Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Assemblea Generale

Collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria

CUP: C41C23002750005

Affare n. 15/2026

Parere ex art.1, comma 1, lettera b), punto 3 del decreto-legge 11 marzo 2026 n. 32

Adunanza del 6 agosto 2026

Descrizione sintetica dell'intervento e dell'iter procedimentale

L'intervento per il collegamento stabile tra Calabria e Sicilia prevede la realizzazione dell'attraversamento permanente dello Stretto di Messina mediante un ponte a campata unica tra Villa San Giovanni e Messina, destinato a garantire la continuità stradale e ferroviaria e inserito nei corridoi della rete TEN-T.

La soluzione progettuale consiste in un ponte sospeso con campata centrale di circa 3.300 metri, comprensivo dei raccordi ferroviari e stradali, delle opere accessorie e degli interventi di mitigazione ambientale.

L'iter procedimentale trae origine dalla legge n. 1158 del 17 dicembre 1971. L'11 giugno 1981 è stata costituita la società Stretto di Messina S.p.A.. Con decreto interministeriale del 27 dicembre 1985 è stata assentita alla società la concessione per lo studio, la progettazione e la costruzione del collegamento. Negli anni successivi sono stati svolti studi di fattibilità, indagini geognostiche e valutazioni comparative delle diverse soluzioni progettuali. Nel 1997 il Consiglio superiore dei lavori pubblici ha espresso parere sulla soluzione del ponte sospeso a campata unica.

Il progetto preliminare è stato approvato dal Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica con delibera n. 66 del 1° agosto 2003. Successivamente, il Contraente Generale Eurolink S.c.p.A. ha sviluppato il progetto definitivo, corredato da ulteriori verifiche strutturali, sismiche e ambientali. Il progetto definitivo è stato consegnato nel 2011 ed esaminato nell'ambito della procedura di approvazione tecnica e ambientale, acquisendo i pareri della Commissione Valutazione Impatto Ambientale.

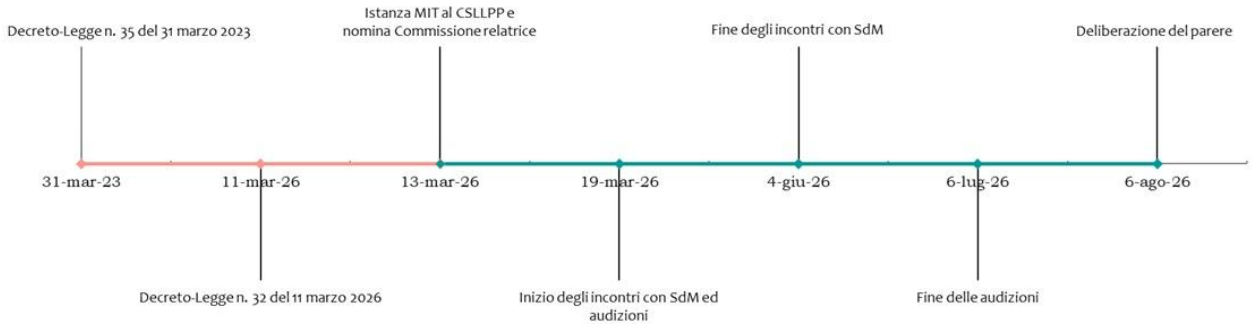
Con il decreto-legge n. 187 del 2 novembre 2012, decaduto per mancata conversione ma i cui effetti prodotti sono stati fatti salvi dall'art. 1 comma 2 della legge n. 221 del 17 dicembre 2012, il procedimento è stato sospeso e successivamente la società Stretto di Messina S.p.A. posta in liquidazione.

Il riavvio dell'iter attuativo dell'opera è stato disposto con il decreto-legge n. 35 del 31 marzo 2023, convertito nella legge n. 58 del 26 maggio 2023. Il Comitato Scientifico di Stretto di Messina S.p.A., con parere del 29 gennaio 2024, ha valutato la documentazione aggiornata, verificando, tra l'altro, l'adeguamento del progetto alle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, l'aggiornamento dei modelli geologici e geotecnici e la conformità agli attuali standard tecnici e ambientali.

In data 13 marzo 2026 il Ministero delle infrastrutture e dei trasporti con nota prot. 5286 acquisita in pari data dal Consiglio superiore dei lavori pubblici (nota prot. 4529), in attuazione dell'art.1, comma 1, lettera b), punto 3 del decreto-legge 11 marzo 2026 n. 32, ha sottoposto al Consiglio superiore dei lavori pubblici - nell'ambito delle competenze al medesimo attribuite dall'art. 1 comma 4, dell'Allegato l.11 al Codice di contratti pubblici di cui al decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36 - la richiesta di parere sui profili tecnici di particolare complessità e rilevanza della relazione del progettista di cui all'articolo 3 comma 2 del decreto-legge n. 35 del 2023, per l'ulteriore sviluppo della progettazione dell'opera.

Con nota prot. n. 4539 del 13 marzo 2026 è stata nominata la Commissione relatrice incaricata della predisposizione della bozza di parere, successivamente integrata nella propria composizione. La Commissione ha svolto il proprio compito istruttorio anche tramite audizioni e incontri finalizzati all'approfondimento tecnico e conoscitivo dell'intervento.

La sequenza temporale del procedimento



Commissione relatrice

Andrea FERRANTE (Primo Relatore)
Franco BRAGA (Coordinatore tecnico scientifico CR1)
Marcello PAOLUCCI (Coordinatore tecnico scientifico CR2)

Aybige AKINCI
Tommaso ALBERTI
Domenico ASPRONE
Mario AVAGNINA
Pietro BARATONO
Marco BARLA
Gianni BARTOLI
Carlo Andrea BOLLINO
Romano BORCHIELLINI
Morris BRENNA
Ciro CALIENDO
Gian Michele CALVI
Giuseppe CANTISANI
Francesco CASTELLI
Tommaso COLABUFO
Luigi COPPOLA
Ivo CORREALE
Edoardo COSENZA
Andrea DALL'ASTA
Antonio D'ANDREA
Lorenzo D'ASCIA
Gennaro DE VIVO
Biagio ERAMO
Luigi EVANGELISTA
Claudio FACCENNA
Marinella FOSSETTI
Fabio FRANCARIO
Umberto FRATINO
Fabrizio GALADINI
Marco GHIMENTI
Rosario GIGLIOTTI
Alessandro GRECO
Francesco Maria GUADAGNO
Franco IACOBINI
Gianluca IEVOLELLA
Raffaele LANDOLFO
Massimo LASALVIA
Claudio MANNINI
Eros MANNINO
Mario Rosario MAZZOLA
Mauro MEZZINA
Gianpaolo MIRRA
Andrea MONTESSORI
Lorella MONTRASIO
Claudio MORONI
Francesco NAPOLITANO
Pier Luigi Giovanni NAVONE
Vincenzo PANE
Fabrizio PAOLACCI
Giuseppe PARISE
Tommaso PASTORE
Maria Rosaria PECCE
Aristide POLICE
Andrea PROTA
Simone PUGGELLI
Vittorio RANIERI
Emanuele RENZI
Carlo RICCIARDI
Rosario Aniello ROMANO
Paolo ROSA
Giuseppe ROSSI
Roberto RUGGIERO
Vincenzo SALAMONE
Paolo SALANDIN
Walter SALVATORE
Paolo SAMMARCO
Giuseppe SAPPA
Antonio SCALAMANDRÈ
Vincenzo SIMEONE
Paolo SIMONINI
Ida TRAMONTI
Giuseppe TROPEANO
Ivo VANZI

Gruppo di supporto alla Commissione relatrice

Antonio ANNECCHINI
Federico BAIARDO
Simona BECCHIMANZI
Gianni BIGGI
Matteo BRACCIALE
Piergiacomo CANCELLIERE
Federica CICINELLI
Vittoria CIOTTA
Massimo D'ALESSANDRO
Ugo D'ANNA
Maria Chiara DE FALCO
Alessandro DE LUCA
Marco FALIERO
Fabrizio FREZZINI
Antonio GIORDANO
Sergio GRILLO
Roberto GULLI
Antonino LO BURGIO
Cristiano LOVISA
Antonio LUCCI
Maria MIANO
Francesco MORELLI
Alessandro ORSINI
Maria Antonietta PASCALE
Caterina PEDACCHIO
Donatella PERON
Katia PETRUCCI
Felice PETTI
Michele RICCI
Giampiero RIZZO
Giuseppe SILVESTRI
Filippo Andrea TIFI
Giuseppina UVA
Aloisia VARVARA'
Micol Maria VELLA

INDICE

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI 18
1. PREMESSE 23
1.1. Inquadramento generale 23
1.2. Cronistoria del Progetto e del relativo iter autorizzativo 24
1.3. Parere n. 220/1997 del CSLP sul progetto di massima 26
1.4. Principali documenti esaminati per l'espressione del parere 27
1.5. Interventi previsti dal progetto definitivo 27
1.5.1. Ponte sullo Stretto 28
1.5.2. Strutture Terminali 29
1.5.3. Viadotto Pantano 29
1.5.4. Collegamenti stradali e ferroviari lato Calabria 30
1.5.4.1. Collegamenti stradali 31
1.5.4.2. Collegamenti ferroviari 31
1.5.5. Collegamenti stradali e ferroviari lato Sicilia 32
1.5.5.1. Collegamenti stradali 32
1.5.5.2. Collegamenti ferroviari 33
1.6. Parere del Comitato scientifico 2011 34
1.7. Attività di verifica e controllo sul progetto definitivo 35
1.8. Relazione del progettista 37
1.8.1. Contenuti della sezione 1 37
1.8.2. Contenuti della sezione 2 39
1.8.3. Contenuti della sezione 3 39
1.9. Parere del Comitato scientifico 2023 42
1.10. Approvazione della relazione del progettista da parte del CdA di SdM 42
2. ESAME DOCUMENTAZIONE, CHIARIMENTI E RISCONTRI 44
3. MODALITÀ DI REDAZIONE DEL PARERE 47
3.1. Criteri adottati 47
3.2. Oggetto e perimetro del parere 47
3.3. Gerarchizzazione e temporizzazione delle "considerazioni" del parere 49
3.4. Aspetti di metodo 50
3.5. Aspetti di merito 51
3.5.1. Rapporto gerarchico tra Norme tecniche nazionali e "Fondamenti" 51
3.5.2. Vita nominale di progetto e azioni relative ai diversi Stati Limite 53

3.5.3. Coefficienti parziali per il progetto dell'Opera 54
3.5.4. Percorribilità dell'infrastruttura e comfort dei passeggeri 54
3.5.4.1. Percorribilità 55
3.5.4.2. Comfort 56
3.5.5. Cornice normativa in materia di progettazione di infrastrutture stradali 56
3.6. Guida alla lettura del parere 57
4. GEOLOGIA E SISMOTETTONICA DELL'OPERA 59
4.1. Trattazione del tema nella Relazione del progettista 59
4.1.1. Parere n. 220/1997 del CSLP 61
4.1.2. Aspetti geologici nel progetto definitivo 62
4.1.3. Prescrizioni e raccomandazioni formulate nel 2011 dal Prof. Ezio Faccioli (Expert panel) 67
4.1.4. Raccomandazioni formulate dal Comitato scientifico 2011 68
4.1.5. La geologia e la sismotettonica nel rapporto finale di RINA CHECK 69
4.1.6. Raccomandazioni formulate dal Comitato scientifico 2023 70
4.1.7. Documento AMW 3000 del 06.09.2024 71
4.1.8. Richieste di chiarimenti 72
4.2. Sul modello geologico e sismotettonico 73
4.2.1. Inquadramento geologico e sismotettonico sintetico dell'area dello Stretto 73
4.2.2. Faglie attive e capaci 75
4.2.2.1. Aggiornamento della conoscenza su base bibliografica 76
4.2.2.2. Le faglie attive e capaci di interesse per l'attraversamento nel PD 77
4.2.2.3. Gli effetti geologici del terremoto del 1908 82
4.2.2.4. Relazione AMW3000 e riscontro alla Commissione Tecnica di VIA-VAS del MASE 82
4.2.2.5. Le faglie attive e capaci nelle microzonazioni sismiche (MZS) e nelle informazioni sulle opere 86
4.2.2.6. Aggiornamenti del 2026 87
4.2.3. Dislocazioni permanenti 91
4.2.4. Deformazioni geodetiche 92
4.2.5. Sorgenti sismogenetiche del terremoto del 1908 e pericolosità sismica 92
4.2.6. Sulle incertezze del terremoto del 1908 93
4.2.7. Effetti cosismici 94
4.2.8. Aspetti idrogeologici 94
4.2.9. Indagini già programmate da Stretto di Messina S.p.A. 95
4.3. Considerazioni conclusive sulle tematiche geologiche e sismotettoniche 95
5. PONTE SULLO STRETTO: AFFIDABILITÀ E STATI LIMITE 98
5.1. Premessa 98

5.2. Classificazione dei metodi per la valutazione dell'affidabilità 98
5.3. Affidabilità, robustezza e resilienza dei sistemi 99
5.3.1. Affidabilità dei sistemi 100
5.3.2. Robustezza strutturale 100
5.3.3. Resilienza 101
5.4. Stati Limite, livelli di prestazione e azioni corrispondenti 101
5.4.1. Definizione degli Stati Limite nella Relazione del progettista 101
5.4.2. Stati Limite di funzionalità 102
5.4.3. Azioni estreme per le verifiche agli SLIS 103
5.5. Azione sismica e i suoi effetti 104
5.5.1. Inquadramento generale 104
5.5.2. Definizione dell'azione sismica 105
5.5.3. Variabilità spaziale del moto sismico 106
5.5.4. Effetti permanenti post sisma 106
5.5.5. Domanda di progetto 107
5.6. Il vento e i suoi effetti 107
5.6.1. Analisi della circolazione locale e utilizzo delle rianalisi ERA5 107
5.6.2. Gestione dell'incertezza sui dati sperimentali relativi all'azione del vento 109
5.6.3. Analisi statistica degli eventi estremi 111
5.6.4. Azioni non sinottiche 112
5.6.5. Il vento e i cambiamenti climatici 113
5.7. Analisi di scenari multihazard 114
5.8. Aspetti progettuali dei sistemi dell'Opera 115
5.9. Il sistema delle opere del collegamento stabile tra Sicilia e Calabria 116
6. PONTE SULLO STRETTO: DOMANDA SULL'OPERA 118
6.1. Azioni permanenti 118
6.2. Azioni variabili da traffico ferroviario 118
6.3. Azioni variabili da traffico stradale 121
6.4. Azione sismica 123
6.5. Azione del vento 127
6.5.1. Combinazioni adottate nelle verifiche allo SLIS 127
6.5.2. Progettazione aerodinamica ad alti numeri di Reynolds 129
6.5.3. Vibrazioni indotte dal distacco di vortici 130
6.5.4. Analisi di stabilità dell'impalcato 132
6.5.5. Risposta dinamica a vento turbolento 134

6.5.6. Modello aeroelastico completo 136
6.5.7. Stabilità dei cavi accoppiati di ormeggio 137
6.5.8. Ulteriori analisi agli Elementi Finiti dell'Opera di attraversamento 139
6.5.9. Analisi numeriche di Fluido-Dinamica Computazionale 140
6.5.10. Effetti locali sui veicoli in transito 142
6.5.11. Analisi degli effetti del vento sulla struttura durante la fase di costruzione 143
6.6. Azioni della temperatura 144
6.7. Azioni eccezionali 144
7. PONTE SULLO STRETTO: CAPACITÀ/DOMANDA 147
7.1. Verifica dei requisiti di affidabilità dell'opera 147
7.1.1. Coefficienti parziali per i materiali e per le azioni e coefficienti di combinazione 147
7.1.2. Modelli di calcolo, criteri di verifica e livelli di danno 148
7.1.3. Scenari di contingenza e robustezza strutturale 148
7.2. Le caratteristiche meccaniche dei materiali 148
7.2.1. I calcestruzzi 149
7.2.2. Gli acciai 151
7.2.2.1. Acciai per calcestruzzo armato 151
7.2.2.2. Acciai per cavi da precompressione 151
7.2.2.3. Cavi PPWS (Prefabricated Parallel Wire Strand Preformed) 151
7.2.2.4. Proprietà meccaniche degli acciai per carpenteria metallica 151
7.2.2.5. Bulloni 155
7.2.2.6. Corrosione degli acciai 155
7.3. L'impatto ambientale sui materiali 158
7.4. Le fondazioni delle torri e i blocchi di ancoraggio 159
7.4.1. Modelli Geotecnici (AG1) 159
7.4.1.1. Prescrizioni e Raccomandazioni precedenti 159
7.4.1.2. Prescrizioni dell'Assemblea 162
7.4.2. Sismica (AG2) 162
7.4.2.1. Prescrizioni dell'Assemblea 163
7.4.3. Liquefazione (AG3) 164
7.4.3.1. Prescrizioni dell'Assemblea 164
7.4.4. Analisi e verifiche (AG4) 164
7.4.4.1. Prescrizioni dell'Assemblea 165
7.4.4.2. Raccomandazioni 165
7.4.5. Jet grouting (AG5) 166

7.4.5.1. Prescrizioni dell'Assemblea 166
7.4.5.2. Prescrizioni e Raccomandazioni precedenti 166
7.5. Il sistema di sospensione 167
7.5.1. Attualizzazione delle conoscenze tecniche 167
7.5.2. Capacità e affidabilità del sistema di sospensione 167
7.5.3. Influenza del materiale sulla capacità 168
7.5.4. Soluzioni tipologiche per selle e deviatori 168
7.5.5. Modellazione del cavo 169
7.5.6. Fenomeni locali 169
7.5.7. Snodi sferici 169
7.5.8. Sistema di protezione dalla corrosione 170
7.5.9. Fasi costruttive: montaggio e controllo in esercizio 170
7.5.10. Prescrizioni e Raccomandazioni 170
7.6. Le torri 173
7.6.1. Fasi costruttive 173
7.6.2. Indicazioni della relazione del progettista 175
7.6.3. Il comportamento statico e dinamico delle torri 179
7.6.4. I commenti alla relazione del progettista 181
7.7. L'impalcato 183
7.7.1. Fasi Costruttive 183
7.7.2. Classi di esecuzione 184
7.7.3. Validazione dei modelli di calcolo 185
7.7.4. Adeguamento ai limiti normativi per la resistenza degli acciai dell'impalcato 186
7.7.5. Strutture terminali 187
7.7.6. I giunti di dilatazione e i buffers 188
7.7.6.1. Giunti di dilatazione ferroviari 188
7.7.6.2. Giunti di dilatazione stradali 191
7.7.6.3. Buffers 193
7.7.7. Prestazioni a fatica della lastra ortotropa 196
8. PONTE SULLO STRETTO: PERCORRIBILITÀ, USO 199
8.1. Armamento ferroviario 199
8.2. Interazione statica tra treno-binario e la struttura del ponte 201
8.3. Percorribilità ferroviaria 203
8.4. Percorribilità stradale 206
8.4.1. Percorribilità stradale dell'opera di attraversamento 206

8.4.2. Simulatore stradale 208
8.4.3. Smart roads 209
8.4.4. Pavimentazione 210
8.4.5. Drenaggio acque meteoriche 210
8.5. Gestione dell'esercizio ferroviario e stradale 211
8.6. Aspetti relativi al traffico marittimo 212
8.6.1. Determinazione del livello del mare di riferimento 217
8.6.2. Sagoma limite delle "navi di progetto" 218
8.6.3. Distanza minima tra l'intradosso dell'impalcato e altezza massima della nave in transito 219
8.6.4. Delimitazione del canale navigabile 219
9. PONTE SULLO STRETTO: MONITORAGGIO E MANUTENZIONE 220
9.1. Modalità ispettive e monitoraggio 220
9.2. Monitoraggio per l'azione del vento 222
9.3. Gestione informativa digitale, gemello digitale e integrazione con SHM 224
9.4. Piano di Manutenzione 225
10. IL VIADOTTO PANTANO 228
10.1. Premessa 228
10.2. La domanda 228
10.2.1. Azioni dovute ai carichi permanenti 228
10.2.2. Azioni dovute al passaggio dei convogli ferroviari 228
10.2.3. Azione sismica 229
10.2.4. Variazioni termiche 230
10.2.5. Azioni eccezionali 231
10.2.6. Le combinazioni di carico 231
10.3. Il confronto capacità-domanda 233
10.3.1. Affidabilità 233
10.3.2. Gli stati limite 233
10.3.3. Le verifiche a fatica 233
10.3.4. L'impalcato 234
10.3.5. Le pile 235
10.3.6. Le fondazioni 238
10.3.6.1. Modelli Geotecnici (AG1) 238
10.3.6.2. Progettazione Geotecnica e Sismica 238
10.4. Monitoraggio/Manutenzione 239
11. COLLEGAMENTI STRADALI E FERROVIARI 240

11.1. Collegamenti stradali e ferroviari alle opere esistenti 240
11.1.1. Collegamenti lato Calabria 241
11.1.1.1. Collegamento stradale 241
11.1.1.2. Collegamenti ferroviari 246
11.1.2. Collegamenti lato Sicilia 250
11.1.2.1. Collegamento stradale 250
11.1.2.2. Collegamenti ferroviari 252
11.2. Aspetti legati al quadro conoscitivo 253
11.2.1. Sismotettonica 253
11.2.1.1. Le faglie attive nelle microzonazioni sismiche in relazione alle opere di collegamento 261
11.2.1.2. Interazioni tra faglie attive e capaci o potenzialmente attive e capaci e opere di collegamento ... 263
11.2.1.3. Le faglie attive e capaci e le opere di collegamento: conclusioni 263
11.2.1.4. Geologia e sismotettonica: sintesi delle Prescrizioni 264
11.2.2. Idrogeologia 265
11.2.2.1. Idrogeologia: sintesi delle prescrizioni 267
11.2.3. Geotecnica 267
11.2.3.1. Premessa 267
11.2.3.2. Modelli Geotecnici di sottosuolo 267
11.2.3.3. Progettazione Geotecnica e Sismica 268
11.2.3.4. Opere d'arte principali 269
11.2.3.5. Complesso di gallerie stradali e ferroviarie 269
11.2.3.6. Viadotti 273
11.2.3.6.1. Viadotti lato Calabria (13 opere) e opere accessorie lato Calabria (4 sovrappassi/sottopassi) 273
11.2.3.6.2. Viadotti lato Sicilia (12 viadotti) e opere accessorie lato Sicilia (2 sottovia) 275
11.2.3.7. Movimento franoso in prossimità dello svincolo dell'Annunziata 277
11.2.3.8. Geotecnica: sintesi delle prescrizioni e raccomandazioni 277
11.2.4. Idrologia e idraulica 279
11.2.4.1. Idraulica: sintesi delle prescrizioni e raccomandazioni 281
11.3. Norme e regole di progettazione, continuità funzionale e interoperabilità 282
11.3.1. Ambito stradale - Norme funzionali e geometriche 282
11.3.1.1. Collegamenti lato Calabria 286
11.3.1.2. Collegamenti lato Sicilia 293
11.3.1.3. Ulteriori considerazioni valevoli per i collegamenti su entrambi i versanti 297
11.3.1.4. Ambito stradale: sintesi delle prescrizioni e raccomandazioni 297
11.3.2. Ambito ferroviario - Norme funzionali e geometriche 299
11.3.3. Collegamento con opere ferroviarie esistenti ed in progetto. Interoperabilità 301

11.3.4. Integrazione dei sistemi e dei progetti 303
11.3.5. Sovrastruttura ferroviaria 304
11.3.6. Impianti di trazione e segnalamento 304
11.3.7. Prescrizioni e raccomandazioni (da § 11.3.2 al 11.3.6) 305
11.3.8. Aspetti strutturali delle opere di collegamento – Ponti e viadotti stradali e ferroviari 306
11.3.8.1. Ponti e viadotti stradali 307
11.3.8.2. Viadotti ferroviari 308
11.3.9. Aspetti strutturali delle gallerie stradali e ferroviarie e delle stazioni in sotterraneo 310
11.4. Sicurezza gallerie (impianti e antincendio) in relazione alle norme vigenti 314
11.4.1. Rilevanza tecnica e complessità progettuale 314
11.4.2. Collegamenti stradali 314
11.4.3. Collegamenti ferroviari 315
11.4.4. Stazioni/fermate ferroviarie in sotterraneo versante siciliano 317
11.4.5. Gallerie stradali 318
11.4.5.1. Delibera della Commissione Permanente per le Gallerie (CPG) 319
11.4.5.2. Prescrizioni e raccomandazioni del CSLP inerenti alla sicurezza delle gallerie stradali 320
11.4.6. Gallerie ferroviarie 321
11.4.6.1. Stazioni/fermate ferroviarie lato siciliano 322
11.4.6.2. Delibera della Commissione Sicurezza per le Gallerie Ferroviarie 322
11.4.6.3. Prescrizioni e raccomandazioni del CSLP inerenti alla sicurezza delle gallerie ferroviarie 322
11.4.6.3.1. Lato calabrese 323
11.4.6.3.2. Lato siciliano 324
11.4.6.4. Analisi di Rischio-Indicazioni per il PE 326
11.4.6.5. Prescrizioni da sviluppare nel PE ai fini degli eventuali ulteriori adeguamenti progettuali 328
11.4.6.6. Altri pareri espressi e documenti consultati 329
11.4.6.6.1. Prescrizioni e raccomandazioni del CSLP 329
11.4.6.6.2. Sintesi delle prescrizioni e raccomandazioni 330
11.4.7. Aspetti impiantistici 331
11.4.7.1. Adeguamento degli impianti e ulteriori indicazioni alla Relazione del progettista 331
11.4.7.2. Sistema di distribuzione generale Calabria -Ponte- Sicilia 331
11.4.7.3. Sicurezza delle gallerie (impianti e antincendio) in relazione alle norme vigenti 332
11.4.7.4. Alimentazione in emergenza del sistema - Aspetti Impiantistici 333
12. IMPIANTI DELL'OPERA DI ATTRAVERSAMENTO 336
12.1. Sistema di distribuzione a 6 kV 336
12.1.1. Valutazione alternativa di alimentazione a 20 kV 336
12.1.2. Considerazioni impiantistiche qualora si mantenga l'alimentazione a 6 kV 336

12.1.3. Gestione del guasto a terra nel sistema a 6kV 337
12.1.4. Configurazione e costituzione di distribuzione e relativi calcoli di dimensionamento 337
12.1.5. Alimentazione di emergenza del sistema trazione sull'Opera 337
12.2. Alimentazioni di sicurezza 338
12.2.1. Rischio sismico sugli impianti 338
12.2.2. Mitigazione degli effetti delle correnti vaganti e accorgimenti anticorrosione 338
12.2.3. Protezione dalle scariche atmosferiche 338
12.2.4. Impianti di illuminazione sul ponte 339
12.2.5. Pali per l'illuminazione stradale 339
12.2.6. Impianto di deumidificazione 339
12.2.7. Trazione elettrica 3 kV cc - 25 kV ac 340
13. ASPETTI DI "SAFETY" E "SECURITY" 341
13.1. Eventi incidentali. Aspetti generali 341
13.2. Aspetti relativi al soccorso pubblico e alla prevenzione incendi 348
13.3. Aspetti relativi alla bonifica ordigni esplosivi 348
13.4. Aspetti relativi a danneggiamenti intenzionali 350
14. TABELLA SINOTTICA 351
15. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 352
16. DISPOSITIVO FINALE 353

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1-1.- RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DEI COLLEGAMENTI DELLA RETE TEN-T 28
FIGURA 1-2.- FOTO-INSERIMENTO DEL PONTE SOSPESO SULLO STRETTO DI MESSINA 29
FIGURA 1-3.-PROSPETTO/PLANIMETRIA DI INDIVIDUAZIONE DELLE STRUTTURE TERMINALI (LATO SICILIA, SX, LATO CALABRIA, DX) 29
FIGURA 1-4.- FOTO-INSERIMENTO DEL COLLEGAMENTO LATO SICILIA – SULLA DESTRA IL VIADOTTO PANTANO..... 30
FIGURA 1-5.- FOTO-INSERIMENTO DEL COLLEGAMENTO LATO CALABRIA..... 30
FIGURA 1-6.- I COLLEGAMENTI STRADALI E FERROVIARI LATO SICILIA 32
FIGURA 4-1.- SCHEMA TETTONICO DA GUARNIERI ET AL. (2004)..... 62
FIGURA 4-2.- SCHEMA DEI RAPPORTI STRATIGRAFICI DISPONIBILE NELLE RELAZIONI PB0004_FO E PB0021-FO 63
FIGURA 4-3.- ESTRATTO DALLA RELAZIONE AMW3000, P.18..... 72
FIGURA 4-4.- QUADRO SISMOTETTONICO DELL'AREA DELLO STRETTO DI MESSINA..... 73
FIGURA 4-5.- "PROFILO GEOLOGICO IN CORRISPONDENZA DELL'ATTRAVERSAMENTO", DALLA CARTA GEOLOGICA PB0005_FO. 74
FIGURA 4-6.- MAPPA STRUTTURALE E SEZIONI DEL SEGMENTO OCCIDENTALE DELLA FAGLIA DI SCILLA E RELATIVI DATI CINEMATICI. 74
FIGURA 4-7.- SEZIONI C-C' E D-D' DA: "*SEZIONI GEOLOGICHE AREA FONDAZIONI CALABRIA – TAV. 2/2*" (PB0010_FO)..... 79
FIGURA 4-8.- SEZIONI GEOLOGICHE RELATIVE ALLA ZONA DI ANCORAGGIO LATO SICILIA, TRATTE DALL'ELABORATO PB0012_FO..... 82
FIGURA 4-9.- SEZIONI C-C' E D-D' SULLA FONDAZIONE DELLA TORRE, LATO CALABRESE, MOSTRATE IL 9 APRILE 2026 88
FIGURA 4-10.- RISPOSTA 02 GST: CONFRONTO TRA LA SEZIONE C-C' SULLA FONDAZIONE E LA SEZIONE SISMICA GEXON DEL 1995. ... 89
FIGURA 5-1.-VISTA SINTETICA DELLE OPERE APPARTENENTI AL COLLEGAMENTO STABILE TRA LA SICILIA E LA CALABRIA 116
FIGURA 6-1 -CARICHI DI DERAGLIAMENTO NEL *MANUALE*..... 145
FIGURA 7-1.- SCHEMA GENERALE DEL PONTE ESTRATTO DA (PG003_F0) 187
FIGURA 7-2.SEZIONE STRUTTURA TERMINALE (PS0161_F0) 187
FIGURA 8-1.- CONDIZIONE DI ESERCIZIO STRADALE (*FONTE: WWW.1915CANAKKALE.COM*)..... 211
FIGURA 8-2.- LIMITAZIONI FERROVIARIE SUL GREAT BELT (FONTE EIM – EUROPEAN RAIL INFRASTRUCTURE MANAGERS)..... 211
FIGURA 8-3.- LIMITAZIONI FERROVIARIE SULL'ØRESUND (FONTE EIM – EUROPEAN RAIL INFRASTRUCTURE MANAGERS)..... 212
FIGURA 8-4 ESTENSIONE DELL'OPERA 213
FIGURA 8-5 PROSPETTO DELL'OPERA 213
FIGURA 11-1.- COLLEGAMENTI LATO CALABRIA (SX) E LATO SICILIA (DX)..... 240
FIGURA 11-2 SCHEMA SINTETICO DEI COLLEGAMENTI STRADALI E FERROVIARI LATO CALABRIA E LATO SICILIA 241
FIGURA 11-3.- PLANIMETRIA GENERALE COLLEGAMENTI STRADALI LATO CALABRIA..... 241
FIGURA 11-4.- PLANIMETRIA RAMO A (SX) E PLANIMETRIA RAMO B (DX)..... 242
FIGURA 11-5.- PLANIMETRIA RAMO C (SX) E PLANIMETRIA RAMO D (DX) 243
FIGURA 11-6.- PLANIMETRIA SINOTTICA DEI PRINCIPALI ASSI SECONDARI E DELLE RAMPE – LATO CALABRIA 244
FIGURA 11-7.- SISTEMA STRADALE A SERVIZIO DEL CENTRO DIREZIONALE..... 244
FIGURA 11-8.- ROTATORIE DI INVERSIONE PRESSO GLI SVINCOLI DI SANTA TRADA E VILLA SAN GIOVANNI..... 246
FIGURA 11-9.- QUADRO D'UNIONE DEI COLLEGAMENTI FERROVIARI LATO CALABRIA 247
FIGURA 11-10.- INQUADRAMENTO DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO DI COMPETENZA DI SDM..... 247
FIGURA 11-11.- SCHEMA FUNZIONALE DELLE OPERE FERROVIARIE DI CONNESSIONE AL PONTE, SPONDA CALABRA IN PROGETTO..... 248
FIGURA 11-12.- PLANIMETRIA ASSE RAMO 2 (SX) E PLANIMETRIA ASSE RAMO 6 (DX)..... 249
FIGURA 11-13.- VISTA PLANIMETRICA DEL RAMO 5 249
FIGURA 11-14.- PLANIMETRIA RIASSUNTIVA DEI COLLEGAMENTI STRADALI E FERROVIARI LATO SICILIA..... 250
FIGURA 11-15.- VISTA PLANIMETRICA DEL SEMI-SVINCOLO GANZIRRI 251
FIGURA 11-16.- VISTA PLANIMETRICA SVINCOLO CURCURACI (SX), SCHEMA SVINCOLO CURCURACI (DX) 251
FIGURA 11-17.- VISTA PLANIMETRICA SVINCOLO ANNUNZIATA (SX), SCHEMA SVINCOLO ANNUNZIATA (DX)..... 252
FIGURA 11-18.- VISTA D'INSIEME DEI COLLEGAMENTI FERROVIARI LATO SICILIA 252
FIGURA 11-19.- SCHEMA FUNZIONALE DELLE OPERE DI CONNESSIONE AL PONTE, LATO SICILIA..... 253
FIGURA 11-20.- PLANIMETRIA E PROFILO GEOLOGICI IN CORRISPONDENZA DELL'ATTRAVERSAMENTO [PB0005_FO] LATO SICILIA... 254
FIGURA 11-21.- CARTA DI CONFRONTO TRA ELEMENTI MORFOTETTONICI TRATTI DAL PP E DAL PD [PB0018_FO]..... 255

FIGURA 11-22.- FAGLIE NE-SW NELLA ZONA DI MESSINA, ELABORATI [PB0005_FO] (SX) E [PB0018_FO] (DX). 256
FIGURA 11-23.- PLANIMETRIA E PROFILO GEOLOGICI SULL'ATTRAVERSAMENTO LATO CALABRIA [PB0005_FO] 257
FIGURA 11-24.- STRALCIO DALLA CARTA GEOLOGICA (PB0015_FO) 257
FIGURA 11-25.– DA RISPOSTA 02 GST: IN ROSSO, SONO DEFINITE LE FAGLIE A TERRA DESUNTE DAL CATALOGO ITHACA. 258
FIGURA 11-26.- DA "CARTA GEOMORFOLOGICA CALABRIA" [AMW3001] CON LE POSSIBILI INTERAZIONI 259
FIGURA 11-27.- STRALCIO DA "SICILIA - CARTA GEOLOGICA – TAV. 2/4" [AMW2609] 260
FIGURA 11-28.- ESTRATTO DA "SICILIA - CARTA GEOLOGICA – TAV. 3/4" [AMW2610] 260
FIGURA 11-29.- ESTRATTO DA "SICILIA - CARTA GEOLOGICA – TAV. 4/4" [AMW2611] 261
FIGURA 11-30.- STRALCIO DALLA "CARTA DI MICROZONAZIONE CALABRIA-COMUNE DI VILLA SAN GIOVANNI" [AMW3010] 262
FIGURA 11-31.- STRALCIO DA "CARTA MICROZONAZIONE CALABRIA-COMUNE DI CAMPO CALABRO" [AMW3011] 262
FIGURA 11-32.- ESTRATTI DA "CARTE MICROZONAZIONE SICILIA–COMUNE DI MESSINA" [AMW2613] (SX), [AMW2614] (DX). .. 263
FIGURA 11-33.- DOMINIO DI CALCOLO NEL CASO DELLA SEZIONE DI SCAVO C1 A COPERTURA 30 M DELLA GALLERIA FARO SUPERIORE 271
FIGURA 11-34.- VIADOTTI LATO CALABRIA E RELATIVI RIFERIMENTI NORMATIVI DELLA PROGETTAZIONE GEOTECNICA 274
FIGURA 11-35.- OPERE ACCESSORIE LATO CALABRIA E RELATIVI RIFERIMENTI NORMATIVI DELLA PROGETTAZIONE GEOTECNICA 274
FIGURA 11-36.- FRANA DELL'ANNUNZIATA 277
FIGURA 11-37.- FIG. 2.A DEL DM 05.11.2001 286
FIGURA 11-38.- FIG. 3 DEL DM 19.04.2006 286
FIGURA 11-39.- RACCORDO CONVESSO N. 6 (ALLA SEZIONE A-85 – PK 2+090) 287
FIGURA 11-40.- IMBOCCO DELLA GALLERIA "MINASI". 289
FIGURA 11-41.- IMBOCCO DELLA GALLERIA "CAMPANELLA" 290
FIGURA 11-42.- COLLEGAMENTI STRADALI CHE INTERESSANO IL CENTRO DIREZIONALE 291
FIGURA 11-43.- SEMI-SVINCOLO GANZIRRI 295
FIGURA 11-44.- SEZIONE TIPO IN TRINCEA 297
FIGURA 11-45.- STRALCIO PLANIMETRICO E DETTAGLI PROGETTUALI DELLA GALLERIA SANT'AGATA 303
FIGURA 11-46.- TABELLA A 308
FIGURA 11-47.- COLLEGAMENTI STRADALI E RELATIVE GALLERIE LATO CALABRESE 314
FIGURA 11-48.- COLLEGAMENTI STRADALI E RELATIVE GALLERIE LATO SICILIANO 315
FIGURA 11-49.- FERROVIE IN GALLERIA E POZZI DI DISCONNESSIONE LATO CALABRESE 316
FIGURA 11-50 - COLLEGAMENTO FERROVIARIO E RELATIVE GALLERIE LATO SICILIANO 316
FIGURA 11-51 - SEZIONE DELLA STAZIONE PAPARDO 317
FIGURA 11-52 - SEZIONE DELLA STAZIONE ANNUNZIATA 317
FIGURA 11-53 - SEZIONE DELLA FERMATA EUROPA 318

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 3-1.- ORGANIZZAZIONE DELLA STRUTTURA METODOLOGICA DELLE "CONSIDERAZIONI" PER FASI 50
TABELLA 4-1.- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 IN MERITO A GEOLOGIA E SISMOTETTONICA 70
TABELLA 5-1 -RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 IN MERITO AL VENTO 108
TABELLA 5-2- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2011 REITERATE DAL CS 2023 IN MERITO AL CALCOLO DELL'IMPALCATO 110
TABELLA 5-3 - RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 IN MERITO AI VENTI NON SINOTTICI 112
TABELLA 5-4 -RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 IN MERITO AGLI SCENARI MULTIHAZARD 115
TABELLA 6-1.- *SPETTRO STANDARD DELLA EN 1991-2 – COMBINAZIONE DI TRAFFICO NORMALE CON ASSI ≤225 KN (TABELLA 13)* 121
TABELLA 6-2.- PRESCRIZIONI/RACCOMANDAZIONI DEL CSLP 1997 123
TABELLA 6-3.- RACCOMANDAZIONI DEL PMC 123
TABELLA 6-4.- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2011 124
TABELLA 6-5.- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 124
TABELLA 6-6 - RACCOMANDAZIONI DEL CS 2011 (REITERATE DAL CS 2023) IN MERITO ALLA STABILITÀ AEROELASTICA 127
TABELLA 6-7.- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2011 (REITERATE DAL CS 2023) 129
TABELLA 6-8.- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 130
TABELLA 6-9 RACCOMANDAZIONI DEL CS 2011 (REITERATE DAL CS 2023) 131
TABELLA 6-10- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 131
TABELLA 6-11- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2011 (REITERATE DA CS 2023) 132
TABELLA 6-12- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 133
TABELLA 6-13.- *RACCOMANDAZIONI DEL CS 2011 (REITERATE DA CS 2023)* 135
TABELLA 6-14.- RACCOMANDAZIONI CS 2011 (REITERATE DAL CS 2023) LEGATE ALLE POSSIBILI VIBRAZIONI 138
TABELLA 6-15 RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 IN MERITO AL COMPORTAMENTO AEROELASTICO 139
TABELLA 6-16.- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 IN MERITO ALLA CFD 140
TABELLA 6-17 - RACCOMANDAZIONI CS 2011 (REITERATE DAL CS 2023) 143
TABELLA 6-18 - RACCOMANDAZIONI DEL CS 2011 IN MERITO AGLI SPECIFICI EFFETTI DELLA TEMPERATURA 144
TABELLA 6-19 RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 145
TABELLA 7-1.- RACCOMANDAZIONI CS 2023 IN MERITO A SCENARI DI CONTINGENZA E ROBUSTEZZA 148
TABELLA 7-2.- PRESCRIZIONI/RACCOMANDAZIONI DEL PMC E DEL CS 2011 160
TABELLA 7-3.- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 162
TABELLA 7-4.- PRESCRIZIONI/RACCOMANDAZIONI DEL ICD E DEL CS 2011 163
TABELLA 7-5.- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 163
TABELLA 7-6.- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2011 165
TABELLA 7-7.- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 165
TABELLA 7-8.- PRESCRIZIONI/RACCOMANDAZIONI DEL PMC E CS 2011 166
TABELLA 7-9.- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 167
TABELLA 7-10.- RACCOMANDAZIONI CS 2011 (REITERATE DAL CS 2023) 171
TABELLA 7-11.- RACCOMANDAZIONI CS 2023 171
TABELLA 7-12 RACCOMANDAZIONI CS 2011 (REITERATE DAL CS 2023) RELATIVE ALLA STABILITÀ DELLE TORRI 174
TABELLA 7-13.- RACCOMANDAZIONI CS 2011 E IN PARTE REITERATE DAL CS 2023 SULLE TORRI 178
TABELLA 7-14.- RACCOMANDAZIONI CS 2023 SULLE TORRI 179
TABELLA 7-15. - RACCOMANDAZIONI DEL CS 2011 (REITERATE DAL CS 2023) SULLE FASI COSTRUTTIVE 183
TABELLA 7-16.- RACCOMANDAZIONI CS 2023 IN MERITO ALLA REPERIBILITÀ DEGLI ACCIAI 187
TABELLA 7-17.- RACCOMANDAZIONE CS 2011 IN MERITO AI GIUNTI FERROVIARI 190
TABELLA 7-18.- RACCOMANDAZIONI CS 2011 SUI GIUNTI STRADALI 192
TABELLA 7-19.- RACCOMANDAZIONI CS 2023 SUI GIUNTI STRADALI 192
TABELLA 7-20.- RACCOMANDAZIONI CS 2011 (ALCUNE REITERATE DAL CS 2023) SUI BUFFERS 195
TABELLA 7-21.- RACCOMANDAZIONI CS 2023 SUI BUFFERS 195

TABELLA 7-22.- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2011 ALCUNE REITERATE DAL CS 2023 IN MERITO ALLA FATICA 196
TABELLA 7-23.- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 IN MERITO ALLE PRESTAZIONI A FATICA 197
TABELLA 8-1 RACCOMANDAZIONI CS 2023 SULL'ARMAMENTO FERROVIARIO 200
TABELLA 8-2.- RACCOMANDAZIONI CS 2011 REITERATE DAL CS 2023 - INTERAZIONE STATICA BINARIO-STRUTTURA 202
TABELLA 8-3.- RACCOMANDAZIONI CS 2023 SULL'INTERAZIONE STATICA BINARIO-STRUTTURA 202
TABELLA 8-4.- RACCOMANDAZIONI CS 2011 SU INTERAZIONE E COMFORT 204
TABELLA 8-5.- RACCOMANDAZIONE CS 2023 SU INTERAZIONE E COMFORT 204
TABELLA 9-1. RACCOMANDAZIONI RIPORTATE IN CS 2023 220
TABELLA 9-2.- RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 223
TABELLA 9-3 PRESCRIZIONI/RACCOMANDAZIONI DELL'ASSEMBLEA CSLP 227
TABELLA 10-1 RACCOMANDAZIONI DEL CS 2023 229
TABELLA 10-2 RACCOMANDAZIONE CS 2023 237
TABELLA 11-1.- VIADOTTI LATO SICILIA E RELATIVI RIFERIMENTI NORMATIVI DELLA PROGETTAZIONE GEOTECNICA 276
TABELLA 11-2.- OPERE ACCESSORIE LATO SICILIA E RELATIVI RIFERIMENTI NORMATIVI DELLA PROGETTAZIONE GEOTECNICA 276

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

Al fine di agevolare la lettura e la comprensione del testo, anche in relazione alla documentazione in atti, nella stesura del parere si sono adottati gli acronimi e le abbreviazioni tratti dalla *Relazione del Progettista* (pp. 38), opportunamente integrati e aggiornati, che si riportano qui di seguito:

AC	Alta Capacità (linea ferroviaria)
AD	Amministratore Delegato
ALARP	*As Low As Reasonably Practicable* (Il più basso ragionevolmente praticabile)
AMD	*Active Mass Dampers* (Smorzatori a massa attiva)
ANAS	Azienda Nazionale Autonoma per le Strade
ARE	Analisi di Rischio Estesa
Assemblea	Assemblea generale del Consiglio superiore dei lavori pubblici
AT	Alta Tensione
AV	Alta Velocità (linea ferroviaria)
AV/AC	Alta Velocità/ Alta Capacità (linea ferroviaria)
BD	Binario dispari
BIM	*Building Information Modeling* (modellazione informativa digitale)
BMS	Sistema di gestione dell'opera
BLWTL	*Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory* (Laboratorio della galleria del vento a strato limite)
BP	Binario pari
BT	Bassa tensione
CD	Centro direzionale
CdA	Consiglio di Amministrazione
CdM	Consiglio dei Ministri
CdS	Conferenza di Servizi
CE	Comunità Europea e/o Marchio di Conformità Europea
CEI	Comitato Elettrotecnico Italiano
CFD	*Computational Fluid Dynamics* (Fluidodinamica Computazionale)
CG	Contraente Generale (Eurolink)
CIPE	Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica
CIPESS	Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica e lo Sviluppo Sostenibile
Circolare NTC 2008	Circolare applicativa Norme Tecniche per le Costruzioni 2008
Circolare NTC 2018	Circolare applicativa Norme Tecniche per le Costruzioni 2018
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche
Codice	Decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36, recante Codice dei contratti pubblici
CPG	Commissione Permanente per le Gallerie
CPR	*Construction Products Regulation* (Regolamento Prodotti da Costruzione)

CR	Commissione relatrice
CR1	Sottocommissione relatrice 1
CR2	Sottocommissione relatrice 2
CS 2011	Comitato Scientifico del 2011
CS 2023	Comitato Scientifico del 2023
CSGF	Commissione Sicurezza Gallerie Ferroviarie
CSLP	Consiglio superiore dei lavori pubblici
CTVA	Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale - VIA e VAS
C_U	Classe d'Uso
CUP	Codice Unico di Progetto
D.Lgs.	Decreto Legislativo
DD	Danno da degrado
DISS	*Database of Individual Seismogenic Sources* (Database delle sorgenti sismogenetiche)
DL	Decreto-legge
DM	Decreto Ministeriale
DPCM	Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri
DPR	Decreto del Presidente della Repubblica
DVM	*Design Value Method* (Metodo del valore di progetto)
EP	*Expert Panel* (Gruppo di esperti)
ERS	*Embedded Rail System* (Sistema a binario allettato)
ETA	*European Technical Assessment* (Valutazione Tecnica Europea)
FAC	Faglie Attive e Capaci
FE	Collegamento ferroviario
FEM	*Finite Element Method* (Metodo degli Elementi Finiti)
FMECA	*Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis* (Analisi dei modi, degli effetti e della criticità dei guasti)
FS	Ferrovie dello Stato
GU	Gazzetta Ufficiale
GN	Galleria naturale
GNSS	*Global Navigation Satellite System* (Sistema globale di navigazione satellitare)
HPC	*High Performance Computing* (Calcolo ad Alte Prestazioni)
IBDAS	*Integrated Bridge Design and Analysis Software* (Software integrato per la progettazione e l'analisi di ponti)
ICD	*Independent Check Design* (Controllo del progetto indipendente)
INGV	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
IPCC	*Intergovernmental Panel on Climate Change* (Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico)

IROPI	*Imperative Reasons of Overriding Public Interest* (Motivi Imperativi di Rilevante Interesse Pubblico - dichiarazione prevista dall'art. 6, par. 4 della Direttiva Habitat 92/43/CEE)
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
L	Legge
LCA	*Life Cycle Assessment* (Analisi del ciclo di vita)
LR	Legge Regionale
MASE	Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica
MACS	Sistema di gestione e controllo
MD	Danno Medio
MEF	Ministero dell'economia e della finanza
MiBAC	già Ministero per i beni e le attività culturali
MIC	Ministero della cultura
MIMS	già Ministero delle infrastrutture e delle mobilità sostenibili
MIT	Ministero delle infrastrutture e dei trasporti
ML	Laminazione termomeccanica
MT	Media tensione
MZS	Microzonazione sismica
ND	Nessun Danno
NESS	*Near-Source Strong Motion Database* (Database del moto forte in campo prossimo)
NTC 2008	Norme Tecniche per le Costruzioni 2008
NTC 2018	Norme Tecniche per le Costruzioni 2018
OD	Ossigeno disciolto
OGS	Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale
Opera	Ponte sullo Stretto di Messina
P_f	Probabilità di fallimento/superamento
PAI	Piani di Assetto Idrogeologico
PCM	Presidenza del Consiglio dei Ministri
PD	Progetto Definitivo
PE	Progetto Esecutivo
PES	Punto di Evacuazione e Soccorso
PFTE	Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica
PFG	Progetto Finalizzato Geodinamica
PGA	*Peak Ground Acceleration* (Accelerazione Massima al Suolo)
PM	Progetto di Massima
PMA	Progetto di Monitoraggio Ambientale
PMC	*Project Management Consultant* (Consulente per la gestione del progetto)
PNRR	Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza

PP	Progetto Preliminare
P_{VR}	Probabilità di superamento
QA	Carico variabile addensato
QR	Carico variabile rarefatto
RCD	Dispositivo di Corrente Residua
RCP	*Representative Concentration Pathways* (Percorsi rappresentativi di concentrazione)
RD	Danno riparabile
RFI	Rete Ferroviaria Italiana
RMN	Rete Mareografica Nazionale
RMS	*Root Mean Square* (accelerazione verticale non ponderata)
ROBOT	Software Autodesk
RP	Relazione del progettista (elaborato Codice G5000PRGRGTCRGG00000000E)
SdM	Stretto di Messina S.p.A.
SD	Danno Significativo
SHM	*Structural Health Monitoring* (Sistema di Monitoraggio Strutturale)
SIA	Studio di Impatto Ambientale
SLC	Stato Limite di Collasso
SLD	Stato Li mite di Danno
SLE	Stato Limite di Esercizio
SLIS	Stato Limite di Integrità Strutturale
SLO	Stato Limite di Operatività
SLV	Stato Limite di Salvaguardia della Vita
ST	Collegamento stradale
STI	Specifiche Tecniche di Interoperabilità
TEN-T	*Trans-European Transport Network (*Rete transeuropea dei trasporti)
TM	Treno Merci
TMP	Treno Merci Pericolose
TBM	*Tunnel Boring Machine* (Talpa meccanica)
TP	Treno Passeggeri
T_R	Periodo di riferimento
UE	Unione Europea
ULCS	*Ultra Large Container Ships* (Navi portacontainer di dimensioni eccezionali)
ULCV	*Ultra Large Container Vessel* (Portacontainer di dimensioni eccezionali)
ULS/SLU	*Ultimate Limit State (*Ultimate Limit State - Stato Limite Ultimo)
UNI	Ente Italiano di Normazione
UPS	*Uninterruptible Power Supply* (Gruppo di continuità)
VAS	Valutazione Ambientale Strategica

VIA	Valutazione di Impatto Ambientale
VIncA	Valutazione d'Incidenza
V_N	Vita Nominale
VTR	Vetroresina
ZAFAC	Zona di Attenzione per Faglie Attive e Capaci
ZRFAC	Zona di Rispetto per Faglie Attive e Capaci
ZSFAC	Zona di Suscettibilità per Faglie Attive e Capaci

I riferimenti ai documenti del **PD**, alle Normative, alla letteratura tecnica e a parti testuali di tale documentazione sono riportati in *corsivo*.

1. PREMESSE

1.1. Inquadramento generale

Con nota prot. n. 5286 del 13 marzo 2026, a firma del Capo Dipartimento per le infrastrutture e le reti di trasporto e del Direttore generale per le strade e la sicurezza delle infrastrutture stradali del **MIT**, è stata formulata al **CSLP** la richiesta di parere che qui di seguito si riporta:

"OGGETTO: Società Stretto di Messina S.P.A. – Collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria (CUP: C41C23002750005). Adempimenti ex art. 1 del decreto-legge 11 marzo 2026 n. 32.
In attuazione dell'art.1, comma 1, lettera b), punto 3 del decreto-legge 11 Marzo 2026 n. 32 si sottopone a codesto Consiglio superiore dei lavori pubblici, nell'ambito delle competenze al medesimo attribuite dall'art. 1 comma 4, dell'Allegato I.11 al codice di contratti pubblici, di cui al decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36, la richiesta di parere sui profili tecnici di particolare complessità e rilevanza della relazione del progettista di cui all'articolo 3 comma 2 del decreto-legge numero 35 del 2023, per l'ulteriore sviluppo della progettazione dell'opera di che trattasi.
Quanto sopra, tenuto conto che codesto Consiglio si è già espresso sul progetto di massima dell'opera nell'adunanza del 10 ottobre 1997.
Più in particolare, con la presente nota si richiede che codesto Consiglio fornisca il proprio parere:
- sui profili tecnici di particolare complessità e rilevanza - ponte sospeso e viadotto Pantano - affrontati nella "Relazione del progettista" del 20.01.2024 e nelle raccomandazioni di natura tecnica del Comitato scientifico, all'interno del "Parere sulla relazione del progettista (D.L. 35/2023)" del 29.01.2024;
- sulle opere di interfaccia ferroviaria e stradale con le reti esistenti e/o in progettazione.
La Stretto di Messina S.p.A, che legge per conoscenza, provvederà a trasmettere gli elaborati progettuali funzionali al richiesto parere tecnico.".

La richiesta di parere, come precisato nella nota, è in attuazione dell'articolo 1, comma 1, lettera b), punto 3 del citato **DL** n. 32/2026, convertito con modificazioni dalla **L** 8 maggio 2026, n. 71, il quale dispone:
"1. Al fine di conformarsi alle deliberazioni della Corte dei conti - Sezione centrale del controllo di legittimità sugli atti del Governo e delle Amministrazioni dello Stato sulla delibera del Comitato interministeriale per la programmazione economica e lo sviluppo sostenibile (CIPESS), adottata ai sensi dell'articolo 3, commi 7 e 8, del decreto-legge 31 marzo 2023, n. 35, convertito, con modificazioni, dalla legge 26 maggio 2023, n. 58, e sul decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti, adottato ai sensi dell'articolo 2, comma 8, del medesimo decreto-legge n. 35 del 2023, il Ministero delle infrastrutture e dei trasporti provvede agli adempimenti necessari, in particolare:

(...)

b) a svolgere, in raccordo con le amministrazioni competenti, gli adempimenti istruttori propedeutici all'adozione di una nuova delibera del CIPESS sugli atti e sui documenti di cui all'articolo 3, comma 7, del decreto-legge n. 35 del 2023, attraverso:

(...)

3) la sottoposizione al Consiglio superiore dei lavori pubblici, nell'ambito delle competenze al medesimo attribuite dall'articolo 1, comma 4, dell'Allegato I.11 al codice dei contratti pubblici, di cui al decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36, tenuto conto del parere espresso dal medesimo Consiglio sul progetto di massima dell'opera nell'adunanza del 10 ottobre 1997, di una richiesta di parere sui profili tecnici di particolare complessità e rilevanza della relazione del progettista di cui all'articolo 3, comma 2, del decreto-legge n. 35 del 2023;

(...)".

Il presente parere viene pertanto reso non ai sensi del comma 5 dell'art. 2 dell'Allegato I.11 del **Codice** ma nell'ambito delle ulteriori attività consultive attribuite al **CSLP** dal comma 4, dell'articolo 1, dell'Allegato I.11 al **Codice**, che dispone:

"Il Consiglio superiore dei lavori pubblici esprime parere sulle questioni comunque pertinenti alle materie di cui al comma 1, sottoposte al suo esame dagli organi costituzionali, dal Presidente del Consiglio dei ministri, dai singoli ministri, dai presidenti delle regioni e delle province autonome di Trento e di Bolzano, dagli enti locali, da altri enti pubblici e dalle autorità indipendenti e può redigere norme tecniche particolari su richiesta degli stessi soggetti. Su richiesta del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti, il Consiglio superiore dei lavori pubblici svolge, inoltre, specifiche missioni tecniche in merito a problematiche di particolare complessità".

1.2. Cronistoria del Progetto e del relativo iter autorizzativo

1969 **ANAS** bandisce, di concerto con **FS** e **CNR**, un concorso internazionale di idee per l'attraversamento viario e ferroviario dello Stretto di Messina.

1971 La **L** n.1158 del 17 dicembre 1971, recante "*Collegamento viario e ferroviario fra la Sicilia ed il continente*" classifica l'opera "*di preminente interesse nazionale*" e dispone che alla realizzazione di un collegamento stabile viario e ferroviario e di altri servizi pubblici tra la Sicilia ed il Continente si provveda mediante l'affidamento dello studio, della progettazione e della costruzione, nonché dell'esercizio, ad una Società per azioni di capitale sociale del **MEF** (almeno il 51 %) e il restante 49 % sottoscritto da **FS**, da **ANAS**, e dalle Regioni Sicilia e Calabria.
La norma definisce, inoltre, lo scopo della Società concessionaria e stabilisce la costituzione di un Comitato scientifico, con compiti di consulenza tecnica, anche ai fini della supervisione e dell'indirizzo delle attività progettuali; il Comitato Scientifico opera secondo principi di autonomia e indipendenza ed esprime, in particolare, parere al **CdA** della Società in ordine al **PD** ed **PE** dell'**Opera** e delle varianti.

1981 La Società per azioni di cui alla **L** n.1158 del 17 dicembre 1971 viene costituita in data 11 giugno con la denominazione **SdM**.

1985-87 La Società **SdM** diviene concessionaria ai fini dello studio, della progettazione, della costruzione e della gestione dell'opera.
Nel dicembre 1985 **SdM** presenta il "*Rapporto di sintesi degli studi di fattibilità per un collegamento stabile viario e ferroviario dello Stretto di Messina*".
Il Rapporto di fattibilità espone le tre soluzioni di attraversamento esaminate:
a) soluzione aerea;
b) soluzione con galleria subalvea;
c) soluzione con galleria alvea o flottante.
Il **CSLP**, con voto n.249 del 24 luglio 1987, esprime parere sullo Studio di fattibilità.

1992 La Società **SdM** conclude il **PM** dell'opera.

1994 La **L** n. 109 (art.16) articola la progettazione su tre livelli: **PP**, **PD** e **PE**.

1997 Il **PM** viene trasmesso al Consiglio superiore dei lavori pubblici, che esprime il proprio parere con voto n.220 del 10 ottobre 1997.

1999 Il **CIPE**, con delibera n. 33 del 19 febbraio 1999, prende atto della necessità di procedere ad ulteriori valutazioni sul **PM**, disponendo approfondimenti da parte di Advisors.

2001 Il **CIPE**, con delibera n. 121 del 21 dicembre del 2001, inserisce l'opera nel 1° Programma delle opere strategiche.

2002 La Società **SdM** aggiorna il **PM** producendo il **PP**; nel corso dello stesso anno viene istituito presso il **MIT** un "*Comitato tecnico scientifico di indirizzo dell'attività progettuale relativa al ponte sullo Stretto di Messina*".

2003 Viene sottoscritta la Convenzione di Concessione tra il **MIT** e la Società **SdM**. Il **CIPE** con delibera del 1° agosto 2003, n.66 approva il **PP**.

2005 Nel luglio la Società **SdM** bandisce le gare internazionali per la selezione, rispettivamente:
- del **CG**;
- del Monitore Ambientale;
- del Broker Assicurativo;
- del **PMC**.

Nell'ottobre 2005, **SdM** procede all'aggiudicazione definitiva all'ATI costituita da Impregilo, Sacyr, Società per Condotte d'Acqua, C.M.C., Ishikawajima-Harima Heavy Industries, Argo

2006 Nel marzo la Società **SdM** sottoscrive il contratto con il **CG** Eurolink S.C.p.A.
In aprile la Società **SdM** dà l'avvio alle attività del **PMC** Parsons Transportation Group.
Viene differita nel tempo ogni decisione in merito alla realizzazione dell'opera (conversione in legge, con modificazioni del **DL** 3 ottobre 2006, n. 262 recante "Disposizioni urgenti in materia tributaria e finanziaria").

2008 Il Governo chiede alla Società **SdM** di adottare tutte le azioni per la ripresa delle attività inerenti alla realizzazione del Ponte sullo Stretto e il **CIPE** riconferma la pubblica utilità dell'opera.

2009 Viene approvato il secondo atto aggiuntivo, ai sensi del comma 205 dell'art.2 della **L** 23 dicembre 2009 n. 191**,** della Convenzione stipulata tra la Società **SdM** ed il **MIT**. Nel settembre **SdM** firma, con il **CG**, l'accordo finalizzato al riavvio delle attività per la realizzazione del ponte.

2010 Il 23 giugno l'**AD** di **SdM** nomina i membri del **CS 2011**.
Il 20 dicembre il **CG** consegna alla Società **SdM** il **PD** del ponte e dei collegamenti stradali e ferroviari.

2011 Il 14 marzo l'**AD** di **SdM** chiede al **CS 2011** il parere sul **PD.**
Il 16 maggio **PMC** emette la certificazione relativa alla idoneità e correttezza della sola **Opera**.
Il 16 maggio RINA Check emette l'Attestato di validabilità del **PD.**
Il **CS 2011** il 23 maggio rende il proprio parere.
Nel giugno **SdM** presenta, al Ministero dell'ambiente, il progetto finalizzato alla Verifica di Ottemperanza sul **PD** per l'**Opera** e, alla **VIA**, le varianti per le opere di collegamento.
Il 10 giugno **PMC** emette il "*Rapporto finale delle attività di controllo e verifica PMC della progettazione definitiva*".
Il 20 giugno emissione dei Pareri dell'**EP**.
Il 29 luglio il **CdA** di **SdM** approva il **PD**.
In data 1° agosto Italcertifer trasmette l'attività di verifica **CE** del **PD, che rappresenta l'emissione finale di conformità alle STI.**

2012-13 La Società **SdM**, a seguito delle disposizioni di cui all'art. 34 decies del **DL** 18 ottobre 2012 n. 179, convertito con modificazioni dalla **L** n.221 del 17 dicembre 2012, viene messa in liquidazione con **DPCM** 15 aprile 2013.

2023 Il **DL** 31 marzo 2023, n. 35, dispone la ripresa delle attività, sia della Società **SdM**, sia del processo amministrativo, autorizzativo e attuativo del **PD** dell'insieme di opere di competenza.
Il **CG** trasmette alla Società **SdM** la **RP**, attestante la rispondenza del **PD** al **PP** ed alle eventuali prescrizioni dettate in sede di approvazione del **PD**. L'ultima versione della **RP** (revisione E) riporta la data del 20.1.2024.
Il Ministro delle infrastrutture e dei trasporti, con decreto n.249 del 4 ottobre 2023, dispone la nomina dei componenti del **CS 2023**.

2024 Il **CS 2023** rende il parere datato 29.01.2024.
La Società **SdM** presenta istanza di **VIA** al **MASE**; nel novembre il **MASE** esprime parere con prescrizioni.

Nel dicembre si chiude la **CdS**.
Il **CdA** della Società **SdM**, dopo aver acquisito il parere datato 29.01.2024 del **CS 2023**, approva la **RP** in data 15.02.2024 con delibera.

2025 Il **MIC** esprime parere positivo con prescrizioni.
Il **MASE** trasmette alla Commissione europea l'informativa prevista dalla Direttiva Habitat 92/43/CEE.
La **PCM** con Delibera **CdM** del 9 aprile 2025 qualifica il Ponte sullo Stretto di Messina con dichiarazione **IROPI**.
Il **CIPESS** approva con delibera n.41 del 6 agosto, con prescrizioni, il **PD** dell'opera.
La Delibera del **CIPESS** di approvazione del **PD** viene inviata all'Ufficio di controllo di legittimità della Corte dei conti, che deferisce la decisione alla Sezione centrale.
Il 29 ottobre la Sezione centrale di controllo della Corte dei conti non ammette al visto la citata delibera del **CIPESS**.

2026 In data 11 marzo 2026 l'art. 1 del **DL** n. 32 stabilisce la prosecuzione dell'iter approvativo del collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria.

1.3. Parere n. 220/1997 del CSLP sul progetto di massima

L'art. 4 della **L** n.1158/71 prevedeva che il **PM** del collegamento stabile, viario e ferroviario, tra la Sicilia e il Continente, fosse approvato - previo parere del **CIPE** e sentito il **CSLP** - con Decreto Interministeriale dei Ministri dei lavori pubblici e dei trasporti di concerto con i Ministri del tesoro, della Marina mercantile e del Bilancio.

Sul **PM** il **CSLP**, su richiesta della Società **SdM** del 30 aprile 1997, ha formulato il parere n. 220 reso dall'**Assemblea** in data 10 ottobre 1997.

Il parere ha riguardato i seguenti temi principali e contiene osservazioni, raccomandazioni e prescrizioni:

1. TERRITORIO E AMBIENTE
2. GEOLOGIA E GEOFISICA
3. GEOTECNICA
4. SISMICA:
   - azione sismica di progetto
   - modello delle strutture utilizzato per le analisi sismiche
   - analisi delle sollecitazioni dovute all'azione sismica e verifiche
5. AEROELASTICA:
   - condizioni anemometriche del progetto
   - risposta aeroelastica
   - prove di scala - coefficienti aeroelastici
   - velocità di flutter
   - aeroelasticità delle torri
   - le altre parti dell'opera
   - considerazioni conclusive ed ulteriori effetti del vento
6. STRUTTURE:
   - blocchi di ancoraggio
   - pile
   - impalcato
   - cavi e pendini
   - cinematismi di giunzione
   - protezione dei cavi dalla corrosione
7. AZIONI TERMICHE

8. RIPARABILITÀ DELLE STRUTTURE
9. VIABILITÀ E TRASPORTI:
   - inquadramento del sistema viario di attraversamento dello stretto di Messina nella rete delle comunicazioni stradali e ferroviarie
   - la logica progettuale del sistema di attraversamento
   - l'esercizio del traffico autostradale sul ponte
   - previsioni di traffico
   - tracciati
   - esercizio ferroviario
10. IMPIANTI:
   - impianto di deumidificazione
   - impianto di smaltimento delle acque meteoriche
   - impianti di distribuzione dell'acqua per lavaggio ed antincendio
   - impianto di illuminazione stradale
11. ASPETTI ECONOMICI E FINANZIARI

L'**Assemblea** ha reso il seguente parere conclusivo:

"Tutto ciò premesso e considerato, l'Assemblea all'unanimità

È DEL PARERE

CHE il progetto di massima del ponte sullo Stretto di Messina, esaminato ai sensi dell'art. 4 della legge 17.12.1971 n. 1158, con le considerazioni, osservazioni e prescrizioni contenute nei "considerato" possa essere sviluppato in sede di progettazione esecutiva.".

1.4. Principali documenti esaminati per l'espressione del parere

Ai fini dell'espressione del parere richiesto dal **MIT** questo Consesso ha esaminato, oltre alla **RP** come richiesto dalla legge e dalla nota **MIT**, entrambe integralmente riportate nel § 1.1, i seguenti documenti in quanto citati nella predetta Relazione e resi disponibili dalla **SdM**:

- Parere sul **PD** dell'**Opera** del **CS 2011** (maggio 2011);
- Parere sulla **RP** del **CS 2023** (gennaio 2024);
- Rapporto finale delle attività di controllo e verifica della progettazione definitiva rilasciato da Parsons Transportation Group (giugno 2011);
- Rapporto finale delle attività di controllo e verifica **PCM** della fase di riavvio delle attività di programmazione e progettazione dell'opera, rilasciato da Parsons Transportation Group (gennaio 2024);
- Pareri dell'**EP** sul **PD** dell'**Opera** (giugno 2011);
- Pareri dell'**EP** (novembre 2023/gennaio 2024);
- Attività di verifica **CE** del **PD**, Italcertifer (agosto 2011);
- Rapporto finale di validazione del **PD**, RINA (maggio 2011).

Inoltre, sono stati visionati gli elaborati progettuali resi disponibili da **SdM**, in quanto anch'essi richiamati nella **RP**. Di alcuni dei documenti sopra elencati vengono nel seguito richiamati i principali contenuti.

1.5. Interventi previsti dal progetto definitivo

L'opera di attraversamento stabile dello Stretto di Messina è considerata strategica ai fini della realizzazione della **rete TEN-T**, mostrata in Figura 1-1.

La rete, secondo quanto si legge nel Regolamento (**CE**) 1315/2013 *"… rafforza la coesione sociale, economica e territoriale dell'Unione e contribuisce alla creazione di uno spazio unico europeo dei trasporti, efficiente e sostenibile, aumenta i vantaggi per gli utenti e sostiene una crescita inclusiva."*.

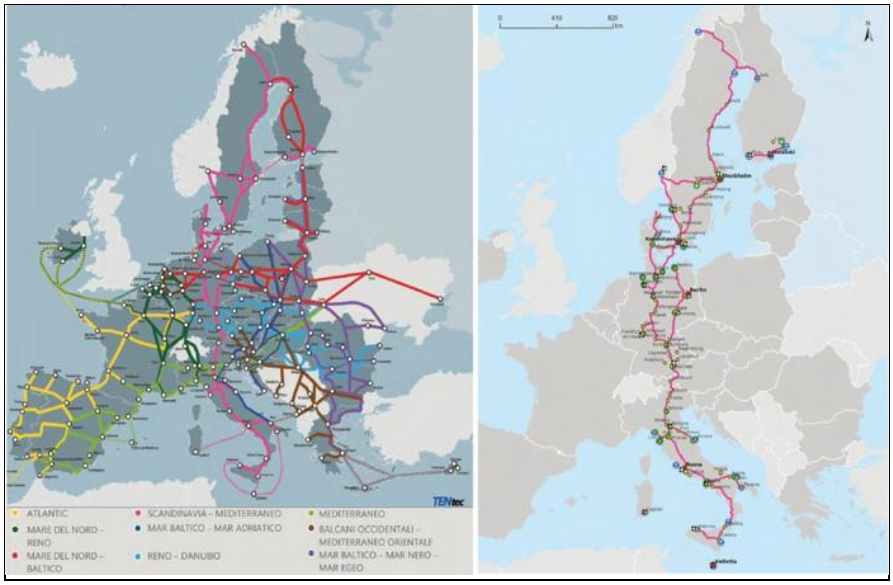


Figura 1-1.- Rappresentazione schematica dei collegamenti della **rete TEN-T**

Gli orientamenti dell'Unione per lo sviluppo della **Rete TEN-T** sono oggetto del Regolamento (**UE**) 2024/1679 - che modifica il Regolamento (**UE**) 2021/1153 e il Regolamento (**UE**) 913/2010 e abroga il Regolamento (**UE**) n. 1315/2013 – nel quale si ribadisce la centralità dei nove corridoi già individuati nel 2013; tra questi, è di diretto interesse nazionale il Corridoio Scandinavo – Mediterraneo sul tracciato del quale insiste l'opera oggetto del presente parere.

1.5.1. Ponte sullo Stretto

Per un inquadramento generale dell'infrastruttura, si ritiene utile riportare alcuni stralci della **RP**; in merito al Ponte sullo Stretto si riporta quanto segue:
"L'attraversamento stabile sullo Stretto di Messina è stato progettato secondo lo schema del ponte sospeso, con vita di progetto di almeno 200 anni.

Il progetto definitivo è contraddistinto dalle seguenti principali caratteristiche dimensionali:

- *una lunghezza della campata centrale di 3.300 metri, a fronte di 3.666 metri di lunghezza complessiva comprensiva delle campate laterali;*
- *60,4 metri larghezza dell'impalcato;*
- *399 metri di altezza delle torri;*
- *2 coppie di cavi per il sistema di sospensione, aventi 5.320 metri di lunghezza complessiva e 1,26 metri di diametro e blocchi d'ancoraggio pari a 533.000 m³;*
- *65 metri di altezza di canale navigabile centrale per il transito di grandi navi.*

La sezione del ponte è contraddistinta da 6 corsie stradali, 3 per ciascun senso di marcia (veloce, normale, emergenza) e 2 binari ferroviari e marciapiedi laterali, per una capacità dell'infrastruttura pari a 6.000 veicoli/ora e 200 treni/giorno. Il ponte è stato progettato con una resistenza al sisma pari a 7,1 magnitudo della scala Richter, con un impalcato aerodinamico di "terza generazione", stabile fino a velocità del vento di 270 km/h.

Figura 1-2.- Foto-inserimento del ponte sospeso sullo Stretto di Messina

1.5.2. Strutture Terminali

Le Strutture Terminali (zone riquadrate in rosso nella Figura 1-3) sono le opere di raccordo tra ponte sospeso e Viadotto Pantano (lato Sicilia), tra ponte sospeso e campata di approccio (lato Calabria). Le strutture in oggetto ospitano, oltre agli appoggi per gli impalcati (ponte sospeso e viadotti sopra descritti) anche i giunti di dilatazione (con escursione pari a circa +/- 2000 mm).

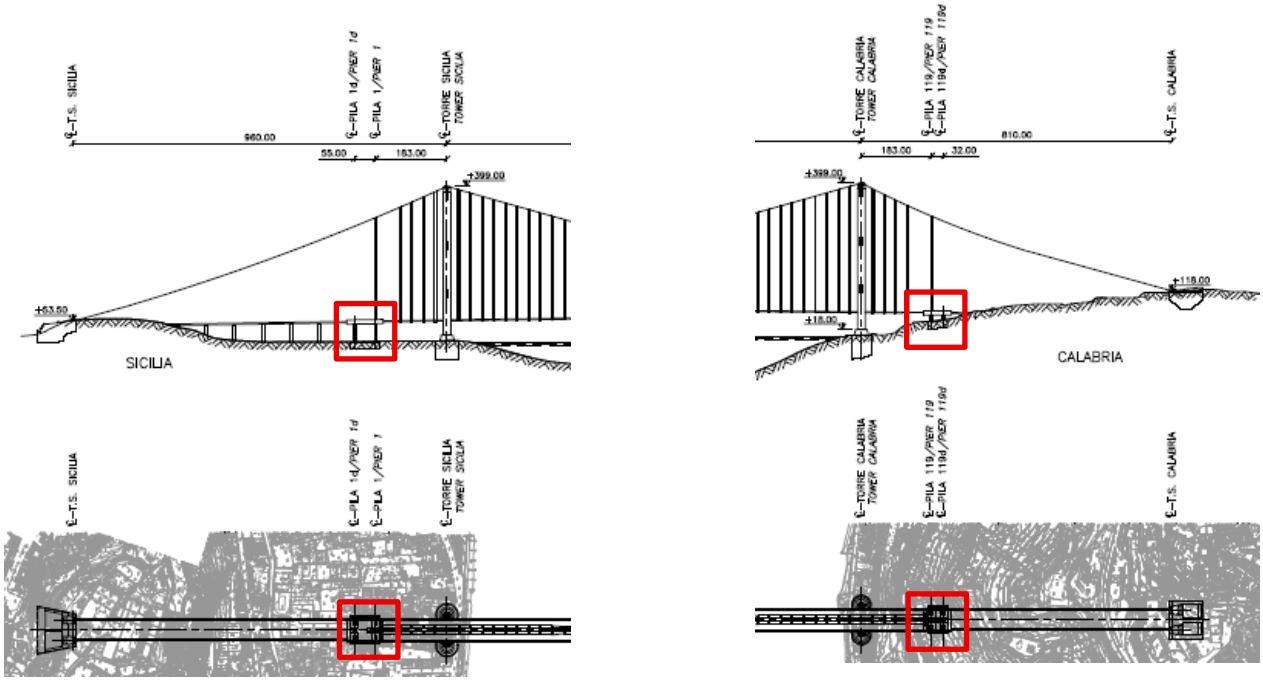


Figura 1-3.-Prospetto/Planimetria di individuazione delle strutture terminali (lato Sicilia, Sx, lato Calabria, Dx)

1.5.3. Viadotto Pantano

Il Viadotto Pantano si sviluppa su 6 campate da circa 78 m per una lunghezza complessiva di circa 470 m ed è costituito da due impalcati indipendenti, quello ferroviario, con campate in semplice appoggio, che quindi trasmette le forze orizzontali ad ogni pila in entrambe le direzioni e non produce un accoppiamento significativo nella risposta,

e quello stradale, vincolato trasversalmente a tutte le pile e alle spalle e longitudinalmente alla sola spalla opposta al ponte principale. Gli appoggi sono quindi di tipo tradizionale, senza funzione di isolamento sismico. In pianta presenta un asse curvilineo avente raggio di curvatura pari a circa 825 m.

Le 5 pile sono costituite da doppio fusto cavo, ciascuno 5 x 6 m e spessore 0.8 m, con una dimensione trasversale di circa 15 m complessivi. Tali elementi strutturali hanno altezze di 36, 35, 33, 30, 18 m, a partire dal lato del ponte principale, tutte sormontate da un capitello alto poco più di 10 m e largo 28 in sommità. In sommità ai capitelli appoggiano i due impalcati indipendenti.

Figura 1-4.- Foto-inserimento del collegamento lato Sicilia – sulla destra il Viadotto Pantano

1.5.4. Collegamenti stradali e ferroviari lato Calabria

In Figura 1-5 si riporta un foto-inserimento dell'inizio del collegamento lato Calabria.

Figura 1-5.- Foto-inserimento del collegamento lato Calabria

In merito ai collegamenti stradali e ferroviari del versante Calabria si riporta dalla **RP** quanto segue:

"In relazione ai collegamenti programmati in corrispondenza del Versante Calabria, interagenti con l'opera di attraversamento, è possibile riscontrare la seguente articolazione progettuale funzionale omogenea:

- *Viabilità, costituita da rami di accesso, uscita e di servizio;*
- *Collegamenti ferroviari."*

1.5.4.1. Collegamenti stradali

La configurazione funzionale del sistema di interconnessione stradale tra l'opera di attraversamento e la viabilità autostradale ad essa confluente prevede la realizzazione dei seguenti collegamenti viari:

1. ***Sistema di uscita:** costituito dalla Rampa "A" che collega, in direzione nord, il Ponte con l'Autostrada A2 "del Mediterraneo", verso Salerno. In questo tratto trovano ubicazione quali opere principali il viadotto e la galleria naturale "Piale". Il sistema d'uscita comprende anche la Rampa "B", che dal Ponte si raccorda con l'Autostrada A2, in direzione sud, verso Reggio Calabria. L'opera di rilievo, presente in questo tratto, coincide con la galleria naturale "Pian di Lastrico".*
2. ***Sistema di accesso**: caratterizzato dalla presenza della Rampa "C", coincidente con la galleria "Minasi", che consente di accedere al Ponte ai flussi provenienti da nord, direzione Salerno, dell'Autostrada A2. Trattasi del principale collegamento da nord in direzione del Ponte. La rampa di svincolo si distacca dal nuovo tratto in variante dell'Autostrada A2 e termina in corrispondenza dell'asse della Torre sud. L'accessibilità a sud del Ponte è affidata alla Rampa "D" (coincidente a sua volta con la galleria naturale "Campanella"), avente la funzionalità di raccordare i flussi provenienti dall'Autostrada A2, direzione Reggio Calabria, al Ponte. La suddetta viabilità di svincolo si distacca dalla Variante dell'Autostrada A2, in direzione nord, mediante il viadotto "Immacolata".*
3. ***Sistema di collegamento al Centro Direzionale:** le relazioni di mobilità che contraddistinguono l'offerta del Ponte e che si configurano funzionalmente nei sistemi di ingresso e uscita governati dallo svincolo di interconnessione con il contesto autostradale di area vasta, si completano con un'ulteriore relazione di accessibilità rispetto anche al programmato Centro Direzionale, mediante il sistema integrato delle Rampe "F", "G", "L" e "M".*
4. ***Sistema di servizio di emergenza:** la rete stradale interessata dai flussi veicolari è implementata da un ulteriore livello di collegamenti finalizzati alla gestione dei veicoli di manutenzione ordinaria e straordinaria ed in grado di gestire l'intera mobilità in condizioni di emergenza. Tale viabilità è contraddistinta dalle rampe "N1", "N", "N3" e "N4".*

1.5.4.2. Collegamenti ferroviari

Il collegamento ferroviario la cui realizzazione è programmata in corrispondenza del Versante Calabro, si configura come un primo tratto del raccordo alla linea tirrenica esistente; sono infatti a carico della Società Concessionaria Stretto di Messina S.p.A., come meglio specificato nel seguito, le tratte di maggior prossimità che consentono l'innesto al nuovo Ponte, mentre le rimanenti estese per il raccordo alla linea storica ed il futuro innesto e correlata estensione alla linea Alta Capacità (AC) della ferrovia proveniente dal Ponte, saranno oggetto di progettazione e realizzazione da parte di RFI. Il collegamento presenta un assetto plano-altimetrico in grado di garantire sia la diramazione nord, in direzione Salerno, sia la diramazione sud, di raccordo con Reggio Calabria.

L'estesa ferroviaria si presenta per la quasi totalità in galleria naturale e per un breve tratto in galleria artificiale e a cielo aperto. Il tracciato ferroviario presenta i seguenti n. 4 rami:

- ***Ramo 1**: avente direzione Messina; trattasi di binario dispari di connessione tra la linea storica Battipaglia – Reggio Calabria ed il nuovo Ponte sullo Stretto (di competenza SdM il tratto fra il nuovo Ponte e la progressiva km 2+200);*
- ***Ramo 2**: avente direzione Villa San Giovanni – Reggio Calabria; trattasi di binario pari di connessione tra il nuovo Ponte sullo Stretto e la linea storica Battipaglia – Reggio Calabria (di competenza SdM il tratto fra il nuovo Ponte e la progressiva km 2+200);*
- ***Ramo 5**: avente direzione Messina; trattasi di binario dispari di connessione tra la futura linea AC nord, proveniente da Salerno ed il Ramo 1, quest'ultimo con direzione Messina per il nuovo Ponte sullo Stretto (di competenza SdM il tratto fra il raccordo con il Ramo 1 e la progressiva km 0+500);*

- ***Ramo 6**: avente direzione nuova linea AC nord, trattasi di binario pari di connessione tra il Ramo 2 (direzione Villa San Giovanni – Reggio Calabria e il nuovo Ponte sullo Stretto) e la futura linea AC nord (di competenza SdM il tratto fra il raccordo con il Ramo 2 e la progressiva km 0+366.131).*

1.5.5. Collegamenti stradali e ferroviari lato Sicilia

In relazione ai collegamenti programmati in corrispondenza del Versante Sicilia, interagenti con l'opera di attraversamento, è possibile riscontrare la seguente articolazione progettuale funzionale omogenea; tale assetto infrastrutturale si sviluppa interamente nel territorio del Comune di Messina:

- *Rete stradale;*
- *Collegamenti ferroviari.*

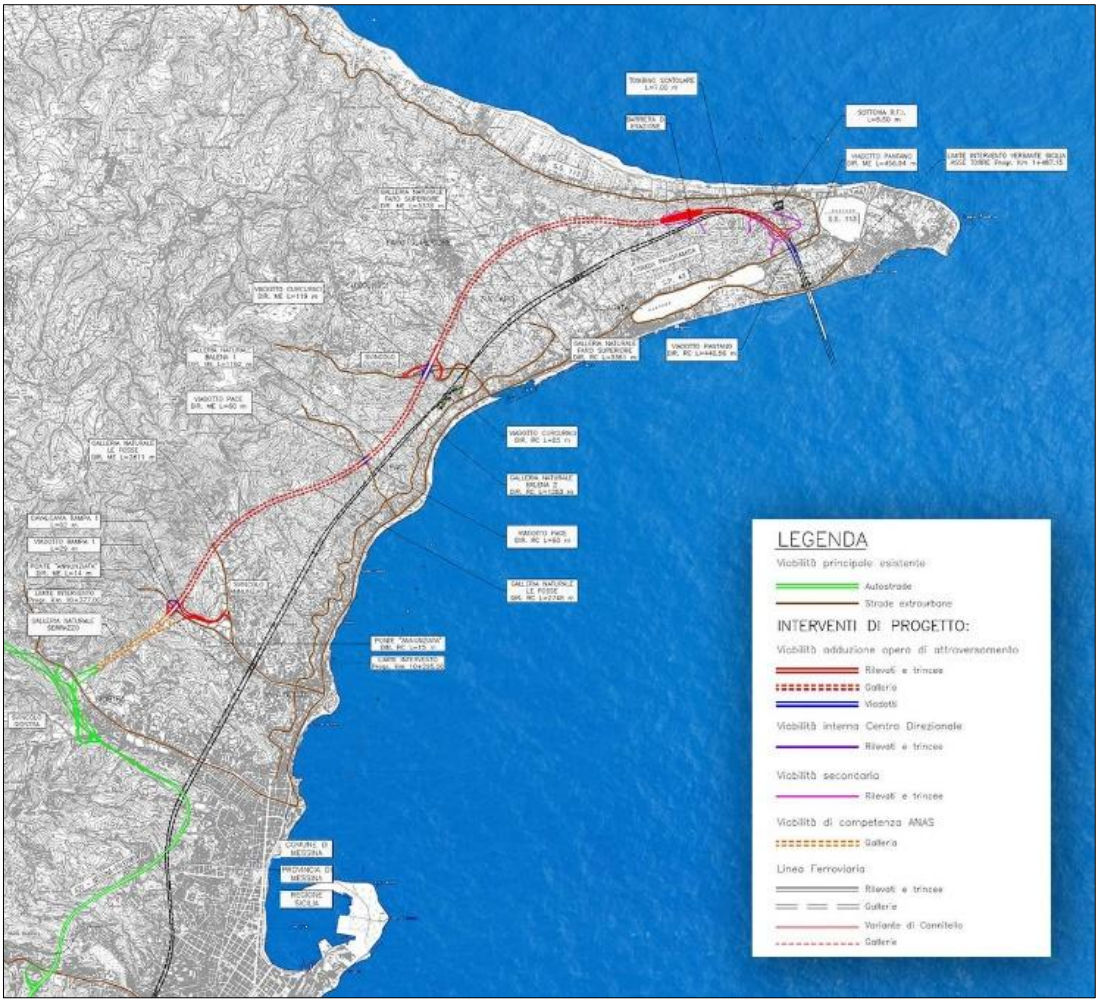


Figura 1-6.- I collegamenti stradali e ferroviari lato Sicilia

1.5.5.1. Collegamenti stradali

La configurazione funzionale del sistema di interconnessione stradale tra l'opera di attraversamento e le relazioni di mobilità attese dal territorio per integrare l'attuale offerta e disporre delle migliori e più efficaci sinergie trasportistiche e di sviluppo economico e sociale si configurano nei seguenti interventi di potenziamento infrastrutturale a carattere viabilistico:

- *nuovo raccordo autostradale: avente la finalità di collegare il nuovo Ponte sullo Stretto con il sistema autostradale esistente costituito dagli assi A18 (Messina – Catania) e A20 (Messina - Palermo); tale raccordo presenta l'intera giacitura nel Comune di Messina e un'estesa di circa 10,4 Km. Le località attraversate, proseguendo da nord-est in direzione sud-ovest, sono: Ganzirri, Faro Superiore, Curcuraci, Pace, S. Annunziata fino all'esistente*

Galleria "Serrazzo" sulla A20, in corrispondenza dello svincolo Giostra. Il tratto iniziale dell'intervento, concernente i collegamenti afferenti all'ambito siciliano, si attesta in corrispondenza dell'asse della Torre nord dell'opera di attraversamento, per poi estendersi in corrispondenza del viadotto "Pantano" per una lunghezza complessiva pari a circa 450 m, (tale opera avente funzionalità sia stradale che ferroviaria costituisce il naturale prolungamento del Ponte sospeso in sponda siciliana).

- *Proseguendo in direzione Messina, in posizione anticipata rispetto all'iconico portale d'imbocco della Galleria "Faro" (la cui lunghezza è di circa 3.370 m), trovano collocazione sia la Barriera di Esazione, contraddistinta da n. 11 porte, di cui n. 3 reversibili, sia lo svincolo di Ganzirri. Proseguendo sempre in direzione sudovest, superata la galleria "Faro Superiore", si giunge allo svincolo autostradale di Curcuraci, da cui è possibile immettersi sulla viabilità locale raggiungendo la Città di Messina e, più in generale, gli agglomerati urbani diffusi nell'entroterra. Il tracciato prosegue, superando l'orografia per mezzo della galleria "Balena" (avente uno sviluppo di circa 1200 m) e, poco oltre, il viadotto "Pace" (L=60m). Tra quest'ultima opera e lo Svincolo di S. Annunziata il tracciato si configura in sotterraneo mediante la percorrenza della galleria "le Fosse" (di sviluppo pari a circa 2.800 m). Proseguendo oltre lo svincolo di S. Annunziata, l'asse devia in senso destrorso per conseguire il raccordo planoaltimetrico con il nuovo collegamento autostradale che consentirà il raccordo diretto tra lo svincolo di S. Annunziata stesso e lo Svincolo di Giostra (tale raccordo esula dalla competenza della Società Concessionaria Stretto di Messina S.p.A., in quanto di pertinenza di ANAS S.p.A.).*
- *La sezione stradale adottata è contraddistinta da due corsie per senso di marcia caratterizzate dalle seguenti principali geometrie conformative: corsie da 3,75m per sorpasso e corsa normale; margine laterale con corsia di emergenza di larghezza minima 3,00m; banchina pavimentata di 0,70m.*

1.5.5.2. Collegamenti ferroviari

L'infrastrutturazione del versante siciliano si completa con un programma di potenziamento delle attuali relazioni ferroviarie, al fine di implementare l'offerta multimodale dell'area e migliorare la mobilità di persone e merci, nonché rafforzare l'intero sistema socioeconomico e produttivo regionale. Nell'ambito di queste azioni si annoverano collegamenti ferroviari per uno sviluppo complessivo pari a circa 17,5 Km.

Il nuovo collegamento ferroviario, analogamente all'omologo intervento di potenziamento autostradale, ha origine in corrispondenza della Torre nord del Ponte sullo Stretto.

In corrispondenza di questo primo tratto, e più precisamente superato il viadotto Pantano, si verifica la separazione tra i sedimi delle due infrastrutture, al fine di recuperare l'indipendenza strutturale delle proprie sedi e conseguire le geometrie appropriate rispetto ai correlati sistemi di mobilità.

I binari ferroviari divaricano gradualmente fino a raggiungere l'inizio delle due gallerie ferroviarie a semplice binario che costituiscono il primo tratto in sotterraneo della galleria "S. Agata" (avente sviluppo pari a circa 4.350m comprensivo dei tratti in galleria artificiale). Il tratto sotterraneo termina in corrispondenza del Posto di Manutenzione ferroviario, ove si prevede l'insediamento dei mezzi, materiali e attrezzature per le attività manutentive e l'allocazione delle funzioni per la gestione dell'emergenza e del soccorso.

Superato il tratto a cielo aperto interessato dal Posto di Manutenzione, il tracciato prosegue in sotterraneo nella galleria "S. Cecilia", il cui sviluppo complessivo presenta una lunghezza pari a circa 11.850m, comprensiva dei tratti in galleria artificiale. Analogamente alla galleria "S. Agata" la sezione corrente è contraddistinta da due canne a semplice binario. La galleria "S. Cecilia" termina in prossimità del Nuovo Bivio Gazzi ed il limite di competenza della Società Stretto di Messina S.p.A è individuato alla fine della galleria artificiale, coincidente con la progressiva Km 17+573 del binario pari.

Per le gallerie ferroviarie è stata adottata la tipologia "galleria a doppia canna a singolo binario", con bypass tra le due gallerie posti ad interasse di 500m e opportuni tratti di allargo.

Le due gallerie ferroviarie presentano un interasse variabile da 30 metri lungo linea, fino ai 53 metri in corrispondenza dei manufatti di stazione/fermata. Manufatti che consentiranno, ai flussi passeggeri circolanti lungo la linea ferroviaria sotterranea, di raggiungere le quote urbane in corrispondenza delle previste tre fermate, ubicate, rispettivamente da nord-est a sud-ovest, secondo la seguente progressione territoriale: "Stazione di Papardo", "Stazione Annunziata" e "Fermata Europa".

Le stazioni "Papardo" e "Annunziata" presentano le seguenti caratteristiche conformative, geometriche e funzionali: le canne delle gallerie, sia di binario pari sia di binario dispari, sono dimensionate adottando una sezione tipo in allargo che consente il transito contestuale di due treni e la sosta in banchina; le banchine sono tra loro collegate sia da un corpo centrale attrezzato con i sistemi di risalita (scale mobili, fisse e ascensori) sia da transetti trasversali di raccordo tra le banchine esterne ed una galleria in affiancamento di sviluppo longitudinale pari alla stazione stessa e parallela ai binari, avente finalità di servizio e di evacuazione in caso di pericolo.

1.6. Parere del Comitato scientifico 2011

L'articolo 4, comma 6, della **L** 17 dicembre 1971, n. 1158, dispone che con decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti si provvede alla costituzione, con oneri a carico della società concessionaria, di un Comitato scientifico, "*con compiti di consulenza tecnica, anche ai fini della supervisione e dell'indirizzo delle attività tecniche progettuali. Il Comitato scientifico opera secondo principi di autonomia e indipendenza ed esprime, in particolare, parere al Consiglio di amministrazione della società in ordine al progetto definitivo ed esecutivo dell'opera e delle varianti. Il Comitato scientifico è composto da 9 membri, scelti, d'intesa con la Regione siciliana e la Regione Calabria, tra soggetti dotati di adeguata specializzazione ed esperienza.*".

Il **CS 2011**, in data 23 maggio 2011, ha reso il parere chiesto dall'**AD** della **SdM**, la quale, ai fini del superamento di problematiche aeroelastiche, sismiche, geotecniche e ambientali, ha affiancato al proprio gruppo di tecnici un **EP** con il compito di assisterlo in caso di problemi particolari, principalmente in presenza di eventuali discrepanze tra i risultati ottenuti dal **CG** e i risultati prodotti dal **PMC**.

Il parere richiama i compiti del **PMC**, quale "*operatore indipendente che deve garantire al Committente la necessaria assistenza tecnica, amministrativa, gestionale ed ambientale in tutte le fasi di progettazione, realizzazione e collaudo affinché queste siano sviluppate con efficienza, efficacia e nel rispetto dei tempi, dei costi, dei requisiti di* Sicurezza *e di qualità stabiliti*". Le attività del **PMC** riguardano, in particolare, *il "controllo e la verifica della progettazione e la validazione del Progetto Definitivo".* L'attività di validabilità del progetto è stata demandata dal **PMC** a RINA S.p.A., che opera come sub- contraente. Al **PMC** è anche richiesta, con processo autonomo e separato, l'attività detta "*independent check*", consistente, nello svolgere *"con metodologie proprie e diverse da quelle utilizzate dal Contraente Generale, in modo del tutto indipendente, l'analisi di un progetto e di produrre relazioni e calcoli basati sulla migliore prassi internazionale*", realizzando dunque una progettazione parallela a quella del **CG**.

Il Parere sintetizza "*compiti e responsabilità nei riguardi della progettazione definitiva dell'Opera*" in tre punti:

"*a) La redazione e la conseguente responsabilità del progetto sono interamente del Contraente Generale che ha ripartito tali incombenze e diffuso tali responsabilità tra diversi sub affidatari, consulenti e fornitori.*

b) Il controllo di tutto quanto progettato e la conseguente responsabilità è di Parsons che ha il compito di verificare l'intero progetto e, per quanto è relativo all'Opera di Attraversamento, controlla in modo totalmente autonomo e indipendente il progetto.

c) La responsabilità di controllare che le attività di Eurolink e di Parsons rispettino le rispettive clausole contrattuali e che le attività di verifica di Parsons siano effettivamente svolte in modo completo e soddisfacente è della Società Stretto di Messina che ha anche l'onere di rispondere ad eventuali richieste di varianti da parte di Eurolink."

Nel parere, il **CS 2011** esplicita i propri compiti, come di seguito specificato:

1. *Ha il compito di certificare al Consiglio di amministrazione che l'intero processo di verifica, vidimazione e validazione del progetto definitivo sia stato svolto in modo completo e corretto, senza ovviamente sovrapporsi agli altri enti coinvolti e quindi escludendo ogni valutazione tecnica e conseguente responsabilità dei Contenuti progettuali;*
2. *Ha compiti di alta consulenza nei riguardi di problemi specifici che gli venissero sottoposti dalla Società in merito a varianti proposte da Eurolink o da Parsons;*

3. *Può* intervenire, *in qualsiasi momento, su richiesta della Società,* per *supportare la stessa Società nella valutazione delle attività di verifica svolte da Parsons.*

Il Parere contiene **6 raccomandazioni** di carattere generale e **109 osservazioni**, formulate per argomento e da sviluppare/approfondire in fase di redazione del **PE**.

Le **109 osservazioni** sono contenute in una Check List suddivisa in tre parti denominate:

I. "*Caratteristiche del Progetto Definitivo*";
II. "*I contenuti del Progetto Definitivo*";
III. "*Le richieste di Approfondimento*".

Inoltre, il Parere riporta le raccomandazioni e osservazioni formulate dal **PMC** e da **RINA**.

Il Parere contiene, oltre a raccomandazioni di carattere generale formulate per argomento, una check list, suddivisa in tre parti, contenente "*(...) una serie di commenti e richieste di approfondimento (...) e annessi*".

Si tratta di raccomandazioni relative alla fase di progettazione esecutiva concernenti "*l'adempimento di tutte le raccomandazioni così come esplicitate nelle tre partì della Check List riportate negli Annessi n. 3 -4 -5*", nonché di "*tutte le raccomandazioni così come esplicitate nei documenti di controllo indipendente di cui all'Annesso 6 e riassunte nell'Annesso 7*", segnalandone in particolare 13 (da a) a o)), esplicitate puntualmente nei "*considerato*" del parere stesso.

Nelle considerazioni conclusive il **CS 2011** dichiara che "*dall'esame delle risposte, delle note e dei commenti alla Check List si può ricavare che tutte le attività in parte o del tutto rimandate al Progetto Esecutivo non appaiono influenti al fine della determinazione degli aspetti tecnici e dei costi dell'Opera nel suo complesso. Se ne deduce che il progetto, così come presentato dal Contraente Generale, ha le caratteristiche richieste a un Progetto Definitivo secondo quanto previsto dalle vigenti normative*". Evidenzia altresì la necessità di condurre, da parte del **CG** "*una serie di approfondimenti numerici e sperimentali nella fase della progettazione esecutiva. Tali approfondimenti sono evidenziati nei documenti del PMC relativi al controllo indipendente effettuato dal PMC e nelle risposte/commenti a diversi punti della Check List formulata dal Comitato Scientifico (...). Appare pertanto necessario che la Società, il Contraente Generale, il PMC, il Comitato Scientifico, ognuno nell'ambito delle proprie competenze**, **svolgano tali approfondimenti anche nella fase precedente l'inizio della progettazione esecutiva per permettere il rispetto del completamento dell'Opera nei tempi previsti***".

1.7. Attività di verifica e controllo sul progetto definitivo

Dall'analisi della documentazione in atti emerge che le verifiche e i controlli sono state svolte da soggetti con competenze specialistiche differenti e complementari, finalizzate a confermare l'adeguatezza del **PD** e a individuare gli approfondimenti da sviluppare nel successivo **PE**. In particolare, queste attività sono state svolte da:

- **Parsons Transportation Group Inc.** in qualità di **ICD** e **PMC**;
- **RINA Check** Organismo di Ispezione accreditato**;**
- **Expert Panel** composto dai professori Giorgio Diana, Michele Jamiolkowski, Ezio Faccioli e Sascia Canale;
- **ITALCERTIFER S.C.p.A.**, Organismo notificato del Gruppo Ferrovie dello Stato.

Parsons Transportation Group Inc., in qualità di soggetto incaricato della verifica indipendente del **PD,** ha svolto attività di controllo tecnico-specialistico finalizzate alla validazione delle assunzioni progettuali e delle metodologie di calcolo adottate dal **CG**. Le verifiche hanno riguardato, tra l'altro, gli aspetti aerodinamici dell'impalcato e delle torri, la risposta dell'opera all'azione del vento, la percorribilità ferroviaria, le verifiche di scenario sismico e numerose analisi indipendenti di confronto con gli elaborati progettuali. Questo compito ha comportato la

realizzazione di modelli numerici indipendenti, prove sperimentali dedicate e verifiche specialistiche autonome sulle principali componenti dell'**Opera**.
Sempre **Parsons Transportation Group Inc.,** in qualità di **PMC**, ha svolto un'attività sistematica di controllo e verifica della progettazione definitiva sotto il profilo metodologico, tecnico e procedurale, redigendo un Rapporto Finale delle attività di controllo e verifica. L'attività ha riguardato il riesame degli elaborati progettuali, la verifica della conformità ai requisiti contrattuali e progettuali, il controllo delle analisi strutturali, geotecniche, sismiche, aerodinamiche e impiantistiche.
La conclusione generale è che il **PD** presentato dal **CG** è stato ritenuto conforme ai requisiti contrattuali, tecnicamente realizzabile, funzionalmente adeguato e correttamente dimensionato sotto il profilo economico, pur accompagnando tale giudizio con un articolato insieme di prescrizioni, raccomandazioni, prove e approfondimenti da sviluppare nella fase di **PE.** Inoltre, nel gennaio 2024 **PMC** ha emesso un ulteriore Rapporto redatto ai sensi dell'articolo 2 dell'atto negoziale prodromico, sottoscritto in data 29/9/2023, ai fini dell'attestazione di avvenuta esecuzione e completamento dell'analisi e verifica dei documenti predisposti dal **CG** ai sensi dell'art. 3 del **DL** 31 marzo 2023, n. 35, convertito con la **L** 26 maggio 2023, n. 58. Le conclusioni di tale Rapporto riportano: "*il PMC con la presente attestazione, per quanto di propria competenza e secondo le proposte di prescrizioni e raccomandazioni indicate dal PMC, ritiene che la Relazione del Contraente Generale abbia ottemperato a quanto disposto dall'articolo 3 del Decreto".*

RINA Check, quale Organismo di Ispezione accreditato di tipo "A", è stata incaricata attraverso un subappalto, da **Parsons Transportation Group Inc**., di svolgere l'attività di verifica del **PD** ai sensi dell'art. 33 dell'Allegato XXI del D.Lgs. 163/2006. Tale attività è stata svolta, sulla base della documentazione progettuale, dei rapporti di verifica tecnica prodotti da Parsons e delle risultanze delle proprie verifiche riportate nelle cosiddette "check list di 2° livello". Tra i documenti utilizzati da RINA erano espressamente inclusi anche i verbali delle riunioni tecniche tra **SdM**, **CG** e **PMC**. I controlli hanno riguardato:

- la completezza della documentazione progettuale;
- l'adeguatezza e contenuto degli elaborati;
- la congruenza tra relazioni e tavole;
- le verifiche incrociate tra elaborati appartenenti a differenti componenti progettuali;
- l'affidabilità e funzionalità tecnica dell'intervento.

Il processo ha interessato tutte le principali componenti dell'intervento, comprese le opere di attraversamento, le infrastrutture stradali e ferroviarie, gli aspetti geotecnici, sismici, ambientali, impiantistici e di cantierizzazione, con registrazione delle osservazioni, ricognizione sistematica delle osservazioni formulate dal **CS 2011,** riesame delle controdeduzioni del **CG** e rilascio finale degli attestati di validabilità, unitamente all'individuazione degli approfondimenti da sviluppare nella successiva fase di progettazione esecutiva.

In particolare, le controdeduzioni riportate nel documento mostrano che, nella quasi totalità dei casi, il **CG** ha dichiarato il recepimento delle raccomandazioni nell'ambito del **PE**. Tra gli impegni assunti figurano l'esecuzione di prove in galleria del vento, la costruzione del modello aeroelastico completo del ponte, ulteriori verifiche sismiche e geotecniche, il completamento delle campagne di indagine, le verifiche a fatica delle strutture metalliche, l'approfondimento dei sistemi ferroviari e delle analisi di percorribilità, nonché l'aggiornamento delle analisi di rischio relative alla navigazione, all'incendio e alla sicurezza dell'opera.

Expert Panel, composto dai professori Giorgio Diana (aerodinamica, vento e percorribilità ferroviaria), Michele Jamiolkowski poi Giovanni Vaciago (geotecnica), Ezio Faccioli (ingegneria sismica) e Sascia Canale (problematiche territoriali e ambientali), ha svolto attività di alta sorveglianza e controllo specialistico esprimendo nel complesso una valutazione favorevole sul progetto, pur formulando raccomandazioni e prescrizioni integrative da sviluppare in sede di **PE.**

ITALCERTIFER S.C.p.A., Organismo notificato del Gruppo Ferrovie dello Stato è stato incaricato della Verifica CE di interoperabilità ferroviaria del **PD** ai sensi delle **STI**. I rapporti emessi hanno verificato la conformità

dell'infrastruttura ferroviaria ai requisiti europei di interoperabilità, la conformità del sistema di alimentazione ferroviaria e della trazione elettrica, la conformità delle gallerie ferroviarie ai requisiti europei di sicurezza, la conformità delle stazioni e fermate ai requisiti europei di accessibilità e la compatibilità del sistema ferroviario con i requisiti del sottosistema Controllo-Comando-Segnalamento. Le verifiche hanno interessato il tracciato ferroviario, le gallerie, il viadotto Pantano, le fermate Papardo, Annunziata ed Europa, gli impianti di alimentazione elettrica, i sistemi di emergenza e i requisiti di interoperabilità ferroviaria. Gli esiti risultano complessivamente favorevoli, con conferma della conformità del **PD** ai principali requisiti **STI** e con l'individuazione di alcuni approfondimenti e perfezionamenti da sviluppare nella successiva fase di progettazione esecutiva, senza evidenza di criticità tali da compromettere l'interoperabilità del sistema ferroviario previsto.

1.8. Relazione del progettista

La **RP** è stata redatta ai sensi del comma 2 dell'articolo 3 (rubricato "*Riavvio delle attività di programmazione e progettazione dell'opera*") del **DL** 31 marzo 2023, n. 35, recante "*Disposizioni urgenti per la realizzazione del collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria*", convertito con modificazioni dalla **L** 26 maggio 2023, n. 58, che recita: "*Il progetto definitivo dell'opera, redatto ai sensi del decreto legislativo 20 agosto 2002, n. 190, ed approvato dal Consiglio di amministrazione della società concessionaria il 29 luglio 2011, è integrato da una relazione del progettista, attestante la rispondenza al progetto preliminare e alle eventuali prescrizioni dettate in sede di approvazione dello stesso, con particolare riferimento alla compatibilità ambientale e alla localizzazione dell'opera.*

Pertanto, la principale finalità della RP è l'adeguamento del PD mediante la definizione di prescrizioni e indirizzi da svilupparsi in sede di PE, in conformità alle norme tecniche in vigore, tenuto conto dello stato dell'arte della tecnica e della tecnologia costruttiva e tenuto conto dei risultati delle ulteriori prove sperimentali richieste dal CS 2011.

Nella Relazione sono altresì indicate le ulteriori prescrizioni da sviluppare nel PE al fine di adeguarlo:

a) *alle norme tecniche per le costruzioni* ***NTC 2018****, di cui al decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti 17 gennaio 2018, pubblicato nel supplemento ordinario n. 8 alla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018, e alle conseguenti modifiche alla modellazione geologica e alla caratterizzazione geotecnica;*
b) *alla normativa vigente in materia di sicurezza;*
c) *alle regole di progettazione specifiche di cui ai manuali di progettazione attualmente in uso, salve deroghe;*
d) *alla compatibilità ambientale;*
e) *agli eventuali ulteriori adeguamenti progettuali ritenuti indispensabili anche in relazione all'evoluzione tecnologica e all'utilizzo dei materiali di costruzione;*
f) *alle prove sperimentali richieste dal parere espresso dal Comitato scientifico di cui all'articolo 4, comma 6, della legge 17 dicembre 1971, n. 1158, sul progetto definitivo approvato dal Consiglio di amministrazione della società il 29 luglio 2011.".*

La **RP** si articola in tre sezioni:

1. aspetti generali e considerazioni introduttivi e metodologiche;
2. attestazione di rispondenza al **PP** e alle eventuali prescrizioni dettate in sede di approvazione dello stesso con particolare riferimento alla compatibilità ambientale e alla localizzazione delle opere;
3. ulteriori prescrizioni da sviluppare nel **PE.**

1.8.1. Contenuti della sezione 1

Nella sezione 1 della **RP** il progettista fornisce le informazioni di carattere generale attinenti al contesto normativo di riferimento e all'approccio metodologico adottato per l'elaborazione dei relativi contenuti specialistici e multidisciplinari.

Nei paragrafi che compongono la sezione 1 sono riportati:

1.1 *Inquadramento normativo, scopo ed oggetto della Relazione del Progettista;*
1.2 *Sintesi delle principali caratteristiche insediative, geometrico-funzionali e prestazionali delle opere afferenti al sistema di "Attraversamento stabile dello Stretto di Messina e dei Collegamenti Stradali e Ferroviari sui versanti Calabria e Sicilia";*
1.3 *Sintesi dell'iter autorizzativo perfezionato dal progetto;*
1.4 *Sintesi commentata delle principali disposizioni procedurali di cui al decreto legge del 31 marzo 2023, n.35, così come modificato dalla legge di conversione 26 maggio 2023, n.58 recante "Disposizioni urgenti per la realizzazione del collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria";*
1.5 *La procedura di Verifica di Ottemperanza rispetto alle prescrizioni della Delibera CIPE n. 66 del 01/08/2003 parzialmente ottemperate o non ottemperate nell'ambito della procedura attivata sul Progetto Definitivo e di cui al Parere della CT-VA n. 1185 del 21/03/2013;*
1.6 *La Verifica di Ottemperanza rispetto alle prescrizioni di cui al Parere n. 6933 del 05/03/2013 della Direzione Generale per il Paesaggio, le Belle Arti, l'Architettura e l'Arte Contemporanee Servizio IV – Tutela e Qualità del Paesaggio dell'allora Ministero per i Beni e le Attività Culturali (MiBAC);*
1.7 *Struttura metodologica ed argomentativa della Relazione del Progettista ed elenco analitico della correlata documentazione relazionale e grafica;*
1.8 *Presentazione del Contraente generale e del Gruppo Multidisciplinare di Progettazione.*

(…)

Servizio IV – Tutela e Qualità del Paesaggio del **MiBAC** (oggi **MIC**), avente ad oggetto la "*Verifica di ottemperanza alle prescrizioni di cui alla Delibera CIPE del 1° agosto 2003, n. 66/2003 di approvazione del PP*".

Nel § 1.2 della **RP** sono sintetizzate le principali caratteristiche geometriche e prestazionali delle opere afferenti al sistema di "*Attraversamento stabile dello Stretto di Messina e dei Collegamenti Stradali e Ferroviari sui versanti Calabria e Sicilia*" già richiamate al § 1.5.1.

Il naturale prolungamento dell'**Opera** lato Sicilia è costituito dal viadotto Pantano avente funzionalità, sia stradale che ferroviaria, opera curvilinea, che si sviluppa per una lunghezza complessiva pari a circa 470 m.

In massima parte, le opere di raccordo stradale e ferroviario sui versanti calabrese e siciliano (per complessivi 20,3 km di collegamenti stradali e 20,2 km di collegamenti ferroviari) prevedono la realizzazione di opere necessarie per assicurare il collegamento del ponte al nuovo tracciato dell'autostrada Salerno-Reggio Calabria ed alla prevista linea ferroviaria **AV/AC** Napoli-Reggio Calabria, da un lato, alle tratte autostradali Messina-Catania e Messina-Palermo, nonché alla prevista nuova stazione ferroviaria di Messina, dall'altro.

Il progettista dichiara che "*il Progetto Definitivo dei collegamenti stradali e ferroviari sui versanti Calabria e Sicilia ha sviluppato ed approfondito i contenuti del Progetto Preliminare, adeguandone la conformazione planoaltimetrica ad un quadro complesso ed articolato di istanze, riconducibili prioritariamente:*

- *alle molteplici richieste esplicitate dagli Enti territoriali;*
- *alle disposizioni normative intervenute in materia di funzionalità e geometria dei tracciati stradali, di sicurezza per l'esercizio delle gallerie sia stradali sia ferroviarie, di norme tecniche per le costruzioni;*
- *agli adeguamenti progettuali imposti dalle condizioni sito specifiche riscontrate, nella fase di approfondimento progettuale insito con il livello definitivo, nel contesto fisico, ambientale, paesaggistico e storico-culturale di riferimento."*

In questa sede, il **PD** così configurato trova un'ulteriore implementazione, in termini di contenuti tecnici e ambientali, in ragione delle disposizioni di cui al **DL** n.35/2023, così come modificato dalla **L** n. 58/2023.

1.8.2. Contenuti della sezione 2

Nella sezione 2 il progettista, ai sensi delle disposizioni di cui al primo capoverso, del comma 2, dell'art. 3, del **DL** n.35/2023, fornisce l'attestazione del Soggetto proponente in merito alla rispondenza del **PD** al **PP** e alle prescrizioni dettate in sede di approvazione dello stesso, con particolare riferimento alla compatibilità ambientale e alla localizzazione dell'opera.

A tale fine, la formulazione dell'attestazione, rispetto all'analoga dichiarazione prodotta dal Soggetto proponente in sede di redazione del **PD** e di avvio delle relative procedure istruttorie (**VIA** delle opere oggetto di Varianti Sostanziali e Verifica di ottemperanza), esplicita, mediante opportuni riferimenti di sintesi:

- le ulteriori azioni progettuali assunte nell'ambito della **RP**, dello **SIA** e dei compendi ambientali correlati e della Relazione paesaggistica, al fine di delineare il quadro complessivo, integrato e organico delle azioni che il Proponente ha inteso assumere per conseguire, nella fase di riavvio delle attività di programmazione e progettazione dell'opera, l'ottemperanza positiva e risolvere le condizioni di parziale ottemperanza e di non ottemperanza;
- i contenuti della Relazione di ottemperanza, elaborato che costituisce il documento istruttorio propedeutico alla riattivazione di un'ulteriore fase di Verifica rispetto a quella omologa espletata in sede di **PD**, in coerenza con le disposizioni di cui all'ex art. 166, comma 1, del **D.lgs.** n.163/2006 e ss. mm. e ii.

1.8.3. Contenuti della sezione 3

La sezione 3 riguarda gran parte della **RP** ed è articolata a sua volta in sei paragrafi, che ricalcano sostanzialmente i punti del comma 2 dell'articolo 3 del **DL** n.35/2023 e più in dettaglio:

3.1 prescrizioni da sviluppare nel **PE** ai fini dell'adeguamento alle **NTC 2018** e alle conseguenti modifiche alla modellazione e alla caratterizzazione geotecnica;
3.2 prescrizioni da sviluppare nel **PE** ai fini dell'adeguamento alla normativa vigente in materia di sicurezza;
3.3 prescrizioni da sviluppare nel **PE** ai fini dell'adeguamento alle regole di progettazione specifiche di cui ai Manuali di progettazione attualmente in uso, salve deroghe;
3.4 prescrizioni da sviluppare nel **PE** ai fini dell'adeguamento alla compatibilità ambientale;
3.5 prescrizioni da sviluppare nel **PE** ai fini dell'adeguamento agli eventuali ulteriori adeguamenti progettuali ritenuti indispensabili anche in relazione all'evoluzione tecnologica e all'utilizzo dei materiali di costruzione;
3.6 prescrizioni da sviluppare nel **PE** ai fini dell'adeguamento alle prove sperimentali richieste dal parere espresso dal **CS 2011** sul **PD** approvato dal **CdA** di **SdM** il 29 luglio 2011.

Ogni paragrafo, con l'eccezione del primo, che riguarda l'adeguamento alle **NTC 2018**, e dell'ultimo, dedicato alle prove sperimentali, è strutturato in una parte testuale e in schede riassuntive (in tutto 116 schede) che illustrano sinteticamente le prescrizioni da sviluppare in sede di **PE**.

La sezione narrativa è integrata da specifiche schede di sintesi, che riportano le seguenti informazioni, implementate da elaborati grafici e tabellari, nonché da diagrammi e figure:

- codice della scheda: contraddistinto da una formulazione alfanumerica progressiva;
- titolazione della scheda identificativa della natura dei relativi contenuti;
- ambito di applicazione della prescrizione: fase di cantierizzazione; fase di esercizio, fase di monitoraggio; altro;
- quadro prescrittivo di riferimento: sono riportate le codifiche delle prescrizioni/raccomandazioni che attengono alla nuova azione prescrittiva; tale quadro risulta articolato nei due pareri espressi nell'ambito della procedura di **VIA** avente ad oggetto le opere interessate da Varianti sostanziali e in sede di Verifica di ottemperanza del **PD** rispetto alle prescrizioni impartite dalla delibera **CIPE** n. 66/2003 sul **PP**: più precisamente, il parere della **CTVA** n. 1185 del 21/03/2013 e al parere **MiBAC** n. 6933 del 05/03/2013; il parere della **CTVA** è a sua volta suddiviso rispetto alle due procedure, riportando una prima area compilativa riferita

alle sezioni istruttorie 5.2.6 e 5.3.2, attinenti alla procedura **VIA** e una seconda area, riferita alle sezioni istruttorie 7.3.1 e 8 afferenti alla Verifica di ottemperanza;
- oggetto della prescrizione: viene data una breve descrizione del tema progettuale (natura ed entità) interessato dalla prescrizione;
- obiettivi della prescrizione: riporta il quadro sintetico delle finalità che si intendono perseguire sviluppando l'indirizzo prescrittivo in sede di progettazione esecutiva;
- descrizione dell'azione prescrittiva: viene fornita una descrizione della prescrizione, delineandone le principali caratteristiche operative e, ove possibile, forniti i dati di natura anche quantitativa e/o quali-quantitativa;
- elaborati di riferimento: in questa area di compilazione si procede ad inserire gli eventuali riferimenti (codifiche e correlate titolazioni) rispetto agli elaborati relazionali e grafici che si rapportano potenzialmente con l'azione prescrittiva esaminata;
- localizzazione: area grafica dove è inserito uno schema territoriale (corografia) riportante la georeferenziazione dell'ambito fisico potenzialmente interessato o interagente con l'azione prescrittiva;
- descrizione metodologica: in tale sezione sono commentate le assunzioni metodologiche adottate per la successiva fase di analisi e valutazione dei potenziali impatti indotti dalle azioni conseguenti all'adozione della prescrizione in esame;
- sintesi degli eventuali impatti ambientali: sono esplicitate le considerazioni afferenti agli impatti ambientali indotti dall'azione prescrittiva rispetto alle componenti fisiche e ambientali potenzialmente interferite dall'azione stessa; le componenti analizzate e valutate in questa sezione sono le medesime caratterizzate nell'ambito dello **SIA** e rispondenti alle seguenti matrici: atmosfera, ambiente marino (comprensivo dell'inquinamento luminoso), ambiente idrico: acque superficiali e acque sotterranee, suolo e sottosuolo, rumore, vibrazioni, campi elettromagnetici, vegetazione e flora, fauna (comprensivo dell'inquinamento luminoso), ecosistemi (e biodiversità), paesaggio, salute pubblica (ambiente terrestre) e ambiente sociale. Tale sezione ha la finalità di offrire una sintesi degli impatti, al fine di agevolare la fase istruttoria sia in fase di **CdS**, sia nell'ambito della procedura di **VIA**, da parte dell'Autorità competente, delle Amministrazioni statali e degli Enti territoriali interessati dalla realizzazione dell'opera; l'analisi e la valutazione degli impatti sono, altresì, sviluppate nell'ambito dello **SIA**, in quanto i contenuti della **RP** costituiscono oggetto di valutazione in sede di procedura **VIA** (art. 3, comma 6 della **L** 58/2023);
- sintesi degli eventuali interventi di mitigazione e di compensazione ambientale, qualora un'azione prescrittiva dovesse determinare un impatto ambientale negativo rispetto ad una o più componenti ambientali: nella sezione sono definiti gli interventi mitigativi per la risoluzione dell'impatto o fornita la descrizione dell'eventuale ulteriore opera in grado di garantire la compensazione dell'impatto residuale: i dati riportati in questa sezione risultano commentati nell'ambito dello **SIA** e, se attinenti a temi specialistici del paesaggio, anche nell'ambito delle integrazioni agli studi per la **VIncA** e della Relazione paesaggistica;
- indirizzi per l'implementazione del **PMA**: la scheda prevede un'area di compilazione conclusiva dove vengono esplicitate le eventuali azioni di monitoraggio ambientale da programmarsi al fine di acquisire in modo strutturale i dati utili alla verifica dell'entità degli impatti predetti e la relativa mitigazione/compensazione, qualora prevista; il progettista fa presente che i dati riportati in questa sezione risultano commentati nell'ambito dello **SIA** e confermati nel compendio specialistico, correlato allo **SIA**, denominato: "*Indirizzi per l'implementazione del Progetto di Monitoraggio Ambientale*".

Il progettista evidenzia che le schede sono da intendersi come un documento aperto e flessibile, in grado di assecondare le differenti tipologie di azioni prescrittive, fornendo, ove necessario, ulteriori livelli di approfondimento, sia relazionale che grafico. Inoltre, precisa che la **RP**, oltre a fornire una descrizione delle prescrizioni che saranno sviluppate in sede di **PE**, anticipa l'illustrazione degli eventuali impatti indotti dall'adozione della prescrizione stessa ed oggetto di valutazione nell'ambito dello **SIA**, al fine sia di corrispondere alle indicazioni della normativa di riferimento (art. 3, commi 5 e 6 del **DL** n.35/2023), sia di offrire le opportune correlazioni tra i

differenti compendi specialistici predisposti dal Proponente in questa fase di riavvio delle attività di programmazione e progettazione dell'**Opera**.

Nella **RP** viene precisato che il corpo normativo con il quale è stato redatto il **PD** del 2011 ha previsto di far riferimento alle **NTC 2008,** per quanto riguarda le cosiddette "*opere a terra*" e, per quanto riguarda il ponte sospeso, oltre che alle **NTC 2008,** anche ai "*Fondamenti Progettuali e prestazioni attese per l'opera di attraversamento*" (elaborato PG0024_F0 di seguito anche *Fondamenti*) che hanno natura contrattuale (documento GCG.F.04.01 del 27 ottobre 2004).

Oltre a quanto illustrato e sintetizzato nelle schede progettuali, nella parte testuale della **RP** sono descritti anche:

- il possibile Belvedere sul traverso della torre lato Sicilia;
- l'incremento della durabilità dei cicli di verniciatura;
- l'incremento della classe resistenza dell'acciaio dei cavi e dei pendini;
- la classe di esecuzione delle strutture metalliche;
- l'adeguamento del quadro normativo di riferimento per i calcestruzzi.

Riguardo ai *Fondamenti*, il progettista evidenzia che contengono due classi di prescrizioni progettuali, **quelle che integrano le normative nazionali e quelle che, in alcuni casi, prevalgono gerarchicamente su di esse**.

Per quest'ultime si tratta di:

- prescrizioni integrative particolari su aspetti non presenti nelle normative nazionali;
- prescrizioni gerarchicamente prevalenti sulle normative nazionali per aspetti che in esse sono presenti, ma che nel caso dell'**Opera** sono stati oggetto di studi specifici di approfondimento, come esplicitamente consentito dalle normative stesse.

Questa interpretazione del progettista riguardo al rapporto tra normative nazionali e *Fondamenti* è discussa al § 3.5.1 del presente parere.

L'esame delle prescrizioni, oggetto degli approfondimenti previsti che il **CG** intende sviluppare nel **PE,** necessari ai fini dell'adeguamento alle **NTC 2018** e delle conseguenti modifiche alla modellazione geologica e alla caratterizzazione geotecnica, è così articolato:

- sintetico inquadramento delle variazioni intercorse nell'aggiornamento dalle **NTC 2008** alle **NTC 2018**; la Relazione fa riferimento al parere reso dal **CSLP** in data 14/11/2014, n. 53/2012, integrato da un esame di maggiore dettaglio delle modifiche puntuali delle prescrizioni normative applicabili al progetto;
- esame delle conseguenze per quanto riguarda la redazione del **PE** dell'opera di attraversamento, che tiene conto della valenza dei suddetti *Fondamenti*;
- esame delle conseguenze per quanto riguarda le *opere a terra*, condotto in relazione alla sola normativa nazionale.

Al riguardo il progettista evidenzia che analogo processo era stato seguito anche nel 2010, all'avvio del **PD**, quando si rese necessario l'aggiornamento dei *Fondamenti* alle **NTC 2008**, visto che il **PP** posto a base della gara di appalto era stato redatto con le normative antecedenti al 2008. Fa altresì presente che, in quella circostanza, furono redatti due documenti:

- il documento PG0024_F0 "*Fondamenti progettuali nel quadro delle normative NTC 2008*", che riprendeva i "*Fondamenti*" e introduceva tutte le variazioni intervenute con le **NTC 2008**;
- il documento PG0025_F0 "*Manuale applicativo riferito ai fondamenti progettuali*", nel seguito *Manuale*, che integrava il precedente documento con un vasto insieme di tutte le assunzioni di dettaglio e metodologie poste alla base della progettazione dell'attraversamento principale.

Pertanto, il progettista ha ritenuto necessario seguire analogo percorso, con la redazione di due documenti propedeutici, contenenti:

1. il primo, le variazioni intervenute con l'entrata in vigore delle **NTC 2018**, che saranno sviluppate seguendo quanto esposto nel § 3.1 della **RP**;
2. il secondo, relativo a tutti i necessari aggiornamenti che derivano anche da regole di progettazione specifiche di cui ai Manuali di progettazione attualmente in uso, salve deroghe, in relazione al punto c) dell'art. 3, comma 2 del **DL** 31 marzo 2023, n. 35, convertito in **L** 58/23, illustrati nel § 3.3 della **RP**, nonché di ogni altro aggiornamento conseguente alla evoluzione tecnologica intesa come evoluzione di metodi e strumenti per il progetto di opere di primaria importanza, argomento trattato nel § 3.5 della Relazione.

L'insieme di questi due documenti viene indicato dal progettista nella **RP** come "*Applicativi Fondamenti Progettuali*".

1.9. Parere del Comitato scientifico 2023

Con decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti n. 249 del 4.10.2023, è stato ricostituito il Comitato scientifico di cui all'articolo 4, comma 6, della **L** 17 dicembre 1971, n. 1158.

Il **CS 2023** ha reso il parere, datato 29 gennaio 2024, articolato in tre sezioni ed un'appendice:

- nella prima sezione si esamina la **RP** - la cui origine e contenuti sono illustrati nel successivo paragrafo -, valutandone la coerenza con le finalità fissate dal **DL** 35/2023, e sono riportate considerazioni, osservazioni e raccomandazioni;
- nella seconda elenca la sintesi delle raccomandazioni argomentate nella prima sezione;
- la terza sezione contiene il dispositivo finale del parere.

Di seguito le raccomandazioni sulla **RP** contenute nel parere del **CS 2023**:

a) adeguamento alle *norme tecniche NTC 2018, di cui al decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti 17 gennaio* 2018, *e* alle conseguenti modifiche alla *modellazione geologica* e alla caratterizzazione geotecnica: il parere contiene n. 22 raccomandazioni (dalla n. 1 alla n. 22);
b) adeguamento alla normativa vigente in materia di sicurezza: il parere contiene n. 4 raccomandazioni (dalla n. 23 alla n. 26);
c) adeguamento alle regole di progettazione specifiche di cui ai manuali di progettazione attualmente in uso, salvo deroghe: il parere contiene n. 3 raccomandazioni (dalla n. 27 alla n. 29);
d) adeguamento alla compatibilità ambientale: il parere contiene n. 5 raccomandazioni (dalla n. 30 alla n. 34);
e) eventuali ulteriori adeguamenti progettuali ritenuti indispensabili anche in relazione all'evoluzione tecnologica e all'utilizzo dei materiali di costruzione: il parere contiene n. 27 raccomandazioni (dalla n. 35 alla n. 61), di cui 5 riguardanti gli ulteriori adeguamenti progettuali ritenuti indispensabili anche in relazione all'evoluzione tecnologica e all'utilizzo dei materiali da costruzione (dalla n. 35 alla n.39); 3 riguardanti gli hardware e i software utilizzati nel **PD**, tenendo conto della loro evoluzione, anche in relazione all'aumentata capacità computazionale nel risolvere problemi in 3D (dal n. 40 al n. 42); 4 riguardati il tema della robustezza strutturale e della sicurezza antincendio (dal n. 43 al n. 46); 6 riguardanti i sistemi di controllo passivo, attivo, semiattivo o ibrido, previsti nei pendini, nelle torri e nell'impalcato, utili anche al fine di aumentare la robustezza strutturale (dal n. 47 al n. 52): 9 riguardanti i sistemi di monitoraggio (dal n. 53 al n. 61);
f) adeguamento alle prove sperimentali richieste dal parere espresso dal Comitato scientifico di cui all'articolo 4, comma 6, della **L** 47 dicembre 1971, n. 1158, sul **PD** approvato dal **CdA** della società il 29 luglio 2011: il parere contiene n. 7 raccomandazioni (dalla n. 62 alla n. 68).

In appendice, il **CS 2023** ha reiterato 21 richieste di approfondimento già formulate dal **CS 2011** nel proprio parere.

1.10. Approvazione della relazione del progettista da parte del CdA di SdM

La società **SdM**, con nota 1848/2026 del 23.07.2026, acquisita in pari data dal **CSLP** con protocollo n. 11256 ha trasmesso la delibera del **CdA** del 15.02.2024 relativa all'approvazione della **RP** e dell'ulteriore documentazione ambientale nella quale è riportato:

"(…)

1) *Di approvare ai sensi dell'articolo 3, comma 3, del Decreto Legge 31 marzo 2023, n. 35 (convertito, con modificazioni, dalla Legge 26 maggio 2023, n.58 e s.m.i) – acquisito il parere del 29 gennaio 2024 del Comitato Scientifico di cui all'articolo 4, comma 6, della legge 17dicembre 1971, n 1158 (e s.m.i) – la "Relazione del Progettista" datata 20 gennaio 2024, di cui all'articolo 3, comma 2, del DL n. 35/2023, con le raccomandazioni/prescrizioni allegate al documento "Istruttoria per l'approvazione della Relazione del progettista e dell'ulteriore documentazione tecnico-ambientale" del 14 febbraio 2024;*
2) *di provvedere tempestivamente a trasmettere al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, la "Relazione del Progettista" e il progetto definitivo dell'Opera (CUP C41C23002750005) secondo quanto previsto dall'art. 3 comma 4, primo periodo, del D.L. n. 35/2023.*
3) *Di conferire mandato all'Amministratore Delegato Dott. Pietro Ciucci per porre in essere quanto richiesto, necessario o utile per l'attuazione delle deliberazioni di cui sopra nonché per l'espletamento delle attività e degli adempimenti inerenti, connessi e conseguenti all'argomento in oggetto, anche apportando modifiche non sostanziali alla documentazione suddetta, dando sin d'ora per rato e valido il suo operato.*

Il testo della suddetta delibera viene redatto, letto ed approvato seduta stante.

****

DELIBERA 6B)

In relazione al punto 6) <<Decreto Legge 31/03/2023, n.35 – Articoli 3 e 4 – "Relazione del progettista" e ulteriore documentazione tecnico-ambientale – Deliberazioni inerenti e conseguenti>> (…)".

2. ESAME DOCUMENTAZIONE, CHIARIMENTI E RISCONTRI

È stato condotto l'esame di tutta la documentazione disponibile (v. **Capitolo 1**) trattando approfonditamente tutti gli aspetti tecnici inerenti alla realizzazione dell'intervento in esame. A tal fine, si è ritenuto utile promuovere con **SdM** un'interlocuzione che si è attuata attraverso riunioni e audizioni, nonché con l'attivazione di tavoli tecnici permanenti e di confronto, aventi ad oggetto le varie tematiche oggetto del presente parere.

In particolare, previo incontro tenutosi con **SdM** e **CS 2023** in concomitanza con l'avvio dei lavori della **CR**, il 19 marzo 2026 ha preso avvio l'interlocuzione, che, nel tempo, si è così articolata:

- TAVOLI TECNICI PERMANENTI: 02 aprile 2026; 09 aprile 2026; 16 aprile 2026; 23 aprile 2026; 30 aprile 2026; 07 maggio 2026; 18 maggio 2026;
- TAVOLI DI CONFRONTO con **CS 2023**: 17 aprile 2026 e 08 maggio 2026;
- AUDIZIONI: 15 maggio 2026 e 6 luglio 2026.

Altresì la **CR** si è riunita nelle ADUNANZE PLENARIE tenutesi nelle date: 19 marzo 2026; 26 marzo 2026; 2 aprile 2026; 9 aprile 2026; 16 aprile 2026; 23 aprile 2026; 30 aprile 2026; 7 maggio 2026; 15 maggio 2026; 21 maggio 2026; 28 maggio 2026; 4 giugno 2026; 11 giugno 2026; 18 giugno 2026; 25 giugno 2026; 9 luglio 2026.

A seguito di quanto emerso nel corso delle riunioni, delle audizioni e dei tavoli tecnici si è proceduto con una serie di richieste di chiarimenti riguardanti, sia l'opera di attraversamento e viadotto Pantano, sia le opere di collegamento lato Calabria e lato Sicilia.

Si è ritenuto di approfondire le seguenti tematiche:

- modello geologico e sismotettonico;
- valutazione dell'azione sismica;
- valutazione dell'azione del vento e interazione vento/struttura;
- progettazione stradale, continuità funzionale e interoperabilità;
- sistemi impiantistici;
- sistema di sospensione;
- aspetti relativi alla navigazione;
- materiali da costruzione;
- aspetti relativi alla percorribilità;
- ispezionabilità, monitoraggio e manutenzione;
- carichi, robustezza strutturale e massa sismica.

La sequenza delle note di richiesta di chiarimento è quella riportata di seguito, in ordine cronologico in base ai protocolli di trasmissione:

- **Richiesta di chiarimenti n. 1, su aspetti relativi al modello geologico e sismotettonico;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_SS.Sezione Speciale. REGISTRO UFFICIALE.U.0007078.04-05-2026.
- **Richiesta di chiarimenti n. 2, su aspetti relativi all'azione sismica;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_SS.Sezione Speciale. REGISTRO UFFICIALE.U.0007632.11-05-2026.
- **Richiesta di chiarimenti n. 3, su aspetti del vento e della interazione vento/struttura;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_SS.Sezione Speciale. REGISTRO UFFICIALE.U.0007784.14-05-2026.
- **Richiesta di chiarimenti n. 4, su aspetti relativi alle norme e regole di progettazione stradale, alla continuità funzionale e all'interoperabilità;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_SS.Sezione Speciale. REGISTRO UFFICIALE.U.0007787.14-05-2026.
- **Richiesta di chiarimenti n. 5, su aspetti impiantistici;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_SS.Sezione Speciale. REGISTRO UFFICIALE.U.0007988.18-05-2026.

- **Richiesta di chiarimenti n. 6, sul sistema di sospensione;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_SS.Sezione Speciale. REGISTRO UFFICIALE.U.0007989.18-05-2026.
- **Richiesta di chiarimenti n. 7, su aspetti navigazionali;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_SS.Sezione Speciale. REGISTRO UFFICIALE.U.0007990.18-05-2026.
- **Richiesta di chiarimenti n. 8, sui materiali da costruzione; n**ota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_SS.Sezione Speciale. REGISTRO UFFICIALE.U.0008402.25-05-2026.
- **Richiesta di chiarimenti n. 9, su aspetti legati alla percorribilità;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_SS.Sezione Speciale. REGISTRO UFFICIALE.U.0008403.25-05-2026.
- **Richiesta di chiarimenti n. 10, su attività ispettive, monitoraggio e manutenzione;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_SS.Sezione Speciale. REGISTRO UFFICIALE.U.0008404.25-05-2026.
- **Richiesta di chiarimenti n. 11, su materiali e capacità, combinazioni di carico, robustezza strutturale;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_SS.Sezione Speciale. REGISTRO UFFICIALE.U.0008405.25-05-2026.
- **Richiesta di chiarimenti n. 12, su carico da traffico stradale, combinazioni di carico, massa sismica; n**ota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_SS.Sezione Speciale. REGISTRO UFFICIALE.U.0008406.25-05-2026.

Alle richieste di chiarimento è stato fornito riscontro con le note che si riportano di seguito, secondo l'ordine cronologico della data di ricezione:

- **Riscontro e allegati alla richiesta n. 1, su aspetti relativi al modello geologico e sismotettonico; n**ota prot. m_inf.AE02F53.CSLP.Consiglio Superiore dei LL.PP..REGISTRO UFFICIALE.E.0008661.29-05-2026.
- **Riscontro e allegati alla richiesta n. 6, sul sistema di sospensione;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_CSLP.Consiglio Superiore LL.PP..REGISTRO UFFICIALE.E.0008756.03-06-2026.
- **Riscontro e allegati alla richiesta n. 5, su aspetti impiantistici;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_CSLP.Consiglio Superiore LL.PP..REGISTRO UFFICIALE.E.0008804.04-06-2026.
- **Riscontro e allegati alla richiesta n. 7, su aspetti navigazionali;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_CSLP.Consiglio Superiore LL.PP..REGISTRO UFFICIALE.E.0008907.05-06-2026.
- **Riscontro e allegati alla richiesta n. 2, su aspetti relativi all'azione sismica;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_SG.Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici-Segreteria Generale. REGISTRO UFFICIALE.E.0008988.09-06-2026.
- **Riscontro e relativi allegati alla richiesta n. 8, sui materiali da costruzione;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_CSLP.Consiglio Superiore LL.PP..REGISTRO UFFICIALE.E.0009002.09-06-2026.
- **Riscontro e relativi allegati alla richiesta n. 10, su attività ispettive, monitoraggio e manutenzione;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_CSLP.Consiglio Superiore LL.PP..REGISTRO UFFICIALE.E.0009009.09-06-2026.
- **Riscontro e relativi allegati alla richiesta n. 11, su materiali e capacità, combinazioni di carico e robustezza strutturale;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_CSLP.Consiglio Superiore LL.PP..REGISTRO UFFICIALE.E.0009013.09-06-2026.
- **Riscontro e relativi allegati alla richiesta n. 12, su carico da traffico stradale, combinazioni di carico e massa sismica;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_CSLP.Consiglio Superiore LL.PP..REGISTRO UFFICIALE.E.0009016.09-06-2026.
- **Riscontro e allegati alla richiesta n. 3, su aspetti relativi all'azione del vento e alla interazione vento/struttura;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_CSLP.Consiglio Superiore LL.PP..REGISTRO UFFICIALE.E.0009105.10-06-2026.
- **Riscontro e allegati alla richiesta n. 4, su aspetti relativi alle norme e regole di progettazione stradale, alla continuità funzionale e all'interoperabilità;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_CSLP.Consiglio Superiore LL.PP..REGISTRO UFFICIALE.E.0009503.18-06-2026.
- **Riscontro e allegati alla richiesta n. 9, su aspetti legati alla percorribilità;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_CSLP.Consiglio Superiore LL.PP..REGISTRO UFFICIALE.E.0009506.18-06-2026.

- **Addendum al riscontro e allegati alla richiesta n. 12, su carico da traffico stradale, combinazioni di carico e massa sismica;** nota prot. m_inf.AE02F53.CSLP_CSLP.Consiglio Superiore LL.PP..REGISTRO UFFICIALE.E.0009551.19-06-2026.

I testi delle richieste di chiarimento e dei riscontri ricevuti sono riportati nell'Allegato 1 al presente parere e ne costituisce parte integrante.

3. MODALITÀ DI REDAZIONE DEL PARERE

3.1. Criteri adottati

Preliminarmente, l'**Assemblea** ritiene necessario illustrare i criteri adottati per la redazione del presente parere.

Detti criteri sono classificabili in:

- **ontologici**, se riguardano la natura stessa del parere;
- **tematici**, se attengono all'articolazione del parere negli specifici aspetti tecnici e al relativo coordinamento all'interno del parere;
- **metodologici**, se compongono la "struttura" al cui interno sono ospitate le prescrizioni e le raccomandazioni del parere.

L'adozione di detti criteri si rende necessaria alla luce:

- delle previsioni normative dell'art.1, comma 1, lettera b), punto 3 del **DL** 11 marzo 2026 n. 32, che dispone "*la sottoposizione al Consiglio superiore dei lavori pubblici, nell'ambito delle competenze al medesimo attribuite dall'articolo 1, comma 4, dell'Allegato I.11 al* codice dei contratti pubblici*, di cui al* **D.Lgs.** 31 marzo 2023, n. 36*, tenuto conto del parere espresso dal medesimo Consiglio sul progetto di massima dell'opera nell'adunanza del 10 ottobre 1997, di una* ***richiesta di parere sui profili tecnici di particolare complessità e rilevanza della relazione del progettista di cui all'*****articolo 3, comma 2, del decreto-legge n. 35 del 2023***";*
- della nota del 13 marzo 2026 n. 5286, richiamata per esteso nelle premesse, con la quale il Dipartimento per le infrastrutture e le reti di trasporto – Direzione generale per le strade e la sicurezza delle infrastrutture stradali ha sottoposto a questo Consesso una richiesta di parere:
  - *"sui profili tecnici di particolare complessità e rilevanza - ponte sospeso e viadotto Pantano - affrontati nella "Relazione del progettista" del 20.01.2024 e nelle raccomandazioni di natura tecnica del Comitato scientifico, all'interno del "Parere sulla relazione del progettista (D.L. 35/2023)" del 29.01.2024;*
  - *sulle opere di interfaccia ferroviaria e stradale con le reti esistenti e/o in progettazione".*

3.2. Oggetto e perimetro del parere

L'oggetto del parere discende dal contenuto dell'articolo 1, comma 3, del **DL** sopra citato, che richiama la **RP** (redatta nel 2024) sul sistema di "*Attraversamento stabile dello Stretto di Messina e dei Collegamenti Stradali e Ferroviari sui versanti Calabria e Sicilia*".

Come già detto nel **Capitolo 1**, si rammenta che la principale finalità della **RP** è l'adeguamento del **PD** mediante la definizione di prescrizioni e indirizzi da svilupparsi in sede di **PE**, in conformità alle norme tecniche in vigore, tenuto conto dello stato dell'arte della tecnica e della tecnologia costruttiva e tenuto conto dei risultati delle ulteriori prove sperimentali richieste dal **CS 2011**.

Pur trattandosi di un progetto unitario, affidato da **SdM** al **CG** - unico soggetto realizzatore –- l'oggetto del parere assume una duplice articolazione:

1) l'opera di attraversamento vera e propria (nel seguito l'**Opera**) ossia il ponte sospeso, le strutture terminali, il viadotto Pantano;
2) i collegamenti stradali e ferroviari lato Calabria e lato Sicilia.

Il parere è stato quindi articolato in due distinte sezioni che hanno fatto capo a due sottocommissioni (rispettivamente **CR1** e **CR2**) articolate in relazione alla ripartizione tematica dell'oggetto.

In merito, si precisa che le "*opere di interfaccia ferroviaria e stradale con le reti esistenti e/o in progettazione*" costituiscono i punti di connessione tra le opere previste dal progetto e il sistema infrastrutturale esistente, in corso di realizzazione o in fase di progettazione. Nell'ambito del presente parere, ferma restando la perimetrazione al parere stesso imposta dal **DL** 32/2026 sopra richiamato, al fine di offrire un contributo più completo e organico, l'analisi delle opere di interfaccia è stata estesa alle intere tratte di collegamento tra l'opera di attraversamento e il limite di progetto dello **SdM**, per quanto riguarda i profili tecnici di particolare complessità e rilevanza della **RP**.

I "*collegamenti*" di cui si parla nella **RP** sono rappresentati dalle opere stradali, ferroviarie e da altre infrastrutture che consentono di collegare l'"*opera di attraversamento*" al sistema infrastrutturale presente in Sicilia e in Calabria, e saranno realizzate dal **CG** unitamente all'opera di attraversamento. Queste opere di collegamento sono, a loro volta, connesse ad opere che saranno realizzate da altri soggetti; in particolare, le opere ferroviarie di **RFI** sono state sottoposte all'esame del **CSLP**.

Individuato l'oggetto del parere, la successiva precisazione riguarda l'estensione concettuale del parere stesso. Quest'ultimo, come indicato nel **DL** e nella lettera di richiesta sopra richiamati, è riferito ai "*profili tecnici di particolare complessità e rilevanza (…) affrontati nella Relazione del progettista*".

Innanzitutto, occorre soffermarsi sulla espressione "*profili tecnici*" esplicitamente contenuta nella norma e nella richiesta di parere; **da ciò deriva l'esclusione, dall'espressione del parere, degli aspetti giuridici, amministrativi, economici e contrattuali**.

Inoltre, sulla base dell'interpretazione assunta da questo Consesso, **sono esclusi anche altri aspetti quali, ad esempio, quelli inerenti alla localizzazione dell'opera e alla sua conformità agli strumenti di governo del territorio, nonché quelli ambientali, paesaggistici, archeologici, artistici e storici**. Detti aspetti, pur trattati nella **RP**, sono di competenza di altri soggetti istituzionali, individuati per legge, che si esprimono attraverso provvedimenti dedicati.

Tale perimetrazione del parere discende dalla necessità di garantire l'efficienza del procedimento, evitando inutili sovrapposizioni.

Pertanto, esclusi gli aspetti sopra richiamati, il parere è espresso in relazione ai "*profili tecnici di particolare complessità e rilevanza*", che sono solo alcuni dei molteplici aspetti tecnici che caratterizzano l'opera.

In merito, occorre segnalare che la "*complessità*" e la "*rilevanza*" degli aspetti tecnici oggetto del presente parere discendono sia dalle caratteristiche oggettive degli stessi (*la complessità*), sia dal giudizio soggettivo di chi li valuta (*la rilevanza*).

In tal senso, oltre alle implicazioni metodologiche di cui si dirà appresso, la valutazione degli aspetti tecnici della **RP** caratterizzati da "*particolare complessità e rilevanza*", ha portato questo Consesso ad escludere altri aspetti, oltre a quelli precedentemente citati, quali, a titolo esemplificativo e non esaustivo:

- il censimento e la risoluzione delle interferenze per presenza di sottoservizi;
- le opere accessorie (Belvedere, Centro direzionale, ecc.);
- le stazioni/fermate presenti nel collegamento ferroviario lato Sicilia;
- gli aspetti legati ai tempi di esecuzione dei lavori;
- gli aspetti tecnologici connessi alla cantierizzazione delle opere;
- gli aspetti relativi alla sicurezza nei cantieri mobili.

Anche in questo giova precisare che l'esclusione degli aspetti sopra richiamati non integra un giudizio di "*non rilevanza*" degli stessi, ma discende da una modulazione dell'aggettivo "*particolare*", che ha portato questo Consesso a concentrare la propria attenzione sui principali aspetti che influiscono sulla fattibilità tecnica dell'opera nel suo complesso.

L'esame dei *"profili tecnici di particolare complessità e rilevanza"* è avvenuto attraverso una ben definita "porta d'ingresso", rappresentata dalla RP.

Il parere, come verrà evidenziato nei paragrafi che seguono, è caratterizzato da un approccio metodologico e da una organizzazione dei contenuti modulati, da un lato, sulla richiesta del parere stesso, dall'altro, sulla natura del tutto eccezionale dell'opera in esame.

3.3. Gerarchizzazione e temporizzazione delle "considerazioni" del parere

Come da consolidata prassi tecnico-amministrativa, i pareri di questo Consesso contengono un insieme composito di "*considerazioni*" per ciascun aspetto tecnico esaminato.

Per i distinti aspetti tecnici esaminati, le considerazioni sono gerarchizzabili in:
- prescrizioni;
- raccomandazioni.

Le sole prescrizioni, quando recepite in un atto di Amministrazione attiva, assumono valore vincolante.

Inoltre, le "*considerazioni*" sono parcellizzate sulla scala dei tempi, in funzione della specifica fase nella quale occorre tenerne conto (v. Tabella 3-1). Nel complesso, si tratta di una "*struttura informativa*" appositamente concepita per conferire efficienza ed inequivocità alla gestione del processo progettuale, già adottata da questo Consesso per l'esame dei progetti delle opere pubbliche del **PNRR**.

In particolare, l'incardinamento delle "*considerazioni*" in specifici momenti del processo progettuale esecutivo (distinto in **Fase A** e **Fase B**) risponde all'esigenza di tener conto dell'evidente carattere di propedeuticità di determinate attività di progettazione esecutiva rispetto ad altre.

Pertanto, per gli aspetti di particolare rilevanza, nella programmazione delle fasi di sviluppo del **PE** si forniscono prescrizioni relative alla **Fase A**, che devono intendersi propedeutiche rispetto a quelle previste nella **Fase B**.

Per gli altri aspetti non ritenuti oggetto di "*considerazioni*" di natura prescrittiva, si forniscono raccomandazioni, relative alla **Fase A** o alla **Fase B** del **PE**.

Nel Capitolo 14 si riporta una complessiva tabella sinottica che riassume i contenuti dell'insieme di tutte le "considerazioni" del presente parere, gerarchizzate secondo le modalità sopra definite. Peraltro, detta struttura metodologica per fasi, è in linea con quanto disposto:
- dal parere del **CS 2011** (v. § 1.6, ultimo capoverso);
- dall'art. 3, comma 2, lettera f) del **DL** 31 marzo 2023, n. 35 "*Disposizioni urgenti per la realizzazione del collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria*" convertito con modificazioni dalla **L** 26 maggio 2023, n. 58, dove recita: *"Nella relazione sono altresì indicate le ulteriori prescrizioni da sviluppare nel progetto esecutivo al fine di adeguarlo: (...) f) alle* ***prove sperimentali richieste dal parere espresso dal Comitato scientifico*** *di cui all'articolo 4, comma 6, della legge 17 dicembre 1971, n. 1158, sul progetto definitivo approvato dal Consiglio di amministrazione della società il 29 luglio 2011".* Dette "*prove sperimentali*" sono, ovviamente, ascrivibili alla **Fase A** in quanto propedeutiche al successivo sviluppo della progettazione.

Inoltre, nella **RP**, al § 3.6.4 "*Riscontro ai restanti commenti del Comitato Scientifico, del PMC e di RINA*" è riportato quanto segue:
"*Viene dato riscontro ai commenti espressi dal Comitato Scientifico, dal PMC, e dal RINA in sede di revisione del Progetto Definitivo (2011). Per ogni commento è espressa una priorità, in termini di una scala 1-4, secondo la definizione che ne è stata data nel verbale della riunione tenutasi il 28-09-2011, presenti rappresentati di Stretto di Messina, PMC e Contraente Generale, e che si riporta testualmente:*

1. *Open Item is not critical because there is a problem of form and not of substance;*
2. *The detailed development can be carried out during the approval of the Progetto Esecutivo;*
3. *The solution of the Open Item requires refinements of the design necessary for the development of Progetto Esecutivo;*
4. ***The solution of the Open Item requires refinements of the design necessary for the development of Progetto Esecutivo to be executed before the start of relevant activities".***

Pertanto, si conferma il criterio metodologico di articolazione delle attività tecniche per fasi della progettazione esecutiva, secondo un necessario ordine di propedeuticità.

	Redazione del progetto esecutivo			
	FASE A *Integrazione del quadro conoscitivo e degli studi, indagini, prove e verifiche propedeutiche all'esecuzione della* ***FASE B***	***FASE B*** *Sviluppo del progetto*	***FASE C*** *Esecuzione dei lavori*	***FASE D*** *Gestione dell'opera*
Prescrizioni				
Raccomandazioni				

Tabella 3-1.- Organizzazione della struttura metodologica delle "considerazioni" per fasi

3.4. Aspetti di metodo

Definito l'oggetto e delimitato l'ambito del parere, individuati gli aspetti tecnici da esaminare, è stato preliminarmente stabilito il metodo da applicare nella valutazione degli aspetti medesimi.

Al riguardo, è di tutta evidenza la differenza concettuale, progettuale e operativa, intercorrente fra le due parti che caratterizzano l'opera.

La prima parte – l'**Opera** – è connotata da un carattere di "*eccezionalità*" non tanto dovuto alla tipologia strutturale assunta, quanto piuttosto alle dimensioni del manufatto ed alla soluzione modale prescelta (stradale e ferroviaria), che le conferiscono caratteristiche uniche a livello mondiale.

Ciò comporta e ampiamente giustifica, per tutti gli aspetti tecnici esaminati nel presente parere, il particolare carattere di complessità e rilevanza a cui si è più volte fatto riferimento.

La seconda parte – le opere di collegamento – è caratterizzata, invece, da contenuti di "*ordinarietà*" che nulla tolgono alla complessità e rilevanza delle stesse in ordine al funzionamento complessivo del "*sistema ponte e relativi collegamenti*", ma che giustificano, tuttavia, un ricalibrato approccio metodologico rispetto a quello adottato in relazione all'**Opera**.

Pertanto, l'approccio adottato e anche gli aspetti trattati sono stati differenziati in base alle due parti in cui è stato suddiviso l'esame; tale scelta tiene anche conto della specifica natura dell'oggetto indagato e della particolare complessità e rilevanza degli aspetti valutati.

Infine, si precisa che la valutazione degli aspetti progettuali dell'opera in esame è cosa ben distinta dalla valutazione relativa agli aspetti gestionali dell'opera stessa, in fase di esercizio. Se, come si è detto, la natura delle parti che compongono l'opera consente una trattazione separata degli aspetti progettuali, **del tutto diverso è l'esame degli**

aspetti gestionali, per i quali l'insieme delle opere oggetto del presente parere deve essere trattato come un "sistema", composto da oggetti funzionalmente interconnessi.

Sempre in merito agli aspetti di metodo adottati nella redazione del parere, va rappresentato che, oltre alle richieste di chiarimento fatte alla **SdM** ed elencate nel precedente **Capitolo 2**, si sono anche svolte, come già segnalato nelle premesse, alcune interlocuzioni con il **CS 2023**.

Questo Consesso è pervenuto alla formulazione del presente parere solo dopo aver esaminato i contenuti del *Parere sulla Relazione del Progettista* del CS 2023 e, in particolare, le 68 raccomandazioni nello stesso parere esplicitate e le 21 raccomandazione contenute nel parere della CS 2011, richiamate nel parere della CS 2023.

3.5. Aspetti di merito

Nel seguito si introducono gli aspetti di merito di carattere generale, in riferimento a quanto riportato nella **RP** e nei *Fondamenti*. Le ricadute di carattere tecnico progettuale sulle singole parti dell'opera saranno approfondite nei corrispondenti **Capitoli** del Parere.

3.5.1. Rapporto gerarchico tra Norme tecniche nazionali e "Fondamenti"

Il **DL** 31 marzo 2023, n. 35, Disposizioni urgenti per la realizzazione del collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria, convertito con modificazioni dalla **L** 26 maggio 2023, n. 58 al comma 2 dell'art. 3 stabilisce che:
"il progetto definitivo dell'opera (…) è integrato da una relazione del progettista (…). Nella relazione sono altresì indicate le ulteriori prescrizioni da sviluppare nel progetto esecutivo al fine di adeguarlo:

a) alle norme tecniche per le costruzioni NTC2018, di cui al decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti 17 gennaio 2018, pubblicato nel supplemento ordinario n. 8 alla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018, e alle conseguenti modifiche alla modellazione geologica e alla caratterizzazione geotecnica;
b) alla normativa vigente in materia di sicurezza;
c) alle regole di progettazione specifiche di cui ai manuali di progettazione attualmente in uso, salve deroghe;
d) alla compatibilità ambientale;
e) agli eventuali ulteriori adeguamenti progettuali ritenuti indispensabili anche in relazione all'evoluzione tecnologica e all'utilizzo dei materiali di costruzione;
f) alle prove sperimentali richieste dal parere espresso dal Comitato scientifico di cui all'articolo 4, comma 6, della legge 17 dicembre 1971, n. 1158, sul progetto definitivo approvato dal Consiglio di amministrazione della società il 29 luglio 2011".

In relazione alla lettera a) di cui sopra si evidenzia che nel Documento *"Fondamenti Progettuali nel quadro delle normative NTC 2008, ITA" - PG0024_F* e nel documento *"Manuale applicativo riferito ai fondamenti progettuali" - PG0025_F* è riportato quanto segue:
"Il presente documento definisce le azioni convenzionali da porre a base della valutazione e del calcolo del cimento del Ponte, distinguendo tra azioni ambientali, indotte da fenomeni naturali dell'ambiente fisico (vento, sisma, azioni termiche), ed azioni antropiche. Per le azioni ambientali, la cui identificazione deriva da insiemi statistici di misure su lunghi periodi, sono forniti i dati numerici e le correlazioni che descrivono i diversi fenomeni naturali esplicitamente considerati. (…). Per quanto riguarda le azioni che cimentano il Ponte, la valutazione della resistenza degli elementi strutturali, la sicurezza dell'Opera e il comportamento nelle condizioni di esercizio, valgono le Norme di legge vigenti in Italia (…), entro i campi di validità dalle stesse definiti. Al di fuori dei campi di validità delle Norme Italiane, valgono le prescrizioni e le indicazioni contenute nel presente documento".

La **RP** riporta al § 3.1. una interpretazione di quanto sopra:
"I "Fondamenti" contengono quindi, in estrema sintesi, due classi concettuali di prescrizioni progettuali che rispettivamente integrano le normative nazionali o gerarchicamente prevalgono su di esse:

- *Prescrizioni integrative particolari su aspetti non presenti nelle normative nazionali.*

- *Prescrizioni gerarchicamente prevalenti sulle normative nazionali per aspetti che in esse sono presenti, ma che nel caso del Ponte sono stati oggetto di studi specifici di approfondimento, come esplicitamente consentito dalle normative stesse."*

Inoltre, al punto 3.1.4.1 della **RP** si legge:
"*Le verifiche degli elementi strutturali in calcestruzzo armato, in carpenteria metallica oppure in struttura mista acciaio-calcestruzzo, saranno svolte in sede di Progetto Esecutivo applicando integralmente le prescrizioni delle NTC 2018, laddove applicabili, oppure normative di comprovata validità per quanto non coperto delle medesime NTC*".

All'interno del testo delle **NTC 2018** in più punti è esplicitamente consentito, in assenza di più precise indicazioni, l'utilizzo di testi tecnici di comprovata validità di cui al Capitolo 12 nonché, per la quasi totalità delle azioni, di fare riferimento a adeguate indagini statistiche, specifici studi locali, prove sperimentali e modelli avanzati, purché adeguatamente giustificati, per la determinazione delle azioni medesime. Questo vale in generale e in particolare per costruzioni di forma o tipologia inusuale o eccezionale, come nel caso dei ponti sospesi di grande luce.

Pertanto, i *Fondamenti* costituiscono un riferimento vincolante solo per quanto non specificato dalla Norma nazionale. In tal caso, essi devono riferirsi, ai sensi del Capitolo 12 delle **NTC 2018**, ad una o più di queste fattispecie:

- normative tecniche coerenti con i principi posti alla base delle **NTC 2018**;
- documenti che "*costituiscono riferimenti di comprovata validità*";
- altri codici internazionali. In tal caso, "*è responsabilità del progettista garantire espressamente livelli di sicurezza coerenti*" con quelli delle **NTC 2018**.

Questo **Consesso** però fa notare che, in base alle considerazioni di cui sopra, la risposta e la successiva nota integrativa, data dai progettisti alla "*Richiesta di chiarimenti n. 12 su: carico da traffico stradale; combinazioni di carico; massa sismica*" di cui al prot. **CSLP** n. 8406 del 25.05.2026, non sono conformi alle soprariportate considerazioni e interpretazioni. In particolare, la nota integrativa riporta quanto segue:
"*In questo quadro, come ribadito nella "Relazione del Progettista" del 2023, la Stretto di Messina ha sempre considerato i "Fondamenti Progettuali" integrativi rispetto alla normativa nazionale, laddove quest'ultima non sia compiutamente applicabile perché non specifica, considerata la peculiarità e, inoltre, l'eccezionalità dell'Opera*"

(…)

"*In conclusione, si ritiene di poter affermare che i "Fondamenti Progettuali", pur con le loro differenze rispetto alle successive NTC08 e ora NTC18, costituiscono una solida base per il progetto, mirata a livelli di sicurezza in generale superiori a quelli di una struttura progettata con le normative nazionali.*"

Per tutto quanto sopra considerato, l'Assemblea ribadisce, senza eccezione alcuna, che le NTC 2018 sono sempre "gerarchicamente prevalenti" sui "*Fondamenti*" e sul "*Manuale*" e che questi, insieme ai relativi documenti di aggiornamento, indicati nella RP come "*Applicativi Fondamenti Progettuali*", costituiscono e costituiranno un riferimento vincolante solo per quanto non specificato dalla Norma nazionale e per quanto da questa esplicitamente consentito, garantendo comunque livelli di sicurezza uguali o superiori a quelli richiesti dalle NTC 2018 medesime.

In ultimo, è utile ricordare che, per opere di particolare importanza, oltre al metodo semiprobabilistico, le **NTC 2018** consentono l'utilizzo anche di metodi di livello superiore, sulla base di indicazioni contenute in documenti di comprovata validità, di cui al Capitolo 12 delle **NTC 2018**. A tal proposito si sottolinea che al § C2.3 la **Circolare NTC 2018** riporta "*Appare utile sottolineare come l'implementazione di questi ultimi metodi richieda la dimostrazione di specifiche competenze, nonché della disponibilità di dati sufficienti per l'adeguata modellazione probabilistica delle variabili in gioco, essendo i risultati di tali analisi largamente influenzati dalle ipotesi assunte alla base delle verifiche stesse*.". Ulteriori considerazioni in merito sono riportate nel **Capitolo 5** del presente parere.

3.5.2. Vita nominale di progetto e azioni relative ai diversi Stati Limite

La **RP** (pag. 61) richiama le definizioni delle **NTC 2018** su $\mathbf{V_N}$, $\mathbf{C_U}$ e $\mathbf{T_R}$, indicando un valore della $\mathbf{V_N}$ pari a 200 anni, in accordo con i *Fondamenti*, i quali specificano che "*Il sistema di ritegno/supporto, il sistema principale di sospensione e l'impalcato devono avere una vita di progetto di 200 anni. Le altre componenti possono avere una vita di progetto più breve*".

Le **NTC 2018** definiscono, convenzionalmente, la vita nominale di progetto $\mathbf{V_N}$ come "*il numero di anni nel quale l'opera, purché ispezionata e manutenuta come previsto in progetto, manterrà i livelli prestazionali e svolgerà le funzioni per le quali è stata progettata*". La Norma indica, nella Tab. 2.4.1., i valori minimi di $\mathbf{V_N}$ da adottare per i diversi tipi di costruzione e specifica che "*tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo*".

Riguardo alla scelta riportata nei *Fondamenti* di assumere una $\mathbf{V_N}$ pari a 200 anni, dunque maggiore del valore minimo proposto dalla Norma (Tab. 2.4.1) in relazione al tipo di opera, essa è legata, in modo particolare, alle prestazioni di durabilità ed assume un carattere contrattuale vincolante.

La **Circolare NTC 2018**, recita, in proposito, al punto C2.4.1: "*Il livello di prestazione rispetto alla durabilità da fornire alla costruzione dovrà perciò scaturire da una valutazione tecnico-economica che il Committente stabilirà a seguito di un'opportuna interazione con il progettista, ed è disgiunta dalle indicazioni che la norma fornisce per individuare la classe d'uso da attribuire*". La stessa **Circolare NTC 2018** attribuisce "*la facoltà di garantire una maggiore durabilità adottando valori della Vita nominale maggiori*" dei minimi indicati dalla Norma.

I *Fondamenti* riportano i periodi di ritorno per le azioni ambientali per i diversi Stati Limite. Fanno eccezione gli **SLIS**, trattati nel § 5.4.3 del presente parere, per i quali ci si riferisce a scenari di contingenza ed eventi estremi.

La **RP** spiega che i periodi di ritorno riportati nei *Fondamenti* sarebbero determinati considerando un periodo di riferimento pari a 200 anni. Nel merito si rileva che, con riferimento all'equazione 3.2.0 della Norma e considerata la Classe d'uso IV da attribuire all'**Opera**, sono da risolvere gli aspetti di non chiarezza riguardo alla determinazione dei periodi di ritorno dell'azione sismica per i diversi Stati Limite.

In particolare, il $\mathbf{T_R}$ riferito all'azione sismica per ciascuno Stato Limite è direttamente correlato a $\mathbf{V_R}$ e alla $\mathbf{P_{VR}}$. Secondo quanto riportato nella Tabella 2.4.II della Norma, si deve assumere $\mathbf{C_U=2}$. Ne consegue che i valori di $\mathbf{T_R}$ per i diversi Stati Limite riportati nei *Fondamenti* debbano essere rideterminati.

Si osserva che, quanto riportato nella **RP**, secondo cui "*un periodo di riferimento di 200 anni è invece corrispondente al più alto livello di prestazioni presente nelle NTC2018 ai fini della valutazione delle azioni simiche per opere strategiche*" non è rispondente a quanto riportato dalle **NTC 2018**. La Norma, infatti, indica in Tab. 2.4.I i valori minimi della Vita nominale $\mathbf{V_N}$ di progetto per i diversi tipi di costruzioni e non pone alcuna limitazione al periodo di riferimento $\mathbf{V_R}$, da cui dipendono le azioni sismiche per ciascuno Stato Limite e, conseguentemente, le prestazioni dell'opera.

Se ne deduce che, dato il valore $\mathbf{V_N=200}$ **anni** assunto nei *Fondamenti*, il periodo di ritorno dell'azione sismica allo **SLV** eccede sia il valore indicato nei *Fondamenti* sia il limite superiore $\mathbf{T_R}$=2475 anni d*ell' "intervallo di riferimento della pericolosità sismica oggi disponibile"*, come riportato dalla **Circolare NTC 2018**. Peraltro, nella nota alla tabella C.3.2.1 della **Circolare NTC 2018** si richiama che "*per opere speciali possono considerarsi azioni sismiche riferite a* T_R *più elevati*". Né nella **RP**, né nei *Fondamenti* si rinvengono esplicite considerazioni in merito.

Alla luce di quanto sopra espresso, l'**Assemblea** osserva e prescrive quanto segue:

- è condivisibile la scelta, riportata nei *Fondamenti* e nella **RP**, di una $\mathbf{V_N}$ pari a 200 anni, maggiore del valore minimo indicato dalla Norma, in particolare per quanto riguarda la durabilità dell'opera;
- è necessario un allineamento alla Norma, rideterminando i periodi di riferimento $\mathbf{T_R}$ per i diversi Stati Limite;

- la definizione delle azioni e dei requisiti di affidabilità nei confronti dei diversi Stati Limite deve essere coerente con il valore scelto della $\mathbf{V_N}$ di progetto.

3.5.3. Coefficienti parziali per il progetto dell'Opera

Un problema di particolare rilievo ai fini dello sviluppo del **PE**, per le potenziali ricadute sul dimensionamento dell'opera e dei suoi componenti principali, è la definizione dei coefficienti parziali per materiali e azioni e dei coefficienti di combinazione da adottare nelle verifiche.

Il tema è trattato nel § 5.2 e nel § 7.1.1 del presente parere, nei quali, rispettivamente, si inquadrano i metodi per la valutazione dell'affidabilità strutturale e si riportano osservazioni specifiche, a partire dalla constatazione che i valori dei coefficienti parziali indicati nei *Fondamenti* del **PD** non sempre risultano essere allineati con le **NTC 2018**.

I coefficienti parziali indicati dalla Norma, utilizzati nell'ambito del metodo semi-probabilistico agli Stati Limite, mirano convenzionalmente al rispetto di predeterminati livelli di affidabilità per i diversi Stati Limite. Pertanto, nel caso in cui si adottino valori diversi dei coefficienti parziali rispetto ai valori indicati dalle **NTC 2018**, è necessario dimostrare il rispetto di tali livelli di affidabilità. Tuttavia, le **NTC 2018** non esplicita il valore numerico dei livelli di affidabilità accettabili. I valori delle probabilità di superamento massime per ciascuno Stato Limite e per le diverse Classi di conseguenze sono invece esplicitati dagli Eurocodici.

Dall'analisi delle combinazioni di carico riportate nei *Fondamenti* e nel *Manuale*, assunte come riferimento per le verifiche globali (Tabelle 24 e 25), si evidenzia che, per i pesi propri strutturali (PP), è stato considerato un coefficiente parziale μ, per le combinazioni "non sismiche", che, nel caso di azione sfavorevole, è pari ad 1.15 per gli elementi strutturali metallici ed 1.25 per gli elementi strutturali in conglomerato cementizio, inferiori rispetto al coefficiente parziale definito per i pesi propri nelle tabelle di NTC08 5.1.V (ponti stradali) e 5.2.V (ponti ferroviari), pari ad 1,35.

Tale aspetto è stato anche oggetto di una richiesta di chiarimento del **CSLP**, trasmessa con nota n. 8406 del 25.05.2026, a cui la **SdM**, con nota n. 1497 del 18.06.2026, ha risposto evidenziando che come ribadito nella "Relazione del progettista" del 2023, la **SdM** ha sempre considerato i "*Fondamenti Progettuali" integrativi rispetto alla normativa nazionale, laddove quest'ultima non sia compiutamente applicabile perché non specifica, considerata la peculiarità e l'eccezionalità dell'Opera*".

Ribadendo quanto specificato al §3.5.1 riguardo al rapporto gerarchico tra normativa nazionale e *Fondamenti*, si evidenzia che nel caso specifico le **NTC 2018** sono compiutamente applicabili. Si evidenzia, altresì, che la stessa Norma consente, "per opere di particolare importanza", l'utilizzo di metodi di verifica di livello superiore rispetto al metodo semi probabilistico considerato dalla Norma, come meglio specificato al § 5.2 del presente parere.

3.5.4. Percorribilità dell'infrastruttura e comfort dei passeggeri

La percorribilità ferroviaria e/o stradale è intesa come la condizione di idoneità tecnico-funzionale dell'infrastruttura e delle opere d'arte a consentire - sotto l'azione combinata delle azioni ambientali previste - il transito dei veicoli nel rispetto dei livelli di sicurezza strutturale, sicurezza di marcia o di circolazione, compatibilità dinamica e continuità funzionale richiesti dalla normativa applicabile.

Per la componente ferroviaria, tale condizione comprende anche la verifica dell'interazione veicolo–binario–opera ai fini delle verifiche allo svio e al ribaltamento e della conformità ai requisiti delle Specifiche Tecniche di Interoperabilità Europee.

Per la componente stradale, comprende la verifica della compatibilità dell'opera con i modelli di traffico previsti e gli associati effetti dinamici.

Il comfort dei passeggeri è la condizione di esercizio per cui il transito dei veicoli su infrastrutture ferroviarie o stradali in combinazione con le azioni ambientali previste, avviene senza generare livelli di vibrazione, accelerazione, scuotimento e jerk eccessivi, tali da causare disagio psicofisico agli utenti o disturbi che ne compromettano il benessere.

Entrambi gli aspetti concernenti la funzionalità sono trattati nel capitolo 3.1 dei *Fondamenti* di cui nel seguito si riporta uno stralcio:
"*3.1 Sicurezza strutturale e funzionalità*

(…)

Le verifiche agli Stati Limite di Servizio (SLS1 e SLS2) garantiscono la funzionalità dell'Opera in condizioni di esercizio. Tali verifiche comprendono il controllo delle deformazioni dell'impalcato e delle vie di corsa, anche in relazione agli aspetti concernenti il comfort e la sicurezza dei veicoli in transito. Tra le grandezze da controllare sono inclusi gli spostamenti, le pendenze, le curvature, le distanze per la visibilità, le velocità e le accelerazioni relative alla percorribilità del Ponte e all'interazione della struttura con i veicoli, oltre al comportamento cinematico che assicura il corretto funzionamento dei giunti stradali e ferroviari (...)".

Gli aspetti sopra richiamati, insieme a quelli relativi alla percorribilità, sono trattati nel § 5.4.2 e nel **Capitolo 8** del presente parere.

Nel **PD**, i criteri di percorribilità e comfort, sia ferroviari, sia stradali, sono richiamati nei *Fondamenti,* rispettivamente nel § 4.3.1 e 4.3.2.

Nel seguito le due categorie di requisiti saranno trattate separatamente.

3.5.4.1. Percorribilità

La verifica del possesso dei requisiti di percorribilità ferroviaria richiede di considerare congiuntamente il comportamento del convoglio, del binario (con predeterminati livelli di irregolarità) e della struttura sottoposta alle azioni ambientali previste; infatti, i tre sottosistemi (struttura, binario e convogli) interagiscono mutuamente in modo dinamico determinando una risposta del sistema complessivo marcatamente non lineare.

Analogamente l**a verifica del possesso dei requisiti di percorribilità stradale** richiede di considerare congiuntamente il comportamento dei veicoli e della struttura nonché le soglie tecniche, geometriche e fisiche che una strada deve garantire per consentire ai veicoli di transitare in modo fluido, continuo e sicuro.

Le condizioni di accettazione sono espresse mediante parametri geometrici, cinematici e dinamici, quali pendenze longitudinali e trasversali, accelerazioni verticali e longitudinali della sede stradale e ferroviaria e del veicolo. A questi si aggiungono per la parte ferroviaria le condizioni inerenti allo sghembo totale di binario, le accelerazioni non compensate, le velocità di rollio e i criteri specificamente rivolti alla sicurezza nei confronti dello svio, rappresentati dal rapporto tra forza laterale e forza verticale al contatto ruota–supporto e dal coefficiente di scarico della ruota per il ribaltamento.

Sia per la parte stradale che ferroviaria, dovranno altresì essere controllati gli aspetti cinematici e dinamici in corrispondenza dei giunti di estremità e dei relativi dispositivi atti a garantire la continuità del piano stradale e dei binari, controllando (numericamente e sperimentalmente) che gli spostamenti calcolati siano compatibili con le soluzioni progettuali adottate.

Le verifiche devono essere sviluppate per le condizioni di esercizio e per le combinazioni di azioni pertinenti, considerando le velocità dei convogli massime, le diverse tipologie di veicolo previste e gli effetti delle concomitanti azioni ambientali (vento, temperatura, sisma) previste nelle **NTC 2018**, nei manuali dei Gestori e specificati nei *Fondamenti*.

Sia la disciplina applicata al progetto, sia quella successivamente introdotta dalla Normativa specifica, richiedono che le prestazioni richieste siano garantite anche impiegando misure mitigative (barriere al vento, etc.) delle quali deve essere dimostrata l'efficacia, anche con prove sperimentali.

Nel caso in esame, la notevole deformabilità dell'impalcato, la durata dell'attraversamento, la possibile presenza contemporanea di più convogli sia stradali, sia ferroviari, rendono necessaria una valutazione dell'interazione treno–binario–struttura specifica, valutandone le interazioni con il traffico stradale.

Le stesse analisi descritte nel **PD** hanno evidenziato la rilevanza delle condizioni di vento trasversale ai fini del ribaltamento, la necessità di approfondire alcuni parametri di comfort, gli effetti del sisma su specifiche parti dell'**Opera** e le possibili amplificazioni dinamiche in corrispondenza degli apparecchi di dilatazione e delle zone di transizione dell'armamento.

I criteri usualmente utilizzati per i ponti ferroviari e stradali devono essere accompagnati da approfondimenti in grado di tenere conto dell'eccezionalità geometrica, dinamica e funzionale dell'Opera, anche in termini di conseguenze che un'eventuale perdita delle condizioni di marcia potrebbe produrre, sia sul mezzo, sia sulla struttura.

Infine, gli esiti delle analisi dovranno consentire di definire le necessarie condizioni di gestione del traffico.

3.5.4.2. Comfort

La verifica del possesso dei requisiti di comfort richiede di considerare congiuntamente il comportamento del sistema convoglio/veicolo, binario (per la parte ferroviaria) e struttura sottoposta alle azioni ambientali previste dalle specifiche di riferimento.

Così come previsto dai *Fondamenti*, le condizioni di accettazione sono espresse per la parte ferroviaria in termini di "Indice di Comfort", accelerazione di picco in cassa, accelerazione **RMS** trasversale e verticale, nonché di contraccolpo.

In base ai risultati degli approfondimenti progettuali di **PE** (**Fase B**), laddove dovessero determinarsi condizioni di ventosità che compromettono i livelli di comfort di entità inferiore a quelle relative alle verifiche di percorribilità, dovrà procedersi secondo quanto indicato al successivo § 8.6.

Gli aspetti sopra richiamati, insieme a quelli relativi alla percorribilità, sono trattati nel § 5.4.2 e nel **Capitolo 8** del presente parere.

3.5.5. Cornice normativa in materia di progettazione di infrastrutture stradali

Nel 2001, in attuazione dell'art. 13 del **D.Lgs.** 30 aprile 1992, n. 285 "*Nuovo Codice della Strada*" e successive modifiche e integrazioni, il Ministro dei lavori pubblici ha emanato il **DM** 5.11.2001 n.6792, recante "*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*", cui è seguito, nel 2006, il **DM** 19.4.2006 recante "*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali*".

Entrambe le norme sono "*improntate alla sicurezza della circolazione di tutti gli utenti della strada*" come richiesto dal c.1 dello stesso art. 13 del Nuovo Codice della Strada.

Nell'attuale previsione progettuale sono presenti non conformità rispetto alle norme obbligatorie sopra richiamate; tra queste, la più rilevante – poiché direttamente impattante su numerose valutazioni e verifiche relative alle prestazioni tecniche delle opere in progetto, con significative ricadute in termini di sicurezza attesa – riguarda la velocità di progetto prevista per l'opera di attraversamento.

Dalla previsione progettuale si è fatta discendere anche la velocità di progetto adottata, l'impostazione e la definizione del tracciato stradale e degli elementi compositivi della complessiva infrastruttura stradale da realizzare per l'itinerario che permette il collegamento stabile del Continente con la Sicilia.

In linea generale, tutto ciò considerato, si evidenzia che:

- il **Capitolo 8** è dedicato alla percorribilità dell'**Opera** e concerne l'esame delle problematiche relative alle speciali condizioni dinamiche e visuali che su tale eccezionale opera possono interessare il moto e la guida dei veicoli ferroviari e stradali;
- il **Capitolo 11**, dedicato a tutti gli altri interventi sulla rete ferroviaria e stradale necessari per realizzare il collegamento, contempla invece un'ampia esplicazione dei profili di non conformità e degli adeguamenti necessari per superarli.

3.6. Guida alla lettura del parere

Il parere si articola in capitoli dedicati all'opera di attraversamento, al viadotto Pantano e alle opere di collegamento stradale e ferroviario.

Di norma, per quanto riguarda gli aspetti strutturali, si è fatto riferimento:

- alle problematiche relative alla definizione della domanda[1], con riferimento alle diverse azioni rilevanti;
- al confronto tra la capacità[1] di progetto dell'opera e la domanda[1].

Tale sistematizzazione ha consentito una più chiara e organica presentazione del parere, seguendo la quale ogni aspetto trattato ha trovato la giusta collocazione nel processo di rilettura dei numerosi elaborati progettuali.

Riguardo l'opera di attraversamento, inizialmente sono state estrapolate le considerazioni riguardanti gli aspetti generali alla base del progetto, quali la definizione del modello geologico e sismotettonico, trattata diffusamente nel **Capitolo 4**, e la definizione dei livelli di affidabilità dell'opera, degli stati limite e dei modelli delle azioni ambientali (sisma e vento) illustrati nel **Capitolo 5**.

In questo modo è stato poi possibile esaminare unitariamente, nel **Capitolo 6**, la valutazione della domanda, articolata in azioni permanenti, azioni variabili, azione sismica, azione del vento, azione della temperatura, azioni eccezionali. Ciò con riferimento alla **RP** e agli altri documenti di riferimento presi in esame nel presente parere.

Il **Capitolo 7** analizza gli aspetti progettuali del ponte sullo Stretto legati al confronto tra capacità e domanda, partendo dall'esame dei requisiti di affidabilità dell'opera e dai materiali utilizzati, per proseguire poi discutendo degli approcci utilizzati per la verifica delle diverse componenti strutturali, articolate in fondazioni, sistema di sospensione, torri, impalcato, giunti di dilatazione e buffer.

Per il ponte sullo Stretto, hanno richiesto un'analisi specifica gli aspetti legati all'esercizio e alla percorribilità, esaminati, come già detto, nel **Capitolo 8**, e gli aspetti legati al monitoraggio e alla manutenzione, esaminati nel **Capitolo 9**, mentre gli aspetti legati agli impianti, sono esaminati nel **Capitolo 12,** trattando insieme l'intera opera di attraversamento (ponte sullo Stretto e viadotto Pantano).

Gli aspetti strutturali specifici del viadotto Pantano sono illustrati in un solo capitolo (**Capitolo 10**) seguendo lo schema già adottato per il ponte sullo Stretto e cioè trattando prima le problematiche legate alla domanda, poi le

[1] "*S'intende per:*

- *capacità di un elemento strutturale o di una struttura: l'insieme delle caratteristiche di rigidezza, resistenza e duttilità da essi manifestate, quando soggetti ad un prefissato insieme di azioni;*
- *domanda su un elemento strutturale o su una struttura: l'insieme delle caratteristiche di rigidezza, resistenza e duttilità ad essi richieste da un prefissato insieme di azioni*.
- *(...) La verifica nei confronti dei vari stati limite si effettua confrontando capacità e domanda (...)*"

problematiche legate al confronto capacità-domanda, opportunamente riorganizzate per tenere conto della diversa natura, morfologia e schema dell'opera.

Le opere di collegamento stradale e ferroviario sono tutte trattate nel **Capitolo 11**, dove trovano spazio sia le considerazioni generali sugli aspetti legati al quadro conoscitivo (sismotettonici, idrologici) sia quelli funzionali (stradali, impiantistici e strutturali/realizzativi) con riferimento alle numerose opere d'arte presenti (ponti, viadotti e gallerie).

Il **Capitolo 13** include gli aspetti legati alla sicurezza per eventi accidentali o intenzionali e alla bonifica da ordigni esplosivi, di tutte le opere analizzate (opera di attraversamento, viadotto Pantano, opere di collegamento stradale e ferroviario).

Il **Capitolo 14** riassume in una tabella sinottica tutte le prescrizioni e le raccomandazioni riportate nei capitoli precedenti, mentre le considerazioni conclusive sono riassunte nel **Capitolo 15** che chiude il parere.

4. GEOLOGIA E SISMOTETTONICA DELL'OPERA

Le diverse tematiche legate agli aspetti di modellazione sismotettonica e geologica sono fondamentali per le previsioni progettuali. L'**Opera** riveste, infatti, un carattere unico, innovativo e sfidante non solo per gli aspetti strutturali, ma anche per il contesto geologico e sismotettonico peculiare del sito che lo ospiterà.

La complessità riconosciuta nelle prime relazioni progettuali e anche dalla **RP** è testimoniata da interpretazioni non univoche presenti in letteratura, connesse non solo agli assetti geologici o sismotettonici ma anche alle correlate fasi evolutive. Come nel seguito verrà evidenziato, il tema relativo alla modellazione geologica e sismotettonica, contiene al suo interno differenti aspetti che vanno dalla modellazione degli assetti geologici ed idrogeologici in generale, alla localizzazione delle strutture sismogenetiche, quali la faglia responsabile del sisma del 1908, dal riconoscimento di faglie attive e capaci alle previsioni sulle deformazioni permanenti e di quelle geodetiche.

Gli elementi di conoscenza disponibili, rispetto all'epoca di sviluppo del **PD**, si sono ulteriormente evoluti su base sostanzialmente bibliografica per ambiti circoscritti non sempre direttamente correlati ai temi di progetto dell'opera in esame e, come sopra affermato, spesso secondo interpretazioni che non convergono nel senso di una ricostruzione unitaria, anche in relazione alle diverse finalità delle singole fonti bibliografiche.

La **RP** e il parere del **CS 2023** hanno già delineato alcune delle specifiche del **PE**, con l'intento di confermare le scelte delle azioni di progetto; nello sviluppo del **PE** è previsto l'aggiornamento del quadro unitario in un contesto interdisciplinare, a partire dall'esame delle conoscenze pregresse, integrato mediante indagini e rilievi in sito che devono essere incentrati sulle specifiche tematiche di interesse dell'opera di attraversamento.

La fase di indagine, già prevista per lo sviluppo del PE, deve consentire di risolvere aspetti che possono apparire controversi, se non confrontati con elementi deducibili solo dalle indagini in sito previste nella fase di PE.

Nella **RP** il tema si localizza in tre paragrafi:

- § 3.1.6.1 Prescrizioni per il **PE** relative all'opera di Attraversamento, **NTC 2018**. Capitolo 6 PROGETTAZIONE GEOTECNICA;
- § 3.1.6.1.1 Approfondimenti del quadro di riferimento sismo-tettonico e geodinamico pag. 82 e seguenti;
- § 3.4.2.3, Ambiente idrico: acque sotterranee.

4.1. Trattazione del tema nella Relazione del progettista

La **RP,** al § 3.1.6.1.1, riporta i riferimenti e le sintesi riguardanti "*gli approfondimenti del quadro di riferimento sismo-tettonico e geodinamico*". Il documento affronta il tema all'interno del riesame del progetto alla luce delle **NTC 2018**, evidenziando che "*Gli approfondimenti del quadro sismo-tettonico e del quadro geodinamico rispetto a quanto presentato nel Progetto Definitivo del 2011, saranno basati sulla revisione della letteratura scientifica e sugli aggiornamenti delle banche-dati pertinenti per il periodo 2010-2023*". Nello specifico si fa riferimento a 5 filoni scientifici di indagine:

a) Geologia recente dello Stretto (depositi di fondazione dei piloni e opere di collegamento), tettonica attiva e sismicità recente;
b) Terremoto del 1908 (effetti, geometria e caratteri della sorgente sismica);
c) Geodinamica a grande scala del Mediterraneo centrale (subduzione del Tirreno, vulcanismo);
d) Pericolosità da maremoto (impatto sulle opere di collegamento e sicurezza dei cantieri);
e) Geologia dei fondali marini (evidenze di fagliazione e indicatori di attività tettonica).

Escludendo il punto (d), che riguarda problematiche delle fasi di realizzazione delle opere, nel seguito si riportano le indicazioni sui quattro punti rimanenti, da ritenere più rilevanti dal punto di vista delle ricadute progettuali.

Per quanto riguarda la così denominata "*geologia recente*" si afferma che approfondimenti da svilupparsi riguarderanno i "*caratteri dei depositi di fondazione dei piloni del Ponte e delle opere di collegamento alla rete viaria e ferroviaria, la sua tettonica attiva, sempre con riferimento alla collocazione del Ponte, e la sua sismicità recente*".

Per quanto attiene al terremoto del 1908 viene affermato che "*nel relativamente breve periodo considerato, sono state elaborate ben tre proposte di sorgente, tutte parzialmente o totalmente alternative a quella adottata nel Progetto Definitivo [...] Ma si noti anche che le tre proposte sono state oggetto di critiche in quanto ritenute basate su tecniche non robuste o utilizzate in modo errato [...]*".

Relativamente alla geodinamica del Mediterraneo centrale, viene precisato che si farà riferimento "a*i rapporti tra l'area ionica e quella tirrenica, al processo di subduzione al di sotto del Tirreno meridionale, ai caratteri del vulcanismo attivo e quiescente*".

In ultimo si evidenzia, di fatto, la necessità di fare approfondimenti su "*la geologia dei fondali marini dello Stretto di Messina e dei settori adiacenti, con particolare riferimento alle evidenze a mare di fagliazione, nonché di depositi e forme quali possibili indicatori di attività tettonica recente*".

Nella conclusione del paragrafo viene esplicitato che "*il Progetto Esecutivo sarà quindi basato su una revisione quanto più completa della letteratura scientifica relativa al quadro geo-sismotettonico dell'area, nonché sulle indicazioni tratte dalle banche dati del periodo successivo allo studio del Progetto Definitivo. In base alle prime evidenze, si ritiene che tali nuovi studi ed elementi di conoscenza non comportino impatti significativi sul progetto e in particolare sull'Opera di Attraversamento*".

Ad integrazione di quanto sopra deve essere sviluppata un'analisi critica che evidenzi carenze conoscitive e le eventuali conseguenti indagini conoscitive necessarie, in termini sia areali che tipologici. **Nella RP non si fa riferimento a specifiche indagini geognostiche integrative di quelle esistenti, la cui necessità come si vedrà nel seguito è stata evidenziata dagli stessi consulenti della SdM**. Vengono citate, come documentazioni a cui far riferimento, alcune banche dati e cataloghi aggiornati (CPTI 2020, DBMI 2015, ASMI 2017, DISS 2021, ITHACA 2022) per quanto attiene agli aspetti sismotettonici, mentre si fa riferimento ai cataloghi IFFI e CFTI Landslide, per quanto attiene alle instabilità di versante. Vengono citate le "*Linee guida per le grandi dighe*" (2017) del **MIT** come strumento per inquadrare il rischio sismotettonico.

In sede di **PE** sono previste attività di aggiornamento bibliografico, ritenendo evidentemente che il quadro di riferimento sismotettonico e geodinamico del **PD** (2011) abbia consentito di definire un modello sismotettonico adeguato, sia in merito alle sorgenti sismogenetiche che alla fagliazione di superficie ed alla stima della pericolosità sismica di base.

La strategia progettuale descritta si focalizza sull'adeguamento ai requisiti delle **NTC 2018** attraverso un aggiornamento bibliografico delle modellazioni sviluppate per i livelli progettuali pregressi, mediante una revisione critica di alto livello che serva a garantire che le basi conoscitive geologiche e sismo-tettoniche nonché geotecniche siano allineate alle attuali conoscenze disponibili.

Infine, per quanto attiene agli aspetti idrogeologici la **RP** richiama e sintetizza le iniziative da intraprendere, che sono descritte in specifiche schede di progetto, il cui obbiettivo è, anche, quello di ottemperare ad alcune prescrizioni del suddetto parere della **CTVA** e che sono riassunte fra le prescrizioni nel presente parere, integrate ove necessario, laddove si ritiene che sia opportuno specificare meglio la natura delle indagini e degli studi integrativi prescritti. In buona sostanza la **RP** solo per gli aspetti idrogeologici già prevede una serie di approfondimenti da eseguire in fase di progettazione esecutiva, approfondimenti descritti, il 23 aprile 2026, in occasione dell'audizione del team di professionisti, che ha svolto gli studi idrogeologici per la redazione del **PE**.

Ai fini della definizione delle complesse problematiche, è necessario richiamare alcuni aspetti che si ritengono significativi del voto del **CSLP 1997** e le relative indicazioni sviluppate nel parere sul **PP** oltre che dare evidenza dei contenuti del **PE**.

4.1.1. Parere n. 220/1997 del CSLP

Il parere evidenziava che gli studi all'epoca disponibili erano basati sull'esecuzione di indagini dirette: "*una sessantina di sondaggi*" eseguiti in tre fasi, "(*anni 1984-85; anno 1987; anni 1988-89*) e "*rilievi geologici e morfotettonici di superficie nonché analisi su campioni*". Nel parere si ricorda che i dati disponibili hanno "*portato la SdM a concludere che la geologia è ben definita: le modifiche non sono significative nei confronti delle conclusioni già note, su cui si è basata la progettazione del Ponte, la quale peraltro, al riguardo dell'interazione struttura-terreno è semplificata, per la localizzazione delle fondazioni delle due torri a monte della battigia*". Nel parere si evidenzia che attraverso le indagini geofisiche "*si è conosciuto che le anomalie si presentano maggiormente complicate sulla sponda calabra*".

Relativamente alla geosismotettonica il voto ricordava che "*La SM ha incaricato la GEXON International dello studio geofisico di una ampia area dell'Italia meridionale e insulare: allo studio dettagliato della zona centrale di tale area, appunto lo Stretto di Messina, si perviene con un procedimento conoscitivo 'centripeto', che si muove quindi da luoghi piuttosto lontani comprendenti le aree marine circostanti l'Arco Calabro, la Sicilia e parte dell'Appennino meridionale*". Lo scopo finale delle indagini era "*quello di pervenire alle valutazioni di pericolosità sismica più attendibili dal punto di vista ingegneristico: occorre allora operare una correlazione analitica fra la tettono-cinematica locale e regionale ricostruita nello studio ora in esame e la distribuzione spazio-temporale dell'attività sismica storica e strumentale*".

Nei "*considerato*", il voto indicava altresì che "*L'indagine geotettono-cinematica di dettaglio dello Stretto di Messina e i meccanismi sismofocali in gioco hanno evidenziato e descritto 13 movimenti deformativi ancora attivi, fra cui blocchi e faglie in sovrascorrimento, movimenti progressivi, faglie dirette (distensive), depressioni*". Nel ribadire che "*L'insieme delle opere connesse con l'attraversamento viario e ferroviario dello Stretto coinvolgono una grande estensione di terreni di notevole complessità dal punto di vista geologico - stratigrafico e strutturale*", si evidenziava che le indagini eseguite "*non risultano tra loro ben correlate ed interpretate in maniera unitaria e ricondotte ad un quadro organico e completo sia dal punto di vista stratigrafico e geomorfologico sia strutturale. Dall'esame dei diversi aspetti trattati (sismotettonica, stratigrafia, morfoneotettonica, geofisica e strutturale), ciò è particolarmente evidente soprattutto per quanto concerne la sponda calabra, dove le successioni stratigrafiche e l'assetto strutturale presentano caratteristiche molto variabili. Il confronto dei risultati delle indagini geologiche dirette e geofisiche evidenzia, in particolare, un'interpretazione strutturale dei dati geofisici non direttamente correlata con quella stratigrafica e geologica*".

Venivano evidenziati in particolare i caratteri litologici della cosiddetta "*Formazione di Pezzo*" ritenuti "*molto variabili in relazione all'ambiente di sedimentazione ipotizzato (continentale-deltizio), con notevoli eteropie laterali e verticali dei caratteri fisici e meccanici e, verosimilmente, idrogeologici (permeabilità, trasmissività ecc.)*", veniva evidenziato che "*la nuova (1995) rielaborazione della sezione sismica UHR nell'area dell'opera in zona calabra, avrebbe indicato l'assenza di faglie nella zona di fondazione della torre ma avrebbe evidenziato una struttura progradante della formazione del conglomerato e dei sedimenti ad aree sovrastanti nella zona prospiciente il mare. Assumendo tale interpretazione, nella formazione potrebbero essere presenti successioni ritmiche, anche grossolane, di materiali di diversa granulometria, che contrasterebbero con l'ipotesi di una formazione variabile ma mediamente omogenea ed isotropa posta a base del modello geologico, idraulico e geotecnico*".

Il parere proseguiva evidenziando, che "*non sono state rielaborate altre sezioni sismiche della zona per cui non risulta ben supportata la distribuzione delle faglie presenti, ricavata con la prospezione sismica, che risulta inoltre non congruente con quella indicata per i rilievi di superficie. È, infatti, conveniente, soprattutto nel caso di situazioni complesse, effettuare interpretazioni e ricostruzioni tridimensionali basate su un insieme di dati omogenei*".

Il parere in ultimo segnalava, per quanto riguarda gli aspetti geologici, i possibili effetti del trattamento con jet-grouting sui processi di erosione-accumulo dei sedimenti di spiaggia, nonché l'assenza di valutazioni sul lato Calabria e Sicilia, sugli *"effetti degli eventuali emungimenti sulle zone limitrofe a quelle di intervento, soprattutto nella fase di costruzione dei pozzi di fondazione".*

Infine, il parere si chiudeva con un auspicio: *"sarebbe opportuno effettuare una sintesi organica di tutti i dati disponibili rielaborati ed integrati, in modo da ricavare un modello geologico coerente da porre alla base del modello geotecnico e del modello di microzonazione sismica".*

4.1.2. Aspetti geologici nel progetto definitivo

Nella "*Relazione geologica generale*" (PB0004_FO) allegata al progetto, si riportano i risultati degli studi sviluppati e, dopo aver definito il quadro conoscitivo dell'area mediterranea, si inquadra il contesto regionale dello Stretto.

Dopo aver riportato lo schema tettonico di Guarnieri et al. (2004) (v. Figura 4-1), a pagina 18 si precisa che "*Altro importante sistema di faglie, scarsamente valutato dai precedenti Autori, è quello orientato ENE-WSW, cui appartiene il Sistema Ganzirri-Scilla e che corrisponde ad un importante elemento geomorfologico, che si esprime con scarpate sottomarine e controlla la morfologia costiera del tratto settentrionale dello Stretto di Messina. Linee sismiche, che attraversano lo Stretto, indicano chiaramente che il fondo mare è ritagliato da queste faglie (DEL BEN et al., 1996; LENTINI, 1996). La morfologia del fondo mare tra Villa S. Giovanni e Ganzirri mostra una superficie suborizzontale a profondità variabili da 60 ad 80 m bordata da strutture, che controllano poi la linea di costa su ambedue i lati dello Stretto. Tale piattaforma sommersa potrebbe corrispondere a quella di Campo Piale sul lato calabrese, ubicata a 120-170 m s.l.m. Ciò implicherebbe, secondo quanto affermato da Del Ben et al. (1996), un collasso della zona dello Stretto molto superiore ai tassi regionali".*

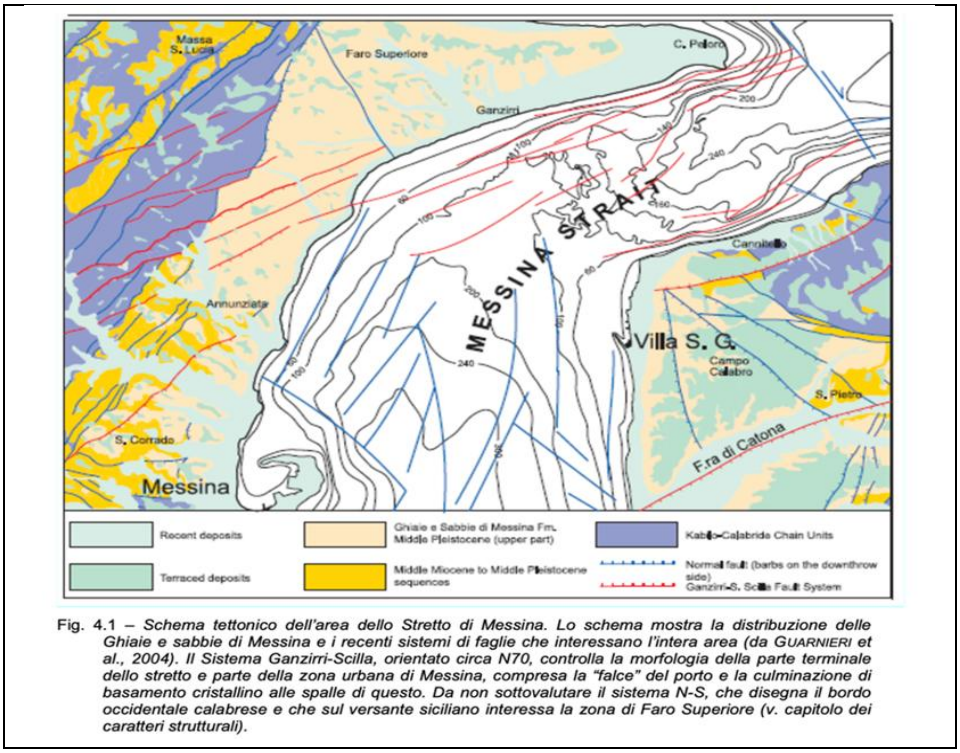


Fig. 4.1 – *Schema tettonico dell'area dello Stretto di Messina. Lo schema mostra la distribuzione delle Ghiaie e sabbie di Messina e i recenti sistemi di faglie che interessano l'intera area (da GUARNIERI et al., 2004). Il Sistema Ganzirri-Scilla, orientato circa N70, controlla la morfologia della parte terminale dello stretto e parte della zona urbana di Messina, compresa la "falce" del porto e la culminazione di basamento cristallino alle spalle di questo. Da non sottovalutare il sistema N-S, che disegna il bordo occidentale calabrese e che sul versante siciliano interessa la zona di Faro Superiore (v. capitolo dei caratteri strutturali).*

Figura 4-1.- Schema tettonico da Guarnieri et al. (2004)

La relazione geologica, nel discutere gli aspetti litologici e stratigrafici (§. 5), a p. 24, con riferimento alla formazione delle Ghiaie e Sabbie di Messina che interessano le opere di fondazione delle torri e degli ancoraggi, almeno per il lato Sicilia, precisa che "*Nell'area in esame* [...] *le Ghiaie e Sabbie di Messina non si presentano interessate da elementi tettonici anche se, sul lato siciliano, alcuni Autori (Carbone et alii, 2008) rilevano la presenza di fagliazione al loro interno.*

Il sistema deltizio delle ghiaie di Messina, legato alla sua progradazione verso l'asse dello Stretto di Messina, è deducibile a più grande scala considerando l'estensione e la disposizione areale dell'intero corpo deposizionale stratificato. Relativamente all'area di Villa S.Giovanni-Cannitello, i depositi affioranti possono essere attribuiti alle facies clinostratificate del foreset (ovvero della porzione più esterna del corpo deltizio)".

Vengono quindi presentati elementi utili alla definizione di vincoli cronologici per l'attività tettonica. Importante poi appare la definizione di differenti facies sedimentarie della stessa formazione che comunque pone specifiche problematiche anche relativamente alle aree sorgenti dei materiali accumulatisi in un relativamente ristretto periodo di tempo. Vengono poi riportati a p. 26 i vincoli stratigrafici ed i rapporti di reciprocità evidenziando in particolare "*l'inquadramento geologico dell'area dello Stretto, l'evoluzione geodinamica e la tettonica recente dell'area dello Stretto*". Viene precisato che "*tali vincoli, di seguito elencati, sono potenzialmente dati da contatti stratigrafici (anche se di natura discordante) e livelli intercalati, quali le torbe dei depositi di piana costiera*".

Da notare, per quanto riguarda i vincoli cronologici per l'attività tettonica, che il suddetto schema dei rapporti stratigrafici (peraltro incluso anche in "*Geosismotettonica – Relazione Generale*", PB0021_FO, p. 156) considera precedenti alla deposizione delle Ghiaie e Sabbie di Messina i movimenti delle faglie, mentre altri elaborati, ad esempio il "*Profilo geologico in corrispondenza dell'attraversamento*" in calce alla carta geologica PB0005_FO, suggeriscono che queste siano state attive anche dopo la deposizione delle Ghiaie e Sabbie di Messina attribuibili al Pleistocene medio.

Il dubbio sull'attività non è trascurabile, in relazione al fatto che uno dei documenti di riferimento per la definizione dell'attività delle faglie - le "*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)*" (Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica, 2015) - definisce "*potenzialmente attive e capaci*" quelle cui siano attribuibili dislocazioni di unità riferibili al Pleistocene medio, anche in assenza di evidenza di scorrimenti negli ultimi 40.000 anni.

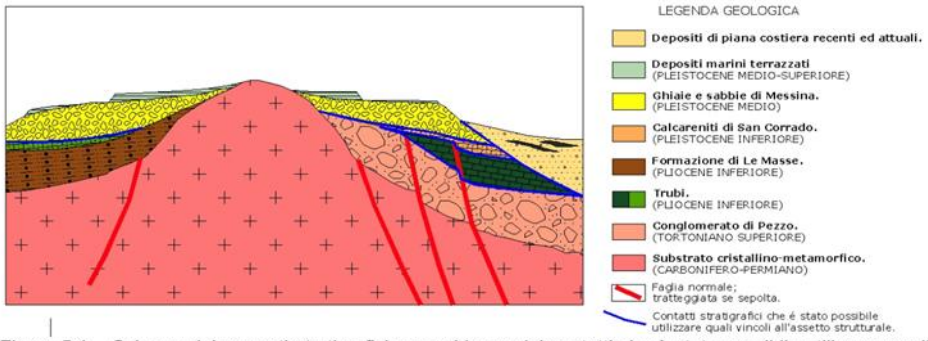


Figura 5.1 – Schema dei rapporti stratigrafici con evidenza dei contatti che è stato possibile utilizzare quali vincoli per la ricostruzione dell'assetto strutturale dell'area in esame.

Figura 4-2.- Schema dei rapporti stratigrafici disponibile nelle relazioni PB0004_FO e PB0021-FO

Per il lato calabrese, in PB0004_FO viene precisato che "*tra i sopra elencati vincoli stratigrafici i soli contatti discordanti tra le successioni sedimentarie riconosciute hanno reso, di fatto, possibile il riconoscimento di disgiunzioni tettoniche; d'altro canto, invece, né la disconformità alla base della successione rispetto ai termini del substrato cristallino-metamorfico, né i livelli di torba contenuti nei depositi del corpo deposizionale costiero hanno rappresentato effettivi vincoli alle ricostruzioni di assetto tettonico nell'area in esame* [...] *Per ciò che attiene, infatti, alla disconformità alla base della successione sedimentaria, essa non è mai stata osservata in affioramento con sufficiente continuità né riconosciuta con certezza nelle stratigrafie di sondaggio sia perché posizionata a profondità superiori a quelle di terebrazione, sia per l'oggettiva difficoltà di distinguere in carota di sondaggio i depositi clastici del Conglomerato di Pezzo dal substrato cristallino da mediamente a molto fratturato*".

Nel discutere le origini delle scarpate di raccordo tra superfici sub-pianeggianti, elemento di particolare significato ai fini della definizione in superficie della presenza di sistemi di fagliazione, a p. 28 si evidenzia che "*L'origine delle*

succitate scarpate di erosione marina, tuttavia, non esclude che, almeno alcune di esse, possano essersi impostate lungo linee tettoniche di particolare importanza locale e che, pertanto, all'azione erosiva scandita da fasi di sollevamento/abbassamento eustatico relativo possano assommarsi movimenti tettonici lungo piani di faglia associati ad eventi sismici e, dunque, a carattere fortemente discontinuo nel tempo (Ferranti et al., 2008)". Questa lettura del paesaggio della sponda calabrese presuppone la concomitanza della morfogenesi dovuta alla dinamica esogena costiera e quella riconducibile all'attività delle faglie che, pertanto, dovrebbe considerarsi recente.

A p. 30 viene affermato che "*La proposta di distribuzione dei terrazzi riportata nella relazione sui terrazzi tirreniani e post- tirreniani allegata al Progetto Definitivo (Fig. 5.2) indica che la superficie tirreniana (125-ka) è rigettata di circa 90 m in corrispondenza del cimitero di Cannitello. La stessa struttura mostrerebbe, però, di essere suturata verso ovest dal terrazzo di I° ordine e ciò suggerisce che la sua attività possa essere considerata anteriore a 60 ka*".

Si tratta di argomentazione di grande importanza, che necessiterebbe di una definitiva conferma in sede di sviluppo della prima fase del PE mediante specifiche indagini integrative, data la peculiarità del discrimine cronologico tra attività e inattività a 60.000 anni fa.

A p. 47 vengono definite le caratteristiche litologiche della successione sedimentaria e si descrive, anche in chiave problematica rispetto all'origine, la formazione delle "*Ghiaie e sabbie di Messina*", che, come visto, ha un ruolo significativo nella interpretazione del quadro sismotettonico. Viene precisato che "*I dati emersi dai rilevamenti per la Carta geologica della Provincia di Messina (LENTINI, 2000; LENTINI et al., 2000) hanno evidenziato che questi terreni clastici, raggruppati in un'unica formazione, possono costituire successioni appartenenti a sistemi deposizionali leggermente diacroni. La difficoltà di datazione di tali depositi ha consentito una correlazione delle superfici deposizionali esclusivamente su base fisica. L'analisi geometrica dei depositi in relazione alle strutture del substrato indica che tali sedimenti sono stati variamente investiti dalla tettonica tardo-pleistocenica, e generalmente sono tagliati verso mare dalle faglie normali che controllano sia la costa tirrenica che quella ionica*".

Sembrerebbe, in questo caso, confermata l'attività di faglie post Ghiaie e Sabbie di Messina (desumibile anche dalla sezione in calce alla carta geologica PB0005_FO, qui riportata in Figura 4-5**) che non emerge dalla Figura 5.1 (qui riportata in** Figura 4-2**) inclusa nella stessa Relazione PB0021_FO.**

È quindi affrontato l'inquadramento strutturale dell'area precisando: "*sono ancor più le strutture neotettoniche a suscitare interesse nella vasta letteratura geologica: ciò nasce dal fatto che l'area dello Stretto di Messina [...] presenta un'elevata "mobilità" geodinamica ed una sismicità con eventi di notevole magnitudo. Fra tutti spicca l'evento sismico del 1908, per il quale ancor oggi vi è una notevole discordanza di vedute nell'identificare la struttura responsabile*" (p. 58). In questo passaggio emerge l'altro aspetto di grande importanza, sempre riconducibile al quadro delle conoscenze sismotettoniche, rappresentato dalla disponibilità di varie ipotesi sulla faglia causativa del terremoto del 1908 - aspetto su cui si tornerà più avanti.

Nella descrizione degli elementi strutturali delle aree emerse del lato Sicilia, si fa anche riferimento a un sistema di faglia, denominato "di Scilla", con direzione ENE-WSW, anch'esso mutuato dalla pubblicazione di Guarnieri et al. (2004): viene riportato che "*Sia il bordo meridionale della sponda siciliana da Torre Faro alla foce della Fiumara Pace, sia il margine calabrese da Punta Pezzo a Porticello, mostrano linee di costa con andamento rettilineo e parallele tra loro, con orientamento circa N70. Inoltre, le immagini DEM della parte sommersa mostrano chiaramente delle scarpate parallele alle linee di costa, indubbiamente connesse al Sistema di Scilla. Esso disloca le Ghiaie e sabbie di Messina del Pleistocene medio e sembra avere anche un importante ruolo nel controllo del drenaggio fluviale, come si evince dal decorso delle fiumare calabresi nella zona di Reggio (v. Carta geologica dello Stretto 1:15.000)*". Si tratterebbe, anche in questo caso, di faglie che dovrebbero essere considerate potenzialmente attive e capaci, secondo le Linee Guida **FAC**.

A p. 61, argomento su cui si tornerà in dettaglio più avanti, vengono discusse le evidenze della faglia di Ganzirri, che interesserebbe l'area prossima alla zona di fondazione degli ancoraggi, della torre e del viadotto Pantano. Si anticipa

che quanto indicato suggerisce che anche questa faglia, di cui si tratterà in dettaglio più avanti, dovrebbe essere considerata potenzialmente attiva e capace.

A p. 62 viene affermato che *"All'interno dell'abitato di Messina il Sistema di Scilla origina una culminazione strutturale orientata ENE-WSW con affioramento del basamento cristallino (Forte Gonzaga), controlla la stessa morfologia costiera in corrispondenza del porto (la cosiddetta "falce") e prosegue a mare dove è intersecata da linee sismiche. Lo stesso sistema N70-80 taglia quello orientato NNE-SSW e quindi sembra essere più recente, anche se non si esclude che le faglie più recenti possano confluire in quest'ultimo con una sua riattivazione. Un ulteriore sistema di faglie, prossimo a N-S è riconoscibile, ovvero ipotizzabile, su basi geomorfologiche. Anche se le condizioni della formazione interessata, cioè le Ghiaie e sabbie di Messina, non favoriscono una puntuale individuazione sul terreno, l'analisi del reticolo fluviale tra l'abitato di Faro Superiore e la valle del Papardo ha permesso di ipotizzare la presenza di strutture orientate NNW-SSE (v. anche GUARNIERI & PERROTTA, 2008). Le faglie orientate N-S sono diffuse nel resto del territorio siciliano e sono coerenti con un unico sistema cinematico, in cui coesistono il Sistema Sud-Tirrenico (LENTINI et al. 1994; FINETTI et al. 1996) con componente destra, quello orientato NE-SW a componente sinistra, spesso dovuto anche alle rotazioni in senso orario e infine a questi sistemi si associano faglie inverse ad orientazione E-W e vergenza a Sud".*

Ancora viene detto che *"Ad una faglia N-S localizzata all'interno dello Stretto viene attribuito il terremoto del 1908 da FINETTI (2008). Il Sistema Sud-Tirrenico in precedenza richiamato e responsabile di un generale "shifting" in destra dell'intero sistema orogenico, non sembra marcatamente sviluppato. Pur tuttavia alcune linee sismiche, realizzate per il metanodotto, il cui tracciato dovrebbe passare a nord della penisola di Ganzirri, mostrano chiare immagini di strutture tipo flower, legate a faglie trascorrenti orientate NW-SE e con componente di movimento destro (DEL BEN et al., 1996) (v.oltre: cap. aree sommerse, v. Fig. 7.4). A terra l'unica faglia ascrivibile a questo sistema potrebbe essere quella che taglia l'estremità della penisola e, probabilmente, ribassa a NE, favorendo l'origine del Pantano Piccolo".* Il quadro strutturale rappresentato, sulla base di fonti bibliografiche e di indagini non direttamente pertinenti all'area di interesse delle opere in esame, lascia supporre la presenza di faglie da considerarsi almeno potenzialmente attive e capaci. Tale residua incertezza non può che risolversi mediante lo sviluppo degli studi già disponibili e prevedendo l'esecuzione di specifiche indagini nella prima fase di sviluppo del **PE**.

Relativamente alle aree sommerse che hanno, come peraltro visto, un rilevante significato nell'ambito delle ricostruzioni geo-sismo-tettoniche, a pag. 63 di PB0004_FO viene detto che *"Per descrivere le strutture tettoniche presenti nello Stretto ci si può basare in parte su Del Ben et al. (1996), in parte sullo schema strutturale presente in Guarnieri et al. (2004) e sui dati del progetto preliminare, in quanto non sono disponibili elementi nuovi. In sede di Progetto Esecutivo sarebbe auspicabile che si aggiornassero i profili sismici del progetto preliminare ed acquisire dati aggiornati delle aree marine.*

A prima vista lo Stretto di Messina si presenta formato da due segmenti: quello meridionale ad andamento circa meridiano, e che si apre verso sud, connettendosi al cosiddetto Rise di Messina, per confluire poi nel Bacino Ionico; l'estremità settentrionale si presenta bruscamente ruotato in senso orario, assumendo direzione N70° (v. Fig.4.1 e Carta geologica dello Stretto scala 1:15.000).

Le linee sismiche realizzate nelle fasi preliminari del progetto danno delle informazioni sulle caratteristiche strutturali. In particolare, una linea trasversale ubicata tra la "falce" dell'area portuale di Messina e il bordo reggino mostra una struttura tipo graben (Fig. 7.1). Sulla terminazione ovest della linea sismica si osserva anche una faglia che 'taglia' i sedimenti attuali del fondo mare (Guarnieri et al., 2004). Finetti (2008), reinterpretando le linee sismiche pubblicate da Argnani et al. (2008), ha notato che le strutture del tratto meridionale dello stretto disegnano delle pieghe e ne deduce che le strutture sono riconducibili ad un regime compressivo, che spiega con i rapporti di convergenza tra il massiccio dei M. Peloritani e quello dell'Aspromonte. Solamente il settore nord dello Stretto sarebbe interpretabile come un graben. Inoltre, l'interpretazione della sismica di Argnani et al. (2008) porterebbe l'Autore a riconoscere una struttura trascorrente orientata circa N-S".

Quanto in precedenza riportato, dalle fonti prese a riferimento nella predisposizione del **PD** (2011), relativamente all'assetto strutturale delle aree sommerse, che giocano un ruolo significativo nella ricostruzione complessiva del quadro sismotettonico dell'area dello Stretto, ma anche nella locale definizione di strutture eventualmente attive e capaci, evidenzia un grado di variabilità nelle interpretazioni, condizionate, presumibilmente, dalla distribuzione e qualità dei dati conoscitivi. Sulla base di quanto elaborato è stato comunque prodotto, "*su richiesta del Committente*", un profilo geologico dello Stretto di Messina in corrispondenza delle previste opere di attraversamento, probabilmente quello incluso nella carta geologica PB0005_FO. Viene precisato a p. 67 che "*Gli elementi utilizzati per la compilazione del profilo sono quelli disponibili nel progetto preliminare, in particolare il profilo realizzato allora sulla base dei dati della sismica, tarati sui due sondaggi profondi AGIP (Fig. 7.5)*".

A p. 68 sono descritti alcuni elementi strutturali dell'area Ganzirri-Capo Peloro, di rilevante importanza per la prossimità con la fondazione della torre sulla sponda siciliana. Si tratta di aspetti che in questa sede verranno approfonditi più avanti. A p. 69, gli stessi estensori della relazione geologica del progetto 2011 esprimono un giudizio sullo stato delle conoscenze sull'evoluzione geodinamica. Di seguito, se ne riportano integralmente i passaggi. "*Allo stato attuale le conoscenze sull'evoluzione geodinamica dello Stretto non sono totalmente soddisfacenti e taluni elementi appaiono in contraddizione. Per esempio, tale formazione* [le Ghiaie e Sabbie di Messina] *tappezzerebbe il fondo dello stretto, come risulta dal profilo redatto nel progetto preliminare e da immagini delle isopache (Fig. 7.8). Il profilo elaborato dall'interpretazione della sismica ed allegato al progetto preliminare rappresenta l'appoggio della formazione delle Ghiaie e sabbie con una superficie suborizzontale e regolare, mentre in Selli (1979) la topografia del fondo marino appare molto articolata e assolutamente in contrasto con un andamento uniforme delle Ghiaie e sabbie*".

Nel § 7.4 (da p. 71) si descrivono sulla base dei dati disponibili e in precedenza descritti i caratteri geologico strutturali in corrispondenza degli ancoraggi e di entrambe le torri caratteri che costituiscono un aspetto di grande rilevanza per le previsioni di tipo progettuale. Si fa infatti riferimento all'assetto geologico-strutturale su cui si tornerà nella sezione che discute delle faglie attive e capaci in relazione a quanto di interesse per l'attraversamento. Per quanto attiene all'ancoraggio del lato Sicilia viene infatti ribadita, a p. 74 "*la presenza di una faglia orientata ENE-WSW, segnalata nella carta geologica alla scala 1:5000 tav. 1 e posizionata nella sezione geologica di dettaglio L-L' e M-M' in quanto si è osservata l'anomala direzione dell'incisione, che non presenta decorso verso il mare, ma quasi parallelamente al versante, peraltro molto acclive* [...]". In questa sede si anticipa che gli stessi redattori di PB0004_FO sostengono che "*ulteriori indagini andrebbero programmate nella fase esecutiva per definire meglio la presenza di tale struttura*".

In relazione al lato Calabria, in PB0004_FO, vengono descritti assetti geologici ricostruiti "*essenzialmente sulla base dei sondaggi disponibili, relativi a tutte le campagne geognostiche pregresse e del 2010 fin qui acquisite e validate*", in ragione, come viene detto, della mancanza di evidenze in affioramento.

Si procede quindi a descrivere specifiche peculiarità dell'assetto geologico, tra cui quelle segnalate a p. 76, relative alle "*stratigrafie dei sondaggi* [che] *accertano la presenza di faglie che dislocano la successione sedimentaria sottostante i depositi olocenici di piana costiera fino ai termini riferibili al Pleistocene inferiore, ovvero fino alle Calcareniti di S. Corrado*". Inoltre, viene affermato che "*alcune stratigrafie di sondaggio consentono di escludere la presenza di dislocazioni interne ai depositi di piana costiera in quanto i livelli argillosi con torba, incontrati a diverse altezze stratigrafiche (e dunque presenti in più livelli) sono caratterizzati da geometrie deposizionali di tipo lenticolare e non risultano interessati da dislocazioni strutturali per faglia. Anche le datazioni effettuate sui campioni di torba prelevati sono in accordo con le interpretazioni stratigrafiche dei dati di sondaggio*". Si tratta di argomento di particolare importanza di cui si discuterà nel dettaglio nel paragrafo sulle faglie attive e capaci. Si può però anticipare che, da un punto di vista generale, proprio le geometrie lenticolari - le cui ricostruzioni mediante utilizzo dei dati da sondaggi non sono comunque prive di approssimazioni - sembrano meno idonee di quelle planari ed estese per verificare o escludere la dislocazione causata dall'attivazione di faglie. L'esecuzione di un programma di indagini lungo stendimenti di sismica a riflessione, integrata da indagini dirette mediante sondaggi, è da considerarsi attività da prevedere nella prima fase dello sviluppo del **PE**.

Per quanto attiene all'area della fondazione sul lato Calabria, a p. 77 si entra nel dettaglio delle informazioni inerenti alle faglie rappresentate anche in altri elaborati del **PD**, vale a dire le sezioni PB0007_FO e PB0010_FO. Si tratta di argomenti che verranno discussi in dettaglio nella sezione dedicata alle faglie attive e capaci.

In conclusione, relativamente alle aree di fondazione delle Torri viene affermato che *"Come meglio approfondito nella Relazione sull'Assetto Sismotettonico dello Stretto di Messina, elaborato CG4500PRGDPSB00G000000001B, 'Geosismotettonica – Relazione generale', si ritiene che le strutture tettoniche in precedenza descritte siano da considerarsi elementi tettonici secondari, superficiali, ad elevata segmentazione e di limitata estensione complessiva, di per sé non sismogenetici ed al più collegati ad elementi tettonici profondi, questi ultimi comunque non capaci di produrre terremoti di livello energetico superiore ad una magnitudo 5.5. Si ritiene, altresì, che terremoti di magnitudo superiore a 5.5 possano essere generati esclusivamente dalla struttura tettonica responsabile dell'evento sismico del 1908".*

Con ciò non si esclude la presenza di faglie attive e capaci, pur evidenziandone il ruolo minore (che tale dovrebbe essere anche in relazione all'entità delle dislocazioni attese), in ragione di un assetto strutturale che si suppone dominato dalla faglia causativa del terremoto del 1908.

Il connesso elaborato "*Geosismotettonica – Relazione Generale*" (PB0021_FO), nel seguito discusso, affronta invece il tema delle "*caratteristiche sismotettoniche*".

Dopo aver precisato che la suddetta relazione *"riveste un carattere sintetico, allo scopo di una più rapida consultazione dei risultati ottenuti dallo studio geologico"*, a p. 6, nel paragrafo "*Metodologie e limiti dello studio*", si riportano taluni aspetti problematici relativamente alle indagini effettuate che meritano attenzione per la definizione degli aspetti sismotettonici. Si dice infatti che *"Lo studio eseguito ha incontrato notevoli difficoltà per l'intensa urbanizzazione. Ulteriore ostacolo all'analisi di terreno è rappresentato dal diniego di accesso ad aree private, anche per una semplice osservazione degli affioramenti. Tutto ciò ha comportato la necessità di reperire una notevole mole di dati, specialmente di sondaggi eseguiti per edifici, cooperative, infrastrutture, ecc. che, anche se di modesta profondità, hanno consentito di raccogliere dati sulle formazioni presenti nei vari luoghi ricoperti da cemento o non accessibili. Tali dati sono stati ottenuti in via riservata e non risultano pubblicabili".*

Si precisava che *"L'analisi delle risultanze di tutte le indagini eseguite, comprese le indagini pregresse, ha consentito una ricostruzione geologico – strutturale del territorio e lungo i tracciati, da ritenersi di previsione".*

4.1.3. Prescrizioni e raccomandazioni formulate nel 2011 dal Prof. Ezio Faccioli (Expert panel)

Considerata la sinteticità della **RP**, nonché della relazione del **CS 2023**, di cui si dirà appresso, risulta opportuno richiamare quanto riportato nel Parere redatto dal Prof. Ezio Faccioli, in qualità di membro dell'**EP** della società **SdM**. Tale parere può essere considerato un'estensione e una specificazione della **RP**. Lo scopo della relazione del Prof. Faccioli è quello di fornire un giudizio specialistico sulla **RP** (GER0326), in coerenza con gli obiettivi stabiliti dal **DL** 31 marzo 2023, n.35, che ha riavviato l'iter dell'opera. Essa può pertanto essere ritenuta un insieme di specificazioni complementari alla suddetta relazione.

Il Prof. Faccioli evidenzia come il suo parere stabilisca una continuità con il lavoro da lui già svolto nel 2011, quando redasse un documento simile sul **PD,** allora appena emesso. Il parere serve a delineare il percorso per passare dal **PD** del 2011 al **PE**, garantendo l'adeguamento alle **NTC 2018** e agli standard scientifici più avanzati disponibili oggi.

Richiama la necessità di fare riferimento alle *"Linee guida per la redazione e le istruttorie degli studi sismotettonici relativi alle grandi dighe"* emanate nel 2017 dal Ministero delle Infrastrutture, evidenziando che *"Si tratta di un documento utile a inquadrare la pericolosità di origine sismotettonica per **tutte le grandi opere**, che può essere usato come strumento anche per adempiere all'importante prescrizione dei "Requisiti e linee guida per lo sviluppo della progettazione" (cod. GCG.F.05.03) del 2004. Quest'ultima recita, in merito al tema sismico: "Si richiede quindi che il*

Contraente Generale verifichi puntualmente il rapporto che esiste tra lo stato delle conoscenze rappresentato nel Progetto Preliminare e l'eventuale progresso registrato alla data di inizio della costruzione".

La relazione mette in evidenza che "*lo stato delle conoscenze rappresentate nel Progetto Definitivo non è sostanzialmente mutato rispetto a quello del P. Preliminare, ma che è necessaria una sintesi aggiornata dei progressi successivi al 2011 sul cammino del* ***PE****".* Dopo aver richiamato i cinque filoni di approfondimento della **RP** viene affermato che "*Nel complesso, la descrizione fornita nella* ***RP*** *dello stato dei dati e delle conoscenze riguardanti la sismo-tettonica, benché abbastanza dettagliata e aggiornata, appare perfezionabile quanto a presentazione, forse perché inserita nella parte di testo dedicata alla Progettazione Geotecnica nell'ambito delle NTC 2018. Consiglierei quindi di presentare il materiale afferente in senso lato all'input sismico come a sé stante, in modo più chiaro e finalizzato: in particolare, pur ribadendo la validità del modello di sorgente del 1908 come da PD, dando risalto alla necessità di aggiornare gli studi eseguiti a suo tempo (nel 2004) per costruire scenari di scuotimento sismico sulla base di modelli fisici di rottura di faglia e geologia nello Stretto".*

Nelle prescrizioni conclusive viene ritenuto inoltre necessario "*Costruire modelli 3D (geo-sismotettonici) discretizzati della zona dello Stretto per simulazione numerica di scenari di scuotimento su base fisica (physics-based), atti a campionare l'influenza dell'incertezza relativa alle caratteristiche della sorgente (faglia di Messina) del terremoto del 1908 sul moto sismico del suolo ai punti di appoggio del Ponte".*

4.1.4. Raccomandazioni formulate dal Comitato scientifico 2011

Il **CS 2011**, sulla base della richiesta di parere della **SdM**, ha riferito sull'aggiornamento del quadro geosismotettonico, resosi di fatto necessario anche a seguito del parere del **CSLP** del 1997.

Con riferimento al suddetto quadro va rilevato che il "*Progetto Preliminare ha ereditato e fatto proprie le conclusioni sugli studi geologici e geosismotettonici cui era pervenuto il Progetto di Massima del 1992, dal quale lo stesso Progetto SdM deriva. Dette conclusioni erano a loro volta scaturite dal recepimento e dall'interpretazione dei dati prodotti negli anni '70 e '80 per iniziativa del Ministero dei LL.PP. e della società Gruppo Ponte di Messina; dai vasti ed approfonditi studi sviluppati in via propedeutica per gli Studi di Fattibilità del 1986, per i Progetti di Massima Preliminari del 1990 e per lo stesso Progetto di Massima negli anni '80 e '90 fino al completamento dello stesso Progetto di Massima avvenuto nel dicembre 1992".*

Nel richiamare gli studi che a partire dagli anni '90 dello scorso secolo sono stati sviluppati nell'area dello Stretto, anche sulla faglia generatrice del terremoto del 1908 e sui tempi di ritorno della stessa, il Parere evidenziava che questi "*proseguono e sono possibili ulteriori sviluppi e affinamenti delle conoscenze*".

Dopo aver citato la prescrizione dalla Deliberazione **CIPE** 1° agosto 2003, Allegato A - Foglio Condizioni, prescrizione n°5 - circa le conoscenze sismotettoniche, il **CS 2011** evidenziava che "*il progetto SdM ritiene esaustivo quanto già conosciuto relativamente a dati e ricerche alla scala regionale (dell'ordine di un intorno di 300 km dal sito). Viceversa, e in linea con la citata prescrizione del CIPE, il Progetto Definitivo deve approfondire le ricerche e sviluppare le osservazioni alle scale caratteristiche della deformazione tettonica che può avere effetti tangibili durante la vita dell'opera. In particolare, deve sviluppare indagini di grande dettaglio in un raggio di 1-5 km nell'intorno delle fondazioni e degli ancoraggi per valutare l'eventuale ruolo delle cosiddette "capable faults". La valutazione del ruolo delle strutture a carattere regionale può invece beneficiare di osservazioni e monitoraggi alla scala di circa 50 km nell'intorno della struttura".* Più oltre, nel parere, viene affermato che "*lo stato delle conoscenze sulle strutture maggiori è in continua evoluzione e spesso non esiste accordo sulle loro caratteristiche di dettaglio. Il grado di attività delle faglie e in alcuni casi anche la loro mera esistenza rappresentano ancora oggi uno di questi punti controversi".*

Ancora nel parere veniva affermato che "*Dall'integrazione delle mappe realizzate attraverso gli studi geologici e geofisici emerge che solo in pochi casi c'è una coincidenza diretta tra le faglie mappate con metodi geofisici e quelle mappate sulla base del rilevamento geologico.* ***La corretta valutazione dei rapporti tra faglie identificate con metodi***

geofisici e faglie messe in evidenza dalla geologia di terreno è una delle questioni principali da affrontare in sede di Progetto Definitivo e di Progetto Esecutivo. *Le faglie nella parte sommersa dello Stretto sono state ovviamente individuate solo su base geofisica e gli studi più aggiornati e dettagliati mostrano la presenza di elementi strutturali attivi, anche se con ratei modesti (< 0.04 mm/a). Tuttavia, tali strutture hanno un meccanismo di tipo normale e sono orientate prevalentemente in senso nord-sud. Pertanto, si può ritenere che in caso di riattivazione esse non possano produrre rigetti significativi nella direzione dell'attraversamento. Sulla sponda calabrese, invece, emerge che un certo numero di elementi strutturali persiste nelle diverse mappe e alcuni di essi risultano avere un grado di attività non trascurabile. Queste faglie necessitano perciò di un approfondimento di studi di cui tenere conto in sede di elaborazione del Progetto Definitivo".*

Ancora, il parere evidenziava che *"A partire dai primi anni '90 sono stati resi disponibili nella letteratura specialistica numerosi studi di dettaglio su diversi aspetti della geologia della tettonica attiva e della sismogenesi nell'area dello Stretto di Messina. Inoltre, in molti casi faglie dichiarate 'attive' negli studi propedeutici al Progetto Preliminare non mostrano in realtà evidenze certe di dislocazione di elementi del paesaggio di età nota e recente. Questo ragionamento non si applica però a quelle faglie che sono state mappate in base a rilievi di tipo geofisico, perché tali metodologie mettono in evidenza elementi strutturali che si sviluppano fino a profondità molto maggiori di quelle della base dei terrazzi costieri.* ***In sede di Progetto Definitivo e Progetto Esecutivo è quindi necessario approfondire gli studi e pervenire a valutazioni più affidabili degli elementi strutturali la cui presenza e le cui caratteristiche sono state verificate con metodi diversi****".*

Ulteriore punto affrontato dal parere è quello **relativo alle deformazioni tettoniche lente dell'area dello Stretto e, in particolare, della zona dell'attraversamento. Sulla base di tale considerazione si riteneva "*necessario predisporre misure ripetute nel tempo e costantemente aggiornate che seguano le varie fasi di avanzamento della progettazione e realizzazione dell'opera e i cui risultati possano essere tenuti in conto nel Progetto Definitivo ed Esecutivo*"**. Venivano quindi specificati gli ambiti di scala delle varie misure.

4.1.5. La geologia e la sismotettonica nel rapporto finale di RINA CHECK

La società RINA Check, su affidamento della PARSONS ha provveduto nell'anno 2011 a validare il **PD**. Per la redazione del "*rapporto finale*", furono acquisiti diversi documenti e, in particolare, le raccomandazioni emesse dal Comitato scientifico e da altri enti, nonché le prescrizioni **CIPE** sul **PP**. Il documento fornito non contiene alcun riferimento al voto del 10 ottobre 1997 del **CSLP**. Relativamente all'osservazione n. 1 del Comitato scientifico, unico punto che fa riferimento alle problematiche sismotettoniche, veniva prescritto che: "*Come previsto dalle specifiche, il monitoraggio tettonico sarà proseguito nelle successive fasi progettuali e realizzative*".

Non è presente alcun riferimento all'effettivo quadro sismotettonico e alle faglie sismogenetiche. A tale riguardo, va inoltre osservato che nell'ampia compagine di esperti incaricati di validare il **PD**, non figuravano specifiche competenze nelle discipline geologiche e sismotettoniche, senza un esplicito riferimento all'effettivo quadro sismotettonico e alle faglie sismogenetiche.

In relazione alla verifica di ottemperanza della prescrizione n. 5 del **CIPE** (allegato G documentazione RINA) ove veniva detto che *"Gli studi geo-sismo-tettonici dovranno essere costantemente aggiornati integrando le conoscenze sismologiche e storiche con gli aspetti geo-tettonici: nell'ambito della progettazione definitiva, dovrà perciò essere eseguito il confronto con le più aggiornate conoscenze geostrutturali della regione al fine di una ricostruzione integrata della geometria del bacino e della sua posizione nell'ambito delle geostrutture sismogenetiche regionali (le diverse parti dovranno essere rese reciprocamente coerenti)"*, si dava esito positivo ai riscontri in quanto "*nelle CdP analizzate sono stati aggiornati gli studi geo-sismo-tettonici, integrando le conoscenze sismologiche e storiche con gli aspetti geo-tettonici ed è stata effettuata una ricostruzione integrata della geometria del bacino e della sua posizione nell'ambito delle geostrutture sismogenetiche regionali*".

Inoltre, come aspetto geologico rilevante delle prescrizioni **CIPE**, veniva posta la questione idrogeologica in riferimento ai due laghi di Ganzirri per i quali il **CIPE** prescriveva, tra l'altro, di "*Ulteriormente approfondire gli studi idrogeologici e idrochimici*", "*di studiare sistemi di controllo della qualità e livello delle acque*" e di "*definire metodi e tecnologie con cui saranno scavate le fondazioni delle torri*". Anche in questo caso l'esito della valutazione RINA è positivo in quanto "*nella relazione di ottemperanza si definisce l'installazione di un sistema di controllo i cui sensori in continuo verranno installati in corso d'opera*".

4.1.6. Raccomandazioni formulate dal Comitato scientifico 2023

Il Comitato scientifico analizza gli aspetti sismotettonici nell'ambito dell'aggiornamento della modellazione geologica e della caratterizzazione geotecnica per rispondere alle **NTC 2018**. In particolare, evidenzia che la **RP** tratta degli "*Approfondimenti del quadro di riferimento sismo-tettonico e geodinamico ai fini del PE del Ponte, e focalizza l'attenzione sulla necessità di integrare gli aspetti geologici, sismotettonici e di microzonazione sismica nella progettazione esecutiva, tenendo conto dei dati scientifici aggiornati dal 2010 al 2023*" e "*concorda con la necessità di approfondimenti secondo quanto proposto nella RP*". Inoltre, il Comitato scientifico, nel ritenere che "*le strategie proposte dal Progettista siano condivisibili*", raccomanda di "*completare il quadro di riferimento sopra descritto*", integrando la bibliografia e le banche dati esistenti anche con le attività di Microzonazione Sismica di livello 3, qualora disponibili nelle aree interessate dalle opere a terra, che viene detto "*potranno offrire un primo contributo conoscitivo*".

In ultimo ritiene che "*per quanto concerne la progettazione e la realizzazione delle sottostrutture (ovvero le fondazioni delle torri, i blocchi di ancoraggio, le opere di sostegno, le fondazioni delle strutture terminali e il consolidamento dei terreni)*", pur concordando con quanto riportato dal progettista circa la possibilità della gestione delle modifiche conseguenti all'introduzione delle **NTC 2018**, si possa procedere "*nell'ambito della stesura del PE senza la necessità di apportare modifiche significative alla configurazione, ai metodi di dimensionamento e alle caratteristiche principali delle sottostrutture, ad eccezione delle fondazioni del Viadotto Pantano*". Viene altresì segnalata una serie di elementi di implementazione conoscitiva che fanno riferimento a prove geomeccaniche, specifiche verifiche sui blocchi di ancoraggio nonché a specifiche modellazioni.

La relazione contiene una serie di raccomandazioni che, per quel che riguarda gli aspetti del modello geologico e sismotettonico, sono riportate in Tabella 4-1.

1	*"utilizzare, per le azioni sismiche di progetto per l'Opera di attraversamento, anche registrazioni accelerometriche di terremoti avvenuti nel mondo nelle ultime due decadi, compatibili, per magnitudo e meccanismo di rottura della faglia con le caratteristiche sismogenetiche dell'area dello Stretto"*
2	*"effettuare analisi sismiche al passo dell'Opera di Attraversamento utilizzando anche storie temporali generate mediante opportuni modelli physics-based di ultima generazione per considerare il non sincronismo del moto sismico, applicando coefficienti di combinazione unitari per le tre componenti del moto sismico"*
3	*"completare i dati geo-sismotettonici e il quadro di riferimento, ampliando la relativa bibliografia, considerando, tra l'altro, anche il più recente modello europeo di pericolosità sismica (ESHM20)"*
4	*"fare riferimento agli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (gruppo di lavoro Ms 2008), per l'utilizzo degli studi di microzonazione sismica disponibili"*
5	*"utilizzare i dati derivanti dai Progetti MAGIC1 e MAGIC2 per gli approfondimenti sulla geologia dei fondali marini dello Stretto di Messina e dei settori adiacenti"*
19	*"definire l'azione sismica di progetto sul viadotto Pantano, effettuando una accurata analisi della risposta sismica Locale (RSL) e valutarne gli effetti tenendo conto dell'interazione terreno struttura"*

Tabella 4-1.- Raccomandazioni del **CS 2023** in merito a geologia e sismotettonica

4.1.7. Documento AMW 3000 del 06.09.2024

Si ritiene utile a completamento della trattazione relativa alla **RP**, riportare anche le risultanze del **documento AMW 3000 del 6 settembre 2024, denominato *"Suolo e sottosuolo: aggiornamenti sulle pericolosità geologiche ed idrogeologiche"*.**

Come descritto nella premessa generale, docenti del Dipartimento di Scienze della Terra dell' Università di Roma "La Sapienza" (Prof. G. Scarascia Mugnozza, Prof. Francesca Bozzano e Prof. Salvatore Martino con la collaborazione del Dott. Davide Patelli) e ricercatori dell'**INGV** (Dott. Gianluca Valensise e Dott. Pierfrancesco Burrato): "*sulla base delle richieste di integrazioni documentali e istruttorie formulate dalla Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale VIA e VAS, con particolare riguardo alle richieste n. VIA 83 e n. VIA 84, di cui alla nota prot. 0070949 del 16/04/2024, discutono un confronto tra i contenuti degli elaborati proposti nel progetto definitivo aventi come tematismo la geologia e la geomorfologia e gli aggiornamenti di pertinenza intervenuti tra il 2010 ed il 2024 proposti nella letteratura scientifica e in quella tecnica (cfr. studi di microzonazione sismica), nei data-base ufficiali (cfr. ITHACA e prodotti sul censimento fenomeni sismo-indotti), dei dati su spostamento reciproco delle due coste, dei piani di assetto idrogeologico (PAI) e di gestione rischio alluvioni (PGRA).*

In particolare, il confronto richiesto [...] riguarda le seguenti tematiche, riportate nell'ordine richiesto: i dissesti e la pericolosità da essi derivante, la perimetrazione delle aree esondabili, lo studio geologico-strutturale dell'area, gli studi di microzonazione sismica 'per analisi delle amplificazioni locali e definizione delle aree suscettibili alla liquefazione', gli effetti di sito 'avvenuti in occasione dei terremoti storici nelle località costiere comprese tra Capo Peloro e Tremestieri e nelle località interne entro 5 km dalla costa', i sistemi di faglia attivi, 'con distinzione delle faglie capaci, e la eventuale conseguente sistematizzazione 'delle carte geologiche e geomorfologiche coerenti rispetto alla mappatura delle faglie ed infine lo studio aggiornato sull'evoluzione delle due coste, sia lungo la componente che orizzontale basato su dati geologici (terrazzi marini, ecc..) e dati geodetici aggiornati'".

Quindi, il documento, in risposta alle richieste di integrazione dei ministeri **MASE** e **MIC**, affronta, nello specifico, gli effetti indotti della presenza di **FAC** che potrebbero interagire direttamente con le strutture del Ponte (torri e blocchi di ancoraggio). La discussione si basa su quanto disponibile nel Catalogo ITHACA. Come viene mostrato nella figura 2.2.1.2a (p. 17), le faglie collocate nell'area sommersa dello Stretto e non interessata direttamente dalle opere, dovrebbero anch'esse essere analizzate in un ambito di quadro complessivo per la definizione delle potenziali azioni sismiche di progetto e loro campo di variabilità in relazione alle probabilità di accadimento.

Descritto quindi il quadro geodinamico, si riporta che l'area dello Stretto è caratterizzata da un regime tettonico con faglie normali orientate prevalentemente NE-SW. Vengono quindi analizzati quelli che sono considerati i principali sistemi di faglia di Messina-Giardini e della Calabria Meridionale e, in particolare, la faglia di Cannitello e quella di Ganzirri.

A questi aspetti, in riferimento alla relazione AMW3000, si rivolge in dettaglio parte della sezione qui dedicata alle faglie attive e capaci. Ad essa fa altresì riferimento l'analoga sezione redatta per le finalità della parte dedicata alle "Opere di collegamento ferroviario e stradale con le reti esistenti e/o in progettazione".

Relativamente al terremoto del 1908, si conferma l'origine nell'attivazione della faglia cieca, situata nel fondale dello Stretto, con immersione verso Est, già nota in bibliografia dello scorso secolo e adottata nel **PD**.

Sulla base degli approfondimenti sulla letteratura, nel § 2.2.6 "*Sintesi conclusiva*" si fornisce un riepilogo degli elementi chiave emersi dall'analisi effettuata riguardo alle faglie attive e capaci nell'area dello Stretto di Messina. Si sottolinea quindi che l'esistenza di molte delle 24 faglie riportate nella banca dati ITHACA, evidenziate nella Figura 2.2.1.2b (p.18; qui Figura 4-3) è considerata controversa a causa della scarsità di dati e delle forti discrepanze sulla loro esatta localizzazione tra i vari autori (come nei casi delle faglie di Cannitello-Scilla e Curcuraci-Larderia).

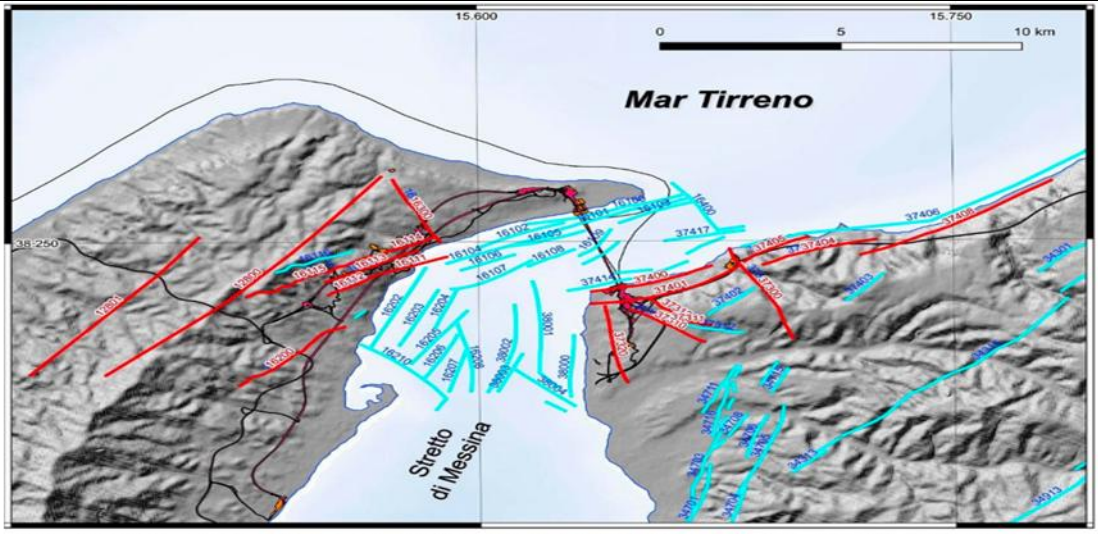


Figura 2.2.1.2b – Faglie attive e capaci dalla banca-dati ITHACA e relativi codici: dettaglio sull'area dello Stretto di Messina (si veda anche la Tab. 2.2.1.1, in cui sono riportati gli stessi codici). Le faglie in rosso sono un sottoinsieme delle 24 selezionate; in azzurro altre faglie presenti in ITHACA. Le tracce in nero indicano le diverse categorie di opere previste.

Figura 4-3.- Estratto dalla relazione AMW3000, p.18

Si precisa che "*nonostante le controversie, si ritiene plausibile che alcune di queste faglie siano attive o potenzialmente capaci, supportate da dati geofisici e modelli analogici che mostrano analogie con altre aree tettonicamente attive*". Viene sottolineata l'importanza della gerarchia tra gli elementi tettonici; si ricorda altresì che vari studi (in particolare Ghisetti, 1992; Bonini et al., 2011) indicano che le faglie superficiali sulle coste e sul fondale dello Stretto non presentano rigetti importanti. Si conferma quindi che **"***la sorgente principale della deformazione nell'area è identificata nella grande fascia profonda responsabile del terremoto del 1908. Le faglie minori di superficie hanno un ruolo ancillare: esse rappresentano una risposta fragile della crosta superficiale (primi 3-5 km) alla deformazione imposta dalla fascia profonda sottostante*".

Inoltre, viene affermato che "*sapendo che la sorgente del terremoto del 28 dicembre 1908 è una faglia cieca il cui bordo superiore è a circa 3 km di profondità, e sapendo che nulla di simile a fagliazione superficiale è stato osservato dopo quel terremoto (Fig. 2.2.5.4.1), è quanto mai difficile immaginare che nello Stretto possano esistere importanti faglie attive e capaci, ovvero in grado di produrre rotture di superficie potenzialmente disastrose*". In questa sede, ci si limita a osservare che l'assenza di evidenze di fagliazione di superficie è brevemente discussa nell'ambito del parere espresso nella parte dedicata alle "Opere di collegamento ferroviario e stradale con le reti esistenti e/o in progettazione".

Il documento conclude, di conseguenza, che nella presente fase dello sviluppo progettuale non sono state rinvenute evidenze certe di faglie attive e capaci che intersechino l'impronta delle fondazioni o delle strutture principali del Ponte.

4.1.8. Richieste di chiarimenti

Durante la fase istruttoria, con nota del **CSLP** del 4 maggio 2026, sono state trasmesse alla **SdM** alcune richieste di chiarimenti relativamente alle indagini da eseguire (punto 1) , alle faglie attive e capaci (punto 2) , le dislocazioni massime in superficie (punto 3), le deformazioni geodetiche (punto 4), le sorgenti sismogenetiche (punto 5), gli effetti cosismici (punto 6), gli eventuali approfondimenti sulle criticità delle opere di connessione (punto 7) e l'influenza dei consolidamenti nelle zone di fondazione sul deflusso delle falde (punto 8). La **SdM**, con nota del 29 maggio 2026, ha trasmesso una risposta per ciascuna delle tematiche sollevate. Risposte che hanno consentito di chiarire meglio la posizione del gruppo di progetto sui vari aspetti discussi e sulle attività da programmare nello

sviluppo del **PE**. In proposito l'**Assemblea** ritiene che il preventivato programma di attività debba essere integrato seguendo le osservazioni illustrate nei "*considerato*" che seguono.

Inoltre, sono state formulate richieste di chiarimenti anche al **PMC** Parsons. In particolare, con riferimento a quanto presentato in occasione dell'audizione del 18 maggio 2026 presso il **CSLP**, circa il procedimento di verifica indipendente e quanto riportato nel volume VII del Report, sono state formulate richieste relativamente alle eventuali attività di approfondimento sugli aspetti sismotettonici, sulle modellazioni sviluppate, sulle verifiche in condizioni sismiche e sullo spettro di progetto.

4.2. Sul modello geologico e sismotettonico

4.2.1. Inquadramento geologico e sismotettonico sintetico dell'area dello Stretto

Lo Stretto di Messina rappresenta uno snodo geodinamico fondamentale nel sistema del Mediterraneo centrale, collocandosi al confine tra domini caratterizzati da una differente evoluzione tettonica. La Calabria è direttamente coinvolta nella subduzione attiva della litosfera ionica al di sotto dell'Arco Calabro. Tale processo è stato accompagnato durante il Neogene da una rapida migrazione retrograda della fossa di subduzione (*rollback*), con velocità che risultano essersi progressivamente ridotte nel corso del Pleistocene superiore e dell'Olocene.

La Sicilia orientale risulta, invece, relativamente svincolata da questo sistema geodinamico. Il settore meridionale dell'isola si muove in accordo con la placca africana, subisce raccorciamento in corrispondenza dei fronti compressivi attivi e accelera progressivamente verso nord-est lungo il sistema dei Monti Nebrodi e della Sicilia nord-orientale. Lo Stretto di Messina rappresenta pertanto una zona di transizione nella quale vengono accomodate differenze di moto tra la Calabria e la Sicilia attraverso una complessa rete di strutture attive. Il quadro sismotettonico della regione è caratterizzato da elevata complessità (v. Figura 4-4 (sx) da *Neri et al., 2003 (modificata da Serpelloni et al., 2010);* (dx) *da D'Agostino e Selvaggi (2008)*).

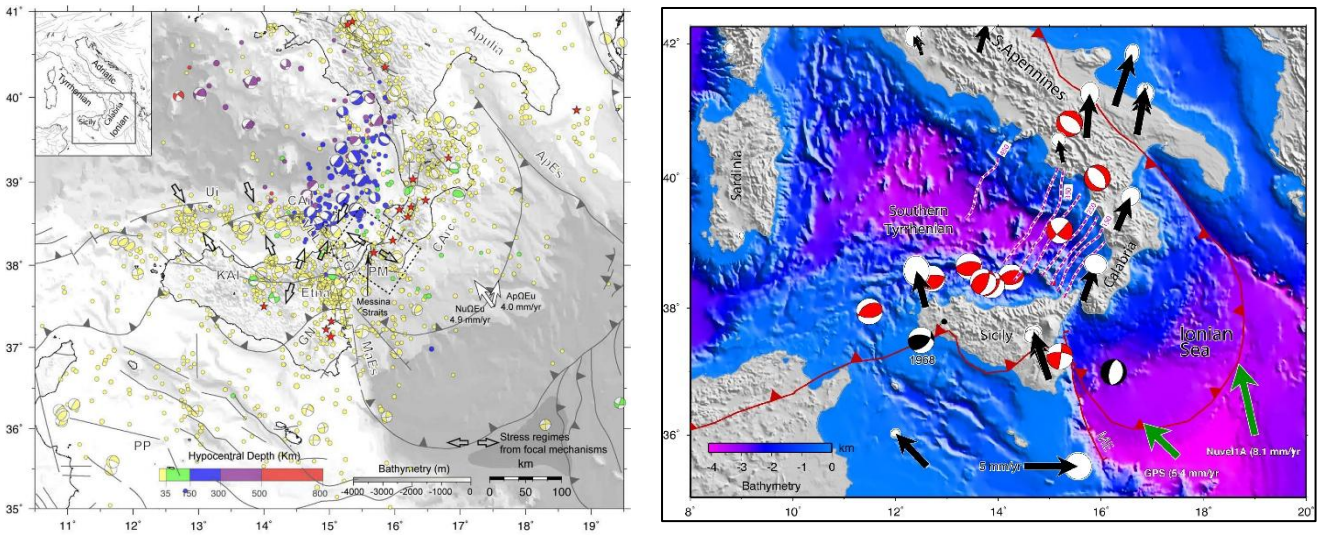


Figura 4-4.- Quadro sismotettonico dell'area dello Stretto di Messina.

In particolare, nella figura di sinistra è riportata la distribuzione della sismicità strumentale e dei meccanismi focali derivati dai cataloghi Harvard-CMT, **INGV**-RCMT ed ETH-RMT; le stelle rosse indicano i terremoti storici con magnitudo M ≥ 6.5 del catalogo CPTI04 e i regimi di stress sono tratti da Neri et al. (2003) (modificata da Serpelloni et al., 2010). Nella figura di destra è riportato il campo di velocità **GNSS** nell'area dello Stretto di Messina da D'Agostino e Selvaggi (2008); le linee rosse tratteggiate rappresentano le isobate della zona di Wadati–Benioff della litosfera ionica in subduzione. La distribuzione della sismicità strumentale e storica, i meccanismi focali dei terremoti e gli indicatori di stress evidenziano la presenza di sistemi di faglie attive con cinematica prevalentemente

estensionale, localmente associata a componenti trascorrenti che potrebbero svolgere un ruolo significativo nel trasferimento della deformazione tra il margine ionico e il sistema deformativo dello Stretto di Messina.

Nonostante i numerosi studi condotti negli ultimi decenni, rimangono ancora aperte questioni fondamentali riguardanti la geometria delle strutture attive, il campo di deformazione attuale e l'identificazione della sorgente sismogenetica responsabile del terremoto del 1908.

Poco noto anche il sistema di faglie off-shore, descritte sia nei cataloghi sia in lavori scientifici, il loro stato di attività e la loro relazione con le strutture sismogenetiche responsabili dei maggiori terremoti dell'area. Nella Figura 4-5 è riportato il "*Profilo geologico in corrispondenza dell'attraversamento*", dalla carta geologica PB0005_FO, con faglie che dislocano le Ghiaie e Sabbie di Messina. Nella Figura 4-6 è riportata la mappa strutturale del segmento occidentale della Faglia di Scilla e relativi dati cinematici; in particolare sono mostrati i principali sistemi di faglia, i terrazzi marini del Pleistocene superiore e le sezioni sismiche/sub-bottom utilizzate per vincolare la geometria offshore della struttura (b) modificata da Ferranti et al., 2008); in c) il profilo sub bottom da Selli et al. (1978). Nelle diverse relazioni e nella letteratura disponibile sono stati proposti numerosi sistemi di faglia, ma in molti casi non sono ancora definiti in modo univoco la loro geometria, cinematica, età di attivazione e tassi di deformazione. Alcune strutture risultano invece ben caratterizzate anche a terra. Tra queste, la Faglia di Scilla che sembrerebbe costituire uno degli elementi meglio documentati, grazie alla presenza di evidenze geomorfologiche, stratigrafiche e strutturali che ne attestano l'attività recente.

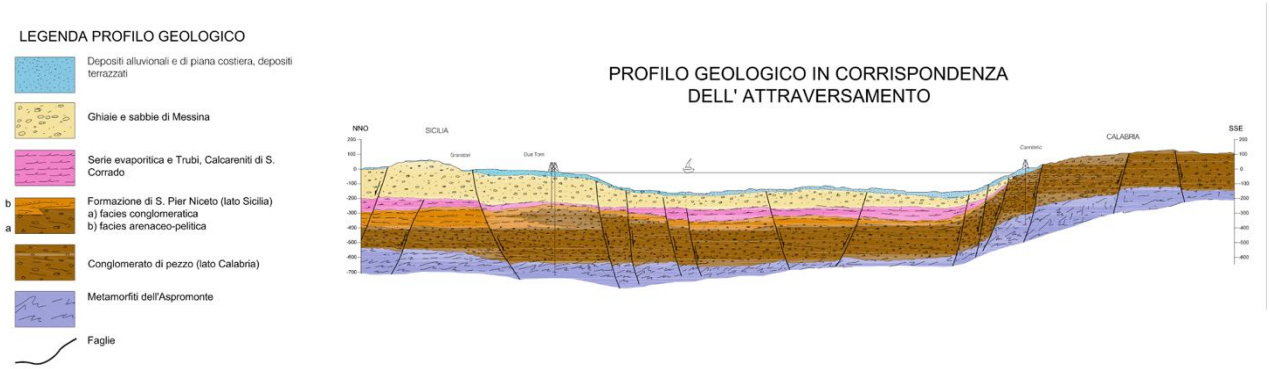


Figura 4-5.- "Profilo geologico in corrispondenza dell'attraversamento", dalla carta geologica PB0005_FO.

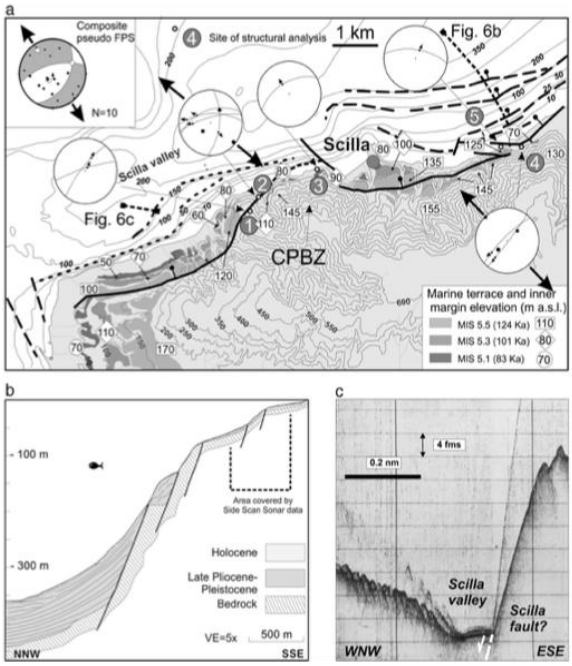


Figura 4-6.- Mappa strutturale e sezioni del segmento occidentale della Faglia di Scilla e relativi dati cinematici.

4.2.2. Faglie attive e capaci

Per i chiarimenti sull'argomento delle **FAC**, in aggiunta a quanto qui riportato nel paragrafo "*Trattazione del tema nella Relazione del Progettista*", della **RP** si richiamano due passaggi di particolare rilevanza.

Nel § 3.1.6 "*Riesame NTC 2018, Capitolo 6 – Progettazione geotecnica*", alla p. 81, si menzionano indagini da predisporre. Tra queste, "*da demandare alla fase di Progetto Esecutivo*", "*sondaggi per l'approfondimento di contatti geologico-stratigrafici*". Questo passaggio suggerisce che il progettista consideri anche l'eventuale presenza di faglie attive e capaci (i cui movimenti generano "*anomalie*" nei "*contatti geologico-stratigrafici*"). Tuttavia, qualora si facesse qui riferimento a sondaggi a carotaggio continuo, sembra opportuno osservare che raramente le stratigrafie da questi desunte consentono ricostruzioni bi o tridimensionali dirimenti sulla presenza o assenza di faglie in sedimenti continentali di età quaternaria. All'individuazione di eventuali faglie in siffatte ricostruzioni è di ostacolo la forte variabilità delle geometrie erosive e deposizionali, tale da comportare variazioni altimetriche nelle superfici di riferimento, alternativamente interpretabili come effetto di dislocazioni a componente verticale dominante o a morfogenesi legata a processi geologici non tettonici. È motivo per cui, in genere, gli approfondimenti in questione vengono realizzati mediante prospezioni geofisiche e scavi geognostici – attività per le quali i sondaggi hanno la funzione di fornire dati stratigrafici di taratura o utili a completare l'informazione acquisita tramite le altre procedure.

Inoltre, alla p.83 della **RP**, nel paragrafo dedicato a "*Ulteriori documenti potenzialmente pertinenti*", si richiamano gli studi di microzonazione sismica "*nel territorio del comune di Messina (1° livello del 2014 e 3° livello attualmente in corso di consegna), mentre in Calabria sono stati svolti studi di MS di 1° livello nel territorio del comune di Reggio Calabria, sebbene ancora non validati dal DPC*". Di questi argomenti si tratterà più avanti, in riferimento però agli elaborati relativi alle microzonazioni sismiche dei Comuni di Villa San Giovanni e Campo Calabro, oltre che a quella del Comune di Messina citata nella **RP**.

In campo applicativo, la rilevanza degli studi sulle **FAC** è legata ai possibili effetti sui manufatti in conseguenza dell'improvvisa dislocazione della superficie del suolo. Tra quanto disponibile sull'argomento, si ritiene opportuno richiamare i due principali riferimenti concettuali e metodologici per chi svolge ricerche in questo settore. Le valutazioni che seguiranno saranno a questi informate.

Il primo è rappresentato dalle "*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)*", elaborate nel 2015 dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con **DPCM** 21 aprile 2011 (Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica, 2015). Nel documento (d'ora in avanti Linee Guida **FAC**), "*è considerata attiva una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene), ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno*". Inoltre, è definita potenzialmente attiva e capace una "*faglia per la quale gli studi dimostrano un coinvolgimento dei terreni del Pleistocene medio-superiore, ma non necessariamente di depositi più recenti di 40.000 anni*".

Il secondo riferimento è la "*Guida alla consultazione e all'utilizzo*" (**ISPRA**-Servizio Geologico d'Italia, 2022) realizzata per "ITHACA – Catalogo delle faglie capaci in Italia" (ITHACA Working Group, 2019) (di seguito, Catalogo ITHACA). Da questa guida si apprende che è considerata capace una faglia "*ritenuta in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie topografica e/o in prossimità di essa*". Avendo come riferimento le guide tecniche IAEA (2015, 2022), l'elaborato **ISPRA** chiarisce che, dal punto di vista geologico, è da considerarsi capace una "*faglia che sicuramente ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa, nell'intervallo Pleistocene superiore – Presente (<125 ka)* […]". Inoltre, la stessa guida fornisce una definizione di faglia quaternaria da indagare: "*faglia che ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa nel corso del Quaternario* [<2,6 Ma, ndr], *anteriormente al Pleistocene superiore* [>125 ka, ndr] […], *per la quale non si*

può escludere a priori una riattivazione all'interno del contesto geodinamico attuale in assenza di ulteriori indagini specifiche".

In contesti applicativi (in particolare, la progettazione del metanodotto Snam Rete Gas Brindisi-Minerbio, "*Linea Adriatica*", sezione Sulmona-Foligno), si è provveduto a adottare altro criterio cautelativo: sono state considerate attive e capaci quelle faglie che recano tracce di dislocazione della superficie anche nel corso del Pleistocene medio (0,8 Ma), a meno che queste non siano sigillate da sedimenti non più recenti di 20 ka (Galadini et al., 2012).

4.2.2.1. Aggiornamento della conoscenza su base bibliografica

Come già osservato, nella **RP** è espresso il proposito di aggiornare la conoscenza sulla base degli studi scientifici prodotti dopo il 2011.

Un primo aspetto che ostacola il raggiungimento di una solida visione sull'argomento delle **FAC**, mediante revisione critica della bibliografia disponibile, è la notevole articolazione del quadro geologico-strutturale relativo alle faglie nell'area dello Stretto – faglie che in parte interessano le zone sommerse oggetto di discussione scientifica anche in recenti pubblicazioni (es. Barreca et al., 2021; 2022; Argnani, 2022; Argnani e Pino, 2023). Si tratta di una delle ragioni per cui a oggi non è disponibile una base conoscitiva paragonabile a quella acquisita in altri settori del territorio italiano, caratterizzati da significative manifestazioni della tettonica attiva (es. Appennino centrale, Prealpi venete e friulane). È evidenza condivisa, che emerge anche da passaggi di assai recenti pubblicazioni: "*The MES* [Messina Straits, ndr] *basin has been described dissimilarly by various authors; it is controlled by a set of NNE-SSW trending normal faults* […], *by a complex network of normal and transtensional transfer faults* […] *or by a major E-dipping fault* […] *with minor faults on the basin margins* […]" (Sgroi et al., 2025); in relazione alla faglia sismogenetica del terremoto del 1908: "*The search for the seismogenetic fault has produced a wealth of faults and fault systems proposed as potential candidates* […]. *These attempts have often resulted in conflicting interpretations, where the main fault in one study cannot work in another structural scheme*" (Argnani, 2026).

Peraltro, nella prospettiva dell'individuazione di **FAC**, al quadro di complessità strutturale da cui derivano le difficoltà interpretative, si lega la connessione cinematica tra i vari elementi geologico-strutturali, pure richiamata in pubblicazioni scientifiche (es. Ghisetti, 1992) e altresì evidenziata da esperimenti di modellazione analogica (Bonini et al., 2011; schemi riportati anche nelle relazioni del **PD**, es. PB0021_FO del 2011, p. 248, e nel più recente elaborato AMW3000 del 2024, p. 26). A ciò sembra potersi ricondurre un passaggio dalla relazione AMW3000 sulle faglie dell'area dello Stretto: "*per il solo fatto di aver condizionato la sedimentazione già a partire dal Pliocene, se non prima, queste faglie hanno quasi certamente cessato di agire come elementi tettonici primari, ma sono certamente in grado di riattivarsi passivamente nel campo di sforzi attuale, dominato dalla estensione WNW-ESE a cui risponde la dislocazione lungo la faglia responsabile del terremoto del 1908*" (p. 22). In sintesi, questa "*connessione cinematica*" fa sì che non possa escludersi l'attivazione in superficie (e nel caso specifico anche sul fondale marino) di più faglie, con dislocazione permanente del suolo (e del fondale marino) in occasione di forti terremoti, su area di ampiezza plurichilometrica, analogamente a quanto osservato, ad esempio, in Appennino centrale in occasione della sequenza sismica del 2016-2017 (Emergeo Working Group, 2016).

Altro aspetto che non contribuisce a chiarire il quadro conoscitivo sull'attività e la capacità è la variabilità della rappresentazione della distribuzione delle faglie a terra, apparentemente figlia di schemi che lo "*scavo*" attraverso le fonti bibliografiche fa risalire a prodotti del **PFG** (a iniziare dal contributo di Ghisetti e Vezzani, 1978, poi seguito da altri lavori degli stessi autori), che trovano sintesi nella Carta Neotettonica d'Italia (Ambrosetti et al., 1987). In questa, a titolo di esempio, sono rintracciabili la faglia di Ganzirri (lato Sicilia) e quella di Pezzo (lato Calabria), rilevanti per le opere relative ad attraversamento e viadotto Pantano.

Nel non trascurabile numero di pubblicazioni scientifiche successive ai prodotti del **PFG**, in pochi casi si riscontrano contributi che includano osservazioni a carattere locale, utili a migliorare la conoscenza sulla storia geologica recente di faglie cui lo stesso **PFG** attribuiva attività quaternaria (Dumas 2008 – citato nella relazione AMW3000 su

cui si tornerà oltre; Ferranti et al., 2007; 2008; Guarnieri e Pirrotta, 2008; Monaco et al., 2017; Barreca et al., 2021). Talora, le rappresentazioni suggeriscono la reiterazione, senza aggiornamenti e con una certa approssimazione, degli schemi riscontrabili nel **PFG**. La letteratura successiva al suddetto Progetto appare soprattutto interessata a ricostruzioni tettoniche o geologiche alla scala regionale, quindi meno attenta al dettaglio della rappresentazione della singola faglia (es. Polonia et al., 2012; Tripodi et al., 2022; Dorsey et al., 2024; Sgroi et al., 2025). Si tratta di ricostruzioni nelle quali di norma gli schemi delle faglie attive o presunte tali non possono costituire un riferimento per l'individuazione e caratterizzazione delle stesse, data la scala di rappresentazione. Inoltre, quanto schematizzato nei vari studi fornisce quadri informativi altro che univoci in riferimento all'individuazione delle faglie attive e capaci. È ciò che emerge, ad esempio, confrontando i lavori di Ferranti et al. (2008), Longhitano (2018) e Tripodi et al. (2022) per la Calabria: negli schemi strutturali dei primi due è riportata la faglia di Pezzo; nel terzo, oltre a questa è riportata la faglia di Cannitello. Analoghe differenze emergono per la Sicilia, consultando le pubblicazioni di Guarnieri et al. (2004), Guarnieri e Pirrotta (2008) e Longhitano (2018): nella prima, vengono riportate faglie con direzione NE-SW che interessano le "Ghiaie di Messina" tra Annunziata e la fiumara di Curcuraci, un'altra con direzione NNE-SSW nel settore Marotta-Curcuraci che pone a contatto il basamento metamorfico ercinico con le Ghiaie e Sabbie di Messina e una faglia NNW-SSE nella zona Faro Superiore-fiumara Guardia; il secondo lavoro aggiunge un'ulteriore faglia con direzione N-S nella zona di Faro Superiore e quelle con direzione NE-SW nella zona di Ganzirri, tra cui l'elemento strutturale al margine di monte del Pantano Grande – tutte le linee tracciate nello schema proposto da Guarnieri e Pirrotta (2008) interesserebbero le Ghiaie e Sabbie di Messina, quindi in base a quanto esposto in precedenza, sarebbero da considerare potenzialmente attive e capaci; nella terza pubblicazione citata, sono tracciate le faglie a nord di Messina riportate nei lavori meno recenti, ma quelle della zona di Ganzirri sono tratteggiate, a definire incertezza sulla posizione o inattività rispetto alle Ghiaie e Sabbie di Messina o a sedimenti più recenti. In sintesi, la bibliografia fornisce indicazioni non del tutto sovrapponibili.

Il quadro fin qui esposto chiarisce i limiti della letteratura scientifica attinente alla tettonica attiva dell'area dello Stretto ai fini di individuazione e caratterizzazione delle **FAC**. A ciò consegue che non sia possibile attendersi significativi e conclusivi aggiornamenti del quadro conoscitivo sull'argomento che siano "*basati sulla revisione della letteratura scientifica*" (**RP**, p. 82). Più avanti si tratterà dell'utilizzo delle informazioni disponibili nel Catalogo ITHACA. Si può comunque anticipare che la rappresentazione delle faglie attive e capaci nel citato prodotto è anch'essa ampiamente basata sull'analisi della bibliografia disponibile, con tutti i limiti di cui si è discusso.

4.2.2.2. Le faglie attive e capaci di interesse per l'attraversamento nel PD

Per la sponda calabra, vari elaborati del PD mostrano che la terminazione occidentale della faglia di Pezzo e quella settentrionale della faglia di Piale ricadono nella zona interessata dall'ancoraggio.

La faglia di Piale è segnata con il tratto continuo in aree caratterizzate dalla presenza delle Ghiaie e Sabbie di Messina e "*Depositi terrazzati, Sabbie e Ghiaie*", nell'elaborato *PB0005_FO*, "*Planimetria e profilo geologici in corrispondenza dell'attraversamento*". Il rapporto con le unità stratigrafiche rappresentate suggerisce che la faglia sia da considerarsi potenzialmente attiva e capace, secondo i criteri proposti nelle Linee Guida **FAC**. È tuttavia da notare che, a ridosso della zona interessata dall'ancoraggio, i sedimenti definiti in legenda "*Depositi terrazzati, Sabbie e Ghiaie*", che a sud sarebbero attraversati dalla faglia, sembrano qui sigillarla, suggerendo inattività e non capacità della stessa (che però andrebbe confermata in base ad attribuzioni cronologiche che non emergono da PB0005_FO). In generale, per il settore Piale-Musalà-Acciarello, lo schema proposto in PB0005_FO riprende quanto pubblicato in Guarnieri et al. (2004).

La faglia di Piale è invece riportata in tratteggio, ma con differente geometria in pianta rispetto a quanto in PB0005_FO, nell'elaborato "Carta Geologica Calabria" (*PB0015_FO*). In base alla legenda, il simbolo adottato definisce una "*faglia sepolta*" da "*depositi marini terrazzati*" attribuiti al Pleistocene medio-superiore. Si tratta di una condizione che consentirebbe di attribuire inattività e non capacità alla faglia in questione.

La faglia di Pezzo è riportata in tratteggio in PB0005_FO; ma non trovandosi in legenda la definizione del simbolo, non è chiaro se questo identifichi, ad esempio, una "faglia sepolta" o una "faglia presunta". Nel primo caso, la possibile lettura attribuirebbe inattività e non capacità; il secondo caso comporterebbe la necessità di ulteriori approfondimenti per la caratterizzazione dell'elemento geologico-strutturale in questione.

La prima ipotesi interpretativa è suggerita dalla lettura della dettagliata Carta Geologica PB0015_FO. La faglia di Pezzo è anche qui riportata in tratteggio, ma, in base alla legenda, è definibile come "*faglia sepolta*", chiaramente sigillata, in corrispondenza della sua terminazione occidentale, da depositi del Pleistocene medio-superiore. Si tratta di una condizione che suggerisce inattività e non capacità. L'attribuzione è basata su una ricostruzione dell'evoluzione tettonica e strutturale dell'area di interesse per le varie opere, rappresentata nell'elaborato "*Geosismotettonica – Relazione Generale*" (PB0021_FO, par. 5.2.2, pp. 160-163). Tuttavia, a conclusione di questa parte, in PB0021_FO (p. 163) si ritiene opportuno sottolineare "*che lo schema cronologico ricostruito esplicita i rapporti di reciprocità tra elementi riconosciuti; non viene esclusa, dunque, a priori una riattivabilità futura di taluni di questi elementi, ad eccezione del sistema Case Alte suturato dall'intera successione sedimentaria*". In pratica, non si escludono attività e capacità – questione che può essere risolta con la disponibilità di specifiche indagini geofisiche e paleosismologiche eseguite *ad hoc*.

Nella "*Relazione geologica generale*" (PB0004_FO, p. 87), si osserva che "*i tassi di sollevamento dell'alto di Campo Piale nel periodo che va da 330 a 167 ka* […] *sono all'incirca di 2 mm/a, due volte il tasso di sollevamento regionale* […]. *Ciò suggerisce che parte del sollevamento sia da attribuire all'attività delle due faglie che delimitano l'horst a nord e a sud. I settori a ovest e a sud dell'horst mostrano comunque tassi di sollevamento di 1,4 mm/a negli ultimi 125 ka, probabilmente legati all'attività della faglia di Pezzo-Scilla* […] *Il settore a nord dell'horst mostra invece tassi di sollevamento leggermente minori di quello regionale, almeno fino a circa 60 ka, dovuti alla subsidenza del blocco ribassato dalla faglia di Pezzo-Scilla*". Analoghi contenuti sono riscontrabili nell'elaborato "*Geosismotettonica – Relazione Generale*" (PB0021_FO, p. 160). Questo passaggio suggerisce cautela, in attesa di dare corso a specifiche indagini, nell'attribuire inattività e non capacità alla faglia di Pezzo.

Alle osservazioni di cui sopra, in PB0021_FO (p. 160) seguono però considerazioni sulla fondatezza delle stesse: "*Tale evidenza morfologica* […], *non trovando un supporto da parte di datazioni assolute e basandosi, pertanto, sul solo dato di gerarchizzazione degli ordini di terrazzo marino, non è definitivamente probante dell'azione disgiuntiva che sarebbe connessa alla faglia del sistema di Pezzo-Scilla. Peraltro, l'ipotesi alternativa alla gerarchizzazione dei terrazzi marini nel settore in questione, proposta da Dumas (2005)* […], *resta altrettanto valida e, dunque, non porta a poter confermare l'ipotesi di disgiunzione del terrazzo tirreniano da parte della faglia di Scilla-Pezzo. Secondo tale ipotesi alternativa, infatti, non vi sarebbe corrispondenza gerarchica tra il terrazzo marino immediatamente a monte della stazione di servizio dell'Autostrada A3 ed il terrazzo in corrispondenza della stessa*". Si contrappongono, pertanto, visioni opposte: quella oggetto di questo passaggio, che escluderebbe l'attività della faglia, è ritenuta "*altrettanto valida*" di quella che ipotizza la dislocazione negli ultimi 125 ka. Tuttavia, in quanto "*altrettanto valida*", se "*non porta a poter confermare l'ipotesi di disgiunzione del terrazzo tirreniano da parte della faglia di Scilla-Pezzo*", nemmeno porta a escluderla. Considerazione, questa, che conferma la necessità di specifiche indagini in fase di **PE**.

La faglia di Pezzo è comunque uno degli elementi geologico-strutturali più citati nella letteratura scientifica che riguarda la zona dello Stretto. È definita attiva nei contributi del **PFG** (es. Ghisetti et al., 1979; Ghisetti, 1980). Tuttavia, nella sintesi rappresentata dalla Carta Neotettonica d'Italia, è considerata come inattiva in tempi successivi al Pleistocene inferiore (Ambrosetti et al., 1987).

È tracciata negli schemi tettonici utilizzati nelle pubblicazioni successive che riportano faglie attive, ma con limitate informazioni puntuali (es., Ghisetti, 1984; 1992; Longhitano, 2018; Monaco e Tortorici, 2000), a parte i più dettagliati contributi di Ferranti et al. (2007; 2008) che ne evidenziano l'attività nel corso del Pleistocene superiore. La faglia invece non compare nello schema geomorfologico proposto da Miyauchi et al. (1994); sarebbe invece da considerarsi inattiva in base a quanto indicato da Dumas (2008) (in AMW3000 del 2024, p. 31, vedi oltre). Infine, è

tracciata nel Catalogo ITHACA che, in base ai criteri ivi adottati e in ragione di parte della bibliografia sopra citata, attribuisce a essa attività negli ultimi 125 ka.

Pertanto, si tratta di faglia la cui consistenza e caratterizzazione non sono univocamente definite. In questa sede, è opportuno osservare che lo stesso tracciamento della sezione terminale verso SW della cosiddetta faglia di Scilla (che includerebbe il segmento di Pezzo) è piuttosto discorde nella letteratura scientifica (si veda ad esempio la figura 3 di Ferranti et al., 2007). **Si tratta di un ulteriore aspetto che invita ad approfondimenti con specifiche indagini**.

Coerentemente con l'impostazione della "*Carta Geologica Calabria*" (PB0015_FO), la sezione F-F' (dir. NW-SE) attraverso l'ancoraggio (in "*Sezioni geologiche area ancoraggi Calabria*", PB0007_FO) mostra le due faglie sopra citate sigillate dalle Ghiaie e Sabbie di Messina, confermando inattività e non capacità delle stesse. La faglia di Piale è anche rappresentata nella parte orientale della sezione G-G' (ortogonale alla precedente), da cui si evince la sua copertura da parte dei "*Depositi marini terrazzati*" del Pleistocene medio-superiore. Si tratta di una condizione che ribadisce inattività e non capacità. La stessa sezione, nel settore occidentale, interseca un'altra "*faglia sepolta*" tracciata nella "*Carta Geologica Calabria*" PB0015_FO (ma non presente in PB0005_FO), con direzione NNW-SSE. In accordo con quanto rappresentato in PB0015_FO, nella sezione G-G', la faglia, che comunque dislocherebbe le Ghiaie e Sabbie di Messina del Pleistocene medio, è sigillata dai suddetti "*Depositi marini terrazzati*", evidenza che ne confermerebbe inattività e non capacità.

Le citate faglie di Pezzo e Piale sono tracciate anche nella "*Carta di confronto tra elementi morfotettonici tratti dal progetto preliminare e dal progetto definitivo*" (PB0018_FO). Rispetto a quanto rappresentato nei documenti finora discussi, in quest'ultimo elaborato le faglie suddette sono riportate con il tratto continuo, secondo una simbologia in genere convenzionalmente adottata per elementi strutturali riscontrabili in superficie (quindi non "*sepolti*").

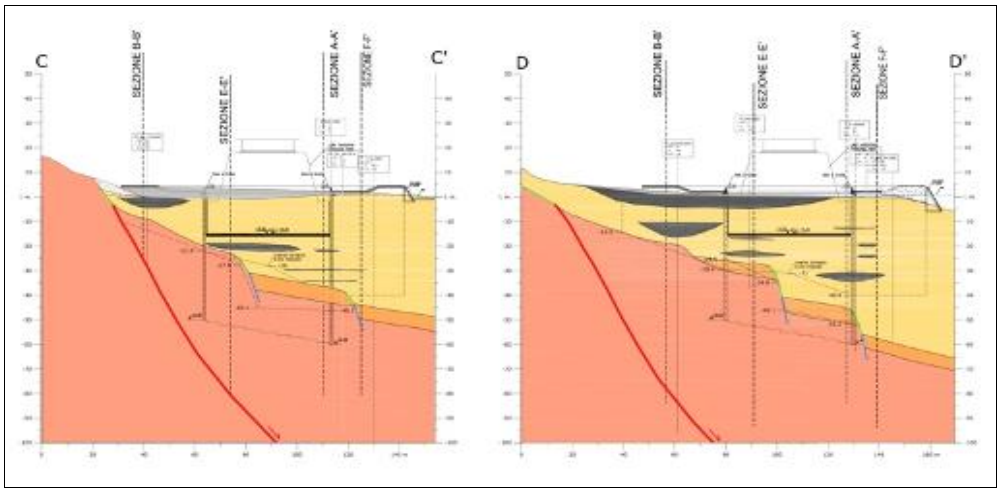


Figura 4-7.- Sezioni C-C' e D-D' da: "*Sezioni geologiche area fondazioni Calabria – Tav. 2/2*" (PB0010_FO).

In relazione alla zona della torre sulla sponda calabrese, le sezioni C-C' e D-D' dell'elaborato "*Sezioni geologiche area fondazioni Calabria – Tav. 2/2*" (PB0010_FO) mostrano immagini della faglia di Cannitello (v-Figura 4-7). La sezione D-D' è relativa al pozzo sudoccidentale, la C-C' a quello nordorientale. Entrambi i profili mostrano che la parte della faglia più prossima alla superficie si troverebbe a circa 40-60 m a sud della fondazione. Nella sezione D-D' si può vedere che il piano di taglio è sigillato da "*Depositi di piana costiera recenti ed attuali*" (colore giallo in Figura 4-7), attribuiti all'Olocene. In base ai criteri delle Linee Guida **FAC** e del Catalogo ITHACA, i due principali riferimenti concettuali e metodologici per quanto concerne l'argomento qui trattato, la copertura di sedimenti olocenici non sarebbe sufficiente a escludere attività e capacità. Al di sotto della fondazione, la stessa sezione D-D' evidenzia altri due piani di taglio, con simbologia definita in legenda come "*Dislocazioni strutturali*" (linee blu tratteggiate in Figura 4-7) – dislocazioni che interessano le Calcareniti di San Corrado (colore arancio in Figura 4-7), attribuite al Pleistocene inferiore. La parte alta degli elementi di disgiunzione che interessano le suddette Calcareniti è definita da linee verdi

tratteggiate, simbolo corrispondente in legenda a "*Scarpata di erosione strutturale*". Su queste scarpate si appoggiano i "*Depositi di piana costiera recenti ed attuali*". Tuttavia, le suddette scarpate "di erosione strutturale" e il corrispondente contatto con i "*Depositi di piana costiera*" mostrano un'elevata pendenza e mantengono la stessa inclinazione dei piani di faglia di cui rappresentano la prosecuzione verso l'alto. Si tratta di un'evidenza geomorfologica che potrebbe far pensare all'attivazione dei piani di taglio in questione dopo la sedimentazione dei livelli più bassi dei citati "*Depositi*", piuttosto che alla successione di eventi rappresentata dalla fase erosiva e dal successivo appoggio dei "*Depositi*" sulle Calcareniti di San Corrado. Infatti, l'attività erosiva in ambiente costiero, caratterizzato da elevata energia, avrebbe dovuto comportare almeno un certo arretramento delle stesse scarpate su cui poggiano i "*Depositi di piana costiera*" e non il congelamento della medesima geometria dei piani di faglia che risulterebbero, di conseguenza, integralmente "esumati".

Si può notare altresì che i piani di taglio in questione non sembrano dislocare lenti di torba poste al di sopra degli stessi (colore grigio scuro in Figura 4-7). Pertanto, ad essi potrebbe essere attribuita inattività e non capacità. Sembra però opportuno ricordare, ancora una volta, che la copertura da parte di sedimenti olocenici potrebbe non essere sufficiente ai fini di questa attribuzione, seguendo i criteri delle Linee Guida **FAC** che stabiliscono in 40.000 anni il limite cronologico utile per la caratterizzazione in termini di attività e capacità. Inoltre, dalla stessa sezione D-D', non è chiara la modalità di ricostruzione della geometria delle lenti di torba. Nell'elaborato "*Geosismotettonica – Relazione Generale*" (PB0021_FO), si cita il rinvenimento in sondaggio di "*tre distinti livelli di torba, compresi entro i primi 50 m dal p.c.*" (p. 155), ma non si definisce la modalità di ricostruzione della geometria areale di questi in base ai medesimi dati di sondaggio.

La sezione C-C' mostra i due piani di faglia sotto alla fondazione di cui si è detto in riferimento a D-D'. Per questi, valgono le stesse considerazioni di cui sopra. La faglia di Cannitello ha invece una rappresentazione diversa da quella in D-D', per quanto riguarda la parte più prossima alla superficie. In D-D' il contatto dei "*Depositi di piana costiera*" col sottostante Conglomerato di Pezzo (colore rosa salmone in Figura 4-7) è rappresentato da una superficie di erosione che "decapita" la faglia. La "*rasatura*" comporta che a questa non sia riconducibile alcuna espressione morfologica sepolta. C-C' rappresenta invece una situazione opposta. Il contatto tra i suddetti "*Depositi*" e il Conglomerato di Pezzo, nonché tra quest'ultimo e "*Depositi di versante*" (colore bianco con simboli geometrici arancioni) è ad alto angolo, in corrispondenza di una scarpata sepolta dagli stessi sedimenti. Il gradino in questione ha la stessa pendenza del piano della faglia, col quale è in continuità geometrica.

La rappresentazione in D-D' rappresenta l'azione erosiva, la formazione di una superficie di erosione che ha decapitato la faglia e la successiva sedimentazione al di sopra della citata superficie. Si tratta di una successione di eventi che, al netto delle questioni cronologiche sopra richiamate, definirebbe l'inattività della faglia. La sezione C-C' si presta invece a una interpretazione non univoca. La formazione della scarpata col medesimo angolo della sottostante faglia potrebbe essere il risultato di erosione in grado di "esumare" il piano di scorrimento sul quale, poi, si sarebbero appoggiati i sedimenti più recenti. Va tuttavia considerato che al contesto erosivo e deposizionale di piana costiera attengono azioni di agenti morfogenetici in grado di incidere fortemente nella modellazione del paesaggio. Questo aspetto è congruente con quanto mostrato in D-D', assai meno con quanto rappresentato in C-C'. Date le caratteristiche del citato ambiente erosivo/deposizionale, l'appoggio dei sedimenti olocenici sul Conglomerato di Pezzo avrebbe dovuto presentare un angolo più basso, non la medesima pendenza del sottostante piano di faglia, oppure essere "arretrato" rispetto all'emergenza di questo. Quanto espresso in C-C' potrebbe evocare piuttosto attivazione della faglia nel corso dell'Olocene, dopo la sedimentazione dei "*Depositi di piana costiera*" e dei "*Depositi di versante*". In pratica, il contatto tra questi e il Conglomerato di Pezzo sarebbe per faglia e questa dovrebbe considerarsi attiva e capace, al contrario di quanto desumibile dalla sezione D-D'.

In relazione alla sponda siciliana, il **PD** offre utili informazioni per la zona della fondazione della torre, dell'ancoraggio e del viadotto Pantano. Nella "*Relazione geologica generale*" (PB0004_FO), p. 61, sono disponibili informazioni sulla faglia di Ganzirri: "*Nella penisola di Capo Peloro il Pantano Grande di Ganzirri ha un andamento allungato parallelamente alla linea di costa e ciò suggerisce un controllo strutturale. L'origine del laghetto non può essere imputata alle correnti*

marine, qui molto forti e con azione erosiva; inoltre, la spiaggia è caratterizzata da una beach-rock, costituita da conglomerato cementato. Escludendo pertanto la causa del trasporto di sedimenti lungo costa, l'unica spiegazione plausibile è quella di una faglia a monte dello specchio d'acqua, con il lato ribassato a sud e un basculamento con formazione di una lieve depressione entro la quale si è formato il laghetto. Tale depressione non sparisce bruscamente nella terminazione est del pantano, ma si estende smorzandosi gradualmente fino ad interessare l'area del Viadotto Pantano". Si tratterebbe di una morfogenesi fortemente condizionata dall'attività tettonica (peraltro confermata anche nella recente pubblicazione di Somma et al., 2024), secondo modalità che talora si individuano in prossimità delle emergenze di faglie attive e capaci (es. Posta Fibreno, nella provincia di Frosinone; Saroli et al., 2022).

Se l'interpretazione in PB0004_FO fosse corretta, la faglia al margine di monte del Pantano Grande dovrebbe essere considerata almeno potenzialmente attiva e capace: data l'interferenza della stessa con l'impianto del viadotto Pantano, è necessario che il piano delle attività di **PE** comprenda i relativi approfondimenti basati su indagini integrative geologiche, geofisiche e paleosismologiche. La faglia in questione è anche tracciata sugli elaborati PB0016_FO "*Carta geologica Sicilia*" e PB0020_FO, "*Carta di sintesi degli elementi morfotettonici relativa alle aree di imposta ed al transetto dell'opera di attraversamento*".

Alle pagg. 68-69 e nella figura 7.7 di PB0004_FO, nel quadro di ricostruzioni dell'andamento del sottosuolo prossimo basate su dati geofisici, a ridosso della linea di costa dello Stretto, tra il Pantano Grande e il Pantano Piccolo, viene individuato "*un alto strutturale in corrispondenza del sito della torre, una depressione ubicata immediatamente a nord sul prolungamento del Pantano Grande ed una ulteriore risalita verso nord*". Si conclude che "*tali immagini sono di conferma alle ipotesi formulate nella descrizione dei caratteri strutturali della penisola di Capo Peloro, nella quale si metteva in connessione la depressione del Pantano Grande con un basculamento legato ad una probabile faglia* [...]". La ricostruzione dell'andamento del sottosuolo prossimo confermerebbe l'origine tettonica della depressione del Pantano Grande, aggiungendo una faglia al margine meridionale della stessa, posta a circa 300 m dalla torre sul lato Sicilia, che ribasserebbe verso nord, creando una struttura tipo graben. Anche questa faglia, in ragione della dislocazione delle Ghiaie di Messina, dovrebbe essere considerata potenzialmente attiva e capace, quindi oggetto di approfondimenti mediante nuove indagini geofisiche, soprattutto di sismica a riflessione ad alta risoluzione e di tomografia di resistività elettrica.

Dal punto di vista geologico-strutturale, va considerata la plausibilità della faglia proposta nella Figura 7.7 di PB0004_FO, in relazione alla sua appartenenza a un sistema di cui fanno parte anche le strutture a mare in prossimità della costa, caratterizzate dalla medesima direzione, evidenziate, ad esempio, nel già citato elaborato PB0020_FO.

A p. 74 di PB0004_FO, nell'ambito di valutazioni sull'ancoraggio lato Sicilia, si cita la presenza di una faglia che interesserebbe le Ghiaie e Sabbie di Messina, con ribassamento delle stesse verso il Tirreno, riportata nelle carte geologiche PB0005_FO e PB0016_FO, nonché nelle sezioni L-L' e M-M' dell'elaborato PB0012_FO, riportate nella Figura 4-8, dove i cerchi rossi evidenziano la faglia ipotizzata in altri documenti geologici (PB0004_FO, PB0005_FO, PB0016_FO). L'apparente coinvolgimento delle Sabbie e Ghiaie di Messina, in mancanza di sedimenti recenti che la sigillino, la rende faglia potenzialmente attiva e capace, la cui consistenza, ubicazione e caratteristiche, data la prossimità all'ancoraggio, è necessario vengano chiarite con ulteriori indagini (geologiche, geofisiche, paleosismologiche) nella fase iniziale di sviluppo del **PE**.

Ai vari elementi di incertezza, può aggiungersi che nell'elaborato **PMC** Parsons "*Independent design check report, vol. VII, Geo-Seismic/Ground Motions Report*" (PMCNWYPICDP00000000000007B, del 2011), alla pag. 20, è rappresentata una sezione geologica dell'attraversamento, nella quale sono tracciate faglie nella zona di Cannitello e la faglia di Pezzo (Calabria), definite attive in legenda. In calce alla figura, si fa riferimento al volume "*The Messina Strait Bridge: A Challenge and a Dream*" di Brancaleoni et al. (2010). Tuttavia, nella citata pubblicazione, le faglie sul lato Calabria, riportate in una sezione alla p. 141 appaiono sigillate da "*depositi marini costieri*" e pertanto, al netto dell'età di questi, dovrebbero essere considerate inattive e non capaci.

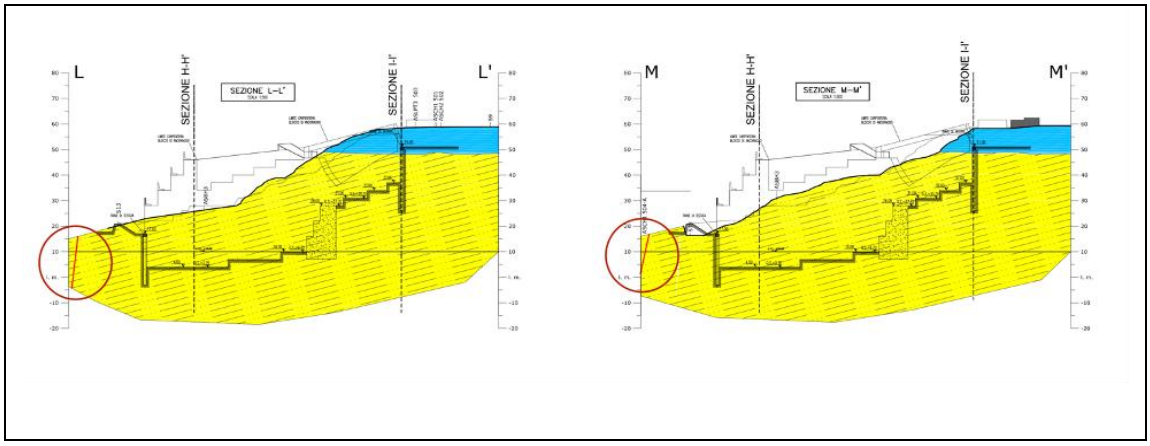


Figura 4-8.- Sezioni geologiche relative alla zona di ancoraggio lato Sicilia, tratte dall'elaborato PB0012_FO.

La non univocità delle valutazioni emerse dalla lettura dei vari documenti disponibili nell'ambito del **PD** potrebbe essere risolta con l'acquisizione, elaborazione e valutazione di nuovi dati geologici (compresi quelli desumibili da indagini paleosismologiche) e geofisici, di cui tener conto nella programmazione di attività e indagini nella fase iniziale del **PE**.

4.2.2.3. Gli effetti geologici del terremoto del 1908

Nella "*Relazione generale geo-sismotettonica*" (PB0021_FO), l'argomento in questione è trattato soprattutto nella prospettiva di definire possibili evidenze di fagliazione di superficie, quindi di individuare eventuali faglie capaci. Tuttavia, nella stessa PB0021_FO, si evidenzia che "*il numero degli effetti cosismici individuati è relativamente basso*" (p. 282). Correttamente, si osserva anche che "*non esistono lavori specifici che forniscano descrizioni dettagliate di questi effetti se non nelle immediate vicinanze della zona maggiormente colpita*" (p. 282) e che "*per ammissione degli stessi autori delle principali opere di riferimento per questo terremoto, come Mercalli (1909) e Baratta (1910), ci fu una tendenza a concentrare l'attenzione più sui danni alle infrastrutture e al tessuto urbano che non sul territorio*" (p. 283).

Le implicazioni della limitata conoscenza sugli effetti geologici del 1908 emergono richiamando quanto noto per un terremoto di circa sei anni successivo a quello dello Stretto. In occasione del sisma che il 13 gennaio 1915 interessò l'Italia centrale, epicentro nella Piana del Fucino (Abruzzo), M 7.1, i rilievi dell'epoca inclusero osservazioni su quella che oggi si definirebbe fagliazione di superficie (Oddone, 1915). Se ci si basasse su quelle informazioni per definire le faglie attive e capaci dell'area, a causa della mancata rappresentazione della dislocazione nel 1915, a diversi segmenti di faglia non sarebbe attribuibile attività e capacità nel dataset relativo a questa parte dell'Appennino centrale. Al contrario, l'attività e la capacità, nonché l'attivazione in occasione del terremoto del 1915, sono poi state provate dalle indagini paleosismologiche (Galadini e Galli, 1999; Galli et al., 2012).

Da ciò si evince la necessità di adottare una certa cautela nell'utilizzo dell'informazione sugli effetti geologici del terremoto del 1908 ai fini dell'accertamento dell'assenza di faglie attive e capaci nell'area dello Stretto.

Inoltre, il senso della definizione di limiti cronologici ampi per l'attribuzione di attività/inattività e capacità/non capacità (es. i 40.000 anni delle Linee Guida **FAC**) risiede anche nella necessità di includere nella stima un ampio numero di eventi sismici con i possibili effetti associati, piuttosto che un solo evento, al fine di giungere a una caratterizzazione più affidabile.

4.2.2.4. Relazione AMW3000 e riscontro alla Commissione Tecnica di VIA-VAS del MASE

Procedendo in ordine cronologico, del 2024 è l'approfondimento delle conoscenze di cui alla citata relazione AMW3000 "*Suolo e sottosuolo: aggiornamenti sulle pericolosità geologiche e idrogeologiche*". Qui, i redattori procedono tramite "*confutazione geomorfologica*" dei contenuti del Catalogo ITHACA, relativi a 24 faglie dell'area

dello Stretto, di interesse per le opere. L'analisi è condotta anche mediante rilettura critica della letteratura disponibile, ma senza l'immissione di nuovi dati acquisiti ad hoc.

La scelta porta a chiedersi perché, in questa revisione i redattori abbiano provveduto ad analizzare il contenuto del Catalogo ITHACA e non anche quanto disponibile nel non trascurabile numero di allegati del **PD**, considerato che, come si dirà più avanti, altri elaborati del 2024 utilizzano proprio le risultanze delle indagini svolte nel quadro della redazione del **PD** (come peraltro ammesso in AMW3000, inizio par. 2.2.1, p. 15). Una parziale spiegazione si riscontra a p. 18: "*Le ragioni di questa scelta risiedono nel fatto che il database ITHACA è un prodotto ufficiale gestito da ISPRA e include, dopo revisione da parte del gruppo di lavoro, faglie ritenute attive e capaci pubblicate nella letteratura scientifica. In questo senso, le faglie presenti in ITHACA formano un dataset esaustivo che dovrebbe includere gli elementi tettonici più accreditati dal punto di vista della correttezza scientifica, pur essendo stati mappati e inclusi nella banca-dati ad una scala non di dettaglio* […]". L'attribuzione di esaustività al Catalogo ITHACA sembra però non tenere conto di alcune valutazioni da parte dello stesso gruppo di lavoro che lo produce, riportate nelle citate "Linee guida alla consultazione e all'utilizzo" (**ISPRA**-Servizio Geologico d'Italia, 2022). Un passaggio sembra piuttosto indicativo: "*Le faglie capaci sono incluse nel Catalogo ITHACA a seguito della revisione critica dei dati disponibili in letteratura. Si tratta di un processo in continuo aggiornamento da cui consegue che ITHACA non rappresenta la totalità delle faglie capaci presenti sul territorio nazionale, ma solo quelle per le quali esiste uno studio, anche di livello minimo e quindi un riferimento bibliografico*" (p. 13). In pratica, si ammette esplicitamente che la completezza dell'informazione dipende da qualità e quantità dei dati scientifici pubblicati: è logico attendersi che un'ampia e aggiornata bibliografia possa portare a quadri di sintesi ricchi di informazioni nel Catalogo ITHACA; al contrario, per un territorio caratterizzato da un limitato numero di studi o da contributi non recenti, ci si potrà attendere una rappresentazione lacunosa. In AMW3000 è utilmente fornita in formato tabellare l'informazione bibliografica disponibile per le 24 faglie dell'area dello Stretto (p. 16). Dalla colonna "*Reference(s)*", si evince che i lavori più recenti utilizzati nel Catalogo ITHACA sono i citati Guarnieri e Pirrotta (2008) e Ferranti et al. (2008), prodotti che sono esito di ricerche di quasi venti anni fa. Manca, ad esempio, il riferimento al più recente Monaco et al. (2017), nel quale sono riportate informazioni sulle faglie di Pezzo, Campo Piale (lato Calabria) Ganzirri, Faro Superiore (lato Sicilia), caratterizzate, secondo gli autori, da attività negli ultimi ca. 170 ka.

Come già osservato, l'assenza in letteratura di contributi recenti (quindi anche metodologicamente aggiornati grazie all'esperienza maturata negli ultimi venti anni), dedicati allo studio delle faglie attive e capaci, è un limite che riduce la stessa potenzialità dell'approccio bibliografico ai fini dell'aggiornamento del **PD** proposto nella **RP**. **Da quanto premesso, consegue che il contenuto del Catalogo ITHACA non può, per l'area dello Stretto, sopperire alle assai probabili lacune informative che solo specifiche indagini di terreno consentirebbero di colmare.**

Si tratta di una questione metodologica sulla quale gli stessi redattori delle "Linee guida alla consultazione e all'utilizzo" del Catalogo ITHACA si espongono con chiarezza: "*una faglia capace inclusa in ITHACA deve essere considerata come una struttura potenzialmente in grado di produrre fagliazione superficiale e per questo deve essere oggetto di ulteriori indagini di tipo morfotettonico e paleosismologico, a meno di quei pochi casi in cui tali approfondimenti siano stati già fatti e riportati in letteratura o in documenti approvati dagli Enti competenti. Al riguardo ISPRA declina ogni responsabilità per un utilizzo tale e quale delle informazioni contenute in ITHACA, in particolare della traccia della faglia, senza le necessarie verifiche e approfondimenti, con indagini in sito e procedure specifiche e codificate*" (**ISPRA**-Servizio Geologico d'Italia, 2022; p. 13).

Se si ammette la probabile lacunosità informativa del Catalogo ITHACA per l'area dello Stretto, mal si comprende la ragione della mancata analisi critica dei contenuti degli elaborati del **PD**, che restituiscono un quadro di conoscenze parzialmente diverso e che, tuttavia, dovrebbero costituire un riferimento proprio in quanto espressione delle attività svolte nella predisposizione del Progetto stesso. Si noti, al proposito, che in un documento elaborato nel 2024, relativo alla microzonazione sismica del Comune di Villa San Giovanni (AMW3010, di cui si dirà più avanti), vengono riportate sia le faglie cartografate nel Catalogo ITHACA che quelle definite nel **PD**.

L'incompletezza dell'informazione rappresentata nel Catalogo ITHACA, senza però che questa sia inquadrata nel limite degli apporti bibliografici di cui si è detto – apporti bibliografici che però dovrebbero costituire il cardine del processo di approfondimento proposto in **RP** –, è adeguatamente rimarcata in AMW3000 (p. 19). A ciò segue (pp. 20-21) un insieme di "cinque opzioni" che contribuiscono a definire la tipologia della faglia: "*sismogenetica*" o "*non-sismogenetica*", "*tettonica, ma non più attiva*", "*gravitazionale*" ecc. e una "*serie di caratteri che aiutano a discriminare tra le cinque opzioni*". Si tratta di un processo di confutazione logica volto alla dimostrazione della scarsa consistenza delle faglie attive e capaci riportate nel Catalogo ITHACA.

Tuttavia, alcuni dei "*caratteri*", sebbene concettualmente condivisibili, non sembrano essere conclusivi ai fini dell'esclusione di attività e capacità. Ad esempio, al punto ("*carattere*") 1 (p. 20) si legge: "l'assenza sistematica di esposizioni dirette del presunto piano di faglia, che dovrebbe essere visibile quantomeno nelle incisioni causate dalle fiumare […]". Sebbene si tratti di valido indizio a favore dell'inconsistenza delle faglie, va detto che alla "sistematicità" possono contribuire anche le caratteristiche dei sedimenti eventualmente coinvolti (es. Ghiaie e Sabbie di Messina), la cui granulometria e scarsa resistenza all'erosione non favoriscono la visibilità di eventuali piani di scorrimento. Del resto, non sempre le faglie caratterizzate da attività tardo-quaternaria si manifestano con chiarezza: la loro espressione (nonché la stessa evidenza degli scorrimenti recenti) talora emerge solo a seguito di dettagliati rilevamenti geologici. Le faglie che interessano le Ghiaie e Sabbie di Messina nell'area di Annunziata, con direzione parallela alla costa, sono evidenziate dall'andamento dei limiti geologici, riconducibile agli spostamenti verticali delle unità stratigrafiche (Fig. 5.8 dell'elaborato "*Geosismotettonica – Relazione Generale*" del **PD**, PB0021_FO, p. 170; carta AMW2610, del 2024). Ad analoghe conclusioni si giunge, sempre sul lato siciliano, per le faglie nell'area del settore terminale della Galleria Santa Cecilia (carta AMW2611, del 2024), o per quelle tracciate nella "*Planimetria e profilo geologici in corrispondenza dell'attraversamento*" (PB0005_FO) nell'area di Messina. In base ai contenuti dei suddetti elaborati, queste faglie sono geologicamente consistenti indipendentemente dalla visibilità dei piani di scorrimento o dalla espressione morfologica e, secondo i criteri espressi dalle Linee Guida **FAC**, sarebbero comunque da considerarsi potenzialmente attive e capaci.

Al punto 2 (p. 20) si cita: "*la regolarità della quota a cui si osserva il presunto contatto di faglia (es. faglia di Pezzo); un fenomeno insolito per una reale dislocazione tettonica, ma ben compatibile con una origine del contatto per abrasione marina*". È altro argomento condivisibile (peraltro evidente anche nella relativamente dettagliata schematizzazione offerta nella Figura 5a di Monaco et al., 2017), ma non conclusivo: la citata evidenza geometrica riguarda molti segmenti o sezioni di faglie di lunghezza paragonabile a quella di Pezzo, ad esempio emergenti in territori appenninici, la cui attività e capacità sono ben documentate.

Proprio il richiamo alla faglia di Pezzo è utile per chiarire che questo elemento geologico è oggetto di opposte interpretazioni (come già osservato in precedenza), correttamente riportate in AMW3000. In questo contesto, una critica consistente all'ipotesi dell'attribuzione di attività recente alla faglia di Pezzo è legata all'elevato rateo di movimento a essa attribuibile in base alle informazioni disponibili (es. Monaco et al., 2017 e relativa bibliografia): "*è molto difficile che una faglia lunga appena 3.5 km […] accumuli dislocazione a questa velocità*" (AMW3000, p. 31). Si tratta di argomento su cui si tornerà più avanti, in relazione ad altra ipotesi interpretativa.

Se le osservazioni (condivisibili, ma nel complesso raramente conclusive) si inquadrano in una logica revisione critica dei criteri in base ai quali alcune faglie attive e capaci sono state definite tali nella letteratura scientifica, la mancanza di nuove e dettagliate indagini e delle relative acquisizioni di dati in rapporto alle opere previste possono sollevare dubbi. Ad esempio, alla p. 36, figura 2.2.5.1.1, di AMW3000 si riprende, da Dumas (2008), l'immagine di un affioramento della faglia di Pezzo, che porrebbe a contatto il bedrock cristallino con i depositi del "*terrazzo IV di Dumas (2008)*" (virgolettato tratto dalla didascalia). Per quanto non facilmente leggibile, la fotografia fa sorgere il dubbio che i sedimenti in questione siano dislocati dalla faglia e che pertanto essa debba considerarsi potenzialmente attiva e capace, applicando le linee guida della **MZS**, e addirittura attiva e capace utilizzando la prassi adottata nel Catalogo ITHACA (ove, in effetti, è riportata come tale).

Procedendo con le valutazioni di dettaglio espresse in AMW3000, della faglia di Cannitello è opportunamente ripercorsa la storia della rappresentazione nei vari documenti progettuali (p. 35): "*compare come Faglia n. 128, 128a, 128b e 128c nelle mappe PP 2D-A22001 e PP 2D-A22002 del Progetto Preliminare del 2004, e in effetti è citata e rappresentata già nel Progetto di Massima del 1992* […]". Nella figura 2.2.4.7 a p. 33, è mostrata la sezione sismica prossima alla torre del lato Calabria, con l'evidenza della faglia 128, ricordandone la coincidenza con quella cosiddetta di Cannitello. In AMW3000 è altresì menzionata la bibliografia d'interesse (es., pp. 34 e 36), dalla quale emergono le visioni non univoche in relazione alla consistenza e all'attività. Si cita inoltre il Catalogo ITHACA, ricordando che esso include la faglia in questione. A p. 42, quanto ipotizzato per l'evidenza morfologica della faglia di Pezzo, considerata "*un caso di convergenza morfologica tra una falesia generata dall'attività di abrasione marina e poi sollevata da un meccanismo regionale, e la superficie sub-planare di un piano di faglia eroso*", è esteso anche alla faglia di Cannitello e a quella definita Matiniti. Si avanza altresì l'ipotesi che anche le evidenze della faglia di Piale, e delle altre del settore Piale-Musalà-Acciarello, "*siano in effetti le falesie poste al bordo interno dei terrazzi marini ben documentati nell'area*" (pag. 37). Anche in questo caso, tuttavia, ci si muove su un piano indiziario. Si suggerisce inconsistenza o inattività delle faglie, senza fornire indicazioni dirimenti sull'argomento. Alla solida caratterizzazione potrebbero soltanto contribuire le nuove indagini già invocate in riferimento alla faglia di Pezzo.

Per la sponda siciliana, si richiama la scarsità dei dati e l'incertezza del tracciamento delle faglie nel settore compreso tra Ganzirri e Messina (pp. 38-39). Tuttavia, questa condivisibile evidenza non sembra costituire spunto per programmare ulteriori indagini di terreno necessarie a fare luce su consistenza e caratteristiche di quanto poco conosciuto. Allo stesso tempo, la traccia della faglia di Ganzirri, a monte del Pantano Grande, è tracciata in "*Sicilia – Carta Geologica – tav. 1/4*" (AMW2608), elaborato pure realizzato nel 2024 in risposta alle richieste **VIA-VAS.**

Tornando agli aspetti più generali della discussione, l'assenza di nuovi dati e la conseguente impossibilità di esprimersi in maniera conclusiva su attività/inattività e capacità/non capacità emerge nei paragrafi di AMW3000 che riguardano le varie faglie del Catalogo ITHACA (da p. 35). Qui si tratta di valutazioni sulle caratteristiche delle evidenze morfologiche, estranee all'espressione in superficie di faglie attive; di carenze informative nel Catalogo ITHACA o nella bibliografia disponibile; di incompatibilità con il regime tettonico in atto; di convergenza di forme dell'espressione in superficie delle faglie capaci con la topografia dovuta ai processi di terrazzamento; di difficoltà di corretta localizzazione delle stesse faglie in base al confronto tra bibliografia e contenuti del Catalogo ITHACA. Le varie osservazioni, condivisibili, sembrano tuttavia fermarsi al livello indiziario: suggeriscono inconsistenza o inattività delle faglie, ma non possono escluderla in maniera definitiva. Alla solida caratterizzazione possono soltanto contribuire nuove acquisizioni di dati, con moderni approcci che integrino le osservazioni geomorfologiche di superficie con le indagini geofisiche e l'analisi delle pareti di scavi geognostici in prospettiva paleosismologica. È in questa chiave che può leggersi un passaggio dal paragrafo 2.2.6 di AMW3000, "Sintesi conclusiva", p. 40: "*l'esistenza di molte delle 24 faglie attive e capaci* […] *è certamente controversa; non solo per la scarsità dei dati disponibili per caratterizzarle, ma anche per le forti differenze nella loro esatta localizzazione, come si è visto ad esempio per le faglie di Cannitello-Scilla e Curcuraci-Larderia. Che queste faglie – o quantomeno alcune di esse – siano attive e potenzialmente capaci resta comunque plausibile, anche alla luce dei dati geofisici* […], *della modellazione analogica* […] *e della analogia con altre aree tettonicamente attive*".

A completamento di quanto sopra, si può richiamare un passaggio dal "*Rapporto finale delle attività di controllo e verifica PMC Parsons della fase di riavvio delle attività di programmazione e progettazione dell'opera*" (29 gennaio 2024). In relazione al problema delle faglie capaci, nel documento si fa riferimento a due schede della **RP**, *P.CA.AB-018 e -020*. In entrambi i casi si osserva che si "*dovrà porre attenzione alle faglie capaci e i rispettivi sistemi di fratturazione ad esse connessi*". Nel riscontro del Contraente Generale, si legge: "*per quanto riguarda le faglie capaci queste saranno oggetto dell'aggiornamento dello studio sismotettonico, mediante la consultazione della banca dati Ithaca, aggiornata al 2022*". Quanto riportato nelle pagine precedenti fornisce elementi di riflessione sull'efficacia di questa procedura al fine di ottenere indicazioni conclusive sull'argomento.

4.2.2.5. Le faglie attive e capaci nelle microzonazioni sismiche (MZS) e nelle informazioni sulle opere

La necessità di chiarire aspetti su consistenza e attività delle faglie si lega anche alla lettura di quattro ulteriori documenti redatti nel 2024 in relazione alle richieste della **CTVA**: si tratta della "*Carta di microzonazione Calabria-Comune di Villa San Giovanni (con sovrapposizione opere e cantieri)*" AMW3010, della "*Carta di microzonazione Calabria-Comune di Campo Calabro (con sovrapposizione opere e cantieri)*" AMW3011 e degli elaborati "*Carta di microzonazione Sicilia – Comune di Messina (con sovrapposizione opere e cantiere) – tav.3/4*" e "*Carta… idem tav. 2/4*" (AMW2614 e 2613).

In generale, per gli aspetti qui trattati, le **MZS** hanno importanza in quanto nella mappa delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica dovrebbero essere indicate anche le eventuali zone di attenzione per faglia attiva e capace (**ZAFAC**, livello 1) e le eventuali zone di suscettibilità (**ZSFAC**) e rispetto (**ZRFAC**) per faglia attiva e capace (livello 3), secondo quanto stabilito dalle Linee Guida **FAC**.

Ciò premesso, AMW3010 non individua zone secondo gli indicati criteri di redazione delle **MZS**, piuttosto delle "*Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci*", distinguendo con due diversi simboli quanto riconducibile al Catalogo ITHACA e quanto alle "*Faglie da cartografia di progetto*", cioè disponibile dal 2011 nei documenti del **PD**. Le suddette aree presentano, pertanto, ampiezze diverse da quelle previste per le varie zone definite nelle Linee Guida (400 m per **ZAFAC**; 160 m per **ZSFAC**; 30 m per **ZRFAC**), dell'ordine di alcune decine di metri, comunque superiori a quanto atteso nelle **MZS** di livello 3 per le **ZRFAC**.

L'altro elaborato, la "Carta di microzonazione Calabria-Comune di Campo Calabro (con sovrapposizione opere e cantieri)" AMW3011, ha un'impostazione diversa da AMW3010. In esso, infatti, seguendo i criteri delle Linee Guida **FAC**, è tracciata una "*Zona di attenzione per faglia attiva e capace*" (**ZAFAC**). La zona in questione è caratterizzata da geometria complessa e, soprattutto, da una significativa ampiezza, fino a 700 metri, decisamente maggiore di quella suggerita nelle Linee Guida **FAC** per le **ZAFAC** (400 m).

Per quanto riguarda il lato Sicilia, sulle due tavole (2/4 e 3/4) della "*Carta di microzonazione Sicilia – Comune di Messina (con sovrapposizione opere e cantiere)*" (AMW2613 e 2614), sono tracciate delle "*Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci*". Queste però non riflettono i contenuti delle carte geologiche AMW 2608 (citata nel precedente paragrafo), 2609, 2610 e 2611 (discusse nel capitolo dedicato alle opere di collegamento), prodotte nel quadro dell'aggiornamento **VIA-VAS** del 2024. Includono invece, parzialmente, i contenuti del Catalogo ITHACA. In queste carte, l'ampiezza delle aree interessate dalle faglie è nell'ordine dei 140 m, quindi diversa dai dimensionamenti delle varie "zone" previsti nel livello 1 e nel livello 3 dalle Linee Guida **FAC** (vedi sopra).

Nel quadro delle opere di interesse per l'attraversamento, si evidenzia che nella carta redatta per il Comune di Villa San Giovanni (AMW3010) sono tracciate "*Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci*" a cavallo delle faglie di Pezzo e di Cannitello. Inoltre, la stessa carta riporta un'altra "*area*" a monte di Cannitello. La posizione fa supporre che possa riferirsi alla "faglia 128" del **PP**. Come noto, le **MZS** di livello 1 sollecitano approfondimenti mediante indagini geologiche, geofisiche e paleosismologiche nella fase di redazione del livello 3. In questa ottica, l'elaborato in questione costituisce un elemento, che si aggiunge agli altri, di richiamo alla necessità di nuove indagini.

La **MZS** dell'area comunale di Messina non riporta alcuna traccia della faglia di Ganzirri, che pure è presente anche negli elaborati del 2024 realizzati per le richieste **VIA-VAS** del **MASE**. È il probabile esito di una realizzazione del documento informata, come molte **MZS** di livello 1, alle rappresentazioni nel Catalogo ITHACA che, infatti, non riporta la faglia di Ganzirri.

In generale, i suddetti elaborati AMW3010, 3011, 2613 e 2614 riguardano **MZS** di livello 1 e, in rapporto ai loro limiti, la relazione AMW3000, da p. 133, si esprime molto chiaramente: "[…] *carattere puramente qualitativo e contenente indicazioni di massima sul comportamento atteso in prospettiva sismica da parte dei terreni affioranti* […]" (pp. 133-

134); "*appare evidente come gli elementi tratti da uno studio di MS di 1° livello possano costituire soltanto uno strumento conoscitivo in termini di larga massima nella progettazione di un'opera di assoluto rilievo quale l'attraversamento stabile Sicilia Calabria e al pari di tutte le opere accessorie*" (p. 135); "[…] *stanti i livelli di approfondimento delle indagini di MS svolte* […], *necessariamente le aree perimetrate come zone di instabilità (FAC* […]) *sono tutte corrispondenti a ZA, per cui il grado di incertezza è notevole. Di conseguenza per ciascuna di esse non risulta né accertata, né esclusa la reale occorrenza di fenomeni di instabilità dei terreni in coincidenza di terremoti*" (p. 136); "*i risultati e gli elaborati cartografici derivano quasi esclusivamente da studi a carattere bibliografico, ovvero non sono basati su indagini specifiche e originali con nuovi dati appositamente prodotti* […]" (p. 137). Si tratta di osservazioni condivisibili, che fanno comprendere come, in ragione delle lacune conoscitive, le **MZS** di livello 1 necessitino di approfondimenti mediante ulteriori acquisizioni di dati.

Tuttavia, i vari passaggi di AMW3000 portano a ritenere che non nella prospettiva sopra indicata vengano citati i limiti delle microzonazioni sismiche di livello 1, quanto piuttosto per affermare l'inaffidabilità delle stesse. Si tratta di una lettura "in negativo", che minimizza il potenziale apporto di questi elaborati. Ma se l'esclusivo utilizzo dell'informazione bibliografica costituisce un elemento di debolezza delle microzonazioni sismiche, va ricordato che la stessa informazione rappresenta la base per la realizzazione del Catalogo ITHACA, cui, infatti, le **MZS** di livello 1 fanno riferimento in tema di faglie attive e capaci e cui, in prospettiva di revisione critica, si rivolge AMW3000 (come visto in precedenza). Peraltro, gli "*studi a carattere bibliografico*" sarebbero gli stessi necessari per gli aggiornamenti previsti nella **RP**. In pratica, in relazione alle **MZS** si valuta la limitata efficacia dell'utilizzo della bibliografia; allo stesso tempo, la revisione critica di questa, nelle modalità e con i limiti visti nel paragrafo dedicato a AMW3000, diviene sostanziale per dubitare sulla presenza di **FAC** (ma non per escluderla in maniera definitiva). Il quadro concettuale, di non semplice lettura, sembra suggerire la necessità di un cambiamento di approccio, volto non più alla lettura/rilettura di quanto proposto dalla comunità scientifica spesso con finalità diverse da quelle applicative legate all'identificazione e caratterizzazione di **FAC**, quanto piuttosto a nuove indagini di terreno svolte proprio ed esclusivamente per le finalità suddette.

Rispetto all'impostazione "bibliografica" di cui in **RP**, AMW3000, Catalogo ITHACA, microzonazioni AMW3010, 3011, 2613 e 2614, va ricordato che le esperienze dei terremoti del 2009, 2012 e 2016-2017 hanno rappresentato momenti di riflessione e di aggiornamento delle pratiche di studio e gestione delle criticità geosismiche. Di ciò è evidenza, ad esempio, nelle microzonazioni di comuni nelle zone a più elevata pericolosità sismica e nelle attività propedeutiche alla progettazione di particolari opere. Al primo tipo di attività attengono le già citate Linee Guida **FAC**. Queste prevedono che la redazione degli elaborati nel cosiddetto livello 1, con le relative zone di attenzione in corrispondenza dell'emergenza delle faglie, sia basata in prevalenza sull'informazione bibliografica. Tuttavia, l'approfondimento della conoscenza mediante analisi paleosismologiche, di solito precedute da indagini geofisiche, finalizzate a definire la consistenza delle faglie, è prevista nel passaggio al livello 3 della **MZS**, ambito nel quale si procede al tracciamento di Zone di Rispetto e Zone di Suscettibilità (es. Gori et al., 2026), oppure all'annullamento delle ipotesi formulate in ambito di livello 1. Il caso delle **MZS** suggerisce che l'argomento delle **FAC** nell'area dello Stretto debba essere approfondito non soltanto in base alla letteratura disponibile.

Studi di dettaglio con modalità analoghe a quelle sopra richiamate hanno riguardato anche recenti interventi di enti territoriali e privati cittadini per attività edilizie all'interno di zone di attenzione per **FAC** (es. Maceroni et al., 2022; Iezzi et al., 2023; Tallini et al., 2025). Oggi, pertanto, è prassi la definizione di un quadro di conoscenze mediante l'insieme di indagini mirate, che ormai costituiscono riferimento metodologico, meno usuali quindici o venti anni fa.

4.2.2.6. Aggiornamenti del 2026

Procedendo in ordine cronologico, è opportuno citare l'audizione dei consulenti presso il **CSLP** in data 09.04.2026. In relazione alla zona interessata dalla faglia di Cannitello, sulla sponda calabrese, sono state mostrate nuove sezioni geologiche C-C' e D-D' (Figura 4-9). Queste consentono di apprezzare informazioni cronologiche non disponibili nel **PD**, frutto dell'acquisizione di età numeriche con il metodo del radiocarbonio. Le datazioni in questione consentono

di attribuire la parte stratigraficamente più bassa dei "*Depositi di Piana Costiera*" al Pleistocene superiore post Ultimo Massimo Glaciale (ca. 18.000 anni BP). Sebbene si tratti di età assai più recente del limite di 40.000 anni stabilito dalle Linee Guida **FAC** per discriminare attività e inattività delle faglie, è chiaro che l'assenza di dislocazioni nel corso di molti millenni rappresenta un'informazione di grande importanza ai fini dell'argomento qui trattato.

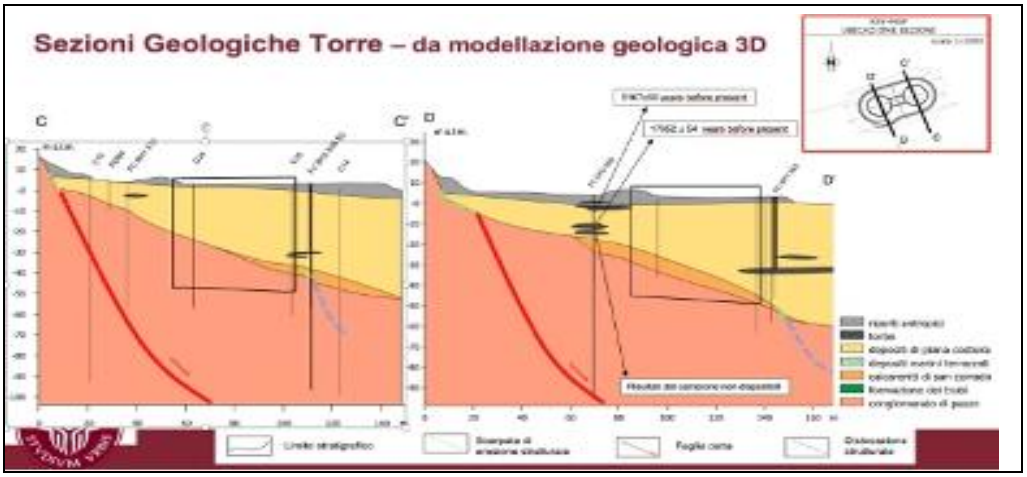


Figura 4-9.- Sezioni C-C' e D-D' sulla fondazione della torre, lato calabrese, mostrate il 9 aprile 2026

Altra consistente variazione rispetto alle sezioni C-C' e D-D' del **PD** è rappresentata dalla geometria delle faglie sepolte al di sotto della fondazione. Se le sezioni del **PD** mostravano due netti gradini, quelle del 2026 ne mostrano uno solo, peraltro non pronunciato come quelli del 2011, suggerendo che l'unica faglia rappresentata nel 2026, forse minimamente responsabile della dislocazione delle Calcareniti di San Corrado, non interessi affatto i soprastanti "*Depositi di Piana Costiera*". Sulle sezioni del 2026, prodotte da modellazione geologica 3-D, sono riportate indicazioni di sondaggi apparentemente non richiamati nell'elaborato del 2011 (PB0010_FO). Tuttavia, la stessa localizzazione delle verticali dei carotaggi – e in generale il carattere puntuale dell'informazione anche a fronte dell'elevato numero degli stessi – chiarisce una certa discrezionalità nel tracciamento delle geometrie di sottosuolo (sia 2- che 3-D) e quindi il ruolo determinante dell'interpretazione nella costruzione delle sezioni geologiche. Si tratta di prassi ed esiti piuttosto comuni nella definizione degli assetti geologico-strutturali sepolti, che riguardino ambienti continentali, sulla base di informazioni puntuali (sondaggi), anche in ragione della discontinuità e variabilità geometrica di forme e corpi sedimentari.

Per quanto riguarda più in dettaglio la faglia di Cannitello, nelle nuove sezioni C-C' e D-D' poco cambia rispetto alle analoghe del **PD**. Persiste in D-D' l'evidenza della "decapitazione" dell'emergenza della faglia in ragione di attività erosiva e successiva "suturazione" da parte dei "*Depositi di Piana Costiera*" – aspetto che suggerisca inattività almeno olocenica. Persiste altresì il contatto ad alto angolo (sulla prosecuzione verso l'alto e con la stessa inclinazione della sottostante faglia) tra Conglomerato di Pezzo e "*Depositi di Piana Costiera*", con la non univoca interpretazione in termini di attività/inattività della faglia. Elemento di diversità tra la sezione C-C' del 2011 e quella del 2026 è rappresentato dalla sostituzione dei "*Depositi di versante*", presenti nella prima, con "*Riporti antropici*" (pure a contatto ad alto angolo con il Conglomerato di Pezzo e su una scarpata che rappresenta la prosecuzione verso l'alto della sottostante faglia) nella seconda.

La non univocità dell'interpretazione è presumibilmente alla base degli approfondimenti, mediante indagini geofisiche e paleosismologiche, proposti nella stessa presentazione del 09.04.2026.

Più recentemente (maggio 2026), aspetti relativi alle faglie attive e capaci, compresa quella di Cannitello, sono stati discussi in un documento sollecitato da una delle numerose richieste di chiarimento rivolte dall'**Assemblea** a **SdM**: "*Circa la specificazione delle faglie attive e capaci presenti nell'area di interesse, chiarire la posizione di progetto in merito al citato argomento* [...] *Chiarire, più in particolare, quali tra le diverse faglie delle aree di interesse citate o riportate nei documenti disponibili (es. Cannitello, Pezzo, Ganzirri, Faro Superiore, Curcuraci-Annunziata) sono*

considerate attive e capaci (o potenzialmente attive e capaci) e quali inattive e non capaci". Il chiarimento di **SdM** "*Quesiti **CSLP** Modello geologico e sismotettonico – Quesito n. 2*" (Risposta 02 GST) riprende sostanzialmente quanto già esposto in AMW3000, procedendo con un analogo approccio di "*confutazione geomorfologica*" di ciò che è rappresentato in elaborati e bibliografia, senza apporto di nuovi dati, al fine di escludere la presenza di faglie attive e capaci.

Come in AMW3000, anche nel più recente elaborato si individuano osservazioni condivisibili, cui però manca il carattere conclusivo in ragione del limitato supporto del dato geologico. Ne è esempio l'affermazione sull'origine gravitativa delle faglie con ridotta entità della dislocazione nelle Ghiaie e Sabbie di Messina sulla sponda siciliana. In questa prospettiva, vengono citate alcune figure della "*Relazione geologica generale*" (SB0073_FO; 2011) che mostrano dei piani di taglio nei sedimenti citati. In Risposta 02 GST, si può leggere che le dislocazioni sono state osservate all'interno della Cava Balena, "*una cava immensa, che ha creato scarpate artificiali alte anche più di 100 metri con conseguenti e imponenti dissesti gravitativi*". Tuttavia, manca una convincente dimostrazione sull'origine gravitativa e non tettonica dei suddetti piani di taglio; in assenza di dimostrazione, le due opzioni possono considerarsi ugualmente plausibili. Si può altresì ricordare che spesso lo studio delle faglie attive e capaci beneficia di esposizioni all'interno di cave anche di grandi dimensioni e profondità. Il piano di taglio visibile nelle figure 46 e 47 (p. 82) della relazione SB0073_FO, per caratteristiche geometriche, può effettivamente rappresentare una faglia all'interno delle Ghiaie e Sabbie di Messina.

Nello stesso documento Risposta 02 GST, si affronta nuovamente la questione della faglia di Cannitello. L'elemento di novità è rappresentato dalla proposta di una differente geometria del piano della faglia in sezione, in ragione di una migliore correlazione con la faglia 128 del **PP** (Figura 4-10).

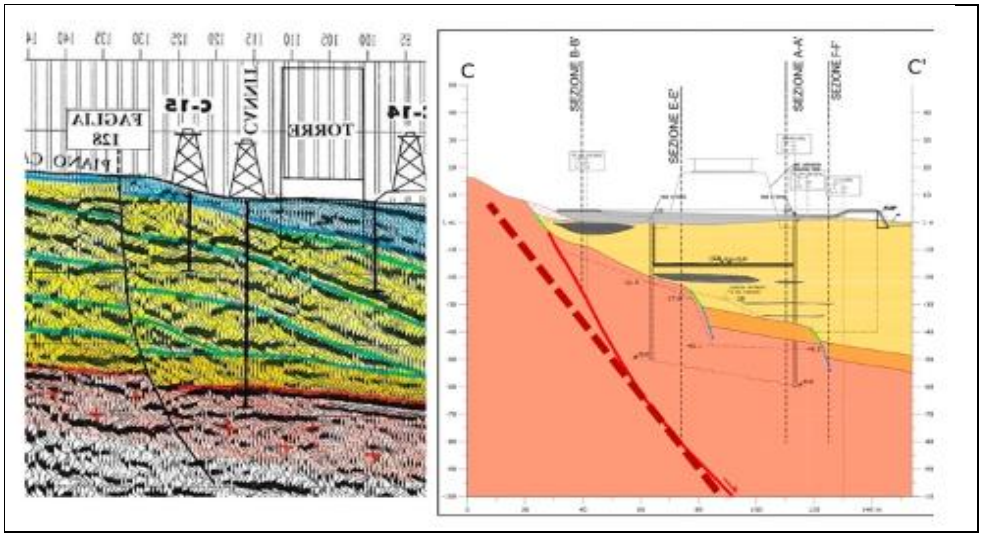


Figura 4-10.- Risposta 02 GST: Confronto tra la Sezione C-C' sulla fondazione e la sezione sismica Gexon del 1995.

L'immagine, con la linea rossa tratteggiata che rappresenta una nuova proposta (maggio 2026) per la geometria della faglia di Cannitello, modifica ulteriormente quanto mostrato in precedenza, nella citata audizione. Base per la nuova traccia, che escluderebbe il rapporto tra faglia e scarpata su cui poggiano i "*Depositi di piana costiera*", è la "*combinazione delle recenti indagini condotte sulla faglia di Cannitello e [...] un confronto più serrato con il profilo eseguito dalla Gexon*". Manca il dettaglio delle "*recenti indagini*", che si suppone abbiano reso nuovi dati che vengono oggi confrontati con quanto disponibile da una sezione sismica di più di trenta anni fa. **Sembra evidente che il cambiamento della geometria proposto necessiterebbe di spiegazioni più esaurienti e certamente di riferimenti più attuali per quanto riguarda le conoscenze delle geometrie di sottosuolo su basi geofisiche**.

Al di là del fatto che possa considerarsi compatibile o meno con i dati a disposizione, il cambiamento in questione fornisce un'altra conferma delle controverse informazioni disponibili sulla faglia di Cannitello. Anche in questo caso,

sono pienamente giustificati i richiami (sia in Risposta 02 GST che in Risposta 01 GST), alle indagini programmate per meglio caratterizzare la faglia in questione.

A conclusione delle varie informazioni messe a disposizione nel corso degli anni sulle faglie di Pezzo e Cannitello, a completamento delle valutazioni dell'**Assemblea**, si richiama un aspetto morfologico che non sembra emergere dai documenti geologici prodotti per il **PD** e successivi aggiornamenti. Le faglie in questione avrebbero andamento arcuato in pianta. Si tratta di espressione piuttosto comune nell'ambito delle cosiddette deformazioni gravitative profonde di versante. Il sospetto su un'origine non tettonica delle forme osservate nasce anche dall'evidenza dell'acclività sottomarina della sponda calabrese, che peraltro non era sommersa nel corso dell'Ultimo Massimo Glaciale (ca. 20.000 anni fa). Inoltre, l'eventuale origine gravitativa della dislocazione giustificherebbe la significativa entità dello spostamento verticale che parrebbe meno realistica se fosse attribuita all'attività tettonica, considerata la limitata lunghezza della faglia – aspetto, come visto, richiamato nella relazione AMW3000 (p. 31). L'interpretazione nel quadro dei movimenti gravitativi è riscontrabile in pubblicazioni scientifiche (es. Guerricchio e Ponte, 2006) e necessiterebbe, pertanto, di essere valutata con indagini specifiche nella prima fase di **PE**.

Nello stesso documento Risposta 02 GST, in relazione alla faglia di Ganzirri, si osserva che "*i numerosi sondaggi effettuati in corrispondenza delle pile del Viadotto Pantano consentono [...] di verificare che la faglia non disloca in alcun modo il contatto stratigrafico tra le Ghiaie di Messina e le soprastanti alluvioni*". Sembra però opportuno ribadire quanto affermato in relazione alla faglia di Cannitello, ovvero che affermazioni sulla presenza o assenza di faglie ad attività recente sulla base di dati da sondaggi e relative ricostruzioni bi- o tridimensionali debbano essere supportate da ulteriori informazioni in profondità, quali quelle desumibili da indagini geofisiche mediante sismica a riflessione ad alta risoluzione.

Alle ipotesi sull'assetto del sottosuolo prossimo, in Risposta 02 GST, seguono osservazioni geomorfologiche. Queste adottano l'analogo approccio concettuale riscontrato nella relazione AMW3000 del 2024. Si tratta di valutazioni generalmente condivisibili, ma perché in relazione alla postulata inesistenza della faglia di Ganzirri (la cui esistenza è peraltro ribadita nella citata recente pubblicazione di Somma et al., 2024) possano assumere carattere conclusivo, necessiterebbero del supporto di informazioni acquisite con le moderne tecniche di prospezione geofisica in profondità e con scavi geognostici con finalità paleosismologica. In sostanza sarebbe auspicabile un approccio simile a quello previsto per la faglia di Cannitello. Al proposito, si fa notare che nel documento Risposta 01 GST, laddove si richiamano le già programmate prossime indagini geofisiche che saranno realizzate dell'**OGS**, si fa riferimento a possibili "*ulteriori rilievi sismici multicanale [...] in relazione [...] ad eventuali altre necessità che dovessero emergere, ad esempio l'opportunità di esplorare la presenza della faglia di Ganzirri o di faglie tra l'area della Torre lato Sicilia e quella del Blocco di ancoraggio*".

In esito a quanto fin qui osservato sull'argomento delle faglie attive e capaci di interesse per l'attraversamento e il viadotto Pantano (Cannitello, Pezzo, Piale e Ganzirri-Capo Peloro), è possibile affermare che le conoscenze disponibili propongono indicazioni non univoche al fine dell'attribuzione di attività/inattività e capacità/non capacità. Gli aggiornamenti della conoscenza basati sugli studi effettuati negli ultimi anni o sulle valutazioni dei contenuti del Catalogo ITHACA, per quanto osservato nei precedenti paragrafi, non paiono sufficienti a definire un quadro soddisfacente. Pertanto, per le faglie sopra citate, nella prima fase di sviluppo del **PE**, si auspica la previsione di un programma di indagini di terreno, con metodi e sensibilità odierni: quindi, l'acquisizione di dati geologici, geomorfologici e geofisici (in particolare sismica a riflessione ad alta risoluzione e tomografia di resistività elettrica), nonché la realizzazione di studi paleosismologici. Alcune delle attività richiamate sono già previste da **SdM** in relazione alla faglia di Cannitello (si vedano i documenti Risposta 01 GST e Risposta 02 GST). È opportuno che analoghe procedure siano adottate per chiarire la consistenza delle altre faglie. Il dataset così acquisito potrà confermare che le previste azioni di progetto in condizioni sismiche siano in grado di inviluppare i vari scenari credibili, in merito alla natura e attività delle faglie che possono indurre effetti sulle opere da realizzarsi.

4.2.3. Dislocazioni permanenti

Le attività di studio sugli spostamenti transienti e permanenti, richiamate nella documentazione progettuale (PG0025_FO, PB0026_FO e PB0032_FO), sono state sviluppate tra il 2004 e il 2011 utilizzando un insieme necessariamente limitato di registrazioni sismiche reali e simulate disponibili all'epoca. Nel corso dei successivi anni, il quadro osservazionale relativo ai terremoti di elevata magnitudo si è notevolmente ampliato grazie alla disponibilità di reti accelerometriche digitali, reti **GNSS** permanenti, misure geodetiche ad alta risoluzione e moderne tecniche satellitari. Le osservazioni raccolte nel corso di numerosi terremoti recenti hanno evidenziato come eventi caratterizzati da magnitudo comparabili o inferiori a quella generalmente assunta per il terremoto di progetto possano generare deformazioni permanenti del terreno, rilevanti in prossimità della faglia attivata e nelle aree interessate da rottura superficiale o deformazione distribuita del terreno.

Particolarmente significative risultano le osservazioni acquisite durante la sequenza sismica dell'Appennino Centrale del 2016, che hanno evidenziato deformazioni permanenti del terreno di entità non trascurabile nelle aree prossime alla faglia attivata. Tali osservazioni mostrano come terremoti caratterizzati da magnitudo inferiore rispetto a quella generalmente assunta per il terremoto di riferimento nell'area dello Stretto di Messina possano generare spostamenti permanenti significativamente più elevati dei valori considerati nelle analisi originarie di interazione terreno-struttura e meritano, pertanto, un confronto esplicito con gli scenari adottati nel progetto.

Occorre inoltre osservare che le valutazioni degli spostamenti permanenti si basano sugli scenari cosismici derivati dal cosiddetto "*Modello di sintesi del terremoto del 1908*" riportato nell'elaborato PB0021_FO. Tuttavia, la stessa interpretazione della sorgente responsabile del terremoto del 1908 è tuttora oggetto di dibattito scientifico. Diversi studi hanno infatti mostrato che il campo di deformazione osservato non può essere attribuito in modo univoco ad una singola geometria di faglia (Capuano et al., 1988; Boschi et al., 1989; De Natale e Pingue, 1991; Valensise e Pantosti, 1992). I dati geodetici storici disponibili possono essere riprodotti mediante differenti modelli di sorgente, comprendenti sia faglie cieche a basso angolo localizzate sul lato siciliano dello Stretto sia faglie normali ad alto angolo localizzate sul lato calabrese. Più recentemente, Meschis et al. (2019) hanno mostrato che i dati di livellazione di Loperfido (1909) possono essere spiegati in modo soddisfacente anche attraverso una faglia normale ad alto angolo immergente verso est e potenzialmente in grado di raggiungere la superficie topografica.

Alla luce di tali incertezze interpretative, appare opportuno chiarire se siano state valutate le possibili implicazioni, in termini di deformazioni permanenti del suolo e di spostamenti, associate a modelli alternativi della sorgente del terremoto del 1908, compatibili con le osservazioni geologiche, geodetiche e sismologiche oggi disponibili (ad esempio Aloisi et al., 2013; Meschis et al., 2019).

Occorre inoltre evidenziare che le analisi di interazione terreno-struttura sono state sviluppate mediante modellazioni numeriche bidimensionali. Nel frattempo, i notevoli progressi conseguiti nel campo del calcolo ad alte prestazioni (**HPC**) consentono oggi di eseguire simulazioni numeriche physics-based tridimensionali in grado di rappresentare esplicitamente la variabilità spaziale dello scuotimento, gli effetti near-fault e gli spostamenti permanenti associati alla fagliazione.

Alla luce delle evidenze osservative oggi disponibili e delle possibilità offerte dalle moderne tecniche di simulazione numerica, si ritiene opportuno riesaminare le valutazioni delle dislocazioni superficiali e degli spostamenti permanenti adottate nel **PD**, tenendo conto delle osservazioni accelerometriche, geodetiche e satellitari acquisite successivamente al 2011, incluse le registrazioni near-source raccolte durante terremoti recenti. Si ritiene inoltre opportuno verificare la rappresentatività e il carattere cautelativo dei valori assunti per tali deformazioni rispetto alle conoscenze oggi disponibili e integrare tali valutazioni con i risultati ottenibili mediante le moderne simulazioni numeriche physics-based tridimensionali. Tali approfondimenti risultano necessari per confermare che gli scenari cosismici considerati nel progetto rappresentino in modo adeguato e aggiornato le condizioni attualmente ritenute

plausibili per l'area dello Stretto di Messina e la compatibilità dell'opera principale e delle opere di connessione rispetto ai fenomeni attesi.

4.2.4. Deformazioni geodetiche

Diversi studi geodetici recenti hanno analizzato il campo di deformazione attraverso lo Stretto di Messina, evidenziando tassi di deformazione relativamente modesti. In particolare, D'Agostino e Selvaggi (2004) e Serpelloni et al. (2022) hanno identificato un campo estensionale caratterizzato da velocità dell'ordine di qualche millimetro all'anno. La faglia responsabile del terremoto del 1908 o altre faglie risultano dunque essere attualmente almeno parzialmente accoppiate, *locked*, in fase di accumulo di deformazione elastica che viene rilasciata soltanto durante eventi sismici maggiori. Serpelloni et al. (2010), ad esempio, mostrano che il gradiente di velocità geodetico osservato può essere modellato mediante una faglia immergente verso SE, caratterizzata da uno slip-rate dip-slip di circa 3.5 mm/anno e da una minore componente trascorrente destrorsa. Questo studio dimostra chiaramente che il sistema sia bloccato o *locked*, almeno fino ad una profondità di 7-8 km. Mostra, inoltre, come il tasso di movimento proposto lungo la faglia di Messina dipenda dal grado di accoppiamento anche delle strutture circostanti, ed in particolare dalla faglia di subduzione calabra. In questo ambito, la limitata deformazione misurata in superficie mediante dati **GNSS** riflette una fase del ciclo sismico dominata dall'accumulo di deformazione piuttosto che dal suo rilascio su una struttura o più strutture *locked*.

In questo contesto, i dati geodetici, **GNSS** e InSAR, e sismologici rappresentano un vincolo fondamentale per la definizione del campo di velocità regionale lungo le strutture principali e il loro grado di accumulo di deformazione. Nella relazione AMW3000 del 2024 vengono anche mostrati dati InSAR estratti dal servizio EGMS (European Ground Motion Service). Tale strumento, sebbene efficace per la definizione del quadro deformativo a scala vasta, presenta limiti nelle analisi sito-specifiche caratterizzate da cinematica complessa e richiede pertanto validazione e integrazione mediante dati **GNSS**. Inoltre, per lo Stretto di Messina sono disponibili dataset InSAR più accurati e precisi, caratterizzati da una migliore copertura temporale e da maggiore affidabilità rispetto ai prodotti EGMS.

In sintesi, un'analisi dei dati **GNSS** aggiornata ed integrati con analisi InSAR, permetterebbero in una prima fase di sviluppo del **PE** una ricostruzione spazialmente più continua del campo di deformazione anche nella componente verticale e un modello più attendibile circa l'accumulo di strain in atto lungo le faglie sismogenetiche.

4.2.5. Sorgenti sismogenetiche del terremoto del 1908 e pericolosità sismica

La documentazione (PBW0040_F0) evidenzia come la Fase I delle attività sia stata sviluppata utilizzando tre differenti modelli di riferimento derivati da MPS04 (Stucchi et al., 2011), MPS19 (Meletti et al., 2021) ed ESHM20 (Danciu et al., 2021), considerando le incertezze associate alla definizione delle zone sismogenetiche, ai tassi di sismicità, alle distribuzioni frequenza-magnitudo e alla localizzazione degli eventi sismici. Nella Fase II, l'attenzione è stata rivolta specificamente alla faglia associata al terremoto del 1908, identificata nel **DISS** come ITIS013, considerando le incertezze relative alla sua geometria, alla localizzazione dell'epicentro, all'estensione della rottura utilizzando *composite source* ITCS016 del **DISS** e ai possibili effetti di direttività della sorgente.

Occorre osservare che la rappresentazione della sorgente responsabile del terremoto del 1908 adottata nel **PD** non considera pienamente i numerosi studi successivi che hanno proposto modelli alternativi della sorgente, differenziati per posizione, geometria, estensione e cinematica della faglia, sulla base di osservazioni geologiche, geodetiche e sismologiche successivamente acquisite (ad esempio Aloisi et al., 2013; Meschis et al., 2019; Barreca et al., 2021; Argnani e Pino, 2023). Tali interpretazioni alternative mostrano che la definizione della sorgente sismogenetica del terremoto del 1908 sia tuttora caratterizzata da significative incertezze e non possa essere considerata univoca. Alla luce di tali incertezze, appare opportuno verificare e confermare che il carattere cautelativo degli spettri di progetto **SLU** e **SLIS** rimanga valido anche rispetto ai modelli alternativi di sorgente proposti dalla letteratura scientifica più recente.

Tale verifica appare particolarmente rilevante considerando che le moderne simulazioni numeriche physics-based consentono oggi di rappresentare in modo esplicito la geometria tridimensionale della sorgente, la propagazione della rottura, la distribuzione dello slip, gli effetti di direttività, la risposta geologica locale e la variabilità spaziale dello scuotimento (Akinci et al., 2024; Pitarka et al., 2022). Inoltre, le numerose registrazioni accelerometriche acquisite per terremoti recenti, incluse quelle della sequenza sismica dell'Appennino Centrale del 2016, insieme alla disponibilità di nuovi database di registrazioni near-source - per esempio **NESS** - e ai *Ground Motion Models* di ultima generazione (che incorporano effetti di non ergodicità, variabilità regionale del moto del suolo e specifiche correzioni per le condizioni near-source) hanno ampliato significativamente le conoscenze e gli strumenti disponibili rispetto a quelli utilizzati nelle analisi originarie. Tali dati e metodologie rappresentano oggi un elemento fondamentale per l'aggiornamento dei modelli di pericolosità sismica.

In questo contesto appare opportuno verificare, nella prima fase di sviluppo del **PE**, che tali nuove evidenze e metodologie siano state adeguatamente considerate, al fine di confermare la rappresentatività e il carattere cautelativo dell'input sismico e degli spettri di risposta adottati nel progetto.

4.2.6. Sulle incertezze del terremoto del 1908

Il terremoto del 28 dicembre 1908 è stato considerato come evento di riferimento per la definizione dell'azione sismica per il progetto del Ponte sullo Stretto di Messina. La sua ricostruzione risulta pertanto particolarmente rilevante poiché la geometria della faglia influenza direttamente la distribuzione dello scuotimento, gli effetti di direttività, la variabilità spaziale del moto tra le due sponde dello Stretto, gli spostamenti permanenti e la possibile deformazione differenziale delle opere principali e di collegamento.

Per quanto attiene alla sorgente di detto terremoto sono stati proposti differenti modelli interpretativi che differiscono per localizzazione della faglia, geometria e immersione della sorgente, profondità della rottura, distribuzione dello slip e possibile relazione con le faglie attive osservate a terra e offshore. Modelli basati su faglia normale cieca (*blind fault*), strutture a graben controllate da sistemi di faglie multiple e modelli fondati su una *master fault* profonda capace di attivare strutture superficiali secondarie.

I principali vincoli utilizzati per definire la struttura responsabile del terremoto di Messina del 1908 sono la livellazione eseguita da Loperfido (1909) nei due anni successivi all'evento e la distribuzione del *run-up* dello tsunami e i sismogrammi regionali del terremoto. Lo studio dei sismogrammi ha permesso di vincolare la magnitudo, la propagazione e lo slip normale lungo la faglia di circa 40 km con scorrimento di circa 4 metri, ma il meccanismo focale rimane di difficile definizione (Pino et al., 2000). Il run-up dello tsunami è stato dimostrato non essere un vincolo univoco sulla posizione della sorgente sismica, poiché potrebbe essere stato generato da frane sottomarine sismoindotte (es., Billi et al., 2006). Anche i dati di livellazione di Loperfido (1909) non forniscono una soluzione univoca. Essi possono essere riprodotti da diverse geometrie di sorgente, generalmente orientate lungo l'asse dello Stretto.

Usando diversi vincoli, vari modelli propongono una faglia con una direzione compresa tra N345° e N15°. Alcuni sul lato siciliano, a basso angolo, est immergenti con rottura superficiale (Capuano et al., 1988; Amoruso et al., 2002; Boschi et al., 1989; De Natale and Pingue 1991), o cieca (Valensise e Pantosti, 1992; Boschi et al., 1989; Convertito e Pino, 2014), o ad alto angolo immergenti verso ovest sul lato calabrese (Schick, 1977, Bottari et al., 1986; Aloisi et al., 2012). Studi recenti, propongono infine la presenza di una faglia ad alto angolo est immergente con rottura superficiale basata su dati di livellazione (Meschis et al., 2019) o da nuovi dati di sismica ad alta risoluzione multi-canale nello Stretto (Barreca et al., 2021).

Le incertezze sulla sorgente del terremoto del 1908 riflettono la mancanza di dati geofisici marini con risoluzione adeguata, necessari per definire in modo robusto la geometria, la continuità laterale e l'eventuale espressione superficiale delle strutture attive nello Stretto di Messina.

Le verifiche indipendenti Parsons/**PMC** riconoscono esplicitamente che nella letteratura scientifica esistono differenti modelli di sorgente per il terremoto del 1908 e che il modello adottato nel **PD** rappresenta una delle possibili interpretazioni disponibili, evidenziando che una parte rilevante delle interpretazioni converge verso una sorgente normale estensionale immergente verso ESE, sviluppata lungo l'asse dello Stretto e caratterizzata da propagazione della rottura da sud verso nord. Tuttavia, la stessa documentazione evidenzia come persistano ancora differenti interpretazioni relativamente alla geometria, al rapporto tra faglia profonda e strutture superficiali, alla distribuzione dello slip e al ruolo delle faglie offshore (Comitato scientifico 2011; Parsons/**PMC**; PB0026_FO; PB0027_FO).

Le conoscenze più recenti, incluse le ricostruzioni basate su dati geologici, geomorfologici, batimetrici e geodetici, indicano quindi che il modello della sorgente del 1908 dovrebbe essere rivalutato in modo integrato, considerando non un singolo modello preferenziale, ma un insieme di scenari sismotettonici plausibili. In particolare, occorre verificare la compatibilità tra i modelli di sorgente adottati nel progetto, le faglie attive e capaci mappate, i dati geodetici storici, le evidenze off-shore, la distribuzione del danno del 1908 e le più recenti interpretazioni geodinamiche dello Stretto.

Tuttavia, alla luce dell'attuale quadro conoscitivo e dei più recenti sviluppi scientifici, tali verifiche devono essere aggiornate, nella prima fase di sviluppo del **PE**, considerando i modelli sismotettonici oggi disponibili. Il punto critico è verificare se l'incertezza sulla faglia sorgente del 1908 sia stata considerata in modo sufficientemente ampio, includendo i diversi modelli oggi disponibili e valutando il loro impatto sull'azione sismica, sugli spostamenti permanenti e sulla risposta dell'intero sistema infrastrutturale (Comitato scientifico 2011; Comitato scientifico 2023; Parsons/**PMC**).

4.2.7. Effetti cosismici

Negli approfondimenti sviluppati nel documento Risposta 06 GST, per la parte riguardante i fenomeni di liquefazione, sono state chiarite le modalità con cui è stata effettuata la verifica (incluso il riferimento ai documenti di progetto in cui è descritto il metodo adottato e in cui sono riportati i risultati ottenuti) e la modalità di intervento previsto, laddove la verifica sia risultata positiva. Sul punto si veda il § 7.4.3.1. Per la parte dell'instabilità dei versanti, il progettista riferisce sulla mappatura dei fenomeni censiti sul territorio e sul suo aggiornamento in sede di **PE**, evidenziando che allo stato attuale non sussistano situazioni ritenute critiche. Tuttavia, tale informazione non può essere ritenuta riferibile al complesso di tutti i possibili fenomeni, non contempla infatti l'assetto dei versanti interferenti con le opere in condizioni sismiche, né indica se siano state condotte verifiche di stabilità specifiche in relazione allo scenario sismico di progetto. Inoltre, è da evidenziare che, come in precedenza osservato, alcuni autori hanno ipotizzato, su base geomorfologica, la presenza di movimenti a carattere gravitativo profondo nella zona della sponda calabrese. Questa ipotesi interpretativa, di cui al citato articolo di Guerricchio e Ponte (2006), non è stata mai presa in considerazione nelle valutazioni e nelle elaborazioni realizzate nelle diverse sedi, anche di aggiornamento bibliografico. Sarebbe auspicabile, nella pianificazione delle attività del **PE**, la valutazione della consistenza dell'ipotesi anche nella prospettiva degli effetti in relazione alla sollecitazione dinamica.

4.2.8. Aspetti idrogeologici

L'opera di attraversamento principale, prevede la presenza di diaframmi, di contorno alle opere di fondazione introducendo potenziali effetti sulla falda, rispetto ai quali è da rilevare che l'analisi della interazione fra opere di fondazione e falda, limitata alla stima delle variazioni del livello di falda, risulta parziale e può non essere sufficiente in quanto, nelle formazioni ad elevata permeabilità, sono le portate filtranti e la loro variazione in termini di direzione, oltre che di entità, a comportare potenziali effetti sull'assetto idrogeologico del sottosuolo ed in particolare su eventuali opere o ricettori superficiali presenti nelle vicinanze.

Pur nella considerazione che la **RP** introduce il giusto proposito di approfondire in sede di progettazione esecutiva molti aspetti idrogeologici rispetto al **PD**, si ritiene opportuno rilevare e confermare come, dalla suddetta Relazione, emergano aspetti che richiedono ancora una particolare attenzione in sede di progettazione esecutiva.

4.2.9. Indagini già programmate da Stretto di Messina S.p.A.

A seguito delle richieste di chiarimento prima riportate, la **SdM** ha riferito sul piano delle indagini già programmate in vista del **PE** (documento Risposta 01 GST). Viene precisato che tali indagini "*(a) recepiscono le prescrizioni n. 5 e n. 34 contenute nel Parere n. 19 del 13/11/2024 della Commissione VIA/VAS, e (b) sviluppano temi di ricerca emersi negli ultimi 18 mesi. Ciò premesso, le indagini riguarderanno le seguenti macroattività (oltre all'aggiornamento degli studi geo-sismotettonici relativi all'area dello Stretto, in ottemperanza alla Delibera CIPE n. 66/2003):*
i. rilevamenti geologici e geomorfologici; ii. indagini geofisiche, sismologiche e geognostiche; iii. caratterizzazione delle faglie, con particolare riferimento alle faglie ritenute attive e capaci".

È previsto che tali attività siano sviluppate da tre istituzioni scientifiche (**DST, INGV, OGS**), che opereranno tenuto conto delle proprie competenze e sulla base di quanto concordato in incontri organizzativi preliminari, tenutisi nell'ultimo anno. In particolare, il Dipartimento Scienze della Terra, Univ. di Roma La Sapienza **(DST**) svolgerà rilevamenti geologici e geomorfologici della sponda calabrese scavi geognostici in almeno due siti lungo la presunta faglia di Cannitello e datazioni assolute di livelli di torbe (se e laddove rinvenute nel corso della campagna geognostica prevista in fase di PE)**. INGV** svolgerà "*rilevamenti geologici e geomorfologici della sponda calabrese*", collaborerà alla caratterizzazione delle faglie eventualmente presenti; svolgerà "*analisi di Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis (PFDHA), finalizzate a valutare la probabilità che un forte terremoto causi la dislocazione di una faglia attiva e capace*".

L'**OGS** "*Provvederà al:*

a. *Riesame dei dati (prevalentemente linee sismiche) precedentemente acquisiti nell'area tra gli anni '70 e '90, e relativa reinterpretazione;*
b. *Nuove acquisizioni di dati di sismica a riflessione;*
c. *Indagini geofisiche ad altissima risoluzione (tomografia elettrica e tomografia sismica) in corrispondenza delle fondazioni della torre e del blocco di ancoraggio del ponte lato Calabria (vedasi fig. 1b). In dettaglio le indagini includeranno".*

Per quanto attiene agli aspetti idrogeologici nella **RP** sono stati previsti una serie di approfondimenti di natura idrogeologica, da eseguire in fase di progettazione esecutiva, e che sono stati descritti, il 23.04.2026, in occasione dell'audizione del team di professionisti, che ha svolto gli studi idrogeologici per la redazione del **PD**, e che possono essere riassunti come di seguito:

- Calabria - n. 15 piezometri di lunghezza media 50 m ca, (la lunghezza effettiva sarà valutata in seguito a sopralluoghi ed alla posizione puntuale della verticale).
- Sicilia - n. 40 piezometri di lunghezza media 50 m ca.
- Le verticali piezometriche saranno realizzate a carotaggio continuo con la realizzazione di almeno 3 prove idrauliche per verticale.
- Su ciascuna verticale saranno realizzate n. 3 Prove di permeabilità Lefranc e n. 3 Prove di permeabilità Lugeon.
- Calabria - n. 2 pozzi di emungimento di lunghezza 50 m ca e diametro 300 mm.
- Sicilia - n. 4 pozzi di emungimento di lunghezza 50 m ca e diametro 300 mm.

4.3. Considerazioni conclusive sulle tematiche geologiche e sismotettoniche

Il progetto, in sviluppo da tempo, si avvale di indagini ed elaborazioni geologiche, geomorfologiche e sismotettoniche che, sebbene siano state progressivamente aggiornate prevalentemente su basi bibliografiche e di rilevamento di superficie, sono state per buona parte eseguite nelle fasi iniziali della progettazione. Esse non

possono essere considerate esaustive per lo sviluppo del **PE**, attesa la complessità del quadro geologico e sismotettonico dell'area in cui il progetto andrà ad inserirsi. Complessità ampiamente testimoniata dalle interpretazioni non univoche presenti in letteratura e connesse, non solo agli assetti geologici o sismotettonici, ma anche alle correlate fasi evolutive. Va, inoltre, richiamato che le indagini disponibili non sono conformi ai più moderni standard qualitativi oggi disponibili per le indagini di profondità che consentono di definire strutture geologiche con una risoluzione impensabile fino a pochi anni fa.

Un'opera di grande rilevanza ingegneristica e strategica, come il Collegamento Stabile Sicilia-Calabria, da realizzarsi in un'area geologicamente assai complessa, comporta necessariamente un livello di conoscenza che sia sviluppato facendo riferimento alle più moderne metodologie e tecniche di indagini disponibili.

Di conseguenza, con riferimento alle riportate criticità conoscitive emerse dall'analisi dei documenti progettuali, oltre che dalla relazione del progettista – e confermate dalle risposte ai quesiti della **CR**, in particolare relativamente all'esteso programma di indagini da realizzare – si ritengono irrinunciabili indagini integrative e di completamento del quadro conoscitivo, come confermato dalle risposte della società Stretto di Messina alle richieste di chiarimento della **CR**.

In particolare, si ritiene che il programma delle indagini previste dal gruppo di consulenti nello sviluppo del **PE** ed illustrate in Risposta 01 GST e richiamate anche in Risposta 02 GST rappresentino un primo indispensabile completamento conoscitivo, ma, a parere dell'**Assemblea**, per dirimere l'insieme delle incertezze presenti nell'ambito dell'intero contesto geologico e sismotettonico, detto programma sia da integrare con le acquisizioni necessarie per ognuna delle varie criticità richiamate e argomentate nei considerato che precedono.

Tali esigenze di approfondimento sono riconosciute anche nella consapevolezza che la realizzazione di un'opera di tale portata, in un'area geologicamente complessa come quella dello Stretto di Messina, debba costituire un'occasione irrinunciabile per sviluppare studi in grado di rappresentare, in futuro, il riferimento scientifico per la conoscenza geologica dell'intera area e per il consolidamento di una prassi metodologica da adottarsi per future realizzazioni di comparabile rilevanza.

Il programma delle indagini da realizzare in una prima fase di sviluppo del **PE** dovrà comprendere l'installazione di strumentazione che sarà inclusa nel più generale Piano di Monitoraggio in corso di esecuzione e in corso di esercizio delle opere.

Riconoscendo deficit conoscitivi, la **SdM** ha previsto nuove indagini da sviluppare in vari settori di intervento. Considerato quanto in precedenza approfondito e descritto si ritiene indispensabile completare il quadro geologico e sismotettonico di riferimento, attraverso opportune indagini, così che tutte le valutazioni possano essere basate su riferimenti univoci ed aggiornati. Si tratta di attività che si ritengono fondamentali per migliorare i modelli geologici e sismotettonici di progetto e per aggiornare, eventualmente, le valutazioni anche riportate dalla letteratura scientifica. Il tutto al fine di definire con maggiore accuratezza la morfologia costiera sommersa, la geometria delle faglie e correlare le strutture riconosciute on-shore con quelle presenti off-shore, fornendo un quadro più robusto dell'evoluzione tettonica recente dello Stretto di Messina; definire attività/inattività e capacità/non capacità di possibili faglie attive e capaci di interesse per l'attraversamento e per il viadotto Pantano, oltre che chiarire l'eventuale presenza di fenomeni di instabilità, riconducibili alla tipologia delle deformazioni gravitative profonde di versante nell'intera area della sponda calabrese.

In particolare, si ritiene indispensabile in **Fase A** realizzare:

a) Indagini per il completamento e l'aggiornamento del quadro conoscitivo, estese non solo alla sponda calabrese, ma anche alla sponda siciliana ed al tratto a mare
b) Integrazione delle informazioni acquisite dalle indagini e dagli approfondimenti del quadro conoscitivo e sviluppo di un modello geologico e sismotettonico 3D SEM (Shared Earth Model), comprendenti

- ✓ aggiornamento del quadro deformativo dell'ultimo decennio mediante integrazione di dati **GNSS** e In-SAR ad alta risoluzione, al fine di quantificare in modo più robusto la deformazione attiva, inclusi eventuali movimenti di versante e processi di subsidenza nelle piane costiere, e di aggiornare i modelli di locking del sistema di faglie. I dati EGMS riportati nel documento AMW3000 (2024), pur utili per un inquadramento generale, devono essere integrati e validati con dataset InSAR di maggiore qualità, risoluzione spaziale e continuità temporale, combinati con osservazioni **GNSS**. Un modello di locking aggiornato consentirebbe di vincolare quantitativamente il grado di accoppiamento attuale del sistema di faglie, il tasso di deficit di slip e la velocità di accumulo della deformazione elastica, fornendo basi più solide per l'interpretazione della fase intersismica della sorgente del terremoto del 1908.
- ✓ Integrazione di tutte le informazioni acquisite nel passato e di quelle da acquisire attraverso la costruzione di un modello SEM (Shared Earth Model) tridimensionale, aggiornato interconnettendo e armonizzando i dati geofisici e geologici sia on-shore che off-shore. Il modello dovrà valorizzare i risultati delle previste attività e le conoscenze pregresse organizzando i dati bibliografici e di nuovo rilievo in un database georeferenziato dedicato. Particolare attenzione dovrà essere prestata agli approfondimenti relativi alla faglia responsabile del terremoto del 1908, chiarendo quali tra i modelli di sorgente ipotizzati possano essere considerati compatibili con gli aggiornamenti conoscitivi ottenuti attraverso le indagini. Il modello consentirà anche una rivalutazione dei possibili spostamenti permanenti e delle relative conseguenze, oltre che dell'azione sismica, sulla base di ipotesi di sorgente sismogenetica meglio vincolati.
- ✓ Rivalutazioni ed approfondimenti degli spostamenti permanenti stimati in relazione al sistema delle faglie attive on-shore e off-shore definito dalle indagini; attenzione dovrà essere posta alla loro possibile relazione con la sorgente del 1908 e alla valutazione degli spostamenti permanenti, avvalendosi delle numerose registrazioni accelerometriche acquisite negli ultimi anni e di simulazioni numeriche deterministiche broadband physics-based, oggi ampiamente utilizzate per la caratterizzazione degli effetti near-source e delle deformazioni cosismiche.
- ✓ Rivalutazione dell'azione sismica sulla base delle indagini sviluppate, che dovrebbe basarsi su un insieme di scenari alternativi compatibili con le caratteristiche geologico-strutturali riconosciute e con i dati geologici, geofisici, geodetici, batimetrici e macrosismici acquisiti e per le principali strutture potenzialmente sismogenetiche dell'area dello Stretto, ivi compresa quella del terremoto del 1908. Tali scenari dovrebbero tenere conto delle incertezze ancora esistenti sulla geometria delle sorgenti ipotizzate sulla distribuzione dello slip, sulla profondità delle rotture, sulla propagazione della frattura e sul rapporto tra faglia profonda, faglie superficiali e strutture off-shore.

c) Aggiornamento degli studi idrogeologici con lo svolgimento di un bilancio idrogeologico per gli acquiferi interessati da emungimenti per la valutazione della sostenibilità idrogeologica delle estrazioni e l'applicazione del Metodo Galdit per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi costieri.

d) Costituzione di una banca dati complessiva aperta che ricomprenda sia l'insieme dei dati del passato sia quelli da acquisire, da rendere disponibile alla comunità scientifica al fine di favorire contributi, elaborazioni e verifiche indipendenti.

5. PONTE SULLO STRETTO: AFFIDABILITÀ E STATI LIMITE

5.1. Premessa

Il capitolo tratta le problematiche connesse ai temi relativi alla sicurezza, agli stati limite e alle prestazioni attese dell'**Opera** trattati nella **RP** e nei *Fondamenti*.

Tali temi, che sono il presupposto fondamentale per la progettazione e la successiva gestione dell'**Opera**, necessitano di uno studio approfondito, finalizzato al pieno ed efficace utilizzo di tutte le possibilità offerte dalle più moderne normative e dai più recenti sviluppi tecnici e scientifici, nella direzione del pieno utilizzo dell'affidabilità strutturale.

Ciò permette di approfondire la progettazione oltre la visione dicotomica "verificato / non verificato", rendendo possibili esplicite (sebbene convenzionali) previsioni temporali (ad esempio, il tempo al primo superamento di uno stato limite) e di convenienza progettuale (ad esempio, il rischio annuo massimo accettato) e diventa particolarmente efficace, là dove è maggiore l'incertezza sulle variabili di base. Nel caso in esame, questo vale soprattutto per le progettazioni in presenza di sisma e vento, nelle quali, peraltro, la maggiore fonte di incertezza è dovuta alla **Domanda**.

Sulla base di queste considerazioni, è chiaro come l'aspetto dell'affidabilità, quale definita in termini concettuali nel **EN 1990** e in termini di Stati Limite in tutti gli Eurocodici, permei l'intero progetto in esame, risultando così necessaria una trattazione organica delle problematiche progettuali sull'argomento.

In particolare, nei paragrafi seguenti, sono discusse le tematiche relative ai metodi di valutazione dell'affidabilità, alle problematiche connesse alla definizione degli stati limite, ai livelli di prestazione e alle azioni corrispondenti, alla domanda derivante dal sisma, alla domanda derivante dal vento, agli scenari multi-rischio, all'affidabilità dei sistemi, fornendo indicazioni utili in merito alle problematiche generali riscontrate nell'esame del progetto e alle loro specificità nel caso dei singoli elementi costruttivi che verranno illustrate nei capitoli successivi.

5.2. Classificazione dei metodi per la valutazione dell'affidabilità

L'affidabilità può essere intesa, con riferimento ai diversi stati limite che possono interessare l'opera, come il margine da garantire, affinché la probabilità che la **Domanda** possa superare la **Capacità** sia inferiore a un valore ritenuto accettabile dalla norma, definito in relazione alle conseguenze di tale superamento.

Agli stati limite si associano determinate prestazioni da soddisfare per tutta la durata della vita di progetto dell'opera. Per verificare se un'opera soddisfa i requisiti di affidabilità per tutte le situazioni di progetto, si possono adottare tre approcci distinti, secondo livelli crescenti di complessità:

- **Livello I** Metodo semi-probabilistico, in cui la struttura soddisfa una serie di disuguaglianze utilizzando specificati valori di progetto delle variabili di base.
- **Livelli II e III** Metodi esplicitamente basati sull'affidabilità, in cui la struttura soddisfa una serie di requisiti di affidabilità, essendo i metodi di Livello II approssimazione dei metodi di Livello III.
- **Livello IV** Metodi basati sul rischio, in cui la somma di tutti i rischi, inclusi, tra gli altri, il rischio in fase di costruzione e il rischio associato all'utilizzo della struttura comprensivo dei costi di manutenzione, è minimizzata.

I metodi **Livello I** e **Livello II** sono metodi cosiddetti del primo ordine, mentre i metodi di **Livello III** e **Livello IV** sono basati su analisi integrali "esatte".

Il metodo semi-probabilistico di **Livello I** è adottato dalle **NTC 2018** come descritto nel § 2.3 che riporta la seguente indicazione riguardo ai metodi di progetto/verifica utilizzabili al fine di conseguire livelli di sicurezza (affidabilità) almeno pari a quelli a cui la Norma fa, implicitamente, riferimento: *"Nel seguito sono riportati i criteri del metodo semiprobabilistico agli stati limite basato sull'impiego dei coefficienti parziali, applicabili nella generalità dei casi; tale metodo è detto di primo livello. Per opere di particolare importanza si possono adottare metodi di livello superiore, tratti da documentazione tecnica di comprovata validità di cui al Capitolo 12."*

Tra i metodi di **Livello superiore**, il **DVM**, riportato nelle **EN 1990**, consente la calibrazione dei fattori parziali, in relazione ai requisiti di affidabilità. Ai fini della calibrazione, è necessario specificare per ciascuna variabile aleatoria la relativa incertezza. Quando si adotta il **DVM** per la calibrazione dei fattori parziali, l'incertezza considerata deve trovare corrispondenza, in accordo con la Norma, nei controlli di qualificazione e di accettazione per i diversi materiali e prodotti, previsti in fase di progetto e da eseguire in fase di esecuzione.

Le **EN 1990** definiscono esplicitamente valori di riferimento per le "affidabilità obiettivo" (c.d. target reliability) per ciascuno Stato Limite, in relazione alla Classe di Conseguenze attribuita all'opera; la "affidabilità obiettivo" è espressa in termini di probabilità di sopravvivenza minima in un dato intervallo temporale. La stessa informazione può essere fornita in termini di $\mathbf{P_f}$ massime o, equivalentemente, in termini di indici di affidabilità minimi. Pertanto, quando si adotta un metodo esplicitamente basato sull'affidabilità, quale il **DVM**, è necessario definire nei *Fondamenti* progettuali i valori di "affidabilità obiettivo", che devono essere non minori di quelli stabiliti dalla Norma. Si tratta di un aspetto delicato, con ricadute tecniche, economiche, sociali, da definire di concerto tra committente e progettista.

Per l'**Opera** in oggetto, considerata la sua rilevanza e in conseguenza di quanto sopra evidenziato, qualora si valuti l'applicazione di approcci di livello superiore, consentita dalle **NTC 2018** con le indicazioni della **Circolare NTC 2018**, questa deve essere sviluppata facendo riferimento a documentazione tecnica di comprovata validità, quale ad esempio la **EN 1990**; in tal caso devono essere indicati i valori di "affidabilità obiettivo" per tutti gli Stati Limite considerati (o, equivalentemente, le corrispondenti $\mathbf{P_f}$), riferiti alla vita di progetto dell'opera. Tali valori devono essere coerenti con i livelli di sicurezza delle **NTC 2018** e non inferiori a quelli indicati in **EN 1990**.

5.3. Affidabilità, robustezza e resilienza dei sistemi

Per una visione d'insieme delle problematiche inerenti all'**Opera**, occorre fare riferimento alla verifica non del singolo elemento, bensì dell'intero sistema coinvolto, inteso come un insieme di componenti che si desidera collaborino al fine di conseguire un risultato. In particolare, i componenti del sistema possono essere disposti:

- in serie (una catena, formata da più anelli);
- in parallelo (un trefolo, formato da più fili);
- parte in serie e parte in parallelo (una catena e un trefolo, disposti in parallelo).

Le caratteristiche del sistema e il modo con cui i suoi componenti interagiscono tra loro, determinando la risposta strutturale d'insieme nei confronti dei diversi Stati Limite e delle diverse azioni, devono essere opportunamente considerati, oltre che nella valutazione dell'affidabilità, anche ai fini della robustezza strutturale e della resilienza dell'**Opera**.

I tre concetti, sebbene distinti, sono tra di loro correlati, in quanto il raggiungimento dei requisiti di affidabilità, robustezza e resilienza, stabiliti in fase di progetto, in accordo con la Norma, dipendono dalla concezione strutturale dell'**Opera** e da una serie di accorgimenti e verifiche specifiche adottati in fase di progetto.

Nel seguito si richiamano le definizioni e i principi fondamentali riguardo a: affidabilità dei sistemi, robustezza strutturale e resilienza.

Al § 5.8 sono trattati gli aspetti specifici riguardanti la verifica dei sistemi nell'**Opera**, mentre gli aspetti riguardanti la robustezza strutturale sono richiamati nei paragrafi specifici del presente parere per i diversi componenti dell'**Opera**. La resilienza dell'intero sistema infrastrutturale, considerata l'importanza dell'**Opera** di attraversamento, costituisce un riferimento essenziale da considerare nello sviluppo del **PE** ed è trattata, in particolare, al Capitolo 13 del presente parere.

5.3.1. Affidabilità dei sistemi

Lo stato e l'affidabilità del sistema dipende dagli stati e dalla affidabilità dei singoli componenti. In particolare, a componenti più affidabili corrisponde, in genere, un sistema più affidabile. A parità di componenti, la loro disposizione condiziona profondamente il sistema. La rottura di un singolo componente di un sistema in serie (ad esempio un anello di una catena) comporta la perdita di funzionalità della stessa; nel caso di un sistema disposto in parallelo, la perdita di funzionalità del sistema si ha solo quando tutti i componenti superano il rispettivo campo di funzionalità.

Aspetto fondamentale che governa la valutazione dell'affidabilità dei sistemi è la modellazione della correlazione tra i vari componenti, che siano disposti in serie o in parallelo. Nell'ambito dell'ingegneria strutturale, gli stati dei componenti sono generalmente non correlati o positivamente correlati, poiché ricavati dal confronto tra domanda e capacità. Sia la domanda sui vari componenti (p.e. **PGA** sul primo e secondo viadotto), sia la rispettiva capacità, sono generalmente correlate positivamente.

È noto che la sopravvivenza di un sistema con componenti in serie coincide con l'intersezione degli eventi sopravvivenza di ciascuno dei suoi componenti; analogamente, la perdita di funzionalità di un sistema con componenti in parallelo coincide con l'unione degli eventi sopravvivenza di ciascuno dei suoi componenti.

Sviluppando tali definizioni, è possibile mostrare che l'affidabilità (intesa come probabilità di funzionamento) di un sistema in serie è al più uguale al minimo valore di affidabilità di ognuno dei suoi componenti, perciò, tale sistema è governato dal meno affidabile dei suoi componenti; viceversa, l'affidabilità di un sistema in parallelo è almeno uguale al massimo valore di affidabilità di ognuno dei suoi componenti, perciò, tale sistema è governato dal più affidabile dei suoi componenti.

Tuttavia, nel caso di affidabilità di sistemi con componenti in parallelo, ogni qual volta uno dei componenti esce dal campo di funzionalità, è necessario valutare la ridistribuzione della domanda tra i componenti sopravvissuti, al fine di valutare e/o escludere la possibilità di "fallimento a catena" del sistema. Infatti, nel caso di "fallimento a catena" il sistema, pur disposto in parallelo, può comportarsi come un sistema in serie, riducendo di fatto la sua affidabilità complessiva.

L'effetto della correlazione è opposto nei due sistemi: incrementa l'affidabilità del sistema in serie, mentre diminuisce l'affidabilità del sistema in parallelo. **Ne consegue che una stima speditiva dell'affidabilità di un sistema eseguita in ipotesi di indipendenza statistica degli stati dei componenti è generalmente a favore di sicurezza per i sistemi in serie e a sfavore di sicurezza per i sistemi in parallelo.**

I sistemi più complessi, formati da più componenti, sia in serie, sia in parallelo, sono sempre riducibili ad una disposizione in serie di componenti in parallelo (min cut-sets o **mcs**) o, equivalentemente, ad una disposizione in parallelo di componenti in serie (min link-sets o **mls**).

5.3.2. Robustezza strutturale

La robustezza è l'attitudine di una struttura a limitare i danni globali a fronte del superamento di uno Stato Limite ultimo per una sua parte, causato da azioni eccezionali come, ad esempio, esplosioni, urti e incendi. L'obiettivo principale è scongiurare il cosiddetto collasso immediato e sproporzionato.

Per essere definita "robusta", l'opera deve possedere specifiche caratteristiche di iperstaticità e ridondanza del sistema strutturale e deve essere in grado di determinare percorsi di carico alternativi capaci di ridistribuire le sollecitazioni tra più elementi, in caso di danni gravi in una o più parti. Le singole parti suscettibili di danneggiamento devono, a tale fine, essere dotate di duttilità sufficiente in relazione alla domanda nello stato finale.

Altra caratteristica di un'opera robusta può essere, ove necessario o richiesto, quella di garantire la riparabilità o sostituibilità dei componenti o delle parti danneggiate o collassate per azioni eccezionali.

5.3.3. Resilienza

La resilienza è la capacità di un'opera o di un sistema infrastrutturale di recuperare la propria funzionalità con tempi e costi considerati accettabili in relazione all'importanza dell'opera stessa ed alle conseguenze determinate da una interruzione d'uso anche temporanea.

Un'opera o un sistema strutturale può dirsi resiliente se possiede e integra quattro caratteristiche fondamentali:

- la **robustezza**, ovvero la capacità intrinseca di subire danni anche gravi senza raggiungere il collasso;
- la **ridondanza**, ovvero la presenza di sistemi strutturali aggiuntivi capaci di intervenire in sostituzione di quelli danneggiati o collassati;
- la **rapidità**, ovvero il tempo necessario per eseguire le riparazioni e riattivare l'esercizio;
- le **risorse**, ovvero la disponibilità di materiali, fondi e piani di emergenza per rispondere alla crisi in modo flessibile.

5.4. Stati Limite, livelli di prestazione e azioni corrispondenti

Si analizzano le definizioni e le prescrizioni riguardanti gli Stati Limite e le prestazioni attese, contenute nella **RP** e nei "*Fondamenti*" di progetto, valutando la loro coerenza con le **NTC 2018** (o "Norma") e le assunzioni del **PD**, ai fini dello sviluppo del **PE**.

Nel seguito, il termine "Sicurezza" è spesso sostituito dal termine "Affidabilità", al fine di allinearsi alle normative più moderne, quale ad es. la **EN 1990** citata nel **Capitolo 3** del presente Parere, a cui le **NTC 2018** rimandano come possibile riferimento per opere di particolare importanza o per le situazioni non contemplate dalle stesse **NTC 2018**.

I requisiti prestazionali, con riferimento a ciascuno Stato Limite, sono definiti sempre in termini di affidabilità; pertanto, è essenziale che il progetto fornisca in maniera inequivocabile tutti i riferimenti necessari a valutare il rispetto di tali requisiti, coerentemente con i metodi di analisi e di verifica utilizzati.

Il quadro delle scelte progettuali deve ricondursi a precisi livelli di affidabilità, chiaramente misurabili attraverso il confronto tra la Capacità e la Domanda. La **RP** e i *Fondamenti* indicano l'adozione del Metodo semi-probabilistico agli Stati Limite per le verifiche di affidabilità, riguardanti tutti gli aspetti progettuali, inclusa la robustezza strutturale. Questo metodo, dal carattere convenzionale, deve essere utilizzato nel pieno rispetto della Norma e, comunque, richiede una coerenza intrinseca nella definizione degli Stati Limite, delle prestazioni attese e dei corrispondenti livelli di affidabilità.

Dall'analisi della **RP** e dei documenti del **PD** sono emersi alcuni profili di particolare complessità e rilevanza che richiedono ulteriori approfondimenti, da sviluppare nel **PE**, sulla base della suddivisione in Fasi indicata nel presente Parere. Per maggiore chiarezza espositiva essi vengono trattati separatamente.

5.4.1. Definizione degli Stati Limite nella Relazione del progettista

La **RP** richiama il cap. 2 "*Sicurezza e prestazioni attese*" delle **NTC 2018**; inoltre, fa esplicito riferimento al *Manuale*, nel quale sono descritti gli stati limite considerati per i diversi componenti strutturali, distinti in primari e secondari, a seconda della loro criticità in relazione alla riparabilità.

Gli stati limite sono riferiti a livelli di danno (Tab. 5, pag. 20 del *Manuale*) e identificano la frontiera tra un livello di danno e l'altro; le frontiere sono differenziate per i diversi componenti strutturali. I *Fondamenti* identificano tre "Livelli di cimento" per il sistema strutturale, a cui corrispondono altrettanti gruppi di stati limite. Tra questi, oltre ai classici **SLS** e **SLU**, i *Fondamenti* introducono gli **SLIS**, corrispondenti al terzo livello di cimento.

Per lo **SLU** i *Fondamenti* indicano che i componenti devono mantenere la loro "*piena integrità*".

Per lo **SLIS** i *Fondamenti* indicano che:
"*si ammette la perdita completa di funzionalità del Ponte, anche protratta nel tempo. Deve essere garantita la "sopravvivenza" dei seguenti componenti primari del sistema strutturale principale: sistema di ritegno e sostegno, cavi principali e selle.*"

Secondo la Tab. 6, pag. 21 del *Manuale*, la "*sopravvivenza*" è legata alla condizione di Danno Riparabile **RD**. Si osserva che questa condizione non è chiaramente definita per ciascun componente primario, con ciò rendendo difficilmente verificabile il rispetto delle prestazioni attese. Ulteriori considerazioni in merito sono riportate al § 5.4.3 del presente Parere.

Alla luce di quanto rilevato, l'**Assemblea** ritiene necessario, nella **Fase A** del **PE**:

- definire, in maniera specifica per ciascun componente primario e secondario, i livelli di danno **ND**, **DD**, **MD**, **RD** e **SD**, con particolare riguardo alla condizione di Danno Riparabile **RD** e di Danno Significativo **SD**, e specificare, in maniera inequivocabile, il significato operativo del termine "sopravvivenza" richiamato per gli **SLIS**.
- Per lo **SLU** dovranno essere specificati i limiti di compatibilità tra la definizione di piena integrità strutturale, a cui fa riferimento la prestazione stabilita dai *Fondamenti*, e le situazioni per le quali gli stessi *Fondamenti* ammettono lo snervamento dell'acciaio, seppur in maniera localizzata.
- La scelta del **PD**, che prevede allo **SLU** lo sconfinamento in campo plastico dell'acciaio in aree limitate, deve essere adeguatamente motivata, specificando la localizzazione di tali aree e, ove si adottino metodi di analisi lineari, quale sia il livello di sconfinamento ritenuto accettabile.

5.4.2. Stati Limite di funzionalità

La funzionalità dell'**Opera, così come definita nei *Fondamenti*,** deve essere valutata con riferimento a due distinti requisiti: la percorribilità e il comfort degli utenti definiti nel precedente § 3.5.4. La funzionalità dell'opera può ritenersi garantita soltanto qualora risultino rispettati entrambi i requisiti; a tal fine, le condizioni di esercizio devono essere determinate assumendo come riferimento il requisito più restrittivo, spesso rappresentato da quello relativo al comfort.

Nel **PD**, le prestazioni relative alla funzionalità sono richiamate nel § 4.3 dei *Fondamenti* e, in particolare, in esso sono definiti i livelli di funzionalità rapportandoli agli Stati Limite previsti. Nei successivi § "*4.3.1 Prestazioni relative all'Utenza ferroviaria (percorribilità)*" e "*4.3.2 Prestazioni relative all'Utenza stradale*", sono riportate, rispettivamente, le prestazioni di percorribilità ferroviaria, con le relative limitazioni del servizio in relazione all'azione diretta del vento sui convogli e di comfort per l'utenza ferroviaria, e le prestazioni di percorribilità stradale, specificando il valore della velocità media del vento a livello dell'impalcato per la quale dovrà essere garantito il rispetto dei limiti accelerometrici indicati.

I *Fondamenti* individuano per ciascuno **SLE** considerato, le condizioni di carico e i valori limite dei parametri di percorribilità e comfort necessari a garantire la funzionalità dell'opera. Gli stessi *Fondamenti* fissano le condizioni di vento che corrispondono agli stati limite definiti, i valori dei parametri che devono essere rispettati in relazione alla percorribilità stradale e ferroviaria del ponte e i parametri che definiscono i livelli di comfort richiesti.

Con riferimento alle verifiche condotte nel **PD**, non emerge un generale mancato rispetto delle condizioni di funzionalità dell'opera in esame, salvo alcune eccezioni che richiedono ulteriori approfondimenti, come meglio dettagliato nel seguito.

Tuttavia, tenuto conto della rilevanza dell'opera, si osserva che i criteri ordinariamente applicabili ai ponti ferroviari potrebbero non rappresentarne esaustivamente le specificità geometriche, dinamiche e conseguenziali. In particolare, l'esposizione associata alla notevole estensione ed alla complessità strutturale e funzionale dell'attraversamento e le conseguenze che un'eventuale perdita delle condizioni di marcia potrebbe determinare sia sul convoglio che sulla struttura, **richiedono una valutazione specifica del sistema treno–binario–struttura nelle situazioni eccezionali e accidentali ragionevolmente prevedibili**.

Relativamente alla sicurezza di marcia, assumono rilievo gli esiti relativi alla condizione sismica in prossimità delle torri e i superamenti del rapporto di ribaltamento riscontrati in **SLS1** per alcuni convogli merci, nonché la necessità di completare le valutazioni in corrispondenza dei giunti di dilatazione, delle transizioni dell'armamento e degli scenari multihazard.

Inoltre, permangono alcuni aspetti che richiedono ulteriori approfondimenti, con particolare riferimento alle verifiche di comfort ferroviario.

In particolare, con nota di chiarimento n. 9, è stato chiesto a **SdM** di dettagliare le analisi rivolte alla valutazione del comfort dei passeggeri a bordo del treno in presenza di significativi spostamenti della struttura.

Con la risposta alla nota di chiarimento n. 9, **SdM** ha assicurato il rispetto dei valori limite di comfort definiti per il progetto in forza delle verifiche effettuate; tuttavia, prevede di ripetere le stesse verifiche introducendo una revisione dei valori di difettosità del binario utilizzati nei calcoli.

Alla luce di quanto rilevato, l'**Assemblea** ritiene necessario nella **Fase B** del **PE**:

- effettuare nuovamente le verifiche di percorribilità e di comfort introducendo la revisione dei valori di difettosità del binario utilizzati nei calcoli e aggiornando gli scenari di ventosità cui far riferimento;
- definire specifiche condizioni di utilizzo della struttura, che tengano conto di vento, traffico ferroviario e stradale, eventuali disturbi esterni e condizioni ambientali o antropiche da porre a base delle procedure di gestione e monitoraggio dell'**Opera**, così come specificato al § 8.68.6.

5.4.3. Azioni estreme per le verifiche agli SLIS

Per le verifiche dell'**Opera** nei confronti degli **SLIS**, i *Fondamenti* fanno riferimento ad azioni accidentali ed ambientali "estreme".

I Fondamenti specificano, in proposito, che: "*in considerazione dell'eccezionalità dell'Opera, sono previsti anche Stati Limite di Integrità Strutturale (SLIS), le cui verifiche garantiscono, in presenza di azioni accidentali ed ambientali estreme, almeno la sopravvivenza dei seguenti componenti primari: sistema di ritegno e sostegno, cavi principali e selle. Anche a questo livello estremo di cimento si deve verificare la robustezza strutturale dell'Opera, valutando la congruenza dell'entità del danno strutturale all'entità dell'azione*".

Per gli **SLIS**, le azioni di origine ambientale e quelle accidentali estreme, definite secondo scenari di contingenza, possono essere valutate, alternativamente, riferendosi a studi specifici sulle condizioni di sito, su base deterministica o probabilistica.

In ogni caso, per determinare tali azioni estreme, è necessario stabilire una soglia di accettazione (frattile superiore) per la probabilità di non superamento dell'azione, condizionata all'evento estremo considerato (ad es. per l'azione sismica, l'evento del 1908).

La selezione di situazioni analoghe, utilizzate per la scelta degli scenari di contingenza, deve essere opportunamente motivata.

In particolare, in riferimento all'azione sismica, trattata in maniera specifica nel § 5.5 e § 6.4 del presente documento, è condivisibile quanto raccomandato dal **CS 2023** sulla necessità di fare riferimento a "*terremoti avvenuti nel mondo nelle ultime due decadi compatibili, per magnitudo e meccanismo di rottura della faglia, con le caratteristiche sismogenetiche dell'area dello Stretto*".

Inoltre, nel riferirsi ad azioni estreme definite a partire da scenari di contingenza, qualora nella progettazione si adotti, come è raccomandabile per l'**Opera**, un approccio di livello superiore, è necessario definire le $\mathbf{P_f}$ degli **SLIS** per ciascun componente strutturale e per l'**Opera** nel suo complesso.

Pertanto, riguardo gli **SLIS**, l'**Assemblea** ritiene necessario nella **Fase A** del **PE**:

- indicare, per ciascun componente strutturale, la localizzazione delle plasticizzazioni ammesse, i limiti di deformazione, in relazione alle condizioni di robustezza e riparabilità. Tali condizioni dovranno essere definite in maniera specifica per ogni componente strutturale e per l'**Opera** nel suo insieme;
- definire e motivare gli scenari di contingenza e le azioni accidentali e ambientali estreme, anche attraverso studi specifici di sito, deterministici ovvero probabilistici. Nella definizione delle azioni estreme dovrà essere assunto un frattile superiore della distribuzione di probabilità condizionata all'evento estremo considerato.

5.5. Azione sismica e i suoi effetti

5.5.1. Inquadramento generale

Il **PD** comprende l'**Opera**, il viadotto Pantano e i collegamenti stradali e ferroviari. Le prestazioni attese e l'azione sismica di progetto sono disciplinate da distinti documenti per le diverse opere: l'**Opera** dai *Fondamenti* e dal *Manuale*; il viadotto Pantano e l'insieme dei collegamenti stradali e ferroviari dalle **NTC 2008**, assumendo $\mathbf{V_N}$ pari a 100 anni e classe d'uso IV ($\mathbf{C_U}$=2).

Il capitolo tratta i soli aspetti metodologici relativi all'azione sismica e ai suoi effetti. Osservazioni specifiche per le diverse opere, tra cui le considerazioni svolte dalle commissioni o comitati che si sono già espressi sul progetto e le eventuali prescrizioni o raccomandazioni di questa **Assemblea**, sono rinviate ai paragrafi dei capitoli successivi dedicati a ciascuna opera. L'inquadramento generale che segue è prevalentemente riferito all'azione sismica dell'**Opera**.

La definizione della domanda sismica è la componente generalmente caratterizzata dal maggior grado di incertezza. Anche per tener conto di ciò, i metodi di progettazione sismica moderni ricorrono alla progettazione in capacità e alla gerarchia delle resistenze, così da poter progettare e/o verificare il comportamento strutturale post – elastico e le conseguenze da esso derivanti.

Tuttavia, si osserva che, nel PD, i criteri di definizione della domanda sismica, comprensivi degli effetti near – field, non sono esplicitati, né sono affrontati l'affidabilità obiettivo, l'affidabilità conseguita, il comportamento post - elastico.

Dal lato del metodo, tali informazioni, che sono rilevanti, vanno esplicitate.

Dal lato del merito, si nota che il dimensionamento delle torri prevede un "tasso di sfruttamento" elevato sotto l'azione sismica di progetto.

In tale quadro la conoscenza del comportamento post-elastico appare ineludibile per:

- i tradizionali fini di determinazione dell'affidabilità;
- il progetto degli elementi che potranno evolvere in campo plastico;

- la verifica del comportamento strutturale dissipativo d'insieme;
- la programmazione delle operazioni di eventuale manutenzione straordinaria, nelle direzioni della loro effettiva realizzabilità, semplicità operativa, sostenibilità economica.

Ulteriore aspetto da considerare è la variabilità spaziale del moto sismico. I modelli di letteratura, originariamente basati su approcci teorici di propagazione delle onde in un mezzo elastico, hanno ricevuto conferme sperimentali attraverso le reti accelerometriche installate nel tempo e sono documentati nella letteratura scientifica.

La conformazione geometrica delle fondazioni di ciascuna gamba delle torri potrebbe causare perdita di coerenza tra i segnali del sisma in accelerazione o spostamento applicati alle gambe, sia in direzione orizzontale, sia in direzione verticale, nonostante il miglioramento del terreno a mezzo di jet – grouting, previsto nel **PD**. Non si dispone di verifiche in merito alle sue capacità nel corso dell'evento sismico; si consideri inoltre che i rilievi sperimentali di letteratura confermano, in direzione verticale, perdite di coerenza simili a quelle registrate nelle direzioni orizzontali; infine, si noti che le fondazioni di opere paragonabili, per rilevanza e azione sismica, sono monolitiche.

Per tali ragioni, si prescrivono verifiche delle strutture delle fondazioni e delle torri soggette al moto sismico di progetto con variabilità spaziale.

Altro aspetto è quello relativo all'azione sismica in fase costruttiva, da trattare secondo quanto prescritto nel § 2.4.1. delle **NTC 2018** e nel § C2.4.1 della **Circolare NTC 2018.**

L'ultimo aspetto concerne gli spostamenti permanenti post – sisma, con particolare riguardo agli spostamenti differenziali. Le recenti osservazioni successive al sisma dell'Italia centrale mostrano deformazioni permanenti, assolute e differenziali, assai significative dal punto di vista progettuale. Tale aspetto fornisce ulteriore motivazione per analisi relative al comportamento di fondazioni non monolitiche, ribadendo la necessità di verifica di queste, e delle strutture soprastanti, ad eventuali effetti differenziali, sia temporanei nel corso del sisma, sia permanenti.

Le considerazioni precedenti motivano le raccomandazioni e prescrizioni riportate per le diverse opere, nei paragrafi specifici.

5.5.2. Definizione dell'azione sismica

L'azione sismica sull'**Opera** è individuata, nei documenti del **PD**, attraverso spettri di risposta relativi a specifici periodi di ritorno e Stati Limite, di cui non sono tuttavia illustrati i criteri di definizione. Infatti, la pericolosità sismica dell'area è influenzata sia da quella di base, sia da eventi "near - field", dipendenti da un articolato sistema di faglie. Si tratta di un problema di alta complessità, anche per l'elevato numero di variabili coinvolte e la necessità di esplicito trattamento delle incertezze, risolubile anche a mezzo di simulazioni numeriche con terremoti di scenario (si vedano le prescrizioni specifiche per le diverse opere), ma non eludibile.

Nella **Fase A** del **PE** devono essere chiaramente identificate le probabilità di superamento degli spettri di progetto (comprensivi degli effetti near - field) in direzione orizzontale e verticale, i relativi modelli di ricorrenza temporale, l'affidabilità strutturale conseguita con il dimensionamento adottato. Devono inoltre essere impostati l'approccio di definizione di terremoti di scenario, l'affidabilità obiettivo e il comportamento post – elastico che, nel quadro di incertezza aleatoria ed epistemica sulle azioni near - field (posizione, geometria, pericolosità delle faglie e propagazione dell'onda) costituisce aspetto importante.

In particolare, sulle azioni near – field provenienti dalla sorgente del terremoto del 1908, si segnala che questa è tuttora oggetto di dibattito nella letteratura scientifica (v. Capitolo 4).

Gli sviluppi scientifici degli ultimi anni, la disponibilità di nuove registrazioni accelerometriche in condizioni near-source (es. database **NESS**) dell'**INGV**, INGV/RELUIS NESS flat-file, l'evoluzione dei più recenti Ground Motion Models

regionalizzati e non ergodici e i progressi nella modellazione deterministica del moto del suolo consentono oggi una rappresentazione più realistica degli effetti di sorgente, della propagazione della rottura, della variabilità spaziale dello scuotimento e delle relative incertezze.

Alla luce delle incertezze ancora presenti nella definizione della sorgente del terremoto del 1908 e delle altre strutture sismogenetiche potenzialmente rilevanti per l'area dello Stretto, si ritiene che si debba tenere conto della importanza degli aspetti sopra segnalati.

5.5.3. Variabilità spaziale del moto sismico

Un terremoto di magnitudo M_W 7.1, come l'evento del 1908, è associato alla rottura di una faglia finita con dimensioni dell'ordine di alcune decine di chilometri e non può pertanto essere rappresentato come una sorgente puntuale. In tali condizioni, la geometria della faglia, il meccanismo di rottura, la distribuzione dello slip, la presenza di asperità e la direzione di propagazione della frattura influenzano significativamente l'ampiezza, il contenuto in frequenza e la distribuzione spaziale del moto del suolo, determinando una marcata variabilità dello scuotimento nelle aree prossime alla faglia (near - fault), osservabile sia nelle componenti orizzontali sia nella componente verticale del moto.

Poiché le osservazioni dirette della variabilità spaziale del moto sono generalmente limitate dalla densità delle reti accelerometriche disponibili, i recenti sviluppi nel calcolo ad alte prestazioni (**HPC**) consentono oggi di simulare la propagazione delle onde sismiche in modelli tridimensionali della crosta terrestre mediante griglie di stazioni virtuali ad elevata densità. Tali approcci sono ormai ampiamente utilizzati a livello internazionale, come nei programmi CyberShake e J-SHIS, per valutare gli effetti di sorgente, la variabilità spaziale dello scuotimento e la domanda sismica di progetto e i modelli e parametri di letteratura hanno ricevuto conferme sperimentali anche nel caso di terreni di discrete caratteristiche meccaniche. Per le torri, considerato la distanza tra i tamburi delle fondazioni, la natura del terreno, pre e post miglioramento, la sensibilità delle strutture delle fondazioni e del telaio gambe/traversi di ciascuna torre, tale aspetto è rilevante.

La forma tozza della trave scatolare di collegamento tra i tamburi di fondazione e il fatto che il sistema di post – tensione si vincoli ad un setto nella sua mezzeria, **richiedono approfondimenti lato domanda e/o capacità.**

5.5.4. Effetti permanenti post sisma

Le osservazioni raccolte durante la sequenza sismica dell'Appennino Centrale del 2016 hanno documentato deformazioni permanenti significative nelle aree prossime alla faglia attivata. Sebbene la quantificazione di tali deformazioni sia ancora affetta da incertezze legate alla limitata disponibilità di osservazioni dirette, i modelli di dislocazione elastica, suggeriscono che il terremoto del 1908 possa aver generato subsidenze massime dell'ordine di un metro nell'area dello Stretto.

Parallelamente, i recenti progressi nel calcolo **HPC** consentono di eseguire simulazioni numeriche physics-based tridimensionali in grado di rappresentare in modo più realistico la rottura di faglia, la distribuzione spaziale delle deformazioni permanenti e gli effetti near-fault, contribuendo alla valutazione degli spostamenti differenziali, sia orizzontali, sia verticali, tra i diversi punti di contatto fondazione–terreno.

In questo contesto assumono particolare rilevanza gli approfondimenti relativi alle possibili faglie presenti nell'area dello Stretto (si veda la sezione geologica e sismotettonica), l'utilizzo di analisi probabilistiche e deterministiche di spostamento di faglia e la valutazione di differenti scenari di rottura e delle configurazioni delle asperità lungo le faglie potenzialmente attive.

In ogni caso, sono necessarie valutazioni di risposta strutturale per effetto di eventuali rotture superficiali (es. fagliazione secondaria) che possono interessare direttamente la costruzione in prossimità delle faglie principali a causa della loro attivazione, e valutazioni relative a eventuali deformazioni permanenti.

5.5.5. Domanda di progetto

Come riportato nei documenti dei *Fondamenti* e del *Manuale*, il dimensionamento del **PD** è stato eseguito sulla scorta della domanda sismica definita come spettro di risposta elastico, con accelerazione di ancoraggio e forma spettrale variabili a seconda dello stato limite e della direzione. Sono state, inoltre, eseguite analisi di verifica al passo con accelerogrammi e spostogrammi coerenti con le assunzioni fatte. Non appare documentato il modello della variabilità spaziale del moto, a meno del c.d. *time lag* (dal documento PB0026: "*La propagazione è modellata in termini di ritardo dell'onda simica incidente sul ponte che viaggia nella direzione longitudinale del ponte stesso. Il tempo di ritardo è misurato in funzione della velocità di propagazione (onde di taglio) riferita al suolo rigido di base. (…). In particolare, si è fatto uso dei valori contenuti nella tabella 3.2 - Profilo crostale di riferimento che indicano una velocità delle onde di taglio ad una profondità di 10km pari a 4450 m/s. Un'ulteriore analisi è stata eseguita considerando una velocità di propagazione pari a 1000 m/s.*").

Rinviando al quadro sinottico delle raccomandazioni e prescrizioni, lato domanda di progetto andranno definiti, distintamente per la direzione orizzontale e verticale, spettri di progetto a probabilità uniforme e dichiarata che tengano conto degli effetti near – field, per gli intervalli di periodi propri di interesse. Questi includono, in particolar modo per la componente verticale, anche i periodi bassi, notandosi p.e. che i modi di vibrazione dei blocchi di ancoraggio ricadono in questo intervallo e che le gambe delle torri hanno modi estensionali con frequenze dell'ordine di diversi Hz, in dipendenza anche della rigidezza del vincolo offerto dal cavo.

Tali spettri dovranno tenere conto anche delle diverse fonti di incertezza, per le quali è richiesta trattazione sistematica ed esplicita. La verifica del dimensionamento in base alla domanda sismica dovrà includere terremoti di scenario, anche sulla scorta di analisi "physics - based", analisi con registrazioni delle ultime due decadi, analisi con time histories per tener conto della variabilità spaziale tra i tamburi delle fondazioni di ciascuna torre.

Le eventuali incongruenze con gli spettri assunti per la progettazione andranno analizzate e interpretate.

5.6. Il vento e i suoi effetti

5.6.1. Analisi della circolazione locale e utilizzo delle rianalisi ERA5

La caratterizzazione anemologica dello Stretto di Messina richiede l'integrazione delle osservazioni locali con dataset meteorologici a larga scala. L'utilizzo delle rianalisi climatiche come ERA5/CERRA costituisce uno strumento di grande interesse, soprattutto per la caratterizzazione della dinamica alle mesoscale, ma anche per un possibile utilizzo in termini di estensione delle serie storiche osservative e copertura spaziale, purché accompagnato da procedure rigorose di validazione, calibrazione e correzione rispetto alle misure locali. Infatti, le analisi condotte sui dati di ERA5 e CERRA mostrano evidenti sottostime legate alla risoluzione spaziale dei dati grigliati derivati da ECMWF che richiedono procedure di correzione del bias rispetto ai dati osservativi delle stazioni meteorologiche in situ. L'utilizzo di ERA5 e CERRA consentirebbe di ottenere delle stime più robuste in merito ai tempi di ritorno ma richiede una attenta e robusta procedura specifica di calibrazione.

In ogni caso, è necessario il ricorso a una modellazione alla microscala al fine di giungere alla caratterizzazione di azioni di progetto, soprattutto in termini di campi di velocità media, compatibili con la circolazione a livello locale.

Il tema è descritto nel documento **P.CA.FC-001 "*Definizione del nuovo quadro di riferimento meteorologico per i modelli previsionali*"** e nelle risposte formulate dal **CG** in relazione alla Raccomandazione n. 63 del **CS 2023**.

La **RP** prevede l'utilizzo di dati ERA5 per la caratterizzazione del *"profilo verticale ricavato dal modello di calcolo climatologico del centro meteorologico europeo ECMWF (dati forniti dal Progetto ERA5)"* in relazione all'aggiornamento del quadro meteorologico di riferimento.

Tuttavia, non risultano pienamente esplicitate le metodologie di "bias correction", fondamentali considerando la risoluzione "coarse-grained" sia di ERA5 (31 km x 31 km) sia di CERRA (5.5 km x 5.5 km), come non risultano pienamente esplicitate la validazione sugli estremi e l'integrazione con eventuali modelli numerici alla microscala.

Il tema è in parte oggetto della raccomandazione 63 del **CS 2023** riportata in Tabella 5-1**.**

63	*"aggiornare il documento di valutazione del vento di progetto, ampliando il database sia mediante acquisizioni sperimentali sia, eventualmente, integrando con dati simulati e con un modello di azione del vento per i venti non sinottici"*

Tabella 5-1 -Raccomandazioni del **CS 2023** in merito al vento

Il tema è stato oggetto di una richiesta di chiarimenti a **SdM**, nella quale si chiedeva di produrre:
"Documentazione relativa ad analisi della circolazione alla microscala per definire eventuali particolarità nell'azione del vento lungo lo sviluppo del ponte, ad esempio attraverso una modellazione fisica in galleria del vento su un modello che riproduca l'orografia locale".

In risposta al quesito sul vento di progetto esposto precedentemente, nella nota trasmessa in data 09.06.2026, **SdM** ha indicato che:
"L'Università degli Studi di Genova, nell'ambito dello studio del 2004 ha riprodotto scenari di circolazione alla microscala mediante simulazioni numeriche eseguite con il codice WINDS, a conservazione di massa (C.F. Ratto, R. Festa, O. Nicora, R. Mosiello, A. Ricci, D.P. Lalas, O.A. Frumento: Wind field numerical simulations: a new user-friendly code. In W. Palz (Ed.), ECWEC, Madrid, Spain, 1990, 130-134), sviluppato presso il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Genova. Tale codice tiene conto delle principali caratteristiche geometriche della superficie terrestre che influenzano i flussi atmosferici nell'area di studio mediante i modelli digitali dell'orografia e della rugosità del terreno. I modelli e i risultati sono sintetizzati nei capitoli 5 e 6 della Relazione Generale e presentati in dettaglio nella relazione E del documento.
Negli anni Novanta, presso la Western University (Canada) sono state eseguite prove su modello fisico comprendente il modello topografico, come testimoniato anche dall'articolo a cura di J. Peter C. King (J. Peter C. King (2003). The foundation and the future of wind engineering of long span bridges - the contributions of Alan Davenport. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 91 (2003) 1529-1546), in cui viene riportata una foto del modello".

Nella citata nota di chiarimento emerge un aspetto sull'uso dei dati di ERA5 (e di CERRA) e sul loro utilizzo per la statistica dei valori estremi, in particolare nella Relazione_A2 e nella Relazione_C2:
"In Figura 2.1 è possibile osservare l'assenza di valori outlier di intensità e direzione del vento nonché la regolarità dei dati nel tempo. Si noti inoltre come i valori di velocità risultino sempre inferiori a 20 m/s. […] In Figura 3.1 è possibile osservare l'assenza di valori outlier di intensità e direzione del vento e come i valori di velocità risultino tendenzialmente maggiori di quelli del dataset ERA5 (Figura 2.1) ma comunque sempre inferiori a 20 m/s".

L'**Assemblea**, alla luce dei chiarimenti prodotti, rileva la necessità di:

- aggiornare il documento relativo al vento di progetto (contenuti nel documento Allegato E "*Scenari della Velocità del Vento nello Stretto di Messina*" DT.ISP.V.E.R1.001) definendo quantitativamente le modalità di integrazione tra dati osservativi (misurazioni tramite stazioni meteorologiche e uso di ERA5/CERRA) e dati modellistici;
- aggiornare il documento relativo al vento di progetto (contenuti nel documento Allegato E "*Scenari della Velocità del Vento nello Stretto di Messina*" DT.ISP.V.E.R1.001) definendo quantitativamente le procedure di correzione del bias, dovuto alla risoluzione spaziale di ERA5/CERRA rispetto ai dati osservativi delle stazioni meteorologiche in situ, al fine di evitare la sottostima dei risultati derivati analizzando le serie temporali delle rianalisi climatiche;

- ripetere le analisi sulla statistica degli estremi con i dati ERA5/CERRA opportunamente corretti per il bias;
- confrontare gli effetti prodotti nella risposta dell'impalcato da scenari di vento derivanti dalle analisi numeriche effettuate con quelli ottenuti attraverso le azioni simulate in accordo ai *Fondamenti,* dove peraltro si riporta che: "*tenuto conto dell'eccezionale lunghezza dell'Opera di attraversamento, si raccomanda di valutare e considerare, in modo opportuno e motivato, la variazione della velocità media del vento lungo l'asse longitudinale dell'impalcato*".

La risposta fornita da **SdM** appare condivisibile nei principi generali, ma non definisce in modo dettagliato i coefficienti di correzione, le procedure di calibrazione, i criteri di validazione, la rappresentazione degli estremi, e l'utilizzo di modelli alla microscala. Le analisi condotte sui dati di ERA5 e CERRA presentate nella Relazione_A2 e nella Relazione_C2 mostrano evidenti sottostime legate alla risoluzione spaziale dei dati grigliati derivati da ECMWF. Inoltre, considerando l'altezza delle torri (399 m) e la risoluzione verticale dei dati prodotti da ERA5 pari a 25 hPa (circa 212 m) a livelli discreti di 1000 hPa, 975 hPa, 950 hPa corrispondenti ad altezze sul livello del mare in condizioni standard di 110.88 m, 323.38 m, e 540.34 m, la caratterizzazione verticale risulta possibile tramite due livelli di pressione. Questo certamente non può essere sufficiente ai fini di una corretta descrizione del profilo verticale di vento.

Si ritiene pertanto necessario che la procedura includa almeno:
- calibrazione nel periodo comune tra ERA5/CERRA e le osservazioni disponibili nell'area, meglio se a diversi livelli di quota (ad esempio, le serie storiche delle misure ottenute alla Torre Faro di Capo Peloro);
- estensione della serie storica alla Torre Faro di Capo Peloro agli anni successivi al termine del funzionamento tramite le correlazioni calibrate e perfezionate con le serie ERA5/CERRA;
- validazione dei valori estremi di vento e verifica dei tempi di ritorno con le serie ERA5/CERRA opportunamente corrette;
- modellazione alla microscala e definizione di eventuali ulteriori e diverse condizioni di progetto.

La modellazione alla microscala potrà essere effettuata sia attraverso modelli numerici sia ricorrendo a modelli fisici in galleria del vento; a tal fine si rileva che non sembra che i risultati provenienti dalle prove su modello fisico in galleria del vento (di cui all'articolo citato nella nota di chiarimento di **SdM** "*The foundation and the future of wind engineering of long span bridges - the contributions of Alan Davenport*") siano stati utilizzati come possibile confronto e strumento di validazione delle analisi numeriche.

Ai fini del progetto dell'**Opera**, risulta essenziale caratterizzare eventuali campi di velocità media non uniformi lungo lo sviluppo dell'impalcato, in modo da definire possibili scenari di calcolo con condizioni di vento medio caratterizzate da variazioni per circolazione locale con scale di lunghezza paragonabile allo sviluppo del ponte.

5.6.2. Gestione dell'incertezza sui dati sperimentali relativi all'azione del vento

È ben noto che tutti i risultati sperimentali, compresi quelli ottenuti tramite prove in galleria del vento, sono affetti da errori e incertezze.

Nel **PD**, le grandezze aerodinamiche di interesse per la progettazione aerodinamica delle varie parti strutturali dell'**Opera** sono state ottenute in quattro diversi laboratori sperimentali. Di altri due laboratori si è avvalso il **PMC** nell'**ICD**. Il ricorso alla sperimentazione in galleria del vento in laboratori indipendenti rappresenta una pratica apprezzabile e non usuale a livello progettuale.

Dall'analisi dei documenti allegati al **PD** (in particolare, PB0034_F0) è evidente che **le grandezze aerodinamiche relative all'impalcato misurate nei diversi laboratori sono spesso non in accordo tra di loro**. Ne sono esempio le forze statiche al variare dell'angolo di attacco sulla configurazione finale, specialmente per la geometria di esercizio, in cui si osservano coefficienti di momento di segno opposto.

Di notevole rilievo sono anche le differenze sulla configurazione C5/45 che, sebbene non finale, ha evidenziato pendenze significativamente diverse del coefficiente di momento misurato in due diversi laboratori.

Il **CG** ha scelto di utilizzare, per il **PD,** i valori più cautelativi (misure presso il laboratorio del Force Technology), tranne nel caso del coefficiente di drag, per il quale è stato assunto il valore medio tra le misure ricevute (*"regarding the drag coefficient, it is thought better to use a mean value of the drag coefficient of 0.107 in design in order not to be too conservative but otherwise the turbulent flow values from Force is used"*), **il che non appare coerente**.

Anche nelle misure delle derivate aeroelastiche (o derivate di flutter), utilizzate sia nei calcoli di stabilità al flutter, sia nella valutazione della risposta dinamica a vento turbolento, si osservano discrepanze significative tra i due set di misure confrontati.

Infine, **le ammettenze aerodinamiche misurate dal Force Technology e dalla Western University (BLWTL) sono incompatibili tra loro**, per differenze tali da non sembrare spiegabili con la diversa metodologia di misura utilizzata.

Né convince la decisione di assumere nei calcoli una funzione di ammettenza identicamente unitaria, in quanto le funzioni misurate presentano valori, anche molto maggiori dell'unità, per vasti intervalli di frequenza ridotta.

A ciò sono collegabili le Raccomandazioni, formulate dal **CS 2011** e contenute nella appendice alla relazione del **CS 2023**, (v. Tabella 5-2).

2CS 4c (2011)	*"4 c) approfondire le analisi sperimentali e le rielaborazioni numeriche relative alla stabilità dell'impalcato al variare dell'angolo di attacco del vento, viste anche le differenze fra i risultati delle prove effettuate dal Contraente Generale e dal PMC"*
34CS (2011)	*"I risultati del calcolo in termini di accelerazioni dell'impalcato devono soddisfare le specifiche di risposta al vento turbolento e devono anche essere utilizzato come la base di riferimento per il dimensionamento statico e dinamico del ponte all'azione del vento, allo scopo di definire i livelli di sollecitazione dovuti all'azione del vento per gli effetti sia statici che dinamici. Ovviamente le valutazioni numeriche devono tenere in conto della deviazione standard dei parametri aero dinamici sperimentali, al fine di definire la corrispondente deviazione standard delle valutazioni numeriche effettuate e i risultati numerici devono essere confrontati con quelli ottenuti dalla sperimentazione su modello aeroelastico a ponte intero"*

Tabella 5-2- Raccomandazioni del **CS 2011** reiterate dal **CS 2023** in merito al calcolo dell'impalcato

Nella prima si chiedono analisi sperimentali e numeriche aggiuntive, alla luce anche delle differenze tra i risultati delle prove sperimentali condotte per conto del **CG** e del **PMC**. Nella seconda, invece, si chiede di tener conto nelle varie analisi e verifiche anche della deviazione standard dei parametri aerodinamici misurati sperimentalmente.

Nella **RP** si risponde al punto 2CS del **CS 2011** affermando che prove aggiuntive possono essere effettuate, ma ci si aspetta un'ulteriore dispersione dei risultati: *"Le analisi di stabilita aerodinamica in funzione dell'angolo di attacco possono essere approfondite; tuttavia, si ritiene opportuno segnalare che non sorprende che diversi laboratori abbiano fornito risultati disomogenei. In altre parole, è lecito attendersi un'ulteriore dispersione di risultati a fronte di una ripetizione di prove già effettuate in passato. Pertanto, si propone di svolgere rielaborazioni e un riesame critico dei risultati già ottenuti, anche in relazione alia replica al punto a) (modelli alti numeri di Reynolds)."*

Il tema dell'incertezza dei dati sperimentali emerge già dal parere del **CSLP** del 10.10.1997:
"*si raccomanda di verificare ulteriormente la stabilità aeroelastica da flutter documentando anche la dispersione dei risultati ottenuti dalle prove sperimentali, di verificare gli effetti che possono indurre anche possibili errori di montaggio dei profili alari integrati nei frangivento*".

L'**Assemblea** ritiene che la questione dell'incertezza dei dati sperimentali dovrà essere approfondita nella **Fase A** del **PE**, rianalizzando in maniera critica i risultati delle prove in galleria del vento realizzate durante il **PD** e confrontandoli con quelli ottenuti dal **PMC** nell'**ICD** e con i dati dell'ulteriore attività sperimentale relativa al **PE**.

Grande attenzione dovrà essere rivolta all'analisi di sensibilità dei risultati nei confronti della modellazione delle barriere frangivento e degli altri elementi porosi. Andranno valutate le cause di eventuali dati anomali e l'ottenimento di una convergenza ragionevole verso valori "corretti", in modo da avere una preventiva introspezione rispetto all'esecuzione di nuove prove che dovranno essere condotte nel breve periodo.

L'incertezza e la dispersione che affliggono i dati sperimentali misurati in galleria del vento dovranno poi essere tenute in conto in maniera coerente a livello progettuale, quantificando l'incertezza sulle grandezze di output delle analisi.

5.6.3. Analisi statistica degli eventi estremi

La definizione delle azioni del vento di progetto richiede una corretta caratterizzazione statistica degli eventi estremi, delle raffiche, della turbolenza e delle componenti direzionali del vento. Per siti complessi quali lo Stretto di Messina risulta necessario verificare la robustezza delle metodologie statistiche adottate, valutando la sensibilità dei risultati alle ipotesi modellistiche e alle distribuzioni probabilistiche utilizzate. Il tema è affrontato nel documento **P.CA.FC-001 "*Definizione del nuovo quadro di riferimento meteorologico per i modelli previsionali*"**, nell'ambito dell'aggiornamento del quadro meteorologico utilizzato per le verifiche dell'opera.

La documentazione esaminata affronta il tema degli estremi anemologici e della definizione del vento di progetto, ma non esplicita in maniera compiuta una validazione robusta sulla scelta della distribuzione statistica tra le diverse utilizzate, un'analisi relativa alle raffiche e alla loro rappresentazione spettrale, una verifica sulle componenti direzionali e, soprattutto, gli intervalli di confidenza associati ai livelli di ritorno.

Il tema è stato oggetto di una richiesta di chiarimenti a **SdM**, nella quale si chiedeva:
"Documentazione relative alle analisi di ventosità effettuate dopo la redazione del progetto definitivo, anche relativamente a stazioni non prese in considerazione inizialmente."

In risposta al quesito precedente, **SdM**, nel riscontro fornito con la richiamata nota del 09.06.2026, ha indicato che:
"[…] le analisi d'estremo sono svolte impiegando ulteriori modelli avanzati, aggiornati allo stato dell'arte. In particolare, vengono introdotti i metodi relativi alla Distribuzione Generalizzata dei Valori Estremi (GEV), alla Distribuzione Penultima FT1 e al metodo eXtended Improved Method of Independent Storms (XIMIS)."

Nel medesimo documento di risposta vengono presentati i risultati ottenuti aggiornando il database delle osservazioni delle stazioni meteorologiche oltre che i risultati ottenuti con i dati di ERA5 e CERRA per i diversi tipi di distribuzioni statistiche considerate.

L'**Assemblea** osserva che la definizione del quadro anemologico di riferimento costituisce un elemento fondamentale per le verifiche strutturali e aeroelastiche dell'opera. Particolare attenzione deve essere rivolta alla rappresentazione della coda estrema della distribuzione della velocità media del vento e alla caratterizzazione delle raffiche. L'aggiornamento del quadro meteorologico e climatico rappresenta un presupposto fondamentale per la validazione delle verifiche aeroelastiche, strutturali e di esercizio. Tale aggiornamento deve includere una verifica della robustezza delle metodologie statistiche adottate.

L'**Assemblea**, pur riconoscendo l'avanzamento fatto rispetto alla documentazione relativa al vento di progetto includendo diversi tipi di distribuzioni, ritiene, dall'analisi della documentazione fornita, che alcuni aspetti siano ancora suscettibili di trattazione.

Nello specifico, si rende prioritario strutturare un confronto sistematico tra i diversi modelli di distribuzione statistica, affiancandovi indagini mirate e dedicate alle raffiche effettivamente osservate e alla loro rappresentazione spettrale. L'utilizzo di una determinata distribuzione statistica, tra le diverse considerate, non deve basarsi esclusivamente sulla qualità visiva dell'adattamento, ma richiede una valutazione quantitativa

supportata dalle incertezze dei parametri stimati. La mancanza di tali informazioni rende difficile valutare la robustezza delle conclusioni tratte dalle analisi. Questa informazione è particolarmente rilevante considerando che i modelli vengono utilizzati per stimare i livelli di estremo ed i tempi di ritorno. In aggiunta, risulta fondamentale quantificare le relative incertezze e gli intervalli di confidenza associati ai diversi livelli di ritorno, elemento essenziale dell'analisi ai fini della progettazione ma anche delle relative soglie di inoperabilità, totale o parziale, dell'opera.

Alla luce di queste carenze informative, l'Assemblea ritiene indispensabile che si proceda a un necessario ampliamento delle attività di studio e analisi. Infine, per delineare un quadro conoscitivo completo e robusto, si dovrà includere la definizione di scenari anemologici dettagliati, differenziati non solo su base direzionale, ma estesi, laddove possibile, anche in funzione della quota.

Tali approfondimenti risultano necessari in Fase A per garantire la rappresentatività delle condizioni estreme utilizzate nella definizione delle azioni di progetto.

5.6.4. Azioni non sinottiche

La definizione delle azioni del vento di progetto per opere di eccezionale rilevanza ed estesa $\mathbf{V_N}$ richiede la valutazione degli eventi meteorologici estremi caratterizzati da elevata intensità, rapida evoluzione temporale e forte variabilità spaziale. In tale contesto assumono particolare interesse i fenomeni non sinottici, quali downburst, microburst, tornado e Medicanes (Mediterranean Hurricanes), che possono determinare campi di vento significativamente differenti rispetto a quelli ordinariamente considerati nelle modellazioni statistiche tradizionali. Tali fenomeni sono caratterizzati da elevate accelerazioni locali, rapide variazioni direzionali, significative componenti verticali della velocità media del vento, condizioni impulsive e possibili effetti combinati associati a rapide variazioni della pressione atmosferica.

Nella **RP** non risultano riferimenti specifici relativamente ad una valutazione sistematica degli effetti derivanti da fenomeni di ventosità non sinottica e ai possibili effetti derivanti da eventi meteorologici estremi caratterizzati da elevata intensità e rapida evoluzione temporale. Il tema risulta tuttavia richiamato nell'ambito delle raccomandazioni formulate dal **CS 2023**, con particolare riferimento alle Raccomandazioni n. 45 e n. 63, nelle quali viene evidenziata la necessità di approfondire gli effetti derivanti da fenomeni atmosferici estremi non riconducibili alla modellazione sinottica ordinaria adottata per la definizione delle azioni del vento di progetto.

Dall'esame della **RP** non emerge una trattazione organica e specifica relativa ai fenomeni di ventosità non sinottica e ai possibili effetti derivanti da eventi meteorologici estremi caratterizzati da elevata intensità e rapida evoluzione temporale. La documentazione esaminata risulta prevalentemente orientata alla definizione del vento di progetto sulla base di approcci statistici tradizionali e di serie storiche anemometriche, senza evidenziare specifiche analisi di scenario dedicate a fenomeni non sinottici.

La Tabella 5-3 riporta un estratto delle Raccomandazioni formulate dal **CS 2023**, sui temi evidenziati.

45	*"Considerare l'evenienza di un possibile comportamento anomalo dell'impalcato per eventi eccezionali valutati sulla base dei risultati dell'aggiornamento del vento di progetto e, eventualmente, prevedere opportune contromisure"*
63	*"Aggiornare il documento di valutazione del vento di progetto, ampliando il database sia mediante acquisizioni sperimentali sia, eventualmente, integrando con dati simulati e con un modello di azione del vento per i venti non sinottici"*

Tabella 5-3 - Raccomandazioni del **CS 2023** in merito ai venti non sinottici

L'Assemblea rileva che il tema dei fenomeni non sinottici non risulta sviluppato in modo esplicito e sistematico nella RP.

Le raccomandazioni formulate dal **CS 2023** evidenziano **la necessità** di approfondire la possibile esposizione dell'**Opera** a fenomeni meteorologici estremi non riconducibili alla modellazione sinottica ordinaria.

Tali raccomandazioni risultano particolarmente rilevanti alla luce dell'evoluzione climatica osservata nel Mediterraneo e dell'aumento dell'intensità di eventi estremi che interessano il Sud Italia.

Il **CG** afferma che:
"come già chiarito nel corso delle precedenti interlocuzioni tra il CG ed il CS, per quanto riguarda i possibili effetti di venti non sinottici, saranno acquisiti i dati di ventosità disponibile in modo da ampliare la base dati sottostante al modello di vento di progetto. In aggiunta a questo, al principio dell'esecuzione dei lavori saranno installate stazioni fisse tipo LiDAR allo scopo di indagare effetti specifici legati a fenomeni tipo "downburst". Si sottolinea ad ogni modo che ad oggi la letteratura non registra casi di effetti avversi di un qualche significato, per ponti sospesi. Se del caso, il CG svolgerà "analisi di scenario" con lo scopo di verificare il comportamento dell'OdA sotto date circostanze di input, come registrazioni di venti non sinottici acquisite in luoghi differenti dallo Stretto. Al contempo, come già chiarito nel corso delle precedenti interlocuzioni tra il CG ed il CS, per quanto riguarda i possibili effetti di venti non sinottici, saranno acquisiti i dati di ventosità disponibile in modo da ampliare la base dati sottostante al modello di vento di progetto. In aggiunta a questo, al principio dell'esecuzione dei lavori saranno installate stazioni fisse tipo LiDAR allo scopo di indagare effetti specifici legati a fenomeni tipo "downburst". Si sottolinea ad ogni modo che ad oggi la letteratura non registra casi di effetti avversi di un qualche significato, per ponti sospesi. Se del caso, il CG svolgerà "analisi di scenario" con lo scopo di verificare il comportamento dell'OdA sotto date circostanze di input, come registrazioni di venti non sinottici acquisite in luoghi differenti dallo Stretto".

L'**Assemblea** osserva innanzitutto che la limitata disponibilità di casi documentati relativi a ponti sospesi interessati da fenomeni quali Medicanes o downburst non può essere considerata elemento sufficiente per escludere la necessità di specifiche verifiche progettuali, in quanto l'assenza di eventi storicamente osservati non equivale all'assenza del rischio, soprattutto alla luce dei cambiamenti climatici in atto.

Si ritiene necessario approfondire la possibile esposizione dell'opera a fenomeni non sinottici, non solo downburst, caratterizzati da elevata intensità e rapidità di sviluppo, forte variabilità spaziale e temporale del campo di vento, effetti impulsivi e transitori, presenza di componenti verticali significative nella velocità media del vento. Particolare attenzione dovrebbe essere rivolta agli effetti derivanti dall'orografia dell'area calabro-sicula, alla canalizzazione dei flussi nello Stretto, ai gradienti termici e barici e all'interazione tra atmosfera e superficie marina.

Si ritiene pertanto necessario che nel **PE** si sviluppino specifiche analisi di scenario basate su approcci multi-evento e multi-parametrici, comprendenti almeno:
- simulazioni di downburst (e possibilmente microburst) e tornado;
- valutazioni relative ai Medicanes (ad esempio il Medicane "Cornelia" del 1996 che ha attraversato lo Stretto);
- analisi di eventi convettivi severi o tempeste di vento intense (ad esempio il Ciclone "Harry" del gennaio 2026);
- verifica degli effetti combinati vento-pressione.

L'Assemblea ritiene che tali approfondimenti debbano essere sviluppati nell'ambito della Fase A, quale integrazione del quadro conoscitivo propedeutico allo sviluppo del PE.

5.6.5. Il vento e i cambiamenti climatici

La definizione delle azioni ambientali di progetto per infrastrutture strategiche caratterizzate da una vita utile pluridecennale richiede la valutazione degli effetti associati ai cambiamenti climatici e alla possibile evoluzione delle condizioni meteorologiche estreme nel corso dell'intero ciclo di vita dell'opera.

Le più recenti evidenze scientifiche riportate dall'**IPCC** indicano che il bacino del Mediterraneo è uno dei principali "*climate change hotspots*" a scala globale, caratterizzato da un incremento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi, da una crescente variabilità meteorologica e da una maggiore probabilità di eventi composti ("*compound events*"). In tale contesto, la valutazione delle azioni di progetto non può essere limitata alla sola

elaborazione delle serie storiche osservate, ma deve considerare la possibile evoluzione futura dei parametri climatici e meteorologici attraverso l'impiego degli scenari climatici più aggiornati disponibili.

Il tema è trattato principalmente nel documento P.CA.FC-001 "*Definizione del nuovo quadro di riferimento meteorologico per i modelli previsionali*", nel quale viene richiamato l'utilizzo degli scenari climatici **RCP**. Non risultano tuttavia approfondimenti specifici relativi all'utilizzo degli scenari SSP (Shared Socioeconomic Pathways) introdotti dall'**IPCC** AR6 né analisi dedicate alla possibile evoluzione delle azioni di progetto lungo la vita utile dell'opera.

La **RP,** nell'ambito della definizione del quadro meteorologico di riferimento, richiama gli scenari climatici **RCP** senza tuttavia sviluppare una valutazione sistematica degli effetti della non stazionarietà climatica sui parametri di progetto. Inoltre, non risultano esplicitate valutazioni relative all'eventuale modifica delle azioni del vento, all'utilizzo di modelli climatici regionali o all'impiego di approcci multi-modello per la quantificazione delle incertezze climatiche.

Il **CS 2023** non fa esplicito riferimento ai cambiamenti climatici mentre invece raccomanda l'aggiornamento del documento di valutazione del vento di progetto, nella raccomandazione n. 63 di Tabella 5-3.

L'**Assemblea** è del parere che il tema dei cambiamenti climatici assuma carattere centrale nella definizione delle azioni ambientali di progetto.

La trattazione contenuta nella **RP** contiene un generico richiamo agli scenari **RCP**, senza sviluppare in maniera adeguata le implicazioni derivanti dall'evoluzione climatica attesa nel Mediterraneo, né in termini di modelli climatici globali e/o regionali né tramite possibili coefficienti correttivi alle azioni di vento derivanti dagli scenari di proiezione futura, come fatto ad esempio nel caso del ponte sullo Stretto dei Dardanelli, a seconda del livello di emissioni globali che possono alterare non solo la temperatura ma in generale la direzione e l'intensità del vento, incluso l'aumento in frequenza ed intensità di eventi non sinottici e/o eventi meteorologici estremi.

L'aggiornamento del quadro meteorologico deve includere una verifica degli effetti a lungo termine derivanti dai cambiamenti climatici sotto diversi scenari di emissione.

La documentazione esaminata non evidenzia specifiche valutazioni relative agli scenari "Shared Socioeconomic Pathways" (**SSP**) dell'**IPCC** AR6 e alla conseguente evoluzione dei valori estremi del vento e alla variazione dei periodi di ritorno, in funzione della robustezza climatica dell'opera.

L'Assemblea ritiene pertanto necessario sviluppare nella Fase A approfondimenti specifici comprendenti:

- utilizzo degli scenari **SSP** dell'**IPCC** AR6;
- confronti tra modelli climatici globali e regionali o, in alternativa, utilizzo di coefficienti correttivi alle stime di velocità del vento ottenute mediante dati osservativi sulla base degli scenari di proiezione climatica;
- analisi evolutive lungo l'intero ciclo di vita dell'opera.

Particolare attenzione dovrà essere rivolta all'eventuale necessità di introdurre coefficienti cautelativi o verifiche aggiuntive correlate alle incertezze climatiche future, in analogia a quanto già fatto recentemente nel corso della progettazione di ponti di grande luce (es. ponte Çanakkale sullo Stretto dei Dardanelli).

5.7. Analisi di scenari multihazard

L'azione di sisma, vento e traffico (stradale e ferroviario) e degli altri fattori che concorrono alla definizione dello stato deformativo e tensionale dell'opera (ad esempio, variazioni termiche) viene analizzata nel **PD** in termini di combinazioni che definiscono le condizioni di progetto riguardanti sia verifiche in esercizio (ad esempio relative alla "runnability"), sia verifiche di sicurezza allo **SLU**.

Non sono stati presi in esame scenari multihazard in cui vengano combinate le azioni all'interno di un quadro probabilistico, nel quale si possano considerare anche situazioni diverse da quelle di progetto, ad esempio quelle derivanti da possibili effetti a cascata collegati a eventi diversi.

Occorre quindi definire opportunamente tali scenari di verifica, effettuare le analisi relative e valutare il livello di sicurezza (in termini di P_f) a seguito della possibile contemporaneità di azioni sfavorevoli.

Il tema non è affrontato nella **RP**, ma è invece oggetto della raccomandazione n. 42 del **CS 2023** di Tabella 5-4.

42	*"riesaminare, nell'aggiornamento delle analisi strutturali, scenari multihazard che tengano conto dell'azione combinata del vento e dei carichi di traffico ferroviario e/o stradale"*

Tabella 5-4 -Raccomandazioni del **CS 2023** in merito agli scenari multihazard

La prescrizione fa seguito al parere:
"(…) il CS ritiene opportuno che nell'aggiornamento delle analisi strutturali vengano riesaminati scenari multihazard che tengano conto dell'azione combinata del vento e dei carichi di traffico ferroviario e/o stradale e ciò al fine di una conferma del livello di sicurezza e di funzionalità del Ponte anche nel caso di eventi estremi."

Il parere, su richiesta del **CG**, è stato ulteriormente chiarito dal **CS 2023**, specificando che:
"Il CS concorda con il CG sul fatto che nel parere la definizione di scenari "multihazard" necessiti di un chiarimento. Quanto riportato nel parere può indurre infatti a confondere l'analisi "multihazard" con la "runnability" già presa in considerazione nel PD in accordo alle prescrizioni dei Fondamenti Progettuali. Il CS ribadisce la raccomandazione specificando che l'analisi "multihazard" viene usualmente condotta valutando la probabilità che uno o più eventi estremi possano verificarsi contemporaneamente o in cascata. A parere del CS l'analisi "multihazard" andrebbe effettuata sia in fase di progetto esecutivo che per la fase di gestione. Si fa presente che esiste un'ampia letteratura in cui tale problematica è stata affrontata nell'ultimo decennio; ad esempio: P. Gardoni & J.M. LaFave, Multi-hazard approaches to civil infrastructure engineering. Springer, 2016."

L'**Assemblea** ritiene che, data l'importanza dell'**Opera**, un'analisi probabilistica della risposta della struttura a situazioni estreme modellate attraverso il ricorso ad analisi multihazard debba essere svolta nella **Fase B** del **PE**.

5.8. Aspetti progettuali dei sistemi dell'Opera

L'applicazione dell'affidabilità dei sistemi è necessaria e se ne prescrive l'utilizzo, data la straordinarietà dell'**Opera**, per l'analisi e l'approfondimento di aspetti rilevanti per la progettazione.

A titolo esemplificativo, ma non esaustivo, nel seguito, sono riportate alcune applicazioni che ne dimostrano l'efficacia, se utilizzata nell'impostazione del **PE**.

La disposizione di elementi in parallelo risulta fondamentale per il rispetto dei requisiti di robustezza (si veda anche § 6.7) dell'impalcato dell'**Opera** anche con n=2 coppie consecutive di pendini fuori servizio, si nota che il sistema di coppie di pendini può essere modellato come un sistema con n componenti disposti in parallelo.

L'affidabilità di tale sistema dipende dall'affidabilità della singola coppia di pendini, dalla dipendenza statistica tra gli stati delle diverse coppie (per semplicità si usa la correlazione lineare come misura della dipendenza statistica), dal numero *n* di coppie di pendini.

In questo caso la correlazione è positiva poiché tali sono sia la capacità, sia la domanda; indicata con P_f la probabilità di fallimento per la generica coppia, la probabilità di fallimento del sistema vale $\mathbf{P_f^n}$ nel caso di correlazione nulla o P_f nel caso di correlazione pari a 1. In altri termini, all'aumentare di *n*, l'affidabilità aumenta al diminuire della correlazione tra i vari componenti considerati; nel caso estremo di correlazione positiva perfetta, l'incremento di *n* non comporta aumento di affidabilità.

Con riferimento all'aeromobile ipotizzato nei *Fondamenti* è necessario considerare il numero di componenti esposti. Infatti, sebbene l'aeromobile considerato ("aeromobile commerciale del peso di 10 t") abbia peso e dimensioni modeste, trattandosi tipicamente di macchine con capacità fino a 10 occupanti, le dimensioni tipiche (circa 16m sia di lunghezza che di apertura alare) e la variabilità dell'angolo di impatto fanno sì che possa considerarsi probabile l'interessamento di almeno due coppie di pendini, posti ad interasse di 30m. Inoltre, l'impatto di aerei di maggior peso e dimensioni interesserà un maggior numero di pendini. In queste condizioni la correlazione tra gli stati delle due o più coppie è assimilabile all'unità.

Si richiede pertanto di approfondire tali verifiche considerando anche gli aspetti della correlazione tra gli stati delle coppie di pendini e delle dimensioni dell'aeromobile, anche tenuto conto di quanto espresso nel § 6.7

Con riferimento alla richiesta di definizione del comportamento sismico delle torri, si osserva che vanno analizzati distintamente i comportamenti nel piano del telaio (ovvero la direzione perpendicolare all'asse longitudinale dell'impalcato) e fuori di esso. Nel piano del telaio, assunto dapprima il comportamento elastico come stato limite, il sistema è assimilabile ai componenti gambe e traversi posti in serie (nell'ambito di un approfondimento andrà considerato anche il comportamento della fondazione, che qui si omette). Le gambe sono soggette a sollecitazioni sismiche diverse (l'una in trazione, l'altra in compressione) e correlate.

Lo stato limite di collasso nel piano del telaio può considerarsi attinto alla formazione di un meccanismo, ovvero cerniere plastiche su ciascuno dei componenti gambe e traversi. Il relativo schema logico è formato da componenti in parallelo. Tale schema è ben più favorevole rispetto a quello in serie e la sua affidabilità è ovviamente superiore.

Dal punto di vista logico, il comportamento in direzione perpendicolare al piano del telaio è identico per entrambi gli stati limite mentre diversa è la definizione delle variabili aleatorie capacità e domanda.

L'**Assemblea** prescrive, in **Fase A** del **PE**, di approfondire tali verifiche al fine di stimare l'affidabilità sismica, considerando anche gli aspetti della correlazione tra le capacità e domande.

5.9. Il sistema delle opere del collegamento stabile tra Sicilia e Calabria

A completamento di quanto detto per l'**Opera**, occorre considerare che anche le opere di collegamento stradale e ferroviario, intrinsecamente lineari, sono assimilabili ad un sistema in serie. La Figura 5-1 riporta lo schema delle "*opere appartenenti al collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria*".

Figura 5-1.-Vista sintetica delle opere appartenenti al collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria

L'estensione geografica delle opere incluse nel "sistema" deve essere ragionevolmente limitata; un possibile criterio potrebbe trovarsi nella caratteristica di straordinarietà delle singole costruzioni. Posto che una eventuale perdita di funzionalità per superamento dello stato limite si tradurrebbe in un tempo di fuori servizio proporzionale alla complessità delle operazioni di riparazione del danno, fuori dall'ordinario sarebbero le operazioni per riparare l'eventuale danno su costruzioni straordinarie. Con questo criterio, oltre l'**Opera**, si potrebbe includere nel "sistema" il viadotto Pantano.

Con riferimento allo **SLU**, i *componenti* strutturali sono rappresentati dalle relative funzioni di Sato Limite (ovvero differenza tra capacità e domanda) e sono posti in serie. Tale disposizione comporta, da un lato, che l'affidabilità del sistema sia governata dal componente meno affidabile, dall'altro, che la presenza di componenti con affidabilità omogenee costituisca un "ottimo" economico. Infatti, la maggiore affidabilità di solo alcuni componenti non si riflette sull'affidabilità complessiva del sistema.

Ad esempio, ipotizzato comunque il rispetto di **NTC 2018** e *Fondamenti*, sotto combinazione sismica sono desiderabili *affidabilità* omogenee dell'**Opera** principale e del viadotto Pantano; similmente sono desiderabili affidabilità omogenee per le rimanenti azioni, ad esempio il vento.

Non essendo perseguibile tale linea, sembra comunque opportuno non spingere la duttilità richiesta al viadotto Pantano a limiti così diversi da quelli richiesti all'**Opera**.

L'intrinseca serialità delle opere di collegamento stradale e ferroviario, all'Opera e al viadotto Pantano, può essere parzialmente mitigata, in situazioni di emergenza o per necessità manutentive, dalla creazione di sezioni di scambio corsia così che, per esempio, se la carreggiata nord del generico tratto è indisponibile, il traffico nord possa percorrere la carreggiata sud (con ovvie limitazioni di qualità del servizio). Tra due successive sezioni A e B di scambio corsia, il sistema passa da una configurazione in serie a una in parallelo, sebbene anche l'aumento di affidabilità di questa soluzione sia limitato dalla correlazione positiva (che, come già notato, diminuisce l'affidabilità di sistemi con componenti in parallelo) tra gli stati delle due carreggiate.

L'**Assemblea** prescrive, in **Fase A** del **PE**, di definire per il viadotto Pantano caratteristiche progettuali coerenti con i requisiti di affidabilità dei sistemi su descritti.

L'**Assemblea** raccomanda di utilizzare per il viadotto Pantano un valore del fattore di comportamento non superiore a q=1,5 o altre soluzioni in linea con la precedente prescrizione.

6. PONTE SULLO STRETTO: DOMANDA SULL'OPERA

6.1. Azioni permanenti

Nella Tabella 13 dei F*ondamenti* e del *Manuale* si rinviene la nomenclatura delle azioni permanenti, adottata nel progetto, dove **PP** indica il peso proprio strutturale e **PN** il peso proprio degli elementi non strutturali, la cui definizione è riportata nel § 5.1 degli stessi documenti citati.

Nel § 2.4 dell'elaborato del **PD** "*Modello Globale IBDAS – Descrizione*" (PS0002), è descritto il modello di calcolo globale implementato per la definizione delle sollecitazioni sui vari componenti dell'opera e sono definite le proprietà dei materiali considerate nella progettazione.

In particolare, per la definizione del peso proprio delle membrature, per l'acciaio (strutturale, cavi, pendini) è stato assunto un peso specifico pari a 77 kN/m^3 mentre per il calcestruzzo è stato considerato un peso specifico pari a 25 kN/m^3.

Differentemente, nel progetto del viadotto Pantano e delle opere di collegamento, per l'acciaio è stato assunto un peso specifico pari a 78.5 kN/m^3.

Riguardo quanto sopra esposto, l'**Assemblea** osserva che:

- dall'analisi degli elaborati progettuali, risulta che il passaggio da densità a peso specifico dell'acciaio è stato effettuato utilizzando, per l'accelerazione di gravità "g", il valore di 9.81 m/sec^2, anziché il valore di 10 m/sec^2, sottinteso nelle **NTC 2008** (e nelle **NTC 2018**);
- analogo approccio di calcolo non è però stato adottato per il calcestruzzo armato per il quale è stato considerato un peso specifico pari a 25 kN/m^3;
- per il viadotto Pantano e per le opere di collegamento, il peso specifico dell'acciaio è stato assunto pari a 78.5 kN/m^3 e quello del calcestruzzo pari a 25 kN/m^3, come suggerito nelle norme tecniche precedentemente citate.

Le scelte sopra descritte producono disomogeneità progettuali.

Tutto ciò considerato, l'**Assemblea** prescrive di utilizzare, operando in **Fase B**, un approccio uniforme e coerente per la valutazione del peso proprio dei vari materiali strutturali utilizzati nel progetto.

6.2. Azioni variabili da traffico ferroviario

Per lo sviluppo del **PD** sono stati assunti quali riferimenti normativi le **NTC 2008**, le Specifiche Tecniche e le Circolari emesse da **RFI** alla data dello sviluppo del **PD** stesso e, relativamente all'**Opera**, i F*ondamenti*. In essi sono definite le azioni variabili da traffico ferroviario.

In particolare, nel capitolo "5.2 - Azioni variabili antropiche", le azioni variabili da traffico ferroviario sono suddivise nelle seguenti categorie:

- "*5.2.1 Azioni per il dimensionamento locale del sistema strutturale (resistenza e deformabilità di microlivello e mesolivello) (QL);*
- *5.2.2 Azioni per il dimensionamento globale del sistema strutturale e per le verifiche di funzionalità (resistenza e deformabilità di macrolivello) (QA e QR);*
- *5.2.3 Treni reali*".

Nelle premesse dei *Fondamenti* viene puntualizzato che "*Per quanto riguarda le azioni che cimentano il Ponte, la valutazione della resistenza degli elementi strutturali, la sicurezza dell'Opera e il comportamento nelle condizioni di esercizio, valgono le Norme di legge vigenti in Italia (vedi elenco alla sezione 12 "Riferimenti"), entro i campi di validità*

dalle stesse definiti. Al di fuori dei campi di validità delle Norme italiane, valgono le prescrizioni e le indicazioni contenute nel presente documento. Tali fondamenti sono prescrittivi per l'Opera di attraversamento e non per le altre opere ordinarie di completamento del collegamento stabile, viario e ferroviario, tra Sicilia e Calabria, le quali dovranno in ogni modo rispettare inderogabilmente le Normative italiane vigenti al momento dell'inizio delle attività per il Progetto Definitivo (1° aprile 2010), come da elenco alla sezione 12 citata.[2]"

Più in dettaglio, nel § 5.2.1 "*Azioni per il dimensionamento locale del sistema strutturale (resistenza e deformabilità di microlivello e mesolivello) (QL)*", per le azioni da traffico ferroviario, viene specificato che:
"*Gli elementi di impalcato corrente (trasverso, cassone ferroviario, cassoni stradali) ed i componenti secondari del sistema di sospensione (sistema dei pendini e gruppi di pendini) vanno dimensionati, in relazione ai carichi da impiegare, secondo quanto previsto dalle seguenti disposizioni normative:*

- *(...)*

- *Utenza ferroviaria: si dovrà fare riferimento al testo RFI DTC-ICI-PO SP INF 001 A del 12/10/09 [R10] "Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari – Istruzione per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo".*

Per ulteriori dettagli far riferimento a (...) "Criteri di progettazione: Carichi di traffico ferroviario QL", Doc. no .A09055-NOT-3-002 [B02]."

Dall'esame delle "*Azioni per il dimensionamento locale del sistema strutturale (resistenza e deformabilità di microlivello e mesolivello) (QL)*" emerge che queste sono le medesime contenute nelle **NTC 2008** e nelle circolari ed istruzioni ferroviarie vigenti all'epoca dello sviluppo del **PD**.

Nel § "*5.2.2 Azioni per il dimensionamento globale del sistema strutturale e per le verifiche di funzionalità (resistenza e deformabilità di macrolivello) (QA e QR)*" viene specificato che:
"*Con riferimento al livello globale si distinguono:*

- *azioni da considerare ai fini della valutazione della capacità portante del sistema di ritegno e sostegno, dei cavi principali, delle selle, del sistema dei pendini, dei pendini di tie dow e dell'impalcato in quei casi in cui il carico complessivo risulti essere dimensionante per il progetto (QA);*
- *azioni da considerare per la valutazione della risposta strutturale in termini di deformabilità ai fini della percorribilità (QR).*

A tal fine si introducono due insiemi di carichi da utenza da disporre comunque lungo l'asse del Ponte in modo da evidenziare la disposizione più sfavorevole ai fini della verifica prestazionale in corso e per il livello strutturale considerato.

Carico variabile addensato (QA)
Devono essere considerati:

- *per ciascuna delle due sedi ferroviarie due treni di carico, lunghi ciascuno 750 m e di intensità complessiva $\alpha \cdot q$ = 1,1 x 80 = 88 kN/m; la distanza tra i due convogli non sarà inferiore a 750 m; per quanto riguarda le forze di avviamento e frenatura da combinare con i carichi verticali, si considereranno i seguenti valori caratteristici, indicando con λ la lunghezza di binario determinata per ottenere l'effetto più gravoso:*
  - *avviamento: 33 [kN/m] * λ [m], fino ad un massimo di 1000 kN;*
  - *frenatura: 20 [kN/m] * λ [m] , fino ad un massimo di 6000 kN.*

[2] Nel citato capitolo 12 – Riferimenti – vengono elencata in specifici sottoparagrafi la "12.1 Legislazione italiana", "12.2 NORMATIVA ITALIANA VIGENTE IN MATERIA DI COSTRUZIONI", "12.3 ISTRUZIONI E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO CITATI IN MATERIA DI PONTI FERROVIARI ","12.4 Documenti fondativi", "12.5 Eurocodici" e "12.6 Altri codici e normative"

Deve essere altresì considerato lo scenario che prevede due treni in transito in versi opposti, eventualmente uno in fase di avviamento e l'altro in fase di frenatura.

Carico variabile rarefatto (QR)
Devono essere considerati:

- *per ciascuna delle due sedi ferroviarie, un treno di carico, lungo 750 m e di intensità complessiva $\alpha \cdot q = 1{,}1 \times 80 = 88$ kN/m; per quanto riguarda le forze di avviamento e frenatura da combinare con i carichi verticali, si considereranno i seguenti valori caratteristici, indicando con λ la lunghezza di binario determinata per ottenere l'effetto più gravoso:*
  - *avviamento: 33 [kN/m] * λ [m], fino ad un massimo di 1000 kN;*
  - *frenatura: 20 [kN/m] * λ [m], fino ad un massimo di 6000 kN.*

Deve essere altresì considerato lo scenario che prevede due treni in transito in versi opposti, eventualmente uno in fase di avviamento e l'altro in fase di frenatura".

Si rileva che questi due modelli di carico ferroviario devono essere considerati in associazione con i modelli di carico stradali, descritti nel medesimo § 5.2.2 e, conseguentemente, nelle combinazioni delle azioni indicate nei *Fondamenti*, per essi viene espresso un unico coefficiente di combinazione.

Per quanto attiene i modelli di carico ferroviario esplicitati nel **QA** e **QR,** sia come azioni verticali, sia come associate azioni longitudinali di avviamento/frenatura, si osserva che hanno una entità derivata dalle corrispondenti azioni del modello di carico LM71 definito nelle **NTC 2008** ed una lunghezza di applicazione (750 m) maggiore della massima lunghezza dei convogli ferroviari ammessi a circolare sulla rete ferroviaria (700 m).

Nei *Fondamenti* è altresì presente un paragrafo specifico per indicare i modelli di carico relativi ai treni reali da adottare per le verifiche di percorribilità. In particolare:
"*5.2.3 Treni reali*
Si devono eseguire analisi specifiche di percorribilità in condizioni dinamiche usando i sei treni reali rappresentativi dei treni circolanti sulla rete ferroviaria di RFI:

- *Treno RFI 1 (tipo AV con 18 t/asse);*
- *Treno RFI 2 (tipo AV Tilting con 14 t/asse);*
- *Treno RFI 3 (IC con loco 25 t/asse e rimorchiate con 18 t/asse);*
- *Treno RFI 4 (treno alta frequentazione a due piani con 20 t/asse);*
- *Treno RFI 5 (treno merci con loco 25 t/asse e vagoni con 25 t/asse);*
- *Treno RFI 6 (treno merci con vagoni scarichi con 1,25 t/asse e loco da 25 t/asse).*

Le caratteristiche dei già menzionati 6 treni reali sono definite nell'Allegato 2 con un sommario delle caratteristiche dinamiche.
In particolare, dovranno essere effettuate analisi utilizzando i sei treni reali RFI, tenendo in conto le caratteristiche dinamiche dei rotabili quali masse e relative distribuzioni spaziali, caratteristiche costruttive del rodiggio e caratteristiche costruttive di elasticità e di assorbimento viscoso delle sospensioni. Tali analisi consentiranno altresì di verificare il rispetto dei livelli attesi indicati nelle Tabelle 10 e 11."

Infine, quanto ai carichi ferroviari da utilizzarsi per le verifiche a fatica, sono trattati nel § 5.2.4.1, dove si legge:
"*Lo spettro standard per le combinazioni di traffico normale dato nella EN 1991-2 [E09] deve essere utilizzato per la valutazione di fatica da carico dei treni.*
Le velocità del treno che devono essere applicate per determinare i fattori dinamici devono essere le massime velocità di esercizio come dato nella EN1991-2 [E09] di Tabella 6-1.
Il numero di incroci tra treni deve essere calcolato in base all'ipotesi che il 12% dei passaggi dei treni su un binario include treni simultaneamente presenti su entrambi i binari".

Tipo di treno	*Numero di treni al giorno*	*Peso del treno [t]*	*Volume di traffico [10⁶ t/year]*
1	*12*	*663*	*2.90*
2	*12*	*530*	*2.32*
3	*5*	*940*	*1.72*
4	*5*	*510*	*0.93*
5	*7*	*2160*	*5.52*
6	*12*	*1431*	*6.27*
7	*8*	*1035*	*3.02*
8	*6*	*1035*	*2.27*
	67		*24.95*

Tabella 6-1.- *Spettro standard della EN 1991-2 – Combinazione di traffico normale con assi ≤225 kN (Tabella 13)*

Anche per queste azioni da traffico ferroviario deve osservarsi che hanno una entità derivata dalle corrispondenti azioni definite nelle Specifiche Tecniche e Circolari emesse da **RFI** alla data dello sviluppo del **PD** nonché nell'Eurocodice; pertanto, su questo argomento non si hanno considerazioni da esplicitare.

Nel § 3.3 della **RP** dal titolo "*c) Prescrizioni da sviluppare nel Progetto Esecutivo ai fini dell'adeguamento alle regole di progettazione specifiche di cui ai manuali di progettazione attualmente in uso, salve deroghe*", si analizzano le prescrizioni da sviluppare nel **PE** ai fini dell'adeguamento alle regole di progettazione specifiche di cui ai manuali di progettazione in uso presso **RFI** alla data di redazione della **RP**.

In particolare, il paragrafo è organizzato secondo le macro-discipline progettuali e identifica, a valle di una disamina per ambiti progettuali omogenei, i manuali in uso presso **RFI** suddividendoli per gruppi di specifiche di progettazione, individuando i seguenti:

- Manuale di Progettazione delle Opere Civili di **RFI** versione 2023, codice RFI DTC SI MA IFS 001 F del 30.12.2023, di seguito anche "MdP OOCC 2023";
- Specifiche Tecniche e Istruzioni **RFI** aggiornate rispetto alle versioni precedenti delle medesime, laddove già adottate nel **PD**.

Tenuto conto dell'approccio esplicitato nella **RP**, nonché del tempo trascorso dalla data di emissione della Relazione medesima alla data odierna, l'**Assemblea** ritiene che, operando in **Fase B** del **PE**, debba farsi riferimento a tutta la nuova normativa tecnica emessa in ambito nazionale ed europeo, nonché alla versione più aggiornata del Manuale di Progettazione delle Opere Civili di **RFI** e di tutte le Specifiche Tecniche e Istruzioni di **RFI**.

6.3. Azioni variabili da traffico stradale

Si analizzano le azioni dovuto al traffico stradale, con particolare riguardo agli effetti sull'**Opera** nel suo insieme.

La **RP** non tratta in maniera specifica e approfondita tale aspetto, a fronte dello spazio, nell'ambito del §3.1.3 "*Riesame* **NTC 2018**, *Capitolo 3 – AZIONI SULLE COSTRUZIONI*", riservato ad azioni ambientali, incendio ed azioni eccezionali.

Nell'ambito del § 3.1.5.1. "*Prescrizioni per il **PE** relative all'Opera di Attraversamento, **NTC 2018**, Capitolo 5 – PONTI*" si afferma che "*per quanto riguarda i modelli di carico da traffico stradale e ferroviario, non si rilevano variazioni sostanziali e pertanto rimane valido il quadro fornito dai Fondamenti progettuali che vede i carichi di Normativa applicati per effetti locali e lunghezze caricate fino a 300 m e modelli di carico specifici per il livello globale, senza limiti sulla lunghezza di applicazione del carico*".

Una descrizione dettagliata di tali carichi si trova nei *Fondamenti* e nel *Manuale*. In tale documento, al §5.2 "*Azioni variabili antropiche*", le azioni da traffico stradale sono organizzate in due categorie:

- 5.2.1 Azioni per il dimensionamento locale del sistema strutturale (resistenza e deformabilità di microlivello e mesolivello) (**QL**);
- 5.2.2 Azioni per il dimensionamento globale del sistema strutturale e per le verifiche di funzionalità (resistenza e deformabilità di macrolivello) (**QA** e **QR**).

Nel §5.2.1 "*Azioni per il dimensionamento locale del sistema strutturale (resistenza e deformabilità di microlivello e mesolivello) (**QL**)*" si afferma che per:
"*Utenza stradale: si dovrà fare riferimento alla Normativa italiana vigente, ed in particolare al D.M. 14.1.2008 (NTC 08) [S18]*".

Tali azioni sono sostanzialmente coerenti con quanto richiesto attualmente dalle **NTC 2018**.

Nel §5.2.2 "*Azioni per il dimensionamento globale del sistema strutturale e per le verifiche di funzionalità (resistenza e deformabilità di macrolivello) (QA e QR)*" si afferma che:
"*Con riferimento al livello globale si distinguono:*

- *azioni da considerare ai fini della valutazione della capacità portante del sistema di ritegno e sostegno, dei cavi principali, delle selle, del sistema dei pendini, dei pendini di tie down e dell'impalcato in quei casi in cui il carico complessivo risulti essere dimensionante per il progetto (QA);*
- *azioni da considerare per la valutazione della risposta strutturale in termini di deformabilità ai fini della percorribilità (QR) [..]*".

In particolare, per il Carico variabile addensato (**QA**), i carichi da traffico stradale previsti sono diversi, e generalmente inferiori, rispetto a quanto previsto dalle **NTC 2008** e **NTC 2018**. Nello specifico, nel documento è indicato quanto segue:
"*Devono essere considerati:*

- *per ciascuna delle due carreggiate stradali,*
  - *corsia più caricata: una stesa di carico ripartito con intensità pari a 15 kN/m;*
  - *per ciascuna delle altre due corsie: una stesa di carico ripartito con intensità pari a 5 kN/m.*

Le stese saranno disposte lungo gli assi delle corsie nel modo più sfavorevole, anche frazionate; per quanto riguarda le forze di frenatura, esse si assumeranno agenti nella direzione dell'asse della strada ed al livello della superficie stradale, con una intensità pari a 1/10 della relativa stesa di carico [..]".

Analogamente, per il carico variabile rarefatto (**QR**), è affermato che:
"*Devono essere considerati:*

- *per ciascuna delle due carreggiate stradali,*
  - *corsia più caricata: una stesa di carico ripartito con intensità pari a 3,75 kN/m;*
  - *per una seconda corsia: una stesa di carico ripartito con intensità pari a 1,25 kN/m.*

Le stese saranno disposte lungo gli assi delle corsie nel modo più sfavorevole, anche frazionate; per quanto riguarda le forze di frenatura, esse si assumeranno agenti nella direzione dell'asse della strada ed al livello della superficie stradale, con una intensità pari a 1/10 della relativa stesa di carico [..]".

Nell'ambito del presente parere, con nota di chiarimento **n. 12** alla **SdM**, è stato richiesto quanto segue:
"*Si chiede di giustificare la scelta di adottare, per il dimensionamento globale (QA), un carico da traffico stradale equivalente a 15kN/m per la corsia più caricata e di 5kN/m per le altre 2 corsie*".

Il riscontro a tale richiesta di chiarimenti afferma che:
"*Per il dimensionamento globale (QA) del Ponte sullo Stretto di Messina, i carichi del traffico stradale adottati — pari a 15 kN/m per la corsia più caricata e a 5 kN/m per le restanti corsie — non rappresentano una scelta arbitraria, ma derivano direttamente dalla documentazione contrattuale e dai Criteri di Progettazione (Design Basis) rilasciati da*

Stretto di Messina S.p.A. (rif. GCG.F.04.01, datato 2004, Documentazione di Gara). Questi valori sono stati stabiliti per rappresentare condizioni di traffico intenso che governano la risposta globale del sistema di sospensione (cavi principali, pendini, impalcato, torri e ancoraggi) e sono stati applicati in modo coerente in tutti i Criteri di Progettazione del progetto e nelle successive analisi. Un confronto con ponti sospesi internazionali a grande luce (ad es. il Ponte 1915 di Çanakkale) conferma che il livello di carico adottato è pienamente in linea con la pratica internazionale per ponti di luce e funzione comparabili, dove per la corsia più caricata si utilizzano carichi globali del traffico stradale nell'ordine di 12–15 kN/m; tuttavia, tali confronti vengono forniti esclusivamente come parametro di riferimento, mentre la giustificazione vincolante per Messina rimane l'atto contrattuale specifico del progetto (Design Basis), che prescrive esplicitamente i valori adottati per la verifica globale."

Alla luce di quanto esposto, l'**Assemblea** prescrive che, operando in **Fase B** del **PE**, il progettista dimostri l'adeguatezza dei modelli di carico stradali agli spettri di traffico.

6.4. Azione sismica

I temi relativi alle azioni sismiche di progetto sono definiti nei *Fondamenti* e nel *Manuale* ed ulteriormente dettagliati nelle *verifiche indipendenti di scenario della risposta sismica* (PB0026) e nella *relazione specialistica sulle torri* (PF0003). È ancora presente l'elaborato V*alutazione delle azioni sismiche transienti* (PBW0040), tuttavia non segnalato nell'elenco elaborati (GERW0000_revF_ponte).

Nella **RP** il tema "azione sismica" è trattato alle pagine 63-66 e 88-95. Il progettista analizza, per la parte dell'azione sismica, le modifiche al quadro normativo **NTC 2008** introdotte dalle **NTC 2018**, con particolare riferimento alle diverse categorie di terreni e alla "*progettazione per azioni sismiche delle strutture in elevazione*". Il progettista rileva che le modifiche, tenuto conto anche dei "*Fondamenti*", non hanno "*impatto significativo*". Nell'ultima pagina (223), il progettista, dopo aver elencato le prove sperimentali da condurre nell'ambito del **PE**, rimanda al documento GER0328 per il riscontro ai "*restanti commenti espressi dal CS, PMC, RINA*".

Le Prescrizioni e Raccomandazioni già formulate dal **CSLP** e da altri soggetti sono richiamate in Tabella 6-2, Tabella 6-3,Tabella 6-4, Tabella 6-5.

1 p. 156	*"Si chiede di sviluppare un'analisi della sensibilità degli effetti sull'opera al variare dei valori assunti per le accelerazioni sismiche di progetto. Inoltre, si sottolinea l'importanza di svolgere un ulteriore approfondimento degli studi tesi a chiarire l'assetto strutturale della zona, l'eventuale presenza di faglie attive e non sismo genetiche e la conseguente possibilità di movimenti differenziali posti anche a bassa frequenza"*
2 p.154	*"Si chiede di eseguire analisi strutturali anche sulla base del vecchio valore di PGA = 0.64 g ottenuto nello studio del 1985 e coerente con risultati di studi più recenti (GNDT, 97)"*
3 p.156	*"Per quanto concerne le caratteristiche del moto dovute a componenti di bassa frequenza (T> 3-5 s), si chiede di affiancare, alla simulazione numerica effettuata, studi sui contenuti in bassa frequenza registrati dalla nuova rete a largo spettro e dalle registrazioni dei più recenti accelerometri"*
4 p.156	*"Determinare l'eventuale effetto di amplificazione dei terreni di copertura del substrato"*

Tabella 6-2.- Prescrizioni/Raccomandazioni del **CSLP 1997**

14	*"Si raccomanda che nell'ambito degli sviluppi del Progetto Esecutivo vengano eseguite: Sviluppare ulteriori storie temporali di scuotimento sismico basate sui metodi che costituiscono lo stato dell'arte al momento dello sviluppo del Progetto Esecutivo per le analisi sismiche e per l'interazione suolo-struttura. Priorità 3"*

Tabella 6-3.- Raccomandazioni del **PMC**

pag. 57/107	*"La trave di collegamento tra le fondazioni delle gambe della torre deve essere progettata tenendo conto di eventuali variazioni a lungo termine delle pressioni di contatto col terreno dovute alla deformazione globale della fondazione. Gli effetti del carico di lunga durata devono venir considerati come un caso di carico a parte, da includere o meno nelle combinazioni dei carichi a seconda che dia un effetto*

	rispettivamente sfavorevole o migliorativo. È importante stabilire la sequenza relativa della realizzazione dei plinti e della trave di collegamento perché questa influenzerà sia i particolari delle paratie nella zona di giunzione tra la trave e il plinto, che i particolari dei giunti di ripresa. Se i due plinti vengono costruiti prima della trave di collegamento, occorre prestare particolare attenzione alla continuità delle barre di armatura tra trave e plinti, e alla protezione anti-corrosione delle interfacce tra trave e plinti. Se invece i plinti e la trave di collegamento vengono realizzati insieme, di pari passo per strati orizzontali occorre prestare attenzione alla stabilità dello scavo, essendo persa la continuità cilindrica delle paratie perimetrali di cinta, nonché prestare cura maggiore agli effetti termici, essendo la struttura di grande estensione planimetrica senza soluzione di continuità. Priorità 2. Eurolink clarification 2023: "Da incorporare nel PE""

Tabella 6-4.- Raccomandazioni del **CS 2011**

1CS	*"Utilizzare, per le azioni sismiche di progetto per l'Opera di Attraversamento, anche registrazioni accelerometriche di terremoti avvenuti nel mondo nelle ultime due decadi compatibili, per magnitudo e meccanismo di rottura della faglia, con le caratteristiche sismogenetiche dell'area dello Stretto"*
2CS	*"Effettuare analisi sismiche al passo dell'Opera di Attraversamento utilizzando anche storie temporali generate mediante opportuni modelli physics-based di ultima generazione per considerare il non-sincronismo del moto sismico, applicando coefficienti di combinazione unitari per le tre componenti del moto sismico"*
3CS	*"Completare i dati geo-sismotettonici e il quadro di riferimento, ampliando la relativa bibliografia, considerando, tra l'altro, anche il più recente modello europeo di pericolosità sismica (ESHM20)"*
27CS	*"Il Progetto Definitivo, in aggiunta alle inderogabili verifiche di sicurezza, deve quindi contenere uno studio per la determinazione dell'innesco, della propagazione e della successione dei meccanismi di crisi al variare dell'intensità sismica. Il risultato di questo studio deve fornire un quadro del comportamento fino a collasso della struttura e deve tendere ad evidenziare la gerarchia di formazione e la distribuzione dei meccanismi di crisi nella struttura distinguendo i meccanismi di crisi duttili da quelli fragili". Priorità 2. Eurolink clarification 2023: "L'analisi completa sarà eseguita durante il PE basato sulla versione finale del progetto."* *Parere CS-2023: Questo CS raccomanda che le analisi vengano svolte non solo a progetto completato ma in fase di redazione del progetto, così da poter adottare gli eventuali correttivi. Infatti, l'individuazione della gerarchia di formazione e la distribuzione dei meccanismi di crisi nella struttura al variare dell'intensità sismica va intesa anche in termini di robustezza strutturale, per assicurarsi che non si verifichino condizioni di collasso fragile"*
28CS	*"Data la notevole distanza tra i punti di contatto dell'Opera di Attraversamento con il terreno è ritenuto necessario tenere conto nelle analisi della variabilità spaziale del moto del terreno. A tali punti di contatto deve essere applicata l'eccitazione sismica (accelerazione o spostamento) che tenga conto dello sfasamento delle onde sismiche dovuto sia ai diversi tempi di propagazione che alle differenti condizioni geologiche".* *Priorità 2. Eurolink clarification 2023: "È stata effettuata una valutazione di questi effetti che sono risultati non significativi. Ulteriori approfondimenti saranno eseguiti nel corso del Progetto Esecutivo."* *Parere CS 2023: Questo CS concorda con le raccomandazioni del precedente CS. In particolare, si raccomanda la messa a punto e l'utilizzo di modelli physics based per determinare storie di spostamenti da applicare nei punti di contatto tra struttura e terreno posti a notevole distanza tra loro."*

Tabella 6-5.- Raccomandazioni del **CS 2023**

L'azione sismica è dimensionante per le torri e i blocchi d'ancoraggio. Come tale, è un tema rilevante per l'**Opera** di attraversamento e necessita, nella **Fase A** del **PE**, di approfondimenti e analisi di dettaglio tesi a confermare il dimensionamento dell'**Opera**, nel rispetto dei requisiti prestazionali stabiliti per i diversi Stati Limite.

Nei documenti del **PD** non si ritrovano informazioni sistematiche su:

1. domanda sismica di progetto:
   (1.1) criteri di definizione della domanda di progetto in direzione orizzontale e verticale, con particolare riferimento alle azioni near field;
   (1.2) relativi modelli di ricorrenza temporale alle diverse intensità.

2. variabilità spaziale del moto sismico in direzione orizzontale e verticale con particolare riferimento agli spostamenti e accelerazioni differenziali, orizzontali o verticali, tra i punti di contatto fondazione – terreno dovuti al sisma durante l'evento;
3. spostamenti permanenti, assoluti e differenziali, prodotti dal sisma.

Su questi aspetti sono state raccolte e analizzate le informazioni disponibili nella **RP**, nei documenti del **PD**, nei chiarimenti forniti da **CG** e **SdM** su 14 quesiti.

Rinviando al §. 5.5 per l'inquadramento generale, al **p.to 1** si osserva che:

- non sono note, anche alla luce delle recenti registrazioni del sisma dell'Italia centrale e di eventi near field (dipendenti da un sistema di faglie su cui appaiono necessarie ulteriori indagini), le probabilità di superamento degli spettri **SLU** e **SLIS** in direzione orizzontale e verticale;
- non appaiono chiariti i relativi modelli di distribuzione temporale, anch'essi parzialmente dipendenti da tali faglie.

Pertanto, risulta non definita l'affidabilità strutturale per **SLU** e **SLIS**.

Ulteriore aspetto non noto è la diminuzione di affidabilità strutturale per eventi near field di magnitudo minore e frequenza maggiore del sisma del 1908. Incidentalmente, si osserva che la convoluzione fornisce l'unica soluzione nota a problemi con operazioni lineari su variabili aleatorie con distribuzioni qualsiasi, cui appartengono i problemi di affidabilità e in particolare quelli di confronto pericolosità - fragilità, come peraltro noto agli esperti della materia sin dai lavori di Laplace del XIX secolo.

Relativamente ai modelli di pericolosità sismica documentati in PBW0040 e nelle risposte ai chiarimenti, si osserva che essi possono quantificare la pericolosità sismica di base ma non gli effetti near field, peraltro dipendenti da un sistema di faglie **sul quale è necessario condurre ulteriori indagini, a valle delle quali andrà rivalutata l'azione sismica di progetto**.

Nell'unico modello che individua esplicitamente le faglie (ESHM20), per la ITIS013 (ovvero quella del sisma del 1908) sono indicate notevoli ed irrisolte incertezze, quali la geometria, lo slip rate, il rapporto con il sistema di faglie nella piana di Gioia Tauro. Peraltro, il carattere di sismicità diffusa ed indicatività dei risultati di tali modelli nel contesto in esame è esplicitamente:

- riconosciuto negli elaborati del **PD** (p. 33 PBW0040: *Il modello di sorgente implementato nel presente studio fa riferimento ai due rami principali composti da zone sismogenetiche e faglie attive e sismicità di fondo. Tale modello è costruito per fornire risultati che approssimano sufficientemente quelli che rappresentano la media dell'intera implementazione dell'albero logico*);
- evidenziato nell'allegato A.2 alla bozza dell'Eurocodice 8, laddove si nota che le mappe ESHM20 *are considered by CEN as an acceptable representation of the seismic hazard in Europe for the return period of 475 years. CEN does not pass judgement on other results obtained in the context of their development*;
- evidenziato dalle ipotesi dei modelli e dalle mappe di pericolosità.

Relativamente alla domanda del sisma del 1908 si osserva che il dibattito scientifico testimonia la non completa univocità nella definizione della sorgente sismogenetica in termini di geometria della faglia, meccanismo di rottura, distribuzione dello scorrimento, direzione di propagazione, caratteristiche tali da influenzare (nel near field) la direttività, gli impulsi a periodo alto, l'amplificazione locale.

Si osserva ancora che, atteso il comportamento sostanzialmente elastico sotto il sisma **SLU**, appare più indicato un valore di smorzamento minore del 5% adottato nelle analisi, anche in coerenza con i valori per costruzioni di importanza paragonabile (cfr. p.e. Nureg 1.61 2023).

A conferma di quanto osservato al **p.to 2**, si segnala che, nel **PD**, non sono stati esaminati i seguenti aspetti:

- terremoti di magnitudo Mw 7 sono generati da rottura di una faglia finita di alcune decine di chilometri;
- nelle aree prossime alla faglia è presente una marcata variabilità spaziale (in orizzontale e verticale) dei segnali;
- sono presenti diverse faglie prossime all'opera, con geometria e pericolosità non completamente definite (cfr. cap. modello geologico e sismotettonico);
- sui tamburi di ciascuna fondazione appare ragionevole ipotizzare differenze di segnale in accelerazione e spostamento di interesse progettuale, anche sulla scorta delle recenti conferme sperimentali (p.e. rete di Argostoli) dei modelli e parametri di letteratura;
- le strutture delle fondazioni e gambe/traversi di ciascuna torre appaiono sensibili a moti differenziali.

Per quanto affermato al **p.to 3** si rinvia al precedente §. 5.5.

Si osserva che alcuni degli aspetti richiamati dai **p.ti 1÷3** sopra riportati sono richiamati nelle prescrizioni/raccomandazioni del **CSLP** (1997), **PMC**, **CS 2023**. Le presenti osservazioni sono in continuità con le precedenti.

In sintesi, si considera che:

- **l'azione sismica è dimensionante per le torri e i blocchi d'ancoraggio;**
- registrazioni relative all'evento del Centro Italia 2016 (Mw = 6.6), caratterizzato da magnitudo inferiore a quella esprimibile dal sistema delle faglie dello Stretto (Mw > 7.1), hanno mostrato ordinate spettrali superiori a quelle di progetto, sia allo **SLU** sia allo **SLIS**, in intervalli di periodi significativi per l'opera, in particolare per le torri e i blocchi di ancoraggio;
- lo spettro di progetto **SLU** appare coerente con lo spettro frattile 0.5 - 0.6 di eventi near field;
- lo spettro di progetto **SLIS** è coerente con lo spettro medio del terremoto del 1908 in condizioni near field, stimate dall'**INGV** (sezione "shakemaps") in base a dati macrosismici, ed è quindi inferiore ai frattili superiori;
- la definizione della sorgente sismogenetica del terremoto del 1908 è affetta da incertezze;
- non è stata, né menzionata, né valutata, l'affidabilità della struttura con riferimento ai suoi Stati Limite ed al suo comportamento post - elastico;
- le strutture di fondazione sono costituite da tamburi indipendenti, ad interasse di circa 80 m, collegate da un tozzo elemento scatolare in c.a.p.;
- non sono documentate verifiche delle strutture di fondazione delle torri e delle strutture delle torri/traversi, tenendo conto della variabilità spaziale del moto in alcuna delle direzioni spaziali;
- nella sequenza dell'Appennino centrale del 2016 sono documentate deformazioni differenziali significative.

L'Assemblea, tenendo conto del supplemento di indagini richiesto al Capitolo 4, prescrive, nella Fase A del PE, quanto segue:

- approfondire e, se del caso, aggiornare la domanda di progetto in direzione orizzontale e verticale (sui diversi periodi di interesse, anche bassi – T<0.5 s – cui sono sensibili alcune sottostrutture) tenendo conto di:
  - eventi near field, anche con riferimento ai fenomeni di direttività, alla possibile generazione di impulsi a lungo periodo, ai diversi modelli di sorgente proposti in letteratura (aspetti trattati nel **Capitolo 4**), anche con modelli regionalizzati e non ergodici e simulazioni deterministiche in grado di rappresentare esplicitamente gli effetti di sorgente e la variabilità spaziale dello scuotimento.
  - Incertezze associate alla definizione della sorgente sismica del terremoto del 1908.
  - Domanda di progetto di altri ponti sospesi internazionali realizzati in contesti ad elevata sismicità, p.e. Dardanelli – Çanakkale, Osmangazi.
  - Eventi con intensità minore di quella di progetto e frequenza maggiore, poiché tali eventi, nel caso specifico di faglie poste a breve distanza, possono fornire incremento significativo della probabilità di superamento annua, da parte della struttura, degli **SLU** e **SLIS**.

- Inserimento della domanda in contesto affidabilistico ("perfomance based earthquake engineering").
- Simulazioni "physics – based" e di propagazione del segnale tramite deconvoluzione/convoluzione.
- Valori di smorzamento minori dal 5% adottato.

- Approfondire e, se del caso, aggiornare la domanda di progetto tenendo conto della variabilità spaziale del moto in termini di accelerazioni o spostamenti, in direzione orizzontale e verticale, anche a mezzo di simulazioni physics-based tenendo conto di:
  - risposta durante il sisma nei punti di contatto terreno – fondazioni.
  - risposta free – field durante il sisma, da confrontare con i risultati sperimentali free - field disponibili.
  - effetti permanenti successivi al sisma, anche differenziali, alla luce delle osservazioni geodetiche e satellitari oggi disponibili.
- Per le analisi di scenario fare riferimento ad eventi delle ultime due decadi, simili per magnitudo, distanza epicentrale e maccanismo di rottura della faglia, giustificando opportunamente l'eventuale non coerenza dello spettro **SLIS** con quelli relativi alle registrazioni considerate.
- Rendere disponibile rete accelerometrica, ad integrazione degli strumenti presenti, in corrispondenza delle fondazioni delle opere in progetto.
- Definire le affidabilità obiettivo della progettazione, in termini di probabilità di superamento, da parte della struttura, degli stati limite in assegnati intervalli temporali; verificare la rispondenza dei dimensionamenti alle affidabilità obiettivo e, se del caso, modificare i dimensionamenti.

6.5. Azione del vento

6.5.1. Combinazioni adottate nelle verifiche allo SLIS

Si analizza la contemporaneità, nella combinazione **SLIS** (Stato Limite di Integrità Strutturale), dell'azione del vento con il carico variabile rarefatto (**QR**) e, in generale, situazioni di concomitanza di vento e traffico.

L'argomento è in parte presente nel punto 30CS della appendice alla relazione del **CS 2023**, riportato in Tabella 6-6.

30CS (2011)	*"Per quanto riguarda la Stabilità aeroelastica, il Progetto Preliminare definisce i requisiti ai quali deve rispondere il complesso di sperimentazioni da condurre nell'ambito del Progetto Definitivo, richiamando la necessità di considerare, nelle prove in Galleria del Vento, e specificamente nelle prove su modello sezionale, sia configurazioni di traffico stradale e ferroviario presente in ogni corsia e binario, (mettendo in conto le possibili diverse combinazioni di traffico) sia eventuali specifici provvedimenti da mettere in atto al fine di assicurare la stabilità dell'impalcato, delle torri e del sistema di sospensione durante la fase di costruzione"*

Tabella 6-6 - Raccomandazioni del **CS 2011** (reiterate dal **CS 2023**) in merito alla stabilità aeroelastica

Nella risposta del **CG** si osserva:
"Priorità 3, Eurolink clarification 2023: Le prove di stabilità aerodinamica effettuate in condizioni di flusso laminare e turbolento includeranno condizioni con presenza di traffico come da CGC.F.05.03. Quanto alla scala del modello, questa sarà scelta compatibilmente con le possibilità delle strutture disponibili. Si sottolinea che la specifica CGC.F.05.03 prevede modelli in scale comprese tra 1:40 e 1:80. Scale differenti verranno eventualmente valutate."

A conclusione, il **CS** indica, analogamente alle raccomandazioni espresse in punti precedenti, che *"in sede di PE sarà opportuno investigare dettagliatamente a tal proposito".*

Nella fase istruttoria del parere, sul punto in esame si è ritenuto di formulare a **SdM** una specifica richiesta di chiarimento, riportata nel seguito:
"Nella combinazione SLIS, oltre all'azione del vento, è sempre prevista la concomitante presenza del carico variabile rarefatto (QR). Perché non è stata considerata anche la situazione di solo vento, tanto più che alla velocità media del

vento corrispondente allo SLIS (60 m/s) non è previsto il transito dei veicoli? Inoltre, è stata prevista la misurazione in galleria del vento di un set di dati completo per la quantificazione delle azioni aerodinamiche e aeroelastiche in presenza dei possibili scenari di traffico?".

Nel riscontro fornito al quesito, in data 09.06.2026 **SdM** ha indicato che:
"Nel Progetto Definitivo, la combinazione SILS per il vento che include il QR (Carico da Traffico Rarefatto) è adottata perché esplicitamente prescritta dalla Design Basis (GCG. F.04.01 e PG0025_F0), che tratta SILS in modo analogo a una condizione di servizio di tipo accidentale/sismico.
Di conseguenza, l'azione guida (piena azione del vento) deve essere combinata con valori quasi-permanenti di altre azioni variabili. L'inclusione di QR riflette quindi un requisito normativo di robustezza, non un'assunzione che il normale funzionamento del traffico avvenga a velocità del vento SILS.
Una combinazione SILS solo eolica non è quindi richiesta dalla Base di Progettazione e non sarebbe dimensionante per la progettazione strutturale, poiché la sola risposta strutturale al vento è ricompresa nella combinazione prescritta vento+QR.
(…) la presenza di traffico rarefatto ha un'influenza minore sul comportamento aerodinamico e aeroelastico globale rispetto agli effetti governanti della velocità del vento, delle caratteristiche di turbolenza, della geometria del ponte e della rigidità del sistema. Questo conferma ulteriormente che la verifica SILS rimane dominata dal vento, con QR incluso per la robustezza e la conformità al codice piuttosto che perché possa modificare significativamente la risposta del vento (…) In termini aerodinamici, le caratteristiche aerodinamiche dell'impalcato variano poco nelle due configurazioni di assenza o presenza di traffico, proprio grazie alla presenza di importanti barriere frangivento".

Inoltre, viene segnalato che:
"In termini di azioni agenti sull'impalcato, la combinazione SLIS, come prevista nei Fondamenti Progettuali (rif.doc.PG0024), considera anche la presenza del carico variabile rarefatto (QR) sull'impalcato, ma con intensità dell'azione determinata da fattori moltiplicativi pari rispettivamente a 0,20 per il carico stradale e 0,30 per quello ferroviario (rif.doc.PG0024 e PG0025)."

L'**Assemblea**, anche alla luce dei chiarimenti ricevuti, rileva che:

- sebbene le variazioni possano essere contenute, proprio perché la verifica è relativa alla robustezza dell'opera, è necessario che le verifiche allo **SLIS** siano effettuate nella duplice situazione di presenza e assenza del traffico nella configurazione **QR**; di conseguenza, è necessario che la quantificazione delle azioni aerodinamiche e aeroelastiche venga effettuata sulla base delle prove in galleria del vento (e, se del caso, simulazioni **CFD**) che tengano conto sia della presenza che dell'assenza dei veicoli negli scenari di traffico individuati. È opportuno notare che (anche se probabilmente questo avviene soltanto in piccola parte, data la presenza delle barriere di protezione) la presenza o meno del traffico stradale e ferroviario modifica le azioni aerodinamiche e il comportamento aeroelastico, e di conseguenza le sollecitazioni in base alle quali deve essere garantita *"la sopravvivenza dei seguenti componenti primari del sistema strutturale principale: sistema di ritegno e sostegno, cavi principali e selle"* (citazione presente sia nei *Fondamenti* che nel *Manuale*);
- le riduzioni arbitrarie del carico stradale (al 20%) e ferroviario (al 30%) applicate nel documento Eurolink/COWI non sono allineate con la Tabella 25 dei Fondamenti, la quale impone il calcolo del carico variabile rarefatto **QR** per intero.

Considerato che la presenza o l'assenza fisica dei veicoli può alterare il profilo aerodinamico e il comportamento aeroelastico dell'impalcato sotto l'azione di venti estremi l'**Assemblea** prescrive, nell'ambito della **Fase A** del **PE**, che le verifiche allo **SLIS** siano condotte nella duplice configurazione limite:

- 1) Al 100% del carico (presenza integrale del traffico **QR**, senza le riduzioni proposte da Eurolink);
- 2) Allo 0% del carico (totale assenza di veicoli sull'impalcato, per valutare lo scenario di puro vento estremo).

6.5.2. Progettazione aerodinamica ad alti numeri di Reynolds

Come noto, la discrepanza tra i numeri di Reynolds raggiungibili durante le prove sperimentali in galleria del vento e quelli attesi a scala reale può avere un ruolo molto importante in presenza di superfici arrotondate e barriere porose, come nel caso dell'impalcato dell'**Opera** o dei cavi del sistema di sospensione. L'importanza di realizzare prove sperimentali in galleria del vento su impalcato, torri e cavi a numeri di Reynolds pari a quelli attesi al vero o quanto più vicini possibile a essi è stata sollevata dalle relazioni del **CS 2011**, del **CS 2023**, nonché dal parere dell'**EP 2023**.

Il tema è stato trattato nella **RP** a pagina 214, in risposta alla raccomandazione 2CS del **CS 2011**, affermando:
"*Non è tecnicamente possibile effettuare una prova in galleria del vento di un modello in scala dell'impalcato che al contempo contempli l'effettivo numero di Reynolds. Saranno eseguite prove su modelli in scala portando il numero di Reynolds al valore più alto possibile compatibilmente con i laboratori disponibili. Per maggiori dettagli si veda il §3.6.2.1.*"

Nel § 3.6.2 il progettista illustra il piano delle prove sperimentali in galleria del vento da eseguire durante il **PE**. In particolare, si delinea la possibilità di svolgere prove presso l'impianto dell'NRC in Canada su modello sezionale dell'impalcato nella sua configurazione finale in scala 1:30, raggiungendo numeri di Reynolds fino a circa $7{\cdot}10^6$. Tali prove consentiranno di determinare i coefficienti aerodinamici statici per direzioni di vento normali all'asse dell'impalcato, di valutare la stabilità aerodinamica di un modello sospeso elasticamente e di misurare le vibrazioni indotte dal distacco dei vortici, sempre su modello sospeso elasticamente.

Viceversa, si afferma che l'ammettenza aerodinamica e i coefficienti di carico per direzioni di vento non normali all'asse dell'impalcato (e, si deduce, anche le derivate aeroelastiche o derivate di flutter) saranno definiti sulla base dei risultati disponibili ottenuti dalle prove svolte su modelli sezionali in scala 1:80 al Force Technology (Danimarca) nell'ambito del **PD**.

In alternativa, il progettista definisce la possibilità di sviluppare il programma completo di prove richieste dal GCG.F.05.03 presso la galleria del vento del Politecnico di Milano, su modelli in scala massima 1:45, con numeri di Reynolds fino a $4{\cdot}10^6$.

Per la coppia di cavi principali si propongono prove aeroelastiche su modello sezione elasticamente sospeso e numeri di Reynolds analoghi a quelli della galleria del vento ad aria compressa del DLR di Göttingen, in Germania.

Per i pendini, si pensa a prove a scala reale di un unico pendino e "*a scala adeguata*" della coppia di pendini.

Infine, per le torri si propone un set di prove sperimentali nella galleria del vento del **BLWTL** in Canada utilizzando lo stesso modello del 2010 per valutare le vibrazioni dovute al distacco di vortici con e senza modelli dei dispositivi di smorzamento che verranno progettati, considerando non solo condizioni libere e vincolate in testa alla torre ma anche condizioni intermedie per simulare le fasi costruttive maggiormente critiche. Come possibile alternativa, il progettista suggerisce la possibilità di svolgere prove a scala geometrica maggiore presso il Politecnico di Milano.

Le Raccomandazioni inerenti i temi evidenziati formulate dal **CS 2011** e dal **CS 2023**, sono richiamate in Tabella 6 7 e Tabella 6 8.

CS 4a (2011)	*L'esecuzione di prove sperimentali per simulare con un modello in scala adeguata il comportamento dell'impalcato del Ponte all'effettivo numero di Reynolds e per verificare la convergenza dei dati ad oggi rilevati sperimentalmente, con particolare attenzione alla sensibilità del comportamento aerodinamico in funzione della presenza del traffico e della geometria delle barriere frangivento*
3CS 4e (2011)	*Si segnalano in particolare le seguenti raccomandazioni: sviluppare lo studio, anche con nuove prove in galleria, simulando l'effettivo numero di Reynolds, del comportamento aerodinamico delle torri per le quali appare necessaria l'applicazione di sistemi di dissipatori di elevate prestazioni, capaci di dare luogo ad un elevato smorzamento tanto in fase di costruzione che di esercizio*

Tabella 6-7.- Raccomandazioni del **CS 2011** (reiterate dal **CS 2023**)

62	*Investigare opportunamente la natura vorticosa dell'interazione fluido/struttura ai fini della verifica aerodinamica e/o aeroelastica del Ponte, valutando gli effetti della variazione del numero di Reynolds fino al raggiungimento del massimo valore consentito dalla strategia di prova prescelta in presenza di tutti i dettagli geometrici essenziali*

Tabella 6-8.- Raccomandazioni del **CS 2023**

L'**Assemblea** condivide la necessità di valutare gli effetti della variazione del numero di Reynolds spingendo le prove fino ai valori più alti possibili di tale parametro. In particolare, per quanto riguarda l'impalcato, si raccomanda grande attenzione nella modellazione degli schermi frangivento e delle altre superfici porose.

Nel complesso, il piano delle future prove sperimentali proposto dal progettista è sostanzialmente condivisibile, sebbene alcuni dettagli non siano del tutto chiari. I risultati delle prove su modello sezione dell'impalcato e sulla coppia di cavi potrebbero essere molto impattanti sulla progettazione dell'**Opera** e devono quindi essere svolti in **Fase A** del **PE**.

Nel caso dell'impalcato, i risultati delle prove del **PD** in scala 1:80 potrebbero essere utilizzati solo se le nuove prove a numeri di Reynolds più alti confermassero a pieno i risultati ottenuti a scala più piccola.

In ogni modo, le funzioni di ammettenza misurate al FORCE Technology, in Danimarca, sembrano essere affette da incertezza significativa (documento PB0034_F0, sezione 4.4) e devono essere ripetute. Qualora le prove ai massimi numeri di Reynolds possibili fossero solo parziali, in aggiunta a queste, come delineato nella **RP**, si prescrive di ripetere comunque un altro set completo di prove sperimentali sulla versione finale dell'impalcato ad alti numeri di Reynolds, anche se leggermente inferiori a quelli raggiungibili, per esempio, nel laboratorio dell'NRC in Canada.

Le prove sulle torri e i pendini, invece, necessarie soprattutto a validare e affinare i dispositivi di smorzamento già individuati come assolutamente indispensabili, potranno anche essere realizzate nella **Fase B** del **PE**. Per le torri si raccomanda comunque di spingere l'analisi aerodinamica a numeri di Reynolds i più alti possibile, tramite ulteriori prove su modello sezionale delle gambe della struttura.

L'utilizzo della turbolenza incidente e della rugosità superficiale per esplorare l'eventuale sensibilità nei confronti di ulteriori incrementi del numero di Reynolds è una possibile strada speculativa, ma deve essere percorsa con estrema cautela nella lettura dei risultati (specie se favorevoli per le verifiche di sicurezza). Infatti, la turbolenza incidente, soprattutto quella di grande scala, comporta anche altri effetti aerodinamici oltre a un potenziale incremento del numero di Reynolds apparente. La rugosità superficiale, invece, alla stregua di un incremento del numero di Reynolds, anticipa la transizione laminare-turbolento negli strati limite di parete, ma notoriamente può facilmente portare a regimi aerodinamici diversi da quelli di profili con superfici lisce ad alti numeri di Reynolds.

Il possibile uso sinergico della sperimentazione in galleria del vento e di simulazioni di fluidodinamica computazionale, opportunamente validate, è senz'altro raccomandato.

6.5.3. Vibrazioni indotte dal distacco di vortici

Il distacco di vortici da elementi strutturali snelli, quali l'impalcato, le torri e i cavi dell'**Opera**, può indurre fenomeni di risonanza non lineare rispetto ai modi di vibrare della struttura. Le oscillazioni meccaniche che ne derivano risultano tanto maggiori quanto minori sono le capacità dissipative della struttura, sintetizzate da un parametro adimensionale di massa-smorzamento noto come numero di Scruton.

L'ampiezza di oscillazione delle vibrazioni cresce significativamente al diminuire dello smorzamento e della massa; il fenomeno è per sua natura autolimitato in ampiezza e quindi di solito non presenta un carattere catastrofico. Tuttavia, per l'impalcato di un ponte sospeso come quello in esame, le vibrazioni possono innescarsi a velocità del vento anche molto basse e coinvolgere modi diversi, a seconda della velocità media del flusso.

Ne consegue che il fenomeno deve essere ben attenzionato perché può compromettere la funzionalità dell'opera e creare problemi di fatica. Inoltre, una delle misure classiche per la mitigazione delle vibrazioni indotte dal distacco di vortici, ovvero l'uso di smorzatori, è di difficile implementazione nel caso dell'impalcato di un ponte sospeso, data la geometria di quest'ultimo e, soprattutto, per il fatto che i modi di vibrare coinvolti possono essere molti (sebbene eccitati uno alla volta, a seconda della velocità del vento), mentre è maggiormente percorribile nel caso delle torri.

Il tema è trattato nella **RP** a pagina 216 (§ 3.6.2.1.3), mostrando l'intenzione di effettuare prove ad alti numeri di Reynolds su modello sezionale dell'impalcato, anche per approfondire la problematica delle vibrazioni indotte dal distacco di vortici, necessità evidenziata anche dal Prof. Diana (**EP**) a pagina 8 della Relazione dell'8.01.2024 (§ 3.6.2.1.3) e dalla **RP** a pag. 218 (§ 3.6.2.4.2), quanto alle prove da effettuarsi sulle torri.

Il tema, pur in termini molto generali, è trattato anche nelle Raccomandazioni di **CS 2011** e del **CS 2023** (v. Tabella 6-9 e Tabella 6-10**).**

31CS	*Per quanto riguarda il distacco di vortici dalle Torri, nell'ambito del Progetto Definitivo devono essere sperimentati modelli aeroelastici in scala (sia per torre libera e vincolata) per i quali il Progetto Preliminare definisce le caratteristiche geometriche, i criteri di soddisfacimento della legge di similitudine, i limiti del numero di Scruton, i criteri per ritenere soddisfacenti i risultati della sperimentazione*

Tabella 6-9 Raccomandazioni del **CS 2011** (reiterate dal **CS 2023**)

62	*Investigare opportunamente la natura vorticosa dell'interazione fluido/struttura ai fini della verifica aerodinamica e/o aeroelastica del Ponte, valutando gli effetti della variazione del numero di Reynolds fino al raggiungimento del massimo valore consentito dalla strategia di prova prescelta in presenza di tutti i dettagli geometrici essenziali*

Tabella 6-10- Raccomandazioni del **CS 2023**

L'**Assemblea** concorda con l'intenzione del progettista di approfondire, con prove sperimentali ad alti numeri di Reynolds, la questione delle vibrazioni indotte nell'impalcato dal distacco di vortici. Dovrà, comunque, essere valutata con attenzione la sensibilità delle vibrazioni indotte dal distacco di vortici nei confronti della modellazione e della conformazione delle barriere frangivento, considerando anche modelli rappresentativi di traffico. Le ampiezze di vibrazione al variare dello smorzamento strutturale (e quindi del cosiddetto numero di Scruton) dovranno anche essere determinate per piccoli angoli di incidenza del vento e non solo per un flusso perfettamente orizzontale.

Per quanto riguarda la verifica di soddisfacimento delle prestazioni richieste da **SdM**, si dovrà considerare un valore ragionevolmente conservativo dello smorzamento strutturale. A tal proposito, si deve notare che il valore di 0.3% utilizzato nel documento PB0034_F0 risulta di poco superiore a quanto suggerito dall'Eurocodice 1 parte 1-4. **Viceversa, appare non sufficientemente conservativo il valore di 0.5% definito come specifica aerodinamica nell'ICD Summary Report (documento PMCNWY P IC D P 00 00 00 00 00 00 01 A del 19/5/2011, sezione 5.3, pagina 14).**

Una particolare cautela è anche dettata dal fatto che, mentre i cavi di sospensione singoli portano a un leggero incremento dello smorzamento della struttura per vibrazioni trasversali verticali e torsionali, quelli doppi accoppiati possono invece portare a piccole riduzioni dello smorzamento del sistema oscillante (tali riduzioni dello smorzamento sono di ridotta entità e presumibilmente quasi trascurabili nel quadro delle vibrazioni indotte dal distacco di vortici ma non necessariamente per la stima dello smorzamento residuo relativo ai modi di vibrare suscettibili di dare luogo ad un'instabilità aeroelastica ad alte velocità del vento).

Si prescrive di verificare, in Fase B del PE, la possibile problematica del distacco di vortici anche in fase di costruzione del ponte.

6.5.4. Analisi di stabilità dell'impalcato

Per un ponte sospeso di grande luce la stabilità nei confronti del fenomeno del flutter costituisce un aspetto centrale nella progettazione; in maniera particolare, data l'eccezionalità in termini di luce e frequenze dei modi di vibrare, questo è vero per l'**Opera**, al cui impalcato sono richieste altissime prestazioni aerodinamiche. Il problema è reso ancora più delicato dal dover proteggere adeguatamente il traffico con schermi frangivento, che in molti casi tendono a peggiorare il comportamento nei confronti del flutter, e dal dover garantire la stabilità fino a velocità del vento elevate (54 m/s) in presenza di traffico, che tende ad avere un impatto negativo sulla prestazione aerodinamica dell'impalcato.

La turbolenza atmosferica produce grandi variazioni aleatorie dell'angolo di attacco, con una vasta gamma di scale spazio-temporali. È noto che le fluttuazioni turbolente di grande scala possono produrre importanti effetti non lineari di natura aerodinamica sulla risposta dinamica della struttura, e, in alcuni casi, sono in grado di alterare sensibilmente anche la stabilità al flutter. Nello specifico, alle variazioni lente dell'angolo d'attacco corrispondono variazioni, anche importanti, dei coefficienti aerodinamici dell'impalcato (coefficienti statici di forza e momento, derivate aeroelastiche non stazionarie, funzioni di ammettenza aerodinamica), che non vengono tenute in conto utilizzando un calcolo lineare.

La questione della stabilità dell'impalcato nei confronti del flutter, in condizioni di vento turbolento, nella **RP** è affrontata in maniera indiretta, al punto c) della sezione 3.6.1 (pagina 214), dove si parla di analisi di stabilità aerodinamica in funzione dell'angolo di attacco. A tale proposito, e in riferimento alle differenze nei risultati ottenuti dal **CG** e dal **PMC**, la **RP** risponde che le analisi possono essere approfondite, ma che ci si aspetta una ancor maggiore dispersione dei risultati qualora venissero fatte ulteriori prove sperimentali in altri laboratori.

Comunque, nelle osservazioni del 2023 del **CG** si legge:
"*Si propone di svolgere rielaborazioni e un riesame critico dei risultati già ottenuti, anche in relazione alla replica al punto a) (modelli alti numeri di Reynolds)*".

Il **CS 2023** osserva che:
"*Nella revisione è stata presa in considerazione la valutazione critica dei risultati numerico/sperimentali relativi alla stabilità dell'impalcato. In sede di PE sarà opportuno investigare dettagliatamente a tal proposito*".

e prende atto:
"*(…) che nel corso del PE, oltre alla revisione critica dei dati ottenuti, sono previste prove WT con più valori dell'angolo di attacco del vento*".

Le Raccomandazioni inerenti i temi evidenziati formulate dal **CS 2011** e dal **CS 2023** sono richiamate in Tabella 6-11 e Tabella 6-12.

2CS 4c (2011)	*approfondire le analisi sperimentali e le rielaborazioni numeriche relative alla stabilità dell'impalcato al variare dell'angolo di attacco del vento, viste anche le differenze fra i risultati delle prove effettuate dal Contraente Generale e dal PMC*
30CS (2011)	*Per quanto riguarda la Stabilità aeroelastica, il Progetto Preliminare definisce i requisiti ai quali deve rispondere il complesso di sperimentazioni da condurre nell'ambito del Progetto Definitivo, richiamando la necessità di considerare, nelle prove in Galleria del Vento, e specificamente nelle prove su modello sezionale, sia configurazioni di traffico stradale e ferroviario presente in ogni corsia e binario, (mettendo in conto le possibili diverse combinazioni di traffico) sia eventuali specifici provvedimenti da mettere in atto al fine di assicurare la stabilità dell'impalcato, delle torri e del sistema di sospensione durante la fase di costruzione*

Tabella 6-11- Raccomandazioni del **CS 2011** (reiterate da **CS 2023**)

62	*Investigare opportunamente la natura vorticosa dell'interazione fluido/struttura ai fini della verifica aerodinamica e/o aeroelastica del Ponte, valutando gli effetti della variazione del numero di Reynolds fino*

	al raggiungimento del massimo valore consentito dalla strategia di prova prescelta in presenza di tutti i dettagli geometrici essenziali

Tabella 6-12- Raccomandazioni del **CS 2023**

Nel **PD**, l'effetto non lineare della turbolenza sulla stabilità dell'impalcato è, indirettamente e parzialmente, preso in conto considerando non solo un angolo di incidenza nullo, ma anche la stabilità di flutter con incidenze di +4° e -4°. Analisi di stabilità in galleria del vento sul **modello sezionale dell'impalcato** in condizioni di flusso turbolento non risolvono la questione perché la turbolenza riprodotta in galleria del vento non è mai correttamente scalata rispetto alla geometria del **modello sezionale dell'impalcato** e questo può comportare una sottostima importante di tale effetto non lineare, oltre alla sovrastima di altri effetti di natura aerodinamica legati alle piccole scale di turbolenza.

La disponibilità del **CG** ad una revisione critica dei risultati precedentemente ottenuti e a effettuare nuove prove in galleria del vento con più valori dell'angolo di attacco è opportuna. Tuttavia, per quanto detto in precedenza, è necessario valutare, per via numerica e/o sperimentale, la significatività degli effetti non lineari della turbolenza, evidenziando potenziali riduzioni della stabilità al flutter e valutando con estrema attenzione l'impatto della probabile sottostima in galleria del vento delle scale integrali della turbolenza.

In letteratura sono disponibili diversi modelli matematici non lineari che potrebbero essere utilizzati a questo scopo, in stretta sinergia con le prove sperimentali in galleria del vento. Infatti, tali modelli potrebbero essere calibrati e validati tramite i risultati delle prove in galleria del vento in flusso laminare e turbolento e poi utilizzati per analizzare il comportamento dell'impalcato per campi più realistici di vento turbolento (anche per l'intera struttura del ponte). L'utilizzo di simulazioni di fluidodinamica computazionale potrebbe essere un supporto prezioso in fase di calibrazione dei modelli non lineari.

Il ricorso a calcoli non lineari che considerino le grandi variazioni dell'angolo d'attacco prodotte dalla turbolenza atmosferica è raccomandato anche dall'**EP**, ai punti b) e c) della relazione datata 8.01.2024.

Per quanto sopra riportato, questa **Assemblea** ritiene che, per l'eccezionalità dell'**Opera** rispetto alla ordinaria pratica progettuale, solamente analisi condotte con i metodi più avanzati attualmente disponibili consentano di non ignorare particolari fenomeni fisici di interazione fluido-struttura che potrebbero non risultare trascurabili, come spesso lo sono per opere meno straordinarie.

Nello specifico, l'analisi dei risultati sperimentali del **CG** ottenuti sulla configurazione C5/63 nel laboratorio del Force Technology in Danimarca suggerisce la possibilità di effetti non lineari della turbolenza da approfondire maggiormente. Infatti, nonostante la sottostima delle scale integrali di turbolenza, la velocità critica di flutter passa da oltre 125 m/s in flusso quasi laminare a 83 m/s in flusso turbolento, per un'incidenza media del vento di -4°, e da 119 m/s a 81 m/s per un'incidenza media del vento nulla (cfr. Tabella 3.4 del documento PB0034_F0.docx).

Si deve anche notare che prove su modello aeroelastico completo del ponte, sebbene sicuramente necessarie, potrebbero non essere comunque risolutive, data la scala decisamente più piccola a cui sarà necessario realizzare il modello e, di conseguenza, il raggiungimento di un numero di Reynolds significativamente più basso rispetto alle prove su modello sezione dell'impalcato.

Sempre con riferimento alla stabilità aerodinamica dell'impalcato, occorre notare che, in alcune configurazioni testate, le specifiche fissate da SdM non sono soddisfatte.

Si vedano per esempio gli smorzamenti residui a 54 m/s e 75 m/s per un'incidenza del vento di -4° in flusso turbolento (Tabella 3.6 del documento PB0034_F0) oppure la velocità critica di flutter in presenza di treno e veicoli stradali sul cassone di monte per un angolo di attacco nullo in flusso uniforme (Tabella 4.1, risultati D3 BLWTL, 50 m/s contro i 54 m/s richiesti).

L'**Assemblea** sottolinea che il numero di casi in cui non risultano soddisfatte le specifiche di **SdM** sulla stabilità dell'impalcato, in particolare riguardo allo smorzamento residuo, potrebbe essere maggiore se si considerasse anche lo smorzamento aerodinamico negativo associato con il moto verticale delle coppie di cavi di sospensione. Inoltre, nella Tabella 3.5 del documento PB0037_F0 è assunto un rapporto di smorzamento strutturale pari allo 0,5% del critico, valore che non appare sufficientemente conservativo.

Questo effetto è stato quantificato in una riduzione dello smorzamento residuo dello 0.5% circa dal **PMC** (punto 4 a pagina 22 dell'Independent Design Check Summary, PMCNWY P IC D P 00 00 00 00 00 00 01 A del 19/05/2011) e potrebbe risultare potenzialmente persino maggiore, anche sulla base di semplici calcoli conservativi.

Tutto questo mostra la criticità e la centralità del problema della stabilità aeroelastica dell'opera, da cui deriva la necessità di ripetere ed estendere le analisi già effettuate, sebbene molto vaste.

Quindi, nella **Fase A** del **PE** sarà necessario approfondire il ruolo non lineare della turbolenza atmosferica nei confronti della stabilità aerodinamica dell'impalcato (con particolare attenzione alle scale integrali di turbolenza riprodotte in galleria del vento, fermo restando le ovvie limitazioni sperimentali al riguardo), affiancando alle prove in galleria del vento anche calcoli non lineari e non stazionari nel dominio del tempo che tengano conto delle forti variazioni temporali dell'angolo di attacco, indotte dalla turbolenza atmosferica.

Dovrà poi essere debitamente considerato il contributo dei modi di vibrare superiori e quello dello smorzamento aerodinamico negativo potenzialmente introdotto nel sistema dalle due coppie di cavi di sospensione. Tutte le procedure numeriche, lineari e non lineari, dovranno comunque essere opportunamente validate a partire dai dati sperimentali ottenuti in galleria del vento.

Particolare cura dovrà essere posta nella riproduzione delle barriere frangivento e degli altri dettagli non strutturali nella loro configurazione finale, nonché nella modellazione del traffico per le configurazioni di verifica richieste nelle specifiche di **SdM**.

6.5.5. Risposta dinamica a vento turbolento

Per i ponti sospesi di grande luce la risposta di picco (statica + dinamica) al vento turbolento, in termini di spostamenti, accelerazioni, sollecitazioni e tensioni, rappresenta un aspetto da prendere in considerazione con estrema cura, in quanto gli effetti possono risultare dimensionanti, sia per le torri, sia per l'impalcato. È altresì noto che la turbolenza atmosferica, specie a causa delle fluttuazioni di velocità e quindi di angolo di incidenza del flusso associate a grandi scale spazio-temporali, produce effetti non lineari legati alla modulazione nel tempo e nello spazio delle proprietà aerodinamiche e aeroelastiche della struttura (coefficienti statici di forza e momento, derivate aeroelastiche non stazionarie, funzioni di ammettenza aerodinamica).

La risposta dinamica non lineare al vento turbolento viene menzionata nella **RP** al punto b) del § 3.6.1 (pagina 214), in risposta alla raccomandazione 2CS del **CS 2011**, reiterata dal **CS 2023**, circa l'utilizzo di analisi numeriche non lineari finalizzate a un confronto più accurato fra i risultati ottenuti dal **CG** e dal **PMC**, relativamente alla determinazione dei valori statici delle rotazioni e delle accelerazioni dell'impalcato per vento turbolento (v. Tabella 6-13).

2CS 4b (2011)	*lo svolgimento di analisi numeriche non lineari, finalizzate ad ottenere un confronto più accurato fra i risultati ottenuti dal Contraente Generale e dal PMC relativamente alla determinazione dei valori statici delle rotazioni e delle accelerazioni dell'impalcato soggetto a vento turbolento.*
34CS (2011)	*I risultati del calcolo in termini di accelerazioni dell'impalcato devono soddisfare le specifiche di risposta al vento turbolento e devono anche essere utilizzato come la base di riferimento per il dimensionamento statico e dinamico del ponte all'azione del vento, allo scopo di definire i livelli di sollecitazione dovuti all'azione del vento per gli effetti sia statici che dinamici. Ovviamente le valutazioni numeriche devono tenere in conto della deviazione standard dei parametri aero dinamici sperimentali, al fine di definire la*

	corrispondente deviazione standard delle valutazioni numeriche effettuate e i risultati numerici devono essere confrontati con quelli ottenuti dalla sperimentazione su modello aeroelastico a ponte intero.

Tabella 6-13.- *Raccomandazioni **d**el **CS 2011** (reiterate da **CS 2023**)*

Il progettista risponde:
"*Nel caso in cui SdM richiedesse necessariamente lo svolgimento di analisi non lineari (dispendiose in termini temporali) queste verranno usate per verifica delle calcolazioni lineari che sono state utilizzate nello sviluppo del PD e che rimangono valide per il PE*".

Il **CS 2023** ribadisce:
"*Si conferma la necessità e si raccomanda l'esecuzione di analisi non lineari, in particolare la verifica dinamica nel dominio del tempo sotto vento turbolento, considerando l'effettiva correlazione spazio-temporale della sollecitazione (velocità del vento) su impalcato, torri e cavi e quella di stabilità non lineare (non euleriana, post-critica) sulle torri*".

Infine, concludendo che:
"*Si conferma che nel corso del **PE** si svolgeranno analisi di buffeting nel dominio del tempo*".

La risposta del progettista alla Raccomandazione 2CS del **CS 2011** circa l'onere computazionale degli approcci non lineari e, qualora la richiesta venisse reiterata, l'idea di utilizzare i calcoli non lineari per validare i calcoli lineari utilizzati nello sviluppo del **PD, appaiono convincenti solo parzialmente**.

In particolare, nello scambio di raccomandazioni, risposte e osservazioni tra i **CS 2011** e **CS 2023** da una parte, il progettista dall'altra, non viene specificata chiaramente la natura delle non linearità da prendere in considerazione nelle analisi di buffeting. Come detto in precedenza, di particolare rilevanza potrebbero essere quelle legate alla variazione lenta dell'angolo d'attacco prodotta dalla turbolenza di grande scala, cui corrispondono variazioni significative dei coefficienti aerodinamici (stazionari e non stazionari) dell'impalcato.

Questo aspetto è stato ben evidenziato dal Prof. Diana (EP), ai punti b) e c) della sua relazione dell'8.01.2024.

Molto rilevante è anche la Raccomandazione 34CS del **CS 2011**, reiterata dal **CS 2023**, circa l'importanza di tener conto dell'incertezza sui dati aerodinamici sperimentali di input e di validare i risultati numerici a partire da quelli della sperimentazione su un modello aeroelastico completo del ponte.

Tali punti non sono stati debitamente affrontati nella RP.

L'**Assemblea** ritiene necessario, nella **Fase A** del **PE**, affiancare ai calcoli dinamici lineari di risposta a vento turbolento anche calcoli dinamici non lineari e non stazionari nel dominio del tempo in linea con lo stato dell'arte delle conoscenze attuali, in cui sia debitamente contemplato l'effetto non lineare (parametrico) delle grandi variazioni dell'angolo di attacco del vento per effetto della turbolenza atmosferica. Si dovrà anche tener conto del contributo aerodinamico delle torri e soprattutto delle coppie di cavi di sospensione, quest'ultimo potenzialmente sfavorevole per le risposte verticale e torsionale.

Nelle analisi di buffeting si dovranno includere anche i contributi delle ammettenze aerodinamiche che, per effetto della turbolenza di scia dell'impalcato (segnatura aerodinamica) possono assumere valori anche superiori all'unità in alcuni intervalli di frequenza ridotta. A questo proposito, le funzioni di ammettenza aerodinamica misurate al Force Technology e nel laboratorio della Western University (**BLWTL**) non risultano in pieno accordo tra loro (cfr. documento PB0034_F0, sezione 4.4), per cui si prescrive di ripetere le misure sulla configurazione finale dell'impalcato. Le analisi non lineari di buffeting richieste appaiono estremamente importanti per venti stazionari e ancora di più per venti non stazionari/non sinottici.

Per effettuare i calcoli dinamici nel dominio del tempo, i campi aleatori di vento simulati dovranno essere compatibili con le statistiche di input del vento turbolento e di durata adeguata a calcolare risposte dinamiche sufficientemente lunghe da essere significative dal punto di vista statistico.

A questo proposito, calcoli come quelli riportati nel documento PB0038_F0 non sono sufficienti.

I modelli e i codici di calcolo utilizzati dovranno essere opportunamente validati, sempre nella **Fase A** del **PE**, a partire dalle prove sperimentali in galleria del vento, confrontando le previsioni dei modelli di calcolo basati sulle grandezze aerodinamiche misurate sperimentalmente (coefficienti aerodinamici statici dell'impalcato e dei cavi per diversi angoli di attacco, derivate di flutter dell'impalcato per diversi angoli di attacco, funzioni di ammettenza dell'impalcato per diversi angoli di attacco) con le statistiche della risposta dinamica osservate negli esperimenti. A questo scopo, come suggerito dal **CS 2011**, potranno essere utilizzati i risultati delle prove sperimentali su modello aeroelastico dell'intero ponte. Tuttavia, già in **Fase A** del **PE** si potrà ricorrere alle misure di vibrazione sotto vento turbolento di un modello sezionale dell'impalcato.

Nelle analisi di buffeting dovranno essere utilizzati coefficienti di forza misurati sperimentalmente con riferimento allo scenario di traffico appropriato per lo stato limite considerato.

I risultati delle analisi dovranno non solo essere considerati direttamente in termini di spostamenti e accelerazioni, ma anche essere espressi in maniera statisticamente coerente in termini di sollecitazioni e tensioni nei vari elementi strutturali dell'**Opera**.

Infine, come raccomandato anche dal **CS 2011**, nella **Fase B** del **PE**, nei calcoli di buffeting si dovrà tenere conto dell'incertezza che inevitabilmente affligge i dati aerodinamici di input e valutarne la propagazione sull'output dei calcoli.

6.5.6. Modello aeroelastico completo

Nella realizzazione di ponti di grande luce, si ricorre alla definizione di un modello aeroelastico completo e alla successiva misurazione della risposta, essenzialmente per confermare una serie di valutazioni numeriche (flutter multimodale, influenza della correlazione trasversale sulla risposta dinamica). Il vantaggio della modellazione dell'intero impalcato risiede nella possibilità di considerare, contemporaneamente, l'impalcato, i cavi, le torri, e quindi di valutare la dinamica di insieme dell'opera, anche per l'esame del comportamento nelle fasi di costruzione del ponte. Tuttavia, la necessità di operare su una scala ridotta (tipicamente 1:100-1:250) ripropone una serie di problematiche legate alla non corretta riproduzione del numero di Reynolds, dei dettagli geometrici (in particolare, barriere frangivento, arredi stradali, etc.) e, talvolta, della turbolenza atmosferica.

Il tema è trattato nella **RP** a pagina 217 (pag. 549 della relazione) e riportato nel seguito:
"*3.6.2.3 Modello aeroelastico dell'intera struttura*
Prove su modello aeroelastico di un intero ponte sospeso sono abitualmente svolte per verificare i risultati sperimentati e le calcolazioni svolte sulla base delle prove su singole componenti precedentemente svolte. Per tale motivo tali prove non furono condotte in sede di Progetto Definitivo ma concordemente rimandate alla fase di Progettazione Esecutiva. Date le dimensioni dell'Opera di Attraversamento esiste attualmente un'unica struttura nell'emisfero occidentale di dimensioni tali da consentire la verifica di un modello alla scala opportuna, ovvero la galleria 14 m x 4 del Politecnico di Milano.
Gli obiettivi della prova sono i seguenti:

- *la determinazione della risposta del modello a un flusso laminare per verificare la stabilità al flutter e le vibrazioni indotte da distacco di vortici, per tre direzioni di vento differenti*
- *la determinazione della risposta del modello a un flusso turbolento per verificare l'eccitazione di tipo buffeting, per tre direzioni di vento differenti.*

In aggiunta a questo potranno essere testate alcune fasi costruttive rilevanti, a valle delle prove sul modello "finito". Tali prove potranno includere differenti configurazioni dell'impalcato (con/senza schermi, etc.), riflettendo l'effettiva procedura di costruzione.
Saranno tipicamente considerate 3-4 fasi per il montaggio dell'impalcato e una fase per le torri."

L'azione era stata individuata nella **RP** con priorità 2, segnalando l'utilizzo dei risultati per la conferma di quelli ottenuti da altre gallerie del vento.

L'**Assemblea** ritiene che sia necessario ricorrere a prove in galleria del vento sul modello aeroelastico completo per confermare le valutazioni che verranno nel frattempo completate per via analitica e numerica. Al tempo stesso, prescrive di effettuare le prove alla più alta scala possibile, in modo da consentire la rappresentazione più corretta possibile dei dettagli geometrici della struttura e della dinamica complessiva; dovrebbe essere investigata anche la possibilità di ricorrere a prove in laboratori extra-europei con gallerie del vento di dimensioni maggiori. Si raccomanda di porre particolare attenzione alle prove di stabilità aeroelastica dell'impalcato sottoposto a vento turbolento di grande scala e di implementare anche condizioni di prova che tengano conto della configurazione in fase di costruzione, caratterizzata dall'assenza delle appendici aerodinamiche che consentono di ottimizzare le prestazioni dell'impalcato.

6.5.7. Stabilità dei cavi accoppiati di ormeggio

Le possibili vibrazioni dei cavi per il vento o l'effetto combinato di vento e pioggia sono un problema molto sentito per ponti sospesi e strallati, potendo ridurre di molto la vita a fatica degli elementi strutturali. Oltre ai frequenti fenomeni di vibrazione dei pendini, per l'**Opera** si pone anche il problema della stabilità dei cavi di ormeggio; infatti, questi ultimi, trattandosi di cavi accoppiati, sono soggetti a possibili instabilità di galoppo.

Inoltre, essendo la campate di riva di luce limitata, i cavi risultano liberi per buona parte della loro notevole lunghezza, il che comporta un basso valore del numero di Scruton e velocità del vento critiche per il galoppo ben al di sotto di quelle di progetto. Le instabilità per galoppo non presentano una risposta autolimitante in ampiezza, ma mostrano un comportamento di tipo divergente, in cui le oscillazioni tendono a incrementare progressivamente al crescere della velocità del vento. Tali fenomeni comportano un rischio significativo per l'integrità dell'**Opera** e richiedono pertanto di essere opportunamente prevenuti in fase di progettazione, garantendo un idoneo margine di sicurezza.

Si nota anche che, oltre alle significative dimensioni senza precedenti dei cavi portanti, la configurazione con doppio cavo non è frequente tra i ponti sospesi di grande luce realizzati fino ad ora e deve essere studiata molto attentamente dal punto di vista aerodinamico.

Il tema è trattato nella **RP** a pagina 214, in risposta alla Raccomandazione del **CS 2011**, nella quale si richiedeva:
"*d) l'approfondimento, con ulteriori prove in galleria del vento, dell'argomento relativo alla stabilità aerodinamica dei cavi accoppiati con particolare riguardo alla zona delle campate laterali, visto che il Contraente Generale ha proposto differenti modalità per risolvere il problema e il PMC non ha svolto il controllo indipendente, dando per scontato che il problema è risolubile*".

Il progettista risponde che:
"*Saranno effettuate ulteriori prove aerodinamiche per il cavo principale, in modo da verificare l'effettiva insorgenza dei fenomeni di instabilità riscontrati in precedenza e verificare il progetto delle eventuali misure mitigative. Per maggiori dettagli si veda il §3.6.2.2*".

In seguito, al § 3.6.2.2.2 (pagina 217), il progettista delinea le caratteristiche di massima delle prove in galleria del vento ad alti numeri di Reynolds pensate per approfondire il tema durante il **PE**. Si tratta di esperimenti su modello sezionale non solo rigidamente collegato a dinamometri, ma anche elasticamente sospeso per quattro angoli di

incidenza del flusso. Si prevede una prima parte di misure obbligatoria e una seconda opzionale, qualora si rendessero necessarie misure di mitigazione delle vibrazioni.

In Tabella 6-14.- sono poi riportate le Raccomandazioni, formulate dal **CS 2011** e reiterate dal **CS 2023**, inerenti ai temi legati alle possibili vibrazioni delle varie parti del sistema di sospensione.

32CS (2011)	*Per quanto riguarda il sistema di sospensione, il Progetto Definitivo deve assicurare che siano evitati nel campo di velocità del vento e fino alla velocità di progetto tutti i problemi di vibrazioni dei pendini e dei cavi.*
33CS (2011)	*Per quanto riguarda il sistema di sospensione, il Progetto Definitivo deve assicurare che siano evitati nel campo di velocità del vento e fino alla velocità di progetto tutti i seguenti problemi di vibrazioni dei pendini e dei cavi:* *a. vibrazioni eoliche dei pendini per le quali i massimi livelli di vibrazioni indotte da distacco di vortici, espresse in termini di velocità di vibrazione, devono comunque essere inferiori a 50 mm/s ;* *b. vibrazioni dei pendini per effetto scia per le quali le oscillazioni massime indotte per effetto di scia devono in ogni caso essere inferiori a 0.1 m in termini di ampiezze al ventre;* *c. vibrazioni dei pendini da interazione Vento-Pioggia per le quali l'instabilità dei pendini deve essere evitata, assicurando che lo smorzamento adimensionale dei pendini sia maggiore dello 0.3% per i modi di vibrare a frequenza più bassa;* *d. vibrazioni di origine eolica dei cavi principali di sospensione, che devono essere tali da non incidere sulla durabilità del sistema di sospensione.*

Tabella 6-14.- Raccomandazioni **CS 2011** (reiterate dal **CS 2023**) legate alle possibili vibrazioni

Nelle conclusioni del documento PB0039_F0 il rischio di galoppo dei cavi di ormeggio viene definito piccolo, sulla base dei calcoli statistici della sezione precedente.

Tuttavia, **la percentuale di tempo per la quale ci si aspetta delle vibrazioni risulta tutt'altro che modesta, come confermato dalle velocità del vento critiche**, oltre le quali ci si aspetta l'instabilità dei cavi di ormeggio, riportate al § 3.6.2.2.1 della **RP** (pagina 217), **ovvero 10 m/s per il galoppo del cavo sopravento e 15 m/s per il galoppo del cavo sottovento.**

Trattandosi di una rilevante instabilità aeroelastica, tale rischio deve essere portato a livelli accettabili, ovvero **la velocità critica del vento deve essere non inferiore a quella di progetto per la stabilità aeroelastica dell'impalcato**, opportunamente scalata per ricondursi alla quota di interesse per la verifica.

Inoltre, la sperimentazione e l'investigazione teorica dovranno essere corroborate da analisi tipiche della dinamica non lineare (secondo lo stato dell'arte) che offrono la possibilità di investigare analiticamente gli effetti dei principali parametri geometrici, inerziali e costituivi sulla dinamica attesa, anche con formulazioni algebriche. Tale modellazione teorica potrà portare in conto anche la dinamica dell'intera struttura (pendini, impalcato e torri) in modo coerente, con le dovute ipotesi semplificative.

L'Assemblea ritiene che tale tipo di modellazione possa mettere in evidenza tendenze e fenomeni evolutivi, la cui conoscenza possa accompagnare i cogenti approfondimenti qui prescritti.

Il progettista ha rimandato un concreto studio di fattibilità per la mitigazione dei fenomeni di instabilità dei cavi di ormeggio a dopo che "*l'effettiva insorgenza dei fenomeni di instabilità riscontrati in precedenza*" (pagina 214 della **RP**) sia eventualmente confermata dalle prove sperimentali su modello aeroelastico. Infatti, a pagina 217 della **RP** si legge anche che:
"*Tali risultati, ottenuti indirettamente per via numerica, devono essere convalidati mediante un modello aeroelastico in modo da verificare la reale insorgenza del galoppo e identificare, progettare e verificare le eventuali misure mitigative*".

Tale impostazione è confermata dalla risposta del **CG** (datata 18.05.2026) al Quesito n.° 3 formulato da questa **Assemblea**, della quale si capisce anche che la possibile soluzione con smorzatori idraulici e cavi di ancoraggio a

terra, menzionata nel documento PB0039_F0, era già stata scartata in fase di **PD**. **Dunque, l'unica soluzione prevista per mitigare l'eventuale instabilità dei cavi di ormeggio rimane il posizionamento di una griglia porosa tra i due cavi, la cui efficacia, però, non è stata dimostrata.**

L'**Assemblea** rileva che i risultati numerici menzionati dal progettista derivano, per lo più, dalla semplice applicazione della teoria quasi-stazionaria, la quale risulta molto attendibile per alti valori della velocità ridotta del vento (come per i fenomeni in esame). Ne consegue che, qualora il modello sezionale dei cavi, elasticamente sospeso e soggetto all'azione del vento, non mostrasse le instabilità previste sulla base delle prove statiche effettuate durante il **PD**, sarebbe necessario spiegare e approfondire le ragioni di tale incongruenza.

Questa Assemblea concorda sulla necessità di approfondire la questione dell'instabilità dei cavi di ormeggio con ulteriori prove statiche e aeroelastiche in galleria del vento effettuate in corretta similitudine rispetto al numero di Reynolds. Tuttavia, richiede che una soluzione al problema sia trovata già nella FASE A del PE, dimostrando l'effettiva fattibilità dell'Opera di Attraversamento come concepita nel PD.

Nelle prove sperimentali e nei calcoli numerici dovrà anche essere debitamente giustificata la scelta del valore assunto per il rapporto di smorzamento strutturale, che dovrà essere ragionevolmente cautelativo.

Infine, con riferimento al piano delle prove dettagliato a pagina 217 della **RP**, si raccomanda di considerare un numero di angoli di incidenza del vento maggiore dei quattro previsti per le prove aeroelastiche, da scegliersi con estrema cura, anche sulla base dei vecchi e dei nuovi set di coefficienti aerodinamici statici misurati sperimentalmente.

6.5.8. Ulteriori analisi agli Elementi Finiti dell'Opera di attraversamento

Relativamente all'azione del vento, viene evidenziato il tema della necessità di effettuare una nuova analisi della risposta dinamica della struttura tenendo conto dell'evoluzione della capacità computazionale e la conseguente possibilità di fare ricorso a modellazioni più complesse e di svolgere analisi di maggiore dettaglio.

Il tema non è espressamente riportato nella **RP** ed è invece affrontato nella relazione **CS 2023**, dove si riporta che:
"Con riferimento agli hardware e ai software utilizzati nel PD e tenendo conto della loro evoluzione, anche in relazione all'aumentata capacità computazionale nel risolvere problemi in 3D, si segnalano di seguito alcuni aspetti da tenere in considerazione in fase PE".

Tra gli aspetti da tenere in considerazione, trova spazio la raccomandazione n. 41 di Tabella 6-15.

41	*aggiornare le analisi globali agli EF per una più dettagliata descrizione del comportamento aeroelastico dell'Opera di Attraversamento per la valutazione della sicurezza nei confronti dell'instabilità aeroelastica*

Tabella 6-15 Raccomandazioni del **CS 2023** in merito al comportamento aeroelastico

Nella successiva interazione tra **CS 2023** e **CG**, la richiesta viene ulteriormente motivata:
"Il CS raccomanda inoltre di aggiornare le analisi globali agli EF per una più accurata descrizione del comportamento aeroelastico dell'Opera di Attraversamento. Si evidenzia in proposito che una variazione del rapporto tra la prima frequenza rotazionale e la prima verticale, insieme alle proprietà aerodinamiche dell'impalcato, incidono sulla valutazione della sicurezza del Ponte nei confronti dell'instabilità aeroelastica."

Il **CG**, nelle osservazioni trasmesse in data 15/05/24, afferma che:
"IL CG conferma che in sede di PE saranno aggiornate le analisi globali agli EF al fine di implementare tutti gli sviluppi progettuali conseguenti alla progettazione esecutiva dell'Opera di Attraversamento e le risultanze delle ulteriori prove in galleria del vento. Non si attende ad ogni modo nessuna variazione del rapporto tra la prima frequenza rotazionale e la prima verticale, nè alcuna variazione delle proprietà aerodinamiche dell'impalcato tale da incidere sulla valutazione della sicurezza del Ponte nei confronti dell'instabilità aeroelastica."

Infine, in data 24.07.24 il **CS 2023** risponde:

"Il CS prende atto dell'affermazione del CG secondo la quale non siano attese variazioni "del rapporto tra la prima frequenza rotazionale e la prima verticale, né alcuna variazione delle proprietà aerodinamiche dell'impalcato tale da incidere sulla valutazione della sicurezza del Ponte nei confronti dell'instabilità aeroelastica", ma ritiene comunque tale affermazione prematura senza che la stessa sia motivata da opportune analisi e verifiche."

L'**Assemblea**, in linea generale, concorda con la raccomandazione (**Fase B)** che le analisi nella configurazione finale vengano svolte nella maniera più accurata possibile, facendo ricorso alle più aggiornate modellazioni disponibili, allineate con lo stato dell'arte.

6.5.9. Analisi numeriche di Fluido-Dinamica Computazionale

Il tema riguarda il possibile svolgimento di analisi numeriche fluidodinamiche (**CFD**) a supporto dell'interpretazione e della validazione dei risultati sperimentali.

Già nel parere del **CS 2011** si afferma che:
"L'uso di valutazioni effettuate mediante codici numerici CFD (Computational Fluid Dynamics), altamente raccomandato, costituirà un utile supporto e completamento delle prove in galleria del vento, ma non può sostituirle".

Successivamente, Il **CS 2023** conferma la necessità di riferirsi alla **CFD**:
"(…) nella fase di PE, all'utilizzazione di tecniche avanzate di Computational Fluid Dynamics (CFD) e, più in generale, all'analisi ad Elementi Finiti dell'intera Opera di Attraversamento e, in aggiunta, all'analisi ad EF di alcune componenti strutturali di particolare rilevanza, quali ad esempio torri, cavi principali, sistema dei pendini, vincoli, in condizioni di esercizio, eccezionali e di montaggio. In particolare, si ritiene che, opportunamente validata, la CFD possa essere utile per acquisire una maggiore conoscenza dei fenomeni aerodinamici, favorendo una progettazione più consapevole.
*Il **CS**, considerata l'eccezionalità dell'Opera in esame e l'avanzamento tecnologico sia sul fronte computazionale che su quello sperimentale, ritiene pienamente giustificato il ricorso alle metodologie oggi disponibili per verificare e possibilmente validare in modo incrociato i risultati già ottenuti nell'ambito del PD: analisi Computational Fluid Dynamics - Large Eddy Simulation (CFD-LES) attraverso sistemi di calcolo super-computing (…)".*

La relativa raccomandazione del **CS 2023** pertinente al tema è riportata in Tabella 6-16.

64	*"Condurre, in parallelo e in modo complementare all'attività sperimentale, analisi CFD-LES attraverso sistemi di supercalcolo, ai fini della verifica dell'aerodinamica del Ponte nelle varie fasi"*

Tabella 6-16.- Raccomandazioni del **CS 2023** in merito alla **CFD**

Nella **RP** la componente numerica, in particolare la **CFD**, è meno sviluppata di quella sperimentale; infatti, le analisi numeriche **CFD** non sono richiamate esplicitamente nel caso della valutazione dell'azione del vento.

In particolare, non sono compiutamente specificati gli obiettivi tecnici delle eventuali analisi **CFD**, le grandezze osservabili da confrontare con le prove in galleria, i criteri di validazione, i requisiti minimi di discretizzazione spaziale e temporale, le strategie di modellazione della turbolenza, le modalità di rappresentazione delle geometrie complesse, né il ruolo delle simulazioni nella valutazione di fenomeni quali il distacco di vortici, le instabilità aeroelastiche e l'interazione tra scia e componenti strutturali.

Pertanto, con riferimento alla sola **RP**, mentre il tema delle prove sperimentali e della verifica aeroelastica è correttamente individuato e articolato, **il tema CFD non risulta trattato in maniera esplicita.**

Riguardo alla raccomandazione contenuta nel parere **CS 2023** sull'impiego di analisi **CFD**-LES mediante sistemi di supercalcolo, si concorda nel ritenere la **CFD** uno strumento utile di approfondimento, supporto e interpretazione dei risultati sperimentali, in modo complementare e non sostitutivo alle prove in galleria del vento.

Per un'opera di tale complessità, le simulazioni numeriche possono fornire informazioni preziose sui meccanismi fluidodinamici rilevanti e sulla sensibilità della risposta aerodinamica a configurazioni geometriche complesse; però, la loro affidabilità ingegneristica dipende in modo essenziale dalla definizione di un protocollo di calcolo esplicito e da una validazione sistematica rispetto a osservazioni sperimentali pertinenti. **Ne consegue che la prescrizione relativa alla CFD richiede, preventivamente, una precisazione metodologica.**

Tale impostazione trova preciso riscontro nelle CNR-DT 207 R1/2018, la cui Appendice T disciplina l'impiego della fluidodinamica computazionale (**CFD**/CWE) qualificandola come strumento «*coerente, concorrente e complementare*» al progetto e subordinandone l'uso alla validazione del modello rispetto a casi di riferimento e a una documentazione completa dell'approccio modellistico (dominio, modello di turbolenza, condizioni al contorno) e numerico (griglia spazio-temporale, schemi, convergenza).

Il protocollo richiesto dovrà pertanto essere costruito coerentemente con i requisiti dell'Appendice T, con particolare riguardo all'adozione di modelli scale-resolving per i fenomeni vorticosi e alla validazione su grandezze locali e momenti statistici di ordine superiore, non limitata ai soli coefficienti medi.

È importante ribadire che il problema dell'interazione vento-struttura per un ponte di grande luce ha natura intrinsecamente multiscala, poiché coinvolge il campo di vento alla scala territoriale, la risposta globale dell'opera, l'aerodinamica dell'impalcato e degli elementi principali, nonché fenomeni locali su componenti snelle quali cavi e pendini, o addirittura il flusso attraverso le aperture delle barriere frangivento. Tali scale non possono essere rappresentate simultaneamente, con il medesimo livello di accuratezza, in un'unica simulazione dell'intera opera. La **CFD** va quindi intesa non come una simulazione unica e onnicomprensiva, ma come un insieme coordinato di analisi, ciascuna riferita a una scala e a una domanda fisica ben definite.

In tale quadro, la **CFD** dovrebbe essere orientata non alla produzione autonoma di valori progettuali non validati, ma all'interpretazione mirata dei meccanismi fluidodinamici locali più sensibili alla geometria dell'opera, con particolare riferimento al comportamento del flusso in prossimità delle barriere frangivento e alla loro interazione con traffico, separazioni e scie. Tali analisi dovranno essere condotte su scale fisiche e numeriche compatibili con l'effettiva risoluzione del problema, assumendo le evidenze sperimentali disponibili come riferimento per la validazione e la calibrazione dei modelli.

Relativamente alla richiesta contenuta nella raccomandazione n. 64 del **CS 2023**, il **CG** manifesta una posizione cauta, ritenendo che l'adozione di tecnologie non pienamente mature o non consolidate possa costituire un elemento di criticità per il progetto. In particolare evidenzia che, pur avendo la **CFD** ad alte prestazioni la potenzialità di simulare flussi ad elevati numeri di Reynolds, non esisterebbe allo stato attuale un setup universalmente accettato e documentato per tali condizioni; aggiunge che le analisi **CFD** non potrebbero sostituire le prove in galleria nei tempi compatibili con lo sviluppo del **PE** e che l'assenza di una validazione sperimentale diretta alla scala reale potrebbe generare incongruenze tra risultati **CFD**, prove ad alta pressione e prove convenzionali in galleria del vento.

Tali osservazioni richiamano criticità tecniche reali (validazione dei modelli numerici, riproducibilità del numero di Reynolds, complessità geometrica dell'opera, utilizzabilità ingegneristica dei risultati) che non giustificano però l'esclusione della **CFD** dal percorso di approfondimento progettuale, ma ne impongono una rigorosa qualificazione come strumento complementare alle prove sperimentali, e non sostitutivo.

Su questo punto, il **CS 2023** ha replicato in modo netto, osservando che la **CFD**-LES non costituisce una tecnologia immatura, bensì una metodologia ormai impiegata su larga scala per le grandi opere nelle quali l'interazione fluido-struttura gioca un ruolo dominante, e che i risultati numerici non devono sostituire quelli delle prove in galleria del vento, ma servire a incrementare la conoscenza dei fenomeni aerodinamici e a supportare l'analisi delle condizioni di carico, anche in fase di costruzione.

Inoltre, il **CS 2023** ha richiamato l'art. 2, lett. e), del **DM** 35/2023 [il riferimento corretto dovrebbe essere invece all'art. 3, c.2, lett. e del **DL** 35/2023] che prescrive di sviluppare nel **PE** ulteriori analisi per adeguarlo all'evoluzione tecnologica, e ha rilevato la diffusa disponibilità di centri di supercalcolo (ad es. il sistema LEONARDO presso il CINECA). A valle dei chiarimenti forniti, il **CG** ha condiviso l'osservazione del **CS 2023**. Tuttavia, si osserva che l'effettivo ricorso a tali infrastrutture richiede l'impiego di software di calcolo allo stato dell'arte, capaci di scalare efficientemente sulle architetture hardware disponibili e di sfruttarne adeguatamente la potenza computazionale.

In conclusione, le risposte di **SdM** recepiscono in modo sostanzialmente positivo le raccomandazioni relative all'impiego della **CFD**. È necessario che tali impegni, ancora espressi in termini generali, siano tradotti in fase di **PE** in un programma operativo dettagliato, nel quale prove sperimentali, aggiornamento anemologico e simulazioni numeriche siano integrati in un percorso coerente di validazione e di supporto alla verifica aerodinamica e aeroelastica dell'opera.

Pertanto, l'**Assemblea** raccomanda che le analisi **CFD** siano accompagnate da un protocollo di calcolo esplicito e dalla validazione su dati sperimentali e casi di riferimento qualificati e siano finalizzate a:

- analizzare i meccanismi aerodinamici locali sull'impalcato e sugli elementi principali, quali separazione del flusso, distacco di vortici, distribuzione delle pressioni, interferenza tra scia e componenti strutturali, e la loro sensibilità alla geometria e alle condizioni di vento;
- studiare configurazioni, dettagli e condizioni non agevolmente riproducibili in galleria del vento, quali l'effetto delle barriere frangivento e del traffico, le geometrie complesse e il comportamento a numeri di Reynolds più elevati;
- supportare la definizione e l'interpretazione delle campagne sperimentali.

6.5.10. Effetti locali sui veicoli in transito

Il tema esaminato riguarda i possibili effetti di scia causati dalle torri sull'utenza automobilistica. In situazione di vento, i veicoli si troveranno a passare da una situazione di schermatura "standard" (quale quella presente sull'intero impalcato), ad una situazione completamente schermata (nella zona di "ombra" al vento offerta dai piloni delle torri), con possibili effetti locali di accelerazione di flusso (soprattutto per effetto degli strati limite separati dalle gambe della torre) e di turbolenza.

Il tema non risulta trattato né nella **RP** né nel parere del **CS 2023**; pertanto, in termini generali, si è ritenuto di formulare a **SdM** la seguente richiesta di chiarimenti:
"Documentazione relativa alla determinazione delle azioni aerodinamiche sui veicoli viaggianti sull'impalcato in presenza di barriere".

In riscontro al quesito precedente, **SdM** ha trasmesso in data 09.06.2026 una nota nella quale viene indicato che:
"La determinazione delle azioni aerodinamiche sui veicoli che viaggiano sul ponte in presenza di barriere frangivento è documentata, a livello PD:

- *tramite la specifica SdM GCG. F.05.03, che definisce la modellazione richiesta delle barriere frangivento (porosità 0,55 e coefficiente di caduta di pressione Ks ≥ 2,7) e impone la valutazione degli effetti del vento del traffico,*
- *insieme alla documentazione di test della galleria del vento della sezione del ponte PD (vedi relazione PB0034 ed allegati) fornita da FORCE Technology (Danimarca), BLWTL (Canada) e BMT (Regno Unito), dove sono stati testati modelli sezionali inclusi le barriere al vento in metallo stirato per ottenere coefficienti aerodinamici statici, stabilità aerodinamica, vibrazioni indotte dai vortici e clima del vento del traffico (runnability), e consolidate nella Relazione del Progettista e nell'Allegato 13 – Aerodinamica, che confermano esplicitamente che le azioni aerodinamiche dei veicoli si basano su test in galleria del vento eseguiti con barriere modellate correttamente e costituiscono la base PD per il carico del vento e le valutazioni operative.*

Per quanto attiene le attività di Indipendent Check, la determinazione dei profili di vento sui veicoli in presenza di barriere è stata effettuata da Parsons ed è riportata nel documento ICD report Vol IV of XII Aerodynamic testing of superstructure - App_A".

La risposta non contribuisce a chiarire se l'aspetto evidenziato sia stato o meno analizzato in dettaglio.

L'Assemblea ritiene che tale aspetto debba essere investigato attraverso prove sperimentali "ad-hoc" in galleria del vento e/o analisi CFD avanzate, individuando, se necessario, una situazione di "transizione" nelle barriere di protezione tra quelle installate sull'impalcato (con una fissata porosità, alle quali la risposta di SdM si riferisce) e la situazione di schermatura completa a tergo delle gambe della torre, al fine di ridurre gli eventuali effetti che potranno prevedersi sui veicoli in transito.

Date le possibili variazioni aerodinamiche che ne potranno derivare, occorrerà anche valutare quanto queste possano impattare sulla riporta aerodinamica e aeroelastica dell'impalcato, sebbene il problema sia localizzato in una zona che non appare critica; per tale motivo, si ritiene che tali prove debbano essere effettuate in fase di sviluppo del **PE** (**Fase B**).

6.5.11. Analisi degli effetti del vento sulla struttura durante la fase di costruzione

Relativamente all'azione del vento, il tema riguarda sostanzialmente le analisi di stabilità relative alla fase di costruzione, quindi in condizioni di realizzazione parziale dell'impalcato e in configurazione diversa da quella definitiva (per quanto riguarda il posizionamento delle barriere e delle appendici aerodinamiche).

Nel § 3.6.2.3 della **RP**, relativo al Modello aeroelastico dell'intera struttura (v. pagina 217/223, pag. 549 della relazione), viene riportato che:
"(…) potranno essere testate alcune fasi costruttive rilevanti, a valle delle prove sul modello "finito". Tali prove potranno includere differenti configurazioni dell'impalcato (con/senza schermi, etc.), riflettendo l'effettiva procedura di costruzione.
Saranno tipicamente considerate 3-4 fasi per il montaggio dell'impalcato e una fase per le torri."

Il tema è segnalato nelle Raccomandazioni del **CS 2011** contenute nell'appendice alla relazione del **CS 2023** (v. Tabella 6-17**).**

5CS4h (2011)	*"Si segnalano in particolare le seguenti raccomandazioni: svolgere analisi dettagliate atte a verificare la stabilità delle torri, dei cavi e dell'impalcato in tutte le fasi di montaggio"*

Tabella 6-17 - Raccomandazioni **CS 2011** (reiterate dal **CS 2023**)

Nella risposta al punto h) della **RP**, il **CG** afferma che verranno condotte prove in galleria del vento per un numero limitato di configurazioni di montaggio (prove sezionali sull'impalcato, prove sulle torri, prove su modello aeroelastico completo). Il controllo completo, fase per fase, verrà fatto tramite calcoli realizzati tramite le quantità aerodinamiche misurate sperimentalmente (per esempio, le derivate aeroelastiche). Questa linea appare condivisibile.

Tuttavia, come riportato nella sezione 5.2 del documento PB0037_F0, il ponte presenta delle velocità critiche di flutter in fase di costruzione che risultano inferiori al valore di 54 m/s richiesto da **SdM** (fino a un minimo di 40.0 m/s) almeno dalla fase 240 (ovvero per una lunghezza complessiva dell'impalcato montato pari a 510 m) fino alla fine del processo e all'installazione degli arredi non strutturali propri della fase di esercizio. Tali risultati sono il frutto di calcoli bimodali di flutter.

Siccome per un'opera del genere la costruibilità è parte integrante del progetto, si chiede di dimostrare la stabilità aerodinamica dell'impalcato in fase di costruzione già nella **Fase A** del **PE**. Questo dovrà essere fatto con analisi multimodali di stabilità e ricorrendo anche ad analisi non lineari nel dominio del tempo, in grado di tener conto delle

grandi variazioni dell'angolo di attacco prodotte dalla turbolenza atmosferica. Si dovrà altresì considerare il contributo, potenzialmente destabilizzante, delle coppie di cavi di sospensione.

Infine, oltre alla mitigazione delle vibrazioni delle torri indotte dal distacco di vortici in fase di costruzione mediante dispositivi TMD/**AMD**, si dovrà anche valutare la stabilità dei cavi di sospensione durante la fase di tessitura.

6.6. Azioni della temperatura

Nel seguito sono analizzati i criteri per la definizione del campo termico e delle relative escursioni da adottare per l'**Opera**. Tali parametri influenzano significativamente le azioni termiche uniformi, i gradienti, i differenziali tra i componenti strutturali e i conseguenti effetti termo-meccanici su impalcato, sistema di sospensione (cavi e pendini), torri, dispositivi di appoggio, giunti e armamento ferroviario.

Nei § 3.1.3 e 3.6.1 della **RP** il riesame delle azioni termiche è affrontato nell'ambito dell'adeguamento alle **NTC 2018**; in tale documento, però, non si danno prescrizioni specifiche in merito alla verifica o all'aggiornamento dei valori della temperatura di progetto. In particolare, non risultano esplicitati la base climatica assunta, il periodo di osservazione, i criteri probabilistici, il passaggio dalla temperatura dell'aria alla temperatura degli elementi strutturali, la definizione dei gradienti e la rappresentatività dei fattori correttivi utilizzati nei modelli di calcolo.

Nel § 3.6.1 della **RP** si rinviene la seguente Raccomandazione del **CS 2011**, riguardante gli effetti termici sull'armamento ferroviario, riportata in Tabella 6-18.

Pag. 214	*"approfondire per via numerica e sperimentale l'instabilità delle rotaie e le modalità di sostituzione in funzione delle differenze di temperatura tra rotaia e impalcato. Tale indicazione non sostituisce il riesame complessivo delle azioni termiche, ma ne costituisce un'applicazione specifica, da raccordare con le ipotesi generali di temperatura, con le prove sul sistema ERS e con il piano di monitoraggio/manutenzione."*

Tabella 6-18 - Raccomandazioni del **CS 2011** in merito agli specifici effetti della temperatura

Già il **CS 2023**, quindi, espresse una raccomandazione sul tema che può essere letta come requisito puntuale, da raccordare con il riesame complessivo delle azioni termiche e con le verifiche dell'armamento ferroviario.

Per quanto sopra esposto l'**Assemblea** ritiene che sia opportuno, in **Fase A** di **PE**, includere un riesame organico del campo termico di progetto, con ricostruzione della metodologia utilizzata, aggiornamento del quadro conoscitivo climatico e verifica dell'adeguatezza dei valori assunti rispetto alla vita utile dell'opera, considerando le evoluzioni climatiche possibili. Si richiede che tale riesame sia documentato in modo tracciabile, con riferimento al quadro conoscitivo climatico aggiornato, in relazione ai criteri assunti per la definizione dei valori di progetto e alla coerenza degli stessi con la vita utile dell'opera.

6.7. Azioni eccezionali

Nel paragrafo viene esaminato il tema delle azioni eccezionali e della robustezza dell'**Opera**, con particolare riferimento alla capacità del sistema strutturale di tollerare eventi locali di danneggiamento senza sviluppare conseguenze sproporzionate. Il tema riguarda, in termini unitari, la perdita o il danneggiamento di elementi della sospensione e dell'impalcato, gli effetti di incendio o esplosione, gli urti da traffico stradale e ferroviario e gli scenari di impatto aereo o navale compatibili con l'effettiva configurazione dell'**Opera**.

Nei §§ 3.1.2.1, 3.1.3.1.2 e 3.5.2.3.3 della **RP** il tema è affrontato nell'ambito dell'adeguamento alle **NTC 2018** e dell'aggiornamento allo stato dell'arte. La **RP** richiama le analisi di rischio sviluppate in sede di **PD** per incendio, esplosioni e urti accidentali, prevedendone l'aggiornamento in sede di **PE**, e introduce un ulteriore scenario di robustezza relativo alla perdita improvvisa di due pendini consecutivi sul medesimo lato dell'impalcato. Tale impostazione è coerente con il requisito generale di robustezza, ma richiede di essere ricondotta, nel **PE**, a un quadro organico di scenari, criteri prestazionali e verifiche di sistema.

Il **CS 2023** ha già richiamato il tema della robustezza strutturale, con riferimento sia agli scenari di perdita dei pendini, sia alla necessità di valutare l'evoluzione del collasso progressivo e il comportamento di elementi locali critici. Nella seguente tabella sono richiamate le raccomandazioni espresse dal **CS 2023** riportate in Tabella 6-19.

21	*"Considerare ulteriori scenari per la verifica della robustezza dell'Opera, in coerenza con le strategie progettuali richiamate dalle **NTC 2018**"*
43	*"Approfondire lo scenario di perdita di due pendini consecutivi, valutando l'evoluzione del danno e l'eventuale innesco di meccanismi di collasso progressivo"*
44	*"Estendere il criterio di tolleranza al danneggiamento localizzato anche ad altri elementi strutturali e dispositivi rilevanti per il comportamento globale dell'opera"*

Tabella 6-19 Raccomandazioni del **CS 2023**

Per quanto riguarda, poi, l'azione eccezionale di deragliamento, la **RP**, al § 3.1.3.1.2 "*Incendio e Azioni Eccezionali*" specifica: "*Per quanto riguarda gli urti dovuti al traffico ferroviario (deragliamento) vi sono specifiche prescrizioni nei Fondamenti Progettuali sia per gli scenari di carico sull'impalcato sia la prescrizione di considerare uno scenario di contingenza con il collasso di un trasverso per effetto del deragliamento di un treno che fuoriesca dalla sede ferroviaria, colpendo la trave a cassone.*".

Nel *Manuale* al § 5.4 si riportano i Carichi di deragliamento derivanti dal traffico ferroviario, desunti dal Manuale di progettazione **RFI**, rimandando per ulteriori dettagli all'allegato [B20] dello stesso:

5.5.3 Carichi di deragliamento derivanti dal traffico ferroviario

Per ulteriori dettagli far riferimento a [B20].

Per il deragliamento occorre considerare tre casi di progetto diversi:

Caso 1: Deragliamento del locomotore o di vagoni merci pesanti dove i veicoli deragliati restano sull'area del binario.

Caso 2: Deragliamento del locomotore o di vagoni merci pesanti dove i veicoli deragliati sono bilanciati all'estremità del ponte e caricano l'estremità della sovrastruttura.

Caso 3: Carichi della fase di riparazione legata al deragliamento.

Il caso 1 ed il caso 2 debbono essere esaminati separatamente. Non occorre considerare una combinazione di tali carichi.

Il deragliamento del traffico ferroviario deve essere considerato come un carico accidentale (A) e progettato allo stato limite ultimo SLU.

Figura 6-1 -Carichi di deragliamento nel *Manuale*

Sempre nella stessa **RP**, al § 3.2.3.3. "*Analisi di Rischio – Indicazioni per il PE*" e nel successivo § 3.2.3.3.2 "*Rischi operativi*" è dichiarato "*Il PD riporta che la possibilità e le conseguenze del deragliamento sono in qualche maniera mitigate dall' "alto livello di manutenzione e sorveglianza dei binari". Questo aspetto sarà ulteriormente meglio investigato in fase di redazione del PE. Inoltre, verranno ulteriormente sviluppate le analisi di percorribilità ferroviaria in modo da fugare qualsiasi dubbio circa possibili anomalie nella risposta dinamica propria della linea su un ponte sospeso. La distinzione tra i deragliamenti legati a difetti nel veicolo e quelli dovuti alla infrastruttura dovrà essere estesa anche nella fase di analisi dei rischi. In particolare, le misure mitigative eventualmente applicate avranno effetto senz'altro diverso nei diversi casi.*".

Nelle sezioni dell'impalcato ferroviario presenti sugli elaborati del **PD** si rileva la presenza di protezioni antideragliamento (contro-rotaia) e di una protezione antiribaltamento installata come parte integrante dei percorsi pedonali.

Per quanto sopra esposto, l'**Assemblea** ritiene necessario che, in sede di **PE**, la robustezza sia trattata come requisito prestazionale di sistema e non come somma di verifiche isolate. Il **PE** dovrà ricondurre a un quadro unitario gli scenari

eccezionali ragionevolmente credibili, le analisi di rischio disponibili, le basi di progetto e le verifiche strutturali, dimostrando la capacità dell'**Opera** di assorbire danni locali senza collasso sproporzionato.

Si richiede che tale riesame sia documentato in modo tracciabile, con riferimento agli scenari assunti e alla coerenza tra analisi di rischio e azioni di progetto. In particolare, gli scenari di impatto aereo e navale dovranno essere formulati in modo coerente con le caratteristiche dei mezzi presi a riferimento e con gli elementi dell'**Opera** effettivamente esposti.

Per quanto riguarda le azioni eccezionali di deragliamento, l'**Assemblea** prescrive, nella **Fase B** del **PE**, che, in base alle analisi di rischio e alla conseguente definizione di scenari eccezionali specifici per la peculiarità dell'**Opera**, si effettuino le relative analisi e verifiche, considerando anche la possibilità di un possibile urto/impatto con tutte le strutture principali interferenti (trasversi, impalcato, etc).

7. PONTE SULLO STRETTO: CAPACITÀ/DOMANDA

Il capitolo tratta del confronto capacità – domanda, dapprima esaminando i requisiti di affidabilità dell'**Opera** e dei suoi materiali, approfondendo poi la tematica per le diverse componenti (le fondazioni e la loro interazione con i terreni, le torri, l'impalcato, il sistema di sospensione, i giunti e i buffer). Nei paragrafi successivi si trattano sia gli aspetti di progettazione, sia, se rilevanti, gli aspetti di montaggio e realizzazione che possono determinarne il comportamento in esercizio ed allo stato limite ultimo.

7.1. Verifica dei requisiti di affidabilità dell'opera

La **RP**, al § 3.1.2.1 "*Prescrizioni per il **PE** relative all'Opera di Attraversamento, **NTC 2018**, Capitolo 2 - Sicurezza e prestazioni attese*" fa riferimento al cap. 3 dei *Fondamenti*; ma in tale relazione non sono dichiarati i valori di affidabilità da rispettare per i diversi Stati Limite. Pertanto, non è possibile stabilire la corrispondenza tra i livelli di sicurezza fissati dalla norma e i livelli di affidabilità in base ai quali sarebbero stati determinati i coefficienti parziali riportati nei *Fondamenti*.

Peraltro, a pag. 8 dei *Fondamenti* si legge che "*l'affidabilità dell'Opera, definita e prescritta nel presente documento in termini di prestazioni relative alla sicurezza ed alla funzionalità, non potrà essere variata senza esplicita autorizzazione da parte del Committente*". È evidente che una tale affermazione ha senso solo se i livelli di affidabilità obiettivo sono chiaramente esplicitati, dimostrandone la coerenza con la Norma, in modo da fornire un riferimento oggettivo per la verifica dei requisiti prestazionali in sede di **PE**.

Con riferimento a quanto segnalato al Capitolo 5 del presente parere, l'**Assemblea**, nella **Fase B** del **PE**, prescrive che:

- la verifica dei requisiti di affidabilità debba essere svolta in maniera coerente per tutti i componenti dell'opera e, in caso si adottino metodi di verifica almeno di Livello II, si devono considerare le correlazioni tra i diversi componenti strutturali, distinguendo le situazioni in cui essi operano in serie o in parallelo all'interno del sistema strutturale;
- per ogni Stato Limite, si debba distinguere esplicitamente l'affidabilità determinata a livello di componente strutturale e l'affidabilità dell'opera nel suo complesso.

7.1.1. Coefficienti parziali per i materiali e per le azioni e coefficienti di combinazione

La **RP** evidenzia che le Norme modificano il coefficiente parziale da applicare ai carichi permanenti non strutturali, quando favorevoli. Però, come già evidenziato nel § 3.5.3, la **RP** non evidenzia, dimostrandolo, se i coefficienti parziali e i coefficienti di combinazione adottati nei *Fondamenti* conducono, per tutti i componenti e per tutti gli Stati Limite, a livelli di affidabilità coerenti con le **NTC 2018**.

L'**Assemblea**, ai fini del soddisfacimento dei requisiti di affidabilità, prescrive, in **Fase A** del **PE**, che:

- i valori caratteristici, i coefficienti parziali applicati ai materiali e alle azioni e i coefficienti di combinazione siano opportunamente giustificati e definiti in accordo con le **NTC 2018**. Qualora siano adottati valori diversi da quelli di Norma o si analizzino problemi non direttamente trattati dalle **NTC 2018**, dovrà essere dimostrato il raggiungimento di livelli di affidabilità coerenti con la Norma e, comunque, non inferiori a quelli della EN 1990 e dei relativi *background documents*. Ai fini della valutazione dei coefficienti parziali e dei coefficienti di combinazione, attraverso metodi almeno di Livello II (ad esempio il **DVM**), dovranno essere esplicitati e motivati i coefficienti di variazione assunti per i materiali e per le azioni.

7.1.2. Modelli di calcolo, criteri di verifica e livelli di danno

I *Fondamenti* definiscono livelli di danno (**ND, DD, MD, RD, SD**) e limiti tensionali e deformativi per i componenti strutturali, ma non sono sempre esplicitati i limiti di danneggiamento ammessi per lo **SLU** e lo **SLIS**.

L'**Assemblea** raccomanda, in **Fase B** del **PE**, che:

- i modelli di calcolo utilizzati siano adeguati a verificare, per i diversi Stati Limite o per gli scenari di contingenza considerati, il rispetto dei requisiti prestazionali stabiliti dai *Fondamenti* e ulteriormente dettagliati nella **Fase A**;
- i criteri di verifica siano coerenti con il livello adottato per la verifica dei requisiti di affidabilità per i diversi Stati Limite.

7.1.3. Scenari di contingenza e robustezza strutturale

Nel *Manuale* è indicato esplicitamente che dovrà essere considerato lo scenario di contingenza che prevede, nella posizione più sfavorevole, il collasso di un trasverso e dei componenti di impalcato corrente ad esso collegati. Per esso nel documento PS0081_F0 del **PD** viene prescritta una analisi da condurre in campo dinamico, ipotizzando un repentino distacco di una porzione di impalcato di lunghezza complessiva pari a 60 m. Dall'analisi, però, non è esplicitato il motivo per cui questo scenario, anche se integrato come indicato nella **RP** (pag. 62), possa considerarsi esaustivo ai fini della verifica relativa alla robustezza strutturale dell'**Opera**.

Inoltre, gli scenari di contingenza considerati devono condurre ad una valutazione esplicita della robustezza strutturale del sistema, in accordo con quanto indicato nelle **NTC 2018** ai § 2.2.5 e al § 3.6.

In Tabella 7-1 si richiamano le raccomandazioni del **CS 2023** sui temi trattati:

17	Considerare la UNI EN 15129 come un valido riferimento per definire i requisiti prestazionali e i test a cui i dispositivi idraulici denominati "buffer" devono essere sottoposti, … (p. 39)
21	Considerare ulteriori scenari atti a verificare la robustezza del ponte aggiungendo alle analisi esistenti altre considerazioni derivate dalle strategie di progettazione contenute al §2.2.5 delle NTC 2018 (p. 39)
51	Effettuare, ai fini della robustezza del sistema, analisi strutturali in relazione a possibili scenari di malfunzionamento dei buffer e dell'intero sistema di articolazione a cerniera. (p. 42)

Tabella 7-1.- Raccomandazioni **CS 2023** in merito a scenari di contingenza e robustezza

Alla luce di quanto rilevato, l'**Assemblea** ritiene necessario le seguenti prescrizioni, da considerare nella **Fase A** del **PE**:

- dovranno essere dichiarate le probabilità condizionate di superamento o fallimento dello **SLIS**, sia per i componenti sia per l'**Opera**, per ciascuno scenario di contingenza e per la corrispondente azione estrema;
- dovrà essere predisposto un elenco motivato degli scenari di perdita di componenti o di loro parti, non limitato allo scenario di distacco di una porzione di impalcato o alla perdita di pendini adiacenti. L'elenco dovrà includere gli scenari accidentali esplicitamente richiamati nei *Fondamenti*, quali incendio, esplosione e impatto, urti/svio di convogli ferroviari, gli scenari naturali o multihazard che possano produrre effetti locali, globali, simultanei o in cascata e gli scenari riconducibili ad azioni umane volontarie. Per ciascuno scenario dovranno essere indicati il livello di analisi richiesto, i percorsi alternativi di carico attesi, i criteri di accettabilità del danno sui diversi componenti e le condizioni per escludere il collasso progressivo o sproporzionato alla causa.

7.2. Le caratteristiche meccaniche dei materiali

A seguire si esaminano le caratteristiche dei calcestruzzi e degli acciai costituenti l'**Opera, rammentando la necessità dell'applicazione del D.Lgs. 106/2017.**

7.2.1. I calcestruzzi

Il paragrafo riporta considerazioni generali relative ai calcestruzzi e concernenti l'approvvigionamento degli ingredienti, le modalità produttive (in termini di impianti e logistica) e il trasporto presso il cantiere per l'esecuzione dei getti delle torri di fondazione e dei blocchi di ancoraggio. Le considerazioni sono estese alle proprietà reologiche del conglomerato allo stato fresco quali lavorabilità, mantenimento della lavorabilità nel tempo e resistenza alla segregazione. Infine, le considerazioni generali attengono alle proprietà elastiche, fisiche (resistenza a compressione/trazione, ritiro idraulico/autogeno, deformazione viscosa e sviluppo di calore/incremento di temperatura in condizioni adiabatiche) e di durabilità dei calcestruzzi da impiegarsi nella realizzazione dei blocchi di ancoraggio e delle fondazioni delle torri in acciaio.

Tali temi sono limitatamente trattati nella tabella "Requisiti addizionali del calcestruzzo strutturale delle sottostrutture" nella **RP**, § 3.5 e § 3.5.1.6.

Il **CG** prevede l'impiego di calcestruzzi di diversa classe di resistenza per i diversi elementi strutturali che compongono l'**Opera**, con particolare riferimento ai blocchi di ancoraggio, alle fondazioni delle torri e alle strutture terminali dell'attraversamento stabile, indicando per tutti gli elementi costruttivi una vita nominale pari a 200 anni.

Il tema delle proprietà reologiche, elastiche e fisiche, oltre che di durabilità, dei calcestruzzi in generale, dei blocchi di ancoraggio e delle fondazioni delle torri in particolare, non è stato oggetto di osservazioni e/o di richiesta di integrazione da parte dei precedenti **CS**.

Nell'ambito della preparazione del presente parere, sono state formulate alcune richieste di chiarimento a **SdM**. Nella risposta al **quesito 1.8**, viene chiarita la logistica e il tipo di impianti previsti sia lato Sicilia che lato Calabria. Viene anche indicata la capacità produttiva per ogni impianto di calcestruzzo e la modalità di trasporto del calcestruzzo dall'impianto di produzione al cantiere ove verranno effettuati i getti.

Viene anche indicato che gli impianti saranno dotati di sistemi di refrigerazione dell'acqua, degli aggregati oltre che di un impianto per la produzione di ghiaccio, da impiegarsi in parziale sostituzione dell'acqua di impasto. Non è chiaro come verranno corrette le composizioni in base alle temperature ambientali, in particolare, le percentuali di ghiaccio da utilizzare in relazione alle temperature degli ingredienti. A tal proposito, si reputa necessario definire degli intervalli di temperatura del calcestruzzo alla miscelazione e di valutare le temperature di refrigerazione degli ingredienti, oltre alla percentuale di ghiaccio da impiegare al fine di garantire sia i livelli di consistenza al getto che la massima temperatura raggiunta in condizioni adiabatiche.

Nella stessa risposta si fa riferimento al fatto che gli aggregati che verranno impiegati nel confezionamento del conglomerato deriveranno dal riutilizzo dei materiali di scavo, ma non è fatta menzione delle analisi eseguite al fine di controllare che questi materiali di scavo siano idonei al confezionamento dei calcestruzzi.

Si ritiene necessaria la preparazione del piano scavi e la suddivisione del materiale in base alle caratteristiche geologiche del materiale, nell'ottica di un suo possibile riutilizzo quale aggregato per il calcestruzzo. Inoltre, è necessario definire un protocollo di prove finalizzato all'ottenimento della marcatura **CE** degli aggregati, con una loro completa caratterizzazione, con particolare riferimento alla potenziale reattività agli alcali, al contenuto di zolfo e al contenuto di solfato e di cloruri.

Sempre nella risposta al **quesito 1.8**, relativamente al cemento, si conferma che al momento non sono stati individuati i fornitori - è necessario identificarli e caratterizzarli - unitamente all'indicazione di eventuali aggiunte di natura pozzolanica (tipo II); la caratterizzazione deve riguardare il contenuto di C_3A (alluminato tricalcico), di cloruri, di solfato e di alcali in termini di sodio equivalente oltre alla intrinseca capacità di binding del cloruro, alla resistenza al solfato e allo sviluppo di calore a seguito delle reazioni di idratazione.

Nella Tabella "*Requisiti addizionali del calcestruzzo strutturale delle sottostrutture*" si fa riferimento ad un generico cemento d'altoforno CEM III/B contraddistinto da un calore di idratazione non superiore a 300 kJ/kg. Si suggerisce di valutare l'impiego di cementi CEM III/C o di cementi tipo VI con calore di idratazione drasticamente più basso del valore indicato.

Relativamente al cemento, nella stessa risposta, si fa riferimento a cementi speciali, da identificare in quanto non specificati.

Infine, è fondamentale una preliminare caratterizzazione degli additivi (riduttori d'acqua, ritardanti, nucleatori di C-S-H, etc.) e una verifica della loro compatibilità con il cemento e con le aggiunte (di tipo sia I, sia II) per il rispetto dei requisiti di consistenza richiesti al getto oltre che per limitare lo sviluppo di calore con il conseguente incremento di temperatura in condizioni adiabatiche.

Relativamente alla durabilità nei confronti dell'azione aggressiva del cloruro viene riportata una specifica generica sul coefficiente di migrazione del cloruro, inferiore a 4*10-12 m^2/s determinato secondo NT BUILD 462. L'**Assemblea prescrive** di eseguire prove specifiche di diffusione del cloruro sia in condizioni accelerate secondo NT BUILD 462, ma anche in condizioni naturali. Infatti, è notorio che il D_{nssm} determinato con il metodo NT BUILD 462 non coincide con il D_{app} necessario per poter approntare un metodo previsionale (un modello di diffusione) della penetrazione del cloruro in 200 anni.

Inoltre, **si segnala** che per i blocchi di ancoraggio e, più in generale, anche per le strutture non in contatto diretto con l'acqua di mare, la condizione di esposizione più gravosa potrebbe essere quella rappresentata dalla possibile corrosione dell'acciaio per effetto dell'azione dell'anidride carbonica dell'aria.

Pertanto, l'**Assemblea** prescrive di effettuare la determinazione del coefficiente di diffusione dell'anidride carbonica gassosa sia in condizioni accelerate ai sensi della norma **UNI** EN 12390-12, sia in condizioni naturali ai sensi della norma **UNI** EN 12390-10. Per entrambi i processi di diffusione (cloruro e anidride carbonica gassosa), si prescrive di individuare un modello di diffusione finalizzato a valutare la probabilità di depassivazione dell'acciaio alla scadenza della $\mathbf{V_N}$, così da verificare se gli spessori di copriferro previsti nel **PD** sono o meno congruenti con la $\mathbf{V_N}$ stessa.

Le strutture in contatto con l'acqua di mare sono potenzialmente esposte al rischio di degrado promosso dal solfato di origine marina. Le strutture massive quali i blocchi di ancoraggio e le fondazioni delle torri sono potenzialmente esposte ad un doppio rischio di aggressione solfatica, uno di natura esogena (acqua di mare), l'altro di natura endogena per formazione di ettringite ritardata, allorquando la temperatura massima nel getto dovesse superare i 65°C.

Pertanto, essendo queste condizioni particolarmente critiche, l'**Assemblea prescrive** di effettuare prove sperimentali con determinazione dell'eventuale espansione per aggressione solfatica su provini di calcestruzzo maturati in condizioni adiabatiche e immersi in soluzioni simulanti l'acqua di mare, con successiva valutazione degli eventuali prodotti di neoformazione (ettringite ritardata colloidale) mediante analisi per diffrazione dei raggi X e analisi al microscopio elettronico a scansione mediante sonda EDAX. In relazione a questo aspetto si segnala, ai fini della corretta individuazione delle classi di esposizione ambientale, che i calcestruzzi destinati a strutture direttamente esposte all'acqua di mare ricadono, oltre che in classe XS3, anche in classe XA2.

Sempre in relazione alla durabilità, alla luce dell'estrema importanza delle opere in esame, l'**Assemblea prescrive** di effettuare prove di espansione potenziale agli alcali sui calcestruzzi caratterizzati dal contenuto massimo di sodio equivalente. In relazione a questo aspetto, un'attenzione particolare deve essere rivolta a quei conglomerati che per la rilevante resistenza a compressione (come, ad esempio, i calcestruzzi destinati ai primi 6m dei blocchi di fondazione delle torri) sono caratterizzati da un maggior contenuto di legante e potenzialmente, quindi, da un maggior contenuto di sodio equivalente.

Infine, per una caratterizzazione completa dei conglomerati cementizi, l'**Assemblea** prescrive di determinare:

- Lo sviluppo delle resistenze a compressione/trazione e del modulo elastico secante nel tempo (7, 28, 60, 90, 180 e 360 giorni).
- Il ritiro idraulico e la componente autogena del ritiro, nel tempo fino a 2 anni.
- La deformazione viscosa pura (escluso ritiro idraulico) e la deformazione viscosa in ambiente asciutto (U.R. 60%) fino a 2 anni.

Infine, in un'ottica di sostenibilità ambientale, l'**Assemblea prescrive** di procedere ad un'analisi **LCA** dei calcestruzzi finalizzata alla determinazione della quantità di CO_2 incorporata nelle fasi A1 (produzione ingredienti), A2 (trasporto verso l'impianto di betonaggio di cantiere) e A3 (produzione del calcestruzzo. Confronto della CO_2 incorporata con i valori di riferimento fissati dalla **UNI** 11104:2025 (ove possibile).

Tutte le prescrizioni, riportate nel presente paragrafo e riassunte nella Tabella Sinottica, sono da attuarsi nella **Fase B** del **PE**.

7.2.2. Gli acciai

7.2.2.1. Acciai per calcestruzzo armato

In alcuni documenti di progetto esaminati è presente il riferimento alla norma EN 10080, allo stato non armonizzata.

Pertanto, l'**Assemblea** prescrive in **Fase A**, che l'acciaio da impiegarsi nelle strutture di calcestruzzo armato deve essere qualificato secondo le procedure previste dalle **NTC2018** § 11.1 caso B e in relazione alle caratteristiche meccaniche e di duttilità, esclusivamente di qualità prevista dalle medesime norme (§ 11.3.2.1 e 11.3.2.2).

Inoltre, l'**Assemblea** prescrive il rispetto di quanto previsto al § 11.3.2.4 **NTC2018**, ossia, *"gli acciai B450C, di cui al § 11.3.2.1, possono essere impiegati in barre di diametro Ø compreso fra 6 e 40 mm"*.

7.2.2.2. Acciai per cavi da precompressione

In alcuni documenti di progetto esaminati per tale tipologia di acciai è indicato solo la tensione a carico massimo.

Pertanto, l'**Assemblea** prescrive in **Fase A**, che l'acciaio da impiegarsi per armature da precompressione debba essere qualificato secondo le procedure previste dalle **NTC2018** § 11.1 caso B e le caratteristiche meccaniche e di duttilità debbano essere non inferiori a quanto indicato al § 11.3.3.2 delle medesime norme.

7.2.2.3. Cavi PPWS (Prefabricated Parallel Wire Strand Preformed)

In alcuni documenti di progetto esaminati è presente il riferimento alla norma non armonizzata **UNI** EN 10264-1 e 10264-2.

Pertanto, l'**Assemblea** prescrive in **Fase A**, che i fili di diam. 5.4 mm costituenti i cavi debbano essere qualificati secondo le procedure previste **NTC2018** § 11.1 caso B e le caratteristiche meccaniche e di duttilità debbano essere non inferiori a quanto indicato al §11.3.3.2.

Anche per quanto riguarda le barre di ancoraggio dei cavi PPWS alla fondazione, l'**Assemblea** prescrive in **Fase A**, debbano essere qualificate secondo i casi B o C di cui al § 11.1 delle **NTC2018,** in quanto non disponibile una norma armonizzata.

7.2.2.4. Proprietà meccaniche degli acciai per carpenteria metallica

Nel seguito sono riportate considerazioni relative alla **variazione delle proprietà meccaniche al crescere dello spessore**.

Il tema è trattato, nell'ambito della **RP**, al Cap. 3.1.11, relativo all'adeguamento del **PE** alle nuove prescrizioni delle **NTC 2018** in merito a materiali e prodotti ad uso strutturale.

Il tema è altresì affrontato nel **PD** ai Capp. 1.3 del documento PS0075_F0_ITA (*Relazione Tecnica Specialistica – Impalcato*) e 3.1 del documento PS0076_F0_ITA (*Principi Generali della Progettazione dell'Impalcato Sospeso*), entrambi relativi agli acciai strutturali impiegati per la realizzazione dell'impalcato.

Nella **RP**, il **CG** prevede l'adozione di acciai trattati termomeccanicamente con elevata performance alle basse temperature (**ML**), di diverso grado (da **S355 ML** a **S460 ML**). Per tali acciai è ipotizzata la costanza delle proprietà di resistenza dei materiali per spessori fino a 110 mm, e ciò sulla base di garanzia del fabbricante.

L'aspetto menzionato è stato oggetto dell'Osservazione n.14 del **CS 2023**, nella quale si richiedeva di specificare i requisiti meccanici degli acciai da carpenteria in accordo alle normative vigenti, rammentando che nel **PD** non aggiornato alle **NTC 2018** erano stati riportati valori costanti delle tensioni di snervamento anche per spessori elevati.

Il **CS 2023** ha suggerito di:

i) adeguarsi ai gradi e ai valori di resistenza associati per ogni spessore di cui ai riferimenti vigenti in ambito italiano e Europeo (non superando l'S460, come da **NTC 2018**);
ii) impiegare acciai qualità superiore chiedendo parere al **CSLP** sull'uso di progettazione integrata da prove.

Il **CG**, in un primo momento ha preso atto di tale commento rimandando al **PE** la sua risoluzione, riservandosi di valutare gli oneri di una possibile progettazione integrata da prove, da addebitarsi a **SdM**.

A seguito di ciò, il **CS 2023** ha precisato come la necessità di prove di qualificazione non discendesse in ogni caso dall'aggiornamento normativo, ma fosse una conseguenza della deviazione assunta in fase di **PD** rispetto ai valori di resistenza raccomandati in norma, i quali si riducono di circa il 10% per spessori degli elementi superiori ai 40 mm ed entro gli 80 mm (cfr. Raccomandazione n.14, **CS 2023**).

Dall'analisi delle normative vigenti emerge chiaramente che le proprietà meccaniche degli acciai da assumere in sede di progettazione devono essere ridotte in funzione dello spessore degli elementi. A tale prescrizione si può derogare esclusivamente nell'ambito di una progettazione assistita da prove, opportunamente qualificata e documentata.

Per completezza, si osserva inoltre che le **NTC 2018** (cfr. Tab. 4.2.I) e l'EN 1993-1-1:2022 (cfr. Tab. 5.1) non forniscono esplicite indicazioni sulle proprietà meccaniche degli elementi in acciaio strutturale aventi spessore superiore a 80 mm. Tali indicazioni sono infatti reperibili unicamente nelle pertinenti norme di prodotto (ad esempio, la EN 10025-4 per gli acciai laminati termomeccanicamente).

Ciononostante, la documentazione progettuale prevede esplicitamente l'impiego di elementi caratterizzati da spessori superiori a 80 mm (fino a 82 mm nei traversi dell'impalcato, fino a 100 mm nelle piastre di ancoraggio dei pendini e fino a 150 mm nelle torri). Per tali elementi il progettista ha ritenuto di assumere invariabili le proprietà meccaniche dell'acciaio, senza che tale assunzione risulti, allo stato della documentazione esaminata, adeguatamente giustificata.

L'argomento è stato altresì oggetto di una specifica richiesta di chiarimento da parte dell'**Assemblea** (cfr. documento contenente le Risposte alle Richieste di Chiarimento), cui il **CG** ha dato riscontro confermando l'intenzione di non voler adottare, nella progettazione, valori ridotti della resistenza per spessori superiori a 40 mm, prevedendo a tal fine una qualificazione del materiale.

L'**Assemblea prescrive** che, in **Fase A**, siano assunte per gli acciai strutturali le proprietà meccaniche previste dalle **NTC 2018** e dalla EN 1993-1-1 in funzione dello spessore degli elementi. Qualora si intendano adottare proprietà meccaniche differenti da quelle previste dalle suddette norme, si dovrà procedere alla qualificazione del materiale nell'ambito di una progettazione assistita da prove, ai sensi delle indicazioni riportate nei §§ 4.2.7 e 11.3 delle **NTC**

2018 e nell'Annesso D della EN 1990:2023. Si prescrive altresì che, per tutti gli elementi caratterizzati da spessori non contemplati dalle **NTC 2018** e dalla EN 1993-1-1, si proceda in ogni caso alla qualificazione del materiale mediante prove. Il programma delle attività necessarie a tale qualificazione dovrà essere concordato con il Servizio Tecnico Centrale del **CSLP**

Nel seguito sono riportate considerazioni relative alla **tenacità degli acciai strutturali e alle proprietà meccaniche nella direzione dello spessore**.

Il tema è trattato, nell'ambito della **RP**, al Cap. 3.1., relativo all'adeguamento del **PE** alle nuove prescrizioni delle **NTC 2018** in merito a materiali e prodotti ad uso strutturale.

Lo stesso tema è altresì affrontato nel **PD** ai Capp. 1.3 del documento PS0075_F0_ITA (*Relazione Tecnica Specialistica – Impalcato*) e 3.1 del documento PS0076_F0_ITA (*Principi Generali della Progettazione dell'Impalcato Sospeso*), entrambi relativi agli acciai strutturali impiegati per la realizzazione dell'impalcato.

Il **CG** prevede l'adozione di acciai trattati termomeccanicamente (M) con elevata prestazione alle basse temperature (L – corrispondente ad una resilienza ≥ 40 J a –50 °C), di diverso grado (**S355 M**L, **S420 ML**, **S460 M**L – corrispondente al massimo grado consentito dalle **NTC 2018**).

Nonostante nel progetto siano previsti spessori molto elevati, non si riportano indicazioni o prescrizioni, né in termini di tenacità degli acciai impiegati, né in termini di proprietà del materiale nella direzione dello spessore, né in termini di prescrizioni di controlli a ultrasuoni (UT) e i relativi criteri di accettazione.

Tale aspetto non trova riscontro neppure nelle considerazioni del **CS 2023**, il quale si è limitato ad affrontare la variazione della resistenza al crescere dello spessore.

È noto che i requisiti di tenacità degli acciai strutturali sono finalizzati alla prevenzione del rischio di frattura fragile, mentre le proprietà del materiale legate allo spessore risultano determinanti per la prevenzione dei fenomeni di strappo lamellare. Tali aspetti sono disciplinati rispettivamente dalla EN 1993-1-10 e dalla EN 10164.

In particolare, la EN 1993-1-10:2025 fornisce criteri per prevenzione della frattura fragile dai quali derivano limiti indiretti sugli spessori ammissibili in funzione del grado e della qualità dell'acciaio, del livello di sollecitazione rispetto alla tensione di snervamento, della temperatura di riferimento e della classe di esecuzione EXC (cfr. Tab. 4.2, EN 1993-1-10:2025).

In relazione alla prevenzione dello strappo lamellare, la medesima norma, in coordinamento con la EN 10164, prevede una procedura di verifica della proprietà basata sul confronto tra domanda e capacità attraverso lo spessore ($Z_{Ed} \leq Z_{Rd}$), finalizzata alla definizione della classe di qualità Z richiesta (Z15, Z25, Z35) in relazione alla configurazione del dettaglio, al livello di vincolo e alle condizioni di sollecitazione locale.

In coerenza con quanto sopra riportato, la EN 1993-1-10 è finalizzata alla prevenzione della frattura fragile in presenza di stati tensionali di trazione. Ne consegue che, nelle zone prevalentemente compresse, il rischio di frattura fragile risulta generalmente ridotto e le relative prescrizioni assumono un ruolo meno stringente, pur non potendo essere escluse a priori.

Tuttavia, nelle strutture reali non è di fatto riscontrabile una condizione di "compressione pura", in quanto nelle lamiere coesistono tensioni residue da processi di saldatura strutturale anche estesi e ripetuti, effetti di flessione locale, azioni secondarie, distorsioni e concentrazioni di tensione in corrispondenza dei dettagli costruttivi. Ne deriva, anche in elementi globalmente compressi, la possibile presenza di stati locali di trazione tali da attivare il meccanismo di frattura fragile.

Tale aspetto assume particolare rilevanza in presenza di lamiere di elevato spessore, nelle quali risultano amplificati effetti di triassialità tensionale, vincolo plastico, tensioni residue e suscettibilità al tearing lamellare, oltre alla possibile presenza di discontinuità o difetti intrinseci del materiale.

Ne consegue che l'applicazione della EN 1993-1-10 richiede l'individuazione delle condizioni di carico di riferimento, non essendo le sole combinazioni **SLU** globali rappresentative degli stati tensionali localizzati rilevanti ai fini della verifica della frattura fragile. È pertanto necessario considerare stati tensionali rappresentativi delle condizioni di esercizio e dei dettagli costruttivi più gravosi, con particolare riferimento alle zone fortemente saldate, alle regioni di raccordo tra elementi e agli elementi di elevato spessore, nei quali le tensioni locali possono risultare significativamente più rilevanti di quelle nominali.

Inoltre, visto che per alcune lamiere di grosso spessore è prevista la piegatura e che, per elevati spessori, può comportare la perdita di omogeneità delle caratteristiche meccaniche in zona di piega occorre che tale aspetto sia adeguatamente considerato.

Si evidenzia che, essendo l'opera un ponte sia stradale che ferroviario, in analogia a quanto previsto in documentazione tecnica di riferimento adottata in ambito ferroviario nazionale, trovano applicazione alcune prescrizioni relative all'approvvigionamento dei materiali, tra le quali si riportano le più significative:

1. relativamente alla tenacità, è richiesto che la resilienza, per spessori superiori ai 50 mm, sia garantita anche a metà spessore e non solo in zona sub-superficiale, come indicato dalla serie delle EN 10025. Tale requisito ha riflessi anche sulla modalità di qualificazione dei procedimenti di saldatura, che richiede la verifica di resilienza anche al vertice del giunto e che in taluni casi può quindi coincidere con le porzioni centrali delle lamiere;
2. in merito alle proprietà nella direzione dello spessore, è tipicamente richiesto l'impiego di lamiere Z35 a partire dallo spessore di 25 mm per le membrature soggette a trazione nella direzione dello spessore. Per lamiere soggette a saldatura a partire dai 15 mm, è generalmente richiesto il controllo ultrasonoro per la ricerca di sfogliature e inclusioni;
3. non è generalmente previsto l'impiego di acciai trattati con laminazione termomeccanica (**ML**), privilegiandosi l'utilizzo di acciai normalizzati (**NL**), in funzione delle specifiche esigenze di tenacità e saldabilità.

Alla luce di quanto rilevato, l'**Assemblea prescrive** che, in **Fase A,** si proceda alla valutazione dei requisiti di tenacità e delle proprietà nella direzione dello spessore degli acciai strutturali impiegati, ai sensi delle **NTC 2018**, EN1993-1-10:2025 ed EN10164.

Inoltre, l'**Assemblea**, in **Fase A**, **raccomanda** di:

- valutare con particolare attenzione se le classi di esecuzione assunte (EXC3/EXC4) richiedano l'impiego di acciai con specifiche condizioni di fornitura finalizzate al miglioramento del comportamento nella direzione dello spessore;
- valutare opportunamente la temperatura di riferimento T_{Ed}, anche in relazione alla $\mathbf{V_N}$ dell'**Opera**, nonché lo stato tensionale significativamente rilevante ai fini della verifica di idoneità degli spessori impiegati, ai sensi della Tabella 4.2 della EN 1993-1-10;
- verificare la necessità di prescrivere acciai con proprietà migliorate nella direzione dello spessore ("quality Z") ai sensi della EN 10164, adottando la procedura di verifica basata sul confronto tra domanda e capacità attraverso lo spessore ($Z_{Ed} \leq Z_{Rd}$) prevista nella EN 1993-1-10 per la prevenzione del lamellar tearing, con particolare riferimento a elementi saldati di elevato spessore, dettagli fortemente vincolati e nodi soggetti a significative tensioni attraverso spessore generate da ritiro di saldatura, effetti triassiali o configurazioni geometriche complesse;
- adottare, per le principali membrature strutturali e per i dettagli critici caratterizzati da lamiere di grande spessore (indicativamente superiori a 30–40 mm), qualità almeno Z25, prevedendo preferibilmente qualità Z35 nei nodi maggiormente sollecitati, nelle regioni di attacco di elementi principali, nei collegamenti fortemente saldati e nelle zone dove siano attese elevate deformazioni vincolate o significative tensioni

normali al piano della lamiera. Particolare attenzione dovrà essere riservata alle zone di connessione tra elementi di elevato spessore e ai dettagli costruttivi complessi, nei quali il rischio di lamellar tearing risulta amplificato dalla combinazione di elevato spessore, forte apporto termico e stati tensionali tridimensionali;
- valutare infine l'eventuale impiego di acciai normalizzati (**NL**) in luogo degli acciai termomeccanici (**ML**), ove ritenuto opportuno in relazione alle specifiche condizioni di fabbricazione, saldabilità e tenacità richieste dal progetto, in analogia ai criteri generalmente adottati nella pratica ferroviaria nazionale (**RFI**).

7.2.2.5. Bulloni

In alcuni documenti di progetto esaminati è presente il riferimento alle norme ISO che si riferiscono esclusivamente alla standardizzazione dimensionale.

Pertanto, l'**Assemblea** prescrive in **Fase A**, che i bulloni devono essere qualificati in accordo alle norme europee armonizzate come previsto dalle **NTC2018** al § 11.3.4.6.

7.2.2.6. Corrosione degli acciai

L'obiettivo della protezione dalla corrosione del sistema di ritegno e sostegno, del sistema di sospensione principale e dell'impalcato corrente è assicurare la durabilità necessaria per raggiungere la $\mathbf{V_N}$ di almeno 200 anni (PG0024_F0_ITA, pag. 20). A tale scopo, nei *Fondamenti*, è indicata la protezione di tutte le superfici delle carpenterie metalliche, interne ed esterne, e l'adozione di un ulteriore sistema di protezione basato sulla deumidificazione dell'aria interna ai cassoni chiusi e degli spazi tra i fili dei cavi principali, precisando la richiesta di indicare con esattezza i cicli di manutenzione programmata (PG0024_F0_ITA pag. 21).

Di conseguenza, le soluzioni adottate nel progetto sono articolate in:

1. applicazione sulle superfici esterne di un rivestimento protettivo (ciclo di pitturazione) a durabilità molto alta, per la classe di esposizione C5, secondo la norma **UNI** EN 12944 (parti 2 e 5);
2. applicazione sulle superfici interne di un ciclo di pitturazione di durabilità molto alta, per la classe di esposizione C4 attribuita all'ambiente interno (norma **UNI** EN 12944 parti 2 e 5);
3. impiego di fili zincati a caldo per i cavi primari e per l'avvolgimento utilizzato per la compattazione del cavo;
4. applicazione di una guaina polimerica impermeabilizzante sopra l'avvolgimento di compattazione, con funzione di barriera fisica per prevenire l'accesso di umidità e salinità dall'esterno e di confinamento dello spazio interno al cavo per permettere la ricircolazione dell'area proveniente dal sistema di deumidificazione;
5. protezione attiva mediante circolazione continua di aria deumidificata all'interno dei cassoni chiusi e nelle intercapedini interconnesse dei cavi principali;
6. controllo del mantenimento di condizioni idonee alla protezione nei cavi principali e rilevazione di eventuali difetti presenti nella guaina esterna mediante monitoraggio della pressione e dei parametri ambientali dell'aria circolante.

I punti della **RP** riguardanti il sistema di protezione passiva sono indicati, suddivisi per argomento, con il riferimento necessario per individuarli nel documento:

- sistema di deumidificazione: § 3.5.2.4.2.7.4 Sistema di deumidificazione, pag.205; scheda N. P.ET-009 Sistema di deumidificazione - Prescrizione da sviluppare in sede di progettazione esecutiva;
- valutazione della classe di esposizione: § 3.5.1.5.3 Trattamenti protettivi, pagine 186 e 187;
- rivestimenti protettivi: §3.5.1.5 Esecuzione delle strutture metalliche e trattamenti protettivi - OdA (pag. 182); §3.5.1.5.3 Trattamenti protettivi (pag.186).

La **RP** riporta considerazioni parziali attinenti unicamente al sistema di protezione attivo e la scelta dei cicli di pitturazione.

Le uniche considerazioni sul sistema di protezione attiva mediante deumidificazione concernono l'implementazione di elementi volti a un potenziamento del sistema, al suo controllo, alla riduzione dei costi operativi e di manutenzione, all'aumento della sicurezza del personale di manutenzione.

L'individuazione della classe di esposizione, propedeutica alla scelta del rivestimento protettivo, è affrontata in relazione all'aggiornamento della norma **UNI** EN 12944, pertanto trattata più in relazione alle modificazioni intervenute che all'indicazione esplicita del ciclo protettivo. Si dichiara l'adozione di una classe di corrosività C4 per gli ambienti interni e di una classe C5 per l'esterno, non ritenendo di adottare la classe CX (off-shore) per l'**Opera** stante la distanza delle componenti dalla superficie marina (60 m l'impalcato). In base a queste considerazioni non sono assunte variazioni del **PE** rispetto a quanto previsto nel **PD**.

In merito alla scelta del ciclo protettivo, la **RP** (a pag.182) rimanda la descrizione di dettaglio ai Capitolati tecnici per la costruzione - Opere in Carpenteria metallica e trattamenti protettivi, aggiornamento a sua volta dell'omonima specifica contrattuale CGC.G.03.02 datata 22/7/2004. In relazione alla revisione del 2018 della norma **UNI** EN 12944 e alla introduzione della categoria di durabilità "vh" definita come "superiore a 25 anni", afferma però che saranno adottati cicli maggiormente performanti in termini di durata, con lo scopo di allungare la vita utile dei trattamenti e ridurre gli oneri di manutenzione. Non si indica il ciclo protettivo, rimandando di fatto la sua definizione al **PE** e a un'attività di qualificazione, prevista dalla normativa, per dimostrare che il ciclo prescelto sia atto a garantire la prestazione di durabilità minima richiesta.

Occorre precisare che sulla presente tematica non è stata mossa alcuna raccomandazione, prescrizione o osservazione né dal **CS 2011**, né dal **CS 2023**.

La **RP** non descrive il sistema complessivo di protezione dalla corrosione, limitandosi sostanzialmente alle sole prescrizioni da sviluppare in sede di **PE**. Le considerazioni sulle soluzioni adottate per la protezione dalla corrosione sono quindi da ritenersi rimandate a documenti specifici. Tali documenti non sono indicati nella **RP**.

Sulla protezione dalla corrosione, espresso un sincero apprezzamento per l'accuratezza del lavoro di progettazione, si rilevano comunque argomenti che necessitano di ulteriori considerazioni e approfondimenti, e precisamente:

- il sistema di deumidificazione dell'aria e la sua efficacia nel prevenire la corrosione;
- la definizione dei rivestimenti protettivi delle superfici interne ed esterne dell'impalcato e delle torri, dei relativi cicli di manutenzione periodica e delle modalità di riparazione e rifacimento dei rivestimenti (preparazione superficiale e cicli specifici per tali operazioni);
- la definizione delle classi di esposizione per le parti in acciaio;
- la verifica dell'accessibilità delle superfici dell'impalcato all'ispezione e alle operazioni di preparazione superficiale e applicazione dei rivestimenti, resa necessaria per la presenza di zone interne chiuse o comunque ristrette rispetto all'ingombro delle attrezzature da utilizzare;
- la protezione temporanea dalla corrosione durante le fasi costruttive, per la prevenzione della corrosione sotto sforzo sui fili ad alta resistenza dei cavi principali e per limitare la corrosione precoce dello strato protettivo di zinco in caso di ristagno di acqua tra i fili stessi, prima dell'attivazione del sistema finale di deumidificazione e dell'applicazione della guaina impermeabilizzante;
- le procedure per evitare la contaminazione della superficie dei fili dei cavi principali durante le fasi costruttive da parte di sali igroscopici di origine marina, in grado di promuovere la condensazione chimica anche ai livelli minimi di umidità garantiti dal sistema di deumidificazione.

A questi argomenti si aggiunge un ulteriore aspetto di primaria importanza di cui non si è trovato traccia, né nella definizione del sistema di protezione, né nella verifica di robustezza strutturale dell'opera, ovvero la capacità della struttura di resistere a limitati fenomeni di corrosione su aree estese o localizzate, senza alterazioni rilevanti rispetto alla configurazione di progetto.

Non sono state rintracciate considerazioni o indicazioni relative all'adozione o meno di un sovraspessore di corrosione che, in caso di manutenzione tardiva, garantisca la sezione minima dell'acciaio prevista in fase di progettazione, mantenendo inalterati i coefficienti di sicurezza. Non sono state rintracciate valutazioni in merito alla massima perdita di spessore ammissibile in caso di danneggiamento indotto dalla corrosione, fermo restante gli spessori adottati per il progetto.

La rilevanza di tale argomento è nella durata eccezionale richiesta per la V_N delle parti in oggetto, ben superiore a qualsiasi esperienza oggi disponibile sui sistemi di protezione dalla corrosione previsti nel progetto, siano essi attivi (deumidificazione) o passivi (rivestimenti). Il ricorso a un approccio cautelativo e ridondante è certamente da auspicare.

L'adozione di un adeguato sovraspessore per le parti esposte all'atmosfera esterna è consigliabile, vista l'eccezionale durata della **V_N** dell'opera e l'incertezza dell'estrapolazione sul lungo periodo dell'affidabilità dei sistemi protettivi adottati, è auspicabile, anche nel caso di un sistema di gestione della manutenzione basato sulla rilevazione continua dello stato di corrosione. Tale sovraspessore ridurrebbe gli effetti di eventuali periodi di mancato controllo, ispezione, manutenzione e riparazione, interruzioni che non possono essere esclusi nell'arco di una vita di tale estensione.

Il sovraspessore dovrebbe essere dimensionato in relazione alla frequenza dell'ispezione dell'intera superficie, dei cicli di manutenzione previsti (conformi alla durabilità dei rivestimenti) e della velocità di corrosione (definita dalla classe di corrosività dell'esposizione).

Per quanto concerne il sistema di protezione attivo mediante deumidificazione, la **RP** non riporta considerazioni inerenti alla possibilità di estendere ai cavi principali di grande diametro del ponte oggetto della presente analisi i criteri di gestione adottati per la protezione di altre opere analoghe, ma con cavi di diametro ben inferiore. Tali criteri devono assicurare la completa assenza di fenomeni di condensazione nelle intercapedini tra i fili nei punti freddi dei cavi durante le escursioni termiche giornaliere. Neppure è indicata la durata delle interruzioni per la manutenzione, riparazione, sostituzione e aggiornamento degli impianti di trattamento dell'aria, caratterizzati da una vita operativa intrinseca di molto inferiore alla durata della protezione dalla corrosione richiesta per l'**Opera**.

Nella scelta della classe di corrosività non si accenna ad alcuna procedura di valutazione eseguita in base alla velocità di corrosione attesa, conforme alla normativa **UNI** EN ISO 9223, **UNI** EN ISO 9224 e **UNI** EN ISO 9225. La classe di corrosività C4 attribuita agli ambienti interni è normalmente prevista per l'esposizione esterna e solo per particolari atmosfere interne senza alcun controllo climatico.

Nella **RP** non vi sono motivazioni espresse riguardo tale attribuzione e cioè se essa è stata adottata consapevolmente, per considerare cicli a maggiore prestazione al fine di una maggiore ridondanza del sistema di protezione, o se la scelta è stata presa a fronte di situazioni inespresse che possono alterare le condizioni di bassa o bassissima corrosività create dal sistema di deumidificazione.

Per le superfici esterne, l'individuazione della classe di corrosività C5 invece di CX dovrebbe essere supportata da una valutazione specifica della velocità di corrosione attesa per il primo anno, sulla base di misure sperimentali o della stima a partire dai parametri ambientali, d'inquinamento e di contaminazione dell'atmosfera. La denominazione CX (offshore) riportata nella relazione non rappresenta una classe di corrosività da intendersi "esclusiva per le strutture offshore", ma è una dizione utilizzata nella parte 9 della normativa **UNI** EN ISO 12944 solo per individuare cicli protettivi derivati dall'esperienza in ambito offshore per condizioni di corrosività atmosferica estrema rientranti nella classe CX, come chiarito nella parte 1 di tale norma.

La classe CX è in ogni caso attribuita in relazione alla velocità di corrosione attesa, indipendentemente dal fatto che la struttura rientri nella definizione di struttura offshore o meno, ed è indubbio che le condizioni ambientali cui sarà sottoposto il ponte possano essere potenzialmente pertinenti all'esposizione atmosferica più estrema, trattandosi

di un'opera posta a soli 60 m dalla superficie del mare, esposta a venti incanalati nello stretto, provenienti sempre dal mare, in grado pertanto di trasportare l'aerosol marino. In assenza di valutazioni e rilevazioni specifiche non è possibile escludere a priori la classe CX e la necessità di ricorrere ai cicli protettivi durevoli negli ambienti offshore.

L'**Assemblea prescrive**, in **Fase B** del **PE**, ove non diversamente specificato:

- un rilievo sperimentale della classe di esposizione relativa alla superficie esterna dell'**Opera** mediante esposizione di provini, in accordo alle procedure previste nella normativa **UNI** EN ISO 9225 (**Fase A**);
- una verifica di accessibilità alla superficie interna dei cassoni chiusi riguardo l'ingombro delle attrezzature necessarie per la preparazione delle superfici e per l'applicazione dei rivestimenti, in conformità alla **UNI** EN 12944;
- una verifica della robustezza dell'**Opera** in relazione a moderati fenomeni di corrosione sulle superfici esposte all'azione ambientale esterna, su aree localizzate o estese, in alternativa, adozione di un adeguato sovraspessore di corrosione;
- la definizione dei cicli di pitturazione a durabilità molto elevata individuati per la protezione delle superfici esterne e interne dei cassoni chiusi dell'impalcato corrente e delle torri, con indicazione del ciclo di manutenzione programmata e dei cicli protettivi per la riparazione e rifacimento in opera;
- la definizione delle procedure relative alla verifica di idoneità dei cicli di pitturazione individuati e procedure di qualificazione degli stessi in conformità alla normativa **UNI** EN ISO 12944.

7.3. L'impatto ambientale sui materiali

Nel seguito viene esaminato il tema dell'impatto ambientale dei materiali da costruzione, con particolare riferimento alla carbon footprint e alle emissioni incorporate nei principali materiali e processi realizzativi. La questione non riguarda l'introduzione di un ulteriore adempimento formale, ma la necessità di rendere tracciabile il peso ambientale delle scelte materiche più rilevanti lungo il ciclo di vita dell'opera.

Nella **RP** il tema si colloca principalmente nel cap. 3.4, relativo all'adeguamento alla compatibilità ambientale, e nel cap. 3.5, relativo agli ulteriori adeguamenti progettuali connessi all'evoluzione tecnologica e all'utilizzo dei materiali da costruzione. La trattazione considera diffusamente prestazioni meccaniche, durabilità, fatica, trattamenti protettivi, pavimentazioni e componenti speciali; risulta tuttavia opportuno rendere più esplicita la valutazione quantitativa dell'impatto ambientale dei materiali.

Non si ritiene necessario prescrivere soluzioni materiche predefinite. Appare invece utile che, in sede di **PE**, le principali scelte relative a materiali e trattamenti siano accompagnate da una valutazione ambientale comparativa, quando esistano alternative tecnicamente ammissibili. Tale valutazione dovrebbe considerare, oltre alle prestazioni strutturali e alla durabilità, anche le emissioni associate a produzione, trasporto, posa in opera, manutenzione, sostituzione e fine vita.

L'approfondimento dovrebbe riguardare prioritariamente le categorie di materiali e componenti più significative per quantità, criticità o frequenza di sostituzione: acciai da carpenteria, acciai armonici per cavi e pendini, calcestruzzi, materiali per fondazioni e consolidamenti, pavimentazioni, trattamenti protettivi, sistemi di impermeabilizzazione e componenti impiantistiche rilevanti. La valutazione ambientale dovrà essere coerente con la logica di ciclo di vita dell'opera.

Per quanto sopra esposto, l'**Assemblea** ritiene che il **PE** debba includere una valutazione sintetica e tracciabile dell'impatto ambientale delle principali categorie di materiali e componenti, con particolare riferimento alla carbon footprint, alle emissioni incorporate, alla durabilità e alla manutenzione attesa.

L'**Assemblea raccomanda**, in **Fase B** del **PE**, che tale valutazione non sia impostata come mero inventario dei materiali, ma come supporto alle decisioni progettuali, in modo da integrare prestazione tecnica, durabilità, manutenibilità e impatto ambientale complessivo dell'opera.

Pertanto, l'**Assemblea** ritiene che sia necessario individuare materiali, componenti e lavorazioni a maggiore impatto ambientale e valutarne l'impronta di carbonio, considerando produzione, approvvigionamento, trasporto, posa in opera e principali esigenze manutentive lungo la vita utile dell'opera.

7.4. Le fondazioni delle torri e i blocchi di ancoraggio

Dalla lettura della documentazione fornita agli atti dal **CG**, oltre che dall'esito degli incontri ufficiali con i progettisti, sono emersi cinque **A**spetti **G**eotecnici (nel seguito **AG**) ritenuti prioritari, di cui tre, già evidenziati nel GER328 e nel **CS 2023**, che sono oggetto di Prescrizione e/o raccomandazione. In particolare, gli aspetti rilevati e descritti nel seguito, sono relativi al Modello Geotecnico (**AG1**), all'azione sismica (**AG2**), al fenomeno della Liquefazione (**AG3**), alle analisi sulle fondazioni delle torri e sui blocchi di ancoraggio (**AG4**), ai Jet grouting (**AG5**).

7.4.1. Modelli Geotecnici (AG1)

I documenti di progetto rivelano come la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo, necessaria per il **PD**, sia stata basata su un'ampia campagna di sondaggi, prove in sito e di laboratorio, lato Calabria e lato Sicilia, che è stata sviluppata tenendo conto del carattere di eccezionalità dell'opera in relazione ai requisiti che la domanda delle fondazioni dell'attraversamento comporta in termini di sicurezza e di spostamenti, anche a causa dell'elevata sismicità dello Stretto di Messina.

Nel programmare le indagini geotecniche, il **CG** ha evidenziato e tenuto in conto del fatto che le fondazioni delle due torri, attigue alle sponde dello Stretto, poggiando su depositi saturi a grana grossa appartenenti all'Olocene, possano essere soggette a fenomeni di liquefazione e di mobilità ciclica in presenza di eventi sismici di magnitudo elevata e, in considerazione di ciò, oltre ad attività in sito di tipo convenzionale, ha predisposto l'esecuzione di prove in sito e di laboratorio finalizzate all'acquisizione dei parametri geotecnici di progetto per la modellazione del comportamento dei terreni a grana grossa in presenza di eventi sismici di elevata magnitudo. In particolare, sono state eseguite prove di laboratorio su campioni indisturbati di grandi dimensioni, prelevati dai terreni a grana grossa con la tecnica del congelamento, per acquisire parametri di progetto dei terreni ghiaioso-sabbiosi in presenza di eventi sismici. Sono state inoltre eseguite prove in situ ai fini della caratterizzazione geotecnica in condizioni sismiche (cross-hole, prove penetrometriche dinamiche con il campionatore di grandi dimensioni (LPT) e misura dell'energia trasmessa alle aste durante l'infissione).

7.4.1.1. Prescrizioni e Raccomandazioni precedenti

Tali aspetti sono già stati oggetto di indicazioni sia da parte del **CS 2011** (#26 del GER328) sia da parte del **PMC** (#18 del GER328), entrambe con priorità 3, sia da parte del **CS 2023** che indica una serie di raccomandazioni di dettaglio sulle attività da sviluppare (dalla #6 al #12 del **CS 2023**).

Per quanto attiene alle prime due, a seguire è riportata la Tabella 7-2 estrapolata dal GER328 #18 e #26.

18 ***PMC***	*Sono state previste fin dalla prima loro emissione, piani di indagini geognostiche integrative per il Progetto Esecutivo. Durante l'iter approvativo dei piani d'indagine alcune attività previste per il Progetto Esecutivo sono state anticipate al Progetto Definitivo su richiesta del PMC al fine di avere un modello geologico geotecnico più affidabile.* *Successivamente durante l'esecuzione delle indagini, il CG ha avuto difficoltà di accesso ai luoghi sia di natura amministrativa (accesso in proprietà privata) che di natura fisica, con conseguente non esecuzione di alcune indagini.*

	Di conseguenza le indagini per il Progetto Esecutivo sono state incrementate per coprire tutte le opere d'arte previste e per intensificarle nei punti geotecnicamente più critici, potendo disporre dei decreti di esproprio e di mezzi di cantiere per la realizzazione di piste provvisorie per raggiungere i siti. *Pertanto le attività di indagine geognostica non si configurano come delle inadempienze del CG che possono essere rinviate al Progetto Esecutivo, ma piuttosto come una prevista impostazione delle attività per una ottimizzazione delle stesse.*
26 **CS 2011**	*Per quanto riguarda i depositi in "Conglomerato di Pezzo", inteso come agglomerati di materiali sabbiosi debolmente cementati e comunque addensati, essi sono da esplorare mediante indagini geofisiche e la loro caratterizzazione geotecnica deve essere supportata da una serie di sperimentazioni in laboratorio che comprendano prove di imbibizione, prove di compressione non confinata, prove di resistenza al taglio drenata, misure di deformabilità, determinazione del rapporto di smorzamento.*

Tabella 7-2.- Prescrizioni/Raccomandazioni del **PMC** e del **CS 2011**

A queste raccomandazioni Eurolink risponde, per #18 "*La campagna di indagini geognostica sarà completata in fase di PE*" e per #26 "*Le indagini geofisiche sono state eseguite; le prove di laboratorio, tutt'ora non eseguite, dovranno essere condotte durante il P.E.*".

Inoltre, nella **RP** si dichiara:

"*Nel piano indagini per il PE (allegato al PD) le indagini sono state così suddivise:*

- *Una prima parte di indagini, da considerarsi "prescrittive", definite in base alle prescrizioni da Istruttoria PMC (cfr. verbale di riunione del 24 febbraio 2011, fra Stretto di Messina, Parsons, Rocksoil e Contraente Generale).*
- *Una seconda parte di indagini, definite da Eurolink per la risoluzione di una serie di "open items" legate alle osservazioni/istruttorie/raccomandazioni del Comitato Scientifico, di RINA e di PMC, o ancora, legate ad un adeguamento alla normativa allora cogente, NTC 2008 (oggi si dovrà leggere NTC 2018).*

L'ubicazione delle indagini deve ritenersi indicativa in funzione delle accessibilità effettive ed è riportata nei seguenti elaborati:

[...]

Il piano indagini prevede una serie di sondaggi per l'opera di attraversamento e per i collegamenti a terra, Sicilia e Calabria. Le indagini previste constano essenzialmente di sondaggi da realizzare a carotaggio per la verifica ed il riscontro di alcune criticità, nonché l'approfondimento geologico-stratigrafico di alcuni settori.

Di seguito si riportano i principali "items" per i quali erano state definite le indagini da demandare alla fase di Progetto Esecutivo:

- *Sondaggi in corrispondenza di alcuni imbocchi delle gallerie e/o dei viadotti/rilevati/trincee, per quanto riguarda i collegamenti a terra.*
- *Sondaggi per l'approfondimento di contatti geologico-stratigrafici.*
- *Sondaggi finalizzati ad un approfondimento della caratterizzazione geotecnica.*
- *Sondaggi per l'approfondimento dei siti di deposito.*

Per ciascuna verticale di indagine è stata definita la sigla identificativa, la profondità, l'ubicazione nelle planimetrie dedicate. In corso di realizzazione, previa verifica dell'accessibilità al sito di indagine, saranno meglio definite il numero e la tipologia di prove in foro e di laboratorio.

Le ubicazioni in planimetria ovviamente sono da ritenersi indicative in quanto per tutte le posizioni dovrà essere verificata l'accessibilità ed eventualmente le ubicazioni subiranno modesti spostamenti.

Inoltre, nella fase preliminare di studio per la redazione del PE il piano indagini già predisposto potrà essere integrato da indagini di approfondimento indispensabili per la progettazione di PE:

- *Indagini per adeguamento alla normativa NTC 2018 per quanto riguarda i collegamenti a terra, Calabria e Sicilia, costituiti dai viadotti, sia il Viadotto Pantano che i viadotti minori. Per i viadotti minori si citano: Lato Calabria – Viadotti Campanella, Zagarella, Piria, Polistena Prestianni, Laticogna, Gibia, Immacolata, Solaro, viadotti di accesso ai rami A, B, C e D del ponte; Lato Sicilia – viadotti rampe 1, 3, 4 e 5, viadotto Pace, viadotto Pantano, Ponte Stazione Annunziata.*

- *Indagini di approfondimento per gli studi idrogeologici, per una integrazione della rete piezometrica e per gli approfondimenti da predisporre per l'aggiornamento del modello idrogeologico.*
- *Indagini di approfondimento per la posa in opera di strumentazione geotecnica in corrispondenza dei dissesti (inclinometri).*
- *Indagini di approfondimento in corrispondenza delle zone di imbocco delle gallerie, delle zone di contatto litologico e/o faglie lungo il tracciato delle opere in sotterraneo, lungo il tracciato delle tratte all'aperto (Viadotti, rilevati e trincee), laddove le verticali già previste non fossero sufficientemente rappresentative o laddove a seguito della nuova normativa si rendessero necessarie ulteriori verticali.*
- *Acquisizione di dati di interferometria satellitare (AD_InSAR) per il confronto e la verifica dell'evoluzione delle caratteristiche morfologiche e geomorfologiche del territorio, in particolare quest'ultima attività sarà importante per il monitoraggio geotecnico delle zone interessata da potenziali e/o conclamati dissesti.*

Queste ulteriori indagini sono tuttora in fase di definizione in base ad un esame di dettaglio di tutta la documentazione del PD e delle possibili interferenze presenti sul territorio.

Infine, eventuali esigenze di attività di monitoraggio geotecnico integrative verranno definite nella fase di ante-operam del progetto esecutivo, a seguito degli approfondimenti di indagine sopra descritti. Il monitoraggio geotecnico integrativo sarà costituito da: piezometri, inclinometri, capisaldi topografiche, interferometria satellitare (AD_InSAR).

In conclusione, le motivazioni delle indagini integrative rispetto a quelle già predisposte nella fase di PD saranno legate alle seguenti principali tematiche:

- *Adeguamento della normativa (da NTC 2008 a NTC 2018) e saranno determinanti per gli approfondimenti geotecnici, in particolare in corrispondenza dei viadotti.*
- *Approfondimento in corrispondenza delle zone di dissesto per un controllo ed una verifica della profondità di terreni potenzialmente in frana e per l'installazione di strumentazione geotecnica (inclinometri) per il controllo d il monitoraggio dell'evoluzione dei fenomeni.*
- *Approfondimento delle acque sotterranee in particolare per implementare l'installazione della rete piezometrica; i piezometri installati nella precedente fase di PD dovranno essere re-integrati laddove non più utilizzabili e/o integrati per poter procedere ad un aggiornamento del modello idrogeologico in corrispondenza dei siti coinvolti dalle opere a progetto.*

Le raccomandazioni #18 e #26 del GER328 sono, quindi, richieste di integrazione e approfondimento delle indagini geognostiche e di integrazione di prove in sito e di laboratorio, sia lato Sicilia che lato Calabria, con particolare riferimento al Conglomerato di Pezzo per il quale è richiesto un particolare approfondimento di conoscenza delle caratteristiche meccaniche e idrauliche.

Tali raccomandazioni sono state riprese e particolarizzate dal **CS 2023** sono riportate in Tabella 7-3.

6	*pianificare ed eseguire, ai fini della progettazione geotecnica, ulteriori prove triassiali su provini indisturbati prelevati alle diverse profondità di interesse, e testati a valori di confinamento che ricoprano gli intervalli di tensioni efficaci rappresentativi di tutte le condizioni di carico utilizzate nelle verifiche e nelle analisi;*
7	*pianificare ed eseguire prove triassiali programmate con idonei percorsi di carico, i cui esiti potranno essere utilizzati anche per una migliore quantificazione dello stato tensionale iniziale nella modellazione ad EF, superando le assunzioni sulle storie di carico pregresse sui due versanti;*
8	*Quantificare sperimentalmente l'angolo di dilatanza dei mezzi granulari coinvolti e della rigidezza in tutto il campo di tensioni efficaci attese, per quest'ultima anche attraverso prove di compressione 1D;*
9	*verificare le prestazioni dei modelli costitutivi elasto-plastici impiegati nelle simulazioni ad EF attraverso la loro capacità di riprodurre la risposta dei materiali osservata nelle prove triassiali (anche in estensione) e prove edometriche, ponendo attenzione anche al possibile softening;*
10	*quantificare sperimentalmente i parametri meccanici di interfaccia tra terreni e strutture, da utilizzare sia nelle modellazioni agli EF, sia nell'analisi degli spostamenti dei blocchi di ancoraggio;*
11	*quantificare sperimentalmente le proprietà meccaniche dei terreni trattati con jet-grouting utilizzate nelle modellazioni agli EF e definire i criteri atti a stabilire l'estensione delle zone soggette a trattamento;*

12	*svolgere analisi parametriche che considerino range significativi dei parametri geotecnici e geometrici, ai fini della valutazione degli spostamenti dei blocchi di ancoraggio con il metodo di Newmark;*

Tabella 7-3.- Raccomandazioni del **CS 2023**

7.4.1.2. Prescrizioni dell'Assemblea

Tuttavia, in relazione alle risultanze e al passaggio al livello di progettazione esecutiva, appare necessario un ulteriore adeguamento ed approfondimento del piano delle indagini, finalizzato a definire con la massima accuratezza il profilo stratigrafico, le caratteristiche meccaniche, idrauliche e sismiche dei terreni interessati da tutte le opere previste. In particolare, tale approfondimento dovrà riguardare le fondazioni delle torri, i blocchi di ancoraggio, le opere terminali, le fondazioni del viadotto Pantano, quelle dei viadotti, delle gallerie e delle intersezioni delle opere di collegamento, sia sul lato Sicilia sia sul lato Calabria. L'approfondimento delle indagini dovrà tenere conto anche della considerevole evoluzione tecnologica e delle conoscenze che oggi rendono usuali indagini che all'epoca della redazione del **PP** e **PD** venivano considerate avanzate (specie in relazione alle indagini sismiche).

Per quanto concerne la caratterizzazione idraulica dei terreni, il programma delle indagini dovrà prevedere anche specifiche prove in sito, quali test di pozzo e installazione di piezometri, al fine di caratterizzare in modo adeguato il regime delle pressioni neutre, la permeabilità e, più in generale, il comportamento idrogeologico dei terreni coinvolti anche in relazione a potenziali fenomeni di liquefazione.

La pianificazione delle ulteriori indagini dovrà inoltre essere sviluppata non soltanto con finalità descrittive e conoscitive del sottosuolo sia dal punto di vista dei contatti stratigrafici che della sua eterogeneità nei volumi significativi interessati dalle opere di fondazione, ma anche con esplicito riferimento alle esigenze di modellazione del comportamento dei terreni, richieste dalle analisi e verifiche progettuali avanzate che si rendono necessarie ed è previsto debbano essere sviluppate per le opere geotecniche in progetto. Analisi e verifiche progettuali che dovranno essere coerenti con le attuali potenzialità degli strumenti di calcolo e con il significativo progresso delle conoscenze scientifiche e tecniche maturato rispetto al periodo storico in cui venne redatto il **PD.** Le integrazioni di indagini dovranno prevedere l'adeguamento alle **NTC 2018**, come già recepito dalla **RP**, cui deve essere dato seguito in fase di elaborazione dello stesso **PE**.

Tutte le prescrizioni, riportate nel presente paragrafo e riassunte nella Tabella Sinottica, sono da attuarsi nella **Fase B** del **PE**.

7.4.2. Sismica (AG2)

Gli aspetti legati alle analisi sismiche ed all'interazione dinamica terreno-struttura sono oggetto di indicazioni sia da parte del **ICD** che da parte del **CS 2011** (#14 con priorità 3 e #28 con priorità 2) come riportato in Tabella 7-4, nonché una serie di raccomandazioni di dettaglio sulle attività da sviluppare (dal #2 al #4)c formulate da parte del **CS 2023** e riportate in Tabella 7-5.

.

14 ***ICD***	*Si raccomanda che nell'ambito degli sviluppi del Progetto Esecutivo vengano eseguite:* *Sviluppare ulteriori storie temporali di scuotimento sismico basate sui metodi che costituiscono lo stato dell'arte al momento dello sviluppo del Progetto Esecutivo per le analisi sismiche e per l'interazione suolo-struttura.*
28 CS 2011	*Al fine di attuare quanto sopra esposto appare necessario predisporre misure ripetute nel tempo e costantemente aggiornate che seguano le varie fasi di avanzamento della progettazione e realizzazione dell'opera e i cui risultati possano essere tenuti in conto nel Progetto Definitivo ed Esecutivo. Tale monitoraggio delle deformazioni deve avvenire a tre scale indipendenti, in quanto tali deformazioni sono dovute a processi diversi e al più concomitanti, ma che per loro natura possono apparire sovrapposti nei loro effetti.* *a. La scala delle strutture in corso di realizzazione, che è dominata da fenomeni interni alle strutture stesse o dalle interazioni suolo-struttura.*

	b. La scala delle strutture tettoniche individuali dominanti nella zona, che riflette sforzi tettonici regionali discretizzati dall'esistenza di faglie e altre disomogeneità della crosta e i relativi cicli di accumulo e scarico di energia elastica che è pertinente all'elaborazione del Progetto Definitivo e del Progetto Esecutivo perché è a questa scala che potrebbero verificarsi movimenti differenziali tra i due lati dell'attraversamento. *c. La scala delle deformazioni regionali e sub-regionali, che discendono direttamente dai fenomeni geodinamici a grande scala (tettonica a placche, sollevamenti a scala regionale) che è pertinente alla Progettazione Definitiva ed Esecutiva solo nella misura in cui illustra i processi geodinamici di contorno all'Opera di attraversamento. Appare quindi opportuno ripetere misure GPS con una rete e con tecniche migliorate per controllare la tendenza all'estensione della zona assiale dello Stretto anche in assenza di terremoti.*

Tabella 7-4.- Prescrizioni/Raccomandazioni del **ICD** e del **CS 2011**

2	*Effettuare analisi sismiche al passo dell'Opera di Attraversamento utilizzando anche storie temporali generate mediante opportuni modelli physics-based di ultima generazione per considerare il non-sincronismo del moto sismico, applicando coefficienti di combinazione unitari per le tre componenti del moto sismico;*
3	*completare i dati geo-sismotettonici e il quadro di riferimento, ampliando la relativa bibliografia, considerando, tra l'altro, anche il più rece nte modello europeo di pericolosità sismica (ESHM20);*
4	*fare riferimento agli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Gruppo di lavoro Ms 2008), per l'utilizzo degli studi di microzonazione sismica disponibili;*

Tabella 7-5.- Raccomandazioni del **CS 2023**

SdM conferma che questi aspetti sono stati considerati solo in parte, prevedendo successivi approfondimenti mediante analisi avanzate di interazione dinamica tridimensionale e modellazioni **FEM** non lineari.

7.4.2.1. Prescrizioni dell'Assemblea

L'importanza e la complessità dell'**Opera** evidenzia la necessità che le verifiche sismiche siano sviluppate secondo un approccio prestazionale avanzato, nel quale la sicurezza non sia limitata al controllo della resistenza ultima degli elementi strutturali e geotecnici, ma comprenda anche la valutazione della domanda deformativa indotta dal sisma e della capacità del sistema terreno-struttura di sostenere spostamenti e rotazioni compatibili con i livelli prestazionali richiesti.

Ha particolare rilevanza la valutazione degli effetti della risposta sismica locale, della interazione terreno-struttura e della variabilità spaziale del moto sismico nei diversi punti di vincolo e appoggio dell'**Opera**, aspetti che possono modificare significativamente la domanda sismica e le azioni di progetto rispetto a schematizzazioni semplificate.

L'analisi del comportamento dinamico dovrà essere sviluppata mediante modellazioni tridimensionali avanzate, anche nei modelli costitutivi adottati, comprensive delle fondazioni, delle campate adiacenti e degli elementi strutturali maggiormente influenti sulla risposta sismica, con particolare attenzione alla rappresentazione dell'interazione accoppiata terreno-fondazione-struttura. L'analisi 2D effettuata comporta una procedura relativamente complessa per la definizione delle "dimensioni equivalenti" e pur apprezzando lo sforzo compiuto in tale definizione, si ritiene che l'approssimazione 2D non riesca a cogliere tutti gli aspetti rilevanti dell'interazione dinamica, e in particolare il reale andamento di spostamenti e rotazioni.

Queste analisi dovranno, inoltre, essere integrate con simulazioni sismiche non lineari al passo ("time-history"), finalizzate alla validazione indipendente degli spostamenti e delle rotazioni permanenti ottenuti mediante modelli semplificati o bidimensionali. Si evidenzia, inoltre, che le verifiche sviluppate secondo il quadro normativo introdotto dalle **NTC 2018** potrebbero condurre a risultati meno favorevoli rispetto alle precedenti impostazioni progettuali, sia per effetto dell'evoluzione dei criteri di caratterizzazione dell'azione sismica, sia in ragione delle più rigorose modalità di valutazione delle prestazioni geotecniche e strutturali, rendendo necessario un controllo puntuale delle assunzioni progettuali, dei parametri geotecnici adottati, delle condizioni al contorno e dei criteri di modellazione impiegati nelle analisi.

Tutte le prescrizioni, riportate nel presente paragrafo e riassunte nella Tabella Sinottica, sono da attuarsi nella **Fase B** del **PE**.

7.4.3. Liquefazione (AG3)

Il tema della liquefazione è trattato già dal **CS 2011** che da ampio spazio alla tematica tra le indicazioni per la redazione del **PD con riferimento a**:

…Stabilità del sito Torre lato Calabria

3. *pericolo di liquefazione che richiede approfondite verifiche, sia con metodi semplificati che avanzati, onde stimare realisticamente l'estensione orizzontale e verticale dei materiali potenzialmente interessati al fenomeno allo scopo di dimensionare gli eventuali interventi di miglioramento dei terreni e di ottimizzare le scelte relative al sistema fondazionale.*

…Stabilità del sito Torre lato Sicilia

2. *Verifiche del pericolo di liquefazione da condurre anche con metodi di verifica avanzati, viste le notizie storiche che testimoniano effetti significativi nel suolo, generati da eventi sismici del passato. In particolare i metodi di verifica devono basarsi su risultati di analisi dinamiche nel dominio del tempo, capaci di eseguire in sequenza un'analisi statica per determinare le condizioni tensionali iniziali, un'analisi dinamica sotto eccitazione sismica, un'analisi di dissipazione delle pressioni interstiziali, descrivendo il comportamento del terreno mediante modelli costitutivi elastoplastici in grado di cogliere il comportamento ciclico e il "softening" dei materiali, di accoppiare le fasi solida e fluida del terreno stesso e eccitando dinamicamente il modello sotto forma di onda sismica incidente.*

Nel **PD** l'elaborato di progetto PF-0005 (che appare nell'elenco degli elaborati come PF-0006 – dovrebbe essere il 6) descrive gli studi che sono stati svolti in ottemperanza alle raccomandazioni del **CS 2011** sopraccitate; in particolare, evidenzia come per le verifiche del potenziale di liquefazione il **CG** assuma le più severe ipotesi sia dal punto di vista della caratterizzazione dei terreni, che delle condizioni al contorno, che degli input sismici. Contrariamente a quanto atteso, stante le tipologie di terreni oggetto di analisi, e le stesse attese del **CS 2011** che attribuisce maggiore necessità di approfondimento lato Sicilia, le condizioni di maggiore criticità appaiono presentarsi lato Calabria.

Le analisi sono state sviluppate in epoca antecedente gli eventi sismici occorsi sul territorio nazionale nel 2012 che hanno indotto diversi fenomeni di liquefazione con conseguente adeguamento delle **NTC 2018** che hanno ampliato gli aspetti legati alle verifiche di stabilità a liquefazione, introducendo specifici e dettagliati motivi di esclusione.

7.4.3.1. Prescrizioni dell'Assemblea

Tutto ciò considerato, l'**Assemblea** prescrive che, operando nella **fase B** del **PE**, il **CG** affronti il tema, partendo dalle verifiche normative **NTC 2018** e, nel caso sussista il pericolo di liquefazione, proceda alla revisione delle analisi sviluppate per il **PD**, impiegando input sismici coerenti con quelli di tutte le altre opere, e caratteristiche stratigrafiche, fisiche, meccaniche, idrauliche e sismiche dei terreni che siano frutto degli approfondimenti delle indagini e delle caratterizzazioni previste per il **PE** (§ 7.4.1.1 e 7.4.1.2), oltre che modelli avanzati di interpretazione del comportamento del terreno di cui sia data evidenza dell'affidabilità interpretativa, anche ricorrendo ad analisi di confronto basate sull'impiego di modelli consolidati di comprovata affidabilità.

7.4.4. Analisi e verifiche (AG4)

Le analisi di interazione dinamica terreno-struttura sinora sviluppate indicano spostamenti contenuti delle fondazioni e dei blocchi di ancoraggio, nonché una limitata sensibilità del comportamento globale dell'opera agli spostamenti del terreno. Tali conclusioni dovranno essere attentamente rivalutate alla luce degli ulteriori approfondimenti previsti in fase di **PE**, anche per verificare il livello di sicurezza effettivamente disponibile rispetto alle incertezze connesse alla modellazione, alla caratterizzazione geotecnica e alla definizione delle azioni sismiche.

7.4.4.1. Prescrizioni dell'Assemblea

Con riferimento alle fondazioni e ai blocchi di ancoraggio, si prescrive che le verifiche sismiche non debbano limitarsi alla sola stabilità globale dell'opera, ma debbano includere anche la stima degli spostamenti permanenti, delle rotazioni e delle deformazioni indotte nelle fondazioni, nei blocchi di ancoraggio e nelle sottostrutture, mediante analisi capaci di rappresentare il comportamento non lineare dei terreni e degli elementi strutturali. Poiché l'efficacia dei blocchi di ancoraggio dipende in modo significativo dalle forze verticali generate dal loro peso proprio, è inoltre necessario svolgere analisi di sensitività rispetto alla accelerazione sismica verticale, individuando eventualmente il valore limite oltre il quale l'ancoraggio perde efficacia.

Qualora sia previsto il ricorso a modelli "physics-based", comprensivi delle fondazioni delle torri, dei blocchi di ancoraggio e delle opere complementari e infrastrutture di collegamento, si prescrive che tali modelli dovranno essere sviluppati sulla base di una caratterizzazione dinamica dei terreni coerente con il livello di complessità dell'analisi svolta. Ciò richiede una definizione accurata dei parametri dinamici dei terreni, ottenuta anche mediante prove di laboratorio per la determinazione dei moduli di deformazione, dello smorzamento e delle curve di decadimento delle proprietà meccaniche al variare del livello deformativo, al fine di garantire una rappresentazione affidabile del comportamento non lineare del sottosuolo, specie nelle condizioni sismiche più severe.

7.4.4.2. Raccomandazioni

Il tema delle fondazioni e dei blocchi di ancoraggio è trattato dal **CS 2011** (v. Tabella 7-6).

63	*FONDAZIONI DELLE TORRI:* *Relativamente al Progetto Definitivo delle fondazioni delle torri, delle pile e spalle del viadotto Pantano, il Progetto Preliminare indica le seguenti finalità da perseguire:* *a. verificare la stabilità al ribaltamento ed allo slittamento tra terreno e fondazione, in condizioni sismiche;* *b. calcolare gli spostamenti (in tutte le direzioni) in condizioni statiche;*
69	*La trave di collegamento tra le fondazioni delle gambe della torre deve essere progettata tenendo conto di eventuali variazioni a lungo termine delle pressioni di contatto col terreno dovute alla deformazione globale della fondazione. Gli effetti del carico di lunga durata devono venir considerati come un caso di carico a parte, da includere o meno nelle combinazioni dei carichi a seconda che dia un effetto rispettivamente sfavorevole o migliorativo. È importante stabilire la sequenza relativa della realizzazione dei plinti e della trave di collegamento perché questa influenzerà sia i particolari delle paratie nella zona di giunzione tra la trave e il plinto, che i particolari dei giunti di ripresa. Se i due plinti vengono costruiti prima della trave di collegamento, occorre prestare particolare attenzione alla continuità delle barre di armatura tra trave e plinti, e alla protezione anti-corrosione delle interfacce tra trave e plinti. Se invece i plinti e la trave di collegamento vengono realizzati insieme, di pari passo per strati orizzontali occorre prestare attenzione alla stabilità dello scavo, essendo persa la continuità cilindrica delle paratie perimetrali di cinta, nonché prestare cura maggiore agli effetti termici, essendo la struttura di grande estensione planimetrica senza soluzione di continuità.*

Tabella 7-6.- Raccomandazioni del **CS 2011**

Viene poi ripreso dal **CS 2023** con alcune raccomandazioni di dettaglio (v. Tabella 7-7) sulle attività da sviluppare.

10	*Quantificare sperimentalmente i parametri meccanici di interfaccia tra terreni e strutture, da utilizzare sia nelle modellazioni agli EF, sia nell'analisi degli spostamenti dei blocchi di ancoraggio;*
12	*Svolgere analisi parametriche che considerino range significativi dei parametri geotecnici e geometrici, ai fini della valutazione degli spostamenti dei blocchi di ancoraggio con il metodo di Newmark;*
13	*Estendere l'analisi del comportamento delle sottostrutture in campo dinamico per mezzo di modellazione agli EF 3D, confrontando gli spostamenti dei blocchi di ancoraggio calcolati con quelli forniti dal metodo di Newmark.*

Tabella 7-7.- Raccomandazioni del **CS 2023**

Tutto ciò considerato, l'**Assemblea** ritiene che, operando nella **FASE B** del **PE**, siano effettuati gli approfondimenti di analisi contenuti al § 7.4.4.1.

7.4.5. Jet grouting (AG5)

7.4.5.1. Prescrizioni dell'Assemblea

Pur trattandosi di una tecnologia ampiamente consolidata e supportata da una vasta letteratura tecnico-scientifica, la sua efficacia è strettamente correlata alle caratteristiche litostratigrafiche dei terreni attraversati ed al rigoroso controllo dei parametri esecutivi. Per tale ragione, si ritiene opportuno che il **PE** approfondisca alcuni aspetti ritenuti essenziali ai fini della corretta esecuzione e della verifica delle prestazioni dell'intervento.

In particolare, appare necessario che la progettazione dei campi prova sia sviluppata in modo da rappresentare adeguatamente l'intera variabilità geologica e geotecnica delle aree interessate, affinché i risultati ottenuti possano essere considerati realmente rappresentativi delle condizioni operative dell'opera. Parimenti, si ritiene opportuno che il **PE** definisca uno specifico piano di controllo della qualità finalizzato non soltanto alla verifica delle caratteristiche meccaniche delle colonne, ma anche della loro continuità geometrica, dell'omogeneità del trattamento e del corretto grado di sovrapposizione tra gli elementi consolidati. Tali aspetti assumono un ruolo determinante per garantire il raggiungimento delle prestazioni progettuali e la continuità del volume consolidato.

Si ritiene altresì necessario che siano individuati preventivamente i requisiti prestazionali minimi richiesti, quali resistenza meccanica, modulo di deformazione, permeabilità, diametro efficace e continuità delle colonne, unitamente ai relativi criteri di accettazione e alle modalità di verifica in corso d'opera. Il piano dei controlli dovrebbe prevedere il monitoraggio sistematico dei parametri esecutivi, la loro correlazione con le prestazioni conseguite e le procedure da adottare nel caso in cui le verifiche evidenzino risultati non conformi ai requisiti progettuali, definendo eventuali interventi correttivi o integrativi.

I risultati dei campi prova e delle verifiche in sito dovranno essere utilizzati per l'affinamento del modello geotecnico e la calibrazione delle analisi numeriche. Tale approccio, fondato su un processo iterativo tra sperimentazione, monitoraggio e modellazione, rappresenta una metodologia consolidata e riduce le incertezze connesse alla naturale variabilità del sottosuolo.

7.4.5.2. Prescrizioni e Raccomandazioni precedenti

Il tema dei Jet grouting è trattato dal **PMC** e dal **CS 2011** nei punti dal #70 al #75 del GER328 (v. Tabella 7-8).

#	Prescrizione/Raccomandazione **GER328**
70 CS 2011	*Le fondazioni delle strutture terminali consistono in grandi plinti rettangolari poggianti direttamente sul terreno o su sottofondazioni di colonne di jet- grouting. Per tali strutture valgono peraltro le stesse prescrizioni esposte per le fondazioni delle torri.*
71 PMC	*Page 36, par. 5.2 - NOTE 19 - Part 1/1 Sarebbe opportuno dedicare un paragrafo specifico ai citati poligoni di prova che costituiranno elemento essenziale per la messa a punto delle specifiche esecutive.*
72 PMC	*Pages 43 and 44, par. 5.2 - NOTE 22 - Part 3/3 Non viene discussa la successione operativa delle singole verticali, elemento essenziale per un positivo risultato finale del trattamento.*
73 PMC	*L'efficacia del jet grouting verrà confermata da prove in situ post-costruzione o da indagini sul terreno trattato? Ciò sarà incluso nelle specifiche di costruzione o nelle disposizioni speciali?*
74 PMC	*È previsto un programma di test per verificare che la metodologia di jet grouting proposta sia efficace sui terreni del sito?*
75 PMC	*Le specifiche costruttive e le disposizioni speciali per ogni tipo di jet grouting devono essere presentate per la revisione.*

Tabella 7-8.- Prescrizioni/Raccomandazioni del **PMC** e **CS 2011**

Tali punti sono tutti attinenti alla fase alla realizzazione delle colonne di jet-grouting previste per il consolidamento del terreno sia per aspetti legati alla potenziale liquefazione (colonne sotto e attorno alle fondazioni delle torri) sia

per aspetti di stabilità dei terreni di fondazione sotto le strutture terminali; gli approfondimenti su tali aspetti sono stati rimandati al **PE**, per ciò che attiene sia alla geometria, sia alle modalità realizzative e di controllo in opera.

Il tema è ripreso dal **CS 2023** (v. Tabella 7-9).

#	Raccomandazione **CS 2023**
11	*Quantificare sperimentalmente le proprietà meccaniche dei terreni trattati con jet-grouting utilizzate nelle modellazioni agli EF e definire i criteri atti a stabilire l'estensione delle zone soggette a trattamento*
35	*Definire dei criteri per la valutazione dell'efficacia dell'incremento del diametro delle colonne nel trattamento del terreno tramite jet-grouting nelle attività del relativo campo prove, anche in relazione alle caratteristiche geomeccaniche dei terreni a consolidamento effettuato*

Tabella 7-9.- Raccomandazioni del **CS 2023**

Tutto ciò considerato, l'**Assemblea** ritiene che, operando nella **Fase B** del PE, siano effettuati gli approfondimenti di cui al § 7.4.5.1.

7.5. Il sistema di sospensione

Le considerazioni che seguono riguardano l'intero sistema di sospensione e prendono in esame la valutazione della Capacità e i criteri adottati per le verifiche prestazionali e per il controllo durante l'esecuzione e in esercizio. Per "sistema di sospensione" si intende l'insieme dei componenti che sostengono l'impalcato, costituito dai cavi principali, dai sistemi di deviazione e di collegamento delle parti, dai pendini e dai sistemi di trasferimento delle sollecitazioni alle sottostrutture.

Le azioni di progetto, statiche e dinamiche, agenti sul sistema di sospensione e le questioni che riguardano le proprietà e la certificazione dei materiali, l'antincendio, sono trattate nei paragrafi specifici.

7.5.1. Attualizzazione delle conoscenze tecniche

Il **PE**, così come indicato nella **RP** al § 3.5.1.6 terrà conto degli adeguamenti normativi dove vengono elencati in maniera esaustiva i documenti aggiornati alla data della redazione. Per la progettazione del sistema di sospensione si chiede di tenere anche conto degli aggiornamenti degli ultimi 15-20 anni su linee guida riconosciute a livello internazionale che contengono indicazioni utili per il sistema di sospensione e per le sue componenti, quali, ad esempio, le PCI-Linee Guida di Post Tensioning Institute (PTI-Recommendation for stay cable design, testing, and installation), FIB-Federation Internationale du Beton (FIB Bullettin 89-Acceptance of cable systems using prestressing steel), CIP-Setra (Cable Stays, Recommandation of French Interministerial commission of Prestressing).

Importanti modifiche vengono proposte nella **RP** e discusse nel seguito, relativamente a componenti critici del sistema di sospensione, sulla base di esperienze recenti (es. Canakkale, Braile, Ozman Gazi). Su queste opere sono presenti sistemi di monitoraggio attivi da tempo e i dati raccolti possono risultare particolarmente preziosi per la conferma sperimentale di diversi aspetti delicati della progettazione (tensioni secondarie, scorrimenti, effetti termici, sensibilità ai fenomeni aeroelastici). Pertanto, la raccolta e l'analisi dei dati e della letteratura disponibile su questo tema sono importanti per la validazione delle ipotesi di calcolo. La considerazione sui dati da monitoraggio si intende da estendere ai dati raccolti in fase costruttiva.

7.5.2. Capacità e affidabilità del sistema di sospensione

Valgono le considerazioni generali contenute nel § 3.2 e nel § 7.1 sull'affidabilità e sulle relazioni tra coefficienti parziali e probabilità di insuccesso. In particolare, è necessaria una caratterizzazione in termini probabilistici del coefficiente di sicurezza adottato allo **SLIS**, in coerenza con gli obiettivi di affidabilità che verranno adottati.

Considerando che i cavi presentano lunghezze (sistema in serie) e numero di fili (sistema in parallelo) sostanzialmente diversi da quelli adottati finora in opere realizzate, è importante valutare come questi aspetti, o altri aspetti che rendono il sistema unico rispetto a quelli già sperimentati, possano incidere nella definizione dei valori di progetto della capacità. Anche le maggiori incertezze sulla capacità dei pendini rispetto ai cavi dovrebbero costituire tema di approfondimento (cfr. PG0025, p.256). Nelle risposte ai chiarimenti (All.1Risposta 02_CAR 01_02) si propone una valutazione probabilistica dell'affidabilità del cavo principale, approfondimento che costituisce la strada maestra per una valutazione definitiva della configurazione indicata nella **RP** e che dovrebbe includere le incertezze indotte dalla particolarità e unicità dell'elemento strutturale in questione.

Considerando il preponderante effetto del peso proprio dell'intero sistema di impalcato sulle sollecitazioni del cavo, è opportuno valutare, mediante un'analisi di sensibilità, l'impatto di eventuali variazioni dei carichi sulle probabilità di insuccesso.

Va da sé che il dimensionamento preliminare e la conseguente fattibilità sono da considerarsi chiusi una volta risolte le incertezze sulla domanda di prestazione legata alle azioni dinamiche del vento e sui coefficienti parziali, temi trattati in altri capitoli, con particolare riferimento alle criticità emerse nel comportamento aerodinamico della coppia di cavi.

7.5.3. Influenza del materiale sulla capacità

Nella **RP** alla scheda P. MC 007) del § 3.5.3.1.1. si dichiara che per il cavo sarà utilizzato un acciaio di resistenza maggiore (1960MPa) di quella adottata per il **PD**, in modo da ridurre la sezione e il peso del cavo. L'incremento di resistenza implica una riduzione del numero di fili. Sebbene la variazione sia modesta, è necessario ripercorrere la progettazione dei cavi, incluse le valutazioni sull'impatto della numerosità dei fili nei confronti della robustezza.

Inoltre, nella stessa scheda per i pendini, si dichiara la modifica delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio previsto nel **PD** proponendo un acciaio di resistenza maggiore (1860MPa), in modo da ridurre la sezione e il peso dell'elemento. Si confermano in questo caso le indicazioni già suggerite in precedenza per il cavo, riguardanti la progettazione del nuovo sistema e i criteri di valutazione della sicurezza.

7.5.4. Soluzioni tipologiche per selle e deviatori

La **RP** propone variazioni tipologiche importanti per pettini di deviazione, sistemi di ancoraggio e slitte, sulla base di soluzioni adottate in realizzazioni recenti (successive alla redazione del **PD**). Le nuove proposte sono indicate nella **RP** al § 3.5.2.3.8 e descritte includendo dettagli grafici nelle schede P.ET-001 (ancoraggi) e P.ET-013 (selle).

Per le soluzioni, condivisibili e adeguatamente motivate in termini generali, al momento non risulta disponibile un progetto, pur trattandosi di elementi critici. La tipologia definita nella **RP**, così come i cavi, presentano geometrie e azioni diverse dalle precedenti, per cui sono necessari approfondimenti, sia a livello teorico, mediante lo sviluppo di modelli strutturali adeguati alla descrizione dei problemi locali, sia a livello sperimentale, per confermare la modellazione e raccogliere informazioni utili alla definizione degli stati tensionali costanti e variabili.

Si intende che gli approfondimenti riguardano il sistema cavi-deviatori.

Per tali elementi si tenga anche conto delle indicazioni suggerite da **CIP** e **FIB**, nei limiti di quanto applicabile al problema in esame. Questi documenti, già considerati nella redazione del **PD**, sono stati aggiornati in maniera significativa e forniscono indicazioni maggiormente consolidate per la verifica e per la sperimentazione su questi componenti speciali, sia in fase di concezione che di valutazione finale e controllo.

Con riferimento alla sperimentazione, si condividono i criteri generali e l'approccio multi-livello indicati nelle Linee Guida **FIB**.

7.5.5. Modellazione del cavo

Prima dello sviluppo del modello globale si devono verificare tutte le ipotesi di distribuzione delle sollecitazioni nei fili del cavo, considerando i dati attualmente disponibili per opere realizzate in tempi recenti, modelli avanzati e prove sperimentali, soprattutto con riferimento all'ipotesi di scorrimento libero tra i fili per effetto del peso proprio, prima della compattazione e del montaggio dei pendini.

Nelle analisi strutturali si tenga adeguatamente conto dei diversi fenomeni che possono influenzare la rigidezza d'insieme del cavo nelle diverse fasi e della rilevanza di eventuali incertezze.

7.5.6. Fenomeni locali

Nelle relazioni del **PD** (PS0042-6) viene data adeguata evidenza dei diversi fenomeni locali che possono manifestarsi nelle zone critiche del sistema di sospensione (ad esempio, selle, deviatori, collari, attacchi dei pendini), in termini di tensioni secondarie, sensibilità alla fatica, effetti delle variazioni angolari, scorrimenti da attrito e fretting. La valutazione riportata nel **PD**, finalizzata agli obiettivi di questo livello di progettazione, è basata su espressioni approssimate di tipo analitico (*Wyatt 1960*). Seppure le conclusioni siano condivisibili, le soluzioni da adottare per il **PE** dovranno trovare sostegno in modelli teorici più accurati e prove sperimentali sviluppate per l'approfondimento dei diversi fenomeni locali di interesse per le soluzioni tecniche di questa opera, tenendo conto delle caratteristiche di unicità del sistema strutturale. La necessità di tali approfondimenti era già prevista nel **PD**.

Gli approfondimenti teorici e sperimentali potranno essere organizzati per livelli di approfondimento successivi. In particolare, per i componenti per i quali si propone una variazione (selle e deviatori) dovrà essere sviluppata una sperimentazione orientata a dimostrare la fattibilità prima di procedere agli studi necessari alla progettazione di dettaglio. Qualora si ritenga che alcuni temi, quali ad esempio il fretting, non siano rilevanti per le soluzioni variate, è necessario fornirne dimostrazione nei prossimi documenti progettuali.

Come già indicato in precedenza, i criteri generali e l'approccio multi-livello indicati al capitolo 6 di **FIB** sono un utile riferimento, così come le modalità di prova, laddove applicabili agli elementi strutturali in questione.

7.5.7. Snodi sferici

La **RP** propone una modifica al sistema di collegamento alle estremità dei pendini (**RP** 3.5.3.2.6, scheda P.ET-013) con l'obiettivo di ridurre le tensioni secondarie dovute alla flessione che si manifesta in prossimità delle parti terminali.

La modifica prevede l'utilizzo di snodi sferici, permette di ridurre le incertezze relative ai fenomeni locali e rappresenta un miglioramento in termini di affidabilità della struttura. Si osserva che la **RP** introduce la modifica in termini tipologici, alla stregua di quanto proposto per le selle e per i deviatori, senza sviluppare un progetto di dettaglio e rinviando questa attività al momento della redazione del **PE**. La modifica richiede anche la revisione dei componenti che connettono gli snodi sferici, ma si ritiene ragionevole rinviare al **PE** questo livello di approfondimento. La proposta riguarda un numero limitato di pendini e il collegamento con l'impalcato.

Nella redazione del **PE** è necessario definire l'estensione dell'utilizzo dei giunti sferici sulle due estremità dei pendini utilizzando un criterio quantitativo che permetta di definire una soluzione ottimale, tenendo anche conto delle incertezze di comportamento di sistemi alternativi e dei possibili effetti nei confronti delle azioni aeroelastiche.

La stima delle tensioni secondarie alle estremità e gli effetti dell'attrito, sia nel caso di snodi sferici che di soluzioni alternative, dovrà essere confermata da misure sperimentali o da dati provenienti dal monitoraggio o sperimentazione su sistemi analoghi, in termini di azioni, geometria, materiali e dettagli.

Valgono le considerazioni precedenti relative alla definizione di coefficienti parziali adeguati alle incertezze di risposta dei pendini e alla probabilità di insuccesso obiettivo.

Va da sé che il dimensionamento preliminare e la conseguente fattibilità sono da considerarsi chiusi una volta risolte le incertezze sulla domanda di prestazione legata alle azioni dinamiche del vento e sui coefficienti parziali, temi trattati in altri capitoli.

7.5.8. Sistema di protezione dalla corrosione

Per il sistema di protezione alla corrosione è importante verificare, su base sperimentale e numerica, che la percentuale di vuoti prevista dopo la compattazione del cavo garantisca la circolazione dell'aria, che l'aria immessa non abbia contenuti di cloruri e che sia possibile effettuare controlli periodici sullo stato di conservazione del cavo.

7.5.9. Fasi costruttive: montaggio e controllo in esercizio

Le operazioni di montaggio sono descritte nel documento PS0328_F0 ma senza indicare schemi di calcolo e sistemi di misura per verificare stati tensionali, problemi di instabilità, sollecitazioni diverse da quelle previste nelle verifiche dei diversi stati limite. È riportato solo il calcolo della forza necessaria per mettere in trazione il cavo nelle campate laterali.

L'insieme dei controlli durante le fasi costruttive e durante l'esercizio dovranno includere, tra l'altro, sistemi di misura adeguati alla verifica delle lunghezze dei fili e del controllo delle tolleranze considerate nella progettazione, con particolare attenzione ai fenomeni locali (es. tensioni secondarie, scorrimenti, tensioni locali su elementi per fusione). Inoltre, si devono considerare schemi di calcolo per le configurazioni intermedie in cui si trova il cavo durante il posizionamento sulle torri, la compattazione e il montaggio dell'impalcato, valutando le azioni che si devono tenere in conto (vento, temperatura, effetti dei sistemi di montaggio, ecc…) e realizzando anche prove sperimentali nel caso delle azioni da vento. In particolare, valutazioni quantitative della sicurezza nelle fasi critiche che possono potenzialmente influenzare la fattibilità dovranno essere valutate prima di procedere al **PE**.

Nel caso di soluzioni diversificate per le connessioni dei pendini, lo schema di monitoraggio previsto nel **PD** dovrà essere esteso in modo da fornire informazioni per ogni tipologia nelle situazioni estreme di lunghezza, in modo da permettere una valutazione a posteriori dei fenomeni locali e della loro ricorrenza legata a traffico e a fenomeni aeroelastici, in maniera integrata con quanto indicato nel capitolo del monitoraggio.

7.5.10. Prescrizioni e Raccomandazioni

I temi presi in esame e relativi alla valutazione della capacità e al confronto tra capacità e domanda del sistema di sospensione sono trattati nella **RP** al § 3.5.1.6 (adeguamento normativo), al § 3.5.3.2.6, scheda P.ET-013 (snodi sferici), al § 3.5.3.1.1 e scheda P. MC 007 (Materiali), al §3.5.2.3.8 e schede P.ET-001/007/013 (selle, deviatori e robustezza).

Nel **PD** tali temi sono trattati negli elaborati PG0024/25 (*Fondamenti*), PS0042-46 (relazioni). PS0047-74 (schemi) e PS0328-340 (montaggio); la trattazione comprende i diversi aspetti che contribuiscono a definire le soluzioni progettuali e la loro adeguatezza in termini di capacità e domanda. Le considerazioni di base e generali sulla valutazione dell'affidabilità sono riportate nei *Fondamenti* della progettazione e nel relativo *Manuale* in cui vengono date informazioni di dettaglio anche sulle modalità di determinazione della domanda per le diverse azioni.

I problemi specifici che riguardano i diversi componenti del sistema di sospensione sono analizzati nelle relazioni PS0042-74.

La **RP** propone importanti e condivisibili variazioni al progetto, riguardanti il miglioramento delle caratteristiche meccaniche dei materiali dei cavi e pendini (§ 3.5.1.6), variazioni tipologiche per la realizzazione di elementi critici del sistema di sospensione, quali selle, deviatori e ancoraggi (§ 3.5.3.1.1, P.ET-001/007/013) e l'estensione dei collegamenti dei pendini realizzati con snodi sferici (§ 3.5.3.2.6, P.ET-013).

SI tratta di proposte di miglioramento realistiche e auspicabili, al momento non corredate da una documentazione di progetto adeguata; per le valutazioni di dettaglio si rimanda alla redazione del **PE**. La **RP** include anche un aggiornamento completo del quadro normativo esistente al momento della redazione del documento (§ 3.5.1.6) e dà evidenza delle principali novità e delle azioni previste per l'adeguamento.

L'**Assemblea** conferma le seguenti Raccomandazioni relative alla capacità e al confronto capacità-domanda del sistema di sospensione, fatte in precedenza dal **CS 2011** e ribadite da **CS 2023** che le raccomandazioni del solo **CS 2023** (v. Tabella 7-10 e Tabella 7-11).

4CS 4f	Sviluppo di modelli strutturali non lineari adeguati ai fenomeni possibili nell'opera. Confermata da **CS 2023** anche in relazione alle modifiche di geometria e resistenza del sistema di appensione.
5CS 4h	Analisi in grado di descrivere la risposta non lineare di torri, impalcato e sistema di sospensione nelle fari transitorie della costruzione.
32CS	Innesco dei fenomeni aerodinamici di vibrazione dei pendini, da evitare nei limiti del vento di progetto. Confermata **CS 2023**
44CS	Limitazione dei fenomeni dinamici sui componenti del sistema di sospensione. Confermata **CS 2023**
87CS	Stima e al controllo delle tensioni indotte dal processo costruttivo su tutti i componenti strutturali. Confermata **CS 2023**

Tabella 7-10.- Raccomandazioni **CS 2011** (reiterate dal **CS 2023)**

15	Reperibilità dei materiali, sull'adeguamento normativo relativo ai componenti in acciaio in getti, sulla definizione della classe di esecuzione.
21	Adeguamento del progetto della robustezza alle **NTC 2018**
22	Analisi di robustezza considerando il collasso di 2 pendini
37	Controllo di qualità dei getti e delle loro caratteristiche prestazionali, anche sulla base di prove sperimentali.
38	Controlli relativi ai fenomeni locali nella nuova soluzione proposta dalla **RP** riguardante selle, deviatori, variazione resistenza acciaio armonico.
40	Aggiornamento delle analisi numeriche agli EF in campo geometricamente non lineare in condizioni di esercizio, eccezionali e di montaggio, per Io studio di eventuali fenomeni di instabilità dell'equilibrio delle torri
43	Approfondimenti relativi alle valutazioni di robustezza, includendo anche scenari di rottura progressiva conseguente alla rottura di 2 pendini.
47	Sviluppo di approfondimenti relativi ai fenomeni aeroelastici e dinamici indotti dalla pioggia che si possono sviluppare sui pendini nella nuova configurazione con snodi sferici, considerando l'ipotesi di sistemi di mitigazione.

Tabella 7-11.- Raccomandazioni **CS 2023**

Pertanto, l'**Assemblea**, per le seguenti tematiche, prescrive:

- **Valutazione dell'affidabilità del sistema di sospensione** (nella **Fase A** del **PE**): qualora la valutazione dell'affidabilità del **PE** sia basata esclusivamente sul metodo semi-probabilistico, è necessario fornire, preliminarmente alla redazione del **PE**, una interpretazione in termini di probabilità di insuccesso dei valori caratteristici e dei coefficienti parziali adottati nella valutazione della domanda e della capacità del sistema nei diversi stati limite presi in esame (**SLS**, **SLU** e **SLIS**), tenendo anche conto delle indicazioni generali di EC1990. La scelta di tutti i coefficienti parziali adottati per i diversi componenti del sistema di sospensione dovrà garantire almeno il livello di sicurezza delle NTC, con particolare attenzione ai componenti strutturali disposti in serie. Nella loro definizione si tenga anche conto degli aspetti specifici e unici dell'opera che possono influenzare la loro definizione, quali, ad esempio, la lunghezza dei cavi e la numerosità dei componenti e si valuti l'impatto di possibili variazioni dei pesi permanenti effettivi sulle condizioni di verifica. Le versioni aggiornate dei documenti internazionali usati nella redazione del **PD** (CIP e FIB) possono costituire un utile riferimento.
- **Progettazione del sistema** (nella **Fase B** del **PE**): il **PD** svolge una disamina completa dei problemi connessi alla stima delle tensioni interne conseguenti alla ripartizione delle azioni tra i fili, ai fenomeni locali connessi alla deformazione dopo la compattazione, ai fenomeni potenziali di scorrimento e alle questioni legate alla

fatica. Considerando le caratteristiche di unicità degli elementi che compongono il sistema di sospensione, le valutazioni speditive e parziali del **PD** dovranno essere approfondite sulla base di una sperimentazione adeguata e sviluppando modelli di dettaglio capaci di descrivere i fenomeni considerati, calibrati in coerenza con gli esiti della sperimentazione. La sperimentazione dovrà essere orientata alla validazione dei modelli di dettaglio usati per la progettazione esecutiva e potrà essere organizzata in fasi di approfondimento successive. Le Linee Guida FIB possono costituire un utile riferimento, laddove applicabili. Le presenti considerazioni riguardano tutti i componenti strutturali, mentre ulteriori indicazioni, relative ai componenti oggetto di variazioni significative rispetto al **PD**, sono trattati in un punto successivo.

Inoltre, l'**Assemblea**, per le seguenti tematiche, raccomanda e prescrive quanto segue:

- **controlli in esecuzione e monitoraggio** (nella **Fase C**): Le fasi transitorie di montaggio possono rappresentare un elemento critico per la fattibilità dell'opera da analizzare nel dettaglio in termini di sicurezza, fornendo anche un'analisi delle incertezze e ipotesi di eventuali azioni di mitigazione da attuare. Anche le ipotesi di progetto, in particolare quelle relative ai fenomeni locali del cavo e dei pendini pervisti durante la costruzione e in esercizio, dovranno essere confermate mediante la predisposizione di adeguati sistemi di misura da mettere in atto durante l'esecuzione. Il progetto del sistema di monitoraggio in esercizio dovrà includere sistemi di misura adeguati al controllo delle ipotesi di progetto sulle azioni cicliche e dinamiche (vento), con particolare attenzione alle zone suscettibili di fatica.
- **Fasi costruttive (Fase A): s**i raccomanda un approfondimento preliminare, da sviluppare prima della **Fase B**, che analizzi le principali fasi costruttive in termini di sicurezza e di incertezza sulle azioni ambientali che possono intervenire e di misure di mitigazione che possono essere messe in atto.
- **Attualizzazione della conoscenza** (nella **Fase A** del **PE**): oltre al necessario adeguamento del quadro normativo, la progettazione dovrà tenere conto degli aggiornamenti delle Linee guida di istituzioni internazionali, quali PTI e FIB, delle prove sperimentali e della letteratura tecnica degli ultimi 20 anni, con particolare riferimento alle nuove soluzioni proposte nella **RP**, e, per quanto possibile, ai dati di monitoraggio raccolti nelle realizzazioni recenti alle quali si è fatto riferimento (Canakkale, Braile, Ozman Gazi).
- **Modifiche sistema di sospensione - selle, ancoraggi, materiali** - (nella **Fase A** del **PE**): Le nuove soluzioni proposte nella **RP** e relative alle selle e ai sistemi di deviazione sono condivisibili e adeguatamente motivate in termini generali ma al momento non risulta disponibile un progetto avanzato di questi elementi critici. La tipologia definita nella **RP**, così come i cavi, presentano geometrie e azioni diverse dalle precedenti per cui sono necessari approfondimenti sia a livello teorico, mediante lo sviluppo di modelli strutturali adeguati alla descrizione dei problemi locali, sia sperimentali per confermare la modellazione e raccogliere informazioni utili alla definizione degli stati tensionali costanti e variabili. La **RP** propone un incremento della resistenza del materiale utilizzato per i cavi e i pendini. Il percorso progettuale dovrà essere attualizzato ad una nuova soluzione, considerando le note già effettuate sulla modalità di valutazione dell'affidabilità. Prima di procedere alla progettazione esecutiva dovranno comunque essere affrontate le incertezze relative alle azioni dinamiche indotte dal vento sulla coppia dei cavi e sui pendini, definendo le eventuali azioni di mitigazione e attivando le campagne sperimentali necessarie. Le valutazioni di sicurezza potranno essere effettuate solo a valle di una completa definizione della domanda di prestazione.
- **Criteri per l'estensione degli snodi sferici** (nella **Fase B** del **PE**): La **RP** propone una modifica al sistema di collegamento alle estremità dei pendini (**RP** § 3.5.3.2.6, scheda P.ET-013) con l'obiettivo di ridurre le tensioni secondarie dovute alla flessione che si manifesta in prossimità delle parti terminali. La modifica estende l'utilizzo di snodi sferici, permette di ridurre le incertezze relative ai fenomeni locali e rappresenta un miglioramento in termini di affidabilità della struttura. La modifica richiede anche la revisione dei componenti che connettono gli snodi sferici ma si ritiene ragionevole rinviare al PE questo livello di approfondimento. La proposta riguarda un numero limitato di pendini e il collegamento con l'impalcato.
  E' necessario definire l'estensione dell'utilizzo dei giunti sferici utilizzando un criterio quantitativo che permetta di valutare la soluzione definitiva, tenendo anche conto delle incertezze di comportamento di sistemi alternativi e dei possibili effetti nei confronti delle azioni aeroelastiche. Le caratteristiche di attrito dei sistemi proposti dovranno essere confermate sperimentalmente.
  La stima delle tensioni secondarie alle estremità, sia nel caso di snodi sferici che di soluzioni alternative, dovrà essere confermata da misure sperimentali o da dati provenienti dal monitoraggio di sistemi analoghi.

7.6. Le torri

Le torri sono alte 381 m dall'estradosso delle fondazioni in calcestruzzo al cavo principale in corrispondenza della sommità delle torri. Le torri sono costituite da tre componenti strutturali principali: le gambe, i trasversi e l'ancoraggio di base. Le gambe e i trasversi delle torri sono costituti da sezioni chiuse di piatti d'acciaio irrigidite longitudinalmente e trasversalmente.

La sezione delle gambe delle torri è costante su tutta la lunghezza tra l'estradosso della piastra di base e l'intradosso della sella del cavo principale, con una larghezza in direzione perpendicolare all'asse del ponte pari a 12 m e una lunghezza in direzione parallela all'asse del ponte pari a 20 m.

Ciascuna gamba della torre comprende otto smorzatori a massa risonante posti tra le quote 230 m e 260 m dedicati al controllo del distacco dei vortici indotto dalle oscillazioni previste in caso di velocità del vento di circa 40 m/s e 65 m/s.

7.6.1. Fasi costruttive

Le fasi costruttive delle torri sono descritte nel documento PS0262 "Metodo di montaggio torri: relazione descrittiva", mentre il documento PS0263 "Verifica strutturale delle fasi di montaggio" ne esamina la fattibilità e gli effetti sulla struttura permanente.

I primi tre conci di ciascuna gamba delle torri sono assemblati mediante quattro pile provvisorie, alte circa 60 m, collegate da vie di corsa sulle quali operano due carroponti. Tale sistema consente il sollevamento, la rotazione dalla posizione orizzontale a quella verticale e il successivo posizionamento dei conci iniziali. Dopo il completamento dei primi tre conci viene installata, attorno a ciascuna gamba, una struttura rampante di sollevamento costituita da un traliccio metallico guidato mediante rulliere e sostenuto da *strand jack* ancorati alla sommità dell'ultimo concio montato.

I conci successivi, dal quarto fino al concio sommitale, vengono caricati sulla piattaforma rampante, sollevati lungo la gamba e portati in corrispondenza della posizione definitiva. Durante il sollevamento, l'eccentricità dei pesi della piattaforma e del concio è trasferita alla struttura permanente attraverso i rulli di guida. Una volta raggiunta la quota prevista, il concio viene accostato a quello sottostante e regolato mediante dispositivi idraulici; completati i controlli geometrici e topografici, vengono realizzate le connessioni provvisorie e successivamente le giunzioni definitive. Gli ancoraggi degli *strand jack* sono quindi trasferiti al nuovo concio e il ciclo viene ripetuto.

Le giunzioni orizzontali tra i conci sono di tipo ibrido: le piastre interne e gli irrigidimenti verticali sono collegati mediante bulloni ad attrito, mentre le piastre esterne sono unite mediante saldature di testa. La procedura prevede la possibilità di montare più conci utilizzando inizialmente bulloni provvisori; in seguito, sono eseguite le saldature delle piastre esterne, rimossi i bulloni provvisori e installati e serrati i bulloni permanenti.

I traversi sono montati durante la progressiva elevazione delle gambe: il traverso inferiore dopo il concio n. 8, quello intermedio dopo il concio n. 14 e quello superiore dopo il completamento dei conci sommitali. Gli elementi vengono sollevati mediante *strand jack* verticali, con l'ausilio di argani e funi di rinvio per evitare le interferenze con i plinti di fondazione e con i traversi già montati. Raggiunta la posizione definitiva, i traversi sono collegati mediante saldatura alle gambe. Il metodo prevede inoltre l'impiego di martinetti per correggere l'avvicinamento delle gambe dovuto alla loro deformazione e consentire l'inserimento dei traversi nella geometria prevista.

Il **CS 2011,** nel merito di questa tematica, si è espresso formulando le seguenti Raccomandazioni (v. Tabella 7-12).

3CS	*4 e) sviluppare lo studio, anche con nuove prove in galleria e simulando l'effettivo numero di Reynolds, del comportamento aerodinamico delle torri per le quali appare necessaria l'applicazione di sistemi di dissipatori*

	di elevate prestazioni, capaci di dare luogo ad una elevato smorzamento e dissipazione tanto in fase di costruzione che di esercizio.
5CS	*4 h) Svolgere analisi dettagliate atte a verificare la stabilità delle torri, dei cavi e dell'impalcato in tutte le fasi di montaggio.*

Tabella 7-12 Raccomandazioni **CS 2011** (reiterate dal **CS 2023**) relative alla stabilità delle torri

Tali Raccomandazioni evidenziano la necessità di integrare la progettazione delle fasi costruttive con analisi più approfondite del comportamento aerodinamico, della stabilità delle configurazioni temporanee e dell'efficacia dei dispositivi di attenuazione delle oscillazioni.

Il documento PS0263 considera il metodo nel complesso fattibile, ma evidenzia che la definizione esecutiva delle attrezzature e delle procedure potrebbe richiedere ulteriori modifiche o rinforzi. Una delle principali criticità individuate nel documento riguarda le rilevanti reazioni trasmesse dai rulli della piattaforma di assemblaggio agli irrigidimenti longitudinali delle gambe e, attraverso questi, ai diaframmi trasversali, rendendo necessari specifici rinforzi locali.

Nel PS0263 dichiara espressamente che il modello è stato costruito "passo dopo passo" seguendo la sequenza di montaggio e verifica le configurazioni ritenute più gravose immediatamente prima dell'installazione dei tre traversi. Per tali configurazioni sono valutati peso proprio, vento, sisma e carichi derivanti dal montaggio dei conci e dei traversi.

Tuttavia, la documentazione non chiarisce se l'analisi sia stata svolta mediante una procedura realmente incrementale, capace di trasferire da una fase alla successiva lo stato tensionale e deformativo già maturato. In particolare, non risultano esplicitamente considerate le coazioni derivanti dalla progressiva trasformazione dello schema statico, dalla chiusura dei traversi, dagli eventuali spostamenti imposti per correggere la posizione delle gambe e dall'avanzamento non simultaneo delle due gambe. Considerata la natura iperstatica della configurazione finale, sarebbe pertanto necessario documentare un'analisi *construction stage* nella quale ogni nuovo concio e ciascun traverso vengano attivati sulla configurazione deformata della fase precedente, conservando tensioni, deformazioni e azioni di montaggio.

Gli effetti delle saldature sono affrontati qualitativamente. Il PS0263 osserva che, in relazione alle dimensioni delle saldature e al numero di passate, potrebbe verificarsi un ritiro dell'ordine di 2-4 mm, capace di mettere in pressione i bulloni contro i fori, ostacolare la rimozione dei bulloni provvisori e generare ulteriori azioni di taglio e sollecitazioni nelle piastre e nelle saldature. Il documento precisa espressamente che uno studio approfondito di tali fenomeni non rientra nella verifica svolta. Non risultano quindi quantificate le tensioni residue e le distorsioni prodotte dalle saldature, né viene dimostrata la loro compatibilità con le tolleranze geometriche necessarie per l'accostamento dei conci successivi e per la chiusura dei traversi.

Infine, il vento è stato considerato sia nelle verifiche statiche delle configurazioni costruttive sia nella valutazione delle vibrazioni della torre indotte dal vento. Il PS0263 individua le fasi nelle quali tali vibrazioni devono essere attenuate mediante smorzatori a massa accordata ai fini della sicurezza strutturale e del comfort degli operatori. Il documento definisce inoltre specifiche velocità caratteristiche del vento per le operazioni di sollevamento e precisa che queste possono essere sospese durante i periodi di vento forte. Tuttavia, nei documenti PS0262 e PS0263 non risulta esplicitamente sviluppata una procedura operativa di dettaglio che correli la velocità del vento e l'effettivo stato di oscillazione della torre con le diverse attività di accostamento, bullonatura e saldatura dei conci. In particolare, non emergono soglie di spostamento o di oscillazione ammissibili ai fini della precisione geometrica del montaggio.

In conclusione, rimanendo valide le Raccomandazioni già formulate dai precedenti Comitati Scientifici, il metodo di montaggio risulta sviluppato in modo coerente a livello concettuale e verificato nelle principali configurazioni critiche. Permangono, tuttavia, aspetti da approfondire nella progettazione esecutiva, con particolare riferimento

alla modellazione incrementale della sequenza costruttiva, alle coazioni introdotte dalla chiusura della struttura iperstatica, alle deformazioni e tensioni residue da saldatura e alla definizione di una procedura operativa di montaggio in presenza di vento.

7.6.2. Indicazioni della relazione del progettista

Il tema è stato trattato nella **RP** in varie parti del documento e in particolare alle pagine 174, 191, 198, 199, 501 (pdf) e 551; nel seguito sono riassunti i profili di particolare complessità e rilevanza considerati dall'**Assemblea**.

Il progettista afferma che:

- § 3.4.4.3.2.2 – Logistica cantiere e traffico marittimo. "T*rasporto di conci di torre. Ogni torre è formata da 24 conci più tre trasversi e strutture minori, assemblati in siti remoti e trasportati con open deck barge fino ai pontili corrispondenti. allo stesso modo vengono trasportate altre forniture come giunti, strutture provvisorie, pendini, ecc..*
- *§ 3.5.1.10 – Progetto architettonico "Belvedere". Come da richiesta di Società Stretto di Messina, espressa in riunione del 27 novembre 2023 di cui il verbale CS_005, il Contraente Generale approfondirà in fase di Progettazione Esecutiva uno studio di fattibilità avente come oggetto l'accesso panoramico al pubblico in entrambe le torri dell'Opera di Attraversamento. Il concept prevederà l'accesso dei visitatori all'interno della struttura, mediante ascensori di servizio riconfigurati allo scopo o tramite ascensori aggiuntivi. Il punto di accesso panoramico sarà collocato al secondo o al terzo trasverso. Lo studio di fattibilità non potrà prescindere da parametri quali il comfort dei visitatori (vibrazioni), la sicurezza dell'infrastruttura e del pubblico, valutazioni paesaggistiche nonché da aspetti strutturali e funzionali. In ogni caso rimarranno immutate le condizioni al contorno quali le caratteristiche fondamentali (geometria e materiali) delle gambe delle torri. (…).*
- *§ 3.5.2.3.2 Utilizzo di smorzatori attivi per le torri. Le prove in galleria del vento svolte in fase di Progetto Definitivo hanno evidenziato la necessità di mitigare le vibrazioni indotte da distacco di vortici incrementando lo smorzamento strutturale tramite appositi dispositivi, tanto in fase di esercizio quanto in fase realizzativa. Il Progetto Definitivo prevede pertanto l'impiego di smorzatori a massa accordata o TMD. Tali dispositivi, di tipo passivo, sono generalmente composti da un sistema massa-molla, e vengono calibrati pertanto per avere efficacia in un determinato intervallo di frequenze. A cagione di questo, è necessario introdurre dispositivi diversi per la fase costruttiva, e in aggiunta la progressiva modifica delle proprietà dinamiche delle torri comporta in ogni caso la necessità di ricalibrare più volte i dispositivi. Pertanto, con il fine di elevare il contenuto tecnologico dell'Opera di Attraversamento allo stato dell'arte e di eliminare le limitazioni insite dei dispositivi TMD, il Progetto Esecutivo verrà aggiornato per includere smorzatori di tipo attivo o AMD. Questi sono costituiti di una massa il cui movimento è regolato da un motore lineare a sua volta attivato da un sensore di movimento (della torre). La risposta dell'AMD è pertanto completamente indipendente da quella della torre, ovvero il dispositivo ha efficacia su uno spettro di frequenze più ampio rispetto a un TMD, con un conseguente miglioramento della mitigazione nei confronti delle azioni dinamiche.*
- *$ 3.5.2.4.1 Protezione al fuoco delle torri. La protezione al fuoco delle torri dovrà limitare la temperatura esterna delle carpenterie metalliche a un massimo di 200°C. Per il Ponte dei Dardanelli tale requisito è stato soddisfatto per una durata di 45 minuti considerando l'incendio di progetto da Eurocodice (idrocarburi). La protezione passiva può essere implementata mediante l'utilizzo di vernici intumescenti. Vedi anche prescrizione P.ET-007 – Protezione al fuoco.*
- *§ 3.6.2.4 Modello aeroelastico delle torri. Prove in galleria del vento di modelli aeroelastici delle torri sono stati svolte in fase di sviluppo del Progetto Definitivo presso i laboratori del BLWTL, Canada, e BMT, Regno Unito. I modelli testati erano entrambi in scala 1:200, e di conseguenza conformi ai requisiti del §6.4 della specifica CGC.F.05.03. Entrambe le prove hanno definito i livelli di smorzamento strutturale aggiuntivo necessario alla mitigazione delle vibrazioni indotte da distacco dei vortici, ovvero il fine, senza tuttavia specificare i mezzi, cioè i dispositivi (TMD, AMD) con i quali ottenere i livelli di smorzamento desiderato. Nelle sue raccomandazioni espresse di concerto al parere sul Progetto Definitivo, il Comitato Scientifico ha richiesto di effettuare una prova aeroelastica aggiuntiva su un modello in scala delle torri per verificare l'efficienza dei dispositivi di mitigazione delle vibrazioni indotte da distacco vortici. Si sottolinea che il modello realizzato a suo tempo al BLWTL è tuttora esistente e potrebbe essere equipaggiato con modelli degli smorzatori, mentre il modello del BMT è*

stato smantellato di concerto al laboratorio e alla galleria del vento. Lo scopo principale della prova comprenderà:

- *la misura delle vibrazioni indotte da distacco dei vortici (VIV), sul modello della torre privo di smorzatori, come ulteriore verifica dei risultati del 2010. Verranno considerate condizioni libere e vincolate, in testa alla torre.*
- *Misura delle VIV del modello della torre inclusivo di modelli dei dispositivi di smorzamento. Verranno considerate condizioni libere e vincolate, in testa alla torre.*
- *Misura delle VIV del modello della torre inclusivo di modelli dei dispositivi di smorzamento. Saranno considerate delle condizioni intermedie per simulare le fasi costruttive maggiormente critiche.*

Il modello aeroelastico provato al BLWTL, Canada, è tuttora esistente, e ciò potrebbe rappresentare una soluzione ottimale, anche dal punto di vista delle tempistiche. Come alternativa si valuterà la galleria del vento del Politecnico di Milano che è in grado di un modello aeroelastico in scala maggiore (1:125).

In Tabella 7-13 si riporta un estratto delle Raccomandazioni del **CS 2011,** inerenti i temi evidenziati.

	2.10.3 Torri *Gli elaborati del Progetto SdM illustrano torri aventi tre traversi sopra il livello dell'impalcato e uno al di sotto. I disegni indicano inoltre per le gambe delle torri una particolare sezione scatolare pluricellulare e per i traversi sezioni rettangolari relativamente più strette. Il Progetto Definitivo può modificare questi particolari ma deve tener conto di criteri di modularità e di sostituibilità degli elementi prefabbricati in caso di scenari di danno eccezionali e deve conseguire una qualità estetica di alto livello in tutti gli aspetti visivi del progetto. Tutte le superfici esterne delle torri devono essere lisce, evitando discontinuità o irrigidimenti che potrebbero trattenere acqua o sporcizia, o altrimenti ostacolare le future operazioni di pulizia e riverniciatura. Nel progetto delle unioni saldate si deve considerare le problematiche connesse con i prevedibili notevoli spessori delle lamiere. Poiché le torri sono in un regime di oscillazioni a causa del vento, si devono prevedere efficaci misure per il controllo delle oscillazioni sia durante la costruzione sia durante il servizio,* *Per quanto riguarda gli aspetti generali di modellazione, l'analisi globale del ponte deve tenere conto degli effetti di grandi spostamenti e deve adeguatamente rappresentare il comportamento e le caratteristiche strutturali delle torri. Si devono effettuare analisi locali dettagliate di aree critiche, al fine di determinare la ripartizione delle tensioni all'interno della struttura ed in particolare della sezione alla base delle gambe delle torri, per esaminare la distribuzione delle tensioni in corrispondenza dell'interfaccia con le fondazioni; delle giunzioni tra le gambe delle torri ed i traversi; della sommità delle gambe delle torri al di sotto delle selle dei cavi.* *In ogni caso, per la sezione delle gambe delle torri, si deve effettuare un'analisi dettagliata della ripartizione delle tensioni nelle sezioni delle gambe utilizzando modelli di analisi locali idonei. La progettazione deve tenere conto del metodo di montaggio e l'analisi deve comprendere una valutazione dell'adeguatezza della struttura in tutte le configurazioni intermedie temporanee.* *Si deve verificare la stabilità aerodinamica delle torri libere prima della realizzazione dei cavi, in base ad analisi e prove rappresentative in galleria del vento. La deformabilità e la resistenza delle torri devono essere tali da permettere che la sommità della torre possa essere tirata indietro verso gli ancoraggi durante il montaggio del sistema di sospensione (tie-back) senza che in nessuna parte si raggiungano i livelli plastici del materiale.* *Per quanto riguarda l'interfaccia con le fondazioni, il Progetto Definitivo e il Progetto Esecutivo devono essere sviluppati considerando in modo globale l'interfaccia tra le gambe in acciaio delle torri e la sottostruttura in calcestruzzo insieme al metodo di montaggio previsto, in modo da garantire la necessaria ripartizione delle tensioni di contatto all'interfaccia c consentire l'allineamento preciso dei conci delle gambe delle torri.* *Qualora il concio di base delle gambe delle torri sia impostato direttamente sulla superficie della fondazione in calcestruzzo con specifici dispositivi di ancoraggio il limite inferiore della parte esposta delle gambe in acciaio deve spiccare ad una quota di circa 4 m dal piano carrabile, prevedendo al di sotto di tale quota una sezione massiva in calcestruzzo, atta a costituire un'idonea protezione nei confronti di danni accidentali o intenzionali. Si deve inoltre prestare particolare attenzione all'ottenimento della massima durabilità degli elementi di calcestruzzo e acciaio alla base delle torri e specificare le tolleranze di planarità della superficie in calcestruzzo e più in generale dell'accoppiamento tra questa e la base del concio; prevedere l'ispezionabilità e manutenibilità dei dispositivi di ancoraggio; prevedere adeguate difese dell'interfaccia tra i suddetti elementi nei confronti di possibili danni accidentali o intenzionali.*

	Per quanto riguarda i sistemi di accesso per le operazioni di ispezione e manutenzione, il progetto e la costruzione delle torri deve consentire l'accesso a tutte le parti delle gambe e dei traversi, permettendone peraltro il controllo e la limitazione a fini di sicurezza. Si devono predisporre ascensori, scale e piattaforme all'interno di entrambe le torri, e tutte le parti interne devono essere raggiungibili per scopi di ispezione e manutenzione. Si devono rendere accessibili le superfici esterne delle torri mediante speciali traslatori correnti su vie di corsa predisposte. Si devono predisporre porte di accesso alle gambe delle torri sia al livello dell'impalcato sia alla base. Si devono inoltre predisporre porte di accesso alle gambe delle torri in corrispondenza di ogni traverso che consentano di raggiungere sia l'interno che l'estradosso dello stesso. Tali aperture, ed eventuali aperture aggiuntive interne di accesso ai vani ascensori, devono avere in generale dimensioni non inferiori a 0,8 m in larghezza e 2,0 m in altezza. Sarà inoltre predisposta almeno una apertura per gamba avente dimensioni maggiori ed idonea al transito di elementi strutturali e parti di ricambio dei macchinari. Tutte le altre aperture nelle gambe delle torri, ed eventualmente nelle pareti verticali interne, devono possedere dimensioni nette non inferiori a 0,6 m in larghezza per 1,3 m in altezza. Salvo che una dimensione maggiore sia espressamente richiesta da altre norme vigenti, tutte le aperture di accesso inserite nelle lamiere strutturali o nelle piattaforme orizzontali devono avere un diametro non inferiore a 0,6 m. Tutte le aperture d'accesso nelle pareti esterne delle torri devono essere dotate di una robusta chiusura stagna bloccabile dall'esterno, ma apribile dall'interno senza chiave tale da consentire un'eventuale uscita d'emergenza. Tutte le botole/passi d'uomo esterne devono essere dotate di un impianto automatico di rilevamento delle intrusioni atto a far scattare un allarme in caso di accesso non autorizzato o di mancata chiusura per qualunque motivo. Si deve prestare particolare attenzione alla predisposizione di ulteriori misure di sicurezza alla base delle gambe delle torri e a livello dell'impalcato, al fine di impedire l'accesso alla struttura da parte di persone non autorizzate. Nel caso in cui siano previsti smorzatori o altro tipo di dispositivo di controllo delle vibrazioni, questi devono essere posti all'interno delle torri, in maniera da risultare facilmente accessibili per operazioni di ispezione e manutenzione. Tutti i componenti di tali smorzatori o dispositivi devono essere di dimensioni sufficientemente ridotte da consentire la sostituzione in servizio senza la necessità di dover allargare eventuali passi d'uomo o creare aperture supplementari nella struttura della torre. *Per quanto riguarda lo smaltimento delle acque meteoriche, le superfici d'estradosso dei traversi devono essere dotate di un sistema opportuno per lo smaltimento delle acque meteoriche che garantisca che non si verifichino cadute concentrate di acqua sulla superficie dell'impalcato e colature di acqua lungo le superfici esterne delle torri.*
3CS	*Si segnalano in particolare le seguenti raccomandazioni: sviluppare lo studio, anche con nuove prove in galleria, simulando l'effettivo numero di Reynolds, del comportamento aerodinamico delle torri per le quali appare necessaria l'applicazione di sistemi di dissipatori di elevate prestazioni, capaci di dare luogo ad un elevato smorzamento tanto in fase di costruzione che di esercizio.*
4CS	*Si segnalano in particolare le seguenti raccomandazioni: condurre la verifica relativa alla instabilità dell'equilibrio delle torri con un modello numerico dell'intero ponte in campo non lineare per materiale e per geometria al fine di determinare la loro affidabilità con un metodo più realistico di quello approssimato indicato dalle attuali normative.*
5CS	*Si segnalano in particolare le seguenti raccomandazioni: svolgere analisi dettagliate atte a verificare la stabilità delle torri, dei cavi e dell'impalcato in tutte le fasi di montaggio.*
27CS	*Il Progetto Definitivo, in aggiunta alle inderogabili verifiche di sicurezza, deve quindi contenere uno studio per la determinazione dell'innesco, della propagazione e della successione dei meccanismi di crisi al variare dell'intensità sismica. Il risultato di questo studio deve fornire un quadro del comportamento fino a collasso della struttura e deve tendere ad evidenziare la gerarchia di formazione e la distribuzione dei meccanismi di crisi nella struttura distinguendo i meccanismi di crisi duttili da quelli fragili.*
30CS	*PROGETTAZIONE AERODINAMICA: Per quanto riguarda la Stabilità aeroelastica, il Progetto Preliminare definisce i requisiti ai quali deve rispondere il complesso di sperimentazioni da condurre nell'ambito del Progetto Definitivo, richiamando la necessità di considerare, nelle prove in Galleria del Vento, e specificamente nelle prove su modello sezionale, sia configurazioni di traffico stradale e ferroviario presente in ogni corsia e binario, (mettendo in conto le possibili diverse combinazioni di traffico) sia eventuali specifici procedimenti da mettere in atto al fine di assicurare la stabilità dell'impalcato, delle torri e del sistema di sospensione durante la fase di costruzione.*
31CS	*PROGETTAZIONE AERODINAMICA: Per quanto riguarda il distacco di vortici dalle Torri, nell'ambito del Progetto Definitivo devono essere sperimentati modelli aeroelastici in scala (sia per torre libera e vincolata) per i quali il Progetto Preliminare definisce le caratteristiche geometriche, i criteri di soddisfacimento della Legge*

	di similitudine, i limiti del numero di Scruton, i criteri per ritenere soddisfacenti i risultati della sperimentazione.
87CS	*PROGETTAZIONE STRUTTURALE: Specifica attenzione deve essere dedicata alla definizione e all'Analisi degli stati tensionali e deformativi residui indotti dal processo costruttivo.*

Tabella 7-13.- Raccomandazioni **CS 2011** e in parte reiterate dal **CS 2023** sulle torri

In Tabella 7-14 si riporta un estratto delle raccomandazioni del **CS 2023,** inerente i temi evidenziati.

#	*Raccomandazione **CS 2023***
	(…). *Il CS ritiene che all'aggiornamento delle prove sperimentali prima citate debba necessariamente seguire un aggiornamento dei dati che determinano le azioni di progetto e un affinamento della modellazione numerica, ove necessario anche attraverso l'impiego di EF 2D e 3D, sia per ciò che attiene la struttura e le relative condizioni al contorno dell'Opera di Attraversamento, sia per ciò che riguarda le azioni di progetto. In particolare, il CS raccomanda di aggiornare le analisi numeriche agli elementi finiti in campo geometricamente non lineare dell'intero manufatto per lo studio di eventuali problemi di instabilità dell'equilibrio delle torri. Il CS raccomanda inoltre di aggiornare le analisi globali agli EF per una più accurata descrizione del comportamento aeroelastico dell'Opera di Attraversamento. Si evidenzia in proposito che una variazione del rapporto tra la prima frequenza rotazionale e la prima verticale, insieme alle proprietà aerodinamiche dell'impalcato, incidono sulla valutazione della sicurezza del Ponte nei confronti dell'instabilità aeroelastica. Infine, il CS ritiene opportuno che nell'aggiornamento delle analisi strutturali vengano riesaminati scenari multihazard che tengano conto dell'azione combinata del vento e dei carichi di traffico ferroviario e/o stradale e ciò al fine di una conferma del livello di sicurezza e di funzionalità del Ponte anche nel caso di eventi estremi. (…)* *(…) Nell'ambito del concetto di robustezza rientrano anche le verifiche e misure antincendio. I grandi ponti sospesi sono molto esposti a rischi di incendio poiché attraversati da un numero rilevante di veicoli pesanti adibiti al trasporto di carburanti o merci infiammabili. Nella RP vengono previste varie misure di adeguamento per la protezione antincendio attiva e passiva degli elementi strutturali più esposti o sensibili; quali certe porzioni delle torri, i collari dei pendini ed il cavo principale. Questa prescrizione progettuale tiene conto della strategia b. di cui al §2.2.5 delle **NTC 2018**. Al riguardo, il C.S. considera adeguati gli aggiornamenti tecnologici previsti dal CG, ma ritiene opportuno che sia accertata e considerata la durabilità prestazionale dei sistemi di pittura intumescente previsti per la protezione della torre e dei collari, verificandone la compatibilità con il sistema di manutenzione delle verniciature ordinarie anticorrosione. Inoltre, il CS ritiene opportuno che gli scenari d'incendio da considerare in modo particolare quelli che possono portare alla perdita di resistenza o rigidezza del massimo numero ipotizzato di pendini, siano studiati nel dettaglio mediante metodi e algoritmi validati e universalmente riconosciuti.* *(…).* *Il CS ritiene opportuno sottolineare che l'Installazione di dispositivi per il controllo delle vibrazioni quali il Tuned Mass Damper (TMD) o l'Active Mass Damper (AMD) è, di norma, eseguita alla quota in cui si ha il maggiore spostamento a seguito dell'azione dinamica. Per essere realmente efficaci i dispositivi vanno accordati alla frequenza fondamentale. Nel caso in esame, poiché le frequenze e conseguentemente i modi di vibrare lungo due direzioni ortogonali sono molto diversi, si dovrebbero inserire due dispositivi, o uno multiplo, In modo da sincronizzarli al primo modo in direzione longitudinale (secondo l'asse del Ponte) ed al primo modo in direzione trasversale. Inoltre, nella direzione longitudinale sarà opportuno variare le caratteristiche del dispositivo in modo tale che il dispositivo risulti efficace sia prima che dopo il posizionamento dei cavi principali. Il meccanismo di funzionamento del sistema AMD, molto più leggero del TMD, è quello di attivare la massa tramite energia esterna in modo da fornire forze di controllo per ridurre le vibrazioni dell'edificio. Nella progettazione di un AMD bisogna predisporre dei sensori che misurino la risposta (spostamenti, velocità e - accelerazioni) sia della torre che del dispositivo. La strategia di controllo adottata nel sistema AMD si basa di solito sul controllo ottimale in tempo reale una volta valutata la risposta. Le forze di controllo da adottare vengono stabilite da un software e il sistema AMD è molto più complesso da progettare e da realizzare rispetto al TMD e richiede il continuo supporto^ dell'energia elettrica.* *Il CS, con riferimento all'adozione di sistemi AMD proposta nella RP per la fase di PE, raccomanda di accertare che nel caso di eventi estremi e di lunga durata venga comunque garantita la fornitura di energia elettrica. Si evidenzia inoltre come nel Cap. 9 dei Fondamenti sia prescritto che "eventuali dispositivi di tipo attivo dovranno garantire, in caso di mancato funzionamento, almeno sufficienti prestazioni di tipo passivo: in nessun caso il loro mancato funzionamento dovrà compromettere la funzionalità minima richiesta". Il CS consiglia di esplorare la possibilità di ricorrere a sistemi di controllo semi attivo o ibrido, anche per soddisfare il requisito*

	*di ridondanza strutturale recentemente introdotto dalle **NTC 2018**. Il CS suggerisce anche di analizzare l'ipotesi di utilizzare dispositivi di ultima generazione TMDI (Tuned Masss Damper with Inerter). Tali dispositivi, sebbene di progettazione più complessa dei classici TMD, sono capaci di amplificare fittiziamente (anche più di cento volte) la massa fisica del sistema. Ciò è possibile in quanto, grazie all'inerter, il TMDI trasforma il movimento lineare in movimento rotatorio ad alta velocità. Sono, quindi, dispositivi molto più leggeri, di dimensione molto più ridotta rispetto ai classici TMD e, per il loro funzionamento, non richiedono l'apporto di energia dall'esterno.* *(...).* *Il CS, considerata l'eccezionalità dell'Opera in esame e l'avanzamento tecnologico sia sul fronte computazionale che su quello sperimentale, ritiene pienamente giustificato il ricorso alle metodologie oggi disponibili per verificare e possibilmente validare in modo incrociato i risultati già ottenuti nell'ambito del PD: analisi Computational Fluid Dynamics - Large Eddy Simulation (CFD- LES) attraverso sistemi di calcolo super-computing, così come prove ad altissimo Re fino al raggiungimento del massimo consentito dalla strategia di prova prescelta (per esempio in galleria pressurizzata).*
40	*aggiornare le analisi numeriche agli EF in campo geometricamente non lineare in condizioni di esercizio, eccezionali e di montaggio, per lo studio di eventuali fenomeni di instabilità dell'equilibrio delle torri.*
41	*aggiornare le analisi globali agli EF per una più dettagliata descrizione del comportamento aeroelastico dell'Opera di Attraversamento per la valutazione della sicurezza nei confronti dell'instabilità aeroelastica.*
42	*riesaminare, nell'aggiornamento delle analisi strutturali, scenari multihazard che tengano conto dell'azione combinata del vento e dei carichi di traffico ferroviario e/o stradale.*
46	*accertare e considerare, in tema di verifiche e misure antincendio, la durabilità prestazionale dei sistemi di pittura intumescente previsti per la protezione della torre e dei collari, verificandone la compatibilità con il sistema di manutenzione delle verniciature anticorrosione.*
49	*con riferimento all'adozione proposta per le torri di sistemi AMD (Active Mass Damper), accertare che nel caso di eventi estremi e di lunga durata venga comunque garantita la fornitura di energia elettrica.*
50	*esplorare la possibilità, per le torri, di ricorrere a sistemi di controllo semiattivo o ibrido o anche l'ipotesi di utilizzare dispositivi di ultima generazione TMDI (Tuned Masss Damper with Inerter) sia per le torri, in alternativa agli AMD, sia per l'impalcato, per ridurne le oscillazioni indotte dal vento e dai carichi mobili.*
62	*investigare opportunamente la natura vorticosa dell'interazione fluido/struttura ai fini della verifica aerodinamica e/o aeroelastica del Ponte, valutando gli effetti della variazione del numero di Reynolds fino al raggiungimento del massimo valore consentito dalla strategia di prova prescelta in presenza di tutti i dettagli geometrici essenziali;*
64	*condurre, in parallelo e in modo complementare all'attività sperimentale, analisi CFD-LES (Computational Fluid Dynnmics - Large Eddy Simulation), attraverso sistemi di calcola super- computing, ai fini della verifica dell'aerodinamica del Ponte nelle varie fasi.*

Tabella 7-14.- Raccomandazioni **CS 2023** sulle torri

7.6.3. Il comportamento statico e dinamico delle torri

L'**Assemblea**, ribadendo le Raccomandazioni date da **CS 2011** e **CS 2023**, ritiene di osservare, raccomandare e prescrivere quanto segue.

Il progetto delle torri è impostato prevalentemente su analisi e verifiche di tipo tradizionale, basate sul confronto tra domanda e capacità in un quadro semi probabilistico, con l'obiettivo di dimostrare livelli di sicurezza adeguati rispetto alle azioni previste. Si apprezza la presenza di verifiche di riscontro sviluppate anche con controlli manuali su aspetti di dettaglio.

Al riguardo l'**Assemblea** rileva che nella documentazione progettuale esaminata non risultano sviluppati alcuni approfondimenti ritenuti essenziali al fine di caratterizzare le possibili modalità di danno, l'evoluzione del comportamento non lineare e le meccaniche di collasso attese per la struttura nel suo complesso. A tal fine l'**Assemblea** prescrive, in **Fase B**, che venga condotta una valutazione strutturale completa in regime non lineare e fino a collasso e non limitata ad un solo concio nelle condizioni di azione del vento e azione sismica; tale valutazione dovrà essere finalizzata a escludere, o quantomeno controllare, che non si verifichino stati limite indesiderati e modalità di collasso sfavorevoli.

Si evidenzia che un approccio basato sull'applicazione di criteri di gerarchia delle resistenze (capacity design) nei confronti di azioni orizzontali consentirebbe di prevenire modi di danno fragili e di indirizzare l'eventuale danneggiamento verso zone controllate, visibili, accessibili e riparabili, specialmente con riguardo ai nodi e ai dettagli costruttivi più delicati.

Per quanto riguarda le azioni eccezionali da considerare nel progetto, è necessario approfondire gli scenari di impatto. Non risulta chiarito, in modo tracciabile, quali porzioni della torre siano maggiormente vulnerabili, né come la vulnerabilità vari al variare delle ipotesi di impatto (energia, impronta, direzione e quota). L'**Assemblea** prescrive, in **Fase B**, di individuare le zone critiche e dimostrare la robustezza globale anche a fronte di danni locali significativi.

Passando dal comportamento a collasso al comportamento in esercizio, occorre affrontare più approfonditamente il tema dell'impiego di smorzatori a massa attiva (**A**ctive **M**ass **D**ampers, **AMD**), già adottati con efficacia per la riduzione della risposta al vento in strutture snelle. Pur condividendo l'eventuale adozione di tali sistemi, l'**Assemblea** prescrive, in **Fase B**, di effettuare analisi che dimostrino l'efficacia rispetto agli obiettivi prestazionali da raggiungere e che motivino in modo robusto la collocazione e il dimensionamento di tali dispositivi.
Non risultano, inoltre, chiariti gli effetti degli spostamenti e delle rotazioni delle torri sulla risposta dei cavi principali e dell'impalcato, né l'accettabilità delle deformazioni indotte in termini funzionali e di esercizio. L'**Assemblea** prescrive, in **Fase B**, di esplicitare i meccanismi di interazione torre–cavi–impalcato e verificare che gli spostamenti compatibili con la sicurezza strutturale siano anche compatibili con i requisiti prestazionali dell'opera.

Analizzando più in particolare la risposta trasversale delle torri sottoposte ad azione sismica l'**Assemblea** prescrive, in **Fase B**, di imporre un modello di gerarchia delle resistenze, secondo capacity design, tra nodo, gamba della torre e traverso con l'obiettivo di evitare meccanismi fragili e assicurare che l'eventuale formazione di cerniere plastiche e/o danneggiamento si sviluppino in zone controllate e, per quanto possibile, ispezionabili e riparabili. Si deve inoltre imporre che il meccanismo di taglio del traverso sia di gerarchia superiore rispetto al meccanismo a flessione ritenuto duttile e dissipativo.

Si evidenzia che la variazione della sollecitazione assiale dovuta all'azione sismica in ciascuna gamba della torre è influenzata dalla capacità dei traversi di trasferire taglio e di attivare una coppia interna tra le gambe. L'**Assemblea** prescrive, in **Fase B**, che tale variazione sia controllata e limitata al fine di preservare adeguata capacità deformativa alla base della gamba più compressa, evitando meccanismi di collasso a compressione e fenomeni di instabilità.

I traversi hanno fra loro geometrie differenti che possono riflettersi sulla capacità di ciascuno a trasferire tagli diversi e, quindi, generare effetti differenti sulla variazione dell'azione assiale a quote diverse. L'**Assemblea** prescrive, in **Fase B**, che le ragioni di tali differenze siano chiarite e motivate (geometria, dettagli, vincoli, criteri di progetto e di verifica), verificando che la distribuzione della capacità sia coerente con i meccanismi globali attesi e con gli obiettivi di capacity design.

La capacità complessiva della torre rispetto a forze orizzontali trasversali deve essere valutata considerando la capacità flessionale alla base delle gambe (includendo gli effetti dell'azione assiale e delle sue variazioni) e il contributo della coppia interna generata dalla variazione di azione assiale tra le gambe. L'**Assemblea** prescrive, in **Fase B**, che siano stimati e documentati, in modo coerente, i valori di capacità globale e i corrispondenti indicatori di deformazione (curvatura, rotazione, spostamenti), includendo la capacità deformativa post-elastica e i limiti di stabilità locale, fino alla definizione della modalità di collasso attesa.

In base alla configurazione geometrica e alla capacità di trasferimento di taglio dei traversi, la risposta globale potrebbe risultare fortemente influenzata dalla formazione di cerniere plastiche alla base delle gambe, con particolare riguardo a quella maggiormente compressa. L'**Assemblea** prescrive, in **Fase B**, di assicurare che i dettagli alla base e la stabilità locale delle pareti siano coerenti con la domanda deformativa attesa.

7.6.4. I commenti alla relazione del progettista

Quanto sopra indicato deve essere considerato frutto delle analisi dei dati a disposizione e pertanto devono essere confermati, corretti e resi tracciabili dai progettisti tramite analisi non lineari verificate su un modello validato. In particolare, potrebbero essere utilizzate analisi globali non lineari statiche equivalenti (pushover) in direzione trasversale.

Le analisi devono considerare più forme di distribuzione delle forze orizzontali, rappresentative delle diverse azioni (sisma e vento), e devono consentire:

- **la definizione della curva capacità;**
- **l'identificazione delle sequenze di danneggiamento;**
- **la verifica della gerarchia delle resistenze;**
- **la valutazione della domanda deformativa nelle zone critiche.**

Nella valutazione della risposta longitudinale delle torri riveste un ruolo fondamentale il vincolo costituito dalla sella che ospita i cavi principali, che merita dunque attenzione. Nell'ipotesi di assenza di scorrimento, resta però essenziale la deformabilità dei cavi che offre comunque un vincolo cedevole in testa alla torre, con rigidezze diverse nelle due direzioni, a causa del vincolo lato terra che non trova riscontro sul lato mare, in cui la rigidezza vincolare è governata dal solo peso di cavi ed impalcato. Ciò può comportare tra l'altro un incremento della forza assiale nelle torri che non può essere trascurato.

Tutto questo deve essere oggetto di modelli specifici, che in regime non lineare richiedono di nuovo l'applicazione di principi di capacity design, al fine di definire e localizzare dove si manifesteranno i fenomeni di danno (torre, cavi o interfaccia), privilegiando meccanismi controllati e riparabili e prevenendo l'innesco di danno in zone non accessibili.
È evidente nelle relazioni di calcolo l'influenza dei modi superiori di vibrare, sia nella risposta al sisma, sia nella risposta al vento. Come è ben noto, i modi superiori non risultano generalmente influenzati dal comportamento non lineare, e come tali devono essere presi in considerazione in modelli a collasso.

Anche per la risposta longitudinale si devono effettuare analisi globali non lineari statiche equivalenti (pushover), includendo una modellazione adeguata del vincolo in sommità e dell'interazione con il sistema dei cavi.

Tali analisi sono utili a escludere la possibilità che la zona maggiormente sollecitata in direzione longitudinale si sviluppi a quote intermedie, in prossimità di uno dei traversi e invece coincida con la base. Infatti, la modalità di danno, diffusa a quota intermedia, è indesiderabile perché più difficile da identificare e riparare e pertanto deve essere studiata in modo da essere esclusa o significativamente limitata mediante una revisione della distribuzione della capacità lungo l'altezza e mediante l'applicazione rigorosa di criteri di gerarchia delle resistenze.

La deformata longitudinale può essere fortemente condizionata dal vincolo di sommità e dalle ipotesi adottate per rappresentarlo. È quindi necessario modellare tale vincolo con un livello di realismo adeguato agli obiettivi (inclusi eventuali scorrimenti e non linearità) e svolgere analisi di sensibilità che quantifichino l'influenza delle principali assunzioni sulla distribuzione delle deformazioni e sulla localizzazione del danno.

La capacità globale in direzione longitudinale e la corrispondente capacità a taglio dipendono in modo determinante dal ritegno offerto dal sistema in sommità. La corretta rappresentazione dell'asimmetria del vincolo tra lato terra e lato mare è essenziale per ottenere risultati attendibili e per definire in modo robusto la domanda sulle parti strutturali e sulle interfacce.

Si devono approfondire e chiarire i punti sopra esposti, fornendo evidenze analitiche e progettuali che dimostrino:

- l'esclusione di modalità di danno non desiderate a quota intermedia;
- la coerenza della gerarchia delle resistenze lungo l'altezza;
- l'adeguatezza della modellazione del vincolo di sommità e dell'interazione con i cavi;

- qualora necessario, revisionare la distribuzione della capacità lungo l'altezza.

In entrambe le direzioni è necessario applicare principi di capacity design al sistema torre–fondazione, impedendo in particolare l'innesco di non linearità significative nelle fondazioni e garantendo che l'eventuale dissipazione avvenga nelle parti strutturali previste e controllabili.

L'**Assemblea** raccomanda, in **Fase B** del **PE**, di dimensionare le fondazioni in funzione delle azioni massime trasmissibili dalla torre, stimate sulla base della capacità strutturale (in direzione longitudinale, trasversale e in combinazione), e non limitandosi alle azioni di progetto calcolate in campo elastico.

Si devono fornire stime tracciabili delle azioni massime trasmissibili alla fondazione (momenti e tagli) nelle diverse direzioni, coerenti con i risultati delle analisi non lineari fino a collasso e con le scelte di capacity design. Tali stime devono costituire la base delle verifiche geotecniche e strutturali del sistema di fondazione.

Il tema dell'impatto è trattato mediante scenari idealizzati che assumono specifiche combinazioni di energia, velocità e impronta di contatto. Tali ipotesi devono essere esplicitate e motivate in relazione agli scenari di riferimento e ai criteri di progetto adottati.

Deve essere studiato il comportamento fino a collasso per impatto con analisi parametriche che varino le principali ipotesi e, soprattutto, la zona di impatto.

Lo studio deve avere come obiettivo quello di individuare i punti più vulnerabili e dimostrare che la probabilità di collasso non risulti concentrata su porzioni limitate della struttura senza adeguate misure di mitigazione.

Anche nel caso dell'impatto si devono adottare criteri coerenti con il capacity design, valutando l'opportunità di accettare danni locali maggiori (controllati) al fine di preservare la sicurezza globale e prevenire meccanismi fragili o progressivi.

La deformabilità della torre, in particolare in direzione longitudinale, può influenzare in modo rilevante gli spostamenti dell'impalcato e la risposta complessiva del sistema sospeso. Questo aspetto si deve trattare con modelli integrati torre–cavi–impalcato e si deve verificare anche rispetto ai requisiti di esercizio e funzionali, incluse le verifiche di transitabilità.

Nella documentazione del **PD** si fa riferimento a soluzioni con masse accordate passive (TMD), inoltre, è stata anche richiamata, nei successivi documenti di risposta alle raccomandazioni del Comitato scientifico, l'ipotesi di utilizzo di masse attive (**AMD**). L'opzione **AMD** è potenzialmente migliorativa, ma richiede una dimostrazione prestazionale basata su simulazioni accurate e su requisiti espliciti.

Qualora si adottino dispositivi di controllo vibrazionale per le torri, inclusi gli **AMD**, si devono valutare anche gli effetti indiretti sull'impalcato e sui cavi, per evitare trasferimenti indesiderati di domanda e per garantire la compatibilità prestazionale del sistema nel suo complesso.

Più specificatamente sull'uso di **AMD** si prescrive quanto segue:

- definire gli obiettivi prestazionali (riduzione di spostamenti/accelerazioni) e i criteri di accettazione per le condizioni di esercizio e per gli eventi rilevanti;
- devono essere sviluppate simulazioni dinamiche con modello integrato che includa la struttura, i cavi e l'impalcato, rappresentando in modo coerente il controllo attivo e le sue logiche;
- devono condursi analisi parametriche su caratteristiche del dispositivo e sul posizionamento, valutando sensibilità, robustezza e possibili interazioni indesiderate con altri modi di vibrare;
- devono essere verificati requisiti di affidabilità, ridondanza, alimentazione, manutenzione, modalità degradate e strategie di monitoraggio, con indicazione delle conseguenze prestazionali in caso di indisponibilità del sistema;

- devono essere documentate, in modo tracciabile, le scelte tra l'utilizzo di TMD, **AMD** o soluzioni combinate tramite confronto prestazionale, costruttivo e gestionale.

7.7. L'impalcato

7.7.1. Fasi Costruttive

La definizione delle fasi costruttive, per un'opera come quella qui analizzata, è un tema rilevate che necessita di un approfondimento adeguato, rispetto a quanto sviluppato nel **PD**, teso a scongiurare sostanziali modifiche dei tempi e dei costi di realizzazione.

Il tema è stato trattato nella **RP** a pagina 174 e, nel seguito, sono riassunti i profili di particolare complessità e rilevanza considerati dall'**Assemblea**:

- il progettista afferma che Il **montaggio dei conci** è, in condizioni favorevoli, stimato in 5 mesi. Non vi è, però, nessuna valutazione sugli scenari sfavorevoli, sugli aspetti critici e sui relativi impatti nella fase di costruzione dell'impalcato;
- il progettista richiama i temi delle **imperfezioni geometriche e degli stati coattivi** che potrebbero indurre criticità anche durante le fasi costruttive. Nel **PD** non sono state indicate le tipologie di imperfezioni considerate con i corrispondenti effetti sui livelli di sicurezza in fase post-costruttiva (doc PS0025_F0);
- il progettista afferma che il processo di costruzione viene modellato, in **IBDAS**, come una sequenza di fasi di costruzione e, a ciascuna fase, è collegato un riferimento temporale per il calcolo degli **effetti dipendenti dal tempo** (Pag. 37 del doc PS0002_F0); l'implementazione in **IBDAS** di tali aspetti, di notevole rilevanza ai fini del dimensionamento e della definizione di dettaglio delle fasi costruttive, nel **PD** non è stata illustrata né a livello teorico né a livello procedurale;
- il progettista, al cap. 3, richiama brevemente la **saldatura dei conci**. In particolare, descrive un collegamento temporaneo con cerniere di vario tipo (A, B, e C) e la saldatura del giunto inferiore una volta messi in posizione i giunti dell'impalcato, ma non ne esplicita i tempi e gli aspetti rilevanti da considerare in fase di esecuzione (doc PS00278_F0);
- il progettista, nel cap. 5, fa riferimento alla **parte a sbalzo di un concio dell'impalcato durante il sollevamento**; si dichiara in maniera esplicita (Pag. 18 del doc PS00278_F0) che la zona in deflessione delle parti a sbalzo possa essere sede di tensioni che non potranno essere recuperate durante la fase di assemblaggio, stimando che tali tensioni siano dell'ordine di 55 MPa;
- nella **verifica, in direzione longitudinale, dell'acciaio** Il coefficiente di utilizzo è spinto fino a valori di 0.9 con un conseguente ridotto margine di sicurezza, per di più al netto degli effetti legati alle fasi costruttive (Fig. 1.3).

In Tabella 7-15 si riporta un estratto delle Raccomandazioni del **CS 2011** contenute nella appendice della relazione del **CS 2023**, inerenti i temi evidenziati.

87CS	Questo CS concorda con la metodologia proposta dal CG per tenere conto degli stati tensionali indotti dal processo di costruzione stesso. Tra le considerazioni da inserire nella progettazione dell'assemblaggio dovranno rientrare anche le tensioni causate dal rilascio di giunti bullonati provvisori e dal processo di saldatura sulle lamiere di grosso spessore. Per quanto riguarda la priorità assegnata, si raccomanda che il CG si accerti in tempo se gli stati tensionali generati nelle fasi di montaggio possano essere decisivi ai fini del dimensionamento

Tabella 7-15. - Raccomandazioni del **CS 2011** (reiterate dal **CS 2023)** sulle fasi costruttive

Quindi, già il **CS 2023 ha** espresso parere favorevole alla metodologia indicata dal **CG** raccomandando, in sede di redazione del **PE**, che il progettista "*… si accerti in tempo se gli stati tensionali generati nelle fasi di montaggio possano essere decisivi ai fini del dimensionamento*" (effetti del collegamento provvisorio bullonato e delle saldature tra i conci), raccomandazione raccolta dal **CG** come una prescrizione alla quale ottemperare nella fase esecutiva.

Il tema delle fasi costruttive dell'impalcato è di rilevante interesse per arrivare alla stima corretta del livello di sicurezza nella fase di esercizio, sia nei confronti delle verifiche tensionali, sia nei confronti delle verifiche a fatica; dunque, va affrontato con le dovute cautele utilizzando modelli adeguati non presenti nel **PD**.

Tutto ciò considerato, l'**Assemblea** ritiene che, operando in **Fase B**, sia necessario:

- Esplicitare nel dettaglio tutti gli **stati coattivi potenziali** inducibili dal processo costruttivo dell'impalcato che risulta particolarmente sensibile alle **imperfezioni geometriche** possibili durante la sua costruzione; quindi, si prescrive di esplicitare la classe delle imperfezioni prevista in sede costruttiva secondo le EN1090-2 e di verificare che tali difetti non alterino le condizioni di sicurezza dell'impalcato nella fase post-costruttiva; inoltre, nel PE è necessario definire, in **Fase B**, tutte le procedure di controllo e gestione, da attuare in **Fase C**, per il rilievo ed il monitoraggio delle imperfezioni considerate critiche.
- Giustificare, mediante riferimenti normativi e bibliografici di comprovata validità, tutte le ipotesi alla base dei modelli implementati in **IBDAS** per simulare gli **effetti reologici dei materiali** durante le fasi costruttive dell'impalcato; questa parte, non adeguatamente trattata nel **PD**, è fondamentale per confermare la correttezza delle verifiche svolte sia in termini tensionali sia in termini di fatica.
- Esplicitare nel dettaglio le **modalità e la sequenza di saldatura** sia tra i vari elementi del concio, sia tra un concio e l'altro e l'influenza, in termini di stati di tensioni locali, di tale fasistica durante l'esercizio dell'impalcato.
- Esplicitare nel dettaglio le **fasi di sollevamento dei conci** di impalcato; in particolare, per evitare rilevanti stress residui a valle dell'assemblaggio dei conci, si raccomanda l'adozione di soluzioni tecnologiche atte a contenere il problema della deflessione delle parti a sbalzo dell'impalcato durante il sollevamento.
- Giustificare, mediante analisi di dettaglio e/o riferimenti normativi e bibliografici di comprovata validità, la valutazione **delle tempistiche di montaggio** durante la fase di costruzione dell'opera di attraversamento, per una quantificazione affidabile del tempo di esposizione alle azioni ambientali (vento, sisma, etc). Al fine di valutare le massime azioni agenti sulla struttura nella delicata fase costruttiva del ponte, si deve tener conto di tutti i possibili scenari, nelle condizioni più conservative.

7.7.2. Classi di esecuzione

Il tema dell'esecuzione dell'opera di attraversamento è richiamato esplicitamente nella **RP** al § 3.1.5.3 dove è viene fornito il quadro normativo vigente. Tuttavia, ci sono aspetti che possono avere ricadute sul livello di sicurezza in fase di esercizio, che non sono stati esplicitamente trattati.

In particolare, riguardo l'esecuzione delle strutture metalliche dell'impalcato, nella **RP** si prescrive l'uso di una classe di esecuzione EXC3 in accordo alla EN 1090-2. Tuttavia, nulla è detto su come garantire la classe di accettazione dei difetti delle saldature come prescritto dalla EN ISO 5817 (classe B). Non è poi indicato come questa prescrizione venga garantita in fase costruttiva, quando i conci verranno saldati l'uno all'altro in condizioni che potrebbero avere ripercussioni sulla capacità stessa di garantire la classe di esecuzione prescelta.

Gli aspetti sopra considerati sono ritenuti centrali in un progetto come l'**Opera**, per la quale sono qui riassunti i profili di particolare complessità e rilevanza considerati:

- Con riferimento alla **classe di esecuzione EXC3** prescritta dal progettista per l'adeguamento alle **NTC 2018**, non è indicato quali saranno gli **accorgimenti per garantire una classe dei difetti adeguata**, come esplicitamente prescritto alla EN 1090-2. Si tenga conto che Il giunto tra conci dell'impalcato sarà realizzato nella fase costruttiva in cui il cassone è ancora piuttosto deformabile (catenaria) e soggetto ad importanti azioni del vento. È necessario quindi dimostrare come la procedura costruttiva consenta realisticamente di raggiungere il livello di qualità della saldatura necessario. Si rammenta che la **qualità della saldatura** deve essere garantita mediante controlli indiretti (controllo dei parametri di esecuzione e controlli non distruttivi), che nella **RP** e negli elaborati progettuali non sono indicati.

- Il **Capitolato Generale Tecnico** di Appalto delle Opere Civili di **RFI** al punto 6.6 prescrive per i **ponti di grandi dimensioni** con luce > 150 m una **classe di esecuzione EXC4** (Tab. 6.6.1.1). Ne segue che l'affermazione del progettista (§ 3.5.1.5.2) che recita: "*L'adozione della EXC4 è demandata a "casi speciali, inclusi quelli tipicamente coperti dalla CC4*", non è corretta, e che invece la classe EXC4 vada comunque applicata su tutto l'impalcato ferroviario.

Il tema non è stato trattato dal CS 2023, mentre Il progettista, pur avendo prescritto nella RP una classe di esecuzione EXC3, non ha chiarito come soddisfare le indicazioni della EN ISO 5817 sul rapporto tra classe di esecuzione (EXC) e i livelli di qualità dei difetti indicati, che nel caso specifico richiederebbero una classe di qualità dei difetti di saldatura almeno B.

Sarebbe poi necessario indicare nella relazione i giunti più sensibili al problema della fatica, sui quali è necessario porre ulteriore attenzione in accordo alle EN 1993-1-9, soprattutto in tema di controlli non distruttivi. Lo stesso progettista rileva nella sua relazione (§ 3.5.1.5) che è "*necessario aggiornare il progetto con maggiore incisività rispetto a quanto fatto in sede di Progetto Definitivo, andando in primis a sanare il vulnus maggiore rappresentato dall'assenza della definizione di Classe di Esecuzione*". Nonostante ciò, non sono state riscontrate nella **RP** indicazioni chiare su come soddisfare tale necessità.

Alla luce di quanto rilevato, l'**Assemblea** ritiene, che operando in **Fase B**, sia necessario:

- Specificare come il progettista intenda **garantire il rispetto della NTC 2018** (§. 4.2) riguardo l'applicazione delle EN1090-2 in tema di **classe di esecuzione (EXC)** e del livello qualitativo dei difetti ammessi nelle fasi costruttive durante la **saldatura dei giunti** tra i conci di impalcato.
- Indicare come verranno effettuati sia il **controllo dei parametri di esecuzione,** sia i **controlli non distruttivi nell'esecuzione dei giunti saldati tra conci**, per garantire il livello qualitativo dei difetti imposto dalle norme.
- Porre particolare attenzione ai **giunti sensibili alla fatica** e indicare per essi i controlli non distruttivi necessari.
- Imporre la **classe di esecuzione EXC4 per tutti gli elementi dell'impalcato ferroviario,** non solo per alcuni, come prescritto dal Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili di **RFI** al § 6.6.

7.7.3. Validazione dei modelli di calcolo

Nel **PD** il modello globale implementato nel software **IBDAS** per l'impalcato è stato validato con l'ausilio del software Autodesk **ROBOT** dove un singolo concio dell'impalcato è stato analizzato con un modello 3D ad elementi shell. Ciò è stato possibile applicando ai nodi liberi del modello 3D le sollecitazioni provenienti dal modello monodimensionale con elementi beam, implementato in **IBDAS** e calcolato nei punti di gauss. Nonostante il tema sia stato trattato negli elaborati progettuali, l'**Assemblea** segnala i profili di particolare complessità e rilevanza appresso elencati.

Dall'analisi della Tabella 2-3 del Design Report del progettista (doc. PS0079_F0, p. 14), emerge che la deviazione tensionale tra il modello globale **IBDAS** e il modello locale **ROBOT** non costituisce un fenomeno isolato o limitato, ma si manifesta in modo sistematico e diffuso in tutte le combinazioni di carico fondamentali (ULS) (pag. 1, 14):

- Carico Permanente (Reference Condition): Si registra lo scostamento massimo assoluto sulle piastre inferiori (Bottom plates, Sezione 3) pari al +22.35% (49.26 MPa di **ROBOT** contro 40.26 MPa di **IBDAS**) (pag. 14).
- Combinazione LC6532 (Massimo Momento Flettente): Si riscontrano macro-discrepanze tensionali che toccano il -19.11% sulle piastre inferiori della Sezione 1 (263.61 MPa di **ROBOT** contro 325.89 MPa di **IBDAS**) e il -17.76% sulla Sezione 3 (pag. 14).
- Combinazione LC6542 (Massima Tensione nei Pendini): Si evidenziano scostamenti critici del -17.96% sulle piastre d'impalcato (Deck plates, Sezione 3) e del -17.24% sulle piastre inferiori (Sezione 1) (pag. 14).

L'andamento variabile e l'alternanza dei segni delle deviazioni (con variazioni oscillanti tra il +22% e il -19%) certificano l'esistenza di una forte incertezza nella modellazione della distribuzione delle tensioni (pp. 12, 14), che il progettista ha egli stesso evidenziato (pag. 12). **Queste discrepanze, nonostante quanto dichiarato dal progettista nella relazione, non possono essere ritenute trascurabili, come invece dichiarato dal progettista (pag. 15).**

Poiché le sollecitazioni estratte dal modello globale **IBDAS** costituiscono i dati di input diretti per le verifiche in direzione longitudinale dell'acciaio condotte tramite il codice ADVERS, si può affermare che l'intera catena di calcolo esecutiva è condizionata da un evidente errore di trascinamento e propagazione numerica (pp. 9, 12).

Di conseguenza, l'utilizzo delle sollecitazioni provenienti dal modello globale **IBDAS** per le verifiche dell'acciaio longitudinale previste dall'EC3 con il software ADVERS risulta affetto da un eccessivo errore di natura epistemica.

Preso atto che il CS 2023 non espresse alcun parere specifico in merito alla congruenza dei software di calcolo e che il progettista non ha implementato contromisure analitiche atte a sanare le anomalie riscontrate nella relazione PS0079_F0, nella successiva **RP**, l'**Assemblea**, con riferimento alla **Fase B**, impone le seguenti Prescrizioni:

- prima dell'approvazione del **PE**, il progettista dovrà aggiornare i modelli globale e di dettaglio per l'impalcato per ridurre la deviazione tensionale riscontrata tra i codici di calcolo **IBDAS** e **ROBOT** nelle zone di picco.

I due software (**IBDAS** e **ROBOT**) devono convergere verso uno scarto relativo massimo, calcolato in valore assoluto, non superiore al 5% nelle zone di picco, dimostrando che l'affinamento dei modelli riduce le incertezze epistemiche riscontrate.

7.7.4. Adeguamento ai limiti normativi per la resistenza degli acciai dell'impalcato

Come già discusso nel § 7.3.2.1., il **PD** prevede per i traversi dell'impalcato l'impiego di piastre in acciaio ad alta resistenza con spessore fino a 100 mm, eccedendo il limite superiore di 80 mm contemplato dalla Tabella 4.2.1 delle **NTC 2018** e dalla Tabella 5.1 della EN 1993-1-1. Inoltre, si tenga conto che, per spessori superiori a 80 mm, le norme nazionali ed europee di progettazione non forniscono valori di resistenza nominale. infine, sebbene Il Capitolato Generale Tecnico **RFI** delle opere Civili non contenga un divieto espresso degli acciai termomeccanicamente laminati conformi alla EN 10025-4, per le strutture principali in classe EXC3 ed EXC4, individua espressamente qualità N/NL e prescrive che i materiali destinati alla saldatura siano di regola normalizzati.

Pertanto, l'impiego di acciai **ML** non può considerarsi automaticamente conforme al capitolato e richiederebbe una specifica accettazione di **RFI**.

Il tema è stato trattato nella **RP** al § 5.5.1.5; nel seguito, sono riassunti i profili di particolare complessità e rilevanza considerati dall'**Assemblea**:

- In accordo alle **NTC 2018** l'impiego di piastre con spessore superiore a 80 mm non è esplicitamente contemplato. Tuttavia, nei documenti progettuali è indicato in maniera esplicita l'uso di spessori nei traversi fino a 82 mm e nelle piastre di ancoraggio dei pendini spessori fino a 100 mm, avendo ritenuto il progettista di utilizzare delle proprietà dell'acciaio invariabili con lo spessore.
- Secondo il Capitolato Generale Tecnico **RFI** delle opere Civili, l'utilizzo di acciai di grado **S460ML** o qualsiasi altra classificazione basata sul processo di laminazione termomeccanica (**ML**) non è automaticamente accettabile ma richiederebbe un benestare da parte di **RFI**, e questo aspetto, benché critico, non è stato affrontato nella **RP**.
- In relazione alle prove meccaniche e metallurgiche standard da eseguirsi sui lotti di produzione dei materiali idonei e conformi al Capitolato, il progettista ha l'obbligo di definire il protocollo statistico di analisi dei dati. Esplicitando in sede esecutiva il modello di distribuzione e i criteri di calcolo per determinare i valori caratteristici nonché i relativi intervalli di confidenza, al fine di dimostrare l'omogeneità dei parametri di resistenza e tenacità del materiale ordinario impiegato.

Questi temi sopra richiamati, nel parere del **CS 2023** come riportato sinteticamente nella Tabella 7-16.

i) c) pag. 18	*"Per quanto riguarda la progettazione e la posa in opera delle sovrastrutture in acciaio dell'Opera di Attraversamento (le torri, gli impalcati stradali e quello ferroviario, i cavi principali, i pendini, le selle, gli*

	ancoraggi dei cavi, i buffers) (...). CS ritiene necessario che la progettazione esecutiva tenga conto dell'effettiva reperibilità degli acciai da impiegare, con un opportuno livello di flessibilità a riguardo"

Tabella 7-16.- Raccomandazioni **CS 2023** in merito alla reperibilità degli acciai

Inoltre, nella nota di chiarimento al quesito n.11 Materiali e Capacità richiesto dal CC.S.LL.PP e trasmessa dal CG il 27.05.2026 (risposta al chiarimento 1), si specifica che per la qualificazione dell'acciaio si intenderà utilizzare l'approccio già impiegato nel progetto del ponte Canakkale che prevede procedure controllate di produzione e qualificazione, senza per altro specificarle e che nel caso la loro efficacia non dovesse essere garantita si utilizzeranno le altre vie (b e c) indicate dal **CS 2023**.

7.7.5. Strutture terminali

Nel **PD** le due "Strutture Terminali", disposte su ciascuno dei due versanti, costituiscono gli appoggi delle parti terminali del cassone ferroviario e dei cassoni stradali del ponte sospeso (lato mare) e del viadotto Pantano/campata d'approccio (lato terra) (v. Figura 7-1). Le pile verso lo stretto e le relative fondazioni di tali strutture costituiscono anche gli ancoraggi dei pendini di "tie-down" del ponte.

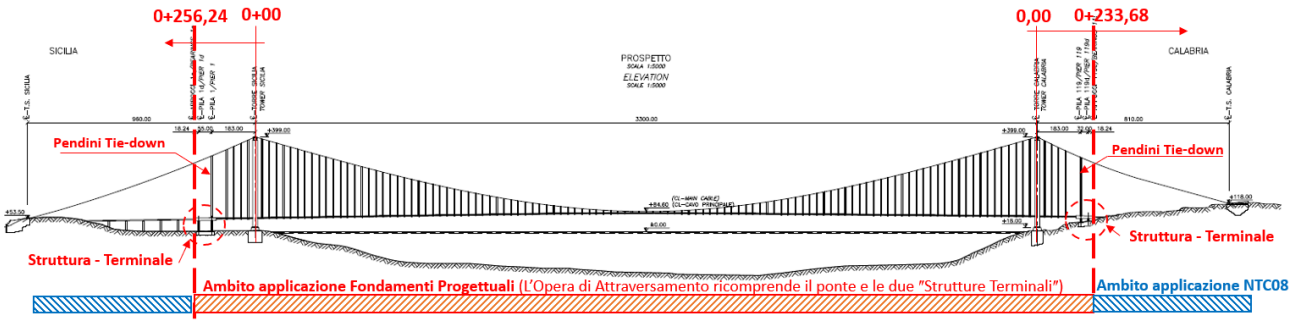


Figura 7-1.- Schema generale del ponte estratto da (PG003_F0)

Dalla sezione riportata in Figura 7-2, rappresentativa di entrambe le strutture di cui trattasi, si evince che su di esse insistono da un lato gli appoggi dei cassoni del ponte sospeso, dall'altro gli appoggi della prima campata dei viadotti di approccio; in particolare tali appoggi sono disposti sulle mensole di estremità dell'impalcato della struttura terminale, caratterizzate da aggetti pari a 15,24 m lato mare e a circa 18,25 m lato terra.

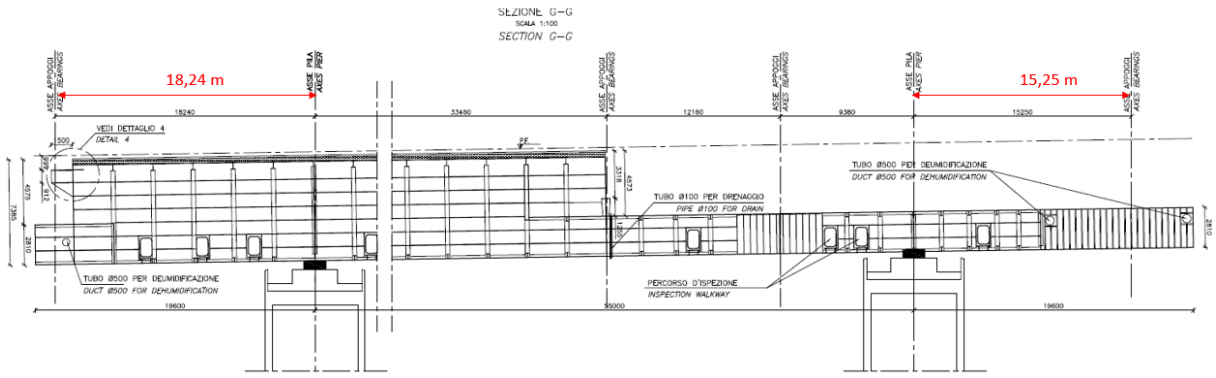


Figura 7-2.Sezione Struttura terminale (PS0161_F0)

Alla luce di quanto sopra rappresentato e tenuto conto della potenziale rilevanza delle amplificazioni dinamiche indotte dal traffico ferroviario e stradale sulle strutture in aggetto, l'**Assemblea** ritiene necessario che, in **Fase B** del **PE**, siano eseguite specifiche analisi finalizzate alla quantificazione dell'entità degli effetti dinamici indotti dal transito dei convogli ferroviari e dei veicoli stradali, ai fini della loro compiuta considerazione nelle verifiche

strutturali agli stati limite di esercizio (SLS1, SLS2), allo stato limite ultimo (**SLU**) e nei confronti della fatica degli elementi di impalcato, dei dispositivi di appoggio, dei giunti di dilatazione stradale e degli apparecchi di dilatazione della rotaia .

Per quanto riguarda gli apparecchi di appoggio e i dispositivi di vincolo tra le pile e l'impalcato delle strutture terminali, nonché gli appoggi, i ritegni e i dispositivi che collegano l'impalcato delle strutture terminali con i cassoni del ponte e con gli impalcati dei viadotti di approccio, considerata l'entità delle sollecitazioni previste, le relative dimensioni e l'ampiezza degli spostamenti, l'**Assemblea** ritiene che, in **Fase B** del **PE**, siano specificate le tolleranze costruttive delle diverse parti costituenti i dispositivi, siano valutati gli effetti associati a eventuali imperfezioni e, per ciascuna tipologia, sia esaminato in laboratorio, su prototipi, il comportamento atteso. A tale riguardo, si prescrive che la costruzione di tali elementi possa essere avviata solo a valle dell'esito positivo delle prove di funzionalità su prototipi dei dispositivi, condotte tenendo conto anche di un adeguato numero di ripetizioni dei cicli di carico e degli spostamenti attesi in condizioni di esercizio.

Nell'ambito della **Fase B** del **PE**, inoltre, dovranno essere puntualmente individuati e rappresentati i percorsi e le modalità di ispezione di tutte le parti e degli elementi strutturali, verificando e definendo le modalità di sostituzione dei dispositivi di vincolo, dei ritegni e degli altri elementi assimilabili, avendo particolare riguardo alla minimizzazione delle ricadute sull'operatività dell'infrastruttura.

Infine, l'**Assemblea** ritiene che, in **Fase B** del **PE**, si debba effettuare la valutazione degli effetti dell'azione sismica sulle strutture terminali mediante modellazioni che tengano conto anche dei contributi delle strutture adiacenti a esse collegate, sia in termini di massa che di rigidezza trasversale e longitudinale.

7.7.6. I giunti di dilatazione e i buffers

7.7.6.1. Giunti di dilatazione ferroviari

Le presenti considerazioni riguardano i giunti di espansione ferroviari previsti per l'**Opera**, con particolare attenzione alla determinazione degli spostamenti e delle rotazioni di progetto, alla risposta dinamica, ai fattori di impatto da assumere nelle verifiche, alla conformità ai requisiti normativi e prestazionali applicabili, nonché agli aspetti di prova, durabilità, manutenzione e sostituibilità dei dispositivi.

Il tema trova riferimento nella Relazione del progettista, nell'ambito delle prescrizioni per il **PE** relative all'**Opera** e all'adeguamento alle **NTC 2018**. In tale sede la Relazione evidenzia che il Capitolo 11 delle NTC tratta, tra l'altro, aspetti relativi alla produzione, identificazione, qualificazione e accettazione dei materiali da costruzione e dei dispositivi, quali giunti di espansione, appoggi e dispositivi antisismici, rinviando in generale alla revisione delle specifiche progettuali da effettuare in sede di **PE**.

La **RP** richiama inoltre le modifiche introdotte dalle **NTC 2018** con riferimento alle azioni termiche e all'incremento del relativo coefficiente parziale di sicurezza. Pur ritenendo che tali modifiche non comportino, nell'ambito globale del progetto, una significativa rilevanza prestazionale, la Relazione segnala che esse potrebbero avere effetti nell'ambito di aspetti puntuali, con particolare riferimento alle escursioni complessive degli apparecchi di appoggio mobili e dei dispositivi di giunto. Inoltre, la **RP** precisa, che tali escursioni dovranno essere valutate anche alla luce dell'incremento delle escursioni per azioni sismiche, da assumere con riferimento allo **SLC** secondo le **NTC 2018**.

Ulteriori richiami sono contenuti nella parte della **RP** dedicata all'esame delle variazioni intercorse tra il Manuale di Progettazione **RFI** 2023 e l'Istruzione 44B applicata in sede di **PD**. In tale ambito viene evidenziato che l'attuale Manuale di Progettazione **RFI** contiene criteri per il calcolo dell'escursione totale dei giunti e degli apparecchi di appoggio, comprendenti i contributi della variazione termica uniforme, dello spostamento della struttura dovuto all'azione sismica e dello spostamento sismico relativo tra fondazioni non collegate.

Nella parte relativa alla tabella riepilogativa del programma di prove richieste dal Comitato Scientifico per il **PE**, la **RP** precisa il programma non include ulteriori sperimentazioni su forniture, tra cui le prove sugli ammortizzatori idraulici e sui giunti di binario.

Nel **PD** il tema è trattato principalmente nei documenti PS0189_F0, "Design Report – Expansion Joints", e PS0192_F0_ITA, "Specifiche prestazionali – Giunti d'espansione, ferroviari". Il documento PS0189_F0 descrive la progettazione dei giunti di dilatazione stradali e ferroviari, precisando che i calcoli sono predisposti dal fornitore VAE e riportati in appendice. Il documento indica inoltre che è stato sviluppato un modello tridimensionale mediante il software **IBDAS**, utilizzato per determinare i movimenti e le rotazioni rilevanti ai fini della progettazione dei giunti.

Il documento PS0189_F0_ITA indica inoltre che è stato sviluppato un modello tridimensionale **FEM** per determinare i movimenti e le rotazioni ai fini della progettazione dei giunti di dilatazione. Le analisi sono condotte considerando due schemi statici, denominati "libero-libero" e "fisso-fisso". Nel sistema "fisso-fisso" il vincolo longitudinale dell'impalcato sospeso in corrispondenza delle torri è bloccato, mentre nel sistema "libero-libero" l'impalcato può muoversi liberamente rispetto alle torri. Nel sistema "libero-libero" è implementata una molla longitudinale corrispondente alle caratteristiche dell'ammortizzatore, con rigidezza pari a 33 kN/m.

Il documento PS0189_F0_ITA tratta anche il contributo della temperatura uniforme, precisando che questo è individuato come singola condizione di carico da aggiungere manualmente. Tale contributo è ricavato dal sistema statico "libero-libero", in quanto il comportamento non lineare degli ammortizzatori può essere modellato correttamente solo nell'analisi della storia temporale. Il documento rileva inoltre che il carico della temperatura uniforme supera il valore di soglia degli ammortizzatori, rendendo necessaria una modifica del sistema statico.

Raccomandazioni sul tema sono state formulate nei precedenti pareri dal **CS 2011** e sono riportate sinteticamente nella GER0328 (v. Tabella 7-17).

128	Le strutture alle quali i giunti sono collegati devono prevedere, a seconda dei casi, opportuni punti di sollevamento mediante martinetto o mediante gru, per la sostituzione dei giunti stessi ed eventualmente, devono essere previsti opportuni punti per l'attacco di paranchi.
132	Ogni giunto di espansione/movimento deve essere in grado di permettere i movimenti e le rotazioni previsti nel progetto, senza danni al giunto stesso o a qualsiasi parte delle strutture di supporto. A tal proposito la struttura di supporto su ogni lato del giunto deve essere progettata in modo da sopportare le forze residue che potrebbero essere trasmesse dal giunto a causa dell'attrito o di altri effetti prevedibili. Il valore delle forze residue deve essere determinato tramite Analisi, tenendo debitamente conto delle tolleranze di costruzione; tale valore comunque non deve essere inferiore a 75 kN per metro lineare di giunto, nel verso perpendicolare all'asse del giunto stesso, o a 20 kN per metro lineare nel verso parallelo all'asse del giunto.
133	I giunti di espansione/movimento finiti devono essere o a tenuta stagna oppure devono essere dotati di dispositivi di drenaggio che consentano di raccogliere l'acqua di infiltrazione e di eliminarla prima che raggiunga parti mobili o comunque sensibili.
134	Il Progetto Definitivo dei giunti di espansione/movimento deve contenere una tabella dettagliata per singolo giunto che definisca il tipo e i valori degli spostamenti massimi e minimi permessi dal giunto stesso, sotto tutte le condizioni di progetto, unitamente ai carichi concomitanti che il giunto deve trasmettere in qualunque direzione. Il valore degli spostamenti massimi del giunto deve essere superiore di almeno 10% rispetto a quello determinato dal calcolo.
137	Gli apparecchi di dilatazione devono essere progettati in modo da consentire le escursioni di rotaia corrispondenti alle massime escursioni longitudinali consentite all'impalcato dalle condizioni di vincolo, sia per il Livello 1 , sia per il Livello 2 di verifica. Gli apparecchi di dilatazione devono essere disposti per quanto possibile in una zona non perturbata dalle deformazioni plano-altimetriche d'impalcato e in ogni caso la disposizione degli apparecchi di dilatazione nel tracciato di binari o deve essere tale che siano soddisfatte anche le condizioni e limitazioni della Euronorm 13803-2
138	Si deve eseguire un calcolo relativo all'interazione dell'apparecchio di dilatazione con i treni transitanti, calcolo che tenga conto delle variazioni delle caratteristiche della rotaia (geometria e rigidezza) lungo l'apparecchio, al fine di verificare le condizioni di sicurezza di marcia e il corretto dimensionamento dell'apparecchio stesso.

143	Si deve garantire che anche in corrispondenza dei giunti i parametri di geometria del binario si mantengano entro i limiti prescritti e deve verificare che gli stati cinematici e deformativi previsti rispettino tali limiti, così che i treni possano attraversare i giunti in piena sicurezza. In tutte le combinazioni di progetto di velocità del treno e movimento del giunto, non devono essere provocate inaccettabili vibrazioni, rumori o diminuzione del comfort previsto per i passeggeri.
148	Non vengono descritti gli accorgimenti per consentire, nelle zone di giunto, una corsa pari a ± 2m a: canalette portacavi e cavi ferroviari; parapetti e camminamenti; impianti elettrici e di deumidificazione dell'aria, qualora previsti; pannelli frangivento; guard rail.

Tabella 7-17.- Raccomandazione **CS 2011** in merito ai giunti ferroviari

Con riferimento alle risposte rese alle osservazioni del **CS 2011**, il **CG** prende atto e rinvia, in tutto o in parte, al PE. In alcuni casi il **CG** ha ritenuto non adeguatamente giustificate alcune richieste quantitative, quali il sovradimensionamento del 10% degli spostamenti, rinviando comunque la valutazione o l'approfondimento alle successive fasi progettuali. Tale impostazione rende necessario verificare che, nelle fasi successive, tali aspetti siano effettivamente sviluppati in modo coerente con il quadro normativo aggiornato, con i requisiti prestazionali dei giunti e con le condizioni di esercizio specifiche dell'**Opera**.

Alla luce della documentazione esaminata, si rileva in primo luogo che la progettazione dei giunti di espansione si fonda su valori di spostamento e rotazione derivati dal modello globale **IBDAS** e su elaborazioni dei fornitori riportate in appendice. La documentazione disponibile richiede ulteriori integrazioni in merito ad alcune assunzioni di calcolo.

In particolare, con riferimento al documento PS0189_F0_ITA, Capitolo 4.1.1.4, si rileva che, nelle analisi della storia temporale sismica con pre-caricamento, il traffico viene posizionato nella configurazione che rende massima la tensione negli ammortizzatori, al fine di simulare le condizioni più gravose per gli spostamenti sui giunti. Non risulta tuttavia esplicitato in modo univoco né giustificato se tale configurazione rappresenti la condizione più cautelativa ai fini della determinazione della massima risposta in spostamento del sistema.

Con riferimento ai fattori di impatto indicati nell'Appendice 2 del documento PS0189_F0, si osserva che la documentazione riporta valori specifici da applicare ai carichi sui giunti di espansione ferroviari, ma non è specificato se tali valori sono validati da analisi specifiche.

Si rileva inoltre che la **RP** richiama l'esigenza di valutare le escursioni dei giunti e degli apparecchi di appoggio alla luce delle **NTC 2018** e del Manuale di Progettazione **RFI** 2023, con particolare riferimento alla combinazione degli effetti termici e sismici e all'assunzione dello **SLC** per l'azione sismica. Tale aspetto deve essere coordinato con le basi di progetto riportate nel PS0189_F0 e con le specifiche prestazionali del PS0192_F0_ITA, al fine di verificare che i movimenti, le rotazioni, le velocità e le accelerazioni assunte per i giunti risultino coerenti con i criteri attualmente applicabili.

Ulteriore attenzione deve essere rivolta al programma di prove. Il documento PS0192_F0_ITA prevede un articolato insieme di prove sul prototipo del giunto ferroviario, incluse prove di movimento longitudinale, rotazioni angolari, isolamento e carico statico e dinamico, nonché la misurazione delle sollecitazioni per la verifica della vita a fatica degli elementi selezionati. Tuttavia, la Relazione del progettista segnala che il programma riepilogativo delle prove richieste dal Comitato Scientifico per il **PE** non include ulteriori sperimentazioni su forniture, tra cui i giunti di binario. Pertanto, si raccomanda di eseguire le prove sperimentali in fase di **PE**: l'unicità del dispositivo richiede sia una verifica della sua reale fattibilità, sia delle potenziali interazioni.

Alla luce di quanto sopra, rimanendo valide le considerazioni precedentemente formulate dai Comitati Scientifici, si riporta una sintesi delle prescrizioni e raccomandazioni aggiuntive proposte dall'**Assemblea**:

- Si richiede di verificare e aggiornare, alla luce delle **NTC 2018** e del Manuale di Progettazione **RFI** 2023, i valori di escursione dei giunti e degli apparecchi di appoggio.

- Si raccomanda di giustificare che la configurazione dei carichi da traffico adottata e le relative ipotesi di modellazione rappresentino effettivamente le condizioni potenzialmente più gravose ai fini della valutazione delle escursioni dei giunti. A tal fine, si raccomanda di documentare l'eventuale confronto con configurazioni alternative di carico.
- Si raccomanda di sviluppare analisi locali del sistema giunto–binario–impalcato, finalizzate a verificare l'adeguatezza dei fattori di impatto rispetto alle effettive condizioni di esercizio, agli effetti dinamici attesi e alla risposta del sistema ferroviario in corrispondenza del giunto.
- Si raccomanda che, nell'ambito dello sviluppo del **PE**, siano eseguite prove sperimentali sui prototipi dei giunti ferroviari finalizzate a verificare la reale fattibilità del dispositivo e le potenziali interazioni con il sistema giunto–binario–impalcato.

7.7.6.2. Giunti di dilatazione stradali

Le presenti considerazioni riguardano i giunti di espansione stradali previsti per l'**Opera**, con particolare attenzione alla determinazione degli spostamenti e delle rotazioni di progetto, alla risposta dinamica del sistema, ai fattori di incremento dinamico da assumere nelle verifiche, alla conformità ai requisiti normativi e prestazionali applicabili, nonché agli aspetti di prova, durabilità, manutenzione e sostituibilità dei dispositivi.

Il tema trova riferimento nella Relazione del progettista, nell'ambito delle prescrizioni per il **PE** relative all'**Opera** e all'adeguamento alle **NTC 2018**. In tale sede la Relazione evidenzia che il Capitolo 11 delle NTC tratta, tra l'altro, aspetti relativi alla produzione, identificazione, qualificazione e accettazione dei materiali da costruzione e dei dispositivi, quali giunti di espansione, appoggi e dispositivi antisismici, precisando che tali aspetti non impattano significativamente sulla progettazione strutturale in termini di concezione, modellazione, calcolo e dimensionamento degli elementi e rinviando, in generale, alla revisione delle specifiche progettuali da effettuare in sede di **PE**.

La Relazione del progettista richiama inoltre le modifiche introdotte dalle **NTC 2018** con riferimento alle azioni termiche e all'incremento del relativo coefficiente parziale di sicurezza. Pur ritenendo che tali modifiche non comportino, nell'ambito globale del progetto, una significativa rilevanza prestazionale, la Relazione segnala che esse potrebbero avere effetti nell'ambito di aspetti puntuali, con particolare riferimento alle escursioni complessive degli apparecchi di appoggio mobili e dei dispositivi di giunto. La Relazione precisa, inoltre, che tali escursioni dovranno essere valutate anche alla luce dell'incremento delle escursioni per azioni sismiche, da assumere con riferimento allo **SLC** secondo le **NTC 2018**.

Ulteriori richiami sono contenuti nella parte della Relazione dedicata all'esame delle variazioni intercorse tra il Manuale di Progettazione **RFI** 2023 e l'Istruzione 44B applicata in sede di **PD**. In tale ambito viene evidenziato che l'attuale Manuale di Progettazione **RFI** contiene criteri per il calcolo dell'escursione totale dei giunti e degli apparecchi di appoggio, comprendenti i contributi della variazione termica uniforme, dello spostamento della struttura dovuto all'azione sismica e dello spostamento sismico relativo tra fondazioni non collegate.

Nel **PD** il tema è trattato principalmente nei documenti PS0189_F0_ITA, "Relazione di progetto – Giunti d'espansione", PS0193_F0_ITA, "Specifiche prestazionali – Giunti d'espansione, stradali", e PS0186_F0_ITA, "Relazione tecnica specialistica". Il documento PS0189_F0_ITA indica che i calcoli sono preparati dal fornitore Mageba e riportati in appendice, tuttavia, nell'appendice Mageba si dichiara che le verifiche di progetto dettagliate saranno eseguite durante il **PE**.

Il documento PS0189_F0_ITA indica inoltre che è stato sviluppato un modello tridimensionale **FEM** per determinare i movimenti e le rotazioni ai fini della progettazione dei giunti di dilatazione. Le analisi sono condotte considerando due schemi statici, denominati "libero-libero" e "fisso-fisso". Nel sistema "fisso-fisso" il vincolo longitudinale dell'impalcato sospeso in corrispondenza delle torri è bloccato, mentre nel sistema "libero-libero" l'impalcato può

muoversi liberamente rispetto alle torri. Nel sistema "libero-libero" è implementata una molla longitudinale corrispondente alle caratteristiche dell'ammortizzatore, con rigidezza pari a 33 kN/m.

Il documento PS0189_F0_ITA tratta anche il contributo della temperatura uniforme, precisando che questo è individuato come singola condizione di carico da aggiungere manualmente. Tale contributo è ricavato dal sistema statico "libero-libero", in quanto il comportamento non lineare degli ammortizzatori può essere modellato correttamente solo nell'analisi della storia temporale. Il documento rileva inoltre che il carico della temperatura uniforme supera il valore di soglia degli ammortizzatori, rendendo necessaria una modifica del sistema statico.

Il documento PS0186_F0_ITA afferma che i giunti di dilatazione dell'impalcato stradale alle estremità dell'impalcato sospeso erano adattati con una soluzione a "fuse box".

Con riferimento al progetto dell'appaltatore, nel documento PS0193_F0_ITA si richiede che il giunto in corrispondenza del cassone stradale dovrà essere a tenuta ermetica; i giunti in corrispondenza della corsia di servizio e del lato inclinato del cassone potranno essere di tipo diverso, purché non consentano l'ingresso di acqua nello spazio esistente tra le estremità del cassone.

Il PS0193 prevede prove in officina e in cantiere sui giunti stradali E3; la Relazione del progettista, invece, non dettaglia un programma sperimentale specifico, ma richiama il tema della qualificazione dei giunti stradali tramite sistema ETA/ETAG 032, precisando che il relativo approfondimento sarà affrontato in sede di PE e che non sono attesi impatti rispetto al **PD**.

Raccomandazioni sul tema sono state formulate nei precedenti pareri dei Comitati Scientifici e sono riportate sinteticamente nella GER0328i (v. Tabella 7-18 e Tabella 7-19).

131	*Nel Progetto si devono determinare gli opportuni fattori di impatto dinamico da utilizzare nella progettazione del giunto, fattori che in ogni caso devono essere almeno pari a 2,5 per le forze verticali.*
132	*Ogni giunto di espansione/movimento deve essere in grado di permettere i movimenti e le rotazioni previsti nel progetto, senza danni al giunto stesso o a qualsiasi parte delle strutture di supporto. A tal proposito la struttura di supporto su ogni lato del giunto deve essere progettata in modo da sopportare le forze residue che potrebbero essere trasmesse dal giunto a causa dell'attrito o di altri effetti prevedibili. Il valore delle forze residue deve essere determinato tramite Analisi, tenendo debitamente conto delle tolleranze di costruzione; tale valore comunque non deve essere inferiore a 75 kN per metro lineare di giunto, nel verso perpendicolare all'asse del giunto stesso, o a 20 kN per metro lineare nel verso parallelo all'asse del giunto.*
133	*I giunti di espansione/movimento finiti devono essere o a tenuta stagna oppure devono essere dotati di dispositivi di drenaggio che consentano di raccogliere l'acqua di infiltrazione e di eliminarla prima che raggiunga parti mobili o comunque sensibili.*
134	*Il Progetto Definitivo dei giunti di espansione/movimento deve contenere una tabella dettagliata per singolo giunto che definisca il tipo e i valori degli spostamenti massimi e minimi permessi dal giunto stesso, sotto tutte le condizioni di progetto, unitamente ai carichi concomitanti che il giunto deve trasmettere in qualunque direzione. Il valore degli spostamenti massimi del giunto deve essere superiore di almeno 10% rispetto a quello determinato dal calcolo.*

Tabella 7-18.- Raccomandazioni **CS 2011** sui giunti stradali

16	*aggiornare i riferimenti progettuali relativi ai giunti di dilatazione tenendo conto dell'European Assessment Document EAD 120113-00-0107:08/2019, "Modular Expansion Joints for Road Bridges", nonché verificare se sussista tutt'ora motivo di ritenere i giunti d'espansione del Ponte al di fuori del campo d'applicazione dello stesso.*

Tabella 7-19.- Raccomandazioni **CS 2023** sui giunti stradali

Con riferimento alle risposte rese alle osservazioni del Comitato Scientifico 2011, il **CG** rinvia al **PE** gli approfondimenti relativi alla tenuta o al drenaggio dei giunti e alla tabellazione dettagliata, per singolo giunto, degli spostamenti massimi e minimi e dei carichi concomitanti. Con riferimento ai fattori di impatto dinamico, il **CG** ritiene non

giustificato il valore minimo indicato per il giunto stradale, osservando che le NTC non definiscono tale valore e richiamando quale riferimento il § 4.3.3(3) della **UNI** EN 1991-2.

Alla luce della documentazione esaminata, si rileva in primo luogo che la progettazione dei giunti di espansione stradali si fonda su valori di spostamento e rotazione derivati dal modello globale **IBDAS**, su specifiche prestazionali dedicate e su verifiche di dettaglio affidate ai fornitori. La documentazione disponibile richiede ulteriori integrazioni in merito ad alcune assunzioni di calcolo, alla rappresentatività delle condizioni considerate e alla determinazione dei fattori dinamici applicabili.

In particolare, con riferimento al documento PS0189_F0_ITA, Capitolo 4.1.1.4, si rileva che, nelle analisi della storia temporale sismica con pre-caricamento, il traffico viene posizionato nella configurazione che rende massima la tensione negli ammortizzatori, al fine di simulare le condizioni più gravose più gravose per gli spostamenti sui giunti. Non risulta tuttavia esplicitato in modo univoco né giustificato se tale configurazione rappresenti la condizione più cautelativa ai fini della determinazione della massima risposta in spostamento del sistema.

Con riferimento al giunto di dilatazione stradale, si osserva inoltre che la documentazione non esplicita se siano state eseguite specifiche analisi dinamiche finalizzate alla determinazione del fattore di incremento dinamico da applicare al giunto. In particolare, non è chiaro quale sia l'esatta tipologia di analisi svolta.

Si rileva inoltre che la Relazione del progettista richiama l'esigenza di aggiornare il riferimento tecnico per i giunti di dilatazione stradali, facendo riferimento al sistema ETA e alla verifica dell'applicabilità dei documenti tecnici europei pertinenti. Tale aspetto deve essere coordinato con le specifiche del **PD** e con le raccomandazioni del Comitato Scientifico 2023, che richiedono l'aggiornamento dei riferimenti progettuali alla luce dell'EAD 120113-00-0107:08/2019 e la verifica della perdurante esclusione dei giunti dell'**Opera** dal relativo campo di applicazione.

Alla luce di quanto sopra, rimanendo valide le considerazioni precedentemente formulate dai Comitati Scientifici, si riporta una sintesi delle prescrizioni e raccomandazioni aggiuntive proposte dall'**Assemblea**:

- Si raccomanda di giustificare che la configurazione dei carichi da traffico adottata e le relative ipotesi di modellazione rappresentino effettivamente le condizioni potenzialmente più gravose ai fini della valutazione delle escursioni dei giunti. A tal fine, si raccomanda di documentare l'eventuale confronto con configurazioni alternative di carico.
- Si raccomanda di esplicitare le analisi dinamiche finalizzate alla determinazione del fattore di incremento dinamico da applicare ai giunti di dilatazione stradali, i quali dovranno in ogni caso essere conformi alla normativa vigente.
- Si raccomanda l'esecuzione sui prototipi dei giunti stradali di prove sperimentali finalizzate alla valutazione dei coefficienti di amplificazione dinamica dei carichi da utilizzare anche per il progetto/verifica delle zone di collegamento del giunto all'impalcato.
- Si richiede di verificare e aggiornare, alla luce delle **NTC 2018**, i valori di escursione dei giunti e degli apparecchi di appoggio.

7.7.6.3. Buffers

Le presenti considerazioni riguardano il sistema dei buffer idraulici longitudinali e trasversali previsti nell'**Opera**, con particolare riferimento alla loro funzione nel sistema di vincolo dell'impalcato, al trasferimento delle azioni tra impalcato e torri, alle verifiche delle strutture di collegamento, ai requisiti prestazionali, alla risposta dinamica e sismica del sistema e agli aspetti di durabilità, ispezionabilità, manutenzione e sostituibilità dei dispositivi.

Il tema trova riferimento nella Relazione del progettista, in particolare nell'ambito delle prescrizioni per il **PE** relative all'**Opera** e all'adeguamento alle **NTC 2018**, Capitolo 11, "Materiali e prodotti per uso strutturale". La Relazione richiama il § 11.9 delle **NTC 2018**, relativo ai dispositivi antisismici e di controllo delle vibrazioni, osservando che, per l'**Opera**, le caratteristiche dei dispositivi idraulici previsti per il sistema di vincolo dell'impalcato, ossia i buffer,

risultano al di fuori del campo di applicazione della **UNI** EN 15129 pur precisando che non si attendono impatti rispetto a quanto già previsto in fase di **PD**.

Sempre nella Relazione del progettista il tema è richiamato con riferimento agli aggiornamenti intervenuti nei manuali e nelle istruzioni tecniche. In particolare, viene evidenziata l'introduzione, nel Manuale di Progettazione **RFI** 2023, del paragrafo relativo agli apparecchi di appoggio, coprigiunti e ritegni sismici, nel quale sono indicati criteri per il calcolo degli spostamenti di progetto da considerare per i sistemi di vincolo e per le escursioni degli appoggi mobili e dei giunti di dilatazione. La Relazione rileva inoltre che l'espressione per il calcolo dell'escursione totale dei giunti e degli apparecchi di appoggio tiene conto dei contributi dovuti alla variazione termica uniforme, allo spostamento della struttura per effetto dell'azione sismica e allo spostamento sismico relativo tra fondazioni non collegate. È altresì segnalato che nelle **NTC 2018** gli spostamenti degli apparecchi di appoggio mobili e dei giunti di espansione devono essere valutati per l'azione sismica corrispondente allo **SLC**, a fronte dello **SLV** previsto dalle **NTC 2008**.

Nella parte dedicata al programma di prove richieste dal Comitato Scientifico 2011, la Relazione del progettista evidenzia che il programma di prove non include sperimentazioni su forniture quali ammortizzatori idraulici e giunti di binario.

Nel **PD** il tema è trattato principalmente nei documenti PS0078_F0, PS0015_F0, PS0191_F0 e PS0186_F0. Il documento PS0078_F0, "Design Report – Support Structures", descrive i diversi elementi di supporto dell'impalcato sospeso e precisa che tali elementi sono progettati principalmente mediante calcoli manuali basati sulle reazioni del modello globale **IBDAS**, con l'ausilio di fogli di calcolo e modelli locali agli elementi finiti per le connessioni e i supporti più complessi. Il Capitolo 3 del medesimo documento è dedicato ai buffer, ai ritegni laterali e agli appoggi in corrispondenza delle torri. In particolare, al Capitolo 3.1 si afferma che il collegamento tra torre e impalcato è realizzato mediante un sistema di buffer e che il gruppo di buffer collegato alla traversa T4a è in grado di trasferire una forza massima pari a 40 MN. Nella verifica viene assunto, in maniera conservativa, che tale forza massima e uno spostamento verticale di 1,5 m si verifichino contemporaneamente. Nello stesso capitolo è riportato un rapporto di utilizzazione pari a 1,02 in alcuni punti della sezione, ritenuto accettabile nel documento in quanto riferito a un caso di carico accidentale e a una possibile ridistribuzione plastica locale degli sforzi.

Il documento PS0015_F0, "Design Report – Tower Legs incl. Joints and Splices, Annex", contiene le verifiche delle gambe delle torri e delle relative connessioni. Il documento precisa che i carichi sismici derivano da analisi time-history e richiedono un post-processing dell'output **IBDAS**, con successiva aggiunta manuale dei risultati sismici agli altri contributi della combinazione ULS; analogamente, le forze dovute al carico termico uniforme sono fornite separatamente e aggiunte manualmente per tenere conto del comportamento dei buffer bilineari. Nell'ambito delle verifiche delle connessioni dei buffer e delle relative strutture di collegamento, la documentazione evidenzia rapporti domanda/capacità elevati in alcune sezioni, tali da richiedere un approfondimento tramite analisi locali.

Il Capitolo 2.4 del documento PS0191_F0 prevede l'esecuzione di simulazioni numeriche dinamiche del sistema meccanico-idraulico dei buffer in ambiente multifisico condotte utilizzando storie temporali di spostamento imposte, ricavate da analisi sul modello globale agli elementi finiti del ponte, e devono considerare gli stati limite di esercizio, gli stati limite ultimi e le possibili condizioni di malfunzionamento del sistema.

Nel documento PS0186_F0. con riferimento ai buffer idraulici D1, sono riportati risultati di analisi finalizzate a mostrare la risposta dell'impalcato in presenza di azione sismica, anche mediante confronto tra configurazioni con e senza buffer installati, nonché valutazioni del movimento della travata in corrispondenza dei giunti di dilatazione in presenza di convogli ferroviari.

Raccomandazioni sul tema sono state formulate nei precedenti pareri del **CS 2011** (v. Tabella 7-20.) e del **CS 2023** (v. Tabella 7-21).

96CS	I buffer indicati sui disegni sono solamente schematici; gli stessi devono essere dettagliati a livello grafico, poi verificati anche a fatica.
147	Deve essere mostrata la sequenza per la sostituzione dei buffer, nonché le predisposizioni sulla struttura per l'ancoraggio dei buffer stessi durante tale sostituzione. Si chiede di valutare i tempi di sostituzione e le eventuali limitazioni per l'esercizio stradale e ferroviario.
149	Sul pendolo di carpenteria dove sono applicati i buffer D1 è presente un accoppiamento telescopico nella carpenteria metallica nel quale sono interposti piatti di bronzo, senza indicazioni relative alla loro posa in opera; si nutrono perplessità sulla durabilità nel tempo dei piatti di bronzo dovute alla loro usura e sulla ispezionabilità delle superfici interne del pendolo; si chiede inoltre di mostrare la modalità per la loro eventuale sostituibilità nel tempo.

Tabella 7-20.- Raccomandazioni **CS 2011** (alcune reiterate dal **CS 2023**) sui buffers

17	Considerare la UNI EN 15129 come valido riferimento per definire i requisiti prestazionali e i test a cui i dispositivi idraulici denominati "buffer" devono essere sottoposti, in particolare per quanto riguarda le tolleranze da rispettare nella fornitura, nelle condizioni iniziali, nel tempo di vita utile e nelle diverse condizioni di funzionamento, temperatura e velocità di spostamento.
18	Con specifico riferimento ai buffer longitudinali, chiarire il comportamento nei confronti di spostamenti molto lenti causati dalle variazioni di temperatura nell'impalcato, valutandone gli effetti su impalcato e binario nel caso in cui tale spostamento fosse contrastato.
52	Con riferimento al requisito di ridondanza, collegare il sistema di articolazioni a cerniera posto al di sotto delle campate drop-in ad entrambe le gambe della torre tramite buffer trasversali del tipo D1.

Tabella 7-21.- Raccomandazioni **CS 2023** sui buffers

Dalle risposte fornite al Comitato Scientifico 2011 emerge che i diversi aspetti relativi ai buffer sono stati rinviati alle successive fasi progettuali.

Alla luce della documentazione esaminata, si rileva inoltre che, sia nelle verifiche delle connessioni dei buffer richiamate nel documento PS0015_F0, sia nelle verifiche dell'estensione della traversa riportate nel documento PS0078_F0, sono presenti rapporti domanda/capacità elevati o comunque prossimi all'unità. In particolare, nel documento PS0078_F0 è indicato un rapporto di utilizzazione pari a 1,02 in alcuni punti della sezione. Tale circostanza rende opportuno disporre di ulteriori evidenze in merito alla distribuzione locale degli sforzi, alla possibile ridistribuzione plastica e all'adeguatezza delle verifiche.

Infine, con riferimento al documento PS0186_F0, si rileva che le analisi relative all'effetto dei buffer idraulici D1 sul comportamento dell'impalcato, anche mediante confronto tra configurazioni con e senza buffer installati, richiedono una più chiara esplicitazione del modello numerico utilizzato, delle ipotesi di calcolo, delle condizioni di carico, dei parametri assegnati ai dispositivi e delle modalità con cui sono state simulate le diverse configurazioni.

Alla luce di quanto sopra, e rimanendo valide le osservazioni mosse dai precedenti Comitati Scientifici, si riporta una sintesi delle prescrizioni e raccomandazioni aggiuntive proposte dall'**Assemblea**:

- Si richiede di approfondire, mediante analisi locali, la distribuzione degli sforzi nelle connessioni dei buffer e nelle estensioni delle traverse interessate dal trasferimento delle azioni tra impalcato e torri, con particolare attenzione anche ai dettagli caratterizzati da rapporti domanda/capacità elevati o prossimi all'unità.
- Si richiede di esplicitare le verifiche locali su saldature, irrigidimenti, piastre di collegamento e elementi di interfaccia tra buffer, traversa e torre, relativamente ai fenomeni di fatica e instabilità.
- Si raccomanda di esplicitare le simulazioni numeriche dinamiche del sistema meccanico-idraulico dei buffer previste nel documento PS0191_F0, includendo ipotesi di modellazione, parametri meccanici e idraulici, storie temporali di spostamento considerate, condizioni ordinarie e di malfunzionamento, stati limite di esercizio e ultimi.
- Si chiede di valutare gli spostamenti indotti sui buffer, e quindi di conseguenza le verifiche che ne discendono, alla luce dell'aggiornamento normativo evidenziato nella Relazione del progettista.

7.7.7. Prestazioni a fatica della lastra ortotropa

Le presenti considerazioni riguardano la verifica della prestazione a fatica dell'impalcato sospeso a lastra ortotropa e dei relativi dettagli saldati, con particolare attenzione alla trasmissione locale dei carichi concentrati e alla risposta degli elementi strutturali sottostanti. Il tema trova riferimento nel Capitolo 3.6.2 della Relazione del progettista, in particolare nei paragrafi dedicati alle prove a fatica della carpenteria metallica, ai dettagli da sottoporre a prove sperimentali, alle prove sulla pavimentazione stradale e al sistema di armamento ERS.

La **RP** propone l'esecuzione di prove a fatica su quattro differenti dettagli, in accordo con la specifica CGC.F.05.03 e con il richiamo alla **UNI** EN 1993-1-9. L'attenzione è rivolta, in particolare, ai dettagli non direttamente riconducibili alle categorie codificate o caratterizzati da elevati costi di manutenzione e riparazione. I dettagli individuati comprendono le connessioni saldate tra diaframmi e flange, con particolare riferimento alle flange inferiori, le giunzioni longitudinali degli irrigidimenti, il passaggio della trave a T a supporto della rotaia nel cassone ferroviario e la connessione delle canalette longitudinali dell'impalcato in corrispondenza dei diaframmi e dei traversi.

Inoltre, la **RP** affronta il tema della pavimentazione stradale, prevedendo un programma di prove finalizzato all'identificazione dei prodotti polimerici da includere nel sistema di pavimentazione ultra-sottile e alla verifica della rispondenza della pavimentazione ai requisiti prestazionali di progetto. In tale ambito sono richiamate prove di fatica su sistemi con membrana rigida, prove a fatica della pavimentazione, prove sui leganti e sui filler, nonché ulteriori prove volte alla valutazione delle caratteristiche meccaniche, dell'adesione e della lavorabilità dei materiali.

Per quanto riguarda il sistema di armamento ERS, la **RP** evidenzia che la rotaia è installata direttamente sull'estradosso del cassone ferroviario e che la piastra superiore dello stesso svolge funzione di sponda inferiore della canaletta. È inoltre previsto che successive valutazioni numeriche più raffinate delle tensioni e dei carichi consentano di verificare l'eventuale scostamento rispetto alle condizioni considerate in fase di omologa **STI** e di stabilire, sulla base dei relativi esiti, l'eventuale necessità di nuove prove. Tuttavia, non risultano esplicitati nel dettaglio i criteri metodologici, il livello di modellazione, le azioni considerate e i parametri di confronto che guideranno tali valutazioni.

Pur affrontando il tema della fatica mediante l'individuazione di dettagli critici da sottoporre a prova e il richiamo ad attività sperimentali su carpenteria metallica, pavimentazione e armamento, la Relazione non esplicita con sufficiente chiarezza il rapporto tra le analisi numeriche previste, le prove sperimentali e le configurazioni costruttive effettive. Un maggior grado di chiarimento appare necessario soprattutto per i dettagli dell'impalcato ortotropo maggiormente sensibili agli effetti locali dei carichi, quali le connessioni tra piastra, irrigidimenti, diaframmi e traversi, nonché per valutare il contributo della pavimentazione stradale e del sistema di armamento ferroviario nella distribuzione delle azioni agli elementi sottostanti.

Raccomandazioni sul tema sono state altresì formulate nei precedenti pareri e riportate sinteticamente in Tabella 7-22 (**CS 2011**) e in Tabella 7-23. (**CS 2023**).

88CS	*Per quanto riguarda la progettazione dei dettagli strutturali della carpenteria metallica, essa deve mirare ad ottenere la migliore prestazione possibile di resistenza a fatica in rapporto alla quantità di materiale utilizzata. A tale fine devono essere seguite in generale le linee guida di progettazione dei dettagli strutturali di piastre ortotrope per ponti in acciaio, riportate in prEN 1993-2: 2003, allegato C.*
95	*Le verifiche a fatica dei cassoni sia ferroviari che stradali debbono tenere conto: delle orecchie saldate per i camminamenti, dei passi d'uomo e dei collegamenti saldati delle strutture di passaggio al carrellone di ispezione e dalle strutture di accesso ai cassoni stessi per ispezioni.*
97	*Deve essere indicata, accanto alle diverse tipologie di saldatura, la categoria presa in conto nelle verifiche e quale tipo di lavorazione si rende necessaria per rientrare in tale categoria.*
120	*Le prove di fatica risultano necessarie per la classificazione di* dettagli *non codificati e per la sperimentazione a fatica di zone particolarmente complesse delle strutture in carpenteria metallica.*

Tabella 7-22.- Raccomandazioni del **CS 2011** alcune reiterate dal **CS 2023** in merito alla fatica

36	*«… nell'annesso C della bozza per l'aggiornamento della normativa europea per la progettazione di ponti in acciaio, EN1993-2, è stata inclusa la raccomandazione di utilizzare, nei ponti stradali con piastra ortotropa e pavimentazione sottile, uno spessore minimo di 20 mm per la lamiera superiore nelle carreggiate ove è previsto il transito di mezzi pesanti. Questo valore minimo di spessore della lamiera superiore è comunque da intendersi come una raccomandazione e può essere dimostrato che altre configurazioni geometriche consentano spessori ridotti. Il CS raccomanda che questo aspetto sia attentamente considerato nella fase di PE.»*
66	*per la verifica locale della resistenza alla fatica dell'impalcato, applicare metodi numerici di analisi e verifica della fatica, come ad esempio lo "structural stress approach" secondo IIW e prEN1993-1-9:2023, in modo tale da verificare se il campo tensionale locale sia meno critico rispetto a quanto implicitamente contenuto nelle curve di resistenza nominale in normativa;*
67	*Verificare i possibili vantaggi derivanti dalla pavimentazione ultrasottile a base di resine epossidiche, ipotizzata nel PD, o da altri tipi di sistema alternativi per ottenere una soluzione che riesca ad ottimizzare il peso proprio, la resistenza alla fatica e all'usura, così da incrementare gli intervalli temporali per la manutenzione dell'impalcato stradale a piastra ortotropa;*

Tabella 7-23.- Raccomandazioni del **CS 2023** in merito alle prestazioni a fatica

Il **CG**, in merito alle osservazioni del **CS 2011**, recepisce le osservazioni proposte dichiarando che verranno incluse e approfondite in fase di **PE**.

Alla luce di quanto sopra, l'**Assemblea** ritiene necessario ribadire le osservazioni e raccomandazioni già formulate dal **CS 2011** e dal **CS 2023** in materia di prestazione a fatica dei dettagli strutturali dell'impalcato ortotropo e della carpenteria metallica.

In particolare, il **CS 2011** aveva evidenziato che la progettazione dei dettagli strutturali della carpenteria metallica deve essere orientata al conseguimento della migliore prestazione possibile di resistenza a fatica, in rapporto alla quantità di materiale utilizzata. A tal fine, era stato richiesto di seguire, in generale, le linee guida per la progettazione dei dettagli strutturali di piastre ortotrope per ponti in acciaio, oggi riportate nell'EN 1993-2:2026. Il medesimo Comitato aveva inoltre richiesto che, accanto alle diverse tipologie di saldatura, fosse indicata la categoria di dettaglio assunta nelle verifiche e il tipo di lavorazione necessario per rientrare in tale categoria. Era stata altresì ribadita la necessità di eseguire prove di fatica per la classificazione dei dettagli non codificati e per la sperimentazione a fatica delle zone particolarmente complesse delle strutture in carpenteria metallica.

Il **CS 2023** aveva poi richiamato l'attenzione sulla raccomandazione contenuta nell'Annesso C dell'aggiornamento dell'EN 1993-2, relativa all'impiego, nei ponti stradali con piastra ortotropa e pavimentazione sottile, di uno spessore minimo pari a 20 mm per la lamiera superiore nelle carreggiate interessate dal transito di mezzi pesanti. Tale valore minimo è da intendersi come raccomandazione, potendosi ammettere configurazioni geometriche differenti solo a fronte di una specifica dimostrazione della loro adeguatezza prestazionale. Il Comitato aveva inoltre raccomandato che tale aspetto fosse attentamente considerato nella fase di **PE**.

Sempre il **CS 2023** aveva raccomandato, per la verifica locale della resistenza a fatica dell'impalcato, l'applicazione di metodi numerici avanzati di analisi e verifica, quali lo *structural stress approach* secondo IIW e EN 1993-1-9:2025, al fine di valutare se il campo tensionale locale risulti meno o più critico rispetto a quanto implicitamente rappresentato dalle curve di resistenza nominale previste dalla normativa. Era stato inoltre richiesto di verificare i possibili vantaggi derivanti dalla pavimentazione ultra-sottile a base di resine epossidiche prevista nel **PD**, o da eventuali sistemi alternativi, con l'obiettivo di ottimizzare il peso proprio, la resistenza a fatica, la resistenza all'usura e gli intervalli di manutenzione dell'impalcato stradale a piastra ortotropa.

In coerenza con tali richiami, l'**Assemblea** ritiene necessario che nelle successive fasi progettuali sia sviluppato un approfondimento specifico sul comportamento locale dell'impalcato ortotropo sotto carichi concentrati e sulla qualificazione sperimentale dei dettagli maggiormente sensibili ai fenomeni di fatica. Dovranno pertanto essere esplicitati i criteri metodologici adottati per la valutazione della trasmissione locale dei carichi concentrati, integrando le specificità della pavimentazione stradale e del sistema di armamento ferroviario previsti in progetto

e chiarendo il ruolo di tali sistemi nella diffusione delle azioni e nel trasferimento delle tensioni agli elementi strutturali sottostanti.

Si richiede inoltre di verificare a fatica la piastra ortotropa per i carichi locali agenti, in conformità alle più recenti disposizioni dell'Eurocodice. Tale verifica dovrà consentire di giustificare, con adeguato livello di approfondimento, l'eventuale scostamento rispetto alla raccomandazione dell'EN 1993-2:2026, Annesso C, relativa allo spessore minimo della lamiera superiore in presenza di pavimentazione sottile.

A tal fine, si raccomanda di fare riferimento a metodologie avanzate per l'analisi locale della fatica, quali il metodo Hot-Spot, da sviluppare in coerenza con le disposizioni dell'EN 1993-1-9:2025, dell'EN 1993-1-14:2025 e della CEN/TS 1993-1-901:2026. Le analisi numeriche dovranno essere correlate alle verifiche sperimentali, in modo da assicurare la rappresentatività dei modelli rispetto alla geometria effettiva dei dettagli, alle tolleranze esecutive, alle modalità di saldatura e ai materiali impiegati.

Si ritiene infine necessario approfondire l'attività sperimentale relativa alla trasmissione dei carichi attraverso la pavimentazione stradale e il sistema di armamento ferroviario, con particolare riferimento alle modalità di trasferimento delle tensioni alla piastra ortotropa, agli irrigidimenti longitudinali, ai diaframmi e ai traversi. Tale attività dovrà consentire di verificare l'effettivo contributo dei sistemi di pavimentazione e armamento alla distribuzione locale dei carichi e di supportare la definizione delle soluzioni più idonee in termini di resistenza a fatica, durabilità e manutenzione dell'opera.

Con riferimento alle richieste di chiarimento formulate dall'**Assemblea** in merito alle verifiche a fatica per i carichi locali agenti sulla piastra ortotropa e ai criteri di trasmissione locale dei carichi concentrati, il **CG** ha rappresentato che gli effetti locali sono stati valutati mediante analisi **FEM** dedicate, senza tuttavia assumere alcun contributo di diffusione dei carichi attraverso la pavimentazione in resina né attraverso il sistema ferroviario. Le verifiche evidenziano una criticità puntuale gestibile, secondo il **CG**, mediante affinamento o rinforzo del dettaglio. È stato inoltre dichiarato che tali aspetti saranno ulteriormente approfonditi in fase di **PE** mediante modelli FE locali ad alta definizione, integrati nel modello globale **IBDAS**, e mediante correlazione con le prove a fatica pianificate.

Alla luce di quanto sopra, l'**Assemblea** ribadisce che rimangono valide le considerazioni dei precedenti comitati scientifici e aggiunge quanto segue:

- Si richiede di verificare a fatica la piastra ortotropa per i carichi locali agenti, in conformità alle più recenti disposizioni dell'Eurocodice e in considerazione della ridotta snellezza dell'elemento.
- Si richiede di approfondire l'attività sperimentale relativa alla trasmissione dei carichi attraverso la pavimentazione stradale e ferroviaria, con particolare riferimento alle modalità di trasferimento delle tensioni agli elementi sottostanti.
- Si raccomanda di esplicitare nel dettaglio la valutazione degli effetti locali dei carichi ai fini della verifica a fatica. Tale analisi dovrebbe integrare opportunamente le specificità della pavimentazione stradale e del sistema di armamento previsti in progetto.
- È opportuno valutare più approfonditamente la prestazione a fatica dell'impalcato sospeso a lastra ortotropa, per giustificare la deviazione adottata in termini di spessore rispetto alle raccomandazioni dell'EN1993-2:2026, Annesso C. In tal senso, si raccomanda di fare riferimento a metodologie avanzate che però rappresentano lo standard per l'analisi di tali sistemi, quali il metodo Hot-Spot – riferendosi alle disposizioni congiunte di EN1993-1-9:2025, EN1993-1-14:2025 e CEN/TS1993-1-901:2026.

8. PONTE SULLO STRETTO: PERCORRIBILITÀ, USO

8.1. Armamento ferroviario

Nei *Fondamenti* è definito il sistema di armamento che deve essere adottato sull'opera di attraversamento:
"*Il sistema di posa sarà del tipo senza massicciata con interposizione di elastomeri, tipo "embedded rail" o equivalente. La qualità del binario sarà definita per una velocità v nell'intervallo 90<v<130 Km/h*."

Originariamente tale sistema di posa del binario fu scelto per le sue caratteristiche di peso, particolarmente ridotto, e per le previste capacità di riduzione del rumore e delle vibrazioni in esercizio. Esso è costituito da un canale rettangolare in acciaio in cui è inserita la rotaia con lo spazio libero attorno alla rotaia riempito da elastomero. Questo sistema di armamento è stato introdotto in Italia verso la fine degli anni '90 del secolo scorso come possibile soluzione per la mitigazione del rumore prodotto nelle travate metalliche ad attacco diretto (armamento senza ballast) e ha trovato una sola applicazione sulla Rete Ferroviaria Italiana: è stato adottato per alcuni impalcati del ponte sul fiume Arno a Pisa. Si tratta di un ponte di lunghezza complessiva pari a circa 100 m, costituito da cinque campate semplicemente appoggiate di singola luce pari a circa 20 m.

La documentazione tecnica disponibile evidenzia altre applicazioni all'estero su travate metalliche di luce maggiore di quelle relative all'applicazione italiana, anche se sempre molto inferiori alla luce complessiva dell'opera di attraversamento dello Stretto di Messina.

La tematica relativa all'**ERS** è trattata nella **RP** a pag. 220 e precisamente nel § 3.6.2.7 "*Prove sul sistema di armamento ERS*" che recita:
"*L'Embedded Rail System (ERS) è stato introdotto nel progetto preliminare dell'Opera di Attraversamento ed è stato esplicitamente richiesto nelle specifiche allegate al contratto. L'adozione di tale Sistema trova le sue motivazioni nel ridotto peso rispetto a sistemi convenzionali con ballast o con attacco diretto su plinto in calcestruzzo, ma anche per il maggiore smorzamento e le minori emissioni acustiche. Benché sia una tecnologia esistente su mercato da almeno 30 anni, i sistemi ERS hanno guadagnato un'attenzione significativa in anni recenti. L'Embedded Rail System prevede che la rotaia venga integrata direttamente in una struttura composita invece che essere montata e fissata al di sopra di un supporto (di calcestruzzo, di acciaio etc.). In dettaglio la rotaia è incapsulata in una canaletta di acciaio con funzione di contenimento della rotaia stessa e del materiale polimerico di allettamento*."

Le prove sul sistema di armamento **ERS** sono state codificate in fase di **PD** con contributi da parte dei Politecnici di Torino e Milano e sono state condotte presso i laboratori di quest'ultimo su un prototipo sviluppato per conto di Eurolink con materiale Edilon Sedra. I risultati parziali dei test effettuati su questo prototipo sono stati acquisiti ed inseriti nel **PD**.

Il **CS 2011** ha chiesto un approfondimento per via sperimentale (oltre che numerica) sulla tematica relativa alla stabilità della rotaia. In questo caso si fa riferimento ad un approfondimento sulle caratteristiche del sistema di armamento, da testare sperimentalmente, e alla modalità di sostituzione delle rotaie in caso di manutenzione dell'armamento e alla successiva attività di regolazione.

Le richieste del **CS 2011** sul tema dell'**ERS** sono state oggetto di approfondimenti da parte del progettista. Di seguito si riportano integralmente la raccomandazione del **CS 2011** e la successiva replica del progettista:
"*C: 6CS-4I) l'approfondimento, per via numerica e sperimentale, la tematica relativa all'instabilità delle rotaie ed alla modalità della loro sostituzione in funzione delle differenze di temperatura tra rotaia e impalcato;*

R: La sperimentazione sul sistema ERS è stata condotta durante la fase di Progetto Definitivo. I risultati non ancora acquisiti verranno inclusi nel Progetto Esecutivo ed eventuali prove non completate verranno eseguite in parallelo con

lo sviluppo della progettazione. Per quanto alla tematica della sostituzione della rotaia, si è d'accordo con RFI per condurre una sperimentazione in occasione della sostituzione dell'armamento del ponte sull'Arno a Pisa."

Su questo tema il **CS 2023** ribadisce le sue raccomandazioni, come riportato in Tabella 8-1.

28	*A questo proposito, si rileva come i parametri di deformabilità del binario in direzione longitudinale, rigidezza, spostamento limite e più in generale legame forza spostamento longitudinale adottati per l'ERS, siano basati sui dati dei fornitori. Ai fini di una corretta valutazione degli effetti di interazione sul modello completo, in assenza di test già effettuati a tale scopo, appare necessaria la determinazione sperimentale del legame forza-spostamento longitudinale del sistema ERS, nelle diverse condizioni di funzionamento, in particolare per ciò che riguarda la temperatura e la velocità di applicazione degli sforzi longitudinali. Sempre in tema di sistema di binario ERS, si evidenzia come gli incrementi limite di tensione ammessi nella rotaia dal MdP di RFI e nella Fiche UIC 774—3 R sono diversi*
68	*In fase di PE si prevedono prove sull'Embedded Rail System. II CS raccomanda di effettuare sull'ERS approfondimenti sia numerici che sperimentali, così come già richiesto dal CS-2011, tenendo debitamente conto del comportamento, anche anomalo, dei buffer longitudinali.* ***In particolare, si ribadisce quanto già espresso in precedenza e cioè*** *la necessità di effettuare analisi di interazione binario-struttura su un modello globale e* ***di integrare le prove sperimentali già previste con ulteriori prove volte a determinare il legame costitutivo del materiale utilizzato nel sistema ERS con riferimento ad azioni longitudinali in diverse condizioni di funzionamento, quali quelle determinate dalla temperatura e dalla velocità di applicazione degli sforzi longitudinali.***

Tabella 8-1 Raccomandazioni **CS 2023** sull'armamento ferroviario

Nella sua raccomandazione n. 28 il **CS 2023** rileva la necessità che i parametri di deformabilità del binario in direzione longitudinale, rigidezza, spostamento limite e - più in generale - legame forza spostamento longitudinale adottati per l'**ERS** siano sperimentalmente confermati tenendo conto anche delle effettive condizioni di utilizzo, con particolare riferimento alla temperatura di utilizzo e alla velocità di applicazione dei carichi.

Tali parametri, sperimentalmente confermati, dovranno poi essere utilizzati nei calcoli di interazione statica. Il tema è ripreso con la raccomandazione n. 68 che sostanzialmente ribadisce e conferma quanto riportato nella 6CS-4I del **CS 2011** contenuta nell'appendice alla relazione del **CS 2023**.

Il **CG** nel 2024 ha chiarito che la sperimentazione sul sistema **ERS** è stata condotta durante e a valle dello sviluppo del **PD**, i relativi risultati sono stati parzialmente acquisiti e che le prove saranno completate nella prima fase della ripresa delle attività di progettazione e inclusi nel **PE**.

Per quanto alla tematica della sostituzione della rotaia, ogni valutazione è stata rimandata ad una sperimentazione da condurre in occasione della sostituzione dell'armamento del ponte sull'Arno. Inoltre, è stato riferito come il sistema di armamento **ERS** di Edilon abbia ottenuto la certificazione di conformità rispetto alle prove previste dalle **STI** per i sistemi di attacco.

A tale fine si osserva che le prove di conformità alla **STI** condotte da Edilon e certificate sono quelle che riguardano genericamente i sistemi di attacco dell'armamento ferroviario e quindi sono sicuramente valide ma necessitano di ulteriori approfondimenti in merito alla resistenza a fatica del Corkelast e, in generale, del sistema **ERS** anche in relazione alle particolari caratteristiche delle deformazioni dell'impalcato e alle relative time – histories.

I chiarimenti ricevuti, richiesti con lettera n. 9 del 25/5/2026 (chiarimenti n. 2, 4, 7, 9), hanno dato evidenza delle sperimentazioni già condotte in merito a durabilità e sostituzione, ma riferiscono anche di ulteriori prove da effettuarsi in sede di **PE**. Analogamente, per quanto riguarda le sperimentazioni relative alla definizione dei parametri di rigidezza, elasticità e resistenza del sistema di armamento, si dà evidenza che i sistemi sui quali sono state condotte le prove differiscono, si riferisce leggermente, da quello che sarà adottato sul ponte e che, pertanto, saranno adottati valori derivati da nuove sperimentazioni. In merito alle prove a fatica condotte sul sistema di armamento si riferisce di nuove simulazioni numeriche su modello globale, destinate a definire gli effetti delle deformazioni globali dell'impalcato, che saranno condotte in sede di **PE**.

Anche alla luce dei chiarimenti ricevuti, le considerazioni del **CS 2023** appaiono corrette e giustificate, soprattutto in relazione alla necessità di determinare il legame forza-spostamento dell'**ERS** in diverse condizioni di utilizzo e, in particolare, a diverse temperature, atteso che le stesse temperature di utilizzo del materiale sul ponte potrebbero presentare una notevole variabilità.

In aggiunta a quanto già prescritto dal **CS 2023** si ritiene necessario che in sede di sperimentazione sul sistema di attacco sia anche approfondito l'aspetto relativo alla resistenza a fatica del Corkelast e, in generale, del sistema **ERS** in relazione alle particolari caratteristiche delle deformazioni dell'impalcato e alle relative time – history.

La determinazione delle caratteristiche del sistema di armamento nelle varie condizioni di utilizzo e in particolare la variazione delle sue caratteristiche al variare della temperatura è di estrema importanza per una corretta valutazione delle azioni di interazione statica.

Pertanto, l'**Assemblea** prescrive, in **Fase A** del **PE**, di:

- Confermare il legame forza-spostamento caratteristico dell'**ERS** concludendo le prove sperimentali parzialmente condotte ed integrandole con altre prove che tengano conto anche delle effettive condizioni di utilizzo, con particolare riferimento alla temperatura di utilizzo e alla velocità di applicazione dei carichi. Tali parametri, sperimentalmente confermati, dovranno poi essere utilizzati nei calcoli di interazione statica. A tale riguardo, particolare attenzione deve porsi all'eventualità che il legame costituivo forza - spostamento longitudinale del sistema **ERS** si discosti significativamente da quello elasto-plastico caratteristico del ballast.
- Condurre idonea sperimentazione sugli **ERS**, includendo le valutazioni di durabilità e le procedure di sostituzione, comprese le modalità di regolazione della rotaia e la relativa quantificazione dei periodi di indisponibilità dell'infrastruttura per l'esecuzione di dette operazioni di manutenzione, provvedendo alla redazione degli elaborati tecnici attestanti le attività svolte e i relativi esiti.
- Approfondire, in sede di sperimentazione, l'aspetto relativo alla resistenza a fatica del Corkelast e in generale del sistema **ERS** in relazione alle particolari caratteristiche delle deformazioni dell'impalcato e alle relative time – histories.

8.2. Interazione statica tra treno-binario e la struttura del ponte

Nella progettazione dei ponti ferroviari è necessario tenere in debita considerazione gli effetti dell'interazione statica tra il binario e la struttura del ponte. Tali effetti si generano per le diverse condizioni di vincolo dell'impalcato e del binario, sul ponte stesso. Per una struttura eccezionale come l'opera di attraversamento dello Stretto di Messina, considerate le dimensioni della stessa e le sue caratteristiche di deformazione, anche in presenza di apparecchi di dilatazione della rotaia disposti alle estremità del ponte, è necessario indagare opportunamente tali effetti, tenendo opportunamente conto delle caratteristiche, non convenzionali, del sistema di armamento (**ERS**), facendo ricorso ad una modellazione adeguata.

La tematica dell'interazione statica non è trattata esplicitamente nella **RP**. Al § 3.6 f, relativo alle prescrizioni da sviluppare nel **PE**, il progettista risponde soltanto parzialmente ad una raccomandazione del **CS 2011.**

Di seguito la richiesta del **CS 2011** e la replica del progettista:
"C: 6CS-4I) l'approfondimento, per via numerica e sperimentale, la tematica relativa all'instabilità delle rotaie ed alla modalità della loro sostituzione in funzione delle differenze di temperatura tra rotaia e impalcato;

R: La sperimentazione sul sistema ERS è stata condotta durante la fase di Progetto Definitivo. I risultati non ancora acquisiti verranno inclusi nel Progetto Esecutivo ed eventuali prove non completate verranno eseguite in parallelo con lo sviluppo della progettazione. Per quanto alla tematica della sostituzione della rotaia, si è d'accordo con RFI per condurre una sperimentazione in occasione della sostituzione dell'armamento del ponte sull'Arno a Pisa."

Nella sua raccomandazione il **CS 2023**, chiedendo un approfondimento per via numerica della tematica relativa alla stabilità della rotaia fa chiaramente riferimento ad un approfondimento tramite una opportuna modellazione sugli effetti di interazione statica che possono portare, appunto, all'instabilità della rotaia.

La **RP** non sembra cogliere appieno la raccomandazione, espressa dal **CS 2011**, di approfondire per via numerica la tematica relativa alla stabilità della rotaia, mentre si concentra soltanto sul tema parallelo della sperimentazione sull'**ERS** e sulle modalità di sostituzione delle rotaie, rimandando il completamento degli approfondimenti specifici alle successive fasi di **PE**.

Il **CS 2023** ha ribadito ed esplicitato la sua richiesta, reiterando le Raccomandazioni del **CS 2011** contenute nella appendice alla propria relazione riportate in Tabella 8-2 e le proprie raccomandazioni riportate in Tabella 8-3.

6CS 4I	*Parere CS-2023: Questo CS concorda sulla necessità di approfondimenti sia numerici che sperimentali espressa dal CS-2011, tenendo debitamente conto del comportamento, anche anomalo, dei buffer longitudinali. In particolare, ribadisce qui quanto già espresso in precedenza, sulla necessità di effettuare analisi di interazione binario-struttura su un modello globale, e di integrare le prove sperimentali con ulteriori prove volte a determinare il legame costitutivo del sistema di binario per azioni longitudinali.*

Tabella 8-2.- Raccomandazioni **CS 2011** reiterate dal **CS 2023** - interazione statica binario-struttura

27	*Nel PD, le analisi di interazione sono basate su ipotesi semplificative e modelli semplificati e distinti per i diversi tipi di azione. Si ritiene necessario, in sede di redazione di PE, l'effettuazione di un'analisi di interazione su un modello completo del Ponte, coerentemente con quanto previsto nella fiche e nel MdP citati, valutando in contemporanea, e sul medesimo modello, gli effetti delle variazioni di temperatura, delle forze di frenatura e della flessione dell'impalcato dovuta al carico verticale del convoglio, come prescritto dal MdP RFI e da UIC 774 — 3 R, e come è da tempo prassi anche nella progettazione di ponti ordinari con luci rilevanti o configurazioni particolari, con posa su ballast o attacco diretto della rotaia.*
28	*A questo proposito, si rileva come i parametri di deformabilità del binario in direzione longitudinale, rigidezza, spostamento limite e più in generale legame forza spostamento longitudinale adottati per l'ERS, siano basati sui dati dei fornitori. Ai fini di una corretta valutazione degli effetti di interazione sul modello completo, in assenza di test già effettuati a tale scopo, appare necessaria la determinazione sperimentale del legame forza-spostamento longitudinale del sistema ERS, nelle diverse condizioni di funzionamento, in particolare per ciò che riguarda la temperatura e la velocità di applicazione degli sforzi longitudinali.* ***Sempre in tema di sistema di binario ERS, si evidenzia come gli incrementi limite di tensione ammessi nella rotaia dal MdP di RFI e nella Fiche UIC 774—3 R sono diversi***
29	*A questo proposito si ritiene necessario che RFI si esprima su quali valori adottare per le verifiche conseguenti all'analisi di interazione.*
68	*In fase di PE si prevedono prove sull'Embedded Rail System. Il CS raccomanda di effettuare sull'ERS approfondimenti sia numerici che sperimentali, così come già richiesto dal CS-2011, tenendo debitamente conto del comportamento, anche anomalo, dei buffer longitudinali.* ***In particolare, si ribadisce quanto già espresso in precedenza e cioè la necessità di effettuare analisi di interazione binario-struttura su un modello globale e di integrare le prove sperimentali già previste con ulteriori prove volte a determinare il legame costitutivo del materiale utilizzato nel sistema ERS con riferimento ad azioni longitudinali in diverse condizioni di funzionamento, quali quelle determinate dalla temperatura e dalla velocità di applicazione degli sforzi longitudinali.***
6CS 4I	*Parere CS-2023: Questo CS concorda sulla necessità di approfondimenti sia numerici che sperimentali espressa dal CS-2011, tenendo debitamente conto del comportamento, anche anomalo, dei buffer longitudinali. In particolare, ribadisce qui quanto già espresso in precedenza, sulla necessità di effettuare analisi di interazione binario-struttura su un modello globale, e di integrare le prove sperimentali con ulteriori prove volte a determinare il legame costitutivo del sistema di binario per azioni longitudinali.*

Tabella 8-3.- Raccomandazioni **CS 2023** sull'interazione statica binario-struttura

Nella raccomandazione n. 27 il **CS 2023** chiarisce ulteriormente quanto già richiesto dal **CS 2011** e, in particolare, sottolinea la necessità che tutte le azioni rilevanti ai fini della determinazione degli sforzi di interazione siano valutate sulla base di un unico modello globale.

Il tema è ripreso con la considerazione 68 che, sostanzialmente, ribadisce e conferma, portandola a un livello di prescrizione, la raccomandazione già espressa dal **CS 2011**.

Alla luce di quanto sopra esposto si conferma quindi la necessità di determinare gli effetti di interazione statica binario – struttura facendo ricorso ad un modello globale unico e tenendo anche conto del comportamento, eventualmente anomalo, dei buffers.

Con la raccomandazione 28 il **CS 2023**, nel ribadire la necessità di una conferma sperimentale dei parametri relativi all'**ERS** (tema che si tratta nello specifico paragrafo), si sofferma nell'evidenziare una differenza tra i valori ammissibili di tensione nella rotaia dovuta agli effetti di interazione statica contenuti nel Manuale di Progettazione di **RFI** e nella Fiche UIC 774—3 R, affermando, con la raccomandazione 29, la necessità che **RFI** si esprima in merito a quali valori limite adottare.

In merito a tale aspetto si evidenzia che sia il Manuale di progettazione di **RFI** che la Fiche UIC si riferiscono ad un binario tradizionale su ponti di tipo convenzionale, mentre per l'impalcato ferroviario armato con **ERS**, sarà necessario definire i valori di tensione ammissibile tenendo conto anche delle specifiche caratteristiche dell'armamento, applicando quanto riportato nell'EC1 ed in particolare secondo le indicazioni del rapporto tecnico CEN TR 17231. Tali valori dovranno essere confermati da **RFI**.

Pertanto, l'**Assemblea** prescrive, in **Fase A** del **PE**, che:

- sia effettuata un'analisi di interazione statica su un modello completo del Ponte, coerentemente con la normativa applicabile, tenendo conto del corretto legame costitutivo del materiale utilizzato nel sistema **ERS** e valutando, in contemporanea e sul medesimo modello, gli effetti delle variazioni di temperatura, delle forze di frenatura e della flessione dell'impalcato dovuta al carico verticale dei convogli e tenendo anche conto di un comportamento anomalo dei buffers.
- Si definiscano i valori di tensione ammissibile, legati agli effetti di interazione statica, in maniera specifica per la tipologia di armamento proposta (**ERS**), tenendo anche conto delle caratteristiche di deformazione dell'impalcato ferroviario. Tale determinazione sarà effettuata a partire dai valori di resistenza a fatica della rotaia, tenendo conto delle caratteristiche del sistema di armamento ed in particolare delle caratteristiche del Corkelast in relazione alle varie condizioni di utilizzo ed in particolare della temperatura alla quale il sistema di armamento dovrà operare. Tali valori di tensioni ammissibili dovranno essere confermati da **RFI.**
- Si conduca idonea sperimentazione su **ERS**, includendo le valutazioni di durabilità e le procedure di sostituzione, e redigendo gli elaborati tecnici attestanti le attività svolte e i relativi esiti.

8.3. Percorribilità ferroviaria

Il presente paragrafo riguarda le valutazioni afferenti alla percorribilità ferroviaria e all'interazione dinamica treno–binario–struttura, con particolare riferimento agli apparecchi di dilatazione della rotaia, alle zone di transizione dell'armamento e agli effetti dinamici e sismici sull'opera.

Nei *Fondamenti* sono riportati i valori dei parametri che devono essere rispettati in relazione alla percorribilità ferroviaria del ponte, compresi i parametri che definiscono i livelli di comfort richiesti.

La trattazione estesa del tema è contenuta nel **PD**, in particolare nel documento PB0029_F0, "*Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort*", nel quale sono definiti i criteri per le analisi di percorribilità, sicurezza e comfort e le condizioni di carico considerate. Il § 1.3 individua i carichi e le relative combinazioni, includendo le azioni ambientali di vento, temperatura e sisma da combinare secondo i Fondamenti, oltre ai parametri connessi al numero e alla posizione dei convogli. Il § 1.4 descrive le combinazioni di treni esaminate, distinguendo le diverse configurazioni di incrocio lungo l'opera, tra cui la mezzeria della campata centrale e le zone prossime alle torri.

Il documento distingue tra modellazioni di carattere globale e modellazioni di dettaglio locale. Le analisi globali sono condotte mediante il codice **IBDAS**, assumendo un modello dinamico del treno con sette gradi di libertà per carrello e adottando un approccio modale nel dominio della frequenza. Le analisi locali sono invece sviluppate mediante il codice ADTres, che consente una rappresentazione particolareggiata dell'interazione treno–binario–struttura. In tale quadro, il § 1.7 definisce lo scopo dell'analisi locale, orientata alla valutazione dell'interazione tra treno e cassone ferroviario e alla determinazione dei fattori di amplificazione dinamica.

La modellazione del binario "embedded/incorporato" è richiamata al § 1.6.1, dove i binari sono rappresentati mediante elementi finiti di tipo trave e i piani di posa in gomma mediante uno strato continuo di elementi viscoelastici. La modellazione dinamica del treno nel codice **IBDAS** è approfondita al § 7.1, mentre il modello di ponte implementato in ADTres è illustrato al § 9.1, con riferimento alla formulazione del problema nel dominio del tempo, all'accoppiamento tra i sottosistemi struttura e veicolo ferroviario e alla valutazione delle forze di contatto ruota–rotaia. Il metodo di verifica adottato per l'analisi locale è infine descritto al § 10.1, dove si fa riferimento a un sotto-modello dell'impalcato di lunghezza pari a 300 m, collocato in posizione di metà campata.

Gli esiti principali delle analisi di percorribilità, sicurezza e comfort, sintetizzati al § 1.8 del documento PB0029_F0, dove sono riportate, tra l'altro, le valutazioni relative all'accelerazione verticale non ponderata **RMS** per il treno **RFI** 3 e gli esiti delle analisi condotte in presenza di azione sismica. Il documento evidenzia inoltre che la condizione sismica più gravosa si manifesta in corrispondenza del transito dei convogli nell'area delle torri, quando il picco dell'azione sismica coincide con tale configurazione di esercizio. Nella medesima sezione sono altresì riportati, per i convogli merci **RFI** 5 e **RFI** 6, superamenti del rapporto di ribaltamento allo stato limite **SLS**1.

Il tema è stato anche trattato dai Comitati scientifici **CS 2011** (v. Tabella 8-4) e **CS 2023** (v. Tabella 8-5).

22	*Devono essere eseguite opportune analisi dinamiche per determinare il comportamento dinamico di treni e altri veicoli in transito sul ponte a velocità di progetto. Si prevede che le analisi dinamiche siano svolte nel dominio del tempo su un modello spaziale del ponte integrato dall'aggiunta di nodi ed elementi mobili per la modellazione esplicita dei veicoli in moto. Le analisi devono fornire storie temporali di spostamento, velocità, e accelerazione dei nodi sia del ponte che dei veicoli, nonché storie temporali di sollecitazione e deformazione di tutti gli elementi del modello.*
138	*Si deve eseguire un calcolo relativo all'interazione dell'apparecchio di dilatazione con i treni transitanti, calcolo che tenga conto delle variazioni delle caratteristiche della rotaia (geometria e rigidezza) lungo l'apparecchio, al fine di verificare le condizioni di sicurezza di marcia e il corretto dimensionamento dell'apparecchio stesso*

Tabella 8-4.- Raccomandazioni **CS 2011** su interazione e comfort

68	*considerare i programmi di sperimentazione previsti dalla ETAG 032 (2013) e dall'EAD 120113-00-0107:08/2019 "Modular Expansion Joints for Road Bridges", per i giunti di dilatazione degli impalcati, al fine di determinare adeguati coefficienti d'impatto mediante metodi di sperimentazione diretta*

Tabella 8-5.- Raccomandazione **CS 2023** su interazione e comfort

In merito alle osservazioni mosse dal **CS 2011** il **CG** dichiara che tutti gli aspetti verranno inclusi e sviluppati nel **PE**, approccio confermato nella risposta alle richieste di chiarimenti formulate con la lettera n.9 del 25/5/2026 (chiarimenti n. 5 e n. 6); in essa è stato comunicato **che l'affinamento delle analisi di interazione sarà effettuato in sede di PE, includendo gli esiti di una revisione critica dei parametri di irregolarità del binario e degli effetti della protezione degli schermi antivento**.

Inoltre, sempre nella lettera di chiarimenti n. 9, è stato chiesto a **SdM** di dettagliare le analisi rivolte alla valutazione del comfort dei passeggeri a bordo del treno, in presenza di significativi spostamenti della struttura. Con il chiarimento n. 6 è stato dichiarato che le verifiche effettuate confermano il rispetto dei valori limite di comfort definiti per il progetto, mentre si prevede di **ripetere le verifiche stesse introducendo una revisione dei valori di difettosità del binario utilizzati nei calcoli**.

Rispetto a quanto esaminato nel **PD** e nella **RP**, l'unicità dell'opera in esame richiede comunque ulteriori riflessioni sulla funzionalità e percorribilità della stessa, così come illustrato nel **Capitolo 3** e nel **Capitolo 5**.

Anzitutto, occorre ricordare la raccomandazione riportata dal **CS 2023** riguardo la funzionalità dell'**Opera**: "*Infine, il CS ritiene opportuno che nell'aggiornamento delle analisi strutturali vengano riesaminati scenari multihazard che tengano conto dell'azione combinata del vento e dei carichi di traffico ferroviario e/o stradale e ciò al fine di una conferma del livello di sicurezza e di funzionalità del Ponte anche nel caso di eventi estremi.*", chiarendo tale raccomandazione come segue: "*Il CS ribadisce la raccomandazione specificando che l'analisi "multihazard" viene usualmente condotta valutando la probabilità che uno o più eventi estremi possano verificarsi contemporaneamente o in cascata. A parere del CS l'analisi "multihazard" andrebbe effettuata sia in fase di progetto esecutivo che per la fase di gestione. Si fa presente che esiste un'ampia letteratura in cui tale problematica è stata affrontata nell'ultimo decennio; ad esempio: P. Gardoni & J.M. LaFave, Multi-hazard approaches to civil infrastructure engineering. Springer, 2016.*"

Sulla scorta di tali considerazioni, occorre che le verifiche relative alla percorribilità ferroviaria e all'interazione treno–binario–struttura assicurino il rispetto dei requisiti prescritti dalla Norma vigente e particolareggiati nei *Fondamenti,* con riferimento anche all'aggiornamento degli eventi naturali e delle tipologie di convoglio ferroviario.

Tenuto conto della rilevanza dell'**Opera**, e delle sue specificità geometriche, strutturali e dinamiche, risulta necessaria, in particolare, una valutazione specifica del sistema treno–binario–struttura nelle situazioni eccezionali e accidentali ragionevolmente prevedibili.

Alla luce dell'evoluzione del quadro normativo, dei criteri di verifica applicabili, dell'unicità dell'**Opera**, pur ribadendo le osservazioni e raccomandazioni già formulate dal **CS 2011** e **CS 2023**, l'**Assemblea** ritiene necessario che alcuni aspetti siano ulteriormente sviluppati nelle successive fasi progettuali e formula le seguenti ulteriori raccomandazioni:

- Si raccomanda, con riferimento al documento PB0029_F0 (Capitolo 1.8), di procedere a una nuova verifica della condizione relativa all'accelerazione verticale non ponderata **RMS** per il treno **RFI** 3, in quanto i criteri normativi aggiornati potrebbero risultare più restrittivi di quelli precedentemente adottati.
- Si prescrive di eseguire l'analisi dell'interazione treno–binario–struttura anche in corrispondenza dei giunti di dilatazione, finalizzata alla valutazione della percorribilità e alla determinazione delle amplificazioni dinamiche sia sulla struttura che su tutti gli organi costituenti l'apparecchio di dilatazione della rotaia.
- Si prescrive di eseguire l'analisi dell'interazione dinamica treno–binario–struttura in corrispondenza delle zone di transizione tra **ERS**, attacco diretto sulla struttura terminale e ballast, finalizzata alla valutazione dei parametri di controllo della percorribilità e alla determinazione delle amplificazioni dinamiche sulle strutture del ponte e sui dispositivi di armamento.
- Si raccomanda, con riferimento a quanto riportato nel documento PB0029_F0, § 1.8, in merito alla maggiore gravosità della condizione sismica in prossimità delle torri e alla violazione del rapporto di ribaltamento allo **SLS**1 per i convogli merci **RFI** 5 e **RFI** 6, di esplicitare, nell'ambito delle analisi dinamiche nel dominio del tempo previste dal **PE**, il conseguimento di esiti favorevoli in termini di percorribilità.
- Si prescrive di condurre idonea sperimentazione sugli apparecchi di dilatazione, includendo le valutazioni di durabilità e le procedure di sostituzione.
- Si raccomanda di verificare le condizioni di sicurezza ferroviaria nel caso di frenatura simultanea di due treni in incrocio sul ponte, con particolare riferimento agli effetti dinamici indotti sulla struttura e sulla stabilità del sistema treno–binario.
- Si raccomanda di valutare il comfort dei passeggeri a bordo treno in presenza di significativi spostamenti della struttura, sia in direzione verticale sia orizzontale, anche in condizioni di vento intenso, considerando gli elevati spostamenti attesi e a seguito della revisione dei valori di difettosità del binario.
- Si prescrive che le verifiche relative alla percorribilità e all'interazione treno–binario–struttura garantiscano un livello di affidabilità e di rischio coerenti con quello assunti per l'intera struttura.

- Si prescrive di prevedere adeguate prestazioni del sistema treno–binario–struttura nelle situazioni eccezionali e accidentali (p.e. svio e ribaltamento) ragionevolmente prevedibili, tenendo conto dell'esposizione dell'opera e delle conseguenze di un'eventuale perdita delle condizioni di marcia sul convoglio e sulla struttura.
- Si prescrive di definire, facendo ricorso a specifiche analisi che tengano conto anche di eventuali effetti indotti da disturbi esterni (quali condizioni contingenti ambientali ed antropiche), specifiche condizioni di limitazione del traffico sul Ponte e per queste sia determinato il relativo tempo di inoperatività dell'**Opera**.

8.4. Percorribilità stradale

8.4.1. Percorribilità stradale dell'opera di attraversamento

Le non conformità dell'**Opera** e del viadotto Pantano rispetto al Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici del 5.11.2001 - al di là della lunghezza del rettifilo costituito dall'estesa dell'**Opera**, determinata da un inevitabile condizionamento di tracciato strettamente discendente dalla adottata tipologia strutturale dell'**Opera** - devono essere valutate, verificate e possibilmente risolte, salvo il motivato ricorso all'art. 13, c.2 del **D.Lgs.** 285 del 1992, Codice della Strada.

Si osserva che nel documento di progetto PS0001_F0_ITA sono riportati i risultati dei calcoli effettuati dai progettisti relativamente alle variazioni della pendenza longitudinale e della pendenza trasversale della piattaforma derivanti da varie possibili cause, ottenuti senza prevedere una modellazione del complesso struttura-veicoli, ma basandosi su una valutazione delle accelerazioni dell'impalcato.

Vi si legge che per le condizioni metereologiche ordinarie la geometria della piattaforma stradale teorica o "*di riferimento*" (caratterizzata da andamento planimetrico rettilineo, profilo altimetrico lievemente arcuato con pendenze rispettivamente dell'1,5% lato Sicilia e 0,9232% lato Calabria, pendenza trasversale del 2%) può essere alterata in esercizio per effetto delle deformazioni dell'impalcato e della struttura portante del ponte provocate dalle differenti possibili posizioni dei veicoli stradali e ferroviari contemporaneamente presenti sul ponte, oltreché per le deformazioni termiche.

A queste si può aggiungere, in determinate ore o giornate, l'azione di venti sufficientemente tesi, delle raffiche e dei vortici.

Con la Risposta n.2 al Chiarimento n.4 si è riscontrata la richiesta del **CSLP** di esporre in forma tabellare i dati relativi alle deformazioni della geometria teorica del piano viabile, distinguendo i valori massimi di spostamento orizzontale e verticale, le variazioni massime locali di pendenza trasversale e longitudinale e la loro velocità di variazione. A tal fine, il proponente ha fornito alcuni campi di spostamento rappresentativi di condizioni associate a quelle che determinano le condizioni dominanti per gli stati limite di servizio, non presenti nei documenti di progetto, ottenuti con modello di calcolo globale agli elementi finiti analogo a quello **IBDAS** del **PD**, considerando i carichi **QR** di cui al documento PG0025_F0, la velocità media del vento di circa 160 km/h, con punte di raffica di circa 210 km/h e gli altri carichi di cui al documento PG0025_F0. La pendenza longitudinale massima calcolata risulta del 4,94% mentre la pendenza trasversale massima calcolata risulta del 6,01%, entrambe inferiori ai limiti assunti nei *Fondamenti*, rispettivamente pari al 5% e al 7%.

Le stime delle velocità di sviluppo dei fenomeni che producono deviazioni dalla geometria teorica sono state basate sui tempi di accadimento o sui periodi propri di oscillazione. I risultati ottenuti da analisi time-history dinamiche condotte con varie metodologie nel dominio del tempo e delle frequenze hanno permesso a **SdM** di definire:

a) trascurabile la velocità di sviluppo della componente statica dello spostamento trasversale, cui si somma una oscillazione dinamica sinusoidale con velocità media di 0,20 m/s;
b) trascurabile la velocità di sviluppo della componente statica dello spostamento verticale, cui si somma una oscillazione dinamica sinusoidale con velocità media di 0,14 m/s;

c) trascurabile la velocità di sviluppo della componente statica dello spostamento verticale massimo del bordo impalcato dovuto alla rotazione, cui si somma una oscillazione dinamica sinusoidale con velocità media di 0,06 m/s.

Nel complesso, ancorché non vengano esplicitamente riportate le verifiche delle distanze di visuale libera o altre verifiche dinamiche sul moto dei veicoli nelle condizioni deformate, **SdM** non ha manifestato preoccupazioni, né rispetto alla percorribilità dell'opera a elevate velocità, né a conclusione della Risposta n.2 al Chiarimento n.4 finora sintetizzato, né nell'ambito della Risposta n.1-II allo stesso Chiarimento, specificamente concernente la descrizione degli impatti derivanti dalla elevazione della velocità di progetto da 90 km/h a 140 km/h.

Pertanto, dall'insieme delle informazioni e delle delucidazioni fornite si può concludere che il progettista ha potuto escludere che la deformabilità dell'opera di attraversamento possa provocare perdita temporanea della visibilità necessaria per le manovre di sorpasso o per l'arresto, oppure creare difficoltà percettive tali da rendere necessarie limitazioni alla velocità rispetto a quelle massime previste dalle norme.

Tuttavia, l'**Assemblea** ritiene necessario, come si dirà meglio in seguito, effettuare, nell'ambito dell'integrazione del quadro conoscitivo ai fini dello sviluppo del **PE**, specifiche simulazioni a riguardo.

Nonostante siano considerate trascurabili per la mobilità stradale le deformazioni e le velocità di deformazione, nella Risposta n.1-II si propone, però, una estesa argomentazione a favore del limite di velocità a 80 km/h, basata su rilevazioni statistiche sull'influenza della velocità sull'incidentalità, avvertendo che: "*Un incremento dell'incidentalità grave va valutato anche in relazione agli orientamenti adottati a livello nazionale, europeo ed internazionale in tema di impegno comune nella riduzione della mortalità stradale (obiettivo: zero vittime della strada al 2050)*".

A tal proposito si deve osservare, in primo luogo, che le statistiche considerate trattano di medie del tutto generali e non sono correlate alla specifica configurazione geometrica in esame; inoltre, va osservato che se l'"*imporre un limite di velocità più basso rispetto al Codice per ridurre l'incidentalità*" fosse considerato un provvedimento valido per il Ponte di Messina, dovrebbe essere valido anche per tutte le autostrade e le strade principali italiane o europee.

Infine, questione ben più rilevante, l'adozione preventiva (e motivata) di un eventuale limite di velocità di esercizio ridotto (80 km/h) non giustifica una progettazione per una velocità di progetto basata su quel limite di esercizio (90 km/h), poiché il corretto contemperamento dei principi di sicurezza stradale e fluidità della circolazione indicati dal Codice della Strada è normativamente fissato dal D.M. 5/11/2001 (Art.1 del D.Lgs. 30.04.1992 e s.m.i. : "*La circolazione dei pedoni, dei veicoli e degli animali sulle strade è regolata dalle norme del presente codice e dai provvedimenti emanati in applicazione di esse, nel rispetto delle normative internazionali e comunitarie in materia. Le norme e i provvedimenti attuativi si ispirano ai principi della sicurezza stradale e della mobilità sostenibile, perseguendo gli obiettivi: di ridurre i costi economici, sociali ed ambientali derivanti dal traffico veicolare; di migliorare il livello di qualità della vita dei cittadini anche attraverso una razionale utilizzazione del territorio; di migliorare la fluidità della circolazione; di promuovere l'uso dei velocipedi.*").

Visto quanto ritenuto dal **DL** 35/2023 in merito alla necessità e all'urgenza che l'**Opera** sia adeguata al quadro normativo vigente, assicurando il rispetto delle migliori e più moderne tecniche ingegneristiche e delle garanzie della sicurezza, le verifiche di sicurezza contemplate dal **DM** 5.11.2001 devono essere eseguite assumendo l'intervallo di velocità di progetto da esso previsto per la categoria di strada competente a ciascun tronco, definita in coerenza con la funzione svolta nella rete.

In particolare, per l'**Opera**, che ha asse rettilineo e andamento altimetrico non vincolante, la velocità massima di progetto dell'infrastruttura deve essere fissata corrispondentemente al valore massimo dell'intervallo di velocità previsto per la tipologia stradale di appartenenza (cioè 140 km/h, essendo attualmente prevista, nel progetto all'esame, la classificazione nel Tipo "A - autostrada"); fermo restando che è possibile, all'occorrenza, regolare il traffico mediante l'imposizione di limitazioni locali di velocità ai sensi dell'art. 142 c.2 del Codice della Strada.

Qualora, come comunicato da SdM, assuma efficacia il III Atto aggiuntivo alla Convenzione di Concessione, nel quale si qualifica l'itinerario come strada extraurbana principale di categoria B, le precedenti considerazioni rimangono inalterate, con la sola differenza della variazione della velocità massima di progetto da 140 a 120 km/h.

Benché i risultati esposti rispettino i limiti di cui al *Manuale* e quelli massimi puntuali fissati dalla normativa stradale per le pendenze massime longitudinali e trasversali e, pertanto, allo stato attuale delle verifiche progettuali, la deformabilità della struttura non appaia giustificare, in condizioni atmosferiche ordinarie, la necessità dell'adozione di limiti di velocità specifici, tuttavia questo **Consesso** ritiene che **nella Fase A del PE, gli studi vadano completati considerando il profilo longitudinale modificato in tutte le possibili condizioni di carico ed eseguendo su quello tutte le verifiche di visuale libera.**

Analogamente, occorre valutare più approfonditamente i possibili effetti dinamici e psicologici conseguenti alla variazione, più o meno repentina, della pendenza trasversale nell'ambito dei valori massimi previsti. Concordemente con quanto indicato dal **CS 2023**, le analisi devono essere svolte nel dominio del tempo su un modello spaziale del ponte integrato per la modellazione esplicita dei veicoli in moto e devono fornire storie temporali di spostamento, velocità e accelerazione sia del ponte che dei veicoli, nonché storie temporali di sollecitazione e deformazione di tutti gli elementi del modello.

L'imposizione di limiti di velocità inferiori a quelle di norma o di eventuali divieti di transito per particolari categorie di veicoli dovrà essere considerata, come generalmente avviene per altri tronchi della rete nazionale, in caso di condizioni atmosferiche non ordinarie per vento, pioggia o altri fattori di pericolo possibile per la circolazione.

A tal proposito, **nello sviluppo del PE (in Fase A) dovranno essere studiate e determinate, con appropriati strumenti metodologici di validità generale e riconosciuti a livello nazionale e internazionale nella letteratura tecnica di settore, le velocità massima di percorrenza dei veicoli stradali sul Ponte dello Stretto di Messina in funzione dei previsti intervalli di velocità media del vento e della velocità di raffica dello stesso, in rapporto alle differenti categorie di veicoli.**

In particolare, si richiama l'attenzione alla stabilità dei veicoli cosiddetti "telonati", tenendo conto delle relative condizioni di carico (a pieno carico e/o scarichi).

I risultati delle simulazioni e delle analisi numeriche dovranno essere sintetizzati in modo da rendere immediata contezza delle velocità massime e degli eventuali divieti di transito delle singole categorie di veicoli in funzione degli intervalli di velocità del vento (media e di raffica), predisponendo una tabella di graduazione da affiancare a quella già definita per il transito dei convogli ferroviari. Inoltre, deve essere stabilito un protocollo di applicazione, prevista l'installazione di sistemi di informazione all'utenza e predisposti i più moderni metodi di rilevazione e di repressione delle violazioni.

8.4.2. Simulatore stradale

Come detto, il comportamento di guida in queste condizioni è necessariamente da approfondire.

Si ritiene necessario che, nella prima fase di **PE** dedicata all'approfondimento dello stato delle conoscenze (**Fase A**), si provveda ad una campagna sperimentale da svolgere con sistemi di simulazione di guida in realtà virtuale di caratteristiche idonee a comprendere la correlazione tra le diverse azioni sul ponte ed il comportamento degli utenti alla guida.

Lo studio dovrà essere svolto mediante prove al simulatore di guida in grado di rappresentare in modo quanto più realistico i fenomeni oggetto di studio. Allo scopo, il simulatore dovrà essere necessariamente ad "alta fedeltà" di tipo dinamico, preventivamente calibrato secondo le più diffuse modalità riscontrabili in letteratura.

L'entità degli spostamenti e delle accelerazioni, che il sistema di movimento del simulatore dovrà essere in grado di fornire, dovranno tener conto dell'effetto combinato degli spostamenti assoluti e dell'inerzia dell'impalcato del ponte e del veicolo.

Altresì, dovranno essere definiti la tipologia ed il numero di scenari da simulare, che dovranno comunque tenere in conto la presenza, singola o combinata, delle diverse azioni dovute al vento ortogonale all'impalcato (con azione costante o a raffiche) fino al valore di *stato limite di servizio* di progetto (**SLS**1) ed al carico dovuto al passaggio di uno o due treni in contemporanea.

Particolare attenzione dovrà essere posta nell'analisi delle azioni del vento nelle zone terminali delle barriere frangivento e di passaggio sotto le torri, dove sono attese condizioni di turbolenza potenzialmente significative.

Le simulazioni dovranno essere condotte in condizioni d'illuminamento diurno e notturno, considerando anche l'eventuale presenza di precipitazioni, fornendo una rappresentazione grafica realistica della strada, completa di una riproduzione fedele della segnaletica orizzontale e verticale e degli elementi strutturali al margine della piattaforma stradale.

Dovranno essere indagate le diverse condizioni di traffico attese (dalle condizioni di veicolo isolato a quelle di punta con accessi aleatori all'infrastruttura), sperimentando anche le modifiche alle regole della circolazione potenzialmente applicabili ai fini della sicurezza della circolazione (divieti di transito per specifiche categorie di veicoli, limiti di velocità, divieti di sorpasso, distanziamenti…).

Perché le condizioni di prova siano le più realistiche possibili, si ritiene necessario che la postazione di guida nel simulatore sia in una cabina che riproduca l'abitacolo interno di una vettura con comandi completi. Si raccomanda, inoltre, che la campagna di simulazioni, tipicamente svolta su simulatori di veicolo leggero (autovettura), siano integrate con simulazioni di guida di veicolo pesante (autocarro, anche telonato) o motociclo.

La registrazione dei dati rilevati durante le simulazioni (parametri di interazione veicolare, velocità ed accelerazioni, geometrie delle traiettorie, dati biometrici dei conducenti) dovrà consentire una rappresentazione "in continuo" del comportamento dell'utente, definendo opportunamente la frequenza di campionamento in relazione all'intensità e durata dei fenomeni studiati nei diversi scenari.

Le simulazioni dovranno essere ripetute in modo tale da fornire un campione di guide, per ogni scenario, statisticamente significativo. Non potendosi provvedere ad una validazione diretta ed assoluta dei risultati, dovrà porsi cura nel definire il numero minimo di prove di guida da eseguire per ogni scenario di analisi ed i criteri di elaborazione statistica dei risultati in modo da garantire l'affidabilità dei risultati ottenuti e della loro valutazione.

Lo studio così impostato dovrà consentire di valutare il comportamento degli utenti nelle diverse condizioni di transito sul ponte e di individuare dei criteri di indirizzo per la definizione preliminare delle regole di circolazione da imporre nelle diverse situazioni prevedibili, in modo da fornire un quadro quanto più possibile fedele delle prevedibili limitazioni di esercizio che potranno essere imposte dal Soggetto gestore sull'opera in fase di esercizio.

8.4.3. Smart roads

È cogente per le **reti TEN-T** anche l'applicazione del **DM** 28 febbraio 2018 (Smart Roads) con la necessaria individuazione degli spazi per la collocazione delle apparecchiature e dei sistemi per la gestione del traffico. Il decreto Smart Roads contempla un processo di trasformazione digitale orientato a introdurre piattaforme di osservazione e monitoraggio del traffico, modelli di elaborazione dei dati e delle informazioni, servizi avanzati ai gestori delle infrastrutture, alla pubblica amministrazione e agli utenti della strada, nel quadro della creazione di un ecosistema tecnologico favorevole all'interoperabilità tra infrastrutture e veicoli di nuova generazione.

L'**Assemblea** raccomanda di prevedere, nella **Fase B** del **PE**, nell'ambito dei sistemi Smart Roads, architetture digitali aperte e scalabili che consentano l'impiego di applicazioni di Intelligenza Artificiale per il monitoraggio dell'infrastruttura, la manutenzione predittiva e l'ottimizzazione della gestione del traffico.

8.4.4. Pavimentazione

L'esame dei particolari costruttivi dell'opera di attraversamento ha evidenziato che nel **PD** non risulta adottata una sola soluzione per la pavimentazione stradale sull'opera di attraversamento, ma sono avanzate proposte alternative e illustrate le linee di indirizzo per il programma di prove sperimentali preventive.

Pertanto, si prescrive che la pavimentazione sia scelta in Fase A del PE, dopo accurato e completo esame della letteratura internazionale più aggiornata riguardante le prestazioni e la durabilità delle pavimentazioni su piastra metallica ortotropa e dopo acquisizione di esperienze dirette dai gestori di ponti a comportamento deformativo locale analogo a quello calcolato sull'impalcato di progetto.

Sulle pavimentazioni selezionate in base a tale censimento, si raccomanda:

- di rendere massimamente rappresentativa della molteplicità dei mezzi stradali la sperimentazione di laboratorio in vera grandezza cui si accenna nel **PD**;
- di condurla su ampi elementi di impalcato;
- di contemplare anche il passaggio di assi diversi da quello gemellato già individuato in progetto e di ruote di differenti dimensioni e pressioni di gonfiaggio;
- di studiare non solamente le sollecitazioni provocate dall'inflessione della piastra per i carichi verticali, ma anche quelle dovute alle forze tangenziali trasmesse alla pavimentazione in fase di frenatura e di accelerazione nel campo delle velocità di progetto imposte dalla norma.

8.4.5. Drenaggio acque meteoriche

Le griglie per il drenaggio e il convogliamento delle acque meteoriche, descritte negli elaborati PS0171_F0 e PS0249_F0, sono disposte sul lato destro di ciascuna carreggiata stradale. Nel caso dell'inversione di pendenza trasversale che può conseguire all'azione del vento, tale sistema di drenaggio perde la sua funzionalità. Infatti, dal documento di progetto PS0001_F0_ITA risulta che, ad esempio nella condizione di carico 4, la pendenza trasversale totale può passare da +2,0% a -1,99%.

Oltre a revisionare integralmente la progettazione del sistema di drenaggio, in **Fase A** dovrà essere completato il quadro conoscitivo con un modello di simulazione del flusso idrico superficiale, computando lo spessore del velo idrico presente in ogni punto delle piattaforme stradali nelle differenti combinazioni di condizioni di carico e condizioni di apporto meteorico, anche ai fini delle valutazioni riguardo all'aderenza e all'insorgenza di fenomeni di aquaplaning già sollecitate dal **CS 2023** (riga 8 del documento CG5000-P-RG-R-G-TC-RG-G0-00-00-00-04-A).

Si evidenzia, inoltre, che nello stesso documento, nella risposta di riga 7 si afferma: "*Con riguardo alla problematica dell'aquaplaning, si segnala che la sussistenza o meno dello stesso prescinde dalla tipologia di pavimentazione*". Tale assunto non è condivisibile in quanto alle velocità di progetto considerate la macrorugosità della superficie stradale (e, quindi il tipo di manto d'usura) influenza senz'altro il fenomeno.

A tal proposito si ritiene necessario verificare se la ridotta dimensione massima degli inerti utilizzabili nella pavimentazione sottile di progetto consenta di rispettare gli obiettivi progettualmente stabiliti di macrorugosità (altezza in sabbia). Contrariamente a quanto si legge nei documenti progettuali, infatti, nello strato di resina di 9 mm non potrà essere impiegato "pietrischetto", ma al massimo graniglia di non più di 4 mm (cfr. Fig. 1, § 4.2 del doc. PS0248_FO_ITA).

8.5. Gestione dell'esercizio ferroviario e stradale

Come chiaramente evidenziato nei più rappresentativi "casi di studio" di ponti di grande luce in ambiente marino a livello internazionale, le effettive politiche di gestione del traffico ferroviario e stradale in fase di esercizio rispondono non solo a criteri di sicurezza di marcia dei convogli/mezzi ma anche di comfort, tenuto conto (nel caso del traffico stradale) anche degli aspetti relativi al comportamento soggettivo degli automobilisti e dei conducenti di mezzi pesanti per determinati stati di vento, aspetti compiutamente affrontati al § 8.4.

Più in particolare, riguardo alle condizioni di esercizio stradale dei ponti sospesi, in Figura 8-1 si riportano le restrizioni all'uso adottate dal Soggetto gestore del ponte sospeso attualmente più lungo del mondo (ponte Canakkale sullo Stretto dei Dardanelli in Turchia, lungo 2023 m).

Velocità del vento (km/h)	Restrizioni sull'uso del Ponte Çanakkale del 1915
54	La velocità del traffico per tutti i veicoli sul ponte è limitata a 65 km/h.
72	L'uso del ponte da parte degli autobus a due piani è vietato.
79	L'uso del ponte da parte di veicoli con alta facciata, scatole (cubi) e carichi molto ingombranti è vietato.
104	I veicoli diversi dalle auto sono vietati dall'uso del ponte.
126	Il ponte è chiuso al traffico per tutti i veicoli.

Figura 8-1.- Condizione di esercizio stradale (*Fonte: www.1915canakkale.com*)

Le restrizioni all'uso attengono dapprima a limitazioni della velocità dei veicoli e, per velocità del vento crescenti, al divieto di transito di assegnate tipologie di veicoli.

Riguardo alle analoghe restrizioni per il traffico ferroviario, si presentano di seguito le condizioni di esercizio ferroviario relative:

- al ponte occidentale (Vestbroen), ponte su pile, appartenente al collegamento stradale e ferroviario "Great Belt" in Danimarca (Figura 8-2);
- al ponte posto sul collegamento stradale e ferroviario "Øresund", tra Danimarca e Svezia (Figura 8-3), ponte su pile con campata centrale strallata di circa 490 m.

Wind #)	Restriction		
	Freight trains	Other electrical trains	Other diesel trains
< 21 m/s	No restrictions	No restrictions	No restrictions
21 – 24 m/s	80 km/h @)	No restrictions	No restrictions
From 25 m/s	Terminated	Terminated	Terminated
#) average for 10 minutes @) not valid for solo locomotives			

Figura 8-2.- Limitazioni ferroviarie sul Great Belt (Fonte EIM – European Rail Infrastructure Managers)

Step	Measured wind speed (m/s)	Operational restrictions		
		Freight trains	Other electrical trains	Other diesel trains
1	Above 18 m/s actual or 12 m/s effective wind	No restrictions	No restrictions	No restrictions
2	Above 21 m/s actual or 17 m/s effective wind	Max. 80 km/h	No restrictions	No restrictions
3	Above 24 m/s actual or 20 m/s effective wind	Max. 80 km/h	No restrictions	No restrictions
4	Above 27 m/s actual wind	Terminated	Max. 100 km/h	No restrictions
5	Above 30 m/s actual wind	Terminated	Max. 40 km/h	Max. 100 km/h
6	Above 34 m/s actual wind	All operation terminated	All operation terminated	All operation terminated

Figura 8-3.- Limitazioni ferroviarie sull'Øresund (Fonte EIM – European Rail Infrastructure Managers)

Per tutto quanto sopra osservato, tenuto conto della rilevante importanza delle azioni ambientali sulla risposta del sistema e sulle conseguenti verifiche di percorribilità stradale e ferroviaria, come previsto nel capitolo 4.3 dei *Fondamenti*, in base ai risultati delle analisi da condurre sul **PE** occorrerà esplicitare le limitazioni (riduzioni o sospensioni totali) dell'operatività del servizio stradale e ferroviario in relazione all'entità dell'azione del vento che andrà ad agire sui convogli e sulla struttura.

Più in particolare, sulla base dei risultati degli approfondimenti progettuali di **Fase A** del **PE** dovranno essere specificamente definite - per le diverse categorie di veicoli stradali e ferroviari ammessi a circolare sull'opera - le condizioni di ventosità rilevate da apposito sistema di monitoraggio per le quali l'operatività dell'attraversamento potrà essere completa o dovrà essere sottoposta a limitazioni parziali o integrali (eventualmente sino all'interruzione totale).

Pertanto, tenuto conto dei risultati di questi approfondimenti progettuali e nel rispetto delle verifiche condotte, il gestore dell'attraversamento dovrà stabilire – anche in relazione alle modalità gestionali e manutentive che intenderà attuare e d'intesa con le competenti autorità di regolazione del traffico stradale, ferroviario e marittimo – i valori limite delle grandezze di monitoraggio (velocità del vento, parametri cinematici della struttura, etc.) alle quali rapportare le condizioni di operatività dell'attraversamento.

Detto adempimento dovrà essere ottemperato prima dell'apertura all'esercizio dell'attraversamento.

8.6. Aspetti relativi al traffico marittimo

Ai fini di un inquadramento generale della questione, dalla nota del 05.06.2026 n. 1361 della **SdM** si rinviene quanto di seguito riportato:

"*Il Ponte sullo Stretto di Messina ha un profilo altimetrico con pendenza dello 1.5% lato Sicilia e 0.92% lato Calabria, con un raccordo circolare in prossimità della mezzeria dell'opera.*

Già con il Progetto Preliminare posto a base di gara a CG era previsto un canale navigabile, di larghezza pari a 600 m, la cui mezzeria è posta in corrispondenza della mezzeria del ponte.

In condizione di quiete, ovvero in assenza di elementi di disturbo sia antropico e sia ambientale, il franco libero, ovvero la minima distanza verticale tra l'intradosso dell'impalcato ed il livello medio del mare, nel canale navigabile è pari a 74.10m al centro del canale navigabile e 72.60m alle due estremità di esso. Nelle figure seguenti vi è una rappresentazione geometrica, in pianta e in sezione longitudinale, del canale navigabile, suddiviso idealmente in tre segmenti da 200m al fine di fornire maggiore precisione della variazione geometrica in altezza della distanza verticale minima tra l'intradosso dell'impalcato ed il livello medio del mare".

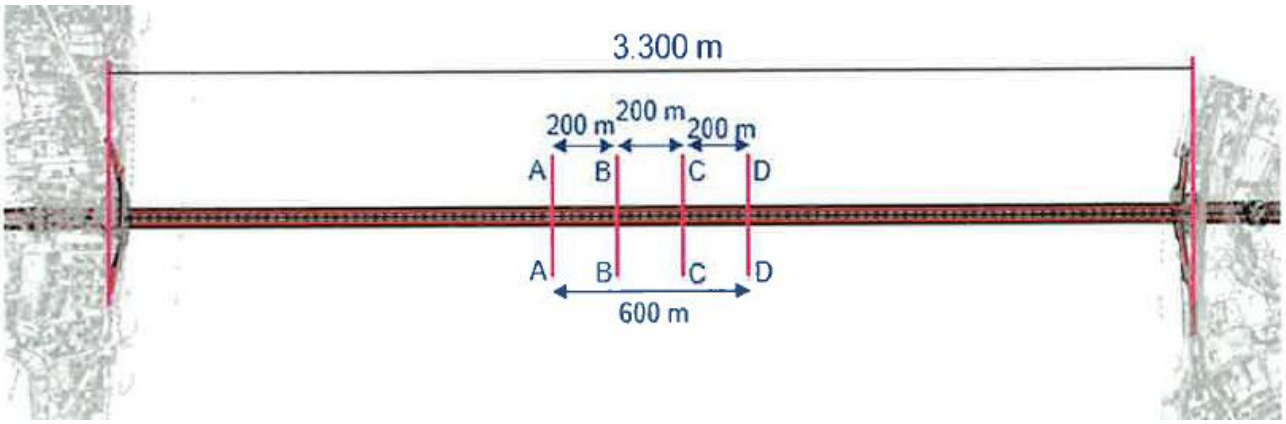


Figura 8-4 Estensione dell'**Opera**

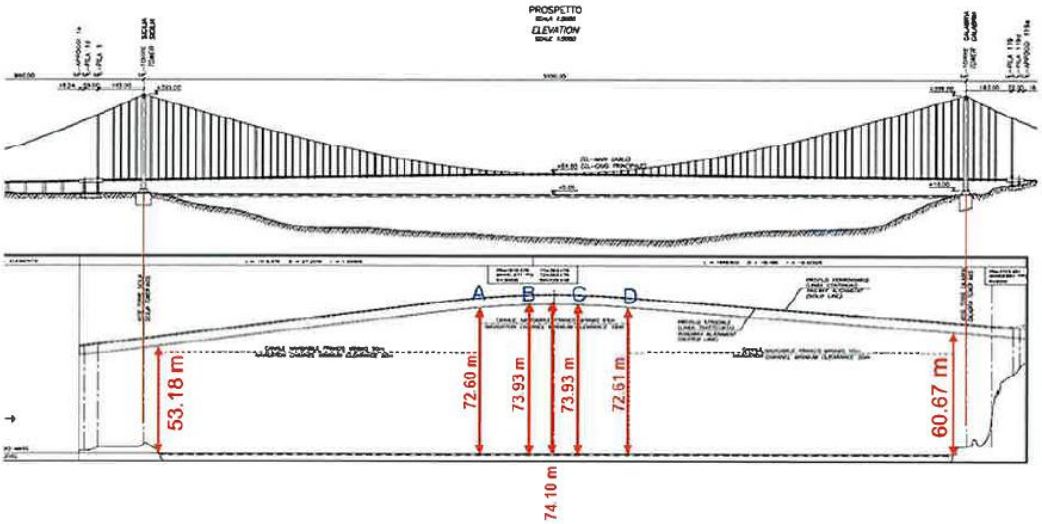


Figura 8-5 Prospetto dell'**Opera**

All'interno dell'elaborato dei *Fondamenti* si rinvengono i requisiti prestazionali che dovranno essere perseguiti dal Ponte riguardo al traffico marittimo.

"*4.3.3 Prestazioni relative al traffico marittimo*
La funzionalità di servizio in relazione alla fruibilità del canale di navigazione si estrinseca nel rispetto del franco libero di navigazione. Tale prestazione è associata alla completa funzionalità dell'Opera (CF). Per Linea Fondamentale di Progetto si intende la linea teorica di estradosso del piano viario del progetto stradale. Per franco libero del canale di navigazione si intende la minima distanza verticale tra l'intradosso dell'impalcato ed il livello medio del mare, come definita geometricamente nel Progetto Preliminare, pari a 65 m in una fascia centrale larga 600 m e 50 m nella parte restante dello specchio d'acqua.

Il franco libero del canale di navigazione deve essere rispettato dalla configurazione deformata dell'impalcato, alla temperatura di riferimento, vedi sezione 5.3.3, rispetto alla Linea Fondamentale di Progetto, dovuta al carico variabile stradale QR di cui al Paragrafo 5.2.2 ed al carico ferroviario rappresentato da:

- *a. 2 treni reali RFI 5 di cui al medesimo Paragrafo 5.2.2 per una lunghezza di 400 m ciascuno, sullo stesso binario o su binari diversi;*
- *b. 1 treno reale RFI 5, come i precedenti, per una lunghezza di 750 m.*

Lo stato deformativo del Ponte, in relazione alle richieste del traffico stradale, ferroviario e marittimo andrà monitorato, controllato e gestito".

Al fine di pervenire ad un compiuto esame degli aspetti relativi al traffico marittimo, questo Consesso ha formulato, con nota del 18.05.2026 n. 7990, la richiesta di chiarimenti n. 7 alla **SdM**.

In essa, tenuto conto:

- delle raccomandazioni del **PMC** poste all'interno delle "*Raccomandazioni per l'elaborazione del progetto esecutivo*";
- delle Raccomandazioni del **CS 2011** al punto a) a pag. 18: "*deve inoltre essere verificato il rispetto del prescritto franco per la navigazione marittima*". E a pag. 21: "*la funzionalità di servizio in relazione alla fruibilità del canale di navigazione si estrinseca nel rispetto del franco libero di navigazione di 65 m in una fascia centrale larga 600 m e 50 m nella parte restante dello specchio d'acqua. Il franco libero del canale di navigazione viene inteso come la minima distanza verticale tra l'intradosso dell'impalcato ed il livello medio del mare e deve essere rispettato dalla configurazione deformata dell'impalcato rispetto alla Linea Fondamentale di Progetto*";
- della Raccomandazione n. 33 del **CS 2023**: "*relativamente ai traffici marittimi, tenere conto degli usi attuali dello spazio marittimo (rotte delle navi e altri usi del mare)*";

si è chiesto di motivare all'attualità la scelta già adottata nei "*Fondamenti di progetto*" del rispetto del franco libero di navigazione di 65 m dal l.m.m. in una fascia centrale larga 600 m.

Tutto ciò in relazione:

- alla definizione della "*nave di progetto*" nel tempo di vita dell'opera, alla luce del fenomeno del gigantismo navale e dei traffici dello Stretto, con particolare riferimento alle **ULCV** e alle navi da crociera;
- ai fenomeni fisici posti a base delle variazioni del livello del mare, tenuto anche conto degli scenari di innalzamento del livello medio mare nel tempo di vita dell'opera;
- alla gestione operativa del ponte in fase di passaggio di una nave di rilevante altezza (sulla base del monitoraggio "real-time" dello stato deformativo del ponte in relazione alle condizioni di carico derivanti dal traffico stradale e ferroviario, anche tenuto conto delle azioni ambientali).

Con nota del 5 giugno 2026 n. 1361/2026 la SdM ha trasmesso una nota di risposta, con allegati. Si riporta di seguito un ampio stralcio di detta nota.

"I Fondamenti di Progetto, posti a base della gara di appalto a CG, prevedono che in condizioni di carico eccezionali la minima distanza verticale tra l'intradosso dell'impalcato sotteso al canale navigabile ed il livello medio del mare sia non inferiore a 65m. Per comprendere la portata dei Fondamenti di Progetto è utile analizzare singolarmente i carichi ivi previsti e che maggiormente influenzano la distanza in parola:

- *Il traffico stradale è rappresentabile con la presenza di 45 camion, ciascuno da 40 t, posizionati nel punto più sfavorevole.*
- *I treni merci sono anch'essi particolarmente importanti, sia in termini di lunghezza e sia in termini di carico. Il carico assunto per questa verifica, pari 25t per asse, è superiore a quanto ammesso alla circolazione sulla rete ferroviaria italiana; la lunghezza di 400m è comunque un valore considerevole per i treni reali.*

Dai calcoli del Progetto Definitivo, come illustrato nell'allegata presentazione di Stretto di Messina in data 6 marzo 2024 al "Tavolo tecnico per la sicurezza della navigazione nello Stretto di Messina nella fase di realizzazione del collegamento stabile", istituito con Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 320 del 5 dicembre 2023, risulta che la minima distanza verticale tra l'intradosso dell'impalcato, in corrispondenza del canale navigabile, e il livello medio del mare sarà, nella maggior parte delle condizioni ordinarie di esercizio del Ponte, non inferiore a 70m.

Valori inferiori del franco navigabile potranno verificarsi solo in condizioni particolarmente sfavorevoli, con la contemporanea presenza di traffico stradale pesante e treni merci particolarmente lunghi e pesanti. In ogni caso, valori inferiori a 68 metri non saranno mai raggiunti, poiché l'ipotesi di contemporanea presenza di due treni merci pesanti da 400 metri, richiamata nei fondamenti progettuali, ha carattere meramente teorico e non sarà consentita in esercizio. A

tal fine, il traffico ferroviario sarà regolato e gestito, mediante apposito coordinamento tra SdM, RFI e la Capitaneria di porto di Messina, così da evitare interferenze con il transito dei vettori navali di maggior altezza".

"Sul tema della navigazione al di sotto del Ponte sono stati fatti alcuni approfondimenti recenti.

I primi approfondimenti sono dovuti al Tavolo tecnico per la sicurezza della navigazione di cui sopra, istituito al fine di garantire, in vista dell'avvio dei cantieri per la realizzazione del ponte sullo Stretto, la sicurezza e l'efficienza dei servizi e dei trasporti marittimi attraverso l'attività di analisi, valutazione e gestione delle complessità indotte dalle attività costruttive, ivi inclusa la mobilità correlata alla cantierizzazione dell'opera e, più in generale, degli effetti di contesto che la realizzazione della struttura determina sul sistema di navigazione nello Stretto. Il Tavolo ha altresì il compito di curare l'analisi, la valutazione e la gestione delle questioni giuridiche e tecniche legate alla costruzione della infrastruttura in uno Stretto della navigazione internazionale, sia in fase di cantiere che a seguito della realizzazione dell'opera.

Allo scopo, il Tavolo coinvolge tutti i soggetti che intervengono nella regolazione, organizzazione e controllo della navigazione sullo Stretto, chiamati a interfacciarsi con la Società Stretto di Messina e il Comitato Scientifico per la progettazione del Ponte, al fine di proporre le misure, operative e gestionali, necessarie a garantire la continuità in sicurezza dei servizi di collegamento marittimo e dei traffici di attraversamento nelle fasi di realizzazione e nello scenario di messa in esercizio dell'opera.

Esso assicura il coordinamento e la sinergia di competenze essenziali in materia di diritto della navigazione, interno e internazionale, pianificazione dei trasporti, regole di condotta nautica, organizzazione e gestione del traffico marittimo, grazie alla presenza degli attori istituzionali (Segreteria tecnica del Ministro, Struttura tecnica di missione del Ministero, Dipartimenti per la mobilità sostenibile e la programmazione strategica e vigilanza sulle Autorità di Sistema portuale, Comando Generale del Corpo delle Capitanerie di porto, Autorità di sistema portuale dello Stretto, Direzioni marittime di Catania e Reggio Calabria, comandi dei porti di Messina, Milazzo e Gioia Tauro), dei servizi tecnico-nautici di ausilio alla navigazione (Autorità VTS, piloti dello Stretto) nonché di esperti del diritto della navigazione interna ed internazionale e di ingegneria dei trasporti e logistica e di tecnici della Stretto di Messina. In sintesi, sulla base del decreto istitutivo, il Tavolo tecnico ha come obiettivi:

a) *l'analisi dell'impatto dei lavori di realizzazione dell'opera sulla navigazione nello Stretto di Messina nelle diverse fasi di avanzamento;*
b) *l'elaborazione di proposte volte alla definizione di un sistema di programmazione e gestione del traffico che assicuri adeguati livelli di servizio nel rispetto dei requisiti di sicurezza, accessibilità, qualità, sulla base delle esigenze di mobilità e degli obblighi internazionali dello Stato;*
c) *l'elaborazione di proposte e la promozione di iniziative finalizzate allo sviluppo.*

I lavori eseguiti dal Tavolo Tecnico hanno permesso, ad oggi, di arrivare ad alcune conclusioni:

- *Da rilevazioni condotte dalla Capitaneria di Porto di Messina sui transiti navali nello Stretto del 2023 si è visto che i transiti maggiormente impegnativi in termini di altezza fuori acqua (air draught) sono costituiti in primo luogo dalle navi porta container e in secondo luogo dalle navi passeggeri; le altre tipologie di nave hanno rilevanza assolutamente trascurabile. Le rilevazioni dei transiti hanno mostrato che, su un totale di 13076 unità navali transitate, la situazione è riassumibile per come segue.*
  a. *Navi passeggeri:*
     - *11 navi passeggeri avevano altezza fuori acqua compresa tra 60 e 65 metri;*
     - *5 navi passeggeri avevano altezza fuori acqua compresa tra 65 e 68 metri;*
     - *nessuna nave passeggeri aveva altezza fuori acqua superiore 68 metri;*
  b. *Navi porta container:*
     - *navi porta container, con alberi o fumaioli abbattuti o inclinati, avevano altezza fuori acqua tra 60 e 65 metri;*

- *4 navi porta container, con alberi o fumaioli abbattuti o inclinati, avevano altezza fuori acqua tra 65 e 68 metri;*
- *3 navi porta container, con alberi o fumaioli abbattuti o inclinati, avevano altezza fuori acqua tra 68 e 73 metri. Nello specifico le navi in questione avevano altezza fuori acqua pari a 68.14m;*

- *Le principali navi commerciali che attraversano il Mediterraneo transitano dal Canale di Suez, all'interno del quale possono passare le navi che non superano i 68 metri di altezza fuori acqua, in considerazione della presenza di un viadotto di altezza pari a 70 metri.*
- *Nel complesso, è emerso che "la messa in esercizio della struttura non avrà un impatto significativo sui transiti alla luce delle serie storiche rilevate, secondo le quali soltanto un numero limitato di navi raggiungono l'altezza "critica" di 68 metri". È emerso altresì che, "anche in questo caso, il passaggio è gestibile con una accurata organizzazione del traffico" navale e ferroviario.*

Un ulteriore contributo è stato fornito in sede della recente (2024) Conferenza dei Servizi, dove la Capitaneria di porto di Messina - Autorità Marittima dello Stretto ha richiesto dei miglioramenti, a carico di SdM, per lo sviluppo del progetto esecutivo, consistenti in:

- *Sensori per il calcolo altezza del ponte e del Air Draught della nave. È stato chiesto di realizzare e fornire al Centro VTS di Messina apposita sensoristica che permetta di misurare l'altezza del ponte in temo reale e il valore dell'Air Draught della nave da terra con un errore minimo e con una portata sufficiente da poter fermare la nave in tempo utile;*
- *Installazione sensori DGNSS per misure di posizionamento precise. È stata chiesta l'installazione di un sistema Differenziale GNSS, che permetta di correggere il dato di posizionamento proveniente dai sistemi satellitari ed aumentarne la precisione, passando da un errore di decine di metri fino a valori intorno ai centimetri;*
- *Studio della circolazione delle correnti marine e studio riferito all'altezza del moto ondoso quest'ultimo utile a stimare il valore dell'Air Draught della nave (variazione verticale dovuta al moto ondoso);*
- *Analisi del rischio a mezzo simulatori di plancia, al fine di procedere con una valutazione del rischio della navigazione utilizzando dei simulatori, dove verificare gli scenari di attraversamento e determinare la distanza minima dall'opera per eseguire eventuali manovre evasive in caso di imprevisti;*
- *Installazione di aiuti alla navigazione (AtoN) fisici o virtuali finalizzati al miglioramento della precisione della navigazione. I segnalamenti più comuni che si trovano sotto i ponti sono i fanali laterali di limitazione del canale e i segnali per l'individuazione del centro canale.*

Un secondo importante approfondimento è stato condotto direttamente dalla SdM insieme con la compagnia di navigazione MSC. La MSC, dopo aver fatto una ricognizione dei propri investimenti sul porto di Gioia Tauro e sulla propria flotta, è pervenuta alle stesse conclusioni, rimesse alla SAM con nota formale, del Tavolo Tecnico, ovvero che la realizzazione dell'Opera non avrà un impatto significativo e che lo stesso sarà gestibile con un appropriato controllo e coordinamento dei transiti navali e ferroviari.

Non sono stati effettuati studi su eventuali futuri scenari di innalzamento del livello medio mare nel tempo di vita dell'opera, anche in considerazione del fatto che ad oggi si è privi di dati scientifici consolidati su tale fenomeno.

In sede di progettazione esecutiva saranno sviluppati il dettaglio del sistema di monitoraggio e il piano di gestione del traffico (navale, ferroviario e stradale), nel quale sarà prevista una continua interazione e coordinamento tra SdM, RFI e la Capitaneria di porto di Messina, che renderà possibile, in uno con i sistemi di controllo e di monitoraggio, un efficace e sicuro passaggio delle grandi navi, che, nei casi maggiormente significativi, vedrà il passaggio del vettore navale avvenire in finestre temporali di assenza di transito dei treni pesanti".

La documentazione fornita da **SdM** in risposta alla richiesta di chiarimenti n.7 ha messo in evidenza che, sulla base dei dati statistici di questi ultimi anni, sono avvenuti transiti marittimi eccedenti la "finestra di progetto" dei *Fondamenti* (franco libero di 65 m dal l.m.m. per una larghezza di 600 m).

A mero titolo di esempio, nel 2023 lo stretto di Messina è stato interessato da n.77 transiti di navi con altezza sul l.m.m. maggiore di 65 m, di cui 37 con altezza maggiore di 68 m. Considerando i transiti con alberi/ fumaioli abbattuti, i transiti di navi con altezza maggiore di 65 m si riducono a 32, di cui 16 con altezza maggiore di 68 m. I transiti di navi passeggeri con altezza maggiore di 65 m, ma sempre inferiore a 68 m, sono stati 79.

Questo oggettivo dato statistico conduce, sotto un profilo concettuale, a due distinti protocolli di gestione del traffico marittimo, che dovranno essere attentamente e preventivamente valutati dalla **SdM** e, ovviamente, dal "*Tavolo tecnico per la sicurezza della navigazione nello Stretto di Messina nella fase di realizzazione del collegamento stabile*", istituito con Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 320 del 5 dicembre 2023:

- gestione "statica": consentire il transito di navi con sagoma limite solo all'interno della "finestra di progetto" dei *Fondamenti*, opportunamente ridefinita con riferimento agli effettivi valori del livello del mare nello stretto, attuali e previsionali (e, pertanto, non riferita al l.m.m.);
- gestione "dinamica": consentire il transito di navi con sagoma limite eccedente la "finestra" mediante un adeguato sistema di monitoraggio del ponte con associato piano di gestione operativa in tempo reale del traffico marittimo, ferroviario e stradale e **sempre associata ad opportuno modello completo previsionale *"real time"* del livello del mare nello stretto. In tal caso, dovranno essere responsabilmente e preventivamente contemplati scenari di rischio coerenti con il modello di esercizio assunto**. Del resto, ciò è in coerenza con quanto già osservato dal **PMC**. Vedasi, ad esempio, le "prescrizioni" n. 180 e n. 182 all'interno delle "*Raccomandazioni per l'elaborazione del progetto esecutivo*" (pag. 74), relative al "*girder collision assessment*" (valutazione del rischio di collisione nave – impalcato). L'analisi di rischio dovrà contemplare anche la valutazione dell'evento "collisione nave-nave" in caso di due navi con versi di percorrenza opposti (**Fase A**).

Con riferimento a tutti e due gli approcci suindicati relativi alla gestione dei transiti si raccomanda di eseguire comunque una attenta ***analisi critica*** delle combinazioni di carico (e della relativa deformata dell'impalcato) che tenga conto della possibile concomitanza di condizioni estreme dei fattori ambientali e di carico.

In particolare, nella **Fase A** dovrà essere verificato il franco libero di navigazione assumendo la configurazione deformata dell'intera **Opera**, quale risultante dalle combinazioni di carico derivanti dalla applicazione delle **NTC 2018** (anche alla luce delle prescrizioni di cui al paragrafo *6.6. Azioni della temperatura*). Ciò eseguendo una analisi della probabilità congiunta delle selezionate combinazioni di carico, al fine di determinare la correlata massima deformata dell'impalcato (con relativa probabilità di superamento dell'evento producente la massima deformata).

La verifica dovrà essere condotta rispetto al livello marino di progetto, comprensivo delle componenti astronomiche, meteorologiche, di sovralzo di tempesta e dell'evoluzione attesa del livello del mare nel tempo di vita dell'**Opera**, come specificato al seguente punto 1. (**Fase A**)

Ciò preliminarmente considerato, si forniscono alcuni indirizzi per disciplinare i contenuti tecnici dei protocolli di gestione del traffico marittimo.

8.6.1. Determinazione del livello del mare di riferimento

Qualsivoglia scenario di gestione non può riferirsi al livello medio mare ma, piuttosto, deve necessariamente tener conto:

- della marea astronomica;
- della marea metereologica ("inversa barometrica");
- del sovralzo di tempesta;

- dell'innalzamento del livello del mare nel tempo di vita dell'opera (eustatismo). L'affermazione della **SdM** "*Non sono stati effettuati studi su eventuali futuri scenari di innalzamento del livello medio mare nel tempo di vita dell'opera, anche in considerazione del fatto che ad oggi si è privi di dati scientifici consolidati su tale fenomeno*" non si ritiene condivisibile. In realtà, si tratta di un fenomeno fisico in atto. Si dispone di dati scientifici ben consolidati a livello mondiale derivanti da misure effettuate e da ragionevoli previsioni di innalzamento nel prossimo futuro, in funzione di distinti scenari di mitigazione delle emissioni di gas serra. Accreditati documenti di riferimento a livello internazionale sono, tra l'altro:
    - "Climate Change 2021. The Physical Science Basis" di **IPCC** (a cui aderiscono 195 Paesi);
    - "Global and European sea level rise" del 26 novembre 2025 della European Environment Agency.

Alla luce delle considerazioni qualitative sopra riportate, appare necessario condurre uno studio meteomarino volto a quantificare i fenomeni di sovralzo del livello del mare (marea astronomica e metereologica, sovralzo di tempesta, eustatismo) opportunamente valutati da un punto di vista statistico, probabilistico e previsionale (**Fase A**)

Ai fini della corretta definizione del livello medio mare e quindi delle quote di progetto delle opere sul l.m.m. si raccomanda che vengano installate n. 2 stazioni mareografiche di misura dei livelli in prossimità delle torri lato Calabria (Cannitello) e lato Sicilia (Ganzirri). Le stazioni opportunamente progettate e protette potranno quindi fornire l'esatto valore del chart datum locale puntuale. I relativi valori andranno poi sistematicamente correlati alle altre due fondamentali stazioni di misura dei livelli di riferimento, le stazioni mareografiche **RMN** di **ISPRA** nei porti di Messina e di Reggio Calabria, al fine di addivenire all'esatta quota dello zero (l.m.m.) di riferimento per le opere, inserendo i correttivi rispetto alle quote I.G.M. o altro sistema di riferimento utilizzate nel Progetto (**Fase A**).

8.6.2. Sagoma limite delle "navi di progetto"

Si tratta, come già detto, di un aspetto correttamente messo in luce dal **PMC** in sede di "*Raccomandazioni per l'elaborazione del progetto esecutivo*".

Il gigantismo navale è una tendenza ormai consolidata e, di fatto, ancora in atto, in particolare nella progettazione navale di navi portacontainer e delle navi da crociera. La preventiva stima dei futuri "trend" di sviluppo del gigantismo navale nel tempo di vita dell'opera costituisce una necessità, in quanto sono ben evidenti i riverberi sulle potenziali ulteriori limitazioni dei traffici marittimi in futuro.

Si prescrive, pertanto, l'aggiornamento dello studio delle "navi di progetto", quantificando l'evoluzione dimensionale dei vettori marittimi (per ogni tipologia di vettore marittimo di interesse, porta contenitori e crociere, in termini di LOA, Air Draft, Draft, Beam) che possono/ potranno attraversare lo stretto in assenza del Ponte, anche tenendo conto degli altri vincoli imposti sulle rotte in sezioni diverse (ad esempio canale di Suez), al fine di verificare i requisiti funzionali del ponte in termini di domanda di franco libero (**Fase A**).

Andrà quindi condotto un aggiornamento dello Studio del traffico marittimo dello Stretto di Messina comprensivo e non solo di rotte (O/D) e relative tipologia e consistenza degli associati vettori marittimi attuali e futuri; distribuzione temporale delle numerosità e frequenze (annuali e stagionali); ad ognuna delle tipologie di vettore marittimo andranno associati i volumi di traffico nello stretto in termini di rotte, di numero di passaggi e di volumi trasportati per le diverse sub categorie dimensionali (ad esempio, per le porta container: cumulato delle Feeder, Federmax, Post e New Panamax versus **ULCV**). Tale studio quantitativo andrà condotto anche in collaborazione con le Autorità di Sistema Portuale e le Autorità Marittime interessate, nonché le Autorità Internazionali di controllo del traffico marittimo (**Fase A**).

Lo studio sulla navigabilità dello stretto andrà esteso successivamente al fine di quantificare le effettive mutue interferenze del traffico dello Stretto con i traffici dei vettori marittimi asserviti all'intera fase di realizzazione in termini di rotte/ viaggi (comprensivi di O/D), verificando attentamente la procedibilità delle ipotesi fatte sulla logistica delle forniture di cantiere (disponibilità aree portuali, rotte, …) e dei processi di costruzione (**Fase B**).

8.6.3. Distanza minima tra l'intradosso dell'impalcato e altezza massima della nave in transito

Occorre tener conto di un ulteriore fondamentale aspetto relativo ai protocolli di gestione del traffico marittimo: **la preventiva consapevole assunzione della distanza minima ammissibile tra l'intradosso dell'impalcato e l'altezza massima della nave in transito, che dovrà essere sempre assicurata in fase di transito, a prescindere dal protocollo di gestione adottato**. Ciò sulla base di protocolli di gestione già adottati nel mondo in casi similari (**Fase A**).

8.6.4. Delimitazione del canale navigabile

Si richiede, qualora non sia stato già previsto, che venga progettata, in fase di PE, una delimitazione del canale navigabile (destra, sinistra e asse) con una segnalazione luminosa continua opportunamente disposta lungo una sufficiente lunghezza del canale navigabile, rispettivamente a Nord ed a Sud dell'impalcato del Ponte.
In condizioni meteomarine particolarmente avverse (vento, onde e corrente) dovrà essere eventualmente prevista la disponibilità di idonei mezzi di rimorchio.
Tanto si segnala in linea tecnica, fatte salve le specifiche disposizioni che la competente Autorità Marittima vorrà impartire a tal riguardo (**Fase B**).

9. PONTE SULLO STRETTO: MONITORAGGIO E MANUTENZIONE

9.1. Modalità ispettive e monitoraggio

Nel presente paragrafo sono riportate le considerazioni sulla modalità di progettazione e di realizzazione dei sistemi di monitoraggio, con riferimento, alle tecnologie da impiegare, al posizionamento della strumentazione ed alle modalità di elaborazione dei dati. Il tema trattato è riportato nel § 3.5.2.2 della **RP**, relativo ai principi di progettazione utilizzati ed alle tecnologie disponibili per lo sviluppo dei sistemi di monitoraggio, oltre che nel documento PI0038_FO_ITA "*Relazione di Progetto - Sistema di Monitoraggio Strutturale (SHMS)*" che riporta le proposte architetturali e tecnologiche per i sistemi di monitoraggio al momento di emissione del **PD**.

Il **CG** indica la sua volontà di sviluppare, in fase di **PE**, la progettazione del sistema di monitoraggio facendo proprie le più recenti tecnologie disponibili. Elenca inoltre le tecnologie più promettenti, al momento della stesura della Relazione, aggiuntive rispetto a quelle riportate nel **PD**. Elenca inoltre alcune delle metodologie di analisi dei dati che si sono rese disponibili per l'interpretazione delle misure dinamiche.

Il tema menzionato, relativo alla concezione e progettazione dei sistemi di monitoraggio, è stato oggetto di Raccomandazioni nel parere del **CS 2023**, riportate nella Tabella 9-1.

53	*Per quanto concerne i sistemi di monitoraggio dei dati di ventosità del sito, aggiornare il set up attraverso l'installazione di stazioni permanenti tipo LIDAR o LIDAR scanner adatte a monitorare il campo di velocità in tutta la zona di costruzione del Ponte;*
54	*Prevedere un sistema di early-warning legato alle informazioni in tempo reale fornite dalle stazioni di misura dei dati meteorologici e di ventosità per l'eventuale interruzione dell'esercizio stradale e/o ferroviario;*
55	*Definire in modo preciso il tipo e le dimensioni delle fessure da fatica in cui i sensori acustici, previsti per il monitoraggio della fessurazione a fatica, possono essere utilizzati, specificando la posizione, la frequenza e il metodo di acquisizione dati;*
56	*Determinare, motivandola, la scelta degli elementi strutturali ai quali si intende applicare la tecnologia DIC (Digital Image Correlation);*
57	*Considerare, tra le tecnologie adatte ad un monitoraggio continuo del volume e delle caratteristiche del traffico stradale e ferroviario, i sistemi di pesatura dinamica Weigh-in-motion (Bridge-WIM e WIM), i cui dati possono essere integrati con i sistemi di Digital Twin e monitoraggio continuo previsti dal progettista;*
58	*Tenere conto, per il monitoraggio geotecnico, della rapida evoluzione tecnologica della sensoristica, con particolare riferimento alla possibilità di ricorrere a misure eseguite con continuità spaziale (e.g. uso di fibre ottiche);*
59	*Ripristinare, ove possibile, la strumentazione di monitoraggio geotecnico già messa in opera in fase di PD;*
60	*Prevedere un efficiente monitoraggio dei buffer e del sistema di vincolo dell'impalcato alle torri in modo da attivare tempestivamente le contromisure necessarie ad evitare conseguenze gravi per la struttura;*
61	*Tener conto della possibilità, a opera finita, di disporre di tecnologie innovative per il monitoraggio sia ambientale, sia strutturale, non ancora pienamente mature ad oggi e quindi non adottabili nella progettazione attuale.*

Tabella 9-1. Raccomandazioni riportate in **CS 2023**

Inoltre, nel parere espresso dal **CS 2011**, a pag. 26, era espressa la necessità di disporre di "*distinti sistemi di monitoraggio con diverse finalità e quantità da misurare per le fasi di costruzione, collaudo e mesa in servizio dell'Opera di attraversamento*".

Nel documento CRF **PMC** (pag. 115) è analizzato il tema della ridondanza del sistema di monitoraggio con la seguente richiesta: "*Proporre un piano di test per verificare tutti i sensori utilizzati per monitorare le condizioni all'interno del cavo principale. Inoltre, fornire un piano di test per le procedure di installazione. (id 15713)*" cui è stato risposto dal **CG** che "*durante il Progetto Esecutivo si dovranno sviluppare piani per l'effettuazione di test, in accordo con i fornitori.*"

Le prescrizioni/osservazioni riportate nei precedenti pareri del **CSLP** e documenti sono da ritenersi attuali e rilevanti.

A seguito di una richiesta di chiarimenti inviata al progettista su temi legati al monitoraggio strutturale e geotecnico, questi ha fornito le seguenti informazioni:

- l'approccio metodologico adottato per la progettazione del **SHM**, sviluppato a livello di **PD** e da approfondire nel **PE**, sarà articolato in aspetti chiave quali la definizione dei requisiti dei sensori, le soglie di allarme, l'elaborazione dei dati, la diagnosi degli eventi e la gestione dei falsi allarmi, con l'obiettivo di integrare il sistema nelle strategie di operazione e manutenzione dell'infrastruttura;
- in merito al monitoraggio geotecnico durante gli scavi all'interno delle paratie, in particolare sul posizionamento dei piezometri e sull'utilizzo dei sensori di pressione del terreno, il progettista ha indicato che sarà implementato un sistema dedicato con piezometri installati a diverse profondità sia all'interno che all'esterno del perimetro di scavo, integrato da celle di pressione di terra posizionate localmente, al fine di controllare continuamente le condizioni della falda, le spinte sul sistema di ritenuta e la sicurezza degli scavi, in conformità con il metodo osservazionale adottato per il **PE**;
- alla richiesta di chiarire se l'analisi dei carichi dell'impalcato sia stata condotta anche in ottica di uso duale civile-militare, il progettista ha risposto affermativamente, precisando che i modelli di carico adottati secondo la norma EN 1991-2 sono riconducibili alle classi MLC degli standard NATO e che le caratteristiche della linea ferroviaria (categoria D4, carichi assiali fino a 25 t/asse) sono compatibili con il transito di mezzi militari pesanti, rendendo l'opera pienamente conforme al concetto europeo di infrastruttura "dual use" definito dall'**EU** Action Plan on Military Mobility.

Alla luce di tali osservazioni, l'**Assemblea** è del parere che la concezione e la progettazione dei sistemi di monitoraggio devono partire da una chiara individuazione delle finalità del monitoraggio stesso in modo tale da portare alla ragionevole selezione delle più opportune quantità da misurare e delle migliori tecnologie disponibili per la realizzazione delle misure.

Il progetto dei sistemi di monitoraggio deve partire quindi dalla definizione di una tassonomia delle plausibili anomalie (dei parametri principali della risposta strutturale anche nelle fasi di costruzione) che possono interessare l'intera struttura oppure uno dei suoi componenti. Dall'individuazione di tali scenari discende la definizione di opportuni indicatori per la loro caratterizzazione. Tale impostazione consente di evitare che il sistema di monitoraggio sia progettato solo per acquisire dati, orientandolo invece alla diagnosi precoce di condizioni potenzialmente critiche.

Considerando che le tecnologie relative ai sensori, ai sistemi di acquisizione e di trasmissione dei dati sono soggette a una evoluzione continua e particolarmente accelerata, non si ritiene opportuno formulare prescrizioni o indicazioni di dettaglio, se non quella di raccomandare una revisione dell'architettura di sistema e della strumentazione prevista fino alla fase di installazione dell'impianto, al fine di poter adottare le soluzioni tecnologiche più avanzate disponibili al momento della realizzazione.

In tale contesto, è indispensabile che i sistemi di monitoraggio siano progettati secondo il paradigma delle piattaforme aperte ed espandibili, tali da garantire la capacità di adeguamento all'evoluzione tecnologica senza necessitare di interventi strutturali o di sostituzione integrale dei componenti. A tal fine, si rende necessaria l'adozione di architetture di tipo modulare, standard tecnici interoperabili e protocolli di comunicazione flessibili, che consentano l'integrazione progressiva di nuovi sensori, algoritmi di analisi avanzata e strumenti digitali innovativi, assicurando al contempo la continuità operativa del sistema e la valorizzazione degli investimenti effettuati nel lungo periodo.

Pertanto, **si prescrive** che siano chiaramente indicate, in fase di **PE**, le modalità di concezione del sistema di monitoraggio. In particolare, per ciascun sottosistema di cui è composto il sistema di monitoraggio, è necessario che siano individuati i seguenti aspetti:

- gli scenari anomali attesi;
- i relativi indicatori misurabili;
- le modalità per la loro computazione a partire dai dati misurati;
- la sensibilità richiesta al sistema di monitoraggio al fine di consentire la computazione degli indicatori;
- il tempo massimo di rilevazione;
- le azioni conseguenti al rilevamento delle anomalie.

Inoltre, è necessario che siano chiariti i criteri di affidabilità delle diagnosi, con particolare riferimento alla riduzione dei falsi allarmi e alla minimizzazione del rischio di mancata rilevazione.

Infine, è necessario che siano indicate le caratteristiche di ridondanza del sistema al fine di garantire il controllo richiesto in progetto anche nel caso di esclusione di alcuni strumenti. A titolo di esempio, nel caso di danneggiamento o perdita dei sensori di deformazione all'interno del cavo devono essere presenti sensori anche esterni che possano continuare a fornire la risposta deformativa del cavo. Pertanto, deve essere chiara la relazione tra i due tipi di misura sia mediante analisi numeriche sia mediante una prima fase di calibrazione del sistema.

Relativamente al monitoraggio geotecnico, già previsto per le paratie multi-tirantate a sostegno degli scavi delle fondazioni, si prescrive che questo venga integrato con la misurazione degli spostamenti delle paratie e delle forze negli ancoraggi, definendo soglie di attenzione e di allarme sui carichi piezometrici, sugli spostamenti e sulle relative velocità, per consentire un intervento tempestivo in caso di comportamenti anomali rispetto alle previsioni di calcolo.

Il monitoraggio geotecnico dovrà essere esteso anche nell'area esterna alle fondazioni delle torri e dei blocchi di ancoraggio che, per la notevole estensione delle impronte di fondazione massive profonde, potrebbero indurre risentimenti su manufatti preesistenti o sulle opere in sotterraneo di nuova realizzazione funzionali all'opera di attraversamento. Dovrà essere presa in considerazione una estensione lungo il contorno dell'ordine di circa una/due volte la dimensione della fondazione in pianta. **Si raccomanda inoltre di rilevare la distribuzione dei cedimenti lungo una maglia di caposaldi in superficie e lungo alcune verticali più significative.** Dovranno essere altresì rilevate le modifiche dei livelli di falda indotte dall'esecuzione degli scavi per il raggiungimento delle quote di imposta delle fondazioni.

Si raccomanda di installare un sistema di monitoraggio degli spostamenti verticali e orizzontali delle fondazioni delle torri e dei blocchi di ancoraggio, attivo sia durante le fasi costruttive che a lungo termine, al fine di rilevare tempestivamente eventuali deviazioni rispetto ai valori di calcolo, nonché gli effetti differiti della compressione secondaria del terreno e dell'accumulo di spostamenti indotto dalle sollecitazioni cicliche del vento. Con riferimento al comportamento sismico, si suggerisce inoltre di valutare l'integrazione di un sistema di monitoraggio della propagazione delle sollecitazioni sismiche nelle fondazioni, per caratterizzare la risposta complessiva del sistema terreno-fondazioni/blocchi-impalcato.

9.2. Monitoraggio per l'azione del vento

La quantificazione dell'azione del vento, in termini di velocità con assegnati periodi di ritorno e di caratterizzazione della turbolenza attesa, si basa principalmente sull'analisi statistica di dati da stazioni anemometriche. Per definire correttamente l'andamento dei profili di velocità media e di turbolenza con l'altezza, è opportuno disporre di misurazioni con più sensori installati sulla stessa verticale oppure di sistemi di misura che permettano scansioni in altezza. Nella gestione attuale e futura dell'opera di attraversamento, occorre procedere ad un aggiornamento del set-up attuale, anche per cogliere eventuali modifiche nelle statistiche attese in forza anche dei cambiamenti climatici possibili.

Il tema è stato trattato nella **RP** a pagina 197 (pag. 423 della relazione), riportato nel seguito:

"3.5.2.2.4 Installazione di stazioni permanenti tipo "LiDAR"
In accordo alle osservazioni del Comitato Scientifico della Società Stretto di Messina s.p.a., Gruppo Istruttorio n.2, espresse verbalmente nella riunione del 2 novembre 2023 e in forma scritta nel verbale di riunione trasmesso a mezzo posta elettronica il successivo 9 novembre, il Progetto Esecutivo prevederà la realizzazione di due stazioni permanenti tipo LiDAR (Light Detection and Ranging), una su ciascuna sponda dello Stretto, in modo da potenziare il monitoraggio meteo-climatico, con particolare riguardo a fenomeni atmosferici quali burrasche, wind shear, raffiche, turbolenze e vortici. Il sistema potrà essere collegato con il Traffic Management System (TMS) in modo da fornire in tempo reale le informazioni necessarie a una gestione sicura del traffico stradale e ferroviario.

Il sistema LiDAR è in grado di effettuare misurazioni tridimensionali ad ampio raggio estremamente precise: il funzionamento si basa sull'emissione di impulsi laser e successiva rilevazione della luce riflessa per determinare, con la massima accuratezza e in 3D, i valori relativi alle velocità radiali del vento.
Il sistema ha applicazioni importanti anche nel campo del monitoraggio della qualità dell'aria, in quanto permette di misurare i coefficienti di retrodiffusione degli aerosol nell'atmosfera, cioè i parametri ottici influenzati dalle proprietà delle particelle, come la densità e le dimensioni."

In Tabella 9-2 si riporta un estratto delle Raccomandazioni formulate dal **CS 2023**, ed inerenti ai temi evidenziati.

#	*Raccomandazione* ***CS 2023***
53	*"per quanto concerne i sistemi di monitoraggio dei dati di ventosità del sito, aggiornare il set up attraverso l'installazione di stazioni permanenti tipo LIDAR O LIDAR scanner adatte a monitorare il campo di velocità in tutta la zona di costruzione del Ponte"*
54	*"prevedere un sistema di early-warning legato alle informazioni in tempo reale fornite dalle stazioni di misura dei dati meteorologici e di ventosità per l'eventuale interruzione dell'esercizio stradale e/o ferroviario"*

Tabella 9-2.- Raccomandazioni del **CS 2023**

Più in dettaglio, nella relazione del **CS 2023** si riportava che:
"Aggiornare il set up per la misurazione della ventosità del sito attraverso l'installazione di stazioni permanenti tipo LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) o LIDAR scanner adatte a monitorare il campo di velocità in tutta la zona di costruzione del Ponte. Si ritiene che tale monitoraggio possa essere utile sin dalla fase di sviluppo del PE, per consentire una integrazione del documento di valutazione del vento di progetto realizzato per il PD 2011 con nuovi dati di vento valutati anche alla luce della possibile presenza di fenomeni atmosferici anomali (venti non sinottici). Il mantenimento di tale sistema di monitoraggio durante e dopo la realizzazione dell'Opera di Attraversamento consentirà quindi un continuo aggiornamento del database relativo alla ventosità del sito, di monitorare le eventuali variazioni del campo di velocità locale e di favorire l'identificazione di fenomeni atmosferici anomali. Tali misurazioni in continuo saranno inoltre indispensabili per l'identificazione di condizioni meteo eccezionali (non necessariamente anomale) tali da determinare, attraverso un sistema di early-warning, l'interruzione di esercizio stradale e/o ferroviario. In particolare, si raccomanda di predisporre stazioni LIDAR mobili per la ricostruzione del profilo in prossimità delle torri e almeno una stazione tipo LIDAR scanner per la ricostruzione dei dati di ventosità/turbolenza in campata. Si ritiene che la predisposizione del sistema di monitoraggio debba essere realizzata con l'ausilio di esperti della tecnologia indicata e dell'analisi dei dati di vento."

Nel complesso, le due richieste sono state accettate dal **CG**, che infatti nella risposta al **CS** riporta:
"L'installazione di stazioni LIDAR è già previsto nella revisione finale della Relazione del Progettista. Circa il numero e la posizione, verrà fatta un'opportuna analisi in sede di PE. Per tale ragione si ritiene necessario specificare che i dati che verranno acquisiti difficilmente potranno integrare la documentazione di PE, per incompatibilità con il cronoprogramma di progetto.

Il sistema di early warning, già previsto, vedrà l'integrazione delle stazioni LIDAR."

È da osservare che il **CS 2023**, a valle della risposta del **CG**, puntualizza che:
"Il CS ritiene che sia opportuno installare le stazioni LIDAR quanto prima, sia per la registrazione di eventuali fenomeni tipo downburst sia per una più dettagliata caratterizzazione del vento in loco. Il CS ritiene altresì che, indipendentemente da tale installazione, il documento di base del vento di progetto debba essere aggiornato. Si ribadisce che i dati acquisibili con l'utilizzazione delle stazioni LIDAR sono, ad oggi, i più completi e dettagliati."

A seguito dell'analisi del tema, l'**Assemblea** ritiene che l'installazione di stazioni di misura che consentano un monitoraggio il più completo possibile del vento nel sito dell'opera sia essenziale, non procrastinabile alla fase di **PE** e che pertanto debba essere prevista in tempi brevi. Sebbene potrebbe non essere possibile intercettare attraverso le misurazioni eventi con caratteristiche fortemente "locali", caratterizzate da scale spaziali molto piccole (come, ad esempio, nel caso di downburst o tornado), l'analisi dei dati permetterà di cogliere eventuali evoluzioni nel campo di velocità che non rientrano all'interno delle statistiche utilizzate, anche a causa delle modifiche indotte dai cambiamenti climatici.

La richiesta deriva anche dall'assenza dei dati che venivano acquisiti dagli anemometri installati sulla Torre Faro di Capo Peloro, che risulta inattiva dal 2013. Risulta fondamentale anche prevedere il ripristino di tale stazione anemometrica, con la registrazione delle caratteristiche del vento in punti di misura alle stesse altezze dove sono disponibili le serie storiche.

9.3. Gestione informativa digitale, gemello digitale e integrazione con SHM

Nel seguito viene esaminato il tema della gestione informativa digitale dell'opera, con riferimento ai modelli informativi, alla configurazione del gemello digitale (Digital Twin) e alla loro integrazione con il sistema di monitoraggio strutturale (**SHM**) e con i processi di gestione e manutenzione.

Nei §§ 3.5.2.1, 3.5.2.2 e 3.5.2.2.1 della **RP** il tema è trattato nell'ambito degli adeguamenti connessi all'evoluzione tecnologica. L'impostazione appare condivisibile, ma richiede di essere precisata affinché gestione informativa digitale, gemello digitale, **SHM** e sistemi di Asset Management non siano intesi come strumenti autonomi, bensì come componenti coordinate di un sistema unitario di conoscenza, controllo e gestione dell'opera lungo il suo ciclo di vita.

In particolare, la Gestione Informativa Digitale non dovrebbe essere limitata alla sola funzione di coordinamento del **PE**, ma dovrà supportare anche la costruzione, il collaudo, l'esercizio e la manutenzione dell'infrastruttura. I modelli informativi aggiornati e corrispondenti a quanto realizzato dovranno costituire la base informativa dell'opera, secondo una struttura gerarchica coerente, con identificativi univoci e persistenti degli asset e dei componenti, corretta georeferenziazione e associazione tra oggetti, documenti, dati manutentivi e sensori. In sede di **PE** dovranno essere definiti distintamente i requisiti informativi delle fasi di progettazione e costruzione e quelli necessari alla fase di esercizio e gestione, formalizzandoli nei documenti della gestione informativa.

Il Digital Twin dovrà essere alimentato quindi dai dati provenienti dal sistema **SHM** supportando quindi le fasi di acquisizione, gestione, elaborazione e interpretazione dei dati misurati.

Il gemello digitale dovrà essere configurato a partire dagli obiettivi decisionali, gestionali e manutentivi dell'opera, individuando il tipo di rappresentazione virtuale dell'opera ed il tipo di rappresentazione del comportamento dell'opera (nel caso modelli informativi o numerici), i dati di monitoraggio, ispezione, esercizio e manutenzione che lo alimentano, nonché le regole di aggiornamento, validazione e utilizzo. La rappresentazione digitale dovrà essere modulare e scalabile: il livello di dettaglio geometrico potrà essere graduato in funzione degli usi, purché siano preservati il contenuto informativo, la struttura semantica e gerarchica, le relazioni tra le parti dell'opera e la posizione dei sensori.

Per quanto sopra, l'**Assemblea** ritiene che, in sede di **PE**, debba essere definita l'architettura complessiva della gestione informativa digitale, del sistema **SHM** e del gemello digitale, nonché le modalità di integrazione con il Piano di Manutenzione e con i sistemi di Asset Management, secondo criteri di modularità, scalabilità, interoperabilità, sicurezza e continuità informativa.

Pertanto, l'**Assemblea** è del parere che sia necessario:

- Definire e formalizzare i requisiti informativi relativi alle fasi di progettazione esecutiva, costruzione, collaudo, esercizio e manutenzione, specificando modalità, tempi e responsabilità per la produzione, verifica, approvazione, consegna, aggiornamento e conservazione dei contenuti informativi;
- Definire la strategia di virtualizzazione dell'opera, in particolare il ruolo dei modelli informativi e di quelli numerici;
- Verificare durante l'esecuzione e in sede di collaudo la corrispondenza tra opera realizzata, modelli informativi aggiornati, dati alfanumerici dei componenti, identificativi univoci, configurazione e localizzazione dei sensori, documentazione tecnica, Piano di Manutenzione e flussi destinati al gemello digitale;
- Predisporre un piano di evoluzione, aggiornamento e migrazione tecnologica da attuare durante la costruzione e prima della messa in esercizio, per aggiornare le tecnologie digitali allo stato dell'arte che sarà disponibile in quel momento, assicurando tracciabilità delle modifiche, compatibilità con i requisiti originari e conservazione nel tempo del patrimonio informativo.
- Definire gli obiettivi, gli usi e le prestazioni del gemello digitale, le fonti informative che lo alimentano, le regole di sincronizzazione e validazione dei dati, gli utenti autorizzati, gli indicatori prestazionali e le soglie utilizzate a supporto delle decisioni di esercizio e manutenzione;
- Garantire interoperabilità e neutralità tecnologica mediante formati aperti, strutture dati standardizzate e interfacce documentate, prevedendo procedure di migrazione e una strategia di uscita dalle piattaforme adottate senza perdita di informazioni;
- Definire ruoli, responsabilità e competenze per il governo dei processi informativi, dello SHM e del gemello digitale, nonché requisiti di sicurezza informatica, disponibilità, integrità, riservatezza, tracciabilità, conservazione e continuità operativa.

9.4. Piano di Manutenzione

Nel presente paragrafo sono riportate le considerazioni sulla modalità di sviluppo del piano di manutenzione e sulla verifica sistematica delle condizioni di ispezionabilità, accessibilità, manutenibilità e sostituibilità di tutti i componenti strutturali, impiantistici e infrastrutturali rilevanti ai fini della sicurezza, della funzionalità e della durabilità dell'opera.

Il tema trattato è riportato nel § 3.5.2.2 della **RP**, relativo ai principi di progettazione utilizzati ed alle tecnologie disponibili per lo sviluppo dei sistemi di monitoraggio, oltre che nel documento **CS 2011** a pagina 82.

Il **CG** indica la sua volontà di dotarsi di un **BMS** e di un **MACS** fornendo indicazioni sulla tipologia di tecnologia informatica posta alla base dello sviluppo di tali sistemi. Si sofferma inoltre sulle modalità di rappresentazione delle informazioni sui singoli elementi.

Ai fini di una corretta ed efficace gestione della manutenzione, riveste carattere di assoluta priorità garantire l'accessibilità e l'ispezionabilità di tutti i componenti del sistema. La possibilità di accedere agevolmente agli elementi costitutivi dell'impianto — siano essi sensori, unità di acquisizione, dispositivi di trasmissione o componenti strutturali — consente di effettuare le verifiche periodiche, le operazioni di taratura e le eventuali sostituzioni nei tempi e nei modi previsti dal piano di manutenzione, riducendo al minimo i tempi di fermo e i costi di intervento. Un sistema progettato senza adeguata considerazione di tali requisiti è destinato, nel corso della propria vita utile, a subire ritardi negli interventi manutentivi, con conseguente degrado progressivo delle prestazioni e potenziale

compromissione dell'affidabilità complessiva. È pertanto necessario che, già in fase di progettazione, vengano individuate e definite con precisione le modalità di accesso a ciascun componente critico, prevedendo ove opportuno, appositi vani tecnici, percorsi dedicati, sportelli di ispezione o qualsivoglia soluzione tecnica idonea a garantire interventi rapidi, sicuri e privi di interferenze con la normale operatività del sistema.

Per quanto riguarda le modalità di esecuzione delle operazioni di manutenzione, è necessaria nell'ambito del **PE** una verifica sistematica delle condizioni di ispezionabilità, accessibilità, manutenibilità e sostituibilità di tutti i componenti strutturali, impiantistici e infrastrutturali rilevanti ai fini della sicurezza, della funzionalità e della durabilità dell'opera. Tale verifica deve interessare non soltanto gli elementi principali — quali cavi, pendini, impalcato, torri, ancoraggi, appoggi, giunti, dispositivi di smorzamento e armamento ferroviario — ma anche tutti i componenti secondari e ausiliari che possano influenzare le prestazioni dell'opera, le attività ispettive o gli interventi manutentivi nel corso della vita utile della stessa. La valutazione dovrà essere estesa anche tutti gli impianti ed elementi accessori (e.g. sistema di monitoraggio, di condizionamento, etc.) al fine di garantirne l'effettiva accessibilità, manutenibilità e sostituibilità nel tempo.

Il sistema di monitoraggio dovrà essere considerato complementare, e non sostitutivo, rispetto alle attività ispettive dirette. Per ciascun componente dovranno essere individuate le modalità di accesso, i vincoli di sicurezza, le finestre operative, le attrezzature necessarie, le procedure di sostituzione e le eventuali interferenze con l'esercizio stradale e ferroviario.

È altresì necessario indicare le esatte modalità con cui il sistema di monitoraggio e il Digital Twin saranno collegati al Piano di Manutenzione dell'opera e, pertanto, individuare per ciascun componente critico gli indicatori di condizione, le soglie di attenzione/intervento, le frequenze ispettive, le modalità di verifica, i criteri di sostituzione e le conseguenze sull'esercizio.

A seguito di una richiesta di chiarimenti inviata al progettista su temi legati al monitoraggio strutturale e geotecnico, questi ha fornito le seguenti informazioni:

- alla richiesta di chiarire se sarà effettuata in sede di **PE** una verifica sistematica di ispezionabilità, accessibilità, manutenibilità e sostituibilità di tutti i componenti rilevanti dell'opera, il progettista ha risposto affermativamente, precisando che tale verifica sarà condotta attraverso il Manuale di Ispezione e Manutenzione — integrato con **WBS**, **BMS** e **BIM** — e che parallelamente saranno sviluppate soluzioni di accesso dedicate per l'impalcato e le torri, mentre per lo **SHM** il fornitore dovrà consegnare l'analisi **FMECA** corredata dalla relativa strategia di ispezione, riparazione e sostituzione dei componenti;
- alla richiesta di chiarire se il sistema di monitoraggio e il Digital Twin siano esplicitamente collegati al Piano di Manutenzione, il progettista ha risposto che il sistema CSP (Central Processing and Storage) integrerà cinque funzionalità interconnesse — gestione degli eventi, valutazione delle prestazioni del ponte, simulazione del traffico, simulazione strutturale su modello **FEM** aggiornato con i dati as-built, e simulazione climatico-meteorologica — che nel loro insieme forniranno la base informativa necessaria per supportare le decisioni di manutenzione e gestione dell'opera.

Pertanto, l'**Assemblea** ritiene necessario che tali aspetti siano ulteriormente sviluppati nelle successive fasi progettuali e formula le ulteriori raccomandazioni e prescrizioni di Tabella 9-3.

1	Prescrizione - **Fase B**	Realizzare, nell'ambito del **PE**, una verifica sistematica delle condizioni di ispezionabilità, accessibilità, manutenibilità e sostituibilità di tutti i componenti strutturali, impiantistici e infrastrutturali rilevanti ai fini della sicurezza, della funzionalità e della durabilità dell'opera. Tale verifica dovrà interessare non soltanto gli elementi principali — quali cavi, pendini, impalcato, torri, ancoraggi, appoggi, giunti, dispositivi di smorzamento e armamento ferroviario — ma anche tutti i componenti secondari e ausiliari che possano influenzare le prestazioni dell'opera, le attività ispettive o gli interventi manutentivi nel corso della vita utile della stessa.

		La valutazione dovrà essere estesa anche gli impianti ed elementi accessori (e.g. sistema di monitoraggio, di condizionamento, etc.) al fine di garantirne l'effettiva accessibilità, manutenibilità e sostituibilità nel tempo.
2	Prescrizione - **Fase B**	Indicare le modalità con le quali il sistema di monitoraggio e il Digital Twin saranno esplicitamente collegati al Piano di Manutenzione dell'opera. Individuare, per ciascun componente critico, gli indicatori di condizione, le soglie di attenzione/intervento, le frequenze ispettive, le modalità di verifica, i criteri di sostituzione e le conseguenze sull'esercizio.

Tabella 9-3 Prescrizioni/Raccomandazioni dell'**Assemblea CSLP**

10. IL VIADOTTO PANTANO

10.1. Premessa

Nell'incipit del § 3.1.7.2.1.1 della **RP** viene riportato che "*Alla luce di quanto argomentato nei paragrafi precedenti e nello specifico di quanto esplicitato rispetto ai punti del capitolo 7.9 e 7.11 delle NTC2018 inerenti rispettivamente la progettazione sismica con comportamento duttile dei ponti e le verifiche sismiche di opere e sistemi geotecnici, si precisa che il progetto definitivo del viadotto Pantano, (sviluppato in conformità alle NTC2008 all'epoca vigenti) in sede di PE dovrà essere oggetto di aggiornamenti in seguito alle variazioni normative intervenute, tuttavia si considererà la possibilità di approfondire la soluzione con una classe di duttilità bassa CD "B", come indicato nei Manuali di Progettazione RFI 2023, o con sistemi di isolamento e/o dissipazione per l'impalcato, anche in rapporto agli eventuali ulteriori impatti ambientali prodotti [..]*"; nel seguito del § vengono poi esposti gli aspetti principali che, secondo il progettista, possono condurre a modifiche sostanziali. Sulla base di quanto riportato nella **RP**, quindi, risulta evidente che è già previsto che il progetto sarà sottoposto ad una sostanziale revisione, considerando anche soluzioni alternative in conformità alle **NTC 2018**. Nel seguito si espongono le considerazioni dell'**Assemblea** in merito ad ulteriori aspetti di cui tenere conto nella revisione progettuale.

10.2. La domanda

10.2.1. Azioni dovute ai carichi permanenti

Per i carichi verticali è stata considerata una amplificazione del peso proprio del 60% senza nessun dettaglio sulle modalità di stima. In GER 0326 si fa riferimento alla revisione dei carichi verticali solo per le barriere e per il ballast.

l'**Assemblea** ritiene che nella **Fase B** del **PE** sia necessario:

- valutare quantitativamente l'amplificazione del peso proprio dei cassoni in acciaio per tenere conto di elementi non schematizzati nel modello.

10.2.2. Azioni dovute al passaggio dei convogli ferroviari

Per lo sviluppo del **PD** sono stati assunti quali riferimenti normativi le **NTC 2008**, le Specifiche Tecniche e le Circolari emesse da **RFI** alla data dello sviluppo del **PD** stesso.

Poiché le **NTC 2008**, le Specifiche Tecniche e le Circolari **RFI** vigenti alla data di sviluppo del **PD** costituivano il riferimento nazionale per la progettazione dell'epoca, non si ritengono necessarie ulteriori osservazioni su tali documenti.

Nella **RP** è stato predisposto il § 3.3 dal titolo "*c) Prescrizioni da sviluppare nel Progetto Esecutivo ai fini dell'adeguamento alle regole di progettazione specifiche di cui ai manuali di progettazione attualmente in uso, salve deroghe*", nel quale si analizzano le prescrizioni da sviluppare in **PE** ai fini dell'adeguamento alle regole di progettazione specifiche di cui ai manuali di progettazione in uso presso **RFI** alla data di redazione della **RP**.

In particolare, il paragrafo è organizzato secondo le macro-discipline progettuali e identifica, a valle di una disamina per ambiti progettuali omogenei, i manuali in uso presso **RFI**, suddividendoli per gruppi di specifiche di progettazione. In particolare, individua:

- Manuale di Progettazione delle Opere Civili di **RFI** versione 2023, codice RFI DTC SI MA IFS 001 F del 30/12/2023, di seguito anche "*MdP OOCC 2023*";
- Specifiche Tecniche e Istruzioni **RFI** aggiornate rispetto alle versioni precedenti delle medesime, laddove già adottate nel **PD**.

Sulla base di quanto emerso dall'esame dei riferimenti normativi e tecnici relativamente alle azioni variabili da traffico ferroviario posti alla base del **PD** e della **RP**, non si hanno considerazioni da esplicitare nel merito tecnico. Tuttavia, coerentemente con l'approccio esplicitato nella **RP**, tenuto conto del tempo trascorso tra la data di emissione della Relazione medesima e la data odierna, l'**Assemblea** ritiene che nello sviluppo della progettazione esecutiva debba farsi riferimento a tutta la nuova normativa tecnica emessa in ambito nazionale ed europeo, nonché alla versione più aggiornata del Manuale di Progettazione delle Opere Civili di **RFI** e di tutte le **STI** e Istruzioni di **RFI**.

10.2.3. Azione sismica

Nella **RP**, il tema "azione sismica" è trattato nelle pagine da 63 a-66 e da 95 a 96. In particolare, il progettista analizza le modifiche al quadro normativo delle **NTC 2008** introdotte dalle **NTC 2018**, con particolare riferimento alle diverse categorie di terreni e alla progettazione per azioni sismiche delle strutture in elevazione. In particolare, tale tema viene affrontato in dettaglio in GER0329, discutendo delle ipotesi alternativa di calcolo assumendo classe di duttilità A con q=2,3, classe di duttilità B con q=1,5, isolamento sismico, evidenziando la necessità di approfondimenti nell'ambito del **PE** che possono portare a un incremento delle sollecitazioni, allo spiccato delle pile, che il progettista stima dell'ordine del 55-60%.

Nel **PD** l'aspetto dell'azione sismica è trattato nelle relazioni di calcolo degli impalcati e delle sottostrutture (PA0105, PA0106, PA0107, PA0108) e nella relazione sismica (PA0110). Le sollecitazioni sismiche sulla struttura sono state valutate con analisi lineare dinamica modale assumendo "classe di duttilità A" con un fattore di comportamento q=3.5.

Il **CS 2023** ha formulato, specificamente per il viadotto Pantano, le osservazioni riportate in Tabella 10-1.

#	*Raccomandazione* **CS 2023**
19	*Definire l'azione sismica di progetto sul Viadotto Pantano, effettuando un'accurata analisi della Risposta Sismica locale (RSL) e valutarne gli effetti tenendo conto dell'interazione terreno- struttura. [19]*
20	*Valutare la possibilità di adozione dell'isolamento sismico per il Viadotto Pantano, anche nell'ipotesi di adottare l'isolamento per il solo impalcato stradale. [20]*

Tabella 10-1 Raccomandazioni del **CS 2023**

L'azione sismica è dimensionante per l'opera e, in particolare, per le pile. Come tale, è un tema rilevante ed abbisogna, nella **Fase A** del **PE**, di approfondimenti e analisi di dettaglio tipici dell'ultima fase della progettazione tesi a confermare il dimensionamento, i tempi e i costi della realizzazione.

L'azione sismica di progetto è coerente con le **NTC 2008** e **NTC 2018**.

Nei documenti di progetto non appaiono disponibili informazioni sistematiche su:

1) verifiche con eventi "near field", anche con riferimento ai fenomeni di direttività, alla possibile generazione di impulsi a lungo periodo, ai diversi modelli di sorgente proposti in letteratura;
2) valutazioni della variabilità spaziale del moto in direzione orizzontale e verticale; in particolare, considerando spostamenti differenziali, orizzontali o verticali, tra i punti di contatto fondazione – terreno dovuti al sisma durante o dopo l'evento;
3) considerazioni sul fatto che il terremoto di progetto che comporta la convenzionale fuoriuscita dal campo elastico ha periodo di ritorno di circa un ordine di grandezza inferiore a quello dell'**Opera**.

Tali aspetti non trovano trattazione anche all'interno della **RP**.

L'**Assemblea** ritiene che gli approfondimenti di tali aspetti vadano ascritti in varie fasi del **PE** e, pertanto:

- prescrive di effettuare verifiche con eventi "near field", anche con riferimento ai fenomeni di direttività, alla possibile generazione di impulsi a lungo periodo, ai diversi modelli di sorgente proposti in letteratura;

- prescrive di considerare la variabilità spaziale del moto in direzione orizzontale e verticale, insieme ai possibili spostamenti permanenti successivi all'evento sismico;
- raccomanda di ridurre il fattore di comportamento q almeno ad 1,5;
- ad integrazione degli strumenti presenti, prescrive di installare rete accelerometrica in corrispondenza delle fondazioni delle opere in progetto.

10.2.4. Variazioni termiche

La definizione di tale azione, per un'opera come quella qui analizzata, è un tema che necessita di un opportuno approfondimento al fine di scongiurare sottostime delle sollecitazioni e degli spostamenti, sia a livello delle sovrastrutture, che delle sottostrutture. L'analisi degli elaborati del **PD** ha permesso di comprendere che le variazioni termiche sono state considerate diversamente per impalcato ferroviario e stradale.

In particolare, su quello stradale sono stati applicati due carichi termici:
- una variazione termica uniforme ΔT_{vol}= ±25°C;
- una variazione termica lineare differenziale tra intradosso ed estradosso ΔT_{diff}= ±15°C.

Su quello ferroviario sono stati applicati i seguenti carichi termici:
- una variazione termica uniforme ΔT_{vol}= ±15°C;
- una variazione termica differenziale costituita da un gradiente che interessa la sezione degli impalcati per la loro intera altezza ΔT_{diff1}= ±5°C (+5°C all'estradosso della soletta e 0°C all'intradosso della trave in acciaio con andamento lineare);
- una variazione termica differenziale costituita da una differenza di temperatura tra la soletta e la trave di acciaio ΔT_{diff2}= ±5°C (+5°C costante sull'intera altezza della soletta e 0°C costante sull'intera altezza della trave in acciaio).

Il tema è stato trattato nella **RP** alle pagine 65, 73, 75 e laddove il progettista afferma che:
- *"Per quel che concerne le azioni sulle costruzioni si segnalano due aspetti che si ritengono comunque poco significativi: il primo riguarda le modifiche introdotte dalle NTC 2018 sulle azioni termiche agenti sulla struttura congiuntamente con la modifica del coefficiente parziale delle azioni del carico termico dal valore di 1.20 al valore di 1.50 (si veda al riguardo l'analisi del Cap. 5 delle NTC relativo ai ponti, di cui al § 3.1.5 successivo). Tali modifiche sebbene nell'ambito globale del progetto non si ritiene possano avere una significativa rilevanza, tuttavia, nell'ambito di aspetti puntuali potrebbero comportare un aggravio prestazionale; ci si riferisce nello specifico sia alle escursioni complessive degli apparecchi di appoggio mobile sia ai dispositivi di giunto con le necessarie modifiche da apportare alle carpenterie per garantire varchi di dimensioni idonee alle nuove escursioni dei suddetti dispositivi. Si precisa che tuttavia le suddette escursioni e dimensioni dovranno essere valutate anche alla luce dell'incremento delle escursioni per azioni sismiche (da condurre in riferimento allo SLC invece che allo SLV come prescritto al cap.7 delle NTC 2018) e dell'adozione di sistemi di isolamento sismico per le opere dei collegamenti stradali, laddove non previste in sede di PD. In conclusione, si ritiene che l'incremento delle azioni termiche possa essere di per sé non dimensionante.*
- *Le azioni termiche, precedentemente ricomprese nella categoria "Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari" sono ora da ricomprendersi nelle azioni variabili. Questo comporta, ad esempio, l'applicazione di un coefficiente parziale nelle combinazioni SLU pari a γ_Q = 1.50, laddove nelle NTC 2008 il valore del coefficiente assumeva il valore 1.20.*
- *Per quanto riguarda le azioni termiche, sia i valori massimi e minimi delle temperature dell'aria che la distribuzione di temperatura negli elementi strutturali sono stati valutati in base a studi specifici contenuti nei Fondamenti Progettuali o in altri documenti a base di gara. Nella redazione del documento "Manuale applicativo riferito ai fondamenti progettuali" in fase di PD, le indicazioni fornite sono state integrate con le prescrizioni dell'Eurocodice (EN 1991-1-5). Si evidenzia come le NTC 2018 rimandino, per situazioni di particolare complessità a*

documenti di comprovata validità, di cui al Capitolo 12. L'approccio seguito, quindi, risulta compatibile con le indicazioni introdotte nelle NTC 2018.

- *Si segnala unicamente che sarà necessario tenere conto nel PE delle modifiche introdotte dalle NTC 2018 sulle azioni termiche agenti sulla struttura congiuntamente con la modifica del coefficiente parziale delle azioni del carico termico dal valore di 1.20 al valore di 1.50 (come già indicato nell'analisi del cap. 3 delle NTC esposta nel § 3.1.3 precedente). Tali modifiche sebbene nell'ambito globale del progetto non si ritiene possano avere una significata rilevanza, tuttavia, nell'ambito di aspetti puntuali potrebbero comportare un aggravio prestazionale; ci si riferisce nello specifico sia alle escursioni complessive degli apparecchi di appoggio mobile sia ai dispositivi di giunto con le necessarie modifiche da apportare alle carpenterie per garantire varchi di dimensioni idonee alle nuove escursioni dei suddetti dispositivi. Si precisa che tuttavia le suddette escursioni e dimensioni dovranno essere valutate anche alla luce dell'incremento delle escursioni per azioni sismiche (da condurre in riferimento allo SLC invece che allo SLV come prescritto al cap.7 delle NTC 2018) e dell'adozione di sistemi di isolamento sismico per le opere dei collegamenti stradali, laddove non previste in sede di PD. In conclusione, si ritiene che l'incremento delle azioni termiche possa essere di per sé non dimensionante.*

Sulla base di quanto sopra esposto, l'**Assemblea**, in **Fase B** del **PE**, prescrive che:

- le variazioni con gradiente uniforme e differenziale della temperatura siano conformi a quelli stabiliti dalle **NTC 2018**, assumendo per ambedue gli impalcati le più gravose in assoluto;
- anche in ragione della particolare geometria degli impalcati (raggio di curvatura R=825 m), del sito di costruzione e dell'esposizione dell'opera, si tenga conto del contributo dell'irraggiamento così come prescritto nel § 3.5 delle **NTC 2018**, effetto che può comportare l'insorgere di stati di coazione anche rilevanti;
- si tenga conto, anche per le pile, degli effetti dovuti alle variazioni termiche con gradienti differenziali ed uniformi, in accordo con le indicazioni riportate nelle **NTC 2018** o in accordo con più accurate determinazioni rinvenibili in documenti di comprovata validità.

10.2.5. Azioni eccezionali

Nel presente paragrafo viene esaminato il tema delle azioni eccezionali e della robustezza del Viadotto Pantano, con riferimento alla capacità dell'opera di tollerare eventi locali di danneggiamento senza sviluppare conseguenze sproporzionate. Il tema riguarda, in termini unitari, gli urti da traffico stradale, il deragliamento ferroviario, gli effetti di incendio o esplosione, il danneggiamento locale di impalcati, appoggi, traversi, pile e fondazioni, nonché le condizioni di esercizio o fuori esercizio successive all'evento.

Nel documento PA0105_F0 del **PD** il tema è già intercettato in più punti. In particolare, il § 5 richiama lo stato limite di robustezza nei confronti delle azioni eccezionali, riferito ad eventi quali esplosioni e urti; le analisi locali dell'impalcato stradale considerano l'urto di veicoli in svio sulle barriere, mentre quelle dell'impalcato ferroviario includono l'azione eccezionale del deragliamento del convoglio. Tali elementi costituiscono una base utile, ma non esauriscono la necessità di una lettura organica della robustezza in sede di **PE**.

Dalla documentazione esaminata relativa ai precedenti pareri non si rinvengono raccomandazioni puntuali dedicate esclusivamente al Viadotto Pantano sul tema della robustezza e del collasso progressivo.

Per quanto sopra esposto, l'**Assemblea** ritiene necessario che, in sede di **PE**, il Viadotto Pantano sia oggetto di un riesame organico degli scenari eccezionali e della robustezza strutturale. Il riesame dovrà raccordare le verifiche già presenti nel **PD** con il quadro normativo aggiornato e con le specificità dell'opera, includendo la possibile interazione tra impalcati stradali, impalcato ferroviario e sottostrutture comuni.

10.2.6. Le combinazioni di carico

Nel § 3.1 della **RP** si indica che nel **PD**, per le cd. "opere a terra", tra cui ricade il Viadotto Pantano, valeva interamente la normativa nazionale (**NTC 2008**). A seguito di quanto stabilito nell'art. 3, comma 2, del **DL** 31 marzo 2023, n. 35, è

stato imposto l'adeguamento del **PD** alle norme tecniche per le costruzioni **NTC 2018** e, pertanto, è stata predisposta la **RP** dove, principalmente nel §3.1, vengono indicate le prescrizioni da sviluppare nel **PE** per adeguare le combinazioni di carico.

Al fine di valutare le osservazioni/prescrizioni per l'adeguamento del **PD** alle **NTC 2018**, questa **Assemblea** ha analizzato le combinazioni di carico implementate nello stesso **PD** rilevando quanto segue:

- Nelle combinazioni di carico allo SLU sono stati implementati, per i pesi propri e per i carichi permanenti, unicamente i coefficienti parziali g_F relativi ai contributi sfavorevoli. Oltre a ciò, come anche riportato nel §4.2 della "*Relazione descrittiva*" (PA0105) del **PD**, è stato considerato che l'intensità dei carichi permanenti portati fosse "*definita in maniera univoca in termini di valori caratteristici*" assegnando loro, di conseguenza, lo stesso coefficiente parziale assegnato ai pesi propri;
- Il criterio utilizzato per combinare gli effetti dei carichi stradali e ferroviari, per la definizione delle sollecitazioni sulle sottostrutture, sembra essere stato quello di considerare condizioni "omologhe" (stessa sollecitazione massimizzata/minimizzata sulla sottostruttura sia per carico ferroviario che per carico stradale intesi sempre concomitanti). Tale approccio non è pienamente condivisibile in quanto i convogli ferroviari e stradali possono assumere posizioni tra loro indipendenti. Occorre operare pertanto le combinazioni considerando l'indipendenza del traffico stradale e ferroviario, calcolando, conseguentemente, le sollecitazioni di progetto, tenendo in conto, tra le altre, anche delle condizioni in cui, alternativamente, uno dei carichi da traffico (ferroviario o stradale) sia assente;
- Dalle tabelle delle combinazioni di carico non emerge la concomitanza tra gli effetti della variazione termica uniforme e di quella differenziale;
- Nelle combinazioni sismiche sembra essere stato implementato un coefficiente parziale nullo per le azioni da traffico stradale mentre, nel § 3.2.4 delle **NTC 2008**, si prescrive l'assunzione di un coefficiente di combinazione $\psi_{02} = 0.2$, da considerarsi sia nella valutazione degli effetti dei carichi, sia nella definizione delle masse sismiche. Infine, non sembrano essere state considerate le combinazioni degli effetti delle azioni sismiche agenti secondo i tre assi principali con la permutazione dei coefficienti ±1, ±0.3, ±0.3, come peraltro programmaticamente indicato nella "*Relazione sismica*" [PA0110] dello stesso **PD**.

Per quanto sopra esposto, l'**Assemblea** ritiene necessario che, in sede di **PE**, le combinazioni di carico debbano allinearsi alle prescrizioni delle **NTC 2018**, tenendo conto anche dei criteri di seguito riportati:

- Considerare, per tutte le azioni, sia i coefficienti parziali definiti per i contributi sfavorevoli che quelli per i contributi favorevoli. In ragione dell'estesa vita utile dell'opera, e delle possibili modifiche che, nel tempo, possono generare variazioni ai carichi permanenti portati, si raccomanda di utilizzare il coefficiente parziale che le **NTC 2018** prescrivono per essi nel caso di intensità non "*ben definita*";
- Implementare le combinazioni di carico tenendo conto dell'indipendenza dei flussi di traffico ferroviario e stradale, individuando le posizioni dei convogli che, in ragione dell'interazione tra le diverse caratteristiche della sollecitazione, determinano il più gravoso impegno per le membrature resistenti;
- Considerare sia l'azione dovuta alla variazione termica uniforme che quella dovuta alla variazione termica differenziale, combinandole tra loro e con le altre azioni, sia considerandole come azione di base che come azione d'accompagnamento;
- Per le combinazioni sismiche, ricavare gli effetti più gravosi dal confronto tra le combinazioni ottenute permutando circolarmente i coefficienti moltiplicativi indicati nel § 7.3.5 delle **NTC 2018**; in tali combinazioni, per le azioni da traffico stradale, si dovrà considerare un coefficiente di combinazione $\psi 02 = 0.2$, sia nella valutazione degli effetti dei carichi, sia nella definizione delle masse sismiche.

10.3. Il confronto capacità-domanda

10.3.1. Affidabilità

Per quanto riguarda le verifiche dell'affidabilità del viadotto Pantano, valgono i principi generali illustrati al § 5.1 del presente parere. Vanno tenute presenti, in particolare, le indicazioni riguardanti i sistemi in serie nella scelta dei livelli prestazionali dell'**Opera**, a livello globale, e dei singoli componenti.

10.3.2. Gli stati limite

Gli Stati Limite elencati nel documento PA0105 del **PD** del Viadotto Pantano sono conformi alle **NTC 2008** e devono essere resi conformi alle **NTC 2018** ai fini della redazione del **PE**. Si osserva, in proposito, che l'unico Stato Limite aggiuntivo considerato dalle **NTC 2018** e non presente nelle **NTC 2008** corrisponde al "raggiungimento di una condizione di cinematismo irreversibile". Inoltre, le **NTC 2018**, che pongono una particolare attenzione alla duttilità, definiscono gli **SLU** come "raggiungimento della massima capacità della struttura nel suo insieme", chiaramente con significato più ampio rispetto al "raggiungimento della massima capacità di resistenza della struttura nel suo insieme", indicato nelle **NTC 2008**.

Pertanto, è essenziale valutare correttamente la domanda al di fuori del campo elastico, anche attraverso analisi non lineari, e verificare il soddisfacimento dei requisiti prestazionali, con particolare riguardo alla duttilità strutturale e alle condizioni di riparabilità.

In particolare, le condizioni di riparabilità dovranno essere definite in maniera coerente con quanto previsto per l'**Opera**, considerando il sistema infrastrutturale nel suo insieme e la diversa complessità degli eventuali interventi sui diversi componenti strutturali.

Alla luce di quanto rilevato, l'**Assemblea** ritiene necessario il rispetto delle seguenti prescrizioni, da considerare nelle **Fasi A** e **B** del **PE**, secondo quanto specificato nella Tabella Sinottica, parte integrante del presente parere:

- riguardo agli **SLU**, si dovrà indicare, per ciascun componente strutturale, l'estensione e la localizzazione delle plasticizzazioni ammesse, i limiti di deformazione e i controlli di instabilità locale e globale, in relazione alle condizioni di robustezza, ispezionabilità e riparabilità;
- i requisiti prestazionali del Viadotto Pantano devono essere coerenti con l'intero sistema infrastrutturale composto dal Viadotto Pantano e dalle altre opere infrastrutturali, tenendo conto delle condizioni di durabilità e riparabilità dei diversi componenti e delle eventuali interruzioni d'uso, tempi e costi attesi per manutenzioni straordinarie e ordinarie.

10.3.3. Le verifiche a fatica

Per il ponte sospeso, le verifiche a fatica sono state condotte secondo le modalità e gli spettri di carico stradali e ferroviari richiamati nei documenti del **PD** [CG1000PRGDPSVI300000000001F0 – Principi generali della progettazione per l'impalcato sospeso] [CG1000PCLDPSVI300000000004F0 – Design Report – Fatigue Assessment of Suspended Deck].

Le verifiche sono state sviluppate sia mediante il metodo a vita illimitata, sia mediante il metodo "dell'accumulo del danno", considerando le diverse combinazioni di carico stradale e ferroviario. Inoltre, è stato tenuto in adeguata considerazione un numero significativo di categorie di dettaglio di fatica, rappresentative delle soluzioni progettuali (particolari realizzativi di collegamento) adottate per gli impalcati.

Per il viadotto Pantano, per la campata di approccio lato Calabria e per le "Strutture di Transizione", pur facendo riferimento ai medesimi spettri di carico del ponte sospeso, come riportato nei documenti del **PD** [CG0700PCLDSVPCIVI0000000001F0 – Relazione di calcolo impalcato stradale] e [CG0700PCLDSVPCIVI0000000002F0 – Relazione di calcolo impalcato ferroviario], le verifiche a fatica risultano

essere state condotte esclusivamente secondo il metodo a vita illimitata, sia per gli impalcati stradali sia per quelli ferroviari.

In particolare, per gli impalcati ferroviari è stato considerato il convoglio ritenuto più gravoso [**RFI** 5], senza effettuare la verifica secondo il metodo dell'accumulo del danno.

Alla luce di quanto sopra esposto, l'**Assemblea** ritiene che sia opportuno uniformare l'approccio di verifica adottato per tutte le opere, effettuando, anche per il viadotto Pantano, per la campata di approccio lato Calabria e per le strutture di transizione, la verifica a fatica sia con il metodo a vita illimitata, sia con il metodo "dell'accumulo del danno", così da garantire omogeneità metodologica e maggiore robustezza nella valutazione della vita a fatica.

Si evidenzia inoltre che per tutti gli impalcati stradali e ferroviari nel **PE**, occorrerà considerare tutte le categorie di dettaglio di fatica necessarie per rappresentare pienamente tutte le soluzioni di collegamento strutturale adottate.

A titolo esemplificativo e non esaustivo, occorrerà esplicitare le verifiche a fatica anche per:
- dettagli delle canaline nelle piastre ortotrope;
- collegamenti dei pioli tipo Nelson;
- dettagli degli irrigidimenti in corrispondenza di aperture (slot);
- configurazioni di saldatura atte a evitare incroci tra cordoni, etc.

10.3.4. L'impalcato

Nel modello di calcolo, l'impalcato è schematizzato con elementi monodimensionali, ma per valutare le sollecitazioni nei cassoni in acciaio si aggiungono dei sottomodelli di parti dell'impalcato sviluppate con elementi shell. Il cassone dell'impalcato ferroviario è di tipo composto acciaio-calcestruzzo mentre quelli stradali sono cassoni chiusi in acciaio. Nel modello di calcolo viene introdotta anche l'interazione terreno struttura mediante link elastici alla base, e si tiene conto del pulvino con link elastici. Il dimensionamento dei giunti di dilatazione viene effettuato mediante un calcolo sismico con fattore di comportamento q=1.

Le verifiche dei cassoni in acciaio sono condotte considerandoli costituiti da singoli pannelli su cui si calcolano le tensioni e si considera l'effetto della instabilità locale e globale. Nel caso del cassone composto dell'impalcato ferroviario, le tensioni sono calcolate sommando gli effetti delle fasi di realizzazione. Inoltre, si progetta la connessione tra cassone e soletta con connettori a piolo.

Venendo ora alle scelte strutturali del viadotto ferroviario ed esaminando l'appoggio della prima campata del viadotto Pantano sulla "Struttura Terminale" lato Sicilia, si osserva che questa è vincolata a una mensola aggettante dall'impalcato della struttura terminale. Per lo sviluppo del **PE** occorre che venga verificata la compatibilità di questa scelta strutturale con le prescrizioni del Manuale di Progettazione di **RFI** Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture – capitolo 2.5.2 Criteri progettuali e costruttivi.

Sulla base di quanto riportato nella **RP** con relativo allegato specifico e di quanto riportato nel **PD**, quindi, l'**Assemblea** ritiene che nella **Fase A** del **PE** sia necessario:
- effettuare un'analisi di sensibilità preliminare, per valutare l'affidabilità del calcolo delle sollecitazioni nell'impalcato mediante un modello semplificato con impalcati schematizzati come elementi monodimensionali, rispetto alla schematizzazione dei cassoni con elementi shell, comunque utilizzata per valutare le tensioni locali.

Inoltre, l'**Assemblea** ritiene che nella **Fase B** del **PE** sia necessario:
- considerare le fasi di costruzione per l'impalcato composto acciaio-calcestruzzo anche nel calcolo degli spostamenti in corrispondenza dei giunti di dilatazione;
- nella verifica della soletta in c.a. tenere conto di tutte le sollecitazioni globali e locali;

- assumere l'ipotesi di connettori duttili solo nel caso che siano rispettate tutte le condizioni indicate dalle normative vigenti al momento del progetto;
- verificare gli spostamenti in corrispondenza dei giunti di dilatazione degli impalcati ferroviari appoggiati e alle estremità di quelli stradali continui, nei diversi stati limite in condizioni sismiche tenendo conto della eventuale risposta strutturale in campo post-elastico per fessurazione o plasticizzazione;
- verificare la compatibilità della scelta strutturale per l'appoggio della prima campata del viadotto ferroviario in corrispondenza della struttura terminale con le prescrizioni del Manuale di Progettazione di **RFI** Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture – capitolo 2.5.2 Criteri progettuali e costruttivi.

10.3.5. Le pile

Il tema è stato trattato nella **RP** in varie parti del documento e in particolare alle pagine 95, 97 e 140:

Nel seguito sono riassunti i profili su tale argomento affrontati nella **RP**, in particolare il progettista afferma che:

- § 3.1.7.2.1.1 – *Viadotto Pantano. (…)* il **PD** del viadotto Pantano, (sviluppato in conformità alle **NTC 2008** all'epoca vigenti) in sede di PE dovrà essere oggetto di aggiornamenti in seguito alle variazioni normative intervenute, (…) si considererà la possibilità di approfondire la soluzione con una classe di duttilità bassa CD "B", come indicato nei Manuali di Progettazione **RFI** 2023, o con sistemi di isolamento e/o dissipazione per l'impalcato, (…) si rimanda alla nota tecnica allegata alla documentazione GER0329 "Viadotto Pantano: Nota tecnica di analisi degli impatti per adeguamento normativo in fase di PE" in cui vengono riportate analisi quali-quantitative delle diverse ipotesi. *(…) i cambiamenti che potenzialmente possono avere un impatto maggiore sono le prescrizioni di cui al § 7.9.6.1.3 "Dettagli costruttivi per le zone dissipative". (…) i limiti imposti ai rapporti geometrici prescritti al suddetto paragrafo non sono rispettati per le carpenterie delle pile come da PD (…). La modifica della sezione di carpenteria e la valutazione della rigidezza delle sottostrutture in funzione dell'effettivo stato di fessurazione (…) comportano variazioni del periodo delle singole sottostrutture e, conseguentemente, variazioni dell'azione sismica in ingresso (…) si dovrà inoltre verificare il rispetto della capacità di duttilità di curvatura in SLC per le strutture duttili (…). L'aumento degli spessori si stima in circa +30 cm a fronte degli spessori di 80 cm originariamente previsti, corrispondenti a un incremento del volume di calcestruzzo dei fusti pila dell'ordine del 30% rispetto alla quantità prevista in PD. Si noti inoltre come* le **NTC 2018** *abbiano introdotto esplicitamente le verifiche di resistenza allo SLD per le strutture in Classe d'Uso III e IV (…). Tale prescrizione, non esplicitamente riportata nelle NTC 2008, comporterà riduzioni del fattore di comportamento allo SLV (…) le suddette valutazioni dovranno essere condotte da spettri ottenuti dalla RSL. Si stima che la combinazione di tali cambiamenti in merito agli spettri di progetto, insieme alla revisione delle carpenterie delle pile (…) comporteranno un aumento delle azioni a livello dello spiccato delle pile nell'ordine del 55-60 % rispetto alle sollecitazioni considerate in fase di PD. La combinazione dell'aumento dei momenti flettenti e dello sforzo normale che si sviluppa nei fusti delle pile per via dell'effetto di tira e spingi dovuto alla configurazione a telaio, comporteranno un rilevante aumento della quantità di armatura necessaria al soddisfacimento delle verifiche di resistenza, stimabile in +85% rispetto all'armatura prevista in PD. (…). In considerazione di questo si ritiene necessario un aumento della classe di resistenza del calcestruzzo delle pile da C32/40 a C35/45 al fine di aumentare la resistenza a taglio lato calcestruzzo, nonché un aumento delle armature necessarie nei plinti di fondazione e nei pulvini, stimabile nell'ordine del 50%. Conseguentemente, si riscontrerà anche un aumento delle azioni trasmesse in fondazione (…). (…), per quel che concerne gli apparecchi di appoggio scorrevoli, varchi e giunti si dovrà procedere al loro dimensionamento adottando lo spettro SLC ovvero amplificando del 25% i risultati ottenuti da un calcolo allo SLV. (…).*

- *§ 3.1.7.2.2.2 – Fondazioni dei viadotti. (…) le verifiche delle fondazioni (…) dovranno essere riallineate ai nuovi approcci di verifica prescritti al 7.11 delle NTC 2018. (…), le dimensioni attualmente previste in progetto definitivo non permettono il soddisfacimento delle verifiche. (…) si prevede quindi un aumento delle dimensioni in pianta dei plinti (e dell'ingombro del sottostante JG) di circa il 20÷25% complessivo per le 5 pile (…). In PE si dovrà procedere con l'aggiornamento di tale studio, il quale dovrà essere condotto con i parametri caratteristici dei terreni in accordo a quanto prescritto dall'attuale quadro Normativo. (…).*

- *§ 3.3.2.1.7 (…) il viadotto Pantano presenta comunque caratteristiche particolari rispetto alle tipologie di uso corrente in ambito ferroviario (…) la presenza dei due impalcati stradali continui e degli impalcati ferroviari in semplice appoggio sulle medesime sottostrutture, la rilevante altezza delle pile che raggiungono circa i 50 m di altezza dallo spiccato, la presenza di un giunto di espansione di binario in corrispondenza della transizione con la struttura terminale. In ragione di ciò, in fase di PD, erano state fatte valutazioni specifiche per alcuni aspetti dispensando dall'applicazione integrale dei manuali di progettazione RFI, come ad esempio l'assunzione di una classe di duttilità alta ai fini del comportamento sismico, tuttavia, in fase di progetto esecutivo, si considererà la possibilità di approfondire la soluzione con una classe di duttilità bassa CD "B", come indicato nei Manuali di Progettazione RFI 2023, o con sistemi di isolamento e/o dissipazione per l'impalcato, anche in rapporto agli eventuali ulteriori impatti ambientali prodotti. (…) Le considerazioni che seguono si riferiscono all'ipotesi di soluzione con classe di duttilità alta CD "A" del progetto definitivo. (…). Sarà invece necessario considerare la revisione del peso delle barriere antirumore, da considerare in ogni caso secondo il MdP 2023 con un valore pari a 3.2 kN/m2 ed un'altezza delle stesse di 4 m misurati dall'estradosso della soletta. (…). Sarà inoltre necessario adeguare i valori dei copriferri per le solette di impalcato e le sottostrutture a quelli minimi prescritti al § 2.5.2.2.3.2 "Armature" del MdP 2023 (…). Ai fini del comportamento sismico delle opere si terrà conto nelle analisi strutturali dell'interazione terreno struttura e della rigidezza delle strutture in C.A. fessurata (…), in accordo al § 2.5.1.8.3.3 "Verifiche sismiche e criteri generali di progettazione sismica" del MdP 2023. Tale approccio era comunque già stato seguito in fase di PD per il viadotto Pantano. (…). Si ricorda anche che ai sensi delle NTC 2018 gli spostamenti degli apparecchi di appoggio mobili e dei giunti di espansione devono essere valutazioni per l'azione sismica corrispondente allo SLC a fronte dello SLV previsto dalle NTC 2008. (…) risulterà necessario rivedere l'escursione di giunti e appoggi in sede di PE per tutte le opere. (…). Infine, si rileva la prescrizione inserita al Al § 2.5.2.1.6 "Monitoraggio", del MdP 2023 che indica la necessità di prevedere un sistema di monitoraggio strutturale per tutti i ponti e viadotti ferroviari di nuova realizzazione. Tale sistema era già previsto in sede di PD per il viadotto Pantano (…). A tale prescrizione progettuale concorrono ad ogni modo anche considerazioni in merito all'aggiornamento tecnologico in funzione dell'attuale stato dell'arte (…).*

In Tabella 10-2 si riporta un estratto delle Raccomandazioni formulate dal **CS 2023**, inerenti ai temi evidenziati.

#	*Raccomandazione* **CS 2023**
	(…). *Al viadotto Pantano, opera di particolare rilevanza per le sue caratteristiche geometriche, luci e altezza delle pile e per la contemporanea presenza degli impalcati, stradale e ferroviario, è stata dedicata una particolare attenzione anche con una specifica interazione con i tecnici di Stretto di Messina.* *(…).* *Per quanto concerne la progettazione e la realizzazione delle sottostrutture (ovvero le fondazioni delle torri, i blocchi di ancoraggio, le opere di sostegno, le fondazioni delle strutture terminali e il consolidamento dei terreni), il Progettista ritiene che le modifiche conseguenti all'introduzione delle NTC 2018 potranno essere gestite nell'ambito della stesura del PE senza la necessità di apportare modifiche significative alla configurazione, ai metodi di dimensionamento e alle caratteristiche principali delle sottostrutture, ad eccezione delle fondazioni del Viadotto Pantano.* *(…).* *Nella RP, al par. 3.1.7.2.1.1 Viadotto Pantano, il progettista rinvia all'elaborato GER0329 aggiornato al 11.10.23 per un'analisi quali-quantitativa delle soluzioni progettuali che scaturiscono dall'adozione della classe di duttilità A oppure B e della possibilità di adozione dell'isolamento sismico, non prevista tra le soluzioni esaminate. Vengono comunque evidenziati possibili cambiamenti nel dimensionamento delle pile, delle relative armature e del sistema di fondazione, che scaturiscono dall'aggiornamento alle NTC 2018 e/o alla perfetta aderenza al Manuale di Progettazione (MdP) di RFI, rimandando al PE per la determinazione dell'azione sismica di progetto attraverso l'analisi della risposta sismica locale e la valutazione dell'efficacia dell'isolamento sismico.* *Stante l'importanza dell'Opera (altezze e masse in gioco) e la complessità del sistema di fondazione, il CS suggerisce di effettuare un'accurata analisi della Risposta Sismica Locale (RSL) oltre che un'analisi dell'interazione terreno-struttura, come per altro previsto nello stesso MdP di RFI al par. 2.5.1.8.3.3, Che tenga conto delle rigidezze reali dei materiali coinvolti dopo il trattamento con jet- grouting. Si evidenzia come le NTC 2018 trattino in maniera più completa il tema della RSL e dell'interazione terreno-struttura rispetto alle NTC 2008, nei par. 7.2.6 e 7.9.3.1. I risultati potrebbero fornire una valutazione più vicina alla realtà e, forse,*

	rivelare una sensibile riduzione degli effetti del sisma sul viadotto, tale da poter rivalutare la progettazione in classe di duttilità B senza sostanziali incrementi delle dimensioni esterne delle pile. Il CS suggerisce, inoltre, di considerare la possibilità di adozione dell'isolamento sismico, come prefigurato nella RP, valutando anche la fattibilità e l'efficacia dell'isolamento del solo impalcato stradale. Peraltro, è stato anche dimostrato che l'isolamento degli impalcati ferroviari con dispositivi a comportamento elasto-plastico non necessariamente comporta un significativo aggravamento delle condizioni di lavoro del binario[4], come invece paventato in GER0329. *[4]Dolce M., Llberatore D., Bonuccelli C., Traini G. (1998). Seismic Isolation of Railway Bridges. Atti dell'U.S.-ITALY WoRKSHOP ON SEISMIC PROTECTIVE SYSTEMS FOR BRIDGES, New York City.*

Tabella 10-2 Raccomandazione **CS 2023**

L'analisi progettuale del Viadotto Pantano è stata condotta con metodi tradizionali, mediante modello lineare con rigidezze ridotte per simulare la fessurazione, assumendo per le pile una classe di duttilità alta e un fattore di comportamento, originariamente assunto, pari al valore massimo previsto in normativa di 3,5. L'opera è in classe d'uso IV e $\mathbf{V_N}$ di 100 anni.

A seguito dell'art. 3, comma 2, del **DL** 31 marzo 2023, n. 35, che impone l'adeguamento del **PD** alle **NTC 2018**, il documento GER0329_revC evidenzia la necessità di rivedere il progetto delle pile, sia per il rispetto dei dettagli costruttivi delle zone dissipative, sia per le verifiche allo **SLD** e per la conseguente riduzione del fattore di comportamento allo **SLV**, stimato pari a 2,3. Le valutazioni preliminari dei progettisti indicano incrementi significativi delle sollecitazioni, dei volumi di calcestruzzo e delle armature rispetto al **PD**. L'applicazione integrale del Manuale di Progettazione **RFI** 2023, con classe di duttilità media e fattore q = 1,50, comporterebbe incrementi ancora più rilevanti, tali da non consentire il mantenimento della geometria esterna delle pile. Anche l'adozione di sistemi di isolamento o dissipazione è stata ritenuta, dai progettisti, non vantaggiosa per l'opera.

L'**Assemblea** osserva tuttavia che la risposta longitudinale delle pile appare meno rilevante, poiché l'azione dell'impalcato stradale viene trasferita principalmente alla spalla, che assume quindi ruolo critico. In direzione longitudinale le pile risultano sostanzialmente disaccoppiate, mentre in direzione trasversale l'impalcato stradale e il pulvino accoppiano le due colonne di ciascuna pila, contribuendo in modo significativo alla risposta sismica.

Si rileva inoltre che l'applicazione dei principi di gerarchia delle resistenze appare limitata essenzialmente alla verifica a taglio, mediante coefficiente di protezione maggiorato, senza una compiuta verifica della capacità flessionale e delle effettive modalità di formazione delle cerniere plastiche. L'armatura delle pile risulta sostanzialmente uniforme e l'aggiornamento proposto sembra finalizzato soprattutto ad aumentare la capacità flessionale, senza che siano pienamente dimostrate la coerenza tra fattore di comportamento, dettagli di armatura, richiesta di duttilità e risposta non lineare attesa.

In assenza di analisi non lineari, non risultano compiutamente definite le modalità di danno e collasso, né è dimostrato che il comportamento atteso sia effettivamente duttile e privo di meccanismi fragili.

L'**Assemblea** ritiene pertanto necessario giustificare le assunzioni progettuali mediante analisi non lineari, verificando la domanda di duttilità in spostamento e curvatura, come previsto dalle **NTC 2018**, e rivalutando il progetto delle armature flessionali, a taglio e di confinamento, con applicazione più rigorosa dei principi di capacity design.

L'**Assemblea** raccomanda di riesaminare possibili soluzioni alternative, quali la revisione della geometria del viadotto, anche mediante variazione dell'altezza delle pile o approfondimento delle fondazioni, nonché l'eventuale isolamento sismico dell'impalcato stradale. Dovrà essere verificato con particolare attenzione il vincolo offerto dalle spalle, soprattutto quella verso terra, chiamata ad assorbire l'intera azione sismica longitudinale.

L'**Assemblea** raccomanda che le porte e le aperture di accesso previste nel fusto delle pile per manutenzione e ispezione siano collocate al di fuori del tratto di estensione atteso delle cerniere plastiche. Qualora ciò non sia possibile è necessario che, nel caso si adottato un coefficiente di comportamento elevato, la loro presenza deve essere tenuta

in adeguato conto nelle verifiche di capacità, duttilità e resistenza delle sezioni collocate all'interno delle zone dissipative.

Per il sistema fondale, l'**Assemblea** prescrive di applicare i principi di capacity design in entrambe le direzioni, evitando lo sviluppo di fenomeni non lineari significativi nelle fondazioni e dimensionandole in funzione della capacità alla base delle pile, e non solo delle azioni agenti.

10.3.6. Le fondazioni

10.3.6.1. Modelli Geotecnici (AG1)

È necessario un ulteriore adeguamento ed approfondimento del piano delle indagini, finalizzato a definire con accuratezza il profilo stratigrafico, le caratteristiche meccaniche, idrauliche e sismiche dei terreni interessati dalle fondazioni del viadotto Pantano. L'approfondimento delle indagini dovrà tenere conto anche della considerevole evoluzione tecnologica e delle conoscenze che oggi rendono usuali indagini che all'epoca della redazione del **PP** e **PD** venivano considerate avanzate (specie in relazione alle indagini sismiche).

La pianificazione delle ulteriori indagini dovrà inoltre essere sviluppata non soltanto con finalità descrittive e conoscitive del sottosuolo sia dal punto di vista dei contatti stratigrafici che della sua eterogeneità nei volumi significativi interessati dalle opere di fondazione, ma anche con esplicito riferimento alle esigenze di modellazione del comportamento dei terreni, richieste dalle analisi e verifiche progettuali che si rendono necessarie ed è previsto debbano essere sviluppate. Analisi e verifiche progettuali che dovranno essere coerenti con le attuali potenzialità degli strumenti di calcolo e con il significativo progresso delle conoscenze scientifiche e tecniche maturato rispetto al periodo storico in cui venne redatto il **PD**. Le integrazioni di indagini dovranno prevedere l'adeguamento alle **NTC 2018**, come già recepito dalla **RP**, cui deve essere dato seguito in fase di elaborazione dello stesso **PE**.

Tutto ciò considerato, l'**Assemblea** prescrive che, operando nella **Fase B** del **PE** sia dato seguito agli indirizzi contenuti nel presente paragrafo.

10.3.6.2. Progettazione Geotecnica e Sismica

Particolare rilevanza, data l'elevata sismicità delle aree che ospitano le opere connesse alla realizzazione del viadotto Pantano, deve essere posta alla caratterizzazione e alla progettazione in zona sismica a partire dai necessari approfondimenti legati all'adeguamento normativo **NTC 2018**, sia dal punto di vista della determinazione delle azioni di progetto che delle verifiche delle opere d'arte in progetto.

In particolare, al fine di garantire l'omogeneità progettuale con le soluzioni adottate per le fondazioni e i blocchi di ancoraggio dell'opera di attraversamento, si suggerisce che la progettazione delle opere geotecniche del viadotto Pantano sia sviluppata secondo un approccio prestazionale. Tale approccio non dovrebbe limitarsi alla verifica degli stati limite ultimi delle strutture e delle opere geotecniche, ma estendersi all'intero sistema terreno-struttura, valutandone la capacità di assorbire e sostenere le deformazioni indotte dall'azione sismica, così da assicurare il conseguimento delle prestazioni attese in termini di comportamento e funzionalità dell'opera.

In tal senso, particolare attenzione è opportuno che venga dedicata alla valutazione della risposta sismica locale e all'interazione terreno-struttura, per poter cogliere in maniera accurata la distribuzione spaziale degli spostamenti e delle rotazioni, nonché la reale ridistribuzione delle sollecitazioni durante l'evento sismico, con l'eventuale impiego di modelli numerici avanzati, coerentemente con il livello di dettaglio e di complessità richiesto dall'opera.

Per quanto concerne la stabilità geotecnica in condizioni sismiche si ritiene, inoltre, necessario verificare la congruenza delle analisi con le prescrizioni delle **NTC 2018** relativamente al potenziale di liquefazione. Qualora le verifiche evidenzino condizioni di suscettibilità alla liquefazione, il progetto dovrà essere aggiornato mediante analisi sviluppate con input sismici coerenti con il quadro normativo vigente e con l'impiego di modelli interpretativi adeguatamente validati.

Tutto ciò considerato, l'**Assemblea** prescrive che, operando nella **Fase B** del **PE** sia dato seguito alle prescrizioni fornite nel presente paragrafo.

10.4. Monitoraggio/Manutenzione

Ai fini di una corretta ed efficace gestione della manutenzione, riveste carattere di assoluta priorità garantire l'accessibilità e l'ispezionabilità di tutti i componenti.

Quindi, nell'ambito del **PE** è necessaria una verifica sistematica delle condizioni di ispezionabilità, accessibilità, manutenibilità e sostituibilità di tutti i componenti strutturali, impiantistici e infrastrutturali rilevanti ai fini della sicurezza, della funzionalità e della durabilità dell'opera. Tale verifica deve interessare non soltanto gli elementi principali ma anche tutti i componenti secondari e ausiliari che possano influenzare le prestazioni dell'opera, le attività ispettive o gli interventi manutentivi nel corso della vita utile della stessa. La valutazione dovrà essere estesa anche tutti gli impianti ed elementi accessori (e.g. sistema di monitoraggio, etc.) al fine di garantirne l'effettiva accessibilità, manutenibilità e sostituibilità nel tempo.

11. COLLEGAMENTI STRADALI E FERROVIARI

L'**Opera**, destinata a realizzare il collegamento stabile tra le due sponde dello stretto di Messina fa parte della rete **TEN-T** e garantisce la continuità della rete stradale e della rete ferroviaria tra Continente e Sicilia, riducendo notevolmente il tempo di viaggio. La configurazione delle reti stradale e ferroviaria viene modificata su entrambe le sponde in conseguenza dell'inserimento del nuovo arco che include l'opera di attraversamento.

In quanto funzionalmente parte di una rete che esige intrinsecamente continuità e fluidità del moto dei veicoli che la utilizzano, l'opera di attraversamento non è punto terminale al quale si debba giungere con opere di collegamento o di interfaccia con altre infrastrutture, ma propriamente e paritariamente una parte di tali infrastrutture.

Per maggiore chiarezza si ribadisce che le "*opere di interfaccia ferroviaria e stradale con le reti esistenti e/o in progettazione*" costituiscono i punti di connessione tra le opere previste dal progetto e il sistema infrastrutturale esistente, in corso di realizzazione o in fase di progettazione. Nell'ottica di fornire un maggiore e più qualificato contributo tecnico all'espressione del Parere, fermo restando i limiti imposti, ai contenuti del presente Parere, dai dettami legislativi di cui all'art.1, comma 1, lettera b), punto 3 del **DL** 11 marzo 2026 n. 32 riguardo "*ai profili tecnici di particolare complessità e rilevanza della relazione del progettista*" di cui all'articolo 3, comma 2, del **DL** n. 35 del 2023, l'analisi delle opere di interfaccia è stata estesa alle intere tratte di collegamento tra l'opera di attraversamento e il limite di progetto di competenza dello **SdM**.

Per ciascun collegamento sono individuati i seguenti tre macro-aspetti tecnici di particolare complessità:

1. Aspetti legati al quadro conoscitivo (sismotettonica, idrogeologia, geotecnica, idrologia e idraulica);
2. Norme e regole di progettazione, continuità funzionale e interoperabilità (ambito stradale, ferroviario, interoperabilità dei sistemi, impianti di trazione e aspetti strutturali);
3. Sicurezza gallerie (impianti e antincendio) in relazione alle norme vigenti.

11.1. Collegamenti stradali e ferroviari alle opere esistenti

Figura 11-1.- Collegamenti lato Calabria (SX) e lato Sicilia (DX)

Nel § 1.2.1 - Attraversamento stabile sullo stretto di Messina- della **RP**, si evidenzia che "*Nel progetto sono, altresì, comprese le opere di raccordo stradale e ferroviario sui versanti calabrese e siciliano (per complessivi 20,3 km di collegamenti stradali e 20,2 km di collegamenti ferroviari), in massima parte in galleria, per assicurare il collegamento del ponte al nuovo tracciato dell'autostrada Salerno-Reggio Calabria ed alla prevista linea ferroviaria AV/AC Napoli-Reggio Calabria, da un lato, e alle tratte autostradali Messina-Catania e Messina-Palermo, nonché alla prevista nuova stazione ferroviaria di Messina, dall'altro*" (*v.* Figura 11-1).

Di seguito una tabella riepilogativa (Figura 11-2) contenente lo schema dei collegamenti lato Calabria e lato Sicilia avendo indicato con **ST** il collegamento stradale e con **FE** il collegamento ferroviario.

SCHEMA COLLEGAMENTI		
Lato Calabria	*Collegamento Stradale*	**ST**1 Collegamento dal Ponte innesto A2 in direzione nord Salerno
		ST2 Collegamento dal Ponte innesto A2 in direzione sud Reggio Calabria
		ST3 Collegamento innesto dal Ponte provenendo da Salerno
		ST4 Collegamento al Ponte provenendo da Reggio Calabria
		ST5 Sistema di collegamento al Centro Direzionale
	Collegamento ferroviario	**FE**1 Collegamento **GN** Bolano **BD** interconnessione con la linea storica tirrenica Battipaglia Reggio-Calabria (verso il Ponte)
		FE2 Collegamento **GN** Bolano **BP** interconnessione con la linea storica Battipaglia Reggio-Calabria (verso la linea storica)
		FE3 Collegamento **GN** Bolano **BD** interconnessione con la futura linea **AV-AC** Salerno-Reggio Calabria (verso il Ponte)
		FE4 Collegamento **GN** Bolano **BP** interconnessione con la futura linea **AV-AC** Salerno-Reggio Calabria (verso la linea **AV-AC**)
Lato Sicilia	*Collegamento stradale*	**ST**6 Collegamento Semi-Svincolo Ganzirri
		ST7 Collegamento Svincolo Curcuraci
		ST8 Collegamento Svincolo Annunziata
	Collegamento ferroviario	**FE**5 Bivio Gazzi intervento ferroviario **RFI** interconnessione con la linea storica Catania-Messina

Figura 11-2 schema sintetico dei collegamenti stradali e ferroviari lato Calabria e lato Sicilia

11.1.1. Collegamenti lato Calabria

11.1.1.1. Collegamento stradale

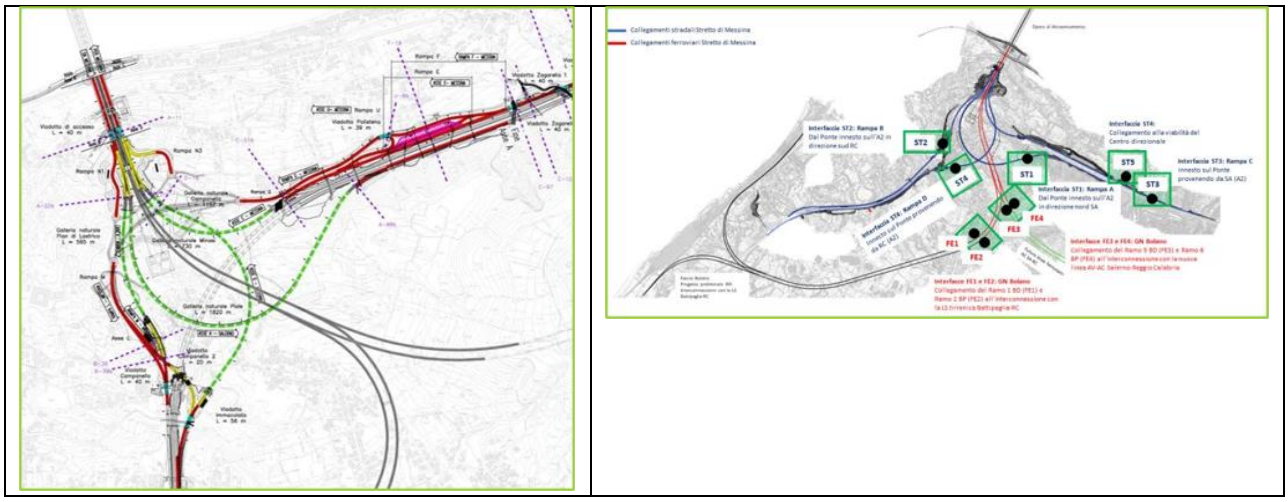


Figura 11-3.- Planimetria generale collegamenti stradali lato Calabria

Nella **RP** si evidenzia la configurazione funzionale del sistema di interconnessione stradale tra l'opera di attraversamento e la viabilità autostradale ad essa confluente che prevede (v. Figura 11-3 la realizzazione dei seguenti collegamenti autostradali:

1. **Sistema di uscita (direzione Sicilia – Calabria)**: costituito dal Ramo "A" (v. Figura 11-4, SX) che collega, in direzione nord, il Ponte con l'Autostrada A2 "del Mediterraneo", verso Salerno. In questo tratto trovano ubicazione quali opere principali il viadotto e la galleria naturale "Piale". Il sistema d'uscita comprende anche

il Ramo "B" (v. Figura 11-4, DX), che dal Ponte si raccorda con l'Autostrada A2, in direzione sud, verso Reggio Calabria. L'opera di rilievo, presente in questo tratto, coincide con la galleria naturale "Pian di Lastrico".

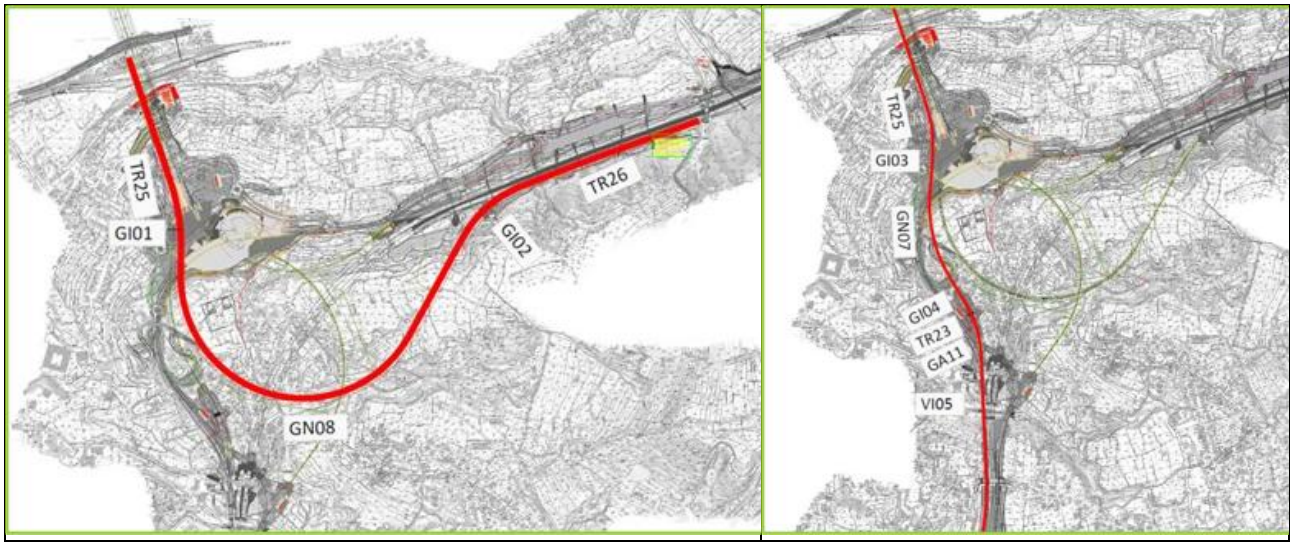


Figura 11-4.- Planimetria Ramo A (SX) e Planimetria Ramo B (DX)

2. **Sistema di accesso (direzione Calabria - Sicilia)**: costituito dal Ramo "C" (v. Figura 11-5, SX) caratterizzato dalla presenza della galleria "Minasi", che consente ai flussi provenienti da nord (Salerno), attraverso l'Autostrada A2, di accedere al Ponte. Trattasi, quindi, del principale collegamento dal nord del Paese in direzione del Ponte.

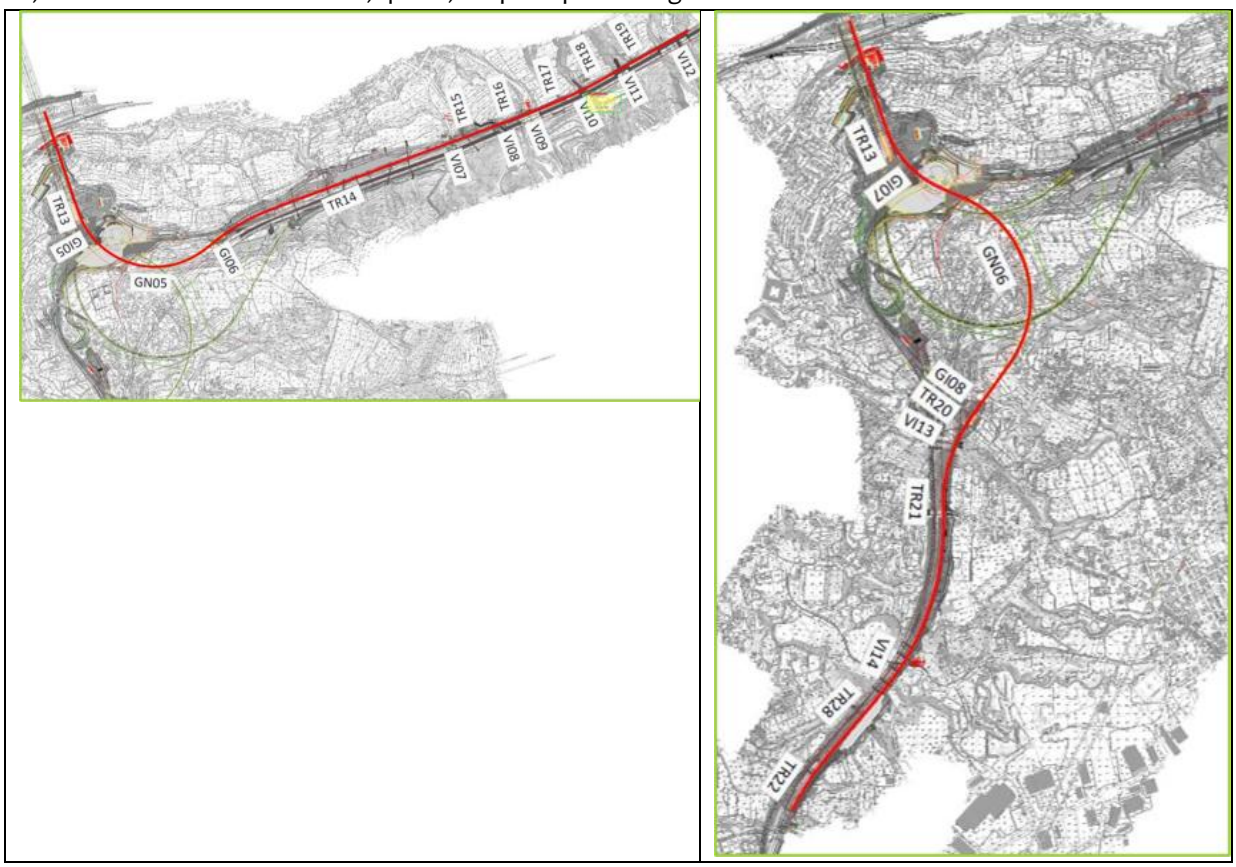


Figura 11-5.- Planimetria Ramo C (SX) e Planimetria Ramo D (DX)

Il Ramo diverge dall'autostrada A2 con un tratto all'aperto ad essa parallelo di circa 1.5 km per poi entrare in galleria e convergere verso il Ponte, terminando in corrispondenza dell'asse della Torre lato Calabria (Sponda Calabra).

L'accessibilità da sud (Reggio Calabria) al Ponte è affidata invece al Ramo "D" (v. Figura 11-5, DX) caratterizzato dalla presenza del viadotto "Immacolata" e, soprattutto, della galleria naturale "Campanella". Tale ramo convoglia i flussi veicolari dell'Autostrada A2 provenienti da Reggio Calabria verso il Ponte.

3. **Sistema di collegamento al Centro Direzionale ed alle aree di sosta e controllo:** è costituito dall'insieme dei rami stradali secondari e delle rampe che consentono l'accessibilità al **CD**, sia dalla rete autostradale esistente, da e verso entrambe le direzioni di marcia dell'Autostrada A2, sia dalla rete stradale locale. A tale sistema sono ricondotte anche le connessioni stradali che consentono l'accessibilità alle aree di sosta e controllo dei mezzi diretti verso il Ponte, denominate "Zagarella", sita a margine del Ramo "C", e "Solaro", sita a margine del Ramo "D".

La Figura 11-6 mostra lo schema generale delle viabilità secondarie di connessione tra il sistema stradale principale da e verso il **CD** e, più in generale, da e verso il territorio calabro; la Figura 11-7 riporta invece il dettaglio del sistema di viabilità nell'immediato intorno del **CD**.

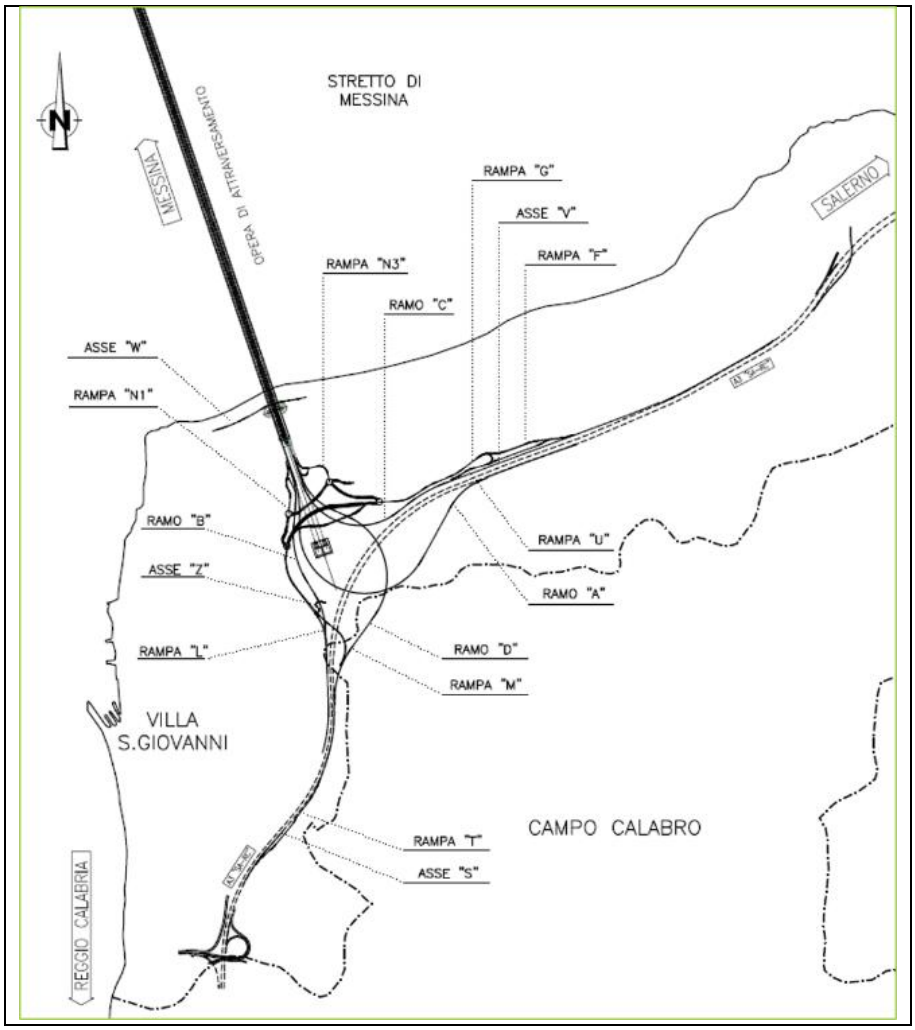


Figura 11-6.- Planimetria sinottica dei principali assi secondari e delle rampe – lato Calabria

Come si osserva in Figura 11-7, il sistema viario direttamente a servizio del **CD** è articolato intorno a un quadrilatero stradale, ai cui vertici sono posizionate n. 4 rotatorie, indicate con numerazione progressiva da 1 a 4, a cui si connettono gli assi viari secondari e le Rampe di collegamento con la viabilità autostradale riportate in Figura 11-7.

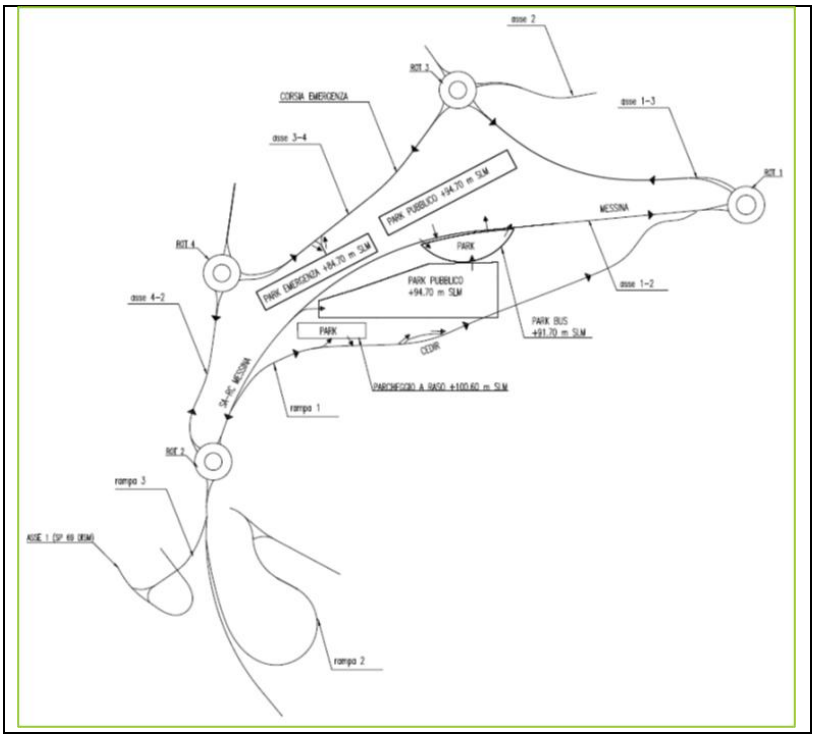


Figura 11-7.- Sistema stradale a servizio del Centro Direzionale

Queste ultime collegano i flussi veicolari provenienti dall'autostrada A2 e diretti verso il Ponte, ma non quelli provenienti da Messina, in uscita dal Ponte. In particolare, per i flussi provenienti da Salerno, il collegamento al **CD** avviene lungo il Ramo "C", attraverso le rampe "F" e "G" che conducono alla Rotatoria n.1.

Il collegamento al **CD** per i flussi veicolari provenienti da Reggio Calabria avviene invece lungo il Ramo "D", attraverso la rampa "M" che si collega alla Rotatoria n.2.

I flussi veicolari che attraversano il Ponte provenienti da Messina non risultano invece collegati al **CD**, se non attraverso un articolato percorso stradale che impegna lo svincolo di Villa San Giovanni, esterno agli schemi sopra riportati.

Vi sono invece collegamenti diretti tra la viabilità di servizio del Ponte e il **CD** attraverso le Rampe N1 ed N2, sul lato ovest, e N3 ed N4, sul lato est. Le prime sono collegate alla Rotatoria n. 4, le seconde alla Rotatoria n. 3. Tale sistema di rampe è pensato per poter anche essere utilizzato dal traffico ordinario in caso di necessità e/o d'emergenza.

Per quanto concerne il collegamento dal **CD** verso il sistema autostradale, l'egresso sulla A2 in direzione "Reggio Calabria" avviene dalla Rotatoria n. 2 tramite la Rampa "L" che si innesta sul Ramo "B".

L'ingresso in direzione "Messina" avviene invece tramite le Rampe "G" ed "U" che, dalla Rotatoria n. 1, conducono al Ramo "C" e, quindi, sul Ponte.

Il collegamento dal **CD** in direzione "Salerno" avviene dalla Rotatoria n.2 impegnando un articolato percorso che, sfruttando il Ramo "B" (in direzione Reggio Calabria), giunge allo svincolo di Villa San Giovanni dove verrà realizzata una rotatoria utile alla inversione di marcia per l'immissione sulla Autostrada A2 in direzione Salerno.

Per quanto attiene al sistema stradale locale, esso è invece collegato al quadrilatero innanzi citato sia attraverso la Rotatoria n.2 che attraverso la Rotatoria n.3. La prima per tramite dell'Asse 1 e delle Rampe 2 e 3, la seconda tramite l'Asse 2.

Il quadrilatero, che soggiace al sedime del **CD**, è costituito da una serie di assi stradali urbani di collegamento tra le rotatorie che assumono in progetto la denominazione delle rotatorie a cui sono direttamente connessi (Asse 1-2, Asse 1-3, Asse 3-4, Asse 4-2). Si tratta di viabilità urbane di tipo F ai sensi del **DM** 05/11/2001, a meno dell'Asse 1-2, che risulta classificato in categoria E.

Lo schema di Figura 11-7 riporta anche il sistema di viabilità a servizio delle aree Sosta e Controllo.

All'area di sosta e controllo "Zagarella", posta a presidio dell'ingresso al Ponte da Nord, si accede dal Ramo "C" utilizzando la Rampa "F" e l'asse "V". Dalla stessa area di sosta è poi possibile immettersi nuovamente sul Ramo "C" attraverso la Rampa "U" e giungere quindi al Ponte.

All'area di sosta e controllo "Solaro", posta a presidio dell'ingresso al Ponte da Sud, si accede invece utilizzando l'Asse "S" direttamente collegato all'autostrada A2 per poi, tramite la rampa "T" e il Ramo "D", giungere al Ponte.

Le ulteriori opere stradali che completano le infrastrutture previste sul lato Calabria sono:
- la Deviazione strada lungomare Fata Morgana (Asse W);
- la Deviazione strada via Campidoglio (Asse Z), sita planimetricamente a Nord della Rampa "L";
- la Rotatoria d'inversione Villa San Giovanni;
- la Rotatoria d'inversione Santa Trada.

La Figura 11-8 mostra le due rotatorie di inversione, non contenute nel quadro sinottico di Figura 11-7.

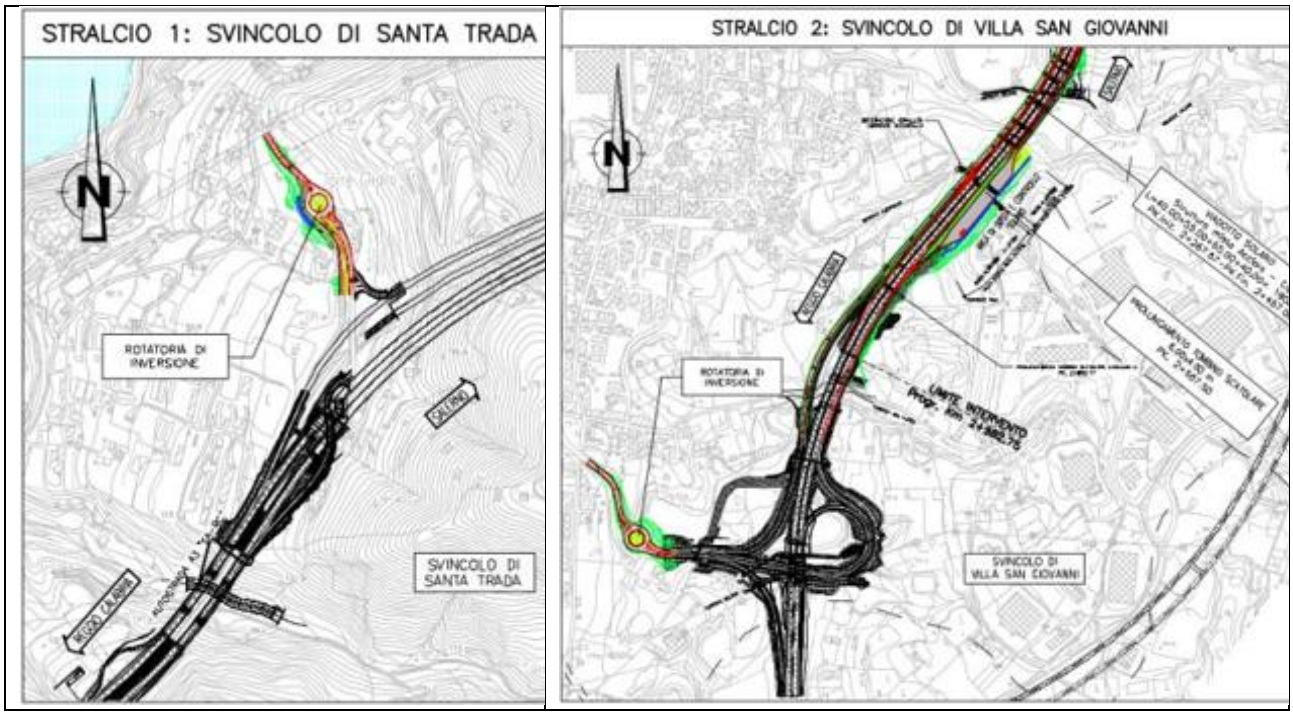


Figura 11-8.- Rotatorie di inversione presso gli svincoli di Santa Trada e Villa San Giovanni

11.1.1.2. Collegamenti ferroviari

Il collegamento ferroviario in corrispondenza del Versante Calabro *"si configura come un primo tratto del raccordo alla linea tirrenica esistente. […] Il collegamento presenta un assetto plano-altimetrico in grado di garantire sia la diramazione nord, in direzione Salerno, sia la diramazione sud, di raccordo con Reggio Calabria".*

L'infrastruttura ferroviaria progettata si presenta (v. Figura 11-9) per la quasi totalità in galleria naturale e per un breve tratto in galleria artificiale e a cielo aperto, risultando articolata in quattro rami:

- **Ramo 1**: avente direzione Messina; trattasi di binario dispari di connessione tra la linea storica Battipaglia – Reggio Calabria ed il nuovo Ponte sullo Stretto (di competenza **SdM** il tratto fra il nuovo Ponte e la progressiva km 2+200);
- **Ramo 2**: avente direzione Villa San Giovanni – Reggio Calabria; trattasi di binario pari di connessione tra il nuovo Ponte sullo Stretto e la linea storica Battipaglia – Reggio Calabria (di competenza **SdM** il tratto fra il nuovo Ponte e la progressiva km 2+200);
- **Ramo 5**: avente direzione Messina; trattasi di binario dispari di connessione tra la futura linea **AV/AC** nord, proveniente da Salerno ed il Ramo 1, quest'ultimo con direzione Messina per il nuovo Ponte sullo Stretto (di competenza **SdM** il tratto fra il raccordo con il Ramo 1 e la progressiva km 0+500);
- **Ramo 6**: avente direzione Salerno, trattasi di binario pari di connessione tra il Ramo 2 (direzione Villa San Giovanni – Reggio Calabria e il nuovo Ponte sullo Stretto) e la futura linea **AV/AC** nord (di competenza **SdM** il tratto fra il raccordo con il Ramo 2 e la progressiva km 0+366.131).

I collegamenti ferroviari del Ponte con la rete ferroviaria in Calabria sono rappresentati in Figura 11-9 e sono concepiti in modo che i due binari disposti sul Ponte possano collegarsi sia alla linea storica esistente lungo la costa, sia alla futura nuova linea **AV/AC** verso nord. Il completamento del collegamento alla rete nazionale esistente sulla sponda calabra avverrà per il tramite di un progetto infrastrutturale in corso di sviluppo da parte di **RFI** e già sottoposto all'esame di questo consesso. Il collegamento con la futura linea **AV/AC** verso Nord è una predisposizione verso una infrastruttura della quale, allo stato, non si hanno evidenze progettuali.

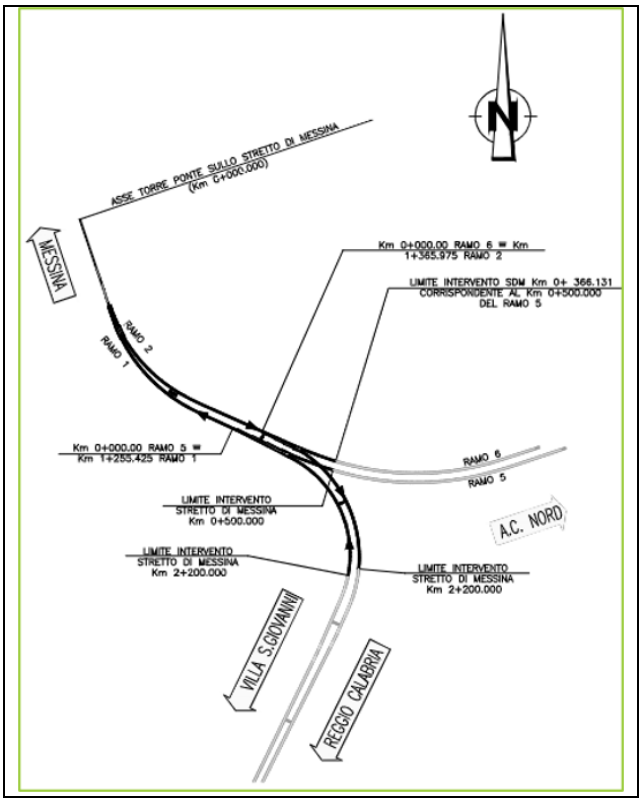


Figura 11-9.- Quadro d'unione dei collegamenti ferroviari lato Calabria

In Figura 11-10 è rappresentato un quadro d'insieme dei collegamenti ferroviari lato Calabria previsti nel progetto in esame (già rappresentati in Figura 11-9) ed evidenziati nel riquadro delimitato con linea tratteggiata rossa, e i due collegamenti a cui questi si connettono e, segnatamente:

- l'intervento denominato "*Opere ferroviarie di connessione al Ponte sullo Stretto di Messina. Sponda Calabra*" (**CUP**: J51G24000010001) di competenza **RFI,** necessario a completare il collegamento con la linea storica in esercizio (riquadro verde);
- l'intervento di realizzazione della nuova linea **AV/AC** Salerno-Reggio Calabria, anch'esso di competenza di **RFI** (riquadro viola).

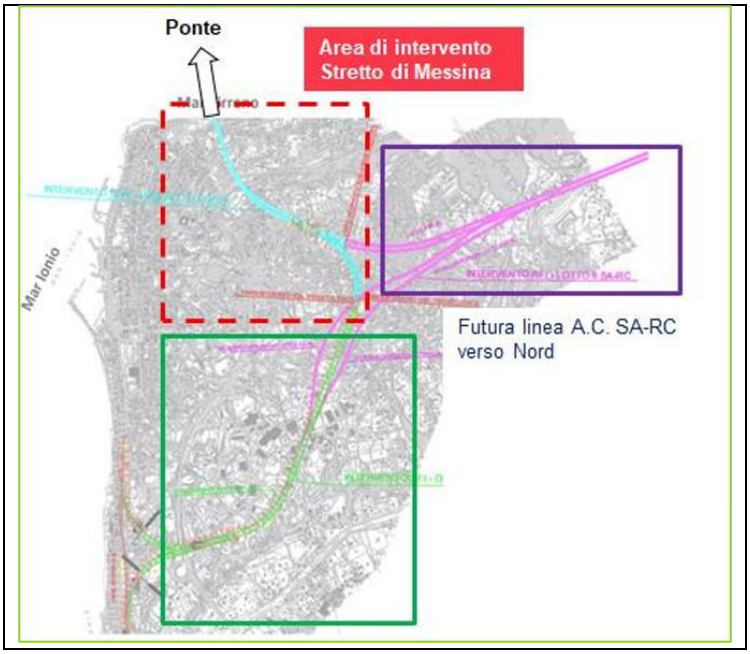


Figura 11-10.- Inquadramento degli interventi in progetto di competenza di **SdM**

In Figura 11-11 è rappresentato uno schema delle opere in progetto di competenza **RFI** (linee rosse) con i raccordi verso Villa S.G. e verso Reggio Calabria.

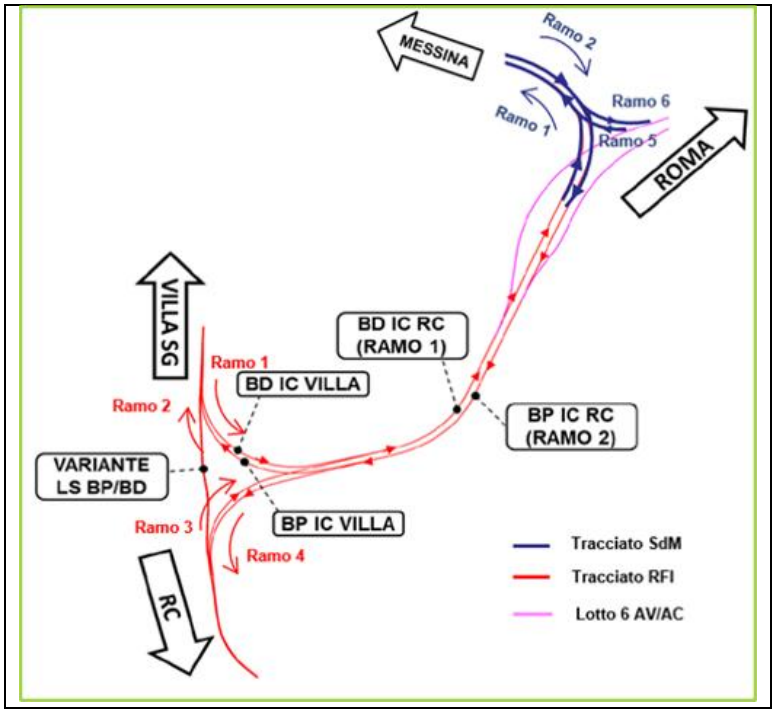


Figura 11-11.- Schema funzionale delle opere ferroviarie di connessione al Ponte, sponda Calabra in progetto

Il collegamento **GN** Bolano **BP** interconnessione con la linea storica Battipaglia Reggio-Calabria (verso la linea storica) riguarda l'interconnessione del **BD** e **BP** con la linea storica in esercizio ed è articolato in due tracciati sostanzialmente paralleli. Il progetto in esame non comprende le opere per il completamento dell'interconnessione ma solo i tratti dal Ponte al limite di intervento della **SdM**. Questi, sono realizzati tramite gli assi di progetto denominati "Ramo 1" per **BD** e "Ramo 2" per il **BP**. Il completamento del collegamento è oggetto di altro appalto denominato "Opere ferroviarie di connessione al Ponte sullo Stretto di Messina. Sponda Calabra".

Entrambi i Rami di competenza **SdM** hanno una lunghezza di 2.200m a partire dalla progressiva chilometrica Pk 0+000 (asse torre) e sono caratterizzati dalle seguenti velocità di progetto:

Ramo 1 (BD)	**Ramo 2 (BP)**
V= 120 km/h, dal km 0+000,000 al km 1+131,485;	V= 120 km/h, dal km 0+000,000 al km 1+107,113;
V= 100 km/h, dal km 1+131,485 a fine tracciato.	V= 100 km/h, dal km 1+107,113 a fine tracciato.

Il Ramo1 e il Ramo 2 hanno le stesse caratteristiche costruttive fino al termine della galleria artificiale a doppio binario Pk 0+582.000 da dove proseguono in galleria naturale a doppio fornice a singolo binario (galleria Bolano), per circa 1.618m fino al limite di intervento (v. Figura 11-12, SX).

In entrambe le gallerie naturali a doppio fornice si trova un camerone in cui si realizza lo "sfiocco" del binario verso la nuova linea **AV** Salerno – Reggio Calabria e, precisamente:

- per il Ramo 1 (**BD**) il camerone è lungo 275.00m (tra Pk 1+275 e Pk 1+550) e da esso si diparte il Ramo 5;
- per il Ramo 2 (**BP**) il camerone è lungo 188.28m (tra Pk 1+379.98 e Pk 1+568.26) e da esso si diparte il Ramo 6 (v. Figura 11-12 DX).

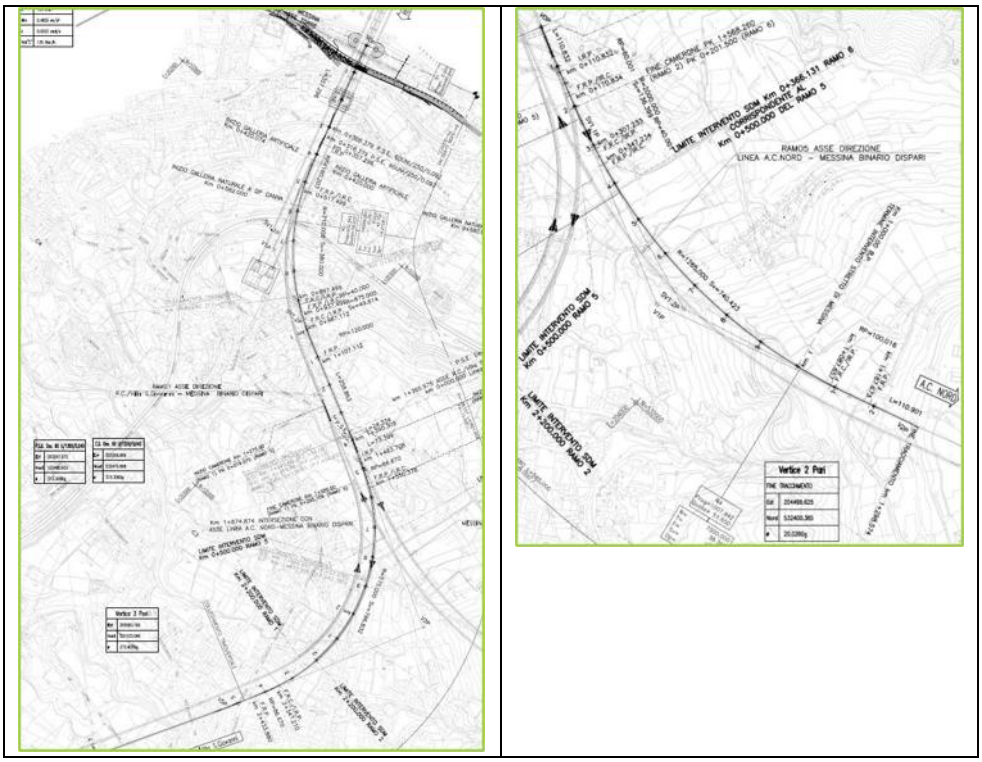


Figura 11-12.- Planimetria asse Ramo 2 (SX) e planimetria asse Ramo 6 (DX)

Il Collegamento **GN** Bolano **BD** interconnessione con la futura linea **AV/AC** Salerno-Reggio Calabria (verso il Ponte) riguarda l'interconnessione del **BD** con la linea **AV** Salerno-Reggio Calabria in progettazione, ed è realizzato tramite l'asse di progetto denominato "Ramo 5". Il Ramo 5 sfiocca dal Ramo 1 nel camerone alla Pk 1+275 del Ramo 1 (corrispondente a Pk 0+019,57 sul Ramo 5), rappresentato in Figura 11-13, per uno sviluppo di circa 1,5km (limite di intervento alla Pk 1+574,037) con cui avviene la connessione con il tracciato del **BD** di progetto della nuova linea **AV-AC** Salerno – Reggio Calabria in progettazione (anch'esso in galleria).

Figura 11-13.- Vista planimetrica del Ramo 5

Il Ramo 5 (v. Figura 11-13) è caratterizzato da Velocità di progetto V= 140 km/h per l'intero sviluppo. La sezione del Ramo 5 è sempre del tipo in galleria a singolo binario.

Il Collegamento **GN** Bolano **BP** interconnessione con la futura linea **AV-AC** Salerno-Reggio Calabria (verso la linea **AV-AC**) riguarda l'interconnessione del **BP** con la linea **AV** Salerno-Reggio Calabria in progettazione, ed è realizzato tramite l'asse di progetto denominato "Ramo 6" (v. Figura 11-11DX).

Il Ramo 6 sfiocca dal Ramo 2 nel camerone alla Pk 1+380 del Ramo 2 (corrispondente a Pk 0+014,00 sul Ramo 6) rappresentato in Figura 11-12,, per uno sviluppo di circa 1,3 km (limite di intervento alla Pk 1+298,574) con cui avviene la connessione con il tracciato del **BD** di progetto della nuova linea **AV-AC** Salerno – Reggio Calabria in progettazione (anch'esso in galleria).

11.1.2. Collegamenti lato Sicilia

I collegamenti lato Sicilia sono schematicamente indicati nella seguente Figura 11-14.

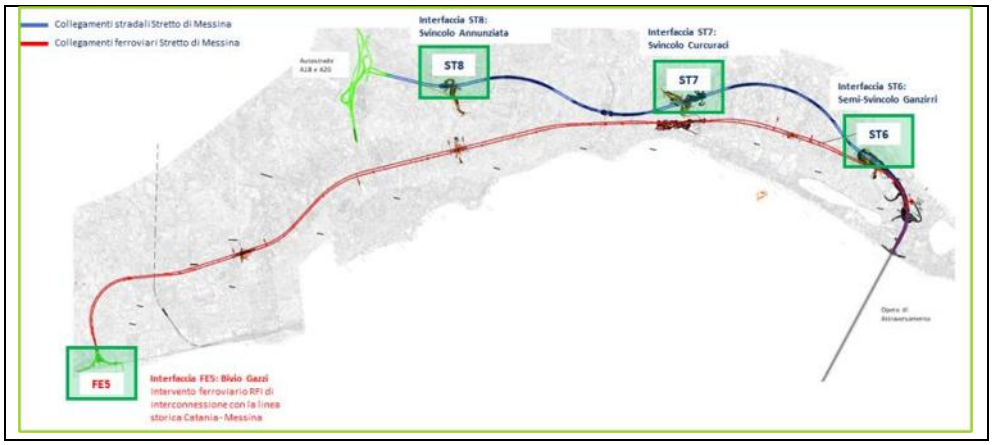


Figura 11-14.- Planimetria riassuntiva dei collegamenti stradali e ferroviari lato Sicilia

11.1.2.1. Collegamento stradale

Nella **RP** si descrivono le opere di collegamento stradali lato Sicilia quale *"configurazione funzionale del sistema di interconnessione [...] avente la finalità di collegare il nuovo Ponte sullo Stretto con il sistema autostradale esistente costituito dagli assi A18 (Messina – Catania) e A20 (Messina - Palermo); tale raccordo presenta l'intera giacitura nel Comune di Messina e un'estesa di circa 10,4 Km. Le località attraversate, proseguendo da nord-est in direzione sud-ovest, sono: Ganzirri, Faro Superiore, Curcuraci, Pace, S. Annunziata fino all'esistente Galleria "Serrazzo" sulla A20, in corrispondenza dello svincolo Giostra. Il tratto iniziale dell'intervento, concernente i collegamenti afferenti all'ambito siciliano, si attesta in corrispondenza dell'asse della Torre nord dell'opera di attraversamento, per poi estendersi in corrispondenza del viadotto "Pantano" per una lunghezza complessiva pari a circa 450 m [...]".*

Proseguendo in direzione Messina, in posizione anticipata rispetto all'imbocco della Galleria "Faro" (la cui lunghezza è di circa 3.370 m), trovano collocazione sia la Barriera di Esazione, contraddistinta da n. 11 porte, di cui n. 3 reversibili, sia il semi-svincolo di Ganzirri.

Proseguendo sempre in direzione sud-ovest, superata la galleria "Faro Superiore", si giunge allo svincolo autostradale di Curcuraci, da cui è possibile immettersi sulla viabilità locale raggiungendo la Città di Messina e, più in generale, gli agglomerati urbani diffusi nell'entroterra.

Il tracciato prosegue, superando l'orografia per mezzo della galleria "Balena" (avente uno sviluppo di circa 1200 m) e, poco oltre, il viadotto "Pace" (L=60m). Tra quest'ultima opera e lo Svincolo di S. Annunziata il tracciato si configura in sotterraneo mediante la percorrenza della galleria "le Fosse" (di sviluppo pari a circa 2.800 m).

Proseguendo oltre lo svincolo di S. Annunziata, l'asse devia in senso destrorso per conseguire il raccordo plano-altimetrico con il nuovo collegamento autostradale che consentirà il raccordo diretto tra lo svincolo di S. Annunziata stesso e lo Svincolo di Giostra (tale raccordo non è nella competenza di **SdM** ma di **ANAS**).

La sezione stradale adottata lungo l'asta autostradale è contraddistinta da due carreggiate, ciascuna con due corsie per senso di marcia caratterizzate da 3,75 m ciascuna, banchina in sinistra da 0.70 m e corsia di emergenza di larghezza minima 3,00m.

Collegamento Semi-Svincolo Ganzirri - Nei pressi del Viadotto Pantano è previsto un intervento sulla Strada Panoramica dello Stretto, che viene deviata e portata in affiancamento alla nuova infrastruttura.

Il semi-svincolo Ganzirri è realizzato in corrispondenza della barriera di esazione, per consentire le manovre di:

- accesso all'asse autostradale di progetto dalla Strada Panoramica dello Stretto verso Messina;
- uscita dall'asse autostradale di progetto con provenienza da Messina verso la Strada Panoramica dello Stretto.

In Figura 11-15 è rappresentata una vista planimetrica dello svincolo, con evidenziate le manovre possibili previste. Lo svincolo si compone di 5 assi consentendo tutte le manovre di ingresso e uscita dall'asse autostradale di progetto, nei due versi di marcia, ed il collegamento alla viabilità locale (Via Torrente Curcuraci-Guardia).

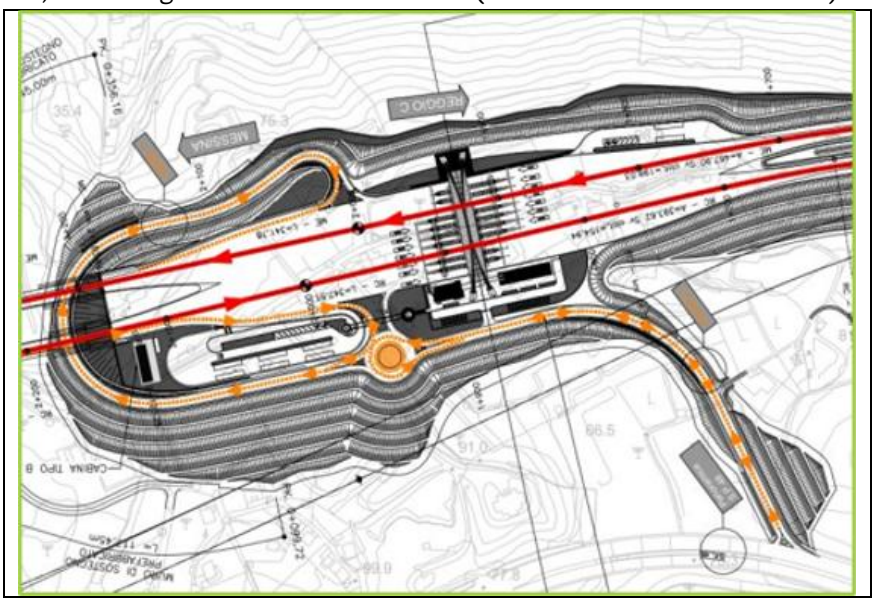


Figura 11-15.- Vista planimetrica del Semi-Svincolo Ganzirri

Collegamento Svincolo Curcuraci - Lo svincolo di Curcuraci si trova presso la Pk 5+700 dell'asse autostradale di progetto, nel tratto compreso tra le gallerie Faro Superiore e Balena. In Figura 11-16 sono forniti una rappresentazione planimetrica (SX) e lo schema (DX).

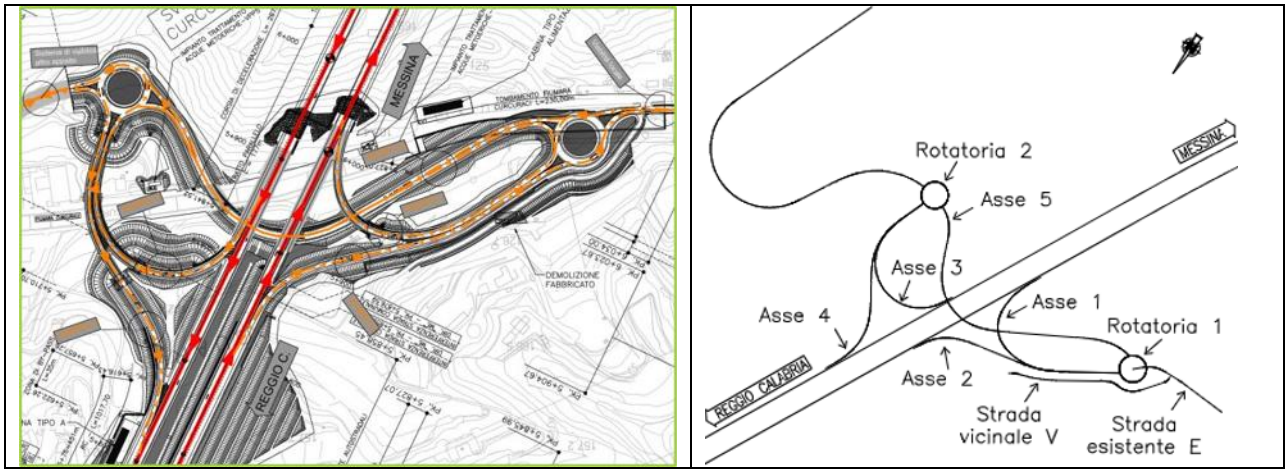


Figura 11-16.- Vista planimetrica svincolo Curcuraci (SX), schema svincolo Curcuraci (DX)

Collegamento Svincolo Annunziata - Lo svincolo di Annunziata si trova presso la Pk 10+200 dell'asse autostradale di progetto, nel tratto compreso tra la galleria Le Fosse ed il limite di intervento, coincidente con la galleria Serrazzo

di competenza **ANAS** (oggetto di diverso appalto). In Figura 11-17 sono forniti una rappresentazione planimetrica (SX) e lo schema (DX). Lo svincolo segue lo schema definito "a trombetta" e si compone di 3 assi.

Figura 11-17.- Vista planimetrica svincolo Annunziata (SX), schema svincolo Annunziata (DX)

11.1.2.2. Collegamenti ferroviari

L'infrastrutturazione del versante siciliano si completa con potenziamento degli attuali collegamenti ferroviari, al fine "di implementare l'offerta multimodale dell'area e migliorare la mobilità di persone e merci, nonché rafforzare l'intero sistema socioeconomico e produttivo regionale. Nell'ambito di queste azioni si annoverano collegamenti ferroviari per uno sviluppo complessivo pari a circa 17,5 Km".

Il collegamento dell'**Opera** con la rete ferroviaria in Sicilia avviene tramite un nuovo asse di progetto articolato secondo lo schema rappresentato in Figura 11-18 con sviluppo di circa 18km e tramite il quale i due binari disposti sull'**Opera** (**BD** – verso la Sicilia - **BP** – verso la Calabria) si collegano alla linea storica esistente tra Messina e Catania. Le progressive di entrambi i binari hanno origine in corrispondenza della Torre lato Sicilia dell'**Opera**.

Questo asse non si connette direttamente alla rete esistente, ma termina al limite d'intervento del progetto denominato "*Opere ferroviarie di connessione al Ponte sullo Stretto di Messina. Sponda Sicula*" (**CUP**: J61G24000030001) di competenza di **RFI**, necessario a completare il collegamento denominato FE3 con la linea storica in esercizio (evidenziato con riquadro in verde in Figura 11-18).

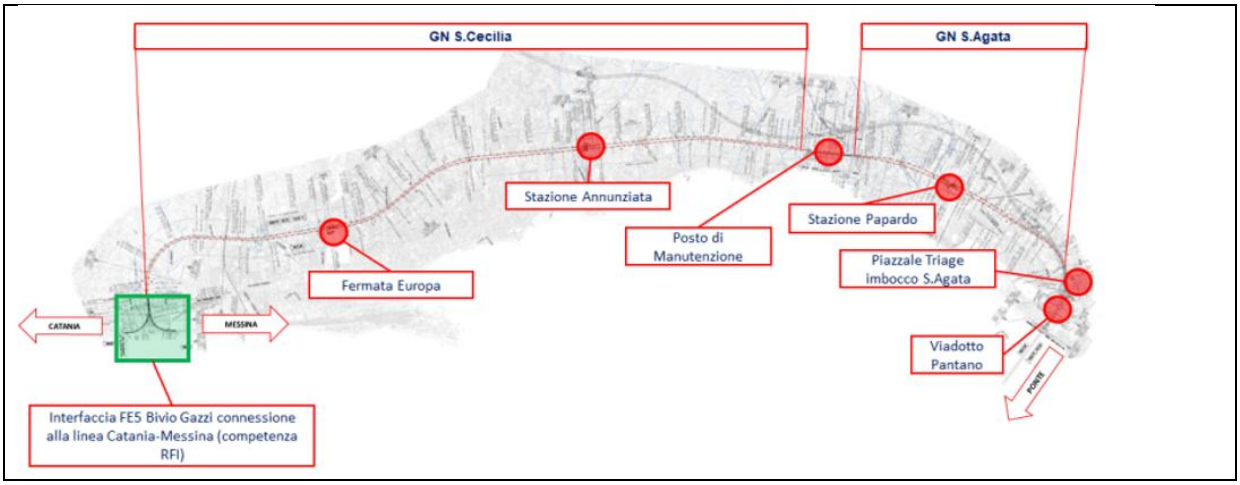


Figura 11-18.- Vista d'insieme dei collegamenti ferroviari lato Sicilia

Il progetto prevede l'adozione della sagoma limite degli ostacoli e delle sezioni tipo previste dal Manuale di Progettazione Opere Civili di **RFI** per le linee ferroviarie aventi velocità di tracciato <=200 km/h, con Gabarit C.

Il tracciato inizia dall'asse della torre sul versante siciliano corrispondente al km 0+000 di progetto. A seguito del Viadotto Pantano, alla progressiva km 0+963 il tracciato ferroviario prosegue in sotterraneo. L'asse di progetto comprende due gallerie principali (inclusi cameroni di imbocco):

- Galleria S. Agata, di 4.350 m di lunghezza;
- Galleria S. Cecilia, di 11.850 m di lunghezza.

Lungo il tracciato ferroviario sono previste n. 2 stazioni e una fermata, tutte in sotterraneo:

- "Stazione di Papardo, Km 3+401.60" con modulo 300 m e precedenza V= 60km/h;
- "Stazione Annunziata, Km 9+478.10" con modulo 300 m e precedenza V= 60km/h;
- "Fermata Europa, km 13+831.43" senza precedenze e modulo lungo 400m.

Planimetricamente i tracciati in galleria presentano una progressiva divaricazione dei due binari, finalizzata a garantire l'interasse necessario per la realizzazione del binario di precedenza nelle stazioni. La galleria di S. Cecilia termina in prossimità del nuovo Bivio di Gazzi al km 17+573,75, limite di competenza del progetto **SdM**. A livello di armamento il bivio Gazzi è in parte collocato all'interno della galleria artificiale.

Figura 11-19.- Schema funzionale delle opere di connessione al ponte, lato Sicilia

Le gallerie vengono realizzate mediante scavo meccanizzato utilizzando frese per ottenere una sezione circolare interna netta del diametro di 8,80m a singolo binario. L'interasse delle gallerie varia da 30 a 52 m.

In Figura 11-19 è indicato lo schema funzionale delle opere ferroviarie di connessione al Ponte sullo Stretto di Messina, sponda Sicula delle opere in progetto di competenza **RFI**.

11.2. Aspetti legati al quadro conoscitivo

11.2.1. Sismotettonica

Per una trattazione generale dell'argomento, e per i riferimenti alla **RP**, si rimanda al § 4 del presente parere.

Dai documenti del **PD** sono desumibili rilevanti informazioni su faglie le cui caratteristiche suggeriscono almeno potenziale attività e capacità. Al proposito, particolarmente significativi sono gli elaborati cartografici, soprattutto [PB0005_FO], [PB0015_FO] e [PB0016_FO], nel seguito commentati. Nel presente § si valuteranno altresì alcuni passaggi dalla "Relazione geologica generale" [PB0004_FO] e dalla "*Geosismotettonica – Relazione Generale*" [PB0021_FO].

Il capitolo 7 della [PB0004_FO] fornisce indicazioni su faglie attive e capaci; a p. 60, infatti, si fa riferimento a faglie "*nella zona alta dell'Annunziata*", al margine del settore peloritano, con direzione NNE-SSW (Figura 11-20). Il redattore osserva: "*l'attività poi ha proseguito nel Pliocene-Quaternario, in quanto anche le Calcareniti di S. Corrado e le*

Ghiaie e Sabbie di Messina soprastanti sono interessate dalla faglia con un rigetto non trascurabile". Il passaggio è, con qualche variazione, riscontrabile anche nell'elaborato [PB0021_FO], a p. 169.

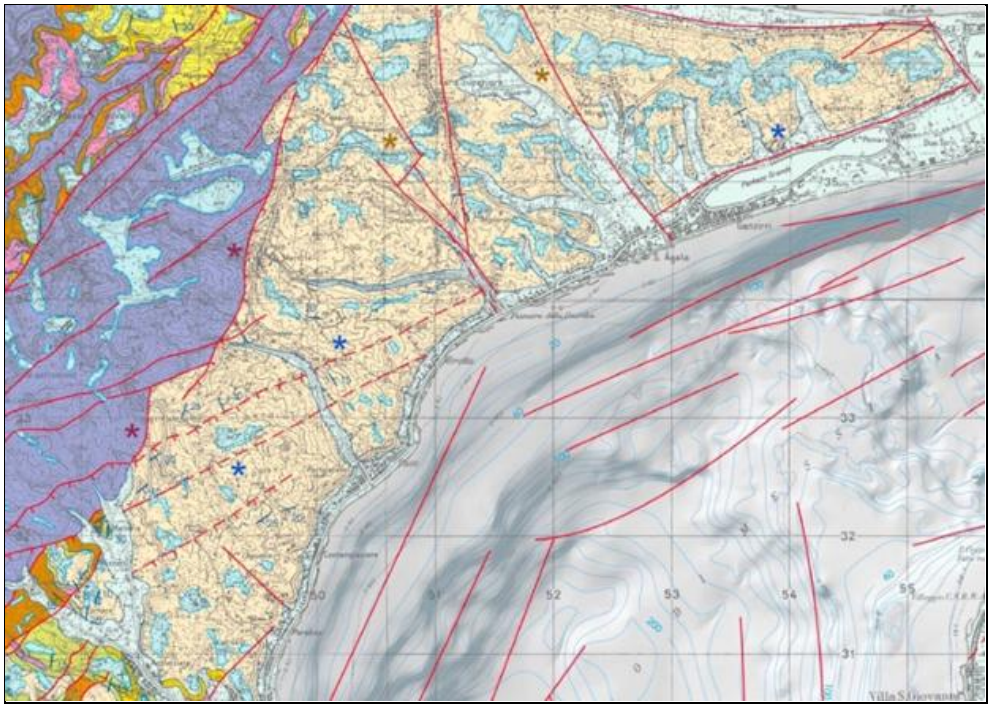


Figura 11-20.- Planimetria e profilo geologici in corrispondenza dell'attraversamento [PB0005_FO] lato Sicilia

Nella Figura 11-20Figura 11-20 gli asterischi rossi indicano l'emergenza di piani di faglia con direzione NNE-SSW (citati in [PB0004_FO]) che pongono a contatto il basamento metamorfico (viola) con le Ghiaie e Sabbie di Messina (ocra chiaro). Gli asterischi blu evidenziano le faglie con direzione ENE-WSW citate in [PB0004_FO]. Gli asterischi di colore marrone indicano le faglie con direzione NNW-SSE che interessano le Ghiaie e Sabbie di Messina.

Ricordando l'attribuzione delle Ghiaie e Sabbie di Messina al Pleistocene medio (anche finale), in base ai criteri adottati nelle Linee Guida **FAC**, le faglie in questione dovrebbero essere considerate potenzialmente attive e capaci, quindi soggette a ulteriori indagini (geologiche, geofisiche, paleo-sismologiche) al fine di comprenderne consistenza e caratteristiche.

Alle pagg. 60-61 di [PB0004_FO] si fa riferimento alle faglie con direzione ENE-WSW ("*Sistema di Scilla*") che si rinvengono nell'area dell'attraversamento, tra la zona della fiumara Pace e Torre Faro sul lato Sicilia (Figura 11-20) e tra Punta Pezzo e Porticello sul lato Calabria. Sull'attività di questo sistema di faglie si osserva: "*esso disloca le Ghiaie e Sabbie di Messina del Pleistocene medio e sembra avere anche un importante ruolo nel controllo del drenaggio fluviale, come si evince dal decorso delle fiumare calabresi nella zona di Reggio*". La dislocazione delle Ghiaie e Sabbie di Messina, piuttosto che il debole indizio sul controllo del drenaggio fluviale, permetterebbe di considerare queste faglie come potenzialmente attive e capaci, sempre secondo i criteri delle Linee Guida **FAC**.

A p. 62, si cita "*un ulteriore sistema di faglie» sul lato Sicilia (…* Figura 11-20*), con direzione NNW-SSE, ma «ipotizzabile (…) su basi geomorfologiche*", cioè l'analisi dell'andamento del reticolo fluviale tra Faro Superiore e la valle del Papardo. Pur constatando la base fortemente indiziaria di questa evidenza, le faglie in questione, poiché dislocherebbero le Ghiaie e Sabbie di Messina, sarebbero da considerarsi potenzialmente attive e capaci, secondo le Linee Guida **FAC**.

Le varie evidenze sopra citate sono anche riassunte a p.172 dell'elaborato [PB0021_FO]. Le faglie con direzione NNE-SSW e circa NNW-SSE di [PB0005_FO] (asterischi rossi e marroni in Figura 11-20) sono altresì tracciate, con variazioni, nella "Carta di confronto tra elementi morfotettonici tratti dal progetto preliminare e dal progetto definitivo" ([PB0018_FO]; in parte riprodotta, con ampliamento a sud di Messina, nella figura 5.10, p. 173 dell'elaborato [PB0021_FO]) (Figura 11-21).

In [PB0018_FO] sono assenti le faglie con direzione ENE-WSW riportate in tratteggio su [PB0005_FO], ma non quella al margine settentrionale del Pantano Grande, presente anche nella "*Carta geologica Sicilia*" [PB0016_FO] e nella "*Carta di sintesi degli elementi morfotettonici relativa alle aree di imposta ed al transetto dell'opera di attraversamento*" [PB0020_FO].

In Figura 11-21 le linee rosse rappresentano "Faglie_terra_Progetto_Definitivo". Si notino le differenze con [PB0005_FO] di cui alla Figura 11-20. Le linee rosse rappresenterebbero, secondo i criteri delle Linee Guida **FAC**, delle faglie potenzialmente attive e capaci. Entrambe le carte [PB0005_FO] e [PB0018_FO] riportano altresì faglie (direzione NE-SW), con significative variazioni tra un documento e l'altro, che interessano il territorio a ridosso dell'area urbana di Messina (Figura 11-22).

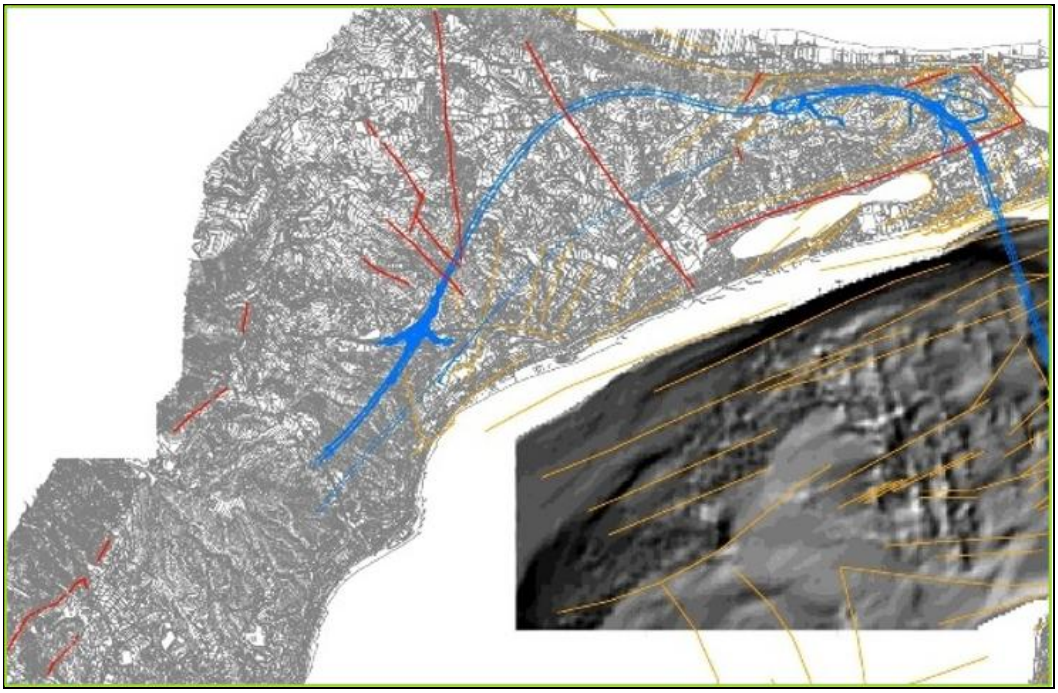


Figura 11-21.- Carta di confronto tra elementi morfotettonici tratti dal **PP** e dal **PD** [PB0018_FO]

Alcune di queste sembrano interessare le Ghiaie e Sabbie di Messina e pertanto sarebbero da considerarsi potenzialmente attive e capaci. Data la possibile interazione con le opere ferroviarie, si tratterebbe di faglie per le quali sarebbero auspicabili approfondimenti mediante nuove indagini geologiche e geofisiche.

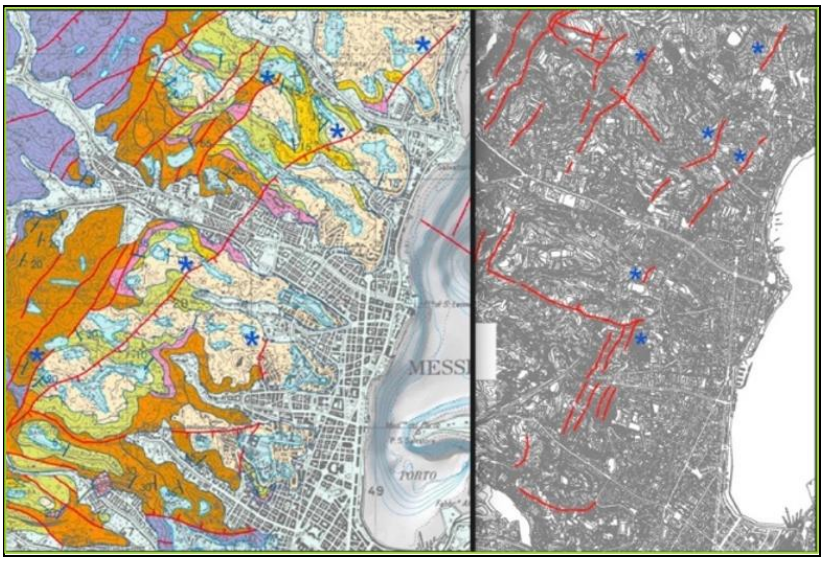


Figura 11-22.- Faglie NE-SW nella zona di Messina, elaborati [PB0005_FO] (SX) e [PB0018_FO] (DX).

Un ulteriore aspetto che rende tali approfondimenti necessari è rappresentato dalle citate differenze di tracciamento riscontrabili nei due documenti (v. Figura 11-22, SX e DX).

In Figura 11-22 gli asterischi evidenziano faglie o sezioni di faglie per le quali si potrebbe ipotizzare un coinvolgimento delle Ghiaie e Sabbie di Messina (nel caso del documento di destra, sulla base del confronto con l'informazione geologica contenuta nel documento di sinistra). La presenza di faglie potenzialmente attive e capaci in questa zona si evince anche dall'elaborato [PB0021_FO], nel quale, la figura 5.8 (p. 170) riproduce una parte della Carta Geologica allegata al **PD** in cui sono tracciate faglie che dislocano le Ghiaie e Sabbie di Messina nella zona di Annunziata (al limite settentrionale delle carte in Figura 11-22) – faglie di cui si dirà oltre, in relazione alla lettura di più recenti elaborati.

Per quanto concerne il lato Calabria, si osserva che nella carta geologica [PB0005_FO] alcune faglie (zona di Piale, Musalà, Acciarello) sono riportate con il tratto continuo (asterischi blu in Figura 11-23). Il rapporto con le unità stratigrafiche rappresentate (es. Ghiaie e Sabbie di Messina, ma anche sedimenti più recenti) suggerisce che siano da considerarsi potenzialmente attive e capaci, seguendo i criteri proposti nelle Linee Guida **FAC**. Lo schema riprende quanto pubblicato in Guarnieri et al. (2004).

Della faglia di Pezzo (asterisco giallo in Figura 11-23) pure di interesse per le opere di collegamento, si tratta nel dettaglio nel § 4 del presente parere. Dalla discussione basata sulle informazioni disponibili emerge la non univocità dell'interpretazione in riferimento all'attività e alla capacità.

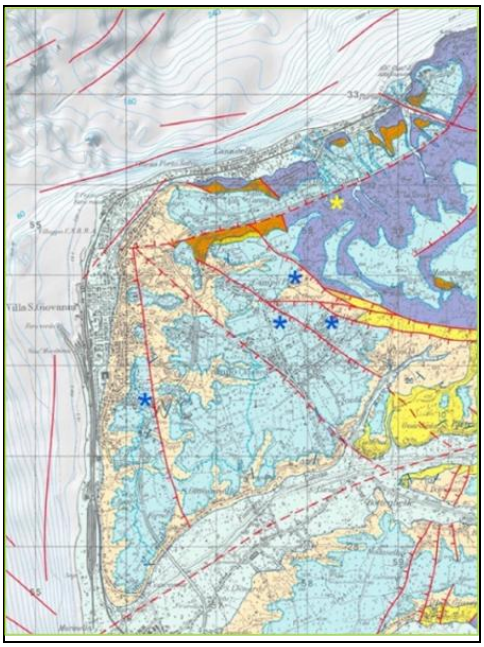


Figura 11-23.- Planimetria e profilo geologici sull'attraversamento lato Calabria [PB0005_FO]

In Figura 11-23 gli asterischi blu indicano le faglie della zona Piale-Musalà-Acciarello che interessano le Ghiaie e Sabbie di Messina e sedimenti più recenti (dal Pleistocene medio in poi). L'asterisco giallo indica la faglia di Pezzo.

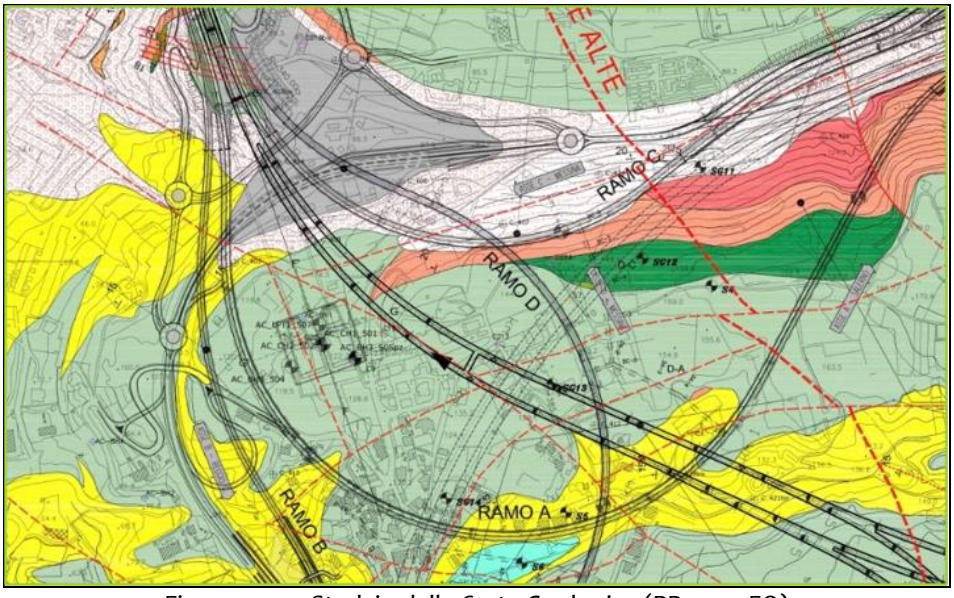


Figura 11-24.- Stralcio dalla Carta Geologica (PB0015_FO)

Nella carta geologica [PB0015_FO] lato Calabria di Figura 11-24, le varie faglie sono riportate in tratteggio e quindi considerate "sepolte", in base a quanto specificato nella legenda dell'elaborato. Nella maggior parte dei casi, queste sarebbero sigillate da depositi del Pleistocene medio-superiore, condizione che suggerisce inattività e non capacità. Si tratta di aspetto di particolare rilevanza, considerata l'evidente interazione delle varie faglie con le opere di collegamento nella zona di Campo Piale.

Lo schema dei rapporti stratigrafici rinvenibile nella [PB0021_FO] mostra faglie normali "sigillate" da unità stratigrafiche anche più antiche delle Ghiaie e Sabbie di Messina (Pleistocene medio). Queste, invece, appaiono interessate da dislocazioni, nella sezione geologica in calce alla mappa [PB0005_FO], oltre che per quanto desumibile dalla stessa planimetria [PB0005_FO] e rappresentato nelle carte [PB0016_FO], [PB0018_FO] e [PB0020_FO].

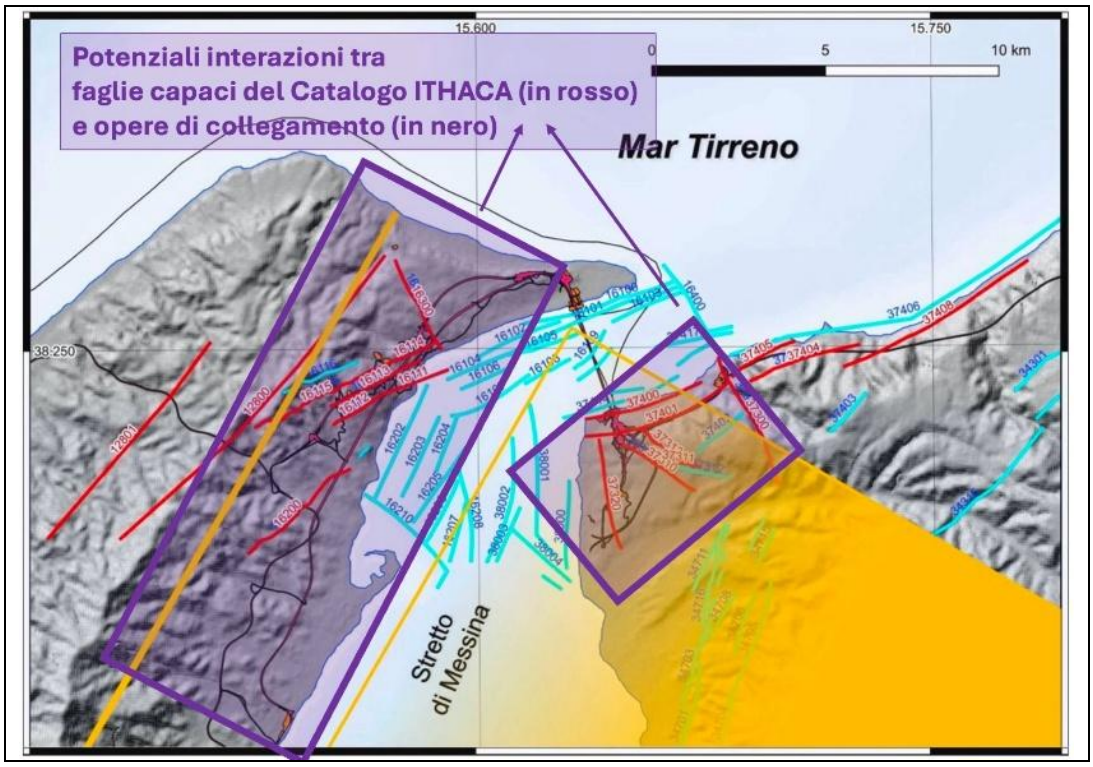


Figura 11-25.– Da Risposta 02 GST: in rosso, sono definite le faglie a terra desunte dal Catalogo ITHACA.

Per quanto riguarda l'aggiornamento del **PD**, al potenziale modesto apporto del quadro bibliografico (di cui si discute nel § 4 del presente parere) va aggiunto l'approfondimento delle conoscenze apportate dai documenti redatti nell'ambito della **CTVA** tra cui la relazione [AMW3000] "*Suolo e sottosuolo: aggiornamenti sulle pericolosità geologiche e idrogeologiche*" (2024), che valuta la consistenza delle 24 faglie attive e capaci, d'interesse per le varie opere, incluse nel Catalogo ITHACA (Figura 11-25). Il documento in questione, redatto in riscontro alle richieste formulate nella **VIA** dal **MASE**, è discusso in dettaglio nel citato capitolo "Modellazione geologica e sismotettonica". In relazione al rapporto tra faglie attive e capaci e opere di collegamento, in questa sede sembra opportuno ricordare le conclusioni di [AMW3000] (p. 40): "*che queste faglie – o quantomeno alcune di esse – siano attive e potenzialmente capaci resta comunque plausibile, anche alla luce dei dati geofisici […], della modellazione analogica […] e della analogia con altre aree tettonicamente attive*".

Lo schema della Figura 11-25 consente di individuare le zone di interazione tra le faglie e le opere di collegamento tracciate con il colore nero.

Entrando nel dettaglio di quanto proposto nello stesso ambito di riscontri alle richieste della **CTVA**, è opportuno citare, per il lato Calabria, la Carta Geologica [AMW3008]. L'elaborato in questione, in continuità con quanto prodotto nel 2011 (cioè con [PB0015_FO], ma non con [PB0005_FO]), riporta in tratteggio le faglie di interesse per le opere di collegamento. Anche in questo caso, alle linee tratteggiate si attribuisce il significato di "faglie sepolte", quindi inattive e non capaci.

Altro elaborato del 2024, la Carta Geomorfologica [AMW3001], fornisce indicazioni diverse, poiché le faglie riportate col tratteggio in [AMW3008], sono qui presentate col tratto continuo, cui si attribuisce il significato di "faglia certa". Trattandosi di carta geomorfologica, sarebbe stato opportuno chiarire se le evidenze in superficie delle varie faglie siano di tipo "passivo" (es. morfoselezione, ma ciò presuppone che le faglie non siano "sepolte" come invece rappresentato nella [AMW3008] e, nel 2011, in [PB0015_FO]) o siano effetto del contributo all'evoluzione di forme del paesaggio (es. formazione di scarpate, condizionamento del reticolo idrografico, dislocazione delle "volate" di terrazzi, …), quindi emergano in superficie anche per la loro attività recente. In questo secondo caso, poiché le evidenze geomorfologiche sarebbero relative a forme individuabili su sedimenti del Pleistocene medio-superiore, le

varie faglie dovrebbero essere considerate come potenzialmente attive e capaci, la cui consistenza e caratteristiche dovrebbero essere chiarite con indagini ad hoc.

L'importanza di tale approfondimento risiede nell'evidente interazione delle varie linee a tratto continuo riportate in [AMW3001] con le opere di collegamento (v. Figura 11-26, dove le ellissi e cerchi rossi forniscono un'indicazione approssimata delle aree di interazione).

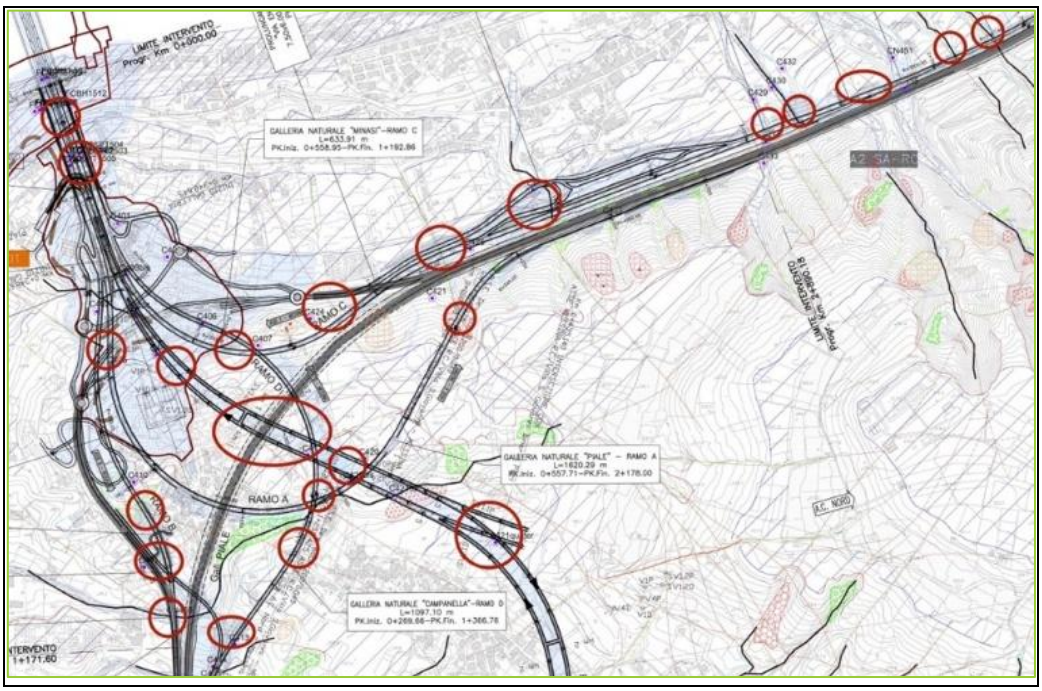


Figura 11-26.- Da "Carta Geomorfologica Calabria" [AMW3001] con le possibili interazioni

Per il lato Sicilia, di particolare importanza sono le Carte Geologiche, divise in quattro tavole, redatte alla scala 1:5000, [AMW2608] (o l'equivalente SBW0074), [AMW2609] (SBW0075), [AMW2610] (SBW0076) e [AMW2611] (SBW0077).

La prima conferma quanto riportato nella carta geologica del **PD**, [PB0016_FO], alla scala 1:2000, con le faglie della zona Pantano Grande-Pantano Piccolo. Si tratta di informazioni di interesse soprattutto per l'ancoraggio sul lato Sicilia e per il viadotto Pantano, di cui si discute nel **§ 4**.

La carta [AMW2609] di Figura 11-27, riporta le faglie con direzione da NNW-SSE a N-S della zona di Faro Superiore-Curcuraci, con andamento minimamente diverso rispetto a quanto proposto in [PB0005_FO] (del 2011), ma simile al contenuto della [PB0018_FO]. Si tratta comunque di faglie che, in base a quanto leggibile sulla carta in questione, interessano le Ghiaie e Sabbie di Messina e pertanto andrebbero considerate almeno potenzialmente attive e capaci.

In Figura 11-27 i cerchi rossi evidenziano le intersezioni tra le faglie che interessano le Ghiaie e Sabbie di Messina (e sedimenti più recenti) e le opere (stradali e ferroviarie); l'importanza della determinazione di consistenza e caratteristiche è dovuta alle evidenti interazioni (v. Figura 11-27).

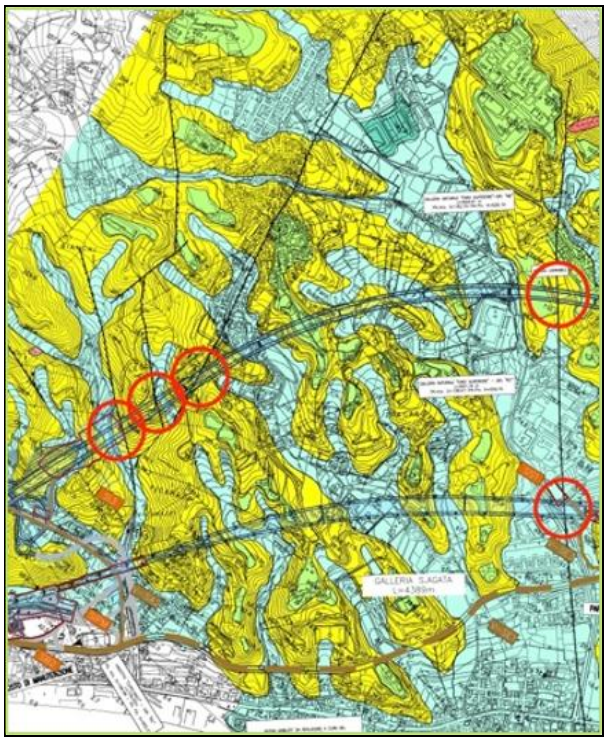


Figura 11-27.- Stralcio da "Sicilia - Carta Geologica – tav. 2/4" [AMW2609]

Anche la carta [AMW2610] di Figura 11-28 riporta faglie che dislocano le Ghiaie e Sabbie di Messina (settore Svincolo Annunziata-Annunziata-Fiumara San Leone), che, pertanto, dovrebbero essere considerate potenzialmente attive e capaci. Cerchi ed ellissi blu evidenziano possibili interazioni di faglie che interessano le Ghiaie e Sabbie di Messina con le opere (stradali e ferroviarie).

Peraltro, rispetto a quanto contenuto in [AMW2609], l'evidenza della dislocazione in [AMW2610] risulta più chiara in ragione dell'andamento dei limiti geologici delle varie unità stratigrafiche. In questo caso, si nota la prossimità di alcune delle faglie tracciate alle opere stradali e ferroviarie (v. Figura 11-28).

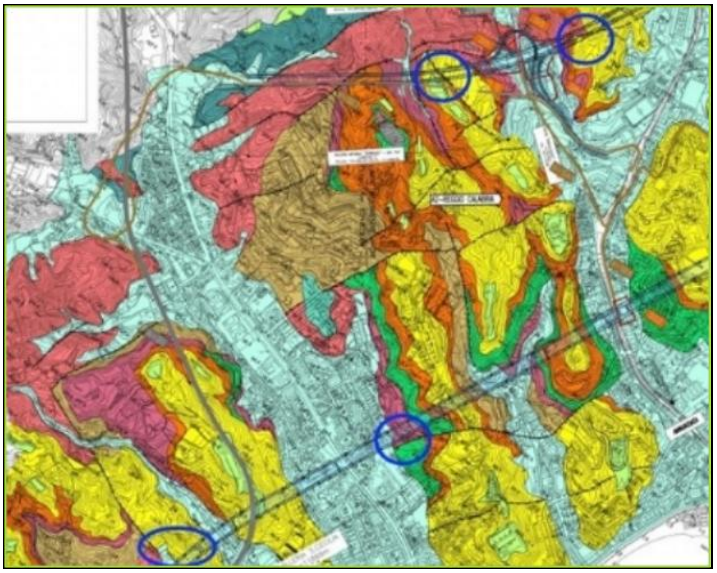


Figura 11-28.- Estratto da "Sicilia - Carta Geologica – tav. 3/4" [AMW2610]

Evidenze di dislocazioni post Ghiaie e Sabbie di Messina (e anche sedimenti più recenti) emergono anche nella carta geologica [AMW2611], nella zona a SW della fermata Europa fino quasi al Bivio Gazzi. Anche in questo caso, si tratta di faglie che dovrebbero essere considerate potenzialmente attive e capaci e che per la prossimità o intersezione

con l'opera ferroviaria (… Figura 11-29) necessiterebbero di approfondimenti mediante nuove indagini al fine di definirne consistenza e caratteristiche.

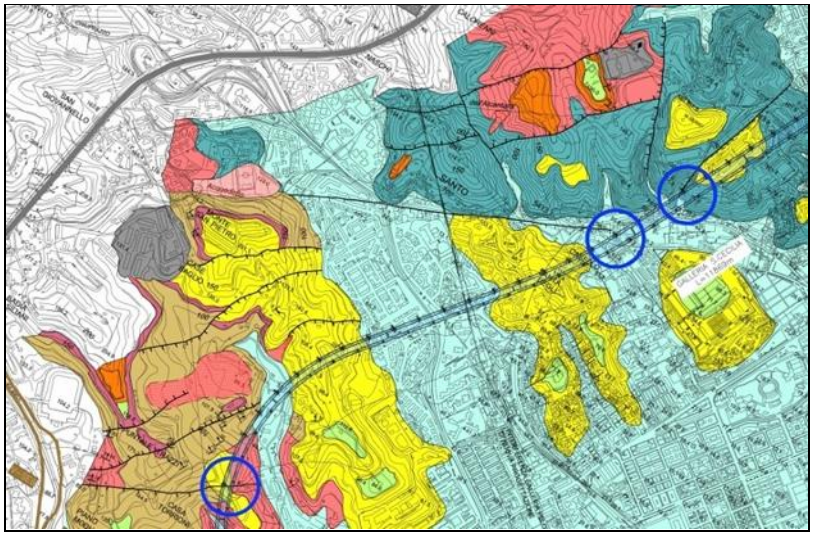


Figura 11-29.- Estratto da "Sicilia - Carta Geologica – tav. 4/4" [AMW2611]

In Figura 11-29 i cerchi blu evidenziano intersezioni o prossimità con l'opera ferroviaria di faglie che interessano le Ghiaie e Sabbie di Messina.

Nel complesso, le carte geologiche [AMW2608], [AMW2609], [AMW2610] e [AMW2611] riportano faglie che, in base a quanto mostrato dagli stessi documenti, dovrebbero essere considerate potenzialmente attive e capaci, adottando i criteri delle Linee Guida **FAC**.

Si tratta, quindi, di elementi geologici per i quali la definizione di consistenza e caratteristiche necessiterebbe di ulteriori indagini di terreno, mediante rilevamenti geologici, prospezioni geofisiche e scavi geognostici in prospettiva paleosismologica.

11.2.1.1. Le faglie attive nelle microzonazioni sismiche in relazione alle opere di collegamento

Si fa qui riferimento ai contenuti di quattro documenti redatti nel 2024 in relazione alle richieste della **CTVA**: la "*Carta di microzonazione Calabria-Comune di Villa San Giovanni (con sovrapposizione opere e cantieri)*" [AMW3010]; la "*Carta di microzonazione Calabria-Comune di Campo Calabro (con sovrapposizione opere e cantieri)*" [AMW3011]; gli elaborati "*Carta di microzonazione Sicilia – Comune di Messina (con sovrapposizione opere e cantiere) – tav.3/4*" e "*Carta… idem tav. 2/4*" [AMW2614] e [AMW2613]). Per una discussione generale sulle caratteristiche delle rappresentazioni delle faglie attive e capaci nelle **MZS** e sulla consistenza dei dati rappresentati nelle sintesi cartografiche, si rimanda al § 4 del presente parere.

In rapporto alla zona di maggiore interesse per le opere di collegamento sul lato Calabria, la geometria di molte delle "Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci" tracciate in [AMW3010] (… Figura 11-30) rispecchia quanto riportato in [AMW3001] e sembra confermare la presenza di faglie attive e capaci – presenza che invece si tenderebbe ad escludere con la lettura delle citate mappe [PB0015_FO] e [AMW3008]. Le caratteristiche grafiche delle suddette "Aree interessate ecc." rendono facilmente intuibile il rapporto tra faglie attive e capaci e opere di collegamento. Da notare che se in [AMW3001] le faglie potrebbero definirsi potenzialmente attive e capaci, le stesse, in [AMW3010], sono definibili come attive e capaci.

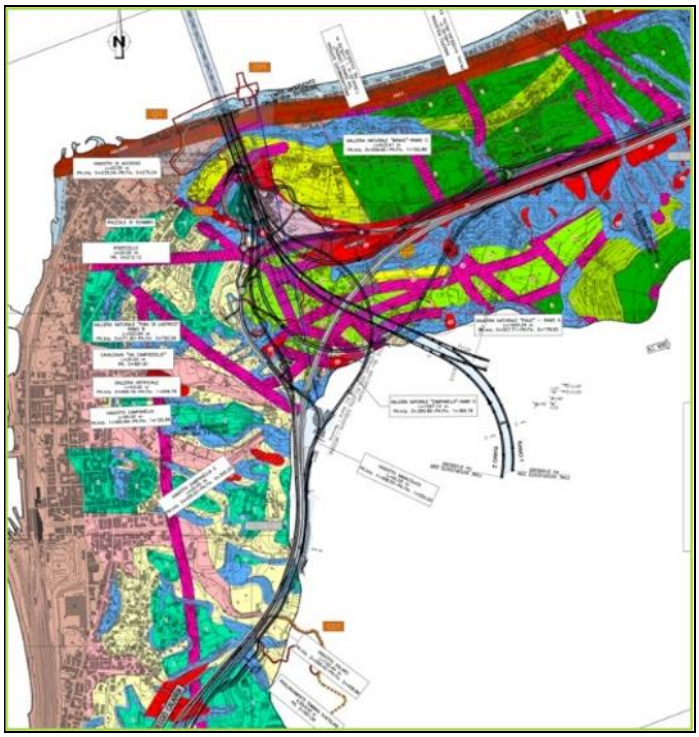


Figura 11-30.- Stralcio dalla "Carta di microzonazione Calabria-Comune di Villa San Giovanni" [AMW3010]

In Figura 11-30 le aree allungate, in colore fucsia, definiscono "Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci"

Nell'elaborato [AMW3011] di Figura 11-31, la considerevole ampiezza della "Zona di attenzione per faglia attiva e capace" (colore fucsia) comporta che opere come la galleria Campanella e i viadotti Immacolata e Campanella siano previste nel suddetto ambito areale di **ZAFAC** – ambito areale per il quale le stesse Linee Guida **FAC** suggeriscono indagini tipiche del livello 3, volte a definire consistenza e geometria delle eventuali faglie attive e capaci.

Figura 11-31.- Stralcio da "Carta microzonazione Calabria-Comune di Campo Calabro" [AMW3011]

Per quanto riguarda il lato Sicilia, sulle due tavole (2/4 e 3/4) [AMW2613] e [AMW2614], sono tracciate delle "Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci" che intersecano le opere stradali e ferroviarie in diversi punti (colore fucsia in Figura 11-32).

Per quanto concerne le prime: il tratto prossimo allo svincolo Curcuraci della galleria Faro Superiore, le gallerie Balena e Le Fosse e il viadotto Pace. Per quanto riguarda le opere ferroviarie, le intersezioni riguardano il tratto

terminale della galleria Sant'Agata e quello iniziale della galleria Santa Cecilia, a ridosso del posto di manutenzione, nonché il posto di manutenzione stesso.

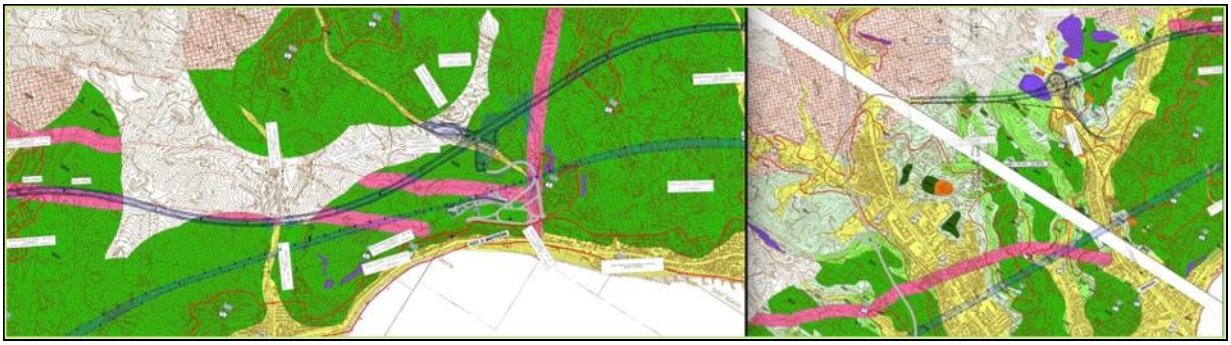


Figura 11-32.- Estratti da "Carte microzonazione Sicilia–Comune di Messina" [AMW2613] (SX), [AMW2614] (DX).

11.2.1.2. Interazioni tra faglie attive e capaci o potenzialmente attive e capaci e opere di collegamento

Per il lato Calabria, come visto, i vari documenti geologici del **PD** e gli aggiornamenti **VIA-VAS** 2024 evidenziano inattività e non capacità delle varie faglie. Questa conclusione non sembra però potersi attribuire con chiarezza alla faglia di Pezzo la cui emergenza sarebbe da porsi a ridosso dei viadotti Gibia, Laticogna, Prestianni, Piria, Zagarella e Polistena, nonché dell'area di sosta e controllo Zagarella. La potenziale interazione riguarda, oltre che le citate opere, i collegamenti **ST3** e **ST5**. Per quanto concerne i possibili effetti, va comunque osservato che la faglia di Pezzo avrebbe andamento più o meno parallelo alle strutture da realizzarsi; quindi, l'eventuale dislocazione verticale del suolo in corrispondenza del piano (o dei piani) di taglio potrebbe non essere particolarmente significativa in relazione al costruito. Tuttavia, questa valutazione non riguarderebbe deformazioni dovute a puntuali complessità geometriche della faglia o eventuali fenomeni di rotazione nel blocco di tetto della stessa.

Diverso è il quadro che emerge dalle microzonazioni sismiche dei territori comunali di Villa San Giovanni e Campo Calabro, che, come atteso da **MZS** di livello 1, sintetizzano le incertezze conoscitive, oltre che in relazione alle faglie sopra citate, anche per quelle del settore Piale-Musalà-Acciarello. Le "Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci" (in AMW3010) e la "Zona di attenzione per faglia attiva e capace" (in [AMW3011]) presentano molteplici interazioni con le varie opere stradali e ferroviarie del settore richiamato, nonché con i collegamenti **ST1, ST2, ST4** e **FE1, FE2, FE3** e **FE4**, sia nel settore di Campo Piale che nel territorio a sud di questo.

Per il lato Sicilia, le faglie tracciate nelle Carte Geologiche [AMW 2608, 2609, 2610 e 2611] (aggiornamento 2024 che, per quanto riguarda la zona di Ganzirri, conferma il contenuto della carta [PB0016_FO] del **PD**) intersecano le opere previste in vari punti, o sono ad esse prossime. In particolare, si fa riferimento alle gallerie stradali Faro Superiore, Le Fosse e Serrazzo, allo svincolo Annunziata **ST8**, nonché alle gallerie ferroviarie Sant'Agata e Santa Cecilia.

Diverso è il quadro che emerge da due tavole [AMW2613] e [AMW2614], poiché le "Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci" hanno geometria differente da quella delle faglie riportate nelle citate carte geologiche. A ogni modo, le "aree" in questione interessano sia le opere stradali (gallerie Faro Superiore, Balena, Le Fosse e il viadotto Pace) che quelle ferroviarie (tratto terminale della galleria Sant'Agata, tratto iniziale della galleria Santa Cecilia, a ridosso del posto di manutenzione, nonché lo stesso posto di manutenzione).

11.2.1.3. Le faglie attive e capaci e le opere di collegamento: conclusioni

Quanto rappresentato nelle pagine precedenti illustra la non trascurabile articolazione delle conoscenze sulle faglie attive e capaci nelle opere interessate dalle opere di collegamento; evidenzia altresì il carattere non conclusivo e spesso non uniforme delle informazioni disponibili, sia per la sponda calabrese, che per quella siciliana.

Vari aspetti geologici definiti nel **PD** e negli aggiornamenti del 2024 suggeriscono (o non consentono di escludere) che le faglie rappresentate siano da considerarsi potenzialmente attive e capaci, volendo adottare i criteri definiti

nelle "*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)",* che ormai rappresentano un riferimento costante per gli studi in materia.

L'importanza di una completa caratterizzazione di questi elementi geologici si deve alle loro molteplici interazioni con le varie opere di collegamento, come osservato nel precedente paragrafo, e al potenziale danno che comporterebbe l'improvvisa dislocazione della superficie del suolo.

La **RP** prevede "*approfondimenti del quadro di riferimento sismo-tettonico e geodinamico […] basati sulla revisione della letteratura scientifica e sugli aggiornamenti delle banche-dati pertinenti per il periodo 2010-2023*". Tuttavia, l'analisi bibliografica e la lettura del Catalogo ITHACA, per le ragioni soprattutto esposte nel § 4 del presente parere, non consentono di apprezzare la completa efficacia della procedura proposta.

Si può altresì notare che il proponente ha già espresso l'intenzione di procedere alla realizzazione di nuove indagini geofisiche e geognostiche in prospettiva paleosismologica in relazione alla faglia di Cannitello, di cui si discute nel § 4 del presente parere (si vedano, al proposito, il recente "*Quesiti CSLP Modello geologico e sismotettonico – Quesito n. 1*", Risposta 01 GST, e la Risposta 02 GST). Considerato che nel recente documento Risposta 02 GST si anticipa che "*il quadro delle faglie attive e capaci che entreranno nel Progetto Esecutivo sarà profondamente aggiornato rispetto a quello offerto dal Progetto Definitivo, che riflette osservazioni e interpretazioni pre-2010*", visto che tale aggiornamento non può prescindere dalla nuova acquisizione di dati geologici, sembra opportuno suggerire che le stesse indagini previste per Cannitello, precedute da rilevamenti geomorfologici ad hoc, siano condotte anche in relazione alle altre faglie di interesse per le varie opere stradali e ferroviarie. Si tratta di ricerche che dovrebbero riguardare l'intero settore Piale-Musalà-Acciarello, nonché la faglia di Pezzo, sul lato Calabria; le faglie con direzione NNE-SSW tra Annunziata e Curcuraci, quelle con direzione ENE-WSW nella zona della fiumara Pace, quelle con direzione NNW-SSE nella zona tra Faro Superiore e Papardo, quelle con direzione NE-SW a ridosso dell'area inurbata di Messina, per quanto concerne il lato Sicilia.

L'avvio di nuove indagini di terreno, con procedure aggiornate, dovrebbe altresì consentire l'acquisizione di dati sull'eventuale presenza di ulteriori faglie nei vari settori di interesse, possibilmente non emerse nel corso delle indagini propedeutiche alla realizzazione del **PD**.

11.2.1.4. Geologia e sismotettonica: sintesi delle Prescrizioni

In premessa si evidenzia che le più recenti normative progettuali (Linee guida per le grandi opere del **PNRR** e **Codice**) demandano al livello del **PFTE** il completamento di tutte le attività conoscitive finalizzate alla definizione di scelte progettuali essenziali e caratterizzanti le soluzioni tecniche.

Quanto sopra è, a parere dell'**Assemblea** ancor più valido considerando il **PD** di un'opera certamente unica nel suo genere e vera e propria sfida ingegneristica per un'area geologicamente complessa. Questa complessità è ampiamente dimostrata dalle interpretazioni non univoche presenti in letteratura e connesse non solo agli assetti geologici o sismotettonici, ma anche alle correlate fasi evolutive.

Di conseguenza, con riferimento alle riportate criticità conoscitive emerse dall'analisi dei documenti progettuali o di controllo, nel seguito si evidenzieranno le attività di indagini integrative che si ritengono irrinunciabili per consentire previsioni progettuali basate sul miglior livello di conoscenza oggi raggiungibile.

È infatti da sottolineare che buona parte delle informazioni disponibili, e in qualche modo da ritenersi più significative ai fini della ricostruzione del quadro geologico, risale ad alcune decine di anni fa; esse sono quindi intrinsecamente basate su tecnologie operative oggi ampiamente superate. Peraltro, la stessa interpretazione del complesso delle indagini sismiche, stratigrafiche e di rilievo geologico e geomorfologico fa riferimento a procedure che, oltre a risultare talvolta obsolete, non sono certamente confrontabili con gli attuali standard qualitativi di elaborazione.

In ultimo, si osserva che le interruzioni del processo progettuale nel corso del tempo non hanno favorito lo sviluppo e l'elaborazione unitaria e congruente delle conoscenze, sia di quelle direttamente acquisite sia di quelle derivanti dagli approfondimenti che la comunità scientifica – peraltro particolarmente attiva negli studi sull'area, sebbene soprattutto attenta a ricostruzioni geologiche e tettoniche generali con limitata attenzione alla caratterizzazione delle singole faglie – ha sviluppato negli anni.

Prescrizioni di Fase A

1. Lato Calabria: in riferimento ai viadotti Gibia, Laticogna, Prestianni, Piria, Zagarella e Polistena, verificare consistenza, attività e capacità della faglia di Pezzo, mediante indagini geologiche, geofisiche (sismica a riflessione ad alta risoluzione, tomografia di resistività elettrica) e paleosismologiche, definendo altresì gli effetti sulle menzionate opere dell'eventuale attivazione della faglia; con riferimento alle opere di interfaccia **ST1, ST2, ST4** e **FE1, FE2, FE3** e **FE4**, mediante lo stesso set di indagini sopra richiamate, verificare consistenza e attività delle faglie del settore Piale-Musalà-Acciarello, nonché eventuali conseguenti effetti della loro attivazione sulle suddette opere.
2. Lato Sicilia: in riferimento alle gallerie stradali Faro Superiore, Balena, Le Fosse e Serrazzo, al viadotto Pace, agli svincoli **ST7** e **ST8**, nonché alle gallerie ferroviarie Sant'Agata e Santa Cecilia, verificare consistenza, attività e capacità delle faglie nei settori Faro Superiore-Madonna dei Miracoli, fiumara Pace-Annunziata (e a E di quest'ultima località), W e NW dell'area urbana di Messina, al fine di valutare conseguenti effetti della dislocazione del suolo sulle suddette opere, mediante indagini geologiche, geofisiche (sismica a riflessione ad alta risoluzione, tomografia di resistività elettrica) e paleosismologiche. Le menzionate indagini potranno altresì escludere o accertare la presenza di ulteriori faglie, attive negli ultimi 0,8 Ma, eventualmente non rinvenute nel corso delle attività finalizzate alla realizzazione del **PD**, e definirne le caratteristiche in relazione alle potenziali interazioni con le richiamate opere.

Prescrizioni di Fase B

In relazione all'esito degli studi geologici e geomorfologici etc. prescritti per la **fase A**, laddove emerga la presenza di faglie attive e capaci interagenti con opere in progetto e per le medesime **FAC** venga definito tipo ed entità dello spostamento atteso, nonché l'ampiezza ortogonale al piano di faglia del tratto di terreno in cui la dislocazione si manifesta, dovranno effettuarsi – in linea con standard progettuali nazionali ed europei vigenti – tutte le valutazioni progettuali derivanti dai vari scenari di spostamento.

11.2.2. Idrogeologia

In via preliminare appare opportuno precisare che gli aspetti idrogeologici connessi con la realizzazione delle opere di collegamento all'**Opera** e di questa rivestono criticità ben più contenute rispetto a quanto nel dettaglio evidenziato per quanto riguarda il modello geologico del sottosuolo interessato dall'insieme delle opere in progetto.

Gli studi idrogeologici che hanno interessato tali opere di collegamento sono stati costituiti da una serie di indagini, elaborazioni e modellizzazioni di base che complessivamente possono essere ricondotte al novero degli studi standard che vengono generalmente condotti, propedeuticamente alla realizzazione di questa tipologia di opere. Infatti, per ogni tipo di opera, destinata ad interagire con il sottosuolo, gli studi idrogeologici hanno preso spunto da un inquadramento idrogeologico di base, fondato sulle principali fonti bibliografiche disponibili per orientare le indagini di campo tese alla individuazione delle sorgenti e dei pozzi, che potessero consentire la configurazione dei corpi idrici potenzialmente interessati dalle opere, oltre che la ricostruzione della superficie piezometrica, anche al fine di valutare la potenziale intersezione di questa con gli scavi e le opere in sotterraneo.

Laddove è stato ritenuto necessario, la rete dei pozzi esistenti è stata integrata da perforazioni specifiche, tese alla installazione di piezometri, ed alla esecuzione di prove di permeabilità, finalizzata a consentire la modellazione idrogeologica delle porzioni di sottosuolo destinate ad interagire con lo scavo delle opere in sotterraneo.

La maggior parte dei punti d'acqua, già disponibili, e quelli oggetto della installazione di piezometri sono stati sede di prelievo di campioni di acqua sotterranea, destinati ad analisi di caratterizzazione chimico fisico. In alcuni casi tale caratterizzazione ha confermato l'ipotesi che alcune opere interessano acquiferi costieri, nei quali la contaminazione da acqua marina costituisce una delle criticità da tenere sotto controllo in fase esecutiva, al fine di non favorire l'incremento di fenomeni di intrusione salina.

L'interferenza con acquiferi costieri costituisce uno degli aspetti più critici del presente progetto, soprattutto in territorio Siciliano e pertanto, è da ritenersi che gli studi condotti per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi interessati dal progetto condotti con il Metodo SINTACS, siano allo stato attuale sostanzialmente superati. Infatti, il Metodo SINTACS è un metodo cosiddetto generalista, adeguato probabilmente ai tempi della redazione del **PD**, ma attualmente metodi quali il GALDIT (Chachadi & Ferreira, 2007), implementato specificatamente per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi costieri, appare più appropriato per il contesto idrogeologico di interesse.

Nel complesso gli studi idrogeologici condotti in sede di redazione del **PD** sono stati oggetto di una attenta analisi in sede di valutazione di impatto ambientale delle opere. Perciò con riferimento al Parere del **CTVA** n. 1185 del 15.03.2013 (Sezioni 5.2.6 e 5.3.2) e (Sezioni 7.3.1 e 8) – Delibera **CIPE** n.66 del 01.08.2003, che ha richiesto numerosi e significativi approfondimenti dal punto di vista idrogeologico, la **RP** al § 3.4.2.3, "*Ambiente idrico: Acque sotterranee*," richiama e sintetizza le iniziative da intraprendere che sono descritte in specifiche schede di progetto, il cui obbiettivo è anche quello di ottemperare ad alcune prescrizioni del suddetto parere del **CTVA** e che sono riassunte fra le prescrizioni nel presente parere, integrate ove necessario, laddove si ritiene che sia opportuno specificare meglio la natura delle indagini e degli studi integrativi prescritti.

In buona sostanza la **RP** già prevede una serie di approfondimenti di natura idrogeologica da eseguire in fase di progettazione esecutiva che possono essere riassunti come di seguito:

- Calabria - n. 15 piezometri di lunghezza media 50 m ca, (la lunghezza effettiva sarà valutata in seguito a sopralluoghi ed alla posizione puntuale della verticale).
- Sicilia - n. 40 piezometri di lunghezza media 50 m ca.
- Le verticali piezometriche saranno realizzate a carotaggio continuo con la realizzazione di almeno 3 prove idrauliche per verticale.
- Su ciascuna verticale saranno realizzate n. 3 Prove di permeabilità Lefranc e n. 3 Prove di permeabilità Lugeon.
- Calabria - n. 2 pozzi di emungimento di lunghezza 50 m ca e diametro 300 mm.
- Sicilia - n. 4 pozzi di emungimento di lunghezza 50 m ca e diametro 300 mm.

A queste indagini, previste nelle singole schede predisposte nella **RP**, si ritiene che, negli acquiferi costieri, ed in particolare in corrispondenza della zona dei Pantani, debba essere aggiunta, in fori esistenti, o ancora da realizzare, la installazione di un congruo numero di sonde multi-parametriche per il monitoraggio in continuo della Conducibilità elettrica, della Temperatura, del pH, dell'**OD** e del potenziale Redox per tenere sotto controllo in primis l'andamento della salinità delle acque sotterranee, ma anche l'eventuale insorgenza di fenomeni di contaminazione in corso di realizzazione delle opere.

Pur nella considerazione che la **RP** introduce, attraverso le schede suddette, il giusto proposito di approfondire in sede di progettazione esecutiva molti aspetti idrogeologici, rispetto al **PD**, si ritiene opportuno rilevare che rispetto a quanto contenuto nella **RP**, ci siano alcuni aspetti che richiedono, ancora una maggiore attenzione in sede di **PE**.

Infatti, per quanto riguarda le possibili interferenze delle opere di fondazione e delle opere di collegamento con la circolazione idrica sotterranea, nel territorio siciliano, pur riconoscendo l'assenza di interventi di jet-grouting, per l'opera di attraversamento principale, la presenza di diaframmi, di contorno a tali opere di fondazione, verosimilmente, introduce potenziali effetti sulla falda.

Al riguardo è da rilevare che l'analisi della interazione fra opere di fondazione e falda, limitata alla stima delle variazioni del livello di falda, risulta parziale e può non essere sufficiente.

Ciò in quanto nelle formazioni ad elevata permeabilità, sono le portate filtranti e la loro variazione in termini di direzione, oltre che di entità, a comportare potenziali effetti sull'assetto idrogeologico del sottosuolo ed in particolare su eventuali opere o ricettori superficiali presenti nelle vicinanze.

11.2.2.1. Idrogeologia: sintesi delle prescrizioni

Prescrizioni di Fase A

1. Acquiferi costieri: applicazione del Metodo Galdit per la valutazione della vulnerabilità
2. Acquiferi interessati da emungimenti: svolgimento di bilancio idrogeologico per la valutazione della sostenibilità idrogeologica delle estrazioni.

Prescrizioni di Fase B

3. Acquiferi interessati dalle opere di scavo e in sotterraneo: aggiornamento di tutti dati piezometrici e di portata delle sorgenti
4. Acquiferi interessati dalle opere di scavo e in sotterraneo: installazione di sonde multi-parametriche per il rilevamento in continuo di conducibilità elettrica, della Temperatura, del pH, dell'**OD** e del potenziale Redox.

11.2.3. Geotecnica

11.2.3.1. Premessa

Gli aspetti geotecnici relativi alle opere di collegamento lato Calabria e lato Sicilia si riferiscono alla definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo, ovvero alla determinazione delle stratigrafie di progetto e alla caratterizzazione meccanica, idraulica e sismica dei terreni interessati dalle opere in progetto e al progetto e verifica in campo statico e in campo sismico delle opere d'arte stesse: gallerie, fondazioni (superficiali o profonde) di pile e spalle di ponti e viadotti stradali e ferroviari e delle stazioni, opere di sostegno, rilevati e trincee.

11.2.3.2. Modelli Geotecnici di sottosuolo

La documentazione di progetto rivela come la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo, che si è basata sull'esecuzione di diverse campagne di sondaggi (1984-1987-1988-1992-2002), prove in sito e di laboratorio condotte in diverse fasi, sia lato Calabria che lato Sicilia, sia stata sviluppata tenendo conto del carattere di eccezionalità dell'opera di attraversamento e, di riflesso, delle opere di collegamento. Le indagini geotecniche condotte presentano, pertanto, per l'epoca, caratteristiche "avanzate".

A titolo di esempio, si citano prove di laboratorio su campioni indisturbati di grandi dimensioni, prelevati dai terreni a grana grossa con la tecnica del congelamento, per acquisire parametri di progetto in presenza di eventi sismici, o l'esecuzione di prove in situ ai fini della caratterizzazione geotecnica in condizioni sismiche quali cross-hole e prove penetrometriche dinamiche con il campionatore di grandi dimensioni (**LPT**) con misura dell'energia trasmessa alle aste durante l'infissione.

La campagna di indagini e di prove geotecniche condotta per il **PD** è risultata, pertanto, proporzionata al livello di progettazione perseguito, tenendo conto dell'importanza e complessità dell'opera. Le indagini e le prove svolte hanno permesso di acquisire una conoscenza in linea con le specifiche richieste progettuali e con lo stato dell'arte disponibile al momento dell'elaborazione del **PD** stesso.

Tuttavia, in relazione al passaggio al livello di progettazione esecutiva, appare necessario un ulteriore adeguamento ed approfondimento del piano delle indagini (in sito e di laboratorio), finalizzato a definire con la massima accuratezza il profilo stratigrafico, le caratteristiche meccaniche, idrauliche e sismiche dei terreni interessati da tutte le opere previste. In particolare, tale approfondimento dovrà riguardare i terreni interessati dalle fondazioni dei ponti e dei viadotti e dalle gallerie, sia sul lato Sicilia sia sul lato Calabria. L'approfondimento delle indagini dovrà

essere in linea con la considerevole evoluzione tecnologica e delle conoscenze che oggi rendono usuali le indagini e le prove in sito e di laboratorio che all'epoca della redazione del **PP** e **PD** venivano considerate avanzate (specie in relazione alle indagini sismiche). Dovrà inoltre essere adeguato alle **NTC 2018;** l'adeguamento è previsto dalla stessa **RP**, e vi deve essere dato seguito in fase di elaborazione dello stesso **PE**.

Per quanto concerne la caratterizzazione idraulica dei terreni, il programma delle indagini dovrà prevedere, specialmente se in relazione alla possibilità di rischio di liquefazione anche specifiche prove in sito, al fine di caratterizzare adeguatamente il regime delle pressioni neutre, la permeabilità e, più in generale, il comportamento idrogeologico dei terreni interessati dalle opere in progetto, anche con riferimento a eventuali conseguenze sulle strutture in elevazione di fenomeni di subsidenza originati da processi depauperamento dell'acquifero.

La pianificazione delle ulteriori indagini dovrà essere sviluppato non soltanto con finalità descrittive e conoscitive del sottosuolo sia dal punto di vista dei contatti stratigrafici che della sua eterogeneità nei volumi significativi interessati dalle opere d'arte, ma anche con esplicito riferimento alle esigenze di modellazione del comportamento dei terreni, richieste dalle analisi e verifiche progettuali che si rendano necessarie per gli adeguamenti normativi **NTC2018** e che siano coerenti con le attuali potenzialità degli strumenti di calcolo e con il significativo progresso delle conoscenze scientifiche e tecniche maturato rispetto al periodo storico in cui venne redatto il **PD**.

11.2.3.3. Progettazione Geotecnica e Sismica

Particolare rilevanza, data l'elevata sismicità delle aree che ospitano le opere d'arte, deve essere posta alla caratterizzazione e alla progettazione in zona sismica a partire dai necessari approfondimenti legati all'adeguamento alle **NTC 2018**, sia dal punto di vista della determinazione delle azioni di progetto che delle verifiche delle opere d'arte in progetto.

In particolare, per mantenere un'omogeneità progettuale rispetto al progetto e alle verifiche delle fondazioni e dei blocchi di ancoraggio dell'opera di attraversamento, si suggerisce che il progetto delle opere geotecniche del sistema dei collegamenti lato Sicilia e lato Calabria venga sviluppato secondo un approccio prestazionale, non limitato alla sola verifica degli stati limite ultimi delle strutture e delle opere geotecniche, ma esteso all'intero sistema terreno-struttura e alla valutazione della sua capacità di assorbire e sostenere le deformazioni indotte dall'azione sismica, assicurando il comportamento e la funzionalità attesi.

In tal senso, particolare attenzione è opportuno che venga dedicata alla valutazione della risposta sismica locale e all'interazione terreno-struttura, per poter cogliere in maniera accurata la distribuzione spaziale degli spostamenti e delle rotazioni, nonché la reale ridistribuzione delle sollecitazioni durante l'evento sismico, con l'eventuale impiego di modelli numerici avanzati, coerentemente con il livello di dettaglio e di complessità richiesto dall'opera.

Per ciò che attiene al tema del potenziale di liquefazione esso è trattato dal progettista dall'Elaborato [PF-0005] (che appare nell'elenco degli elaborati come [PF-0006]) sotto forma di studio di ottemperanza alle raccomandazioni del **CS 2011**.

Dall'elaborato si evince come per le verifiche del potenziale di liquefazione il progettista assuma le più severe ipotesi sia dal punto di vista della caratterizzazione dei terreni, che delle condizioni al contorno, che degli input sismici. Contrariamente a quanto atteso, stante le tipologie di terreni oggetto di analisi, e le stesse attese del **CS 2011** che attribuisce maggiore necessità di approfondimento al lato Sicilia, lo studio rivela che le condizioni di maggiore criticità appaiono presentarsi sul lato Calabria.

Si rende pertanto necessario che il progettista affronti il tema, partendo dalle verifiche normative **NTC 2018** e, nel caso sussista il pericolo di liquefazione, proceda alla revisione delle analisi sviluppate per il **PD**, impiegando input sismici oltre che opportuni modelli di interpretazione del comportamento del terreno di cui sia data evidenza dell'affidabilità interpretativa, anche ricorrendo ad analisi di confronto basate sull'impiego di adeguati modelli.

11.2.3.4. Opere d'arte principali

Per le opere d'arte principali si raccomanda, in **Fase B** del **PE**, che, ove non risulti già adeguatamente considerato in fase di **PD**, il dimensionamento strutturale di tutte le opere nelle quali la componente di interazione terreno-struttura riveste importanza ai fini della determinazione del carico geotecnico (in particolare le gallerie, ove tale componente è di fondamentale importanza per la determinazione del carico indotto sul rivestimento) sia condotto in piena coerenza con le disposizioni della normativa vigente, fornendo adeguata dimostrazione documentale della corrispondenza tra l'approccio adottato e i requisiti del § 6.2.4.1.3 delle **NTC 2018**.

11.2.3.5. Complesso di gallerie stradali e ferroviarie

Con riferimento al dimensionamento sismico delle opere in sotterraneo la **RP**, al § 3.1.7.2 Prescrizioni per il **PE** relative alle opere a terra, **NTC 2018**, Capitolo 7 – PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE, non fornisce indicazione in merito alle metodologie di calcolo adottate, né in termini di aggiornamento rispetto al **PD**, né in termini assoluti. Pur riconoscendo che le opere in sotterraneo presentano generalmente una risposta sismica più favorevole rispetto alle strutture in superficie per effetto del confinamento esercitato dal terreno circostante, tale comportamento favorevole viene, tuttavia, meno in presenza di sistemi di faglie capaci attraversati dal tracciato o ad esso prossimi.

Al riguardo, si evidenzia la necessità che, in fase di **PE,** il dimensionamento sismico delle opere in sotterraneo sia affrontato in modo esplicito e documentato, facendo ricorso a metodologie e approcci di comprovata validità scientifica e tecnica, adeguatamente giustificati nella relazione di calcolo. Pertanto, si prescrive, in **Fase A** del **PE**, che sulla base degli esiti delle nuove indagini geologiche, geofisiche e paleo-sismologiche prescritte in precedenza, venga rivalutata la bontà del tracciato delle opere sotterranee e/o eventualmente adottate specifiche misure di mitigazione della vulnerabilità sismica delle opere in sotterraneo. Tali misure potranno essere di natura attiva (sostegno del carico aggiuntivo sismo-indotto), passiva (finalizzate all'accomodamento delle deformazioni da dislocazione), una combinazione delle precedenti e/o orientate allo smorzamento dell'input sismico, a seconda delle caratteristiche geometriche e cinematiche delle faglie accertate e dall'entità degli spostamenti attesi in corrispondenza dei piani di taglio.

Dalla documentazione esaminata si evince che il dimensionamento del complesso delle gallerie stradali e ferroviarie è stato condotto con un approccio misto, che combina metodologie analitiche, finalizzate a una valutazione preliminare e semplificata della convergenza del cavo e dell'estrusione del fronte di scavo, ad analisi numeriche agli elementi finiti, queste ultime adottate tuttavia solo per un numero limitato di casistiche. Le metodologie analitiche, pur rappresentando un valido strumento di prima approssimazione, si fondano su assunzioni semplificative che ne limitano l'applicabilità alle condizioni più complesse, tra le quali si annoverano, a titolo esemplificativo, l'ipotesi di isotropia dei geo-materiali e dello stato tensionale iniziale, nonché la circolarità della forma del cavo.

Pertanto, si raccomanda che, in **Fase A** del **PE**, il ricorso ad analisi numeriche di maggiore raffinatezza sia esteso in modo sistematico, con particolare riferimento alle casistiche che esulano dalle condizioni di applicabilità dei metodi analitici. A titolo esemplificativo e non esaustivo, si richiede di prestare particolare attenzione alle seguenti condizioni critiche in sede di sviluppo del **PE**:

- ove non già esplicitamente previsto, le sezioni in condizioni di parietalità, soggette a stati tensionali iniziali altamente anisotropi, per le quali le sezioni più gravose per ciascun fornice dovranno essere oggetto di analisi numeriche individuali e dedicate;
- le zone di interferenza tra opere in sotterraneo distinte, incluse opere preesistenti, per le quali il complesso delle opere previste dal progetto, tanto sul versante Siciliano quanto su quello Calabro, presenta in più punti situazioni di presenza ravvicinata o sovrapposizione planimetrica di strutture sotterranee distinte, con conseguente potenziale interferenza strutturale e geotecnica reciproca. A titolo esemplificativo ma non esaustivo, nel seguito sono riportati alcuni dei casi ritenuti più gravosi:
  - con riferimento alle gallerie stradali del versante Calabro, le interferenze con le due canne della galleria autostradale Piale preesistente, che si manifestano sia in corrispondenza del sottopasso dei Rami A e D,

sia nella zona di innesto del nuovo accesso carrabile tra il Ramo A e il Ramo C, ove si realizza una sovrapposizione plano-altimetrica tra quest'ultimo, il Ramo C e le canne della galleria Piale;

- con riferimento alle gallerie ferroviarie del versante Calabro, i bypass che si innestano a quota differente rispetto ai Rami principali, in particolar modo quelli che implicano la realizzazione di pozzi verticali o ancora le opere di imbocco lato Centro Direzionale dei Rami A, B, C e D e della galleria ferroviaria che prevede, seppur come opere di sostegno provvisorie, la realizzazione di circa 270 m lineari di paratie in diaframmi;
- con riferimento alle gallerie ferroviarie del versante Siciliano, la sovrapposizione del tracciato della galleria S. Cecilia con la galleria preesistente dei Peloritani al km 15+513 circa, con un franco tra la calotta della galleria esistente e il concio della nuova opera di appena 1.5 m, all'interno della formazione delle ghiaie e sabbie di Messina.

Con riferimento alle zone di interferenza sopra citate, si evidenzia che tali analisi numeriche risultano altresì necessarie ai fini della definizione e della verifica quantitativa delle soluzioni tecnologiche previste per la gestione delle suddette zone di interferenze, le quali nella documentazione di **PD** risultano trattate in maniera qualitativa, mediante indicazione, a seconda dei casi, di integrazioni dei consolidamenti radiali e/o del preconsolidamento del nucleo di scavo in avanzamento e/o maggiorazione dell'armatura del rivestimento definitivo e/o infittimento delle centine di presostegno.

Se tale approccio qualitativo può ritenersi accettabile nell'ambito del **PD**, in sede di **PE** sarà richiesto un dimensionamento strutturale quantitativo che consenta di verificare l'adeguatezza delle soluzioni adottate e di definirne compiutamente i parametri esecutivi. In particolar modo, ciò risulta significativo per le interferenze determinate dal sottopasso della galleria autostradale Piale preesistente da parte dei Rami A e D. Tale configurazione determina un livello di rischio geotecnico-strutturale sensibilmente più elevato rispetto alle casistiche in cui le interferenze sono generate nell'ambito del progetto stesso e risultano pertanto tecnologicamente gestibili, come peraltro già previsto in termini procedurali, seppur in assenza di un dimensionamento quantitativo, in sede di **PD**.

Con esplicito riferimento, invece, alle modellazioni numeriche già eseguite, pur assecondando l'assunzione adottata in merito al carico idraulico di lungo termine indotto dalla falda acquifera per le sezioni circolari scavate in **TBM**, per le quali tale ipotesi risulta maggiormente rappresentativa, si osserva che le medesime assunzioni appaiono meno appropriate per le sezioni policentriche realizzate con metodo tradizionale, circostanza peraltro riconosciuta dagli stessi progettisti in taluni elaborati, tra cui, a titolo esemplificativo, il documento [CF0045_F0]. Infatti, per tali sezioni la geometria non circolare del cavo non consente di trascurare l'incremento di sollecitazione flessionale indotto dal carico idrostatico: assumere tale incremento come nullo potrebbe condurre ad una stima degli stati tensionali nel rivestimento potenzialmente non conservativa. Si osserva inoltre che, indipendentemente dalla forma del cavo, lo scavo determina in ogni caso un rilascio tensionale nell'ammasso circostante che, in funzione della natura e delle caratteristiche del geo-materiale attraversato, può indurre sovrappressioni interstiziali negative nel breve termine. Queste ultime, provocando un aumento delle pressioni efficaci e vincolando il rilassamento dell'ammasso in modo potenzialmente anisotropo, potrebbero inficiare alcune delle assunzioni adottate nelle analisi condotte, con particolare riferimento alle fasi transitorie immediatamente successive allo scavo.

Pertanto, si prescrive in **Fase A** del **PE**, di valutare l'opportunità di integrare le analisi con approcci accoppiati idro-meccanici, con priorità per le sezioni policentriche scavate con metodo tradizionale, nonché, per le sezioni interessate da geomateriali suscettibili di manifestare un comportamento non drenato nel breve termine. In quest'ultimo caso, inoltre, si raccomanda altresì di prestare particolare attenzione all'eventuale insorgenza di stati di trazione localizzati nel rivestimento, indotti dalle sovrappressioni interstiziali negative che il rilascio tensionale conseguente allo scavo può generare nell'ammasso circostante, con le conseguenti implicazioni sul dimensionamento dei rivestimenti.

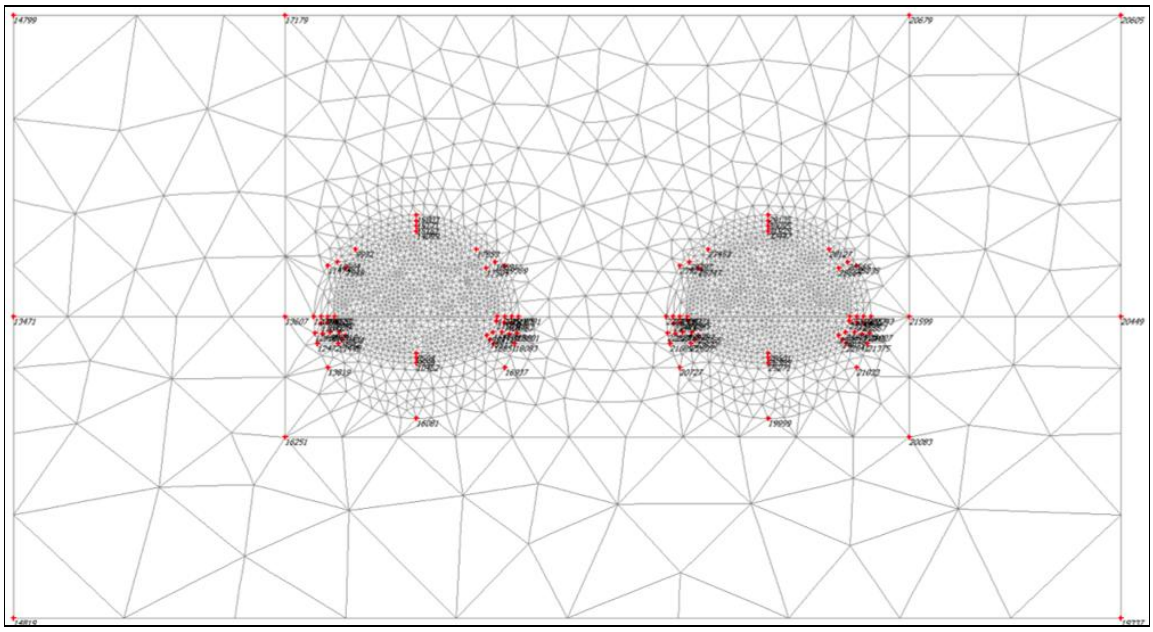


Figura 11-33.- Dominio di calcolo nel caso della sezione di scavo C1 a copertura 30 m della galleria Faro Superiore

Mantenendo l'attenzione sulla analisi numeriche appena citate, si rileva dalla documentazione esaminata che molti dei modelli numerici adottati per il dimensionamento delle gallerie presentano un dominio di calcolo di estensione limitata rispetto alle dimensioni della zona di scavo, tale da rendere verosimile che i risultati ottenuti siano affetti da effetti di bordo di entità non trascurabile, con conseguente potenziale alterazione delle sollecitazioni e delle deformazioni calcolate in prossimità dell'opera. Si prenda come esempio l'immagine di Figura 11-33 che rappresenterebbe l'intero dominio di calcolo nel caso della sezione di scavo C1 a copertura 30 m della galleria Faro Superiore.

Pertanto, si raccomanda, in **Fase B** del **PE**, che l'estensione del dominio di calcolo sia adeguatamente verificata e, ove necessario, incrementata, adottando come riferimento una distanza dai bordi del modello pari a circa 10 volte il diametro equivalente della sezione di scavo (10D) in tutte le direzioni, al fine di garantire che le condizioni al contorno imposte non influenzino in modo significativo i risultati nelle zone di interesse. Ovviamente, fa eccezione a tale indicazione la porzione superiore del dominio nei tratti a minore copertura, per i quali l'estensione del modello risulta inevitabilmente condizionata dalla morfologia topografica.

Con riferimento alle osservazioni più specifiche emerse dall'esame della documentazione di **PD** relativa alle singole opere o sottogruppi delle stesse:

- dai documenti di riferimento relativi ai Rami A [CS0196_F0], B [CS0197_F0], C [CS0198_F0] e D [CS0199_F0] e ai Rami 1, 2, 5 e 6 [CF0045_F0] del complesso di gallerie stradali e ferroviarie del versante calabro, nonché alle gallerie stradali Faro Superiore [SS0257_F0], Balena [SS0258_F0] e Le Fosse [SS0259_F0] e ai bypass delle gallerie ferroviarie S. Agata e S. Cecilia [SF0119_F0] del versante siciliano, si evince che la determinazione della coesione aggiuntiva fornita dagli elementi di preconsolidamento per la stabilizzazione del fronte di scavo, quali infilaggi in **VTR**, jet-grouting e/o micro-jet armato con tubi in **VTR**, è stata condotta mediante l'approccio di Bustamante & Doix (1985). In assenza di prove di sfilamento dirette, i valori di aderenza adottati sono stati stimati sulla base dell'esperienza, assumendo valori dichiarati cautelativi.
  Si raccomanda che, in **Fase B** del **PE**, le assunzioni adottate siano validate mediante l'esecuzione di prove di sfilamento in sito condotte sulle litologie effettivamente interessate dagli interventi di preconsolidamento di ciascuna galleria, al fine di verificare la corrispondenza tra i valori di aderenza assunti in sede di calcolo e il comportamento reale dell'interfaccia terreno-elemento di rinforzo e, eventualmente, di aggiornare il dimensionamento degli elementi di preconsolidamento;

- dai documenti di riferimento elencati nel precedente punto, si evince che le verifiche strutturali del rivestimento definitivo in condizioni di lungo termine non fanno riferimento allo scenario in cui il rivestimento preliminare, collocato a tergo del telo di impermeabilizzazione e pertanto soggetto a processi di degrado più rapidi nel tempo, abbia subito una riduzione, parziale o totale, della propria capacità resistente.

Si raccomanda che, in **Fase B** del **PE**, il dimensionamento del rivestimento definitivo di ciascuna delle gallerie sopracitate sia corredato di specifiche verifiche strutturali in condizioni di lungo termine, nelle quali sia esplicitamente considerata una perdita di resistenza del prerivestimento più o meno marcata in funzione delle caratteristiche dei materiali e delle condizioni ambientali attese. Tale approccio dovrà consentire di valutare la capacità del solo rivestimento definitivo di assorbire integralmente il carico geotecnico di esercizio, nell'ipotesi conservativa di completa inefficacia del prerivestimento, garantendo così la funzionalità strutturale dell'opera per l'intera vita utile prevista;

Dal documento [CF0045_F0] si evince che, nelle tratte in cui i Rami 1, 2, 5 e 6 del complesso di gallerie ferroviarie del versante calabro transitano all'interno delle rocce granitoidi del basamento pre-mesozoico o del basamento cristallino pre-mesozoico, il livello piezometrico al di sopra delle gallerie non è attualmente noto, non escludendosi che esso possa attestarsi localmente fino a 60-70 m al di sopra della calotta. In corrispondenza delle zone di faglia individuate lungo i rispettivi tracciati (alle progressive 1+680-2+130 km per il Ramo 1, 1+620-2+120 km per il Ramo 2 e 0+800-1+100 km per il Ramo 5 e il Ramo 6) sono inoltre possibili incrementi anche considerevoli della permeabilità locale.

Si raccomanda, in **Fase B** del **PE**, ove non già previsti, siano programmati ed eseguiti sondaggi geognostici dedicati, di profondità adeguata e ubicati in corrispondenza dei tratti di maggiore criticità di ciascun ramo, al fine di caratterizzare compiutamente il regime idrogeologico locale e di fornire un riscontro oggettivo alle ipotesi adottate in sede di **PD**.

Nei documenti [SF0119_F0] e [SF0259_F0] si afferma che la tratta compresa tra il km 9+880 e il portale Est della galleria Le Fosse e la tratta compresa tra i km 7+450 e 9+900 del complesso di gallerie ferroviarie del versante siciliano (galleria S. Cecilia) attraversano una formazione gessoso-solfifera caratterizzata dalla presenza, a quota cavo, sia di calcari evaporitici che di argille gessose; per quanto concerne la sola galleria S. Cecilia, inoltre, sono state inoltre rilevate lenti decimetriche di gesso geminato in grossi cristalli.

Si prescrive che, in **Fase B** del **PE**, siano eseguite prove di identificazione del potenziale comportamento rigonfiante dei geomateriali presenti nelle suddette tratte, mediante metodologie di comprovata efficacia, quali, a titolo esemplificativo e non esaustivo, la diffrattometria a raggi X per la determinazione della componente argillosa del litotipo. Qualora l'esito di tali prove evidenziasse la presenza di minerali suscettibili di rigonfiamento, si prescrive altresì che la caratterizzazione sia estesa a prove di quantificazione del fenomeno, attraverso l'esecuzione di prove edometriche o triassiali di rigonfiamento, al fine di disporre dei parametri necessari per una corretta valutazione degli effetti indotti sul rivestimento delle gallerie e per la definizione delle eventuali misure progettuali di mitigazione.

Dal documento [SF133_F0], più specificatamente dalla *Tabella 1: Parametri utilizzati nelle analisi*, si evince che la frazione di volume perso adottata per la FASE 0 dell'analisi condotta per le gallerie ferroviarie S. Agata e S. Cecilia si attesta nell'intervallo 0.5-2.0%, con valori pari a 1.0% e 1.5% definiti come condizioni di lavoro, rappresentative rispettivamente del limite inferiore e superiore attesi in condizioni progettuali ordinarie. La FASE 1 viene, invece, analizzata esclusivamente per valori di volume perso compresi nell'intervallo 0.5-0.9%, ove il valore di 0.5% è indicato come requisito specifico di progettazione e il valore di 0.9% come rappresentativo di condizioni puntuali di anomalia.

Considerato che il volume perso costituisce il parametro di primaria influenza nella stima dei cedimenti superficiali attesi, come peraltro evidenziato tra i principali risultati della FASE 0, si raccomanda che, in **Fase B** del **PE**, le scelte progettuali adottate nella definizione di tale parametro, e in particolare la riduzione dell'intervallo analizzato in FASE

1, siano motivate in maniera esplicita, univoca e priva di ambiguità, al fine di garantire la piena tracciabilità e verificabilità delle assunzioni alla base della stima degli effetti indotti in superficie.

11.2.3.6. Viadotti

11.2.3.6.1. Viadotti lato Calabria (13 opere) e opere accessorie lato Calabria (4 sovrappassi/sottopassi)

Nella **RP** al punto 3.1.7.2.1.2 – *Altri viadotti lungo i collegamenti stradali e ferroviari*, si evidenzia quanto segue:

"*Per quanto riguarda gli altri viadotti stradali previsti nei collegamenti a terra, si adotterà sistematicamente nel progetto esecutivo l'isolamento sismico. Conseguentemente le prescrizioni di normativa legate al comportamento strutturale dissipativo per le sottostrutture non risulteranno applicabili al progetto degli altri viadotti*".

Come meglio verrà precisato nel **Capitolo 11.3.8**, i viadotti stradali necessitano di una riprogettazione nella fase di **PE** per adottare l'isolamento sismico; tuttavia, a scopo indicativo relativamente alla parte geotecnica, le caratteristiche principali dei viadotti lato Calabria e i relativi riferimenti normativi impiegati nella progettazione geotecnica, sono elencati in Figura 11-34. Le caratteristiche principali delle opere accessorie lato Calabria e i relativi riferimenti normativi impiegati nella progettazione geotecnica sono elencati nella Figura 11-35.

I viadotti stradali, distribuiti lungo i vari tracciati, sono tipicamente ad una campata, con l'eccezione di un viadotto a due campate, e due ampliamenti a tre/quattro campate. Le opere accessorie sono a una campata, con l'eccezione di una a due campate. Le fondazioni dei viadotti sono del tipo superficiale o profondo. Per le opere accessorie si sono impiegate diverse tipologie, su diaframmi, travi o scatolari in c.a.

Nome	Doc.di rif	Ubicaz.	Campate	Fondazioni	Terreno	Indagini	Quadro normativo geotecnico
Viadotto Gibia Ampliamento	CS427_Fo e seg	Rampa C	3	Micropali	Depositi marini terrazzati Plutoniti di Tipo A	S4_DG42, SN7(ANAS_2005)	DM. 11.3.88
Viadotto Laticogna Ampliamento	CS412_Fo e seg.	Rampa C	1	Micropali	Depositi marini terrazzati Plutoniti di Tipo A	S4_DG42, SN7(ANAS_2005)	DM. 11.3.88
Viadotto Prestianni Ampliamento	CS398_Fo e seg.	Rampa C	1	Micropali	Depositi marini terrazzati Plutoniti di Tipo A	S4_DG42, SN7(ANAS_2005)	DM. 11.3.88
Viadotto Piria Ampliamento	CS367_Fo e seg.	Rampa C	2	Micropali	Depositi marini terrazzati Plutoniti di Tipo B	CM451	DM. 11.3.88
Viadotto Zagarella 1	CS339_Fo e seg.	Rampa C	1	Superficiali	Depositi marini terrazzati Plutoniti di Tipo A	-	NTC 2008
Viadotto Zagarella 2	CS353_Fo e seg.	Rampa C	1	Pali trivellati	Depositi marini terrazzati Plutoniti di Tipo A	C433-C434	NTC 2008
Viadotto Polistena	CS384_Fo e seg.	Rampa G	1	Superficiali	Depositi marini terrazzati Plutoniti di Tipo B	C428	NTC 2008
Viadotto stradale di accesso al ponte	CS289_Fo e seg.	Ramo A-B	1	Superficiali	Conglomerati di Pezzo	C403BIS, C404, C423, C423BIS, OTCSPT504 CS103, FCBH1512, OTCLPT1505, FCCH2509, OTCSPT504, FCBH1501, OTCLPT2503	NTC 2008
Viadotto stradale di accesso al ponte	CS302_Fo e seg.	Ramo C D	1	Superficiali	Conglomerati di Pezzo	Come sopra	NTC 2008
Viadotto Campanella 1	CS315_Fo e seg.	Rampa B	1	Superficiali	Sabbie e ghiaie di Messina	SN10, CN450	NTC 2008

Nome	Doc.di rif	Ubicaz.	Campate	Fondazioni	Terreno	Indagini	Quadro normativo geotecnico
					Conglomerato di Pezzo		
Viadotto Campanella 2	CS329_Fo e seg.	Rampa M	1	Pali trivellati	Sabbie e ghiaie di Messina		NTC 2008
Viadotto Immacolata	CS445_Fo e seg.	Rampa D	1	Dirette	Sabbie e ghiaie di Messina	C414, 415	NTC 2008
Viadotto Solaro Ampliamento	CS459_Fo e seg.	Rampa D	4	Pali trivellati	Sabbie e ghiaie di Messina	C417, SN13	NTC 2008

Figura 11-34.- Viadotti lato Calabria e relativi riferimenti normativi della progettazione geotecnica

Nome	Doc. di rif.	Ubicaz.	Campate	Fondazioni	Terreno	Indagini	Quadro normativo geotecnico
Cavalcavia Via Campidoglio	CS498_Fo e seg.	Ramo B	1	Diaframmi	Sabbie e ghiaie di Messina	C411, SG_15	NTC 2008
Cavalcavia San Giovanni Rosso	CS486_Fo e seg.	Rampa D	2	Una spalla su diaframmi, una su fondazioni dirette e la pila su paratia in trivellati	Depositi marini terrazzati Sabbie e ghiaie di Messina	C416, S10_DG42	NTC 2008
Sottopasso Ramo B Rampa M	CS505_Fo e seg.	Ramo B	1 (scatolare)	Superficiali	Sabbie e ghiaie di Messina	C411	NTC 2008
Sottovia Via Campidoglio	CS511_Fo e seg.	Rampa M	1 (scatolare)	Superficiali	Sabbie e ghiaie di Messina	C411	NTC 2008

Figura 11-35.- Opere accessorie lato Calabria e relativi riferimenti normativi della progettazione geotecnica

La caratterizzazione del modello geotecnico del terreno, tranne in pochi casi dove esistono verticali indagate in relativa prossimità delle fondazioni, fa riferimento a indagini condotte ad una scala più ampia, ma comunque in grado di individuare le proprietà delle formazioni tipiche della zona quali i depositi marini terrazzati, ghiaie e sabbie di Messina, plutoniti e conglomerati di Pezzo. Le proprietà meccaniche delle medesime formazioni caratteristiche della zona appaiono approfondite nell'ambito del progetto dell'**Opera**.

Si prescrive, in **Fase A** del **PE**, un arricchimento del quadro conoscitivo, con indagini geotecniche e sismiche su verticali per ogni opera geotecnica, che consentirà di definire i modelli geotecnici locali per ogni opera e riconsiderare, affinare e riverificare, tenendo conto in particolare degli aspetti sismici, le scelte progettuali delle fondazioni dei viadotti e opere accessorie effettuate nel **PD**.

Pur essendo il progetto datato giugno 2011, da un punto di vista normativo il dimensionamento e le verifiche geotecniche di quattro viadotti per i quali è previsto l'ampliamento (Gibia, Laticogna, Prestianni e Piria), fa riferimento al quadro normativo **DM** 11.3.1988 (*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*) e pertanto si prescrive, in **Fase B** del **PE**, come già affermato nella **RP**, di riprogettare e riverificare gli stati limite ultimi delle fondazioni e le opere accessorie secondo le **NTC 2018** in condizioni statiche e sismiche.

Per i restanti viadotti, il quadro normativo è quello delle **NTC 2008** che consentiva, per la verifica degli stati limite ultimo delle fondazioni, l'utilizzo dell'approccio 1 o dell'approccio 2. Tali approcci conducevano nel caso delle fondazioni superficiali a dimensionamenti anche significativamente differenti. Pertanto, gli stati limite ultimo per la scelta, il dimensionamento e le verifiche geotecniche delle fondazioni devono essere riesaminati con l'approccio

delle **NTC 2018**. Ciò, ovviamente, vale anche per gli aspetti del dimensionamento in condizioni sismiche delle fondazioni.

In taluni casi si può osservare come, a fronte della presenza di contesti stratigrafici e geotecnici approssimativamente analoghi, la scelta il dimensionamento delle fondazioni condotti con il DM 88 e le **NTC 2008** conducano a soluzioni sostanzialmente diverse. In relazione a ciò, assume particolare rilevanza la caratterizzazione geotecnica specifica di sito.

In definitiva, la scelta delle tipologie di fondazione ed il relativo calcolo saranno ridefiniti alla luce dell'arricchimento di indagine e la progettazione geotecnica per tutte le opere sarà aggiornata al quadro normativo **NTC 2018**.

11.2.3.6.2. Viadotti lato Sicilia (12 viadotti) e opere accessorie lato Sicilia (2 sottovia)

Le caratteristiche principali dei viadotti lato Sicilia e i relativi riferimenti normativi impiegati nella progettazione geotecnica sono elencate nella Tabella 11-1. Le caratteristiche principali delle opere accessorie lato Calabria e i relativi riferimenti normativi impiegati nella progettazione geotecnica sono elencati nella Tabella 11-2.

Nome	Doc.di rif.	Ubicaz.	Campate	Fondazioni	Terreno	Indagini	Quadro normativo geotecnico
Svincolo Curcuraci Dir. ME	SS667_Fo e seg.	Asse principale	3	Superficiali	Sabbie e ghiaie di Messina	SPPS02, SPPS03, S415, S416, S417 e S418 (anche i sondaggi dal Km 5+400 al Km 5+900)	NTC 2008
Svincolo Curcuraci	SS667_Fo e seg.	Rampa 1	4	Superficiali	Sabbie e ghiaie di Messina	Come sopra	NTC 2008
Svincolo Curcuraci Dir. RC	SS686_Fo e seg.	Asse principale	3	Superficiali	Depositi alluvionali - Sabbie e ghiaie di Messina	Come sopra	NTC 2008
Svincolo Curcuraci	SS704_Fo e seg.	Rampa 3 e 4	5	Superficiali	Depositi alluvionali - Sabbie e ghiaie di Messina	Come sopra	NTC 2008
Svincolo Curcuraci	SS724_Fo e seg.	Rampa 5	1	Superficiali	Depositi alluvionali - Sabbie e ghiaie di Messina	Come sopra	NTC 2008
Viadotto Pace	SS396_Fo e seg.	Direzione ME	1	Superficiali	Depositi alluvionali - Sabbie e ghiaie di Messina	S424, SPPS04 (anche i sondaggi al km 7+000/7+300: S423, S426)	NTC 2008
Viadotto Pace	SS410_Fo e seg.	Direzione RC	1	Superficiali	Depositi alluvionali - Sabbie e ghiaie di Messina	S424, SPPS04 (anche i sondaggi al km 7+000/7+300: S423, S426)	NTC 2008
Svincolo Annunziata	SS761_Fo e seg.	Asse	1	Pali trivellati	Depositi alluvionali - Sabbie e ghiaie di Messina	S430, S431, S432, S435, S436, S437, S441, I2, I3, S07, S08	NTC 2008
Svincolo Annunziata	SS776_Fo e seg.	Asse	1	Pali trivellati	Depositi alluvionali - Sabbie e ghiaie di Messina	S430, S431, S432, S435, S436, S437, S441, I2, I3, S07, S08	NTC 2008
Svincolo Annunziata	SS803_Fo e seg.	Rampa 1	1	Superficiali	Depositi alluvionali	S430, S431, S432, S435, S436, S437, S441, I2, I3, S07, S08	NTC 2008
Svincolo Annunziata	SS818_Fo e seg.	Rampa 1	1	Pali trivellati	Depositi alluvionali	S430, S431, S432, S435, S436, S437, S441, I2, I3, S07, S08. (anche i sondaggi della tratta Km 10+000/10+400)	NTC 2008
Svincolo Annunziata	SS791_Fo e seg.	Sottovia Rampa 1	1	Superficiali	Depositi alluvionali	S430, S431, S432, S435, S436, S437, S441, I2, I3, S07, S08. (anche i sondaggi della tratta Km 10+000/10+400)	NTC 2008

Tabella 11-1.- Viadotti lato Sicilia e relativi riferimenti normativi della progettazione geotecnica

Nome	Doc. di rif.	Ubicaz.	Campate	Fondazioni	Terreno	Indagini	Quadro normativo geotecnico
Sottovia RFI dir. RC	SS555_Fo e seg.	Asse principale	1	Scatolare con fondazioni superficiali	Depositi alluvionali	S9, S13, AS-BH4, SPT8-AS, S102pz, S103pz e S104pz SPPS00 e SPPS09, S407,S408,S408bis, S409, S409bis, S411	NTC 2008
Sottovia RFI dir. ME	SS55_Fo e seg.	Asse principale	1	Scatolare con doppia paratia	Depositi alluvionali		NTC 2008

Tabella 11-2.- Opere accessorie lato Sicilia e relativi riferimenti normativi della progettazione geotecnica

I viadotti stradali sono essenzialmente concentrati nello svincolo di Curcuraci e nello svincolo dell'Annunziata. Il viadotto Pace si trova lungo il tracciato. Le campate variano da una ad un massimo di cinque mentre le opere accessorie sono a una campata. Le fondazioni dei viadotti sono, nella maggior parte, del tipo superficiale e, in taluni casi, di tipo profondo su pali trivellati. Per le opere accessorie si sono impiegati scatolari in c.a.

A differenza della Calabria, trattandosi essenzialmente di opere che formano gli svincoli da Curcuraci ad Annunziata, la caratterizzazione del modello geotecnico del terreno fa riferimento ad indagini eseguite in prossimità delle fondazioni integrate anche con indagini condotte una scala più ampia.

Le indagini geotecniche sono comunque tali da individuare le proprietà delle formazioni tipiche della zona quali i depositi alluvionali e le ghiaie e sabbie di Messina, le cui proprietà meccaniche appaiono meglio approfondite nell'ambito del progetto del Ponte sullo Stretto, e appaiono corredate relativamente da un buon numero verticali indagate.

Si prescrive, in **Fase A** del **PE**, un arricchimento del quadro conoscitivo, con indagini geotecniche e sismiche su verticali per ogni opera geotecnica, che consentirà di definire i modelli geotecnici per ogni opera e, conseguentemente, riconsiderare, affinare e riverificare, tenendo conto in particolare degli aspetti sismici, le scelte progettuali delle fondazioni dei viadotti e opere accessorie effettuate nel **PD**.

La progettazione geotecnica delle fondazioni è stata condotta impiegando il quadro normativo è quello delle *Norme Tecniche per le Costruzioni 2008* (**DM** 14.1.2008) che consentiva la verifica degli stati limite ultimo delle fondazioni utilizzando l'approccio 1 o l'approccio 2. Tali approcci potevano condurre, nel caso delle fondazioni superficiali, a dimensionamenti significativamente differenti.

Dato che il quadro normativo, nel frattempo, è stato aggiornato unificando l'approccio progettuale per la verifica dello stato limite ultimo, le scelte e le verifiche nell'ambito della progettazione geotecnica, devono essere necessariamente riesaminate in accordo con le **NTC 2018**. Pertanto, si prescrive, in **Fase B** del **PE**, come già affermato nella **RP**, di riprogettare e riverificare gli stati limite ultimi delle fondazioni e le opere accessorie secondo le **NTC 2018**, in condizioni statiche e sismiche.

In corrispondenza dello svincolo di Curcuraci sono previste opere di sostegno provvisionali, descritte nelle relazioni [SS669_Fo] e [SS689-Fo]. Tali opere sono costituite da berlinesi di micropali a protezione degli scavi necessari per la realizzazione delle platee di fondazione delle pile del viadotto in adiacenza alla fiumara Curcuraci, conservando laddove possibile i muri esistenti. Le verifiche sono state condotte con le **NTC 2008** e devono essere aggiornate alle **NTC 2018**. Considerazioni analoghe alle precedenti valgono anche per i sottovia realizzati con l'impiego di paratie strutturali. Il dimensionamento di tali opere sarà ottimizzato alla luce dell'arricchimento dell'indagine geotecnica.

In definitiva, la scelta delle tipologie di fondazione andrà ridefinita alla luce dell'arricchimento di indagine e la progettazione geotecnica per tutte le opere sarà aggiornata al quadro normativo **NTC 2018**.

11.2.3.7. Movimento franoso in prossimità dello svincolo dell'Annunziata

La documentazione di progetto contiene una accurata caratterizzazione dei movimenti di versante del tratto di interesse della sponda Siciliana. Tra essi, maggiore dettaglio è attribuito alla frana in prossimità dello svincolo dell'Annunziata, mostrata in Figura 11-36, per la quale è stato predisposto un modello geologico-evolutivo, che porta a ritenere che la realizzazione di opere di attraversamento e/o scavo in corrispondenza dello stesso non possano prescindere dal tener conto della presenza di un corpo di frana antica e di due altri corpi di frana ben più recenti.

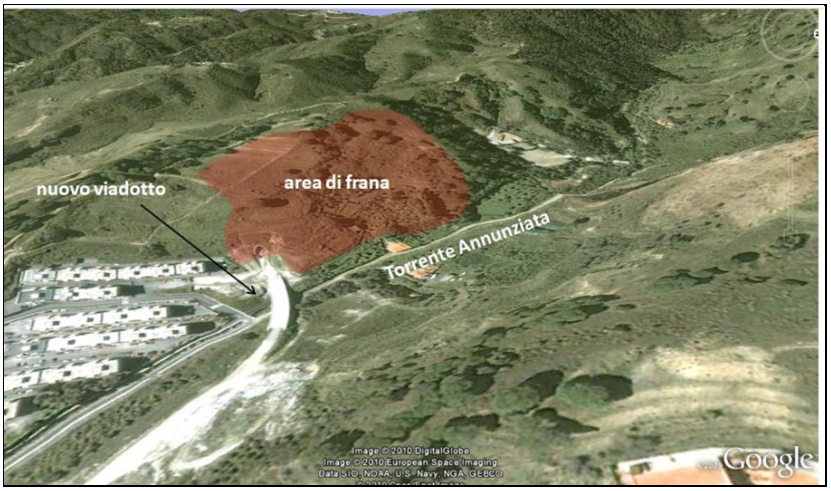


Figura 11-36.- Frana dell'Annunziata

Di questi corpi di frana, il primo e più antico, pur essendo inattivo rispetto ad agenti naturali, può comunque essere riattivato antropicamente qualora interventi di scavo e/o modifica della morfologia di versante possano ripristinarne la libertà cinematica, portandolo contestualmente al di fuori delle condizioni di equilibrio. I restanti due corpi di frana, essendo già attivi, possono essere portati in condizioni di maggiore disequilibrio da eventuali interventi antropici, che ne potrebbero causare la riattivazione e/o l'accelerazione del movimento. Dal momento che la documentazione di progetto e il relativo studio del versante risale al 2010, si raccomanda di aggiornare lo studio, nella **Fase B** del progetto, al fine di valutare la eventuale necessità di interventi di stabilizzazione.

Pertanto, si prescrive, in **Fase A** del **PE**, di aggiornare lo studio della instabilità del versante in prossimità dello svincolo dell'Annunziata (che risale al 2010) al fine di valutare la eventuale necessità di interventi di stabilizzazione.

11.2.3.8. Geotecnica: sintesi delle prescrizioni e raccomandazioni

Si riportano in sintesi le prescrizioni e raccomandazioni per lo sviluppo del **PE** per gli aspetti geotecnici.

PRESCRIZIONI

1. Modello geotecnico di sottosuolo
   adeguamento ed approfondimento del piano delle indagini, finalizzato a definire con la dovuta accuratezza il profilo stratigrafico, le caratteristiche meccaniche, idrauliche e sismiche dei terreni interessati dalle opere in progetto. L'approfondimento dovrà riguardare i terreni interessati dalle fondazioni dei ponti e dei viadotti e dalle gallerie, sia sul lato Sicilia sia sul lato Calabria. L'approfondimento delle indagini dovrà essere in linea con la considerevole evoluzione tecnologica e delle conoscenze che oggi rendono usuali le indagini e le prove in sito e di laboratorio che all'epoca della redazione del **PP** e **PD** venivano considerate avanzate (specie in relazione alle indagini sismiche). Dovrà inoltre essere adeguato alle **NTC2018**; l'adeguamento è previsto dalla stessa Relazione del progettista, e vi deve essere dato seguito in fase di elaborazione dello stesso **PE** (**Fase B**).
2. Sismica
   deve essere posta alla caratterizzazione e alla progettazione in zona sismica a partire dai necessari approfondimenti legati all'adeguamento normativo **NTC2018**, sia dal punto di vista della determinazione delle azioni di progetto che delle verifiche delle opere d'arte in progetto (**Fase B**).

3. Liquefazione
   Si rende pertanto necessario che il progettista affronti il tema, partendo dalle verifiche normative **NTC2018** e, nel caso sussista il pericolo di liquefazione, proceda alla revisione delle analisi sviluppate per il **PD**, impiegando input sismici coerenti con quelli previsti dalle verifiche sismiche previste dalla progettazione **PE** di tutte le altre opere, e con caratteristiche stratigrafiche, fisiche, meccaniche, idrauliche e sismiche dei terreni che siano frutto degli approfondimenti delle indagini e delle caratterizzazioni previste per il **PE** (e sopraccitate) oltre che modelli di interpretazione del comportamento del terreno di cui sia data evidenza dell'affidabilità interpretativa, anche ricorrendo ad analisi di confronto basate sull'impiego di modelli consolidati di comprovata affidabilità(**Fase B**)
4. Si prescrive che in fase di **PE** il dimensionamento sismico delle opere in sotterraneo sia affrontato in modo esplicito facendo ricorso a metodologie e approcci di comprovata validità scientifica e tecnica, adeguatamente giustificati nella relazione di calcolo (**Fase B**).
5. Si prescrive sulla base degli esiti delle nuove indagini geologiche, geofisiche e paleosismologiche già previste, siano rivalutati il tracciato delle opere sotterranee e, se necessario, adottate specifiche misure di mitigazione della vulnerabilità sismica. Tali misure potranno essere attive, volte a sostenere il carico sismoindotto; passive, finalizzate ad assorbire le deformazioni da dislocazione; oppure integrate o orientate allo smorzamento dell'input sismico, in funzione delle caratteristiche geometriche e cinematiche delle faglie accertate e dell'entità degli spostamenti attesi in corrispondenza dei piani di taglio (**Fase A**).
6. Si prescrive che, in fase di **PE**, siano eseguite prove per identificare l'eventuale comportamento rigonfiante dei geomateriali presenti nelle tratte interessate, mediante metodologie di comprovata efficacia, quali, a titolo esemplificativo, la diffrattometria a raggi X per la determinazione della componente argillosa del litotipo. Qualora tali prove evidenzino la presenza di minerali suscettibili di rigonfiamento, si prescrive inoltre di estendere la caratterizzazione con prove edometriche o triassiali di rigonfiamento, così da acquisire i parametri necessari per valutare correttamente gli effetti sul rivestimento delle gallerie e definire le eventuali misure progettuali di mitigazione (**Fase A**).
7. Riguardo ai viadotti lato Calabria e Sicilia, nella fase di riprogettazione nel **PE**, si prescrive di riverificare gli stati limite ultimi delle fondazioni e delle opere accessorie secondo le **NTC 2018** e, per alcuni strategici al fine di non interrompere il collegamento stabile fra Sicilia e Calabria, prevedere combinazioni eccezionali delle azioni adeguate a tale finalità (**Fase B**).
8. Si prescrive di aggiornare lo studio della instabilità del versante in prossimità dello svincolo dell'Annunziata (che risale al 2010) al fine di valutare la eventuale necessità di interventi di stabilizzazione (**Fase A**).

RACCOMANDAZIONI

1. Si raccomanda che per le opere d'arte principali, ove non risulti già adeguatamente considerato in fase di **PD**, in fase di **PE** il dimensionamento strutturale di tutte le opere nelle quali la componente di interazione terreno-struttura riveste importanza ai fini della determinazione del carico geotecnico (in particolare le gallerie, ove tale componente è di fondamentale importanza per la determinazione del carico indotto sul rivestimento) sia condotto in piena coerenza con le disposizioni della normativa vigente, fornendo adeguata dimostrazione documentale della corrispondenza tra l'approccio adottato e i requisiti del § 6.2.4.1.3 delle **NTC 2018** (**Fase B**).
2. Si raccomanda che in fase di **PE** il ricorso ad analisi numeriche più avanzate sia esteso in modo sistematico, soprattutto nei casi non adeguatamente rappresentabili con metodi analitici. In particolare, occorre prestare attenzione a condizioni critiche che riguardano: le sezioni in parietalità, soggette a stati tensionali iniziali fortemente anisotropi, che richiedono analisi numeriche dedicate per ciascun fornice; e le interferenze tra opere sotterranee, comprese quelle preesistenti, dovute a vicinanza o sovrapposizione plano-altimetrica. I casi più rilevanti riguardano, sul versante calabro, i sottopassi dei Rami A e D e l'innesto tra Ramo A, Ramo C e la galleria autostradale Piale, i bypass ferroviari a quota differente, i pozzi verticali e le opere di imbocco lato Centro Direzionale con paratie in diaframmi; sul versante siciliano, la sovrapposizione tra la galleria S. Cecilia e la galleria dei Peloritani al km 15+513, con un franco minimo di 1,5 m nelle ghiaie e sabbie di Messina (**Fase A**).
3. Si raccomanda di integrare le analisi con approcci idro-meccanici accoppiati, in via prioritaria per le sezioni policentriche scavate con metodo tradizionale e per quelle interessate da geomateriali suscettibili di

comportamento non drenato nel breve termine. In tali casi, si raccomanda inoltre di verificare con particolare attenzione l'eventuale insorgenza di stati di trazione localizzati nel rivestimento, dovuti alle sovrappressioni interstiziali negative generate dal rilascio tensionale conseguente allo scavo nell'ammasso circostante, nonché le relative implicazioni sul dimensionamento dei rivestimenti (**Fase B**).

4. Si raccomanda che nella fase di **PE** venga tenuta in debita considerazione la componente di interazione terreno-struttura che riveste importanza ai fini della determinazione del carico geotecnico garantendo la rispondenza alle prescrizioni delle Norme Tecniche vigenti (Tipo B).
5. Si raccomanda che, in fase di **PE**, il dimensionamento del rivestimento definitivo di ciascuna galleria sia accompagnato da specifiche verifiche strutturali a lungo termine, che considerino un decadimento della resistenza del prerivestimento, più o meno marcato in funzione dei materiali e delle condizioni ambientali attese. Tali verifiche dovranno accertare la capacità del solo rivestimento definitivo di assorbire integralmente il carico geotecnico di esercizio, nell'ipotesi conservativa di completa inefficacia del prerivestimento, così da garantire la funzionalità strutturale dell'opera per l'intera vita utile prevista (**Fase B**).
6. Considerato che il volume perso è il parametro che più incide sulla stima dei cedimenti superficiali attesi, come già evidenziato tra i principali risultati della FASE 0, si raccomanda che, in fase di **PE**, le scelte progettuali adottate per definirlo — e in particolare la riduzione dell'intervallo analizzato in FASE 1 — siano motivate in modo esplicito, univoco e privo di ambiguità, così da garantire la piena tracciabilità e verificabilità delle assunzioni alla base della stima degli effetti indotti in superficie (**Fase B**).
7. Si raccomanda che in fase di **PE** l'estensione del dominio di calcolo sia verificata e, se necessario, aumentata, assumendo come riferimento una distanza dai bordi del modello pari a circa 10 volte il diametro equivalente della sezione di scavo (10D) in ogni direzione, così da evitare influenze significative delle condizioni al contorno sui risultati nelle aree di interesse. Resta ferma l'eccezione della porzione superiore del dominio nei tratti a minore copertura, dove l'estensione del modello è necessariamente condizionata dalla morfologia topografica (**Fase B**).
8. Si raccomanda che, in fase di **PE**, le assunzioni adottate siano validate con prove di sfilamento in sito sulle litologie effettivamente interessate dagli interventi di preconsolidamento di ciascuna galleria, così da verificare la corrispondenza tra i valori di aderenza assunti e il comportamento reale dell'interfaccia terreno-elemento di rinforzo e, se necessario, aggiornare il dimensionamento degli elementi di preconsolidamento (**Fase A**).
9. Si raccomanda che, in fase di **PE**, ove non già previsti, siano eseguiti sondaggi geognostici dedicati, di profondità adeguata e localizzati nei tratti più critici di ciascun ramo, al fine di caratterizzare il regime idrogeologico locale e verificare oggettivamente le ipotesi assunte in sede di **PD** (**Fase A**).

11.2.4. Idrologia e idraulica

L'analisi organica della documentazione tecnica e dei bilanci idrologici e idraulici relativi al progetto rivela un quadro di vulnerabilità sistemiche che richiedono un aggiornamento ed adeguamento agli standard normativi.

La problematica di fondo risiede nella necessità di armonizzare un impianto progettuale che ha avuto origine diversi lustri fa con un contesto climatico e normativo radicalmente mutato, operazione che non può prescindere da una visione integrata dell'opera all'interno del fragile ecosistema siculo-calabro.

Sotto il profilo idrologico, emerge la necessità della verifica delle portate di picco, ottenute dall'utilizzo di serie storiche pluviometriche limitate al 2009. L'analisi svolta non permette di tenere conto dell'estremizzazione dei regimi piovosi dell'ultimo quindicennio e produce risultati relativi ai tempi di ritorno potenzialmente ottimistici.

Per garantire la corretta progettazione dell'infrastruttura, è necessario che le verifiche idrauliche adottino scenari estremi con tempi di ritorno pari almeno a 200 anni, supportati dall'aggiornamento delle Curve di Possibilità Pluviometrica con i dati della serie storica 2009-2025.

Il risultato dovrà inoltre tenere conto dei cambiamenti climatici, eventualmente incrementando le altezze di precipitazione alla base del dimensionamento delle opere.

A tale riguardo, si prescrive, pertanto, di aggiornare – per le stazioni di misura dove questo non sia già stato fatto - con i dati rilevati fino al 2025 gli studi sugli afflussi meteorici già nella **Fase A**, integrando l'informazione pluviometrica di base (**ISPRA, CNR**) con i dati reperibili presso altri organismi (Regioni, enti territoriali, Concessionari di servizi pubblici), tenendo conto dei potenziali incrementi delle altezze di precipitazione dovute ai cambiamenti climatici. Tale analisi deve essere accompagnata da una modellazione idraulica adeguata, caso per caso, all'importanza dell'opera in esame volta a simulare nel migliore dei modi l'assetto post-operam. In altre parole, la simulazione digitale deve riprodurre il territorio come se l'infrastruttura fosse già realizzata, analizzando l'interazione tra i nuovi manufatti in alveo - così come definito dalla vigente normativa (**NTC2018**), i rilevati e le opere esistenti a valle fino alla foce, al fine di escludere incrementi del rischio idraulico rispetto la situazione ante-operam.

Dovrà in ogni caso essere valutato il rischio residuo.

Un tema di attenzione è quello legato alla gestione dell'invarianza idraulica. Tale parametro oltre ad essere un dettato normativo deve essere subordinato alla reale capacità di ricezione dei torrenti locali e al rispetto del limite di scarico fissato dalle normative regionali. Va infatti considerato il rischio che l'immissione di tali portate avvenga durante il colmo di piena del ricettore, andando ad aggravare le condizioni idrauliche a valle, con impatti sugli attraversamenti stradali e ferroviari, e potenziali fenomeni di esondazione. Il progetto deve pertanto garantire una visione sistemica che includa il "rilascio differito" delle acque, aumentando e localizzando in modo chiaro i volumi di laminazione - stimati dal progettista in circa 20.500 m^3 e privi di una indispensabile e chiara localizzazione cartografica - che dovranno trattenere le acque di piattaforma per tutto il tempo necessario a garantire un sicuro rilascio nel ricettore. Se ciò non risultasse verificato, la condizione di piena del ricettore potrebbe essere causa di rigurgito che, propagandosi a monte, comprometterebbe il funzionamento di parte del sistema di drenaggio delle sedi stradali e ferroviarie.

Si prescrive, pertanto, di effettuare la verifica dei volumi di laminazione disponibili, integrandoli, nella **Fase B** del progetto individuando le aree idonee ad accogliere tali volumi. Il sistema di drenaggio deve inoltre garantire che le acque meteoriche di prima pioggia, cariche di inquinanti da traffico veicolare, vengano convogliate verso il trattamento, escludendo lo scarico diretto nei ricettori naturali e nello specchio acqueo dello Stretto.

Il sistema deve, nel suo complesso, essere dimensionato per gestire le portate calcolate sulla base dei nuovi ietogrammi aggiornati con le serie fino al 2025 come precedentemente definito, assicurando il corretto drenaggio di tutte le sedi stradali, l'allontanamento delle acque e la regolarità del deflusso delle acque di prima pioggia verso gli impianti di trattamento. Nel **PE**, nella **Fase B**, si prescrive di dimensionare i sistemi di drenaggio e allontanamento delle acque, oltre agli impianti di trattamento in base alle esigenze accertate.

Un ulteriore tema riguarda la strategia di approvvigionamento idrico in fase di cantiere, basata anche sull'emungimento da pozzi. L'estrazione continua di grandi portate altera le pressioni interstiziali del terreno, potendo innescare localmente fenomeni di subsidenza e di instabilità, fino alla riattivazione di corpi di frana nei versanti scoscesi, alcuni dei quali già censiti dai **PAI**. Sono inoltre da valutare attentamente le conseguenze dell'attingimento in relazione al fenomeno di intrusione salina. Le suddette verifiche e valutazioni dovranno essere effettuate (prescrizione) nella **Fase B** del progetto. Tali problematiche sono proprie delle attività previste sul versante Calabria, mentre in Sicilia si ipotizza il ricorso alla dissalazione modulare. Gli impianti dovranno essere operativi e collaudati prima dell'inizio delle attività ad alto fabbisogno, come lo scavo delle gallerie tramite tecnologia **TBM**, prevedendo inoltre opportuni volumi di stoccaggio atti a supplire ad eventuali interruzioni nell'approvvigionamento.

Inoltre, nella **Fase A** del progetto è necessario verificare la compatibilità dei prelievi previsti per l'alimentazione dei cantieri e le lavorazioni durante la fase di costruzione, e in particolare per il funzionamento delle **TBM**, con la

potenzialità delle fonti di approvvigionamento a servizio delle utenze civili, irrigue e industriali del territorio interessato, considerando anche l'eventualità di periodi siccitosi di lunga durata.

Chiaramente, oltre agli aspetti quantitativi dell'approvvigionamento idrico, dovranno essere attentamente valutati quelli qualitativi (prescrizione di **Fase B** da proseguire in Fase di esecuzione). Si sottolinea che l'impiego di acqua con concentrazioni di cloruri e solfati superiori ai limiti previsti dalle norme **UNI** EN 206 rappresenterebbe un danno strutturale occulto, accelerando la corrosione delle armature e compromettendo la vita utile delle opere.

Al di là della specificità di ciascun caso ed opere interessate dal progetto, appare necessario prescrivere che in **Fase A** per tutti i nuovi attraversamenti sia rispettata la normativa vigente (**NTC2018**) e siano ottemperate le specifiche riportate nella **Circolare** esplicativa delle medesime NTC2018.

Per gli attraversamenti esistenti in qualsiasi modo interessati dalle attività connesse alla realizzazione del ponte, si raccomanda che in **Fase A**, sia valutato, anche per gli aspetti idraulici, il rischio secondo l'approccio multilivello proposto dalle Linee Guida per i Ponti Esistenti **DM** 204/2022 e successivi aggiornamenti. Analoga procedura dovrà essere adottata per le gallerie stradali e i sottopassi esistenti se interessati dalle attività connesse alla realizzazione del ponte in accordo con quanto riportato nelle Linee Guida **DM** 247/2022.

Dall'esame della documentazione si rilevano, infine, alcune problematiche comuni a molti interventi in progetto.

Tra queste si ricordano (**PRESCRIZIONI DI FASE B**):

I. assenza di specifiche valutazioni relative al trasporto solido, svolte anche con tecniche empiriche attraverso la caratterizzazione dei materiali d'alveo;
II. utilizzo improprio di gabbioni e materassi di pietrame, così come di geotessuto e georete, laddove non sia da escludere il trasporto di materiale d'alveo di granulometria non trascurabile;
III. schematizzazioni del moto sviluppate sulla base di ipotesi non adeguate a descrivere la complessità dei fenomeni;
IV. non adeguata modellazione idraulica delle sistemazioni dei pendii ad elevata pendenza realizzate tramite briglie ravvicinate;
V. conoscenza del territorio non sempre coerente con quanto richiesto dalla progettazione delle opere di sistemazione e difesa; mancato esame delle conseguenze degli interventi sui territori e le infrastrutture esistenti a valle;
VI. limitata attenzione alle problematiche connesse con le colate detritiche;
VII. incongruenze relative alle verifiche di stabilità delle protezioni spondali e di fondo che emergono in non pochi casi, come sembrano essere non sempre adeguati gli interventi adottati per la mitigazione delle problematiche relative al sifonamento delle opere.

La conformità del progetto agli standard nazionali e internazionali e alla tutela del territorio è subordinata alla risoluzione di queste interdipendenze critiche fin dalla fase di progettazione che deve di necessità considerare anche le diverse fasi costruttive oltre alla configurazione finale delle opere.

11.2.4.1. Idraulica: sintesi delle prescrizioni e raccomandazioni

Di seguito sono riportate in sintesi le prescrizioni e raccomandazioni per lo sviluppo del **PE** per quanto attiene agli aspetti geotecnici.

PRESCRIZIONI

1. Aggiornare con i dati rilevati fino al 2025 gli studi sugli afflussi meteorici, integrando l'informazione pluviometrica di base (**ISPRA, CNR**) con i dati reperibili presso altri organismi (Regioni, enti territoriali, Concessionari di servizi pubblici). Il risultato dovrà tenere conto dell'impatto dei cambiamenti climatici,

eventualmente incrementando le altezze di precipitazione da utilizzare per il dimensionamento delle opere. (**Fase A**);

2. Per tutti i nuovi attraversamenti stradali e ferroviari dei corsi d'acqua devono essere osservate le norme vigenti (**NTC 2018** e relativa circolare esplicativa 2019) (**Fase A**);
3. Verificare l'adeguatezza dei volumi di laminazione previsti per assicurare l'invarianza idraulica delle opere in progetto (acque di piattaforma ecc.), definendo la localizzazione di detti volumi, integrandoli se necessario, per non interferire con i deflussi di piena dei ricettori (**Fase B**);
4. Dimensionare gli impianti di trattamento delle acque di prima pioggia sulle piattaforme in base alle esigenze accertate (**Fase B**);
5. Definire le strategie di approvvigionamento idrico in fase di cantiere, verificando e valutando gli effetti dei quantitativi emunti dai pozzi al fine di evitare fenomeni di subsidenza, instabilità dei versanti e intrusione salina (**Fase B**);
6. Verificare la compatibilità dei prelievi previsti per l'alimentazione dei cantieri e le lavorazioni durante la fase di costruzione con la potenzialità delle fonti di approvvigionamento a servizio delle utenze civili, irrigue e industriali del territorio interessato, considerando anche l'eventualità di periodi siccitosi di lunga durata (**Fase A**);
7. Valutare gli aspetti qualitativi dell'acqua da impiegare in cantiere, con riferimento particolare alla concentrazione di cloruri e solfati, dannosi per la costruzione di strutture in c.a., nel rispetto di quanto stabilito dalla norma **UNI** EN 206ta (**Fase B**);
8. Svolgere specifiche valutazioni del trasporto solido dei corsi d'acqua attraversati dalle opere in progetto, anche mediante tecniche empiriche e attraverso la caratterizzazione dei materiali d'alveo (**Fase B**);
9. Verificare l'idoneità dell'impiego di gabbioni e materassi di pietrame, di geotessuto e georete, in condizioni dove non è possibile escludere il trasporto di materiale d'alveo di granulometria non trascurabile (**Fase B**);
10. Adottare, nelle verifiche idrauliche, schematizzazioni del moto basate su ipotesi idonee a descrivere la complessità dei fenomeni indagati (**Fase B**);
11. Adeguare il grado di conoscenza del territorio a quanto richiesto dalla progettazione delle opere di sistemazione e difesa mediante appropriati rilievi topografici (**Fase B**);
12. Verificare le conseguenze degli interventi in progetto sui territori e le infrastrutture esistenti a valle (**Fase B**);
13. Approfondire le problematiche connesse con le colate detritiche (**Fase B**);
14. Verificare la stabilità delle protezioni spondali e di fondo, ed adottare gli interventi necessari per la mitigazione delle problematiche relative al sifonamento delle opere (**Fase B**).
15. Per gli attraversamenti esistenti in qualsiasi modo interessati dalle attività connesse alla realizzazione delle opere in progetto, occorre valutare il rischio secondo l'approccio multilivello proposto dalle Linee Guida per i Ponti Esistenti **DM** 204/2022 e successivi aggiornamenti (**Fase A**). Anche per le gallerie stradali e i sottopassi esistenti se interessati dalle attività connesse alla realizzazione del ponte, dovrà essere valutato il rischio in accordo con quanto riportato nelle Linee Guida **DM** 247/2022.

11.3. Norme e regole di progettazione, continuità funzionale e interoperabilità

11.3.1. Ambito stradale - Norme funzionali e geometriche

Come detto al § 0 si è rilevato che per le opere del collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria risulta obbligatorio il pieno rispetto del Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici del 5.11.2001, recante "*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*", emanato in attuazione dell'art. 13 del D.Lgs. 30 aprile 1992, n. 285 "*Nuovo Codice della Strada*" e successive modifiche e integrazioni e che l'attuale previsione progettuale presenta non conformità rispetto a tale norma in merito alla velocità di progetto prevista per l'opera di attraversamento, dalla quale si è fatta discendere anche la velocità di progetto adottata per i tronchi che permettono le diramazioni e le confluenze dei flussi sugli itinerari SA-ME, ME-SA, ME-RC, RC-ME, SA-RC e RC-SA.

Della sussistenza di tale non conformità è dato atto nel documento di progetto CG3400 P RG D G TC 00 G0 00 00 00 01B [GE 0016], "*Caratteristiche funzionali e geometriche e normative di riferimento*", datato 20/06/2011, laddove il progettista osserva che il parere precedentemente espresso dal **CSLP** è stato espresso prima dell'entrata in vigore della normativa cogente per il progetto e conclude come segue: "*In conclusione, è opportuno accertare se il parere n. 220 del Consiglio Superiore dei LL PP e la successiva approvazione del CIPE n. 66 possono costituire autorizzazione a derogare dal dettato del DM 5.11.2001 oggi in vigore, in conformità con l'orientamento preso dalla Committente in sede di riunione, o se, viceversa, occorre formalmente riproporre la questione per conferma al Consiglio Superiore dei LL PP*.".

È necessario evidenziare che la definizione della velocità di progetto discende dalla classificazione dell'elemento stradale, in coerenza con la funzione assolta dal tronco in progetto nella complessiva rete stradale cui appartiene, nonché dalle caratteristiche del tracciato planimetrico.

Velocità di progetto, come anche numero, dimensioni e caratteristiche degli elementi compositivi della sezione stradale, andamento plano-altimetrico del tracciato, distanze di visibilità, caratteristiche superficiali della pavimentazione (con particolare riguardo all'aderenza disponibile al contatto), caratteristiche e prestazioni dei dispositivi di ritenuta e degli altri elementi marginali, unitamente a tutti gli altri aspetti più significativi del progetto tecnico dell'infrastruttura stradale, discendono e dipendono direttamente dalla funzione svolta nella rete, ed è particolarmente importante che, tra tali aspetti, sussista intrinseca coerenza e corrispondenza.

Atteso che all'opera di attraversamento e ai relativi rami di collegamento con la rete autostradale continentale ed insulare (verso Messina, Reggio Calabria e Salerno) è assegnata nel progetto la funzione di autostrada extraurbana, l'intervallo di velocità di progetto è definito dalla norma in 90÷140 km/h per l'opera di attraversamento e per tutti gli altri rami autostradali che da essa divergono o che verso essa convergono. La modulazione tra 90 e 140 km/h dipende unicamente dall'andamento geometrico del tracciato, il quale deve a sua volta essere progettato in base alle regole e ai vincoli dettagliati nelle norme tecniche allegate al **DM** 5.11.2001.

Qualora venga ad assumere efficacia il III Atto aggiuntivo alla Convenzione di Concessione, nel quale si qualifica l'itinerario come strada extraurbana principale di categoria B, le precedenti considerazioni rimangono inalterate, con la sola differenza della variazione dell'intervallo di velocità di progetto da 90-140 a 70-120 km/h, con il quale dovrà essere verificata l'opera di attraversamento e tutti i suddetti rami, in quanto l'itinerario rimane comunque funzionalmente appartenente alla rete primaria.

A riguardo, si evidenzia peraltro che, data la rilevanza dell'opera e l'orizzonte di vita utile previsto, sarebbe auspicabile il mantenimento della classificazione degli elementi viari principali nella tipologia "A" piuttosto che nella "B", in modo da poter offrire all'utenza migliori standard tecnici e corrispondenti livelli di servizio elevati; per gli altri rami, riconosciuti secondari in base ai volumi veicolari serviti e alla rilevanza delle corrispondenti relazioni di traffico, si dovrà procedere a una gerarchizzazione con conseguente attribuzione delle corrispondenti categorie stradali o identificazione come rampe di svincolo.

Dall'esame della documentazione progettuale sottoposta non è emerso, né per l'opera di attraversamento, né per i collegamenti in Calabria o in Sicilia, il rispetto di quanto sopra indicato; né viene evidenziata alcuna motivazione sostanziale per effetto della quale non risulti possibile assicurare il pieno rispetto della normativa tecnica e, pertanto, risulti necessario invocare la fattispecie della deroga, secondo quanto previsto dal comma 2 del già citato art. 13 del Codice della Strada.

Pertanto, va rispettato l'intervallo di velocità previsto dal **DM** 5.11.2001 per la categoria di strada di appartenenza.

Con la raccomandazione 23CS il **CS 2023** ha inoltre evidenziato la necessità di tenere conto, nella redazione del PE e nelle successive fasi, fino alla messa in esercizio, delle prescrizioni dettate dal **D.Lgs.** 35/2011, in attuazione della direttiva 2008/96/CE riguardante la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali. Il **CG** ha osservato in proposito che nel corso della redazione del **PE** avrebbe condotto i controlli previsti per tale fase e solo alcuni di quelli

previsti per le fasi precedenti, poiché il progetto preliminare dell'opera è stato approvato precedentemente all'entrata in vigore del **D.Lgs.** 35/2011.

Tuttavia, tra i controlli di sicurezza rivestono cruciale importanza quelli di competenza della fase del **PD** di cui all'Allegato II del **D.Lgs.** 35/2011, punto 2 lettera a) "analisi e verifica del tracciato", nonché quelli di competenza del progetto di fattibilità tecnica ed economica, previsti al punto 1 dello stesso Allegato II del **D.Lgs.** 35/2011, segnatamente quelli relativi all'analisi della situazione geografica, all'analisi e verifica della funzionalità dell'infrastruttura all'interno della rete, all'analisi delle condizioni plano-altimetriche della nuova infrastruttura (velocità di progetto, geometria dell'asse, numero e tipo di corsie, tipi di intersezioni e/o svincoli, verifica visuale libera), alla tipologia del traffico ammesso.

È importante evidenziare che le norme di cui al **DM** 5.11.2001, che definiscono i criteri per la progettazione degli aspetti funzionali e degli elementi geometrici delle strade, precisano che la qualificazione funzionale delle strade è basata sui tipi di utenti e di attività ammesse sulle strade stesse, tenuto conto della situazione ambientale in cui esse sono inserite e che i criteri di progettazione riguardano gli elementi geometrici dell'asse e della piattaforma, affinché la circolazione degli utenti ammessi si svolga con sicurezza e regolarità. Nello specifico, per i veicoli motorizzati le norme perseguono lo scopo di indurre i conducenti a non superare i valori di velocità posti a base della progettazione (intervallo di velocità di progetto). Detti valori variano da elemento a elemento.

Il limite superiore dell'intervallo è la velocità di riferimento per la progettazione degli elementi meno vincolanti del tracciato, date le caratteristiche di sezione della strada. Essa è comunque almeno pari alla velocità massima di utenza consentita dal Codice per i diversi tipi di strada (limiti generali di velocità), mentre il limite inferiore dell'intervallo è la velocità di riferimento per la progettazione degli elementi plano-altimetrici più vincolanti per una strada di assegnata sezione. L'adeguamento del comportamento di guida degli utenti alle caratteristiche tecniche della strada deve ottenersi, prevalentemente, mediante spontanea adesione alle condizioni di marcia in sicurezza consentite, tenendo anche conto di come esse sono percepite dai conducenti, piuttosto che attraverso limitazioni forzose della velocità le quali, come noto, hanno elevata possibilità di essere disattese dal traffico circolante. Tale principio, oltre che posto a base dei modelli teorici su cui si fonda la progettazione stradale, è anche chiaramente statuito dagli artt. 141 e 142 del Codice della Strada.

Ciò stante, l'esclusione delle verifiche previste dal **D.Lgs.** 35/2011 per il **PFTE** impedisce che venga rilevata, rispetto alla sicurezza della circolazione, la criticità provocata dalla riduzione della velocità massima di progetto a 90 km/h, riduzione che, in base alla documentazione sottoposta per il parere e considerate le calcolazioni e le verifiche progettuali reperibili negli elaborati progettuali o relazionate in fase istruttoria in risposta alla richiesta di chiarimento n.4, non è sostenuta dalla comprova dei presupposti relativi ad alcuna delle specifiche situazioni previste per la deroga dal comma 2 dell'art. 13 del Codice della Strada (particolari condizioni locali, ambientali, paesaggistiche, archeologiche ed economiche che non consentano il pieno rispetto della norma).

Per quanto sopra, l'**Assemblea**, visto quanto indicato nell'art. 3 c.2 lettere b) e c) del **DL** 35/2023, visti gli articoli art. 4 c.1 e 12 c.3 del **D.Lgs.** 35/2011, al fine di assicurare adeguati livelli di sicurezza dell'opera nel suo complesso, ritiene necessario che nella **Fase A** del **PE** i controlli di sicurezza previsti dal c.3 dell'allegato II al **D.Lgs.** 35/2011 per la fase di progettazione esecutiva, siano integrati con quelli previsti al c.1 e c.2 dello stesso allegato inerenti alle precedenti fasi progettuali.

Si è già accennato in precedenza che nella Risposta n.1-II il Proponente ha argomentato che il limite di velocità a 80 km/h, imposto preventivamente sull'opera di attraversamento, discenda dall'intenzione di ridurre l'incidentalità. Sulla base di tale scelta, viene adottata la velocità di progetto di 90 km/h non solo per l'opera di attraversamento, ma anche per tutta la nuova infrastruttura di continuità all'autostrada A2.

A tal proposito va osservato che l'adozione preventiva di un eventuale limite di velocità di esercizio ridotto (80 km/h) non giustifica una progettazione basata su una velocità di progetto regolata su quel limite di esercizio (90 km/h).

La velocità di progetto è fissata dalla Norma in relazione alla categoria di strada.

Il limite di esercizio, viceversa, compete al Gestore, che può, motivatamente, imporlo inferiore a quello derivante dalla velocità di progetto del tronco stradale. Quando il progettista, come nel presente caso, alla ridotta velocità di progetto sull'opera di attraversamento, che comunque avrebbe caratteristiche strutturali e geometriche compatibili con velocità di 140 km/h (asse rettilineo e sezione anche superiore a quella della categoria A della norma), fa conseguire tracciati con assi compatibili con una velocità di progetto di 90 km/h, come per i tronchi di adduzione e addirittura per quelli di egresso, si potrebbero creare condizioni di maggiore criticità del tracciato, ammettendo per esso una più elevata tortuosità che produce maggiore difficoltà nella guida ed esposizione al rischio incidentale, rispetto al caso di standard geometrici coerenti con velocità di progetto superiori.

Si rileva, infine, che nella risposta alla richiesta di chiarimento n.4 il proponente afferma quanto segue:
L'interconnessione sul versante calabrese tra l'Opera di Attraversamento (OdA) e l'autostrada A2 Salerno Reggio Calabria, se configurata funzionalmente come strada extraurbana principale, tipo B ai sensi del Codice della Strada (CdS), deve essere progettata, ai sensi dell'art. 2 del CdS e tenendo conto delle indicazioni del DM 19.04.2006 (pur non cogente), assumendone i criteri quale riferimento progettuale per la definizione dello schema di svincolo (intersezione tipo 1).
Infatti:

- *L'art. 2, comma 3B, del CdS precisa che una strada tipo B deve essere contraddistinta da appositi segnali di inizio e fine. Non può, quindi, essere posta in continuità con la A2, che ha una classe funzionale diversa;*
- *Il capitolo 3 del DM 19.04.2006 prevede che l'interconnessione tra una strada tipo A e una tipo B avvenga mediante una intersezione tipo 1, cioè uno "svincolo" a livelli sfalsati, in cui le manovre di svolta a destra o a sinistra vengono realizzate mediante "rampe" e corsie specializzate di diversione – immissione.*

Tali assunti non appaiono conformi con quanto indicato nelle norme citate e nel **DM** 05.11.2001 recante le "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e debbono essere risolti nel PE.

Infatti, dalla precisazione dell'art. 2, comma 3B, del **CdS**, che una strada tipo B debba essere contraddistinta da appositi segnali di inizio e fine, non consegue che tale strada non possa essere posta in continuità con una autostrada di tipo A e debba perciò essere a essa connessa solamente tramite "rampe" o corsie specializzate di diversione – immissione. Tanto più che, nel caso di specie, il volume di traffico principale segue un itinerario continuo, peraltro appartenente a un unico corridoio **TEN-T**, per il quale, pur accedendo all'ipotesi che esso possa essere costituito da tronchi stradali di diversa categoria posti in successione, non possono essere ammesse strozzature funzionali, come invece avverrebbe nel caso si dovesse passare da un'autostrada a una rampa (con le relative differenti velocità di percorrenza e capacità di traffico) e, poi, a una strada di Tipo B (e viceversa).

In ogni caso, per dimostrare ulteriormente la non applicabilità, al caso all'esame, dell'argomentazione avanzata dal proponente, è opportuno osservare contestualmente la Fig. 2a del **DM** 05.11.2001 e la Fig. 3 del **DM** 19.04.2006, di seguito riprodotte (Figura 11-37, Figura 11-38).

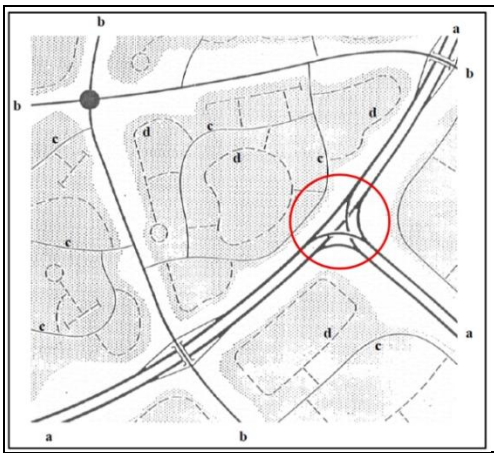


Figura 11-37.- Fig. 2.a del **DM** 05.11.2001

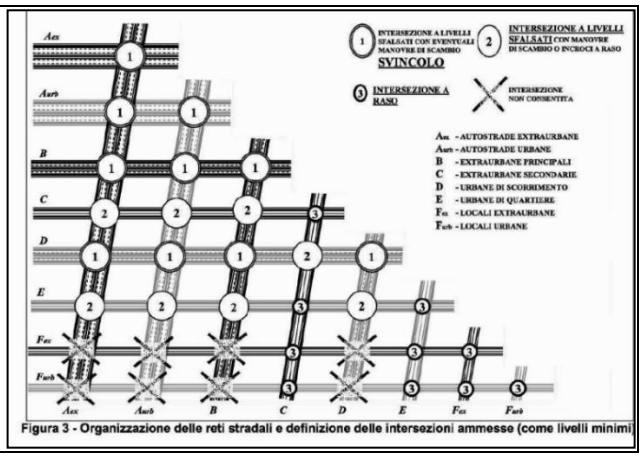


Figura 11-38.- Fig. 3 del **DM** 19.04.2006

Nella prima si esemplificano le connessioni tra i quattro livelli di rete previsti dalla Norma:
a) primaria, b) principale, c) secondaria, d) locale.

Nella seconda si indicano le tipologie di soluzione (come livelli minimi) delle intersezioni tra le strade che si debbono connettere. La rete primaria, in ambito extraurbano, ha funzione nazionale e interregionale e vi corrispondono le categorie di strade individuate nel Codice come autostrade extraurbane ed extraurbane principali.

L'opera di attraversamento dello Stretto di Messina, che collega due Regioni e connette due autostrade, fa parte evidentemente della rete primaria, per la quale la tipologia di connessione è individuata graficamente nella parte evidenziata della detta Figura, con diramazioni e confluenze di tipo paritario tra i flussi provenienti da o diretti verso le strade intersecantisi. Nel ricordare che in tutti i documenti progettuali sottoposti all'esame di questo Consiglio risulta assegnata all'attraversamento dello Stretto la categoria di autostrada extraurbana e che solo con la risposta alla richiesta di chiarimento n.4 il proponente ha fatto conoscere l'esistenza del III Atto aggiuntivo alla Convenzione di Concessione tra **SdM** e **MIT** con il quale, quando e qualora tale Atto sia definitivamente approvato e acquisti efficacia, l'itinerario verrebbe qualificato come strada extraurbana principale, si precisa che , in coerenza con i criteri indicati nel Cap. 2 delle Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, un tale declassamento non cambia il profilo funzionale e la gerarchizzazione del collegamento nella rete stradale nazionale, rimanendo esso comunque appartenente alla rete primaria. Prendendo inoltre in esame la Fig. 3 del **DM** 19.04.2006, si osserva che tra due strade di tipo A o tra una strada di tipo A e una di tipo B è sempre prevista la stessa tipologia 1 di intersezione.

Considerata la funzione svolta nella rete TEN-T e la classificazione degli archi, si deve concludere che tutto il complesso di rami infrastrutturali includente l'opera di attraversamento, sia classificato autostrada o strada extraurbana principale, deve essere posto in continuità con le autostrade che connette e in ambo i casi essere individuato da appositi segnali di inizio/fine senza che ciò possa far dedurre che debbano essere interposte "rampe".

Come anticipato per l'opera di attraversamento, è cogente per le reti **TEN-T** anche l'applicazione del **DM** 28 febbraio 2018 (Smart Roads). **Nella redazione del PE (Fase B) dovranno necessariamente essere individuati nelle sezioni tipologiche dei vari rami stradali che compongono le opere "a terra" idonei spazi per la collocazione delle apparecchiature e dei sistemi per la gestione del traffico, in conformità a detto DM.**

11.3.1.1. Collegamenti lato Calabria

ST1 Collegamento dal Ponte innesto A2 in direzione Nord Salerno

Il collegamento è individuato dal Ramo "A" che, dalla struttura terminale del ponte, in corrispondenza dall'asse Torre, termina sulla carreggiata direzione nord dell'autostrada A2 al km 2+336; in questo punto la rampa si trova all'esterno della direttrice nord della citata autostrada e può inserirsi su di essa in destra con un tratto in complanare di sviluppo pari a 553 m che termina al km 2+890 (v. Figura 11-39).

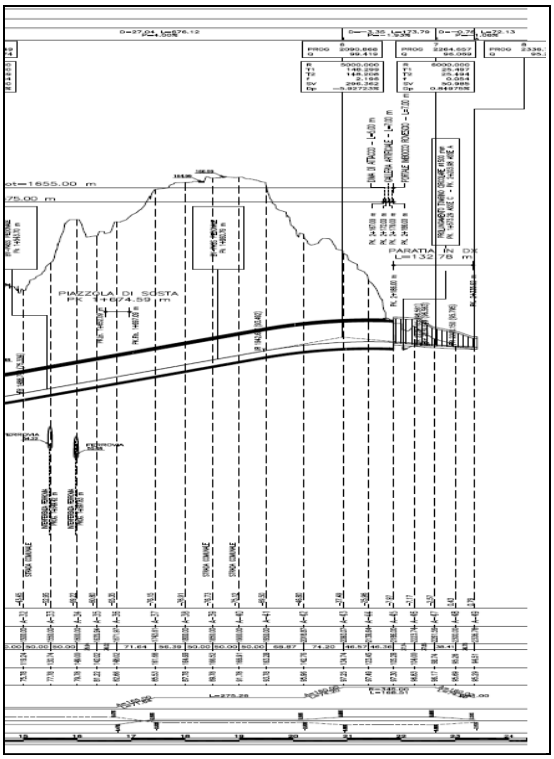


Figura 11-39.- raccordo convesso n. 6 (alla sezione A-85 – pk 2+090)

Il ramo è classificato in progetto come strada di categoria A (autostrada in ambito extraurbano) e progettato con una velocità massima di progetto ($V_{p\,max}$) pari a 90 km/h. Nella relazione [CS0003_F0] si legge:

"La sezione tipo adottata è costituita da una carreggiata composta da 2 corsie di marcia da 3,75 m ciascuna affiancate a destra dalla corsia di emergenza da 3,00 m ed a sinistra da una banchina di 0,70 m. Il tracciato planimetrico della rampa presenta un'ampia curva verso destra, con raggio R=585 m, a cui segue un una curva verso sinistra di notevole sviluppo e raggio pari a 380 m che precede l'ultima curva dell'asse, di 345 m di raggio, con la quale il tracciato si allinea alla carreggiata Nord della A3" (attualmente A2).

La larghezza della banchina di sinistra pari a 0.70 m, nel tratto caratterizzato dalla curva verso sinistra con raggio R = 380 m, non consente di ottenere la visuale libera necessaria con la velocità di progetto di 90 km/h prevista; è quindi previsto un allargamento della carreggiata di 1.45 m.

La livelletta non supera mai il 5% nei tratti a cielo aperto, ed il 4% nei tratti in galleria in salita.".

Le verifiche plano-altimetriche e le verifiche di visibilità non risultano conformi con i dettami del **DM** 05/11/2001 e dovranno essere aggiornate in base all'intervallo di velocità di progetto previsto dal citato **DM** per la categoria di strada a cui tale ramo appartiene, provvedendo alle verifiche di conformità delle caratteristiche geometriche e alle verifiche di sicurezza in coerenza con gli intervalli di velocità normativamente prescritti.

Per quanto riguarda il coordinamento plano altimetrico, si riscontra che il raccordo convesso n. 6 (alla sezione A-85 – pk 2+090) si sviluppa parte in galleria e parte all'aperto, comprendendo il tratto terminale di un rettifilo, l'intera clotoide che lo segue e buona parte del corrispondente raccordo circolare.

Tale circostanza appare essere critica rispetto alla sicurezza di marcia dei veicoli in quanto, in approccio al dosso, potrebbero non sussistere le condizioni necessarie affinché i conducenti abbiano una corretta percezione del tracciato planimetrico, con l'aggravante di trovarsi in una situazione d'illuminamento non uniforme. Nel **PE** tale criticità dovrà essere approfonditamente esaminata e risolta.

ST2 Collegamento dal Ponte innesto A2 in direzione Sud Reggio Calabria
Il collegamento è individuato dal Ramo "B" che, partendo dalla pk 0+330 del ramo A, termina raccordandosi alla carreggiata in direzione sud dell'autostrada A2, all'altezza della pk 1+300 circa. Il ramo risulta classificato come strada di categoria A (autostrada in ambito extraurbano) e progettato con una Vp max pari a 90 km/h. Nella relazione [CS0003_F0] si legge:

"Esso diverge dal ramo A dopo un tratto di decelerazione di lunghezza pari a 170 m (parallelo allo stesso ramo principale) e si conclude in corrispondenza della confluenza con la rampa L proveniente dal Centro Direzionale. La sezione tipo presenta una corsia di larghezza pari a 3,75 m affiancata da corsia di emergenza di 3,00 m e da un franco laterale in sinistra di 2,25 m.

Il ramo B presenta un andamento planimetrico complesso, composto da un doppio flesso con raggi compresi tra 405 e 525 m; la presenza della banchina in sinistra da 2,25 m garantisce sempre la distanza di visuale libera anche nelle curve verso sinistra.

La livelletta non supera mai il 5% nei tratti a cielo aperto, ed il 4% nei tratti in galleria in salita."

Si osserva preliminarmente che, ai sensi dell'art. 2, c.3 lett. A del Codice della Strada e della tabella 3.4.a delle Norme allegate al **DM** 05/11/2001 n. 6792, una carreggiata autostradale è costituita da almeno due corsie per senso di marcia.

Ciò premesso, le verifiche plano-altimetriche e le verifiche di visibilità riportate in progetto non risultano conformi con i dettami del **DM** 05/11/2001 e dovranno essere aggiornate in coerenza con gli intervalli di velocità normativamente prescritti. Per quanto sin qui esposto, la documentazione progettuale dovrà essere adeguata nel rispetto dei dettami normativi, provvedendo alle verifiche delle caratteristiche geometriche e alle verifiche di sicurezza in coerenza con gli intervalli di velocità normativamente prescritti.

ST3 Collegamento al Ponte provenendo da Salerno
Il collegamento è individuato dal Ramo "C" che, partendo dall'autostrada A2 Salerno-Reggio Calabria in direzione Sud, conduce al Ponte. Il ramo risulta classificato come strada di categoria A (autostrada in ambito extraurbano) e progettato con una $V_{p\ max}$ pari a 90 km/h. Nella relazione [CS0003_F0] si legge:

"La sezione tipo adottata è costituita da una carreggiata composta da 2 corsie di marcia da 3,75 m ciascuna affiancate a destra dalla corsia di emergenza da 3,00 m ed a sinistra da una banchina di 0,70 m. Il suo profilo altimetrico è caratterizzato da livellette che non superano 5% nei tratti a cielo aperto, ed il 4% nei tratti in galleria in salita.
In prossimità dell'opera di Attraversamento, alla pk 0+371 è prevista l'immissione del ramo D attraverso una corsia di accelerazione di sviluppo pari a 165 che termina alla pk 0+208,00."

Le verifiche plano-altimetriche e le verifiche di visibilità non risultano conformi con i dettami del **DM** 05/11/2001 e dovranno essere aggiornate in base all'intervallo di velocità di progetto previsto dal citato **DM** per la categoria di strada a cui tale ramo appartiene, provvedendo alle verifiche delle caratteristiche geometriche e alle verifiche di sicurezza in coerenza con gli intervalli di velocità normativamente prescritti.

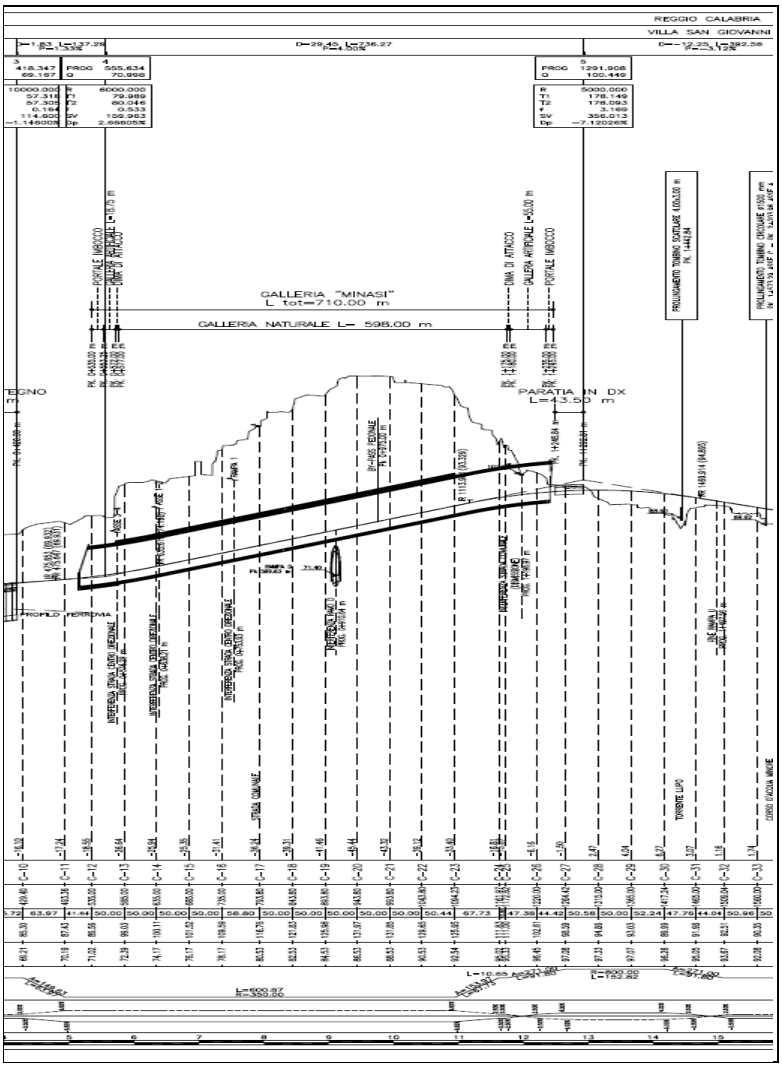


Figura 11-40.- Imbocco della galleria "Minasi".

Dal punto di vista planimetrico si riscontra la presenza di due curve consecutive tra la pk 0+430 e la pk 1+510 di raggio rispettivamente (nel senso di percorrenza) pari a 800 m e 350 m che non rientrano in "fascia buona" del diagramma in Fig. 5.2.2.a del **DM** 05/11/2001, come invece prescritto dallo stesso **DM** per le categorie di strada "A" e "B". Si tratta di una prescrizione normativa direttamente collegata con le verifiche di sicurezza concernenti la costruzione del diagramma delle velocità, posta a presidio della regolarità di marcia lungo i tracciati stradali. Tale anomalia deve essere eliminata per rispettare i dettami del ridetto **DM** 05/11/2001.

Nello stesso tratto stradale, si rileva anche che alla pk 1+300 circa è presente un dosso che limita la visibilità della successione di elementi planimetrici sopra descritta, con l'aggravante che si tratta di un tratto stradale con condizioni di illuminamento non uniformi per la presenza dell'imbocco della galleria "Minasi". Si tratta di ulteriori elementi di criticità che dovranno essere attentamente esaminati e risolti nel **PE** al fine del rispetto delle vigenti normative.

ST4 Collegamento al Ponte provenendo da Reggio Calabria

Il collegamento è individuato dal Ramo "D" che serve il traffico della A2 diretto verso il Ponte da Reggio Calabria. Il ramo è classificato come strada di categoria A (autostrada in ambito extraurbano) e progettato con una $V_{p\ max}$ pari a 90 km/h. Nella relazione [CS0003_F0] si legge che esso "*si distacca dalla Autostrada A2, in direzione nord, al km 1+792 e termina sul ramo C al km 0+371,00. La confluenza sul ramo principale avviene mediate una corsia di accelerazione di sviluppo pari a 165 m che termina a circa 208 m dall'asse Torre.*

La sezione tipo presenta una corsia di larghezza pari a 3,75 m affiancata da corsia di emergenza di 3,00 m e da un franco laterale in sinistra di 2,25 m. il ramo D si articola con una sequenza di curve secondo un doppio flesso di raggi rispettivamente 340, 385 e 520 m; la presenza della banchina in sinistra da 2,25 m garantisce la distanza di visuale libera anche nelle curve verso sinistra".

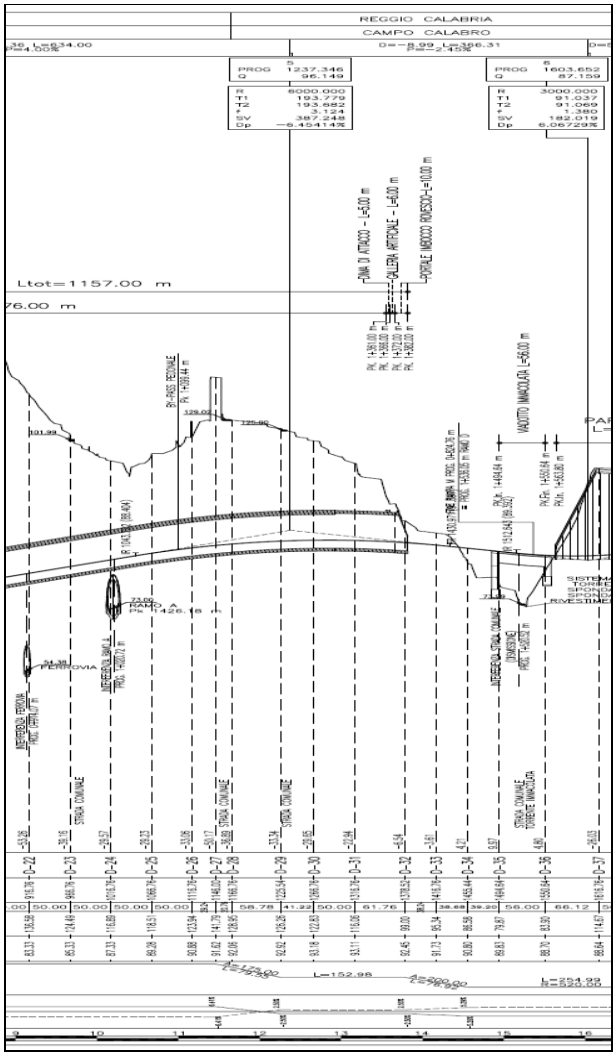


Figura 11-41.- Imbocco della galleria "Campanella"

Anche in questo caso si osserva preliminarmente che, ai sensi dell'art. 2, c.3 lett. A del Codice della Strada e della tabella 3.4.a delle Norme allegate al **DM** 05/11/2001 n. 6792, una carreggiata autostradale è costituita da almeno due corsie per senso di marcia.

Le verifiche plano-altimetriche e le verifiche di visibilità non risultano conformi con i dettami del **DM** 05/11/2001 e dovranno essere aggiornate in base all'intervallo di velocità di progetto previsto per la categoria di strada a cui tale ramo appartiene, provvedendo alle verifiche delle caratteristiche geometriche e alle verifiche di sicurezza in coerenza con gli intervalli di velocità normativamente prescritti.

Per quanto riguarda il coordinamento plano altimetrico, come già osservato per i rami A e C, si riscontra che il raccordo altimetrico convesso n.5 si sviluppa in corrispondenza dell'imbocco della galleria "Campanella" comprendendo elementi planimetrici di tracciato non omogenei i quali, atteso anche il cambio di condizioni d'illuminamento, possono risultare non correttamente percepibili dall'utenza. Nel PE tale criticità dovrà essere attentamente esaminata e risolta.

Immissioni e diversioni dei rami principali

Per quanto riguarda le corsie di diversione e di immissione presenti lungo i rami principali sopra descritti, questo Consesso rileva la necessità che esse siano verificate tenendo conto dei nuovi intervalli di velocità e dei flussi veicolari aggiornati all'attualità, assicurando il livello di Servizio "B" normativamente previsto per le strade appartenenti alla rete primaria.

Trattandosi di una viabilità appartenente alla rete **TEN-T**, si rileva inoltre l'obbligo che siano analizzate e rispettate le condizioni di compatibilità, ai fini della sicurezza, relativamente a quanto previsto nell'Allegato 2, Punto 2.1.3 del **D.Lgs.** 264/2006[3].

ST5 Sistema di collegamento al Centro Direzionale

In Figura 11-42 si richiama lo schema dei collegamenti stradali che interessano il Centro Direzionale.

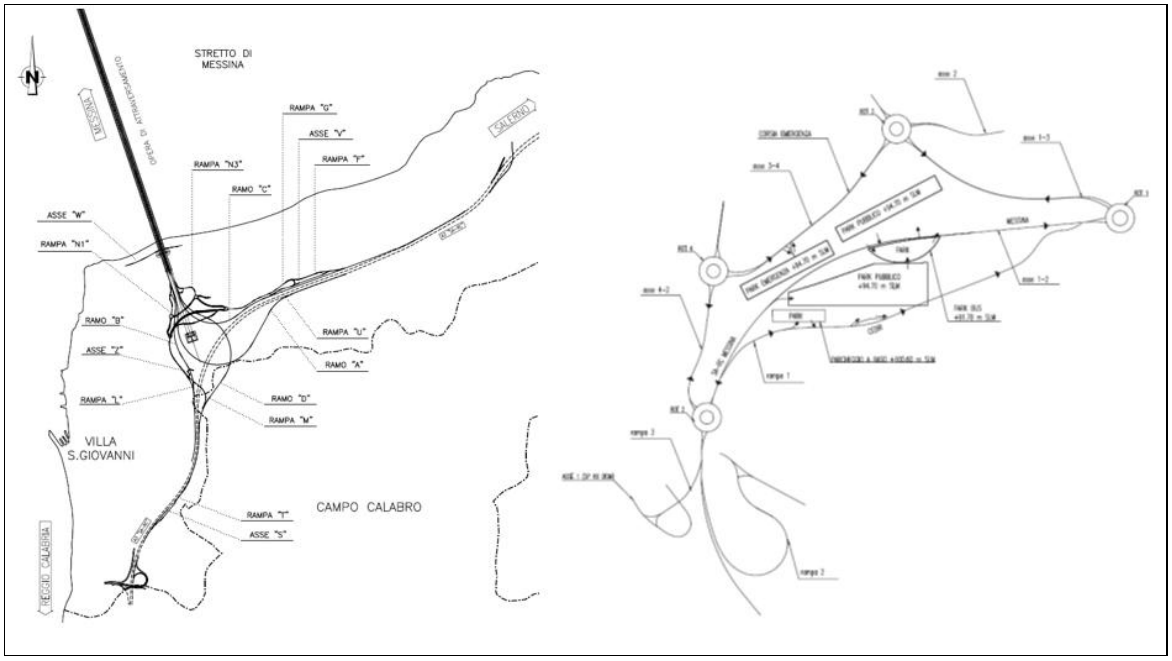


Figura 11-42.- collegamenti stradali che interessano il Centro Direzionale

Rampe F - G – V – L – M – U e T

Si tratta di rampe progettate con riferimento ai dettami contenuti nelle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali" allegate **DM** 19/04/2006. Nella relazione tecnica di progetto sono riportate le verifiche plano-altimetriche, rispetto all'applicazione delle citate norme che, per le rampe U e T presentano delle non conformità concernenti, rispettivamente, la mancata verifica al contraccolpo per la clotoide n. "7" (in uscita alla curva 6) e il superamento della pendenza longitudinale massima ammessa dalla tabella 8 delle norme allegate al **DM** 19/04/2006 (7.5%, a fronte del massimo valore del 7% ammesso dalla Norma).

Il progettista nella relazione tecnica di accompagnamento discute tali non conformità ritenendole ammissibili alla luce delle condizioni cinematiche legate alle specifiche caratteristiche plano-altimetriche dei tracciati in questione. Nel **PE**, tali verifiche dovranno essere approfondite, cercando per via geometrica la piena sussistenza delle condizioni di sicurezza della circolazione.

[3] Fatta eccezione per la corsia di emergenza, il numero di corsie deve restare lo stesso tanto all'esterno che all'interno della galleria. Ogni cambiamento del numero di corsie deve intervenire ad una distanza dal portale della galleria almeno pari a quella percorsa in 10 secondi da un veicolo che procede alla velocità massima consentita. Se particolari circostanze geomorfologiche non consentono di rispettare questa distanza, devono essere adottate misure supplementari e/o rafforzative per aumentare la sicurezza.

In ogni caso, questo Consesso ritiene necessario che le verifiche cinematiche e funzionali di tutte le rampe in questione siano effettuate nuovamente, nel rispetto della Tabella n.7 del **DM** 19/04/2006, in base al nuovo intervallo delle velocità di progetto che sarà adottato per i rami principali, utilizzando i dati di flussi di traffico aggiornati all'attualità.

Viabilità di accesso al Centro Direzionale

Gli assi stradali che costituiscono tale sistema viario, le rampe e le quattro rotatorie in progetto sono elencate di seguito:

- Rotatoria 1 (D = 37,50 m);
- Asse 1-2 (L = 476,76 m);
- Rotatoria 2 (D = 37,50 m);
- Asse 1-3 (L = 329,75 m);
- Rotatoria 3 (D = 37,50 m);
- Asse 3-4 (L = 240,50 m);
- Rotatoria 4 (D = 37,50 m);
- Asse 4-2 (L = 190,00 m);
- Asse 1 - SP 69 dism (L = 330,00 m);
- Asse 2 (L = 144,70 m);
- Rampa 1 (L = 459,90 m);
- Rampa 2 (L = 276,60 m);
- Rampa 3 (L = 93,60 m).

Dalla lettura del documento [CD 0203] "Relazione tecnica di viabilità", si evince che tutti gli assi stradali sopraelencati sono stati progettati *"in osservanza delle disposizioni impartite dalle Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade emanate con D.M. 05.11.2001 e, ponendo come linea guida per le intersezioni ovvero per le rampe, le Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Intersezioni Stradali emanate con D.M. 19/04/2006"*. Inoltre, per l'Asse 1 e l'Asse 2, che sono gli unici che costituiscono un adeguamento di viabilità esistenti, risulta che "*il progetto è stato sviluppato coerentemente con quanto previsto dal DM n. 67/S del 22.04.2004 di modifica delle Norme geometriche e funzionali per la costruzione delle strade.*"

Questa **Assemblea** preliminarmente osserva che la viabilità denominata "Rampa 1", in realtà costituisce una deviazione dell'Asse 1-2 e, come tale, non è classificabile come una rampa di svincolo, ma come un vero e proprio asse stradale percorso a senso unico, soggetto alle regole di progettazione dettate dal **DM** 05/11/2001. Nel **PE**, esso dovrà pertanto essere trattato come tale e sottoposto alle verifiche geometrico-funzionali e di sicurezza proprie di un asse stradale urbano, in aderenza alla vigente normativa.

Tutte le principali viabilità di accesso al Centro Direzionale (Asse 1-2, Asse 1-3, Asse 3-4 e Asse 4-2) risultano geometrizzate con riferimento ad una velocità massima di progetto pari a 40 km/h, pur essendo le stesse classificate come strade urbane di tipo "F", a meno del solo Asse 1-2, classificato come strada urbana di tipo "E" ai sensi del **DM** 05/11/2001.

Si tratta di strade di nuova realizzazione per le quali risulta cogente l'applicazione del citato **DM** 05/11/2001; diversamente da quanto riportato in progetto, esso attribuisce alle strade urbane di tipo "E" un intervallo di velocità di progetto compreso fra 40 e 60 km/h e, per le strade urbane di tipo "F", un intervallo di velocità compreso fra 25 e 60 km/h.

Tale difformità è giustificata nella relazione di progetto [CD0203], richiamando il "*rispetto delle prescrizioni imposte dalle specifiche tecniche per la redazione del PD*".

L'**Assemblea** ritiene che tale giustificazione non costituisca un adeguato presupposto al mancato rispetto della Norma così come disciplinata dal combinato disposto dall'art. 13 c.2 del Codice della Strada e dall'art. 3 del **DM** 05/11/2001. Occorre pertanto che tale anomalia sia risolta nel **PE** (**Fase B**), pervenendo ad una progettazione completamente conforme ai dettati normativi. Allo stesso modo, dovranno essere risolte le criticità residuali rilevate su alcuni di tali assi, segnatamente l'Asse 4-2, dove, nonostante la riduzione della velocità massima di progetto, permangono delle criticità geometriche concernenti le curve nn. 3 e 6 e le relative clotoidi.

Per quanto riguarda gli elementi stradali progettati con riferimento al **DM** 19/04/2006 (Rampe 2 e 3), si rileva, la presenza di talune difformità, concernenti il mancato rispetto dei criteri di verifica di talune curve circolari (Rampa 2 e 3), di alcune clotoidi (Rampa 2) e della lunghezza minima di un rettifilo (Rampa 3). Tali non conformità risultano discusse dal progettista nella relazione di accompagnamento. L'**Assemblea** ritiene necessario che nella successiva fase progettuale, tali non conformità siano esaminate e risolte con il dettaglio proprio della progettazione esecutiva, cercando per via geometrica la piena sussistenza delle condizioni di sicurezza della circolazione.

Per quel che concerne le Rotatorie 1, 2, 3 e 4, si tratta di rotatorie compatte (D = 37,50 m) per le quali il **DM** 19/04/2006 prevede una larghezza della corona giratoria per ingressi a una corsia pari a 7,00 m e assenza della fascia sormontabile lungo l'isola centrale. Per tali rotatorie, invece, il progetto prevede una larghezza della corona giratoria pari a 8,00 m, banchine interne ed esterne di 1,00 m e un anello sormontabile di larghezza pari a 2,00 m. Ciò al fine, si legge, di agevolare l'iscrizione dei veicoli pesanti. A supporto di tale assunzione, risultano eseguite simulazioni d'inscrivibilità dei veicoli pesanti con specifici software, senza però darne evidenza documentale. Nel prosieguo dell'iter progettuale (**Fase A**) occorrerà fornire tale evidenza. La geometria delle rotatorie, inoltre, deve essere ricondotta a quanto prescritto dal **DM** 19.04.2006.

Le verifiche di sicurezza prescritte dal **DM** 19/04/2006 risultano eseguite limitatamente alla Rotatoria n. 1 con riferimento alla sola sussistenza della visuale libera, ma non degli angoli di deviazione delle correnti veicolari. Questo Consesso ritiene necessario che nella **Fase A** del **PE** siano eseguite, per tutte le rotatorie in parola, sia le verifiche di visibilità, sia quelle concernenti gli angoli di deviazione.

Anche per quel che concerne le verifiche funzionali sui livelli di servizio, esse risultano eseguite limitatamente alla Rotatoria n. 1, ritenuta la più gravata dal traffico veicolare. Questo Consesso prescrive che nel **PE** (**Fase A**) tali verifiche siano estese a tutte le rotatorie di che trattasi.

Risulta infine, che le rotatorie 3 e 4 presentano una pendenza trasversale rivolta verso l'interno della corona giratoria. Tale previsione, non conforme alla corrente pratica tecnica, deve essere modificata oppure adeguatamente motivata nel **PE**, dando evidenza che ciò non comporti effetti sulla sicurezza della circolazione.

Infine, il progetto prevede la realizzazione di due assi in adeguamento di strade esistenti: l'Asse n. 1 e l'Asse n.2. Tale fattispecie progettuale ricade nell'applicazione del **DM** 22/04/2004 n.67/S. Pertanto, a corredo della progettazione esecutiva (in **Fase A**), oltre alle ordinarie verifiche di sicurezza, non presenti nel corpo progettuale oggi all'esame, sarà necessario produrre anche una "*specifica relazione dalla quale risultino analizzati gli aspetti connessi con le esigenze di sicurezza, attraverso la dimostrazione che l'intervento, nel suo complesso, è in grado di produrre, oltre che un miglioramento funzionale della circolazione, anche un innalzamento del livello di sicurezza*".

11.3.1.2. Collegamenti lato Sicilia

ST6 Asse autostradale, collegamento semi-svi
colo Ganzirri

Asse autostradale

Il nuovo asse autostradale permette il collegamento del nuovo itinerario **TEN-T** alla Autostrada A20. Esso è esteso circa 10,5 km con inizio in corrispondenza dell'asse della Torre lato Sicilia (Sponda Siciliana) e termine dello svincolo "Annunziata". Di qui l'itinerario prosegue con un ulteriore tratto autostradale di circa 1 km di collegamento alla A20

(in corrispondenza dello svincolo "Giostra"), la cui realizzazione non è a carico della Società Stretto di Messina. Lungo l'itinerario sopra descritto, vi sono 3 svincoli di collegamento col tessuto viario insulare: il Semi-svincolo "Gazzirri", lo svincolo "Curcuraci" e lo svincolo "Annunziata".

L'asse stradale principale risulta progettato con le caratteristiche di una strada tipo A ai sensi del **DM** 05/11/2001, la cui velocità di progetto varia fra un minimo di 90 km/h ed un massimo di 140 km/h. Gli elementi plano-altimetrici del tracciato risultano progettati secondo tale intervallo di velocità, ad eccezione dei tratti iniziale e terminale della nuova infrastruttura; all'inizio, dal viadotto Pantano fino al piazzale di esazione, imponendo una velocità massima di progetto ($V_{p\ max}$) pari a 90 km/h, in continuità della limitazione posta sull'**Opera**; al termine, in corrispondenza della curva destrorsa che adduce allo svincolo Annunziata e fino a fine intervento imponendo una $V_{p\ max}$ pari a 110 km/h.

Lungo il tracciato risultano dunque adottati 3 valori di $V_{p\ max}$:

- *90 <= Vp <= 90 da Pk. 0+000 a Pk. 1+925.000*
- *90 <= Vp <= 140 da Pk. 1+925.000 a Pk. 9+418.920*
- *90 <= Vp <= 110 da Pk. 9+418.920 a Pk. 10+615.8160*

Il progettista riferisce che dal punto di vista plano-altimetrico, i tre tronchi autostradali risultano essere verificati con le velocità di progetto sopra considerate. Come si è avuto modo di rilevare nelle considerazioni introduttive, l'adozione preventiva di un eventuale limite di velocità di esercizio ridotto non giustifica una progettazione basata su una velocità di progetto relazionata a quel limite di esercizio (tipicamente superiore di 10 km/h rispetto alla velocità limite d'esercizio). La velocità di progetto è fissata dalla Norma in relazione alla categoria di strada. Il limite di esercizio, viceversa, compete al Gestore, che può, motivatamente, imporre un limite di esercizio inferiore a quello derivante dalla velocità di progetto del tronco stradale.

Ciò posto, anche in coerenza con quanto già detto a proposito dell'opera di attraversamento e dei collegamenti sul lato continentale, l'Assemblea ritiene necessario che il progetto del collegamento stradale in parola sia adeguato, e conseguentemente verificato, adottando standard geometrici compatibili con l'intervallo di velocità prescritto dalla Norma per la categoria di strada di riferimento. Nel caso di specie l'intervallo prescritto dal **DM** 05/11/2001 per le Autostrade extraurbane è 90 ÷ 140 km/h. Qualora assuma efficacia il III Atto aggiuntivo alla Convenzione di Concessione, nel quale si qualifica l'itinerario come strada extraurbana principale di categoria B, l'intervallo di velocità di progetto di riferimento è 70 ÷ 120 km/h.

Semi-svincolo Ganzirri

Lo svincolo in parola è ubicato in corrispondenza del piazzale di esazione ed è trattato in progetto come una viabilità di servizio, percorribile a senso unico in condizioni ordinarie e a doppio senso in condizioni d'emergenza, come mostrato in Figura 11-43.

Esso è costituito da un ramo di collegamento con la Strada Panoramica dello Stretto (Ramo S-2) che conduce ad una rotatoria dalla quale si smistano i due rami di collegamento con il piazzale d'esazione: il primo, di ridotta estensione dedicato ai flussi veicolari provenienti da Messina, il secondo (Ramo S-1), lungo poco meno di 600 m, dedicato ai flussi diretti verso Messina. I rami risultano progettati alla stregua di rampe di svincolo bidirezionali caratterizzate da una piattaforma costituita da un'unica carreggiata da 9.00 m con corsie da 3,50 metri e banchine pavimentate da 1.00. L'intervallo di velocità di progetto risulta pari a 40 ÷ 60 km/h.

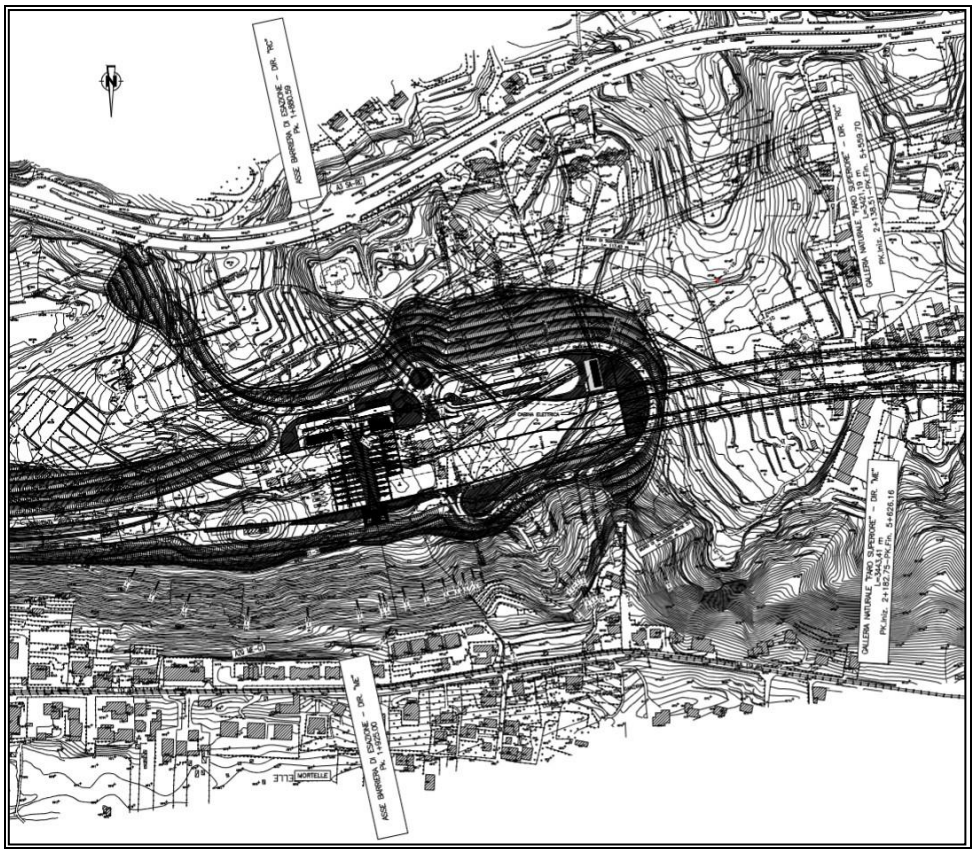


Figura 11-43.- Semi-svincolo Ganzirri

Nella documentazione progettuale non sono state reperite indicazioni progettuali circa il breve ramo di collegamento tra piazzale e rotatoria e, tantomeno, circa la stessa rotatoria.

Nel **PE** (**Fase B**), tali elementi progettuali dovranno essere inseriti. Parimenti dovranno essere approfondite le tematiche geometrico-funzionali che riguardano lo svincolo nella sua interezza, riportando in modo compiuto le verifiche funzionali e di sicurezza secondo i dettami della normativa di riferimento (**DM** 19/04/2006), sia nel caso di esercizio ordinario (rami di collegamento rotatoria/Piazzale percorsi a senso unico) che nell'esercizio in condizioni di emergenza (rami di collegamento rotatoria/Piazzale percorsi a doppio senso di marcia).

ST7 Collegamento svincolo Curcuraci
Si tratta di uno svincolo a quattro rami che serve l'autostrada di progetto da e verso tutte le direzioni di marcia, collegandole con la viabilità locale per il tramite di due rotatorie.

In relazione alle categorie delle viabilità messe in relazione dallo svincolo (autostrada e strada extraurbana secondaria), le verifiche geometrico-funzionali delle quattro rampe autostradali sono state eseguite considerando un intervallo di velocità di progetto 40-60 km/h (Intersezione di Tipo 2 da normativa).

Le rampe di svincolo monodirezionali risultano caratterizzate da una piattaforma di 6.50 m con corsia di marcia da 4.00 m, banchina in destra da 1.50 m e banchina in sinistra da 1.00 m. Quelle bidirezionali risultano caratterizzate da una piattaforma di 9.00 m con corsie di marcia da 3.50 m e banchine laterali da 1.00 m.

Il progetto prevede anche una quinta viabilità che collega le due rotatorie sopra menzionate. L'asse, denominato Rampa 5, risulta progettato in adeguamento di un asse esistente ed è classificato come strada extraurbana secondaria di tipo C1; esso è parte di un più ampio collegamento stradale la cui realizzazione è prevista a carico del Comune di Messina. L'asse in questione è dunque progettato con le caratteristiche geometrico-funzionali di tale

categoria di strada (piattaforma ad unica carreggiata da 10.50 m con corsie bidirezionali da 3.75 m e banchine laterali da 1.50 m), con intervallo di progetto di 60-100 km/h.

Dalla lettura della documentazione progettuale e della relazione tecnica di accompagnamento, si evince la presenza di talune difformità concernenti principalmente il superamento delle pendenze longitudinali massime previste sia in applicazione del **DM** 19/04/2006 (per quel che concerne le 4 rampe di svincolo) che del **DM** 05/11/2001, per quel che concerne la Rampa 5.

In merito alle rampe, l'**Assemblea prescrive che nel PE tali difformità siano eliminate e, comunque, opportunamente gestite secondo quanto previsto dal DM 19.04.2006.**

Per quanto riguarda le corsie di diversione e di immissione presenti lungo l'asta principale, questa **Assemblea** rileva la necessità che esse siano verificate tenendo conto dei nuovi intervalli di velocità e dei flussi veicolari aggiornati all'attualità, assicurando il livello di Servizio "B" normativamente previsto per le strade appartenenti alla rete primaria.

Trattandosi di una viabilità appartenente alla rete **TEN-T**, si rileva inoltre la necessità che siano valutate le condizioni di compatibilità, ai fini della sicurezza, relativamente a quanto previsto nell'Allegato 2, Punto 2.1.3 del **D.Lgs.** 264/2006

Resta ferma la necessità che le opere stradali costituenti lo svincolo in parola dovranno essere sottoposte ai controlli di sicurezza previsti dall'art. 4 del **D.Lgs.** 35/2011, come meglio specificato nelle premesse e nel paragrafo precedente.

ST8 Collegamento svincolo Annunziata
Lo svincolo "Annunziata" è localizzato al termine dell'intervento di progetto ed è caratterizzato da un classico schema "a trombetta" con una rampa diretta (Rampa 2 di progetto), una rampa semi-diretta (Rampa 3) ed una indiretta (Rampa 1). Esso è pertanto utile a collegare tutte le direzioni di marcia del nuovo ramo autostradale da e verso la viabilità locale.

In relazione alla categoria delle viabilità messe in relazione dallo svincolo (autostrada e strada appartenente alla rete secondaria) le verifiche geometrico-funzionali delle rampe risultano condotte considerando un intervallo di velocità di progetto 40÷50 km/h per le Rampe 1 e 3, e 40÷60 km/h per la Rampa 2.

Dalla lettura della documentazione progettuale e della relazione tecnica di accompagnamento, si evidenzia la presenza di talune difformità concernenti principalmente il superamento delle pendenze longitudinali massime previste dal **DM** 19/04/2006.

Anche in questo caso, l'**Assemblea prescrive che nel PE tali difformità siano eliminate e, comunque, opportunamente gestite secondo quanto previste dal DM 19.04.2006.**

Per quanto riguarda le corsie di diversione e di immissione presenti lungo l'asta principale, si rileva la necessità che esse siano verificate tenendo conto dei nuovi intervalli di velocità e dei flussi veicolari aggiornati all'attualità, assicurando il livello di Servizio "B" normativamente previsto per le strade appartenenti alla rete primaria.

Trattandosi di una viabilità appartenente alla rete **TEN-T**, si rileva inoltre la necessità che siano valutate le condizioni di compatibilità, ai fini della sicurezza, relativamente a quanto previsto nell'Allegato 2, Punto 2.1.3 del **D.Lgs.** 264/2006

Resta ferma la necessità che le opere stradali costituenti lo svincolo in parola dovranno essere sottoposte ai controlli di sicurezza previsti dall'art. 4 del **D.Lgs.** 35/2011, come meglio specificato in precedenza in questo stesso parere.

11.3.1.3. Ulteriori considerazioni valevoli per i collegamenti su entrambi i versanti

Nelle verifiche di sicurezza concernenti la manovra di cambiamento di corsia (par. 5.1.4 e 5.1.5 delle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" allegate al **DM** 05/11/2001 n. 6792), si rileva che in alcuni casi il progettista dichiara di assumere come altezza del punto di mira del conducente un punto sito ad altezza 0.10 m ovvero 1.10 m dal piano viario (cfr. Relazioni [CS003] e [SS003], rispettivamente. In conformità a quanto disposto dalla normativa sopra richiamata, tale punto di mira dovrà essere assunto sul piano viario, dovendo il conducente poter "vedere il limite più lontano della corsia adiacente".

Per quel che concerne le barriere di sicurezza, si osserva che nelle sezioni in trincea, ove è presente il guard rail, esso risulta disposto a tergo della cunetta alla francese, come rappresentato in Figura 11-44.

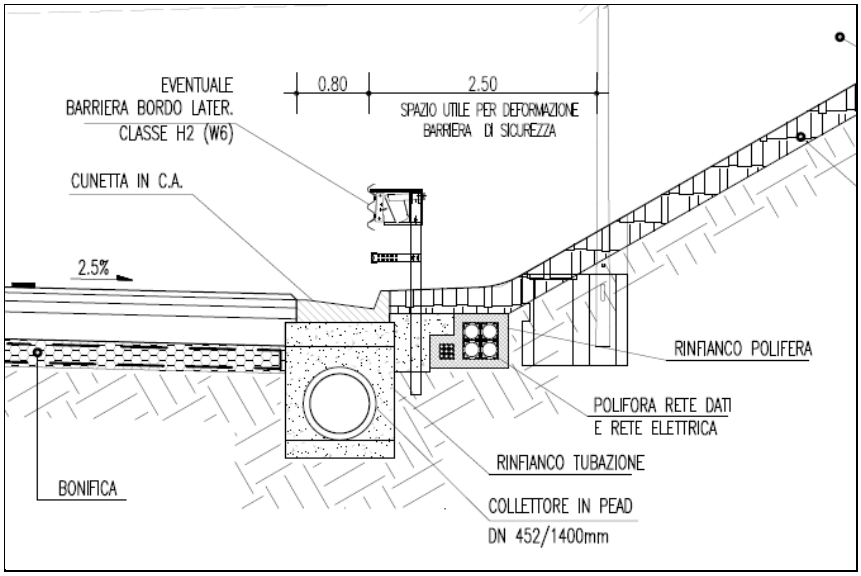


Figura 11-44.- Sezione tipo in trincea

Tale configurazione non consente il corretto funzionamento del dispositivo in caso d'impatto poiché la presenza dell'elemento di calcestruzzo davanti al sistema di ritenuta renderebbe non conforme l'installazione alle condizioni di prova prototipale che, tipicamente, prevedono l'assenza di ostacoli al piede dei sostegni. Tale anomalia deve pertanto essere corretta nel **PE** (**Fase B**).

Parimenti, dovranno essere corrette le indicazioni circa l'installazione delle barriere sulle strade in ambito urbano, dove queste risultano installate a tergo dei marciapiedi.

Sempre a proposito delle barriere di sicurezza, si rileva altresì che negli atti progettuali sono presenti indicazioni circa la larghezza operativa delle barriere (W), ma nulla è detto a proposito del valore di Intrusione del Veicolo (VI) che esse debbono avere per evitare l'urto dei veicoli in fase di svio contro gli ostacoli presenti lungo il bordo stradale. Anche di tale indicazione si dovrà tener conto nel **PE** (**Fase B**).

11.3.1.4. Ambito stradale: sintesi delle prescrizioni e raccomandazioni

Prescrizioni Fase A

1. Verificare la conformità plano-altimetrica della rete stradale al **DM** 5.11.2001, adottando l'intervallo di velocità di progetto previsto per la categoria di strada. Considerato che, diffformemente dal **DM**, l'attuale proposta progettuale è fondata sulla scelta di una velocità di progetto dell'opera di attraversamento di 90 km/h, nella

verifica fondata sulla velocità di norma dovranno essere valutate soluzioni alternative anche differenti da quella proposta, gerarchizzando la rete in coerenza con i flussi attesi.

2. Viabilità di accesso al Centro Direzionale - Verificare la conformazione plano-altimetrica in conformità ai dettati normativi. Per le rotatorie eseguire puntualmente le verifiche di inscrivibilità dei veicoli pesanti e le altre verifiche prescritte dal **DM** 19/04/2006 (visuale libera, angoli di deviazione), nonché le verifiche funzionali sui livelli di servizio. Per le rotatorie 3 e 4, che presentano una pendenza trasversale rivolta verso l'interno della corona giratoria, occorre modificare tale previsione oppure motivarla adeguatamente, accertando che essa non comporti effetti critici sulla sicurezza della circolazione. Per i due assi in adeguamento di strade esistenti (Asse n. 1 e Asse n.2), oltre alle ordinarie verifiche di sicurezza deve essere prodotta una "specifica relazione" ai sensi del **DM** 67/S del 22 aprile 2004.
3. Considerato quanto indicato nell'art. 3 c.2 lettere b) e c) del **DL** 35/2023, visti gli articoli art. 4 c.1 e 12 c.3 del **D.Lgs.** 35/2011, al fine di assicurare adeguati livelli di sicurezza dell'opera nel suo complesso, è necessario che i controlli di sicurezza previsti dal c.3 dell'allegato II al **D.Lgs.** 35/2011 per la fase di progettazione esecutiva siano integrati con quelli previsti al c.1 e c.2 dello stesso allegato inerenti alle precedenti fasi progettuali.

Raccomandazioni Fase A

1. Nei documenti di progetto, all'opera di attraversamento e ai tronchi stradali che vi convergono è assegnata la funzione di autostrada extraurbana. Qualora assuma efficacia il III Atto aggiuntivo alla Convenzione di Concessione, nel quale si qualifica l'itinerario come strada extraurbana principale di categoria B, l'itinerario rimarrebbe comunque funzionalmente appartenente alla rete primaria. Data la rilevanza dell'opera e l'orizzonte di vita utile previsto, sarebbe auspicabile il mantenimento della classificazione degli elementi viari principali nella tipologia "A" piuttosto che nella "B", in modo da poter offrire all'utenza migliori standard tecnici e corrispondenti elevati livelli di servizio. Per i rami che fossero riconosciuti secondari in base ai volumi veicolari serviti e alla rilevanza delle corrispondenti relazioni di traffico, si raccomanda di procedere a una gerarchizzazione con conseguente attribuzione delle corrispondenti categorie stradali o identificazione come rampe di svincolo.

Prescrizioni Fase B

1. Qualora la riorganizzazione della rete comporti variazioni del posizionamento delle intersezioni con la viabilità regionale e locale, la progettazione dovrà avere come riferimento il rispetto del **DM** 19.04.2006. Qualora il posizionamento e la configurazione delle singole intersezioni rimangano invariati, le verifiche cinematiche e funzionali di tutte le rampe devono essere condotte nel rispetto della Tabella n.7 del **DM** 19.04.2006 in base al nuovo intervallo delle velocità di progetto che sarà adottato per i rami principali, utilizzando i dati di flussi di traffico aggiornati all'attualità. Per le corsie di diversione e di immissione presenti lungo i rami principali dei collegamenti (A-B-C-D) deve essere assicurato il livello di Servizio "B" normativamente previsto per le strade appartenenti alla rete primaria. Trattandosi di una viabilità appartenente alla rete **TEN-T**, devono essere analizzate le condizioni di compatibilità, ai fini della sicurezza, relativamente a quanto previsto nell'Allegato 2, Punto 2.1.3 del **D.Lgs.** 264/2006.
2. Le strade urbane di tipo E ed F di nuova realizzazione devono essere progettate con gli intervalli di velocità di progetto stabiliti nel **DM** 5.11.2001.
3. **ST1** Collegamento dal Ponte innesto A2 in direzione Nord Salerno. Qualora la conformazione del collegamento rimanga invariata, risolvere la criticità relativa al coordinamento plano-altimetrico affinché i conducenti abbiano una corretta percezione del tracciato sul raccordo convesso n. 6 (alla sezione A-85 – pk 2+090), che si sviluppa parte in galleria e parte all'aperto, comprendendo il tratto terminale di un rettifilo, l'intera clotoide che lo segue e buona parte del corrispondente raccordo circolare. La criticità emerge soprattutto in approccio al dosso, con l'aggravante di trovarsi in una situazione d'illuminamento non uniforme.
4. **ST3** Collegamento al Ponte provenendo da Salerno. Qualora la conformazione del collegamento rimanga invariata, risolvere per via geometrica/costruttiva o, quando ammissibile, considerare misure di mitigazione del rischio ai sensi dell'art. 4 del **D.Lgs.** 35/2011 per le due curve consecutive tra la pk 0+430 e la pk 1+510 che non

rientrano in "fascia buona" del diagramma in Fig. 5.2.2.a del **DM** 05/11/2001 e il dosso alla pk 1+300 circa che limita la visibilità della successione di elementi planimetrici sopra descritta, con l'aggravante che si tratta di un tratto stradale con condizioni di illuminamento non uniformi per la presenza dell'imbocco della galleria "Minasi"

5. **ST4** Collegamento al Ponte provenendo da Reggio Calabria. Qualora la conformazione del collegamento rimanga invariata, risolvere per via geometrica/costruttiva o, quando ammissibile, affrontare mediante misure di mitigazione del rischio ai sensi dell'art. 4 del **D.Lgs.** 35/2011 la criticità creata dal raccordo altimetrico convesso n.5, che si sviluppa in corrispondenza dell'imbocco della galleria "Campanella" comprendendo elementi planimetrici di tracciato non omogenei, i quali, atteso anche il cambio di condizioni d'illuminamento, possono risultare non correttamente percepibili dall'utenza.
6. **ST5** Sistema di collegamento al Centro Direzionale. Risolvere le non conformità rispetto ai dettami del **DM** 19.04.2006. Eseguire le verifiche cinematiche e funzionali di tutte le rampe F - G – V – L – M – U e T nel rispetto della Tabella n.7 del **DM** 19/04/2006 in base al nuovo intervallo delle velocità di progetto che sarà adottato per i rami principali, utilizzando i dati di flussi di traffico aggiornati all'attualità. La Rampa 1 sia progettata come asse stradale, nel rispetto dei dettami del **DM** 05.11.2001.
7. **ST6** Asse autostradale, collegamento semi-svincolo Ganzirri. Sviluppare le verifiche funzionali e di sicurezza dello svincolo nella sua interezza, sia nel caso di esercizio ordinario (rami di collegamento rotatoria/Piazzale percorsi a senso unico) che nell'esercizio in condizioni di emergenza (rami di collegamento rotatoria/Piazzale percorsi a doppio senso di marcia).
8. **ST7** Collegamento svincolo Curcuraci. Eliminare le non conformità concernenti il superamento delle pendenze longitudinali massime previste dal **DM** 19/04/2006 per quel che concerne le 4 rampe di svincolo. Dimensionare le corsie di diversione e di immissione presenti lungo l'asta principale tenendo conto dei nuovi intervalli di velocità e dei flussi veicolari aggiornati all'attualità, assicurando il livello di Servizio "B" normativamente previsto per le strade appartenenti alla rete primaria. Trattandosi di una viabilità appartenente alla rete TEN-T, valutare le condizioni di compatibilità, ai fini della sicurezza, relativamente a quanto previsto nell'Allegato 2.1.3 del D.Lgs 264/2006.
9. **ST8** Collegamento svincolo Annunziata. Eliminare le non conformità concernenti il superamento delle pendenze longitudinali massime previste dal **DM** 19.04.2006. Dimensionare le corsie di diversione e di immissione presenti lungo l'asta principale tenendo conto degli intervalli di velocità di norma e dei flussi veicolari aggiornati all'attualità, assicurando il livello di Servizio "B" previsto per le strade appartenenti alla rete primaria. Trattandosi di una viabilità appartenente alla rete **TEN-T**, valutare le condizioni di compatibilità, ai fini della sicurezza, relativamente a quanto previsto nell'Allegato 2, Punto 2.1.3 del **D.Lgs.** 264/2006.
10. Nella redazione del **PE** dovranno essere individuati nei vari rami stradali che compongono le nuove opere viarie idonei spazi per la collocazione delle apparecchiature e dei sistemi per la gestione del traffico, in conformità a quanto previsto per le reti **TEN-T** dal **DM** 28 febbraio 2018 (Smart Roads).
11. Occorre rivedere, in fase di **PE**, il posizionamento delle barriere di sicurezza posta a tergo della cunetta in quanto non consente il corretto funzionamento del dispositivo in caso di impatto: la presenza dell'elemento di calcestruzzo davanti al sistema di ritenuta renderebbe non conforme l'installazione alle condizioni di prova prototipale che, tipicamente, prevedono l'assenza di ostacoli al piede dei sostegni. Parimenti, dovranno essere corrette le indicazioni concernenti l'installazione delle barriere lungo i marciapiedi. Inoltre, è necessario che negli atti progettuali sia indicato il valore di Intrusione del Veicolo (VI) che le barriere debbono avere per evitare l'urto dei veicoli in fase di svio contro gli ostacoli presenti lungo il bordo stradale.

11.3.2. Ambito ferroviario - Norme funzionali e geometriche

Nella **RP** è stato predisposto il § 3.3 dal titolo "c) *Prescrizioni da sviluppare nel Progetto Esecutivo ai fini dell'adeguamento alle regole di progettazione specifiche di cui ai manuali di progettazione attualmente in uso, salve deroghe*", nel quale si analizzano le prescrizioni da sviluppare in **PE** ai fini dell'adeguamento alle regole di progettazione specifiche di cui ai manuali di progettazione in uso presso **RFI** alla data di redazione della **RP**.

In particolare, il paragrafo è organizzato secondo le macro-discipline progettuali e identifica, a valle di una disamina per ambiti progettuali omogenei, i manuali in uso presso **RFI** suddividendoli per gruppi di specifiche di progettazione. In particolare, individua:

- Manuale di Progettazione delle Opere Civili **RFI** versione 2023, codice RFI DTC SI MA IFS 001 F del 30/12/2023, di seguito anche "*MdP OOCC 2023*";
- Specifiche Tecniche e Istruzioni **RFI** aggiornate rispetto alle versioni precedenti delle medesime, laddove già adottate nel **PD**.

Coerentemente con tale approccio tenuto conto del tempo trascorso dalla data di emissione della **RP** alla data odierna, si ritiene che lo sviluppo della progettazione esecutiva debba essere impostato secondo un più ampio processo orientato alla dimostrazione della sicurezza e della conformità ai requisiti applicabili all'intero sistema, assumendo come riferimento, in coerenza a quanto stabilito dalle direttive nazionali e comunitarie (**D.Lgs.** 57/2019, art. 5, comma 2), il quadro normativo al momento della richiesta di Autorizzazione di Messa in Servizio (AMIS).

Il predetto quadro normativo, dalla redazione del **PD**, ha subito una significativa evoluzione, in particolare a seguito della Direttiva (UE) 2016/797, recepita con il **D.Lgs.** 57/2019, e del progressivo aggiornamento delle **STI**, delle Norme Nazionali Notificate e della normativa tecnica applicabile ai sottosistemi ferroviari.

Tale evoluzione ha rafforzato l'impostazione per cui il **PE** non costituisce una mera definizione costruttiva, ma anche un processo finalizzato alla realizzazione di un sottosistema destinato a essere valutato e autorizzato dall'autorità nazionale competente (**ANSFISA**) al momento del rilascio del provvedimento autorizzativo.

In tale contesto, i sottosistemi possono essere autorizzati solo se conformi ai requisiti essenziali e alle prescrizioni normative vigenti al momento della presentazione dell'istanza di AMIS. Ne deriva che la progettazione e la realizzazione devono essere riferite ad un quadro regolatorio aggiornato.

Resta applicabile il principio previsto dalla normativa europea e nazionale secondo cui, per progetti in fase avanzata di realizzazione o già contrattualizzati al momento dell'entrata in vigore di nuove **STI**, possono essere applicati regimi transitori o deroghe specifiche, debitamente motivate.

In tale logica, ricorrendone i sopra citati presupposti, mediante apposita richiesta formale alle competenti autorità (alla Commissione europea per il tramite del **MIT**, previo, se del caso, parere dell'Autorità nazionale di sicurezza **ANSFISA**) secondo le procedure previste nel **D.Lgs.** 57/2019, è possibile "congelare" il quadro normativo di riferimento, definendo preventivamente lo scenario regolatorio da assumere come base per la successiva richiesta di AMIS.

Tenendo conto della suddetta evoluzione del quadro normativo e procedurale sarà necessario procedere alla revisione e all'aggiornamento di tutti i riferimenti normativi e tecnici originariamente adottati nel **PD**, includendo l'adeguamento alle nuove disposizioni emesse in ambito nazionale ed europeo in materia di sicurezza e interoperabilità. A titolo esemplificativo e non esaustivo, rientrano in tale aggiornamento il nuovo decreto ministeriale in materia di sicurezza delle gallerie ferroviarie del 2025, le più recenti **STI** relative alle gallerie e ai diversi sottosistemi ferroviari (energia, comando controllo e segnalamento, infrastruttura), le Norme Nazionali Notificate e ogni ulteriore regolamentazione tecnica sopravvenuta o nota a carattere generale emesse dalla autorità nazionale di sicurezza (**ANSFISA**).

Parimenti, dovranno essere aggiornati anche i riferimenti a linee guida, manuali di progettazione (ad es. Manuale di Progettazione delle Opere Civili di **RFI** etc.), standard tecnici del gestore **RFI** nella loro ultima revisione disponibile, con la condizione che i relativi contenuti siano allineati e recepiscano i requisiti che sono specificati all'interno del citato quadro normativo.

Il **PE** deve essere sviluppato secondo un approccio sistemico finalizzato alla realizzazione di un sistema ferroviario integrato anche con le infrastrutture già esistenti o definite progettualmente, in cui tutti i sottosistemi che lo compongono risultino coerentemente progettati per garantirne una integrazione sicura, finalizzata alla sicurezza dell'esercizio ferroviario.

A partire dalle ipotesi di funzionamento del sistema ferroviario (modello di esercizio) e delle conseguenti condizioni di esercizio (normali, degradate e di emergenza), dovranno essere definiti i requisiti di sicurezza applicabili ai citati sottosistemi costituenti il sistema ferroviario nonché agli elementi che lo compongono.

A tal fine potrà essere adottata la metodologia descritta al punto 3.2.3.3 della **RP**, con particolare riferimento all'applicazione dell'Allegato I del Regolamento (UE) 402/2013 e smi. Tale approccio consente di utilizzare i criteri ivi definiti per sviluppare, a partire dall'analisi dei rischi del funzionamento del sistema ferroviario, gli obiettivi di sicurezza di progetto che devono essere garantiti dal sistema tecnico.

A garanzia della coerenza del processo con il quadro normativo applicabile, già in fase di progettazione esecutiva (**Fase A**) dovrà essere individuato chi svolgerà la figura del Richiedente l'Autorizzazione (tra i Soggetti di cui all'art. 3, c. 1, lett.z) del **D.Lgs.** 57/2019) il quale dovrà rapidamente provvedere all'incarico dei necessari Organismi di Valutazione della Conformità e degli Organismi di Valutazione del Rischio sia per quanto richiesto nelle **STI** che per la valutazione del processo di individuazione, allocazione, attuazione e convalida dei requisiti di sicurezza, secondo quanto stabilito dal citato **D.Lgs.** 57/2019.

In sintesi, l'opera deve essere concepita sin dall'origine come un sistema completamente verificabile e conforme, in grado di soddisfare i requisiti essenziali al momento della richiesta di Autorizzazione di Messa in Servizio (AMIS). L'intero processo deve assicurare la coerenza tra quadro normativo applicabile, profilo di missione, analisi dei rischi, requisiti progettuali e dimostrazione di sicurezza lungo l'intero ciclo di vita del sottosistema ferroviario.

11.3.3. Collegamento con opere ferroviarie esistenti ed in progetto. Interoperabilità

Relativamente all'interoperabilità dei sistemi ferroviari ed in linea con i chiarimenti richiesti alla **SdM** (Lettera n. 4 chiarimento n. 3) è fondamentale richiamare l'attenzione sulle modalità con le quali il **CG** intenda perseguire l'integrale coordinamento con i progetti dei collegamenti ferroviari alla infrastruttura ferroviaria nazionale.

Nella **Fase A** di sviluppo del **PE** è necessario declinare per tutte le componenti civili e tecnologiche (Trazione Elettrica, Luce e Forza Motrice, Impianti Meccanici, Telecomunicazioni, Segnalamento, etc.) proprie dell'infrastruttura ferroviaria, le modalità secondo cui garantire la perfetta integrazione architetturale/tecnica e funzionale del "sistema" ponte sullo stretto con i progetti delle opere di collegamento in corso di svolgimento da parte di **RFI** in modo da garantire la piena interoperabilità dei sistemi ferroviari.

Particolare attenzione dovrà essere posta nella definizione delle fasi di messa in servizio dell'opera, che potrà avvenire sia per l'intero intervento sia per porzioni funzionalmente autonome e costituenti lotti funzionali. In ogni caso, ciascuna attivazione (intermedia o finale) dovrà essere supportata da una specifica valutazione tecnico-sistemica che consideri l'infrastruttura nella configurazione risultante dall'attivazione del singolo lotto, inclusi gli effetti di interazione con l'esercizio dell'infrastruttura esistente. Per ciascuna fase di messa in servizio dovranno essere garantite le condizioni di integrazione funzionale del sistema ferroviario, comprendendo tutte le opere civili, ferroviarie e impiantistiche interessate dall'attivazione al fine di poter supportare un esercizio sicuro dell'attività. In particolare, con riferimento alle gallerie ferroviarie, dovrà essere verificata l'accettabilità del rischio ai sensi del **DM** 04/03/2025 anche per ciascuna fase di messa in servizio, qualora l'attivazione avvenga per lotti funzionali e non per l'intero progetto. Tale verifica dovrà tenere conto delle effettive condizioni di utilizzo del singolo lotto attivato, del contesto dell'infrastruttura già in esercizio in cui si inserisce la nuova attivazione, nonché dei relativi vincoli operativi, impiantistici e gestionali derivanti dalla progressiva messa in servizio dell'opera per lotti.

Nella risposta al chiarimento n.3 della citata lettera viene puntualizzato dallo **SdM** che "*nell'ambito dell'Accordo di Programma firmato lo scorso 24 aprile nel quale "RFI e SdM anche tenuto conto dell'interferenza dei rispettivi cantieri, definiranno congiuntamente le modalità attuative degli interventi di rispettiva competenza al fine di assicurare l'ottimizzazione logistica, progettuale e realizzativa degli stessi*" e con quanto emerso nel corso della Conferenza di Servizi, il necessario coordinamento per il progetto dell'attraversamento stabile e i progetti dei collegamenti ferroviari alla infrastruttura nazionale già oggetto di specifiche attività di confronto e approfondimento tecnico tra SdM e RFI." E prosegue: "*in particolare, sono stati individuati gli ambiti specialistici, articolati per settori omogenei di competenza. Tali ambiti saranno oggetto di approfondimenti a cura di Specifici Gruppi di Lavoro …[omissis]… finalizzati ad assicurare la piena coerenza tra le opere ricadenti nel perimetro dell'attraversamento stabile e le opere di collegamento alla rete ferroviaria nazionale in corso di sviluppo da parte di RFI stessa. Le attività di coordinamento riguarderanno, in particolare, l'allineamento delle scelte progettuali, la verifica delle interfacce fisiche e funzionali, l'applicazione degli standard tecnici di riferimento, la compatibilità delle fasi realizzative, nonché le modalità di integrazione e messa in servizio dei sottosistemi infrastrutturali ferroviari. Tale impostazione consente di sviluppare il Progetto Esecutivo del Contraente Generale in modo coordinato con i progetti di RFI, evitando disallineamenti tra perimetri progettuali contigui e garantendo la continuità funzionale, tecnologica e gestionale dell'infrastruttura ferroviaria*".

La risposta continua elencando e commentando gli "ambiti specialistici" individuati. Nel seguito si riportano i titoli dei 9 paragrafi dedicati ai diversi ambiti specialistici: "*1. Cronoprogramma lavori, cantierizzazione e aree interfaccia; 2. Sicurezza in galleria, PES e impianti di gestione fumi; 3. Stazioni; 4. BIM, gestione documentale e controllo delle interfacce; 5. Tecnologie Ferroviarie, segnalamento, telecomunicazioni e sistemi di supervisione; 6. Armamento; 7. Sistemi di monitoraggio per esercizio e manutenzione; 8. Trazione Elettrica, luce e forza motrice, sottostazioni e messa a terra; 9. Processo di messa in servizio dei sottosistemi ferroviari*".

La risposta evidenzia le modalità con le quali si intende perseguire l'integrale coordinamento con i progetti dei collegamenti ferroviari alla infrastruttura ferroviaria nazionale da parte del **CG**.

Gallerie ferroviarie

Dall'esame del profilo altimetrico delle gallerie ferroviarie siciliane emerge che, mentre la galleria Santa Cecilia presenta un andamento con punto di minimo altimetrico in corrispondenza dell'imbocco lato Messina, la galleria Sant'Agata presenta un profilo in "*corda molle*" con punto di minimo a circa 500 m dalla fermata "Papardo" in direzione Reggio C. (cfr. Figura 11-45).

In corrispondenza del punto di minimo è previsto un sistema di raccolta dell'acqua ubicato all'interno di un by-pass di collegamento fra le due canne di galleria. Dal pozzo presente al disotto del By-pass, collegato idraulicamente alle canalette presenti al disotto della piattaforma ferroviaria di entrambe le canne della galleria, si diparte una galleria di collegamento idraulico di sezione 2.0 m e lunga circa 800 m che con un tubo di diametro 600mm, "a gravità", garantisce l'evacuazione delle acque verso la fognatura "esistente", previa verifica di eventuale presenza di sostanze inquinanti nell'acqua proveniente dalla galleria.

Nel caso in cui dovessero essere rilevate sostanze inquinanti, verrà bloccato l'ingresso in fogna (con una valvola Clapet) e l'acqua verrà accumulata in una vasca appositamente prevista.

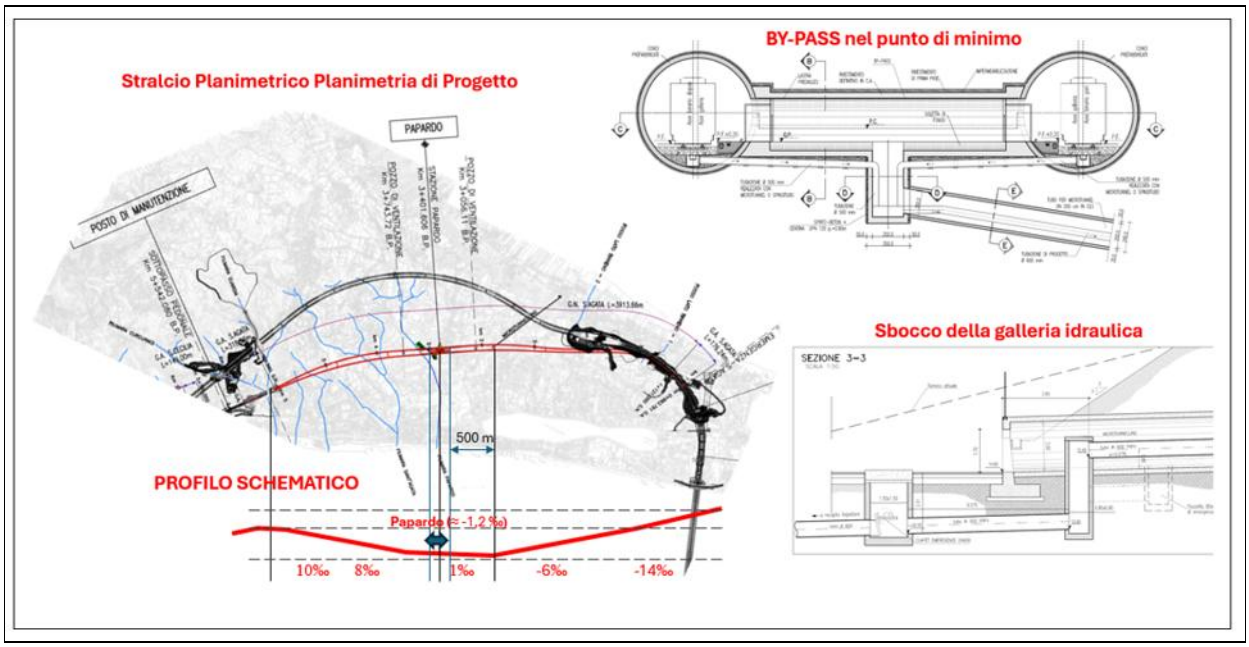


Figura 11-45.- Stralcio planimetrico e dettagli progettuali della Galleria Sant'Agata

A tale riguardo, nello sviluppo del **PE** si raccomanda di verificare l'esistenza e la effettiva capacità di ricezione (oltreché l'autorizzazione dell'imbocco in fogna) della fognatura individuata come recapito dell'acqua proveniente dalla galleria Sant'Agata planimetricamente ubicata in prossimità della SS 113dir.

Si dovrà verificare, in considerazione della "corda molla", la corretta gestione della ventilazione, in galleria, in presenza di fumi in caso di incendio (estrazione fumi).

Per quanto riguarda gli aspetti idraulici della galleria ferroviaria sant'Agata, tenuto conto della prescrizione presente nel Manuale di Progettazione delle OO.CC: sez. 4 Gallerie al punto 4.6.1. che recita*" La progettazione delle gallerie deve essere eseguita evitando che i cambi di pendenza del profilo longitudinale realizzino gallerie con andamento altimetrico così detto a corda molle*", occorre che la soluzione progettuale della galleria Sant'Agata (v. Figura 11-45) venga annoverata nell'ambito delle deroghe ai manuali di progettazione previste nella **RP**.

11.3.4. Integrazione dei sistemi e dei progetti

Come rappresentato nel precedente § *13.1.1 "Inquadramento dei collegamenti stradali e ferroviari delle opere di collegamento e schema semplificato"* le gallerie ferroviarie lato Sicilia sono integralmente realizzate da **SdM**, mentre le gallerie ferroviarie lato Calabria sono realizzate solo parzialmente da **SdM** (§ 5.1.6 - § 5.1.9) ed è previsto che si colleghino con le gallerie in corso di progettazione da parte di **RFI**. Ciò stante, è fondamentale che il PE sia coordinato integralmente con il progetto in corso di definizione di **RFI**, così che il progetto e l'architettura della sicurezza delle gallerie ferroviarie e le procedure per la gestione dell'emergenza siano perfettamente integrati.

Si evidenzia che il **CSLP**, nell'**Assemblea** generale del 13 luglio 2026 ha deliberato con prescrizioni il **PP** "*Opere ferroviarie di connessione al Ponte sullo Stretto di Messina. Sponda Sicula* (CUP: J61G24000030001)".

La **RP,** al § 3.1.7.2 *Prescrizioni per il PE relative alle opere a terra, NTC 2018, Capitolo 7 – PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE*, non fornisce indicazioni in merito alle metodologie di calcolo adottate per il dimensionamento sismico delle opere in sotterraneo, né in termini di aggiornamento rispetto al **PD**, né in termini assoluti.

Si rileva che tale carenza va risolta nell'ambito di applicazione della normativa di carattere strutturale delle **NTC2018**. Si evidenzia a tale riguardo che il Capitolo 7 PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE e, in particolare, il § 7.11 Opere

e sistemi geotecnici e il corrispondente § C7.11 della successiva Circolare del 2019 contemplano prescrizioni specifiche per le fondazioni, le opere di sostegno e i fronti di scavo ma non per le gallerie e le caverne.

L'unico riferimento alle azioni sismiche sulle opere in sotterraneo compare nel § C6.7.4 della **Circolare NTC 2018**, ove si menziona che variazioni dello stato tensionale del rivestimento possono essere indotte da azioni sismiche.

Pur riconoscendo che tale tipologia di opere presenta generalmente una risposta sismica più favorevole rispetto alle strutture in superficie per effetto del confinamento esercitato dal terreno circostante, tale comportamento favorevole potrebbe, tuttavia, venir meno in presenza di sistemi di faglie attive e capaci attraversati dal tracciato. Per tale aspetto si rinvia al § 11.2.

Con particolare riferimento alle opere del versante calabrese, il cui sviluppo planimetrico è interessato da sistemi di faglie potenzialmente attive e capaci, si prescrive che in fase di **PE** – laddove l'attività e la capacità delle faglie sia conclamata e, con esse, l'entità dei rigetti attesi associati ai relativi periodi di ritorno nonché la lunghezza della zona interessata dalla faglia ortogonalmente alla superficie di faglia stessa, il dimensionamento sismico delle opere in sotterraneo nei confronti di tale fenomeno sia condotto in modo esplicito e documentato in relazione agli specifici periodi di ritorno attesi, facendo ricorso a metodologie e approcci di comprovata validità scientifica e tecnica, adeguatamente giustificati nella relazione di calcolo.

11.3.5. Sovrastruttura ferroviaria

Per gli aspetti relativi alla sovrastruttura ferroviaria si richiama quanto riportato in precedenza e al contenuto del chiarimento fornito da **SdM** nella risposta alla lettera di richiesta n.4.

Tuttavia, occorre che nel **PE** venga condotta una analisi di interazione Treno, Binario, Struttura anche per le opere di collegamento all'opera di attraversamento.

Occorre verificare nel **PE** la coerenza, anche funzionale e geometrica, delle opere di competenza **SdM** con quelle realizzate e in corso di realizzazione di competenza di **RFI** (**Fase A**).

11.3.6. Impianti di trazione e segnalamento

Per gli aspetti relativi agli impianti di trazione e segnalamento si richiama quanto riportato in precedenza e il contenuto del chiarimento fornito da **SdM** nella risposta alla lettera di richiesta n.4.

In particolare, per quanto riguarda i sistemi di segnalamento, si richiede di predisporre le opere civili e impiantistiche alla compatibilità con i sistemi già esistenti sulla sponda calabra e sulla sponda sicula al fine di garantire l'esercizio regolare dei treni in attraversamento sul ponte.

Visti i piani di sviluppo dei sistemi di segnalamento ferroviario verso il sistema europeo ERTMS/ETCS, si prescrive la predisposizione delle opere di transizione sulle due sponde per il futuro aggiornamento a questo sistema.

Inoltre, nella **Fase B** del **PE** devono essere chiaramente indentificati quali elementi appartengano alla "*terra di struttura*", quali alla "*terra di protezione*" e quali alla "*terra di trazione*" secondo le norme EN 50122-1 e EN 50122-2. Tale prescrizione è necessaria per verificarne la compatibilità delle predisposizioni delle opere civili che, altrimenti, potrebbero diventare successivamente incompatibili con la parte impiantistica.

11.3.7. Prescrizioni e raccomandazioni (da § 11.3.2 al 11.3.6)

PRESCRIZIONI in Fase A

1. Declinare per tutte le componenti civili e tecnologiche proprie dell'infrastruttura ferroviaria, le modalità secondo cui garantire la perfetta integrazione architetturale/tecnica e funzionale del "sistema" ponte sullo stretto con i progetti delle opere di collegamento in corso di svolgimento da parte di **RFI** in modo da garantire la piena interoperabilità dei sistemi ferroviari.

2. Verificare con **RFI** se l'andamento altimetrico della galleria Sant'Agata che presenta una "Corda Molle" all'interno della galleria stessa e, ciononostante, uno scarico delle acque "a gravità" da un condotto di collegamento del pozzetto di raccolta interno alla galleria sino ad una fognatura di recapito, configuri la necessità di una deroga al Manuale di Progettazione e, se necessario, annoverare la soluzione progettuale della galleria Sant'Agata nell'ambito delle deroghe ai manuali di progettazione di **RFI** previste nella **RP**. Si prescrive, altresì, di verificare, in considerazione della "corda molla", la corretta gestione della ventilazione, in galleria, in presenza di fumi in caso di incendio.

3. Definire chiaramente e preliminarmente le ipotesi di funzionamento del sistema ferroviario e le conseguenti condizioni di esercizio, normali degradate e di emergenza, per individuare i requisiti di sicurezza applicabili ai sottosistemi costituenti il sistema nonché agli elementi che lo componendo (gallerie) applicando, in particolare, l'Allegato I del Regolamento (UE) 402/2013 e smi. Questo, al fine di utilizzare i criteri ivi definiti per sviluppare, a partire dall'analisi dei rischi del funzionamento del sistema ferroviario, gli obiettivi di sicurezza di progetto che devono essere garantiti dal sistema tecnico.

4. Individuare chi svolgerà la figura del Richiedente l'Autorizzazione (tra i Soggetti di cui all'art. 3, c. 1, lett.z) del **D.Lgs.** 57/2019) e provvedere all'incarico dei necessari Organismi di Valutazione della Conformità e degli Organismi di Valutazione del Rischio, sia per quanto richiesto nelle **STI** che per la valutazione del processo di individuazione, allocazione, attuazione e convalida dei requisiti di sicurezza, secondo quanto stabilito dal citato **D.Lgs.** 57/2019.

5. Si prescrive di verificare nel PE la coerenza, anche funzionale e geometrica, delle opere di competenza **SdM** con quelle realizzate e in corso di realizzazione di competenza di **RFI**.

PRESCRIZIONI in Fase B

1. Fare riferimento, sia in fase di progettazione che in fase di realizzazione, alla nuova normativa tecnica e all'eventuale evoluzione del quadro regolatorio comunitario e nazionale in materia di sicurezza e interoperabilità delle ferrovie poiché, fermo restando le possibilità di deroghe previste dalle medesime norme, i sottosistemi ferroviari possono essere autorizzati solo se conformi ai requisiti essenziali e alle prescrizioni normative vigenti al momento della presentazione dell'istanza di AMIS (Autorizzazione alla messa in servizio).

2. Ciascuna fase di attivazione (intermedia o finale) dovrà essere supportata, già in fase di progetto, da una specifica valutazione tecnico-sistemica che consideri l'infrastruttura nella configurazione risultante dall'attivazione del singolo lotto, inclusi gli effetti di interazione con l'esercizio dell'infrastruttura esistente. Per ciascuna fase di messa in servizio dovranno essere garantite le condizioni di integrazione funzionale del sistema ferroviario, comprendendo tutte le opere civili, ferroviarie e impiantistiche interessate. In particolare, con riferimento alle gallerie ferroviarie, per ciascuna fase dovrà essere verificata l'accettabilità del rischio ai sensi del **DM** 04/03/2025.

3. Nel caso di deviazioni dagli standard di riferimento o di applicazioni non conformi ai manuali progettuali, il Progetto dovrà garantire la dimostrazione completa e tracciabile del soddisfacimento dei requisiti essenziali applicabili e la conformità alle **STI**. In particolare, le deviazioni dagli standard o dai manuali di riferimento dovranno essere adeguatamente motivate e dimostrate, evidenziando l'assenza di condizioni di rischio non accettabili per l'intero ciclo di vita del sottosistema e il conseguimento di un livello di sicurezza almeno equivalente a quello assicurato dallo standard di riferimento.

4. Relativamente alle opere del versante calabrese il cui sviluppo planimetrico è interessato dalla presenza di sistemi di faglie potenzialmente attive e capaci, laddove l'attività e la capacità delle faglie sia conclamata e, con esse, l'entità dei rigetti attesi associati ai relativi periodi di ritorno nonché la lunghezza della zona interessata dalla faglia ortogonalmente alla superficie di faglia stessa, il dimensionamento sismico delle opere in sotterraneo nei confronti di tale fenomeno dovrà essere condotto in modo esplicito e documentato in relazione agli specifici periodi di ritorno attesi, facendo ricorso a metodologie e approcci di comprovata validità scientifica e tecnica, adeguatamente giustificati nella relazione di calcolo.
5. Specificare chiaramente gli elementi appartenenti alla "terra di struttura", quelli alla "terra di protezione" e, infine, quali alla "terra di trazione" secondo le norme EN 50122-1 e EN 50122-2.
6. Integrare i sistemi di segnalamento delle opere di transazione con quelli esistenti sulle due sponde e predisporre le opere per il segnalamento europeo ERTMS/ETCS.

RACCOMANDAZIONE in Fase B

1. Si raccomanda di verificare l'esistenza e la effettiva capacità di ricezione (oltreché l'autorizzazione dell'imbocco in fogna) della fognatura individuata come recapito dell'acqua proveniente dalla galleria Sant'Agata planimetricamente ubicata in prossimità della SS 113dir.

11.3.8. Aspetti strutturali delle opere di collegamento – Ponti e viadotti stradali e ferroviari

Nel capitolo dedicato alla sismotettonica è stata effettuata una analisi per individuare le possibili interazioni tra faglie attive e capaci e opere infrastrutturali lineari. Si tratta di una indicazione per la verifica della sicurezza di ponti, viadotti e gallerie da realizzare. La presenza di faglie attive e capaci o potenzialmente attive e capaci non deve essere valutata esclusivamente come elemento di pericolosità sismica generale, ma come possibile sorgente di deformazioni permanenti localizzate, deformazioni distribuite, alterazioni geomeccaniche e discontinuità idrogeologiche in grado di incidere direttamente sulla progettazione e sull'esercizio dell'opera.

Per ponti e viadotti, la criticità principale riguarda gli spostamenti differenziali tra elementi fondati su blocchi geologici distinti perché separati da faglie; per le gallerie, riguarda l'attraversamento di zone tettonizzate e la possibile riattivazione e conseguente dislocazione lungo piani di faglia. In ragione di questi possibili effetti, è necessario che la risposta progettuale si fondi su un modello sismotettonico aggiornato, su indagini mirate e su verifiche esplicite degli scenari di deformazione permanente.

In sintesi, ai fini di una analisi simica adeguata e per una adeguata progettazione strutturale, occorre tener conto del quadro conoscitivo di cui al paragrafo dedicato, con un approccio integrato che tiene conto di molteplici aspetti, geologico, sismotettonico, geotecnico, idraulico strutturale e gestionale.

In tale quadro si inserisce l'analisi dell'affidabilità dei sistemi nel suo complesso trattato nell'apposito capitolo 5.3, ove assume particolare rilevanza il sistema delle opere di collegamento stradale e ferroviario.

A parere dell'**Assemblea** è necessaria, e dunque si raccomanda (**Fase A**) effettuare studio affidabilistico del sistema delle opere di collegamento, anche attraverso studi di scenario, affinché esse non risultino "l'anello debole" dell'intero sistema di attraversamento.

In particolare, per incrementare l'affidabilità del sistema, andranno inserite e considerate nello studio tutte le possibili ridondanze, ad esempio scambi di corsia per la parte stradale e posti di comunicazione binario pari – binario dispari per la ferrovia.

Inoltre, andrà presa in considerazione la resilienza del sistema anche dal punto di vista del **PE** dei componenti di cui si prevede il danneggiamento, al fine di massimizzare la semplicità di esecuzione e minimizzare i tempi per

ripristinare i componenti "sacrificali". Tali obiettivi potranno essere conseguiti anche con l'utilizzo di materiali e tecnologie innovative, ovvero schemi strutturali favorevoli per il veloce ripristino delle infrastrutture.

11.3.8.1. Ponti e viadotti stradali

Per tutte le opere sono state adottate tipologie strutturali ingegneristicamente consuete e correnti.

Infatti, i ponti e viadotti stradali previsti sui due versanti presentano, nel complesso, schemi strutturali riconducibili prevalentemente a impalcati in struttura mista acciaio-calcestruzzo, con travi metalliche a doppio T o travate metalliche continue, soletta collaborante in calcestruzzo armato e traversi metallici, talora reticolari o a parete piena; sono inoltre presenti, per alcune opere di luce minore, impalcati con travi prefabbricate in c.a.p. e soletta collaborante.

Più in particolare, lato Calabria, risultano descritti viadotti e cavalcavia prevalentemente a campata unica, affiancati da opere pluricampata quali il Cavalcavia San Giovanni Rosso, il Viadotto Piria, il Viadotto Gibia e il Viadotto Solaro, con numero di campate compreso tra 1 e 4 e luci variabili da un minimo di circa 17 m a un massimo di 66 m. Le sottostrutture sono costituite in prevalenza da spalle tradizionali in c.a., con fondazioni dirette o profonde, e, ove presenti pile intermedie, da fusti in calcestruzzo armato anche a sezione circolare, collegati in sommità da pulvini.

Lato Sicilia le opere stradali comprendono sia impalcati a campata unica sia sistemi continui su più campate, in particolare nell'ambito degli svincoli Annunziata, Curcuraci e Pace, con numero di campate compreso tra 1 e 5 e luci variabili da un minimo di circa 14 m a un massimo di 60 m; anche in questo caso gli impalcati sono prevalentemente misti acciaio-cls., con travi metalliche longitudinali e soletta collaborante, mentre alcune opere minori adottano travi in c.a.p.. Le sottostrutture sono costituite da spalle e pile in calcestruzzo armato, generalmente su fondazioni dirette o profonde, con presenza, per alcune opere, di sistemi di isolamento sismico tra impalcato e pile/spalle.

11.3.8.2. Viadotti ferroviari

Nella tabella "A" di Figura 11-46, per maggior chiarezza e rapidità di lettura, si riporta l'elenco delle opere con l'indicazione del nome, il riferimento del documento progettuale che lo tratta, l'ubicazione, il numero di campate, la tipologia fondale, la tipologia di infrastruttura servita e la regione di ubicazione.

N.	Nome	Doc. di rif.	Ubicaz.	Campate	Fondazioni	Stradale o ferroviario	Lato Calabria / Sicilia
1	Viadotto Gibia Ampliamento	CS427_Fo e seg	Rampa C	3	Micropali	stradale	Calabria
2	Viadotto Laticogna Ampliamento	CS412_Fo e seg.	Rampa C	1	Micropali	stradale	Calabria
3	Viadotto Prestianni Ampliamento	CS398_Fo e seg.	Rampa C	1	Micropali	stradale	Calabria
4	Viadotto Piria Ampliamento	CS367_Fo e seg.	Rampa C	2	Micropali	stradale	Calabria
5	Viadotto Zagarella 1	CS339_Fo e seg.	Rampa C	1	Superficiali	stradale	Calabria
6	Viadotto Zagarella 2	CS353_Fo e seg.	Rampa C	1	Pali trivellati	stradale	Calabria
7	Viadotto Polistena	CS384_Fo e seg.	Rampa G	1	Superficiali	stradale	Calabria
8	Viadotto stradale di accesso al ponte	CS289_Fo e seg.	Ramo A-B	1	Superficiali	stradale	Calabria
9	Viadotto stradale di accesso al ponte	CS302_Fo e seg.	Ramo C D	1	Superficiali	stradale	Calabria
10	Viadotto Campanella 1	CS315_Fo e seg.	Rampa B	1	Superficiali	stradale	Calabria
11	Viadotto Campanella 2	CS329_Fo e seg.	Rampa M	1	Pali trivellati	stradale	Calabria
12	Viadotto Immacolata	CS445_Fo e seg.	Rampa D	1	Dirette	stradale	Calabria
13	Viadotto Solaro Ampliamento	CS459_Fo e seg.	Rampa D	4	Pali trivellati	stradale	Calabria
1	Cavalcavia Via Campidoglio	CS498_Fo e seg.	Ramo B	1	Diaframmi	stradale	Calabria
2	Cavalcavia San Giovanni Rosso	CS486_Fo e seg.	Rampa D	2	Una spalla su diaframmi, una su fondazioni dirette e la pila su paratia in trivellati	stradale	Calabria
3	Sottopasso Ramo B Rampa M	CS505_Fo e seg.	Ramo B	1 (scatolare)	Superficiali	stradale	Calabria
4	Sottovia Via Campidoglio	CS511_Fo e seg.	Rampa M	1 (scatolare)	Superficiali	stradale	Calabria
1	Svincolo Curcuraci Dir. ME	SS667_Fo e seg.	Asse principale	3	Superficiali	stradale	Sicilia
2	Svincolo Curcuraci	SS667_Fo e seg.	Rampa 1	4	Superficiali	stradale	Sicilia
3	Svincolo Curcuraci Dir. RC	SS686_Fo e seg.	Asse principale	3	Superficiali	stradale	Sicilia
4	Svincolo Curcuraci	SS704_Fo e seg.	Rampa 3 e 4	5	Superficiali	stradale	Sicilia
5	Svincolo Curcuraci	SS724_Fo e seg.	Rampa 5	1	Superficiali	stradale	Sicilia
6	Viadotto Pace	SS396_Fo e seg.	Direzione ME	1	Superficiali	stradale	Sicilia
7	Viadotto Pace	SS410_Fo e seg.	Direzione RC	1	Superficiali	stradale	Sicilia
8	Svincolo Annunziata	SS761_Fo e seg.	Asse	1	Pali trivellati	stradale	Sicilia
9	Svincolo Annunziata	SS776_Fo e seg.	Asse	1	Pali trivellati	stradale	Sicilia
10	Svincolo Annunziata	SS803_Fo e seg.	Rampa 1	1	Superficiali	stradale	Sicilia
11	Svincolo Annunziata	SS818_Fo e seg.	Rampa 1	1	Pali trivellati	stradale	Sicilia
12	Svincolo Annunziata	SS791_Fo e seg.	Sottovia Rampa 1	1	Superficiali	stradale	Sicilia
1	Sottovia RFI dir. RC	SS555_Fo e seg.	Asse principale	1	Scatolare con fondazioni superficiali	stradale	Sicilia
2	Sottovia RFI dir. ME	SS55_Fo e seg.	Asse principale	1	Scatolare con doppia paratia	stradale	Sicilia
1	Viadotto di accesso	CF71_Fo e seg.		1	Superficiali	ferroviario	Sicilia

Figura 11-46.- Tabella A

L'unica opera ferroviaria è situata lato Calabria ed è costituita dal "Viadotto di Accesso Ferroviario". Presenta un'unica campata di luce pari a 40 m, con impalcato realizzato mediante tre travi metalliche a doppio T, soletta collaborante in calcestruzzo armato e traversi metallici a parete piena.

Le spalle sono realizzate in calcestruzzo armato e presentano fondazioni superficiali.

In generale per le opere di cui sopra, in riferimento alla determinazione della azione sismica, sono stati seguiti i dettami delle **NTC 2008**. Ovviamente si dovrà adeguare tutto alle **NTC 2018**.

Nelle relazioni di calcolo degli impalcati con struttura in acciaio-cls non sempre è stata esplicitata la classe delle sezioni dei profilati, nel caso del sovrappasso Via Campidoglio non si riscontra il dimensionamento delle spalle mentre nel caso del Viadotto Campanella 2 non si riscontra il dimensionamento dell'impalcato.

Ai fini sismici è stato assunto una vita nominale dell'opera pari a 100 anni e una classe d'uso IV. Il fattore di comportamento q, assunto, è pari a 1.0 tranne nel caso del Viadotto Solaro in cui tale coefficiente è pari a 1.5.

Quanto sopra non trova riscontro nei Viadotto Laticogna, Viadotto Gibia, Viadotto Piria e Viadotto Prestianni per i quali la determinazione dell'azione sismica viene effettuata con riferimento ai dettami contenuti nel **DM** 16/01/1996 e Circ. 65 del 10/04/1997.

Nelle analisi sismiche, effettuate, si ravvisano approcci diversi da opera a opera, infatti, nella maggior parte dei casi è stato fatto ricorso alle analisi di tipo dinamico e in alcuni casi residuali si è adottata un'analisi lineare statica in cui sono state trascurate le masse dovute ai carichi mobili. Le analisi in molti casi sono state svolte considerando solo lo stato limite **SLV** senza considerare gli stati limite **SLD** e **SLO**.

Nella maggior parte delle relazioni di calcolo delle opere è affermato che non vengono eseguite le verifiche dello stato tensionale dell'impalcato per la combinazione sismica, in quanto questa azione risulta non dimensionante al contrario, per esempio, dell'azione dovuta al vento, che in direzione trasversale produce una domanda di entità maggiore. Stesso discorso viene fatto in direzione longitudinale e verticale affermando che le azioni sismiche non sono significative rispetto a quelle prodotte dalle azioni da traffico nelle combinazioni in cui tali azioni sono principali.

Passando all'analisi della relazione del progettista al §. 3.1.7.2.1.2 "*Altri viadotti lungo i collegamenti stradali e ferroviari*" è riportato:

"*Per quanto riguarda gli altri viadotti stradali previsti nei collegamenti a terra, si adotterà sistematicamente nel progetto esecutivo l'isolamento sismico. Conseguentemente le prescrizioni di normativa legate al comportamento strutturale dissipativo per le sottostrutture non risulteranno applicabili al progetto degli altri viadotti*."

Il § 3.1.7.2.1.2 segue quello del viadotto Pantano ed è inteso quindi riferirsi a tutti i viadotti compresi nel **PD** diversi dall'opera di attraversamento principale e dal Pantano.

La scelta nel **PE** di isolare sismicamente viadotti che non erano isolati nel **PD**, comporta la riprogettazione sia delle pile e delle spalle, ed in taluni casi dell'impalcato stesso, secondo criteri e prescrizioni diversi da quelli di opere non isolate. Questo perché gli impalcati isolati trasferiranno alle pile e alle spalle, durante il sisma, forze di inerzia generalmente minori, anche in maniera significativa, che dipenderanno dal periodo proprio della struttura isolata.

Per contro, lo spostamento sotto sisma degli impalcati isolati sarà generalmente superiore. Questo si tradurrà nella necessità di rendere il **PE** coerente con tali spostamenti, anche al fine di evitare martellamenti. Possibili soluzioni includono la realizzazione di travi continue su più appoggi, con diminuzione del numero dei giunti e l'utilizzo di isolatori con alto smorzamento, ecc. Tali scelte progettuali possono comportare l'utilizzo di diversi schemi statici, che si riflettono anche sui materiali e dimensionamento degli impalcati per le combinazioni diverse da quella sismica.

Al fine di individuare i *profili tecnici di particolare complessità e rilevanza* su questo aspetto, appare opportuno premettere che le considerazioni, su aspetti sostanziali, fatte di seguito, in particolar modo sulle opere multi-campata potrebbero essere non più valide nell'aggiornamento progettuale che le medesime potrebbero subire in fase di PE e di cui ad oggi non si ha contezza.

Si premette, in ogni caso che, in merito alla vita nominale e alla classe d'uso, in coerenza con le definizioni dei punti 2.4.1 e 2.4.2 **NTC 2018**, si ritiene di associare a tutte le opere di collegamento vita nominale di 100 anni e classe d'uso IV (Cu=2) con scelta univoca del fattore di comportamento in modo da dare la stessa protezione sismica a tutti i viadotti in coerenza con le prescrizioni di normativa (**Prescrizione in Fase A**).

PRESCRIZIONI

1. I riferimenti normativi da utilizzare per lo sviluppo del **PE** di tutte le opere di collegamento siano le **NTC 2018** e la relativa circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Nel caso di mancanza di specifiche indicazioni, si dovrà fare ricorso a documenti, normativi e non, di comprovata validità (**Fase B**).
2. Uniformare gli approcci di progetto con completo dimensionamento di tutti gli elementi strutturali che costituiscono le opere. Per uniformare la protezione sismica delle opere, andranno utilizzati fattori di comportamento omogenei (**Fase B**).
3. In merito alla vita nominale e alla classe d'uso, in coerenza con le definizioni dei punti 2.4.1 e 2.4.2 **NTC 2018**, occorre associare a tutte le opere di collegamento una $\mathbf{V_N}$ di 100 anni e la classe d'uso IV (**Cu**=2) (**Fase B**).
4. Occorre valutare l'azione sismica sull'impalcato in ogni caso. Qualora essa venga ritenuta non dimensionante, tale assunzione dovrà essere giustificata mediante confronto quantitativo con le altre azioni di progetto (**Fase B**).
5. Eseguire in ogni caso le verifiche allo Stato Limite di Danno, con particolare riferimento a spostamenti, appoggi, vincoli, giunti e funzionalità dell'opera e allo stato limite di danneggiamento per gli impalcati in acciaio (**Fase B**).
6. Le verifiche sismiche siano condotte esplicitando parametri sismici, stati limite considerati, combinazioni di carico e criteri modellistici adottati su tutti gli elementi costituenti le opere (**Fase B**).

RACCOMANDAZIONI

1. Si raccomanda di esplicitare e giustificare, in ogni relazione di calcolo, il fattore di comportamento adottato per le verifiche sismiche, motivandone la scelta in funzione della normativa vigente (**Fase B**) anche garantendo che le opere principali non subiscano danni che ne compromettano la funzionalità con la possibilità della messa fuori esercizio dell'infrastruttura in oggetto per sismi con periodi di ritorno inferiori rispetto a quelli previsti per l'opera di attraversamento.
2. Si raccomanda di riportare il calcolo della classe delle sezioni metalliche principali, con particolare riferimento alle sezioni di elevata altezza (**Fase B**).
3. Si raccomanda di valutare la possibilità di considerare una quota parte dei carichi da traffico nella massa sismica, adottando, ove ritenuto cautelativo, criteri analoghi a quelli previsti per ponti e viadotti in ambito urbano (**Fase B**).
4. Si raccomanda di garantire piena corrispondenza tra le denominazioni di conci, sezioni ed elementi strutturali riportate nelle relazioni di calcolo e quelle utilizzate nelle tavole di carpenteria (**Fase B**).
5. Qualora siano previsti conci di carpenteria metallica di lunghezza superiore a 12 m, si raccomanda di giustificare tale scelta in relazione al trasporto e la logistica di cantiere (**Fase B**).

11.3.9. Aspetti strutturali delle gallerie stradali e ferroviarie e delle stazioni in sotterraneo

Si premette che le opere di collegamento sono disciplinate dalle norme tecniche vigenti, c.d. **NTC2018**, cui si farà esclusivo riferimento nell'espressione del richiesto parere, diversamente dall'opera di attraversamento principale, disciplinata anche dai c.d. *Fondamenti.*

Sulle opere di collegamento sono state effettuate alcune richieste di chiarimenti ai progettisti; a tale riguardo, nella trattazione generale del presente parere, sono stati analizzati detti argomenti riferiti alle predette richieste di chiarimento, le cui conclusioni si estendono anche alle opere di collegamento.

Considerata la particolarità dell'area in cui ricadono le opere in parola, si sono cioè voluti approfondire aspetti relativi alla domanda sismica, in particolare per quanto concerne potenziali sismi c.d. *near field.*
Dal punto di vista sismico, all'interfaccia tra le gallerie e le stazioni interrate sono possibili spostamenti differenziali centimetrici o decimetri (considerata l'intensità dell'azione sismica). Si prescrive, quindi, di stimarne l'entità di detti spostamenti differenziali (prescrizione in **Fase B**) anche attraverso analisi locale, per tener conto della diversa risposta di una struttura tridimensionale e rigida (le stazioni) e monodimensionale e flessibile (la galleria).

Tali spostamenti potranno essere risolti, in sede di **PE**, con opportuni accorgimenti, p.e. in forma di giunti flessibili, di dimensioni coerenti con i risultati delle analisi specialistiche. L'aspetto assume ulteriore rilevanza in presenza di falda con battenti idraulici tali da potersi produrre portate significative.

Per quanto concerne gli aspetti legati ai cedimenti dovuti alla realizzazione delle opere, si rinvia al paragrafo dedicato alla geotecnica. Si segnalano comunque interferenze tra le lavorazioni di scavo e le fondazioni dei manufatti soprastanti, non potendosi escludere fenomeni di subsidenza. I ricoprimenti lungo i tracciati delle gallerie sono infatti variabili tra valori che permettono di escludere fenomeni di subsidenza (oltre 100m) e valori (inferiori alle decine di metri) ove tali fenomeni, in dipendenza delle caratteristiche del sottosuolo e dei metodi di scavo, sono possibili. Si vedano p.e. le tavole dei profili longitudinali lato Calabria e Sicilia (CF0018, CF0019, CF0023, CF0024, SF0060, SF0061, SF0062, SF0074, SF0075, SF0076). Si nota che la puntuale definizione dei metodi di scavo, ivi compresa la scelta delle macchine e gli interventi di mitigazione del rischio di subsidenza, è attività al confine tra il **PD** e il **PE**.

Sarà pertanto necessario:

- redigere testimoniali di stato degli immobili interessati.
- Verificare i risultati dell'interferometria satellitare delle aree interessate, così da verificare, anche con riferimento al passato, gli eventuali fenomeni di subsidenza per cause non riferibili alle future lavorazioni.
- Effettuare stime speditive dei fenomeni di subsidenza e dei loro effetti sul costruito tenendo conto dei parametri del sottosuolo e delle tecniche di scavo.
- Monitorare la subsidenza e i suoi effetti sul costruito durante l'avanzamento dei lavori.
- Approfondire gli studi della subsidenza e dei suoi effetti con modelli piani e tridimensionali laddove i risultati dell'analisi speditiva segnalino situazione degne di particolare attenzione.
- Prevedere l'allocazione di risorse utili a sanare tali negativi.
- Utilizzare soluzioni che permettano la minimizzazione dei volumi persi durante lo scavo.
- Approfondimento dello studio relativo alla verifica sismica tenendo conto della variabilità spaziale del moto, con influenza sia sulla verifica nelle direzioni longitudinale e trasversale della galleria di linea, sia sulla verifica della sezione di collegamento tra galleria e stazioni.

Per quanto riguarda gli impatti della realizzazione delle opere in sotterraneo sul territorio circostante si raccomanda di predisporre, in base alla documentazione storica reperibile, un documento che evidenzi le problematiche incontrate nella realizzazione delle opere in sotterraneo già esistenti sulla sponda sicula e calabra e degli effetti della loro esecuzione, sia a breve termine che a lungo termine, in relazione alle formazioni incontrate e alla circolazione idrica sotterranea. Tale documento può rappresentare un utile riferimento per la progettazione esecutiva, la realizzazione ed il monitoraggio delle opere in progetto che interessino le medesime formazioni. Tale studio potrà essere integrato con uno studio interferometrico satellitare delle velocità di spostamento verticale da estendersi su un arco di tempo sufficientemente ampio.

Nel caso in cui vi sia una interazione diretta tra opere in sotterraneo e fabbricati esistenti si raccomanda di eseguire una accurata ricognizione e descrizione tecnica delle tipologie di fabbricati e delle loro condizioni attuali, che possa essere di riferimento nel caso di contenziosi.

Si valuti inoltre la necessità, in particolare in presenza di basse coperture in formazioni sciolte interessate da circolazione idrica sotterranea perturbata dagli scavi, di determinare i profili di subsidenza, confrontando i risultati ottenuti con valori limite di soglia degli spostamenti assoluti e differenziali, da definirsi specificamente per ogni tipologia strutturale di fabbricato potenzialmente interessato.

In fase di **PE**, si prescrive di progettare un adeguato sistema di monitoraggio automatico degli spostamenti sia superficiali che profondi indotti dalla realizzazione delle opere in sotterraneo, potenzialmente interagenti con i fabbricati, che includa la definizione di soglie di attenzione e di allarme. Il sistema di monitoraggio deve essere tale da consentire di intervenire prontamente con interventi mitigativi nel caso si manifestino comportamenti inattesi.

Si raccomanda infine un approfondimento dello studio relativo alla verifica sismica tenendo conto della variabilità spaziale del moto, con influenza sia sulla verifica nelle direzioni longitudinale e trasversale della galleria di linea, sia sulla verifica della sezione di collegamento tra galleria e stazioni.

Alla luce di quanto esposto precedentemente si riporta una sintesi delle prescrizioni e raccomandazioni proposte dall'**Assemblea**.

Prescrizioni

1. Si prescrive di valutare l'azione sismica sull'impalcato in ogni caso. Qualora essa venga ritenuta non dimensionante, tale assunzione dovrà essere giustificata mediante confronto quantitativo con le altre azioni di progetto (**Fase B**).
2. Si prescrive di eseguire in ogni caso le verifiche allo Stato Limite di Danno, con particolare riferimento a spostamenti, appoggi, vincoli, giunti e funzionalità dell'opera (**Fase B**).
3. Si prescrive che le verifiche sismiche siano condotte conformemente alle norme tecniche vigenti, esplicitando parametri sismici, stati limite considerati, combinazioni di carico e criteri modellistici adottati su tutti gli elementi costituenti le opere (**Fase B**).
4. In merito alla vita nominale e alla classe d'uso, in coerenza con le definizioni dei punti 2.4.1 e 2.4.2 **NTC 2018**, si prescrive di associare a tutte le opere di collegamento il tipo 3 (**Vn**=100 anni) e la classe IV (**Cu**=2) (**Fase A**)
5. Definizione dello spostamento differenziale all'interfaccia tra gallerie e stazioni in sotterraneo; adozione di dettagli esecutivi (p.e. giunti flessibili e, sottofalda, a tenuta idraulica) coerenti con tali spostamenti (**Fase B**).

Raccomandazioni

1. Si raccomanda di esplicitare e giustificare, in ogni relazione di calcolo, il fattore di comportamento adottato per le verifiche sismiche, motivandone la scelta in funzione della normativa vigente (**Fase B**).
2. Si raccomanda di riportare il calcolo della classe delle sezioni metalliche principali, con particolare riferimento alle sezioni di elevata altezza (**Fase B**).
3. Si raccomanda di valutare la possibilità di considerare una quota parte dei carichi da traffico nella massa sismica, adottando, ove ritenuto cautelativo, criteri analoghi a quelli previsti per ponti e viadotti in ambito urbano (**Fase B**).
4. Si raccomanda di garantire piena corrispondenza tra le denominazioni di conci, sezioni ed elementi strutturali riportate nelle relazioni di calcolo e quelle utilizzate nelle tavole di carpenteria (**Fase B**).
5. Qualora siano previsti conci di carpenteria metallica di lunghezza superiore a 12 m, si raccomanda di giustificare tale scelta in relazione a trasporto in cantiere (**Fase B**).
6. Si raccomanda di esplicitare, per ciascuna opera, la vita di riferimento adottata, indicando la vita nominale e la classe d'uso assunte. Tali scelte dovranno essere adeguatamente motivate e coerenti con le norme tecniche vigenti (**Fase B**).

7. Si raccomanda di eseguire valutazioni nei riguardi della robustezza dell'infrastruttura nei confronti dell'azione sismica. In particolare, dovrà essere verificato che le opere a terra non subiscano danni tali da comprometterne la funzionalità e determinare la messa fuori esercizio dell'infrastruttura, a fronte di un evento sismico per il quale l'opera principale di attraversamento risulti ancora pienamente agibile (**Fase A**).

11.4. Sicurezza gallerie (impianti e antincendio) in relazione alle norme vigenti

11.4.1. Rilevanza tecnica e complessità progettuale

La sicurezza in galleria rappresenta una *tematica tecnica particolarmente rilevante* per le gravi conseguenze, in termini di rischio da gestire in ambiente confinato, che possono interessare la vita umana sia degli utenti sia dei soccorritori in caso di incendio e/o esplosioni. In caso di eventi incidentali di grosse dimensioni, le conseguenze potrebbero essere addirittura catastrofiche perché possono portare al collasso della struttura stessa, con effetti devastanti anche su eventuali importanti strutture adiacenti, provocandone significativi cedimenti.

Il Ponte rappresenta una sfida ingegneristica di elevata complessità e il sistema di collegamento a una tale opera non può non essere valutata tenendo conto di detta complessità. Le opere di collegamento sia ferroviario sia stradale al Ponte in progettazione, e alle reti infrastrutturali esistenti, presentano diverse gallerie, sia ferroviarie sia stradali che non possono essere analizzate in modo indipendente dal contesto complessivo, nonché separatamente per le diverse peculiarità tipologiche. Gli effetti in tale *sistema complesso di gallerie* in caso di incidenti rilevanti, con rischio di incendi/esplosioni, potrebbero ripercuotersi anche sull'attraversamento propriamente detto, così come non si possono trascurare gli effetti sulla sicurezza di problematiche di transito, in caso di un evento incidentale rilevante sul Ponte stesso, che potrebbero riverberarsi anche sul sistema di gallerie dei due versanti.

Pertanto, è necessario che queste problematiche siano adeguatamente trattate in fase di **PE**, anche attraverso una specifica analisi approfondita di sistema, che oltre alla necessità di conformità regolamentare, consideri adeguatamente la complessità dei sistemi esaminati, delle ipotesi poste alla base delle analisi e delle evoluzioni dello stato dell'arte tecnico-scientifico.

11.4.2. Collegamenti stradali

Le opere di collegamento stradale nel versante calabrese sono caratterizzate principalmente da uno svincolo tra il collegamento al Ponte e l'Autostrada A2. In particolare, sono previsti quattro rami (A, B, C, D) in cui tutte le diramazioni di accesso-uscita dal Ponte sono monodirezionali. I rami A (ME-SA) e C (SA-ME) hanno caratteristiche di bretella autostradale a due corsie; i rami B (ME-RC) e D (RC-ME) sono, invece, ad unica corsia e confluiscono nei rami A e C, che rappresenta la viabilità principale. Il ramo A è caratterizzato dalla galleria "Piale", con sviluppo di circa 1655 m, il ramo B presenta la galleria "Pian di Lastrico", con sviluppo di circa 565 m, il ramo C la galleria "Minasi", con sviluppo di circa 710 m, il ramo D è caratterizzato dalla galleria "Campanella" di lunghezza di circa 1157 m.

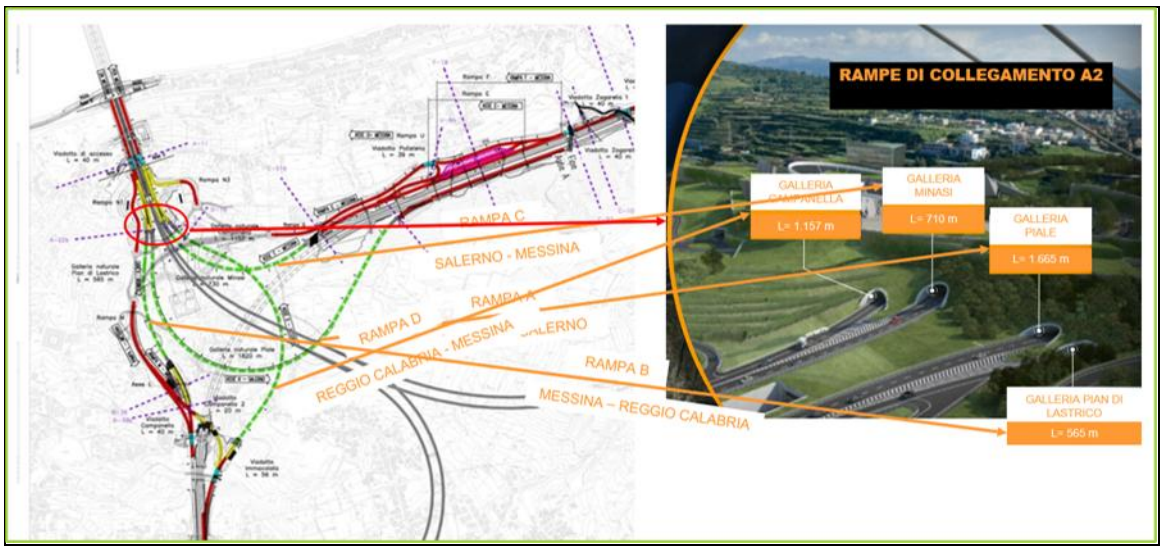


Figura 11-47.- Collegamenti stradali e relative gallerie lato calabrese

Sul versante siciliano (v. Figura 11-48), per il collegamento stradale al Ponte, è prevista una nuova infrastruttura di tipologia autostradale caratterizzata da una successione di tratti in galleria e viadotto, a causa della morfologia complessa con rilievi collinari e incisioni torrentizie. In particolare, superato il viadotto "Pantano", dopo il mini-svincolo "Ganzirri" si trova la galleria "Faro Superiore" di lunghezza pari a 3378 m circa, in uscita da tale galleria si giunge allo svincolo di "Curcuraci", quindi è prevista la galleria "Balena" di lunghezza di circa 1162 m, la quale è seguita dal viadotto "Pace" al termine del quale si imbocca la galleria "Le Fosse" che è la più lunga con i suoi 2811 metri circa di sviluppo; in uscita da quest'ultima è infine previsto lo svincolo "Annunziata". Dopo lo svincolo "Annunziata è previsto in Accordo di Programma un'altra galleria denominata "Serrazzo".

Dallo schema completo, sia dello svincolo di interconnessione stradale del versante calabrese, comprendente le quattro gallerie sopra menzionate, sia dalla successione continua di tratti in galleria, in viadotti, e di svincoli del versante siciliano, con le tre gallerie consecutive indicate di competenza di **SdM**, oltre alla galleria Serrazzo, si evidenzia immediatamente l'elevata *complessità tecnica*, nonché le mutue reciproche relazioni, delle necessarie analisi di sicurezza relative alle gallerie stradali per entrambe le sponde.

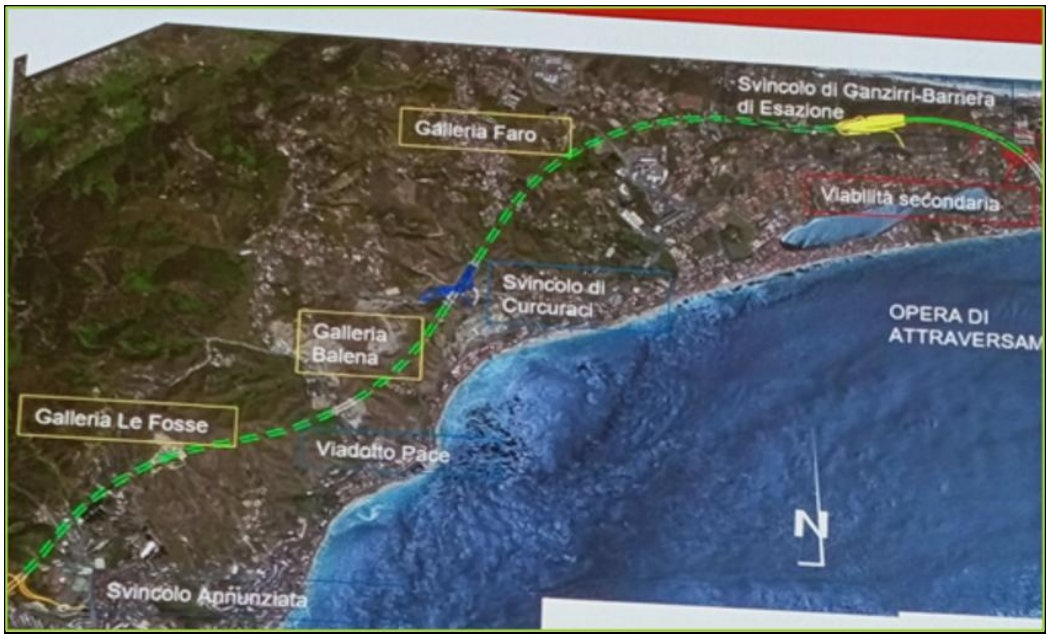


Figura 11-48.- Collegamenti stradali e relative gallerie lato siciliano

11.4.3. Collegamenti ferroviari

Il collegamento ferroviario nel versante calabrese (v. Figura 11-49) prevede, a partire dalla struttura del Ponte, la galleria Bolano in cui l'intervento di competenza di **SdM** termina al km 2+200 dall'asse della torre (km 0+00), mentre la restante parte è di competenza di **RFI** (lunghezza complessiva di circa 4900 m in galleria). Nella galleria Bolano è prevista la diramazione per il collegamento con la galleria della linea **AV** della SA-RC il cui progetto non è stato ancora sviluppato e la diramazione per l'allaccio sempre in galleria con la linea storica per realizzare l'interconnessione sia con Villa S. Giovanni sia con Reggio Calabria; con relativi cameroni di diramazione.

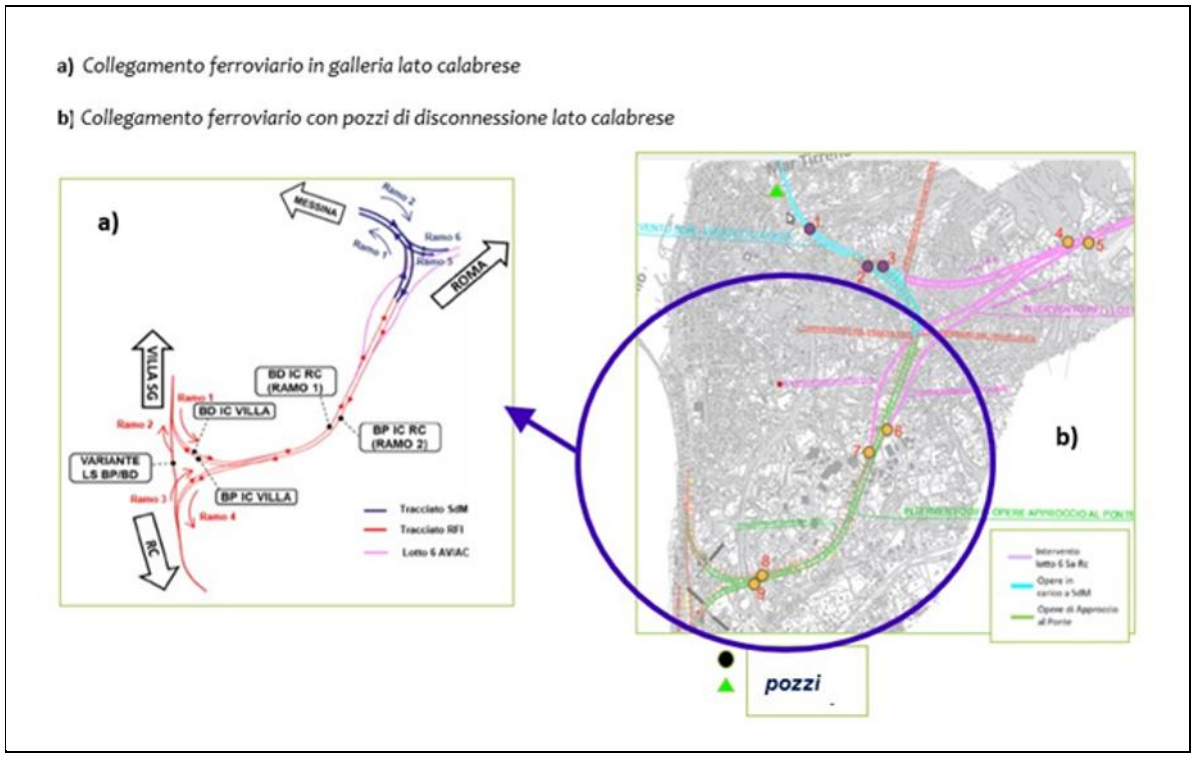


Figura 11-49.- Ferrovie in galleria e pozzi di disconnessione lato calabrese

Sul versante siciliano (v. Figura 11-50), superato il Ponte e il viadotto Pantano, sono previste due gallerie consecutive (S. Agata di circa 4390 m e S. Cecilia di lunghezza di circa 11700 m) separate tra loro da un breve tratto ferroviario all'aperto, costituenti quindi ai fini della sicurezza ferroviaria una galleria "equivalente" di circa 17 km. Il tracciato ferroviario poi è previsto che prosegua allo scoperto in direzione sia Messina sia Catania con un progetto di competenza **RFI**.

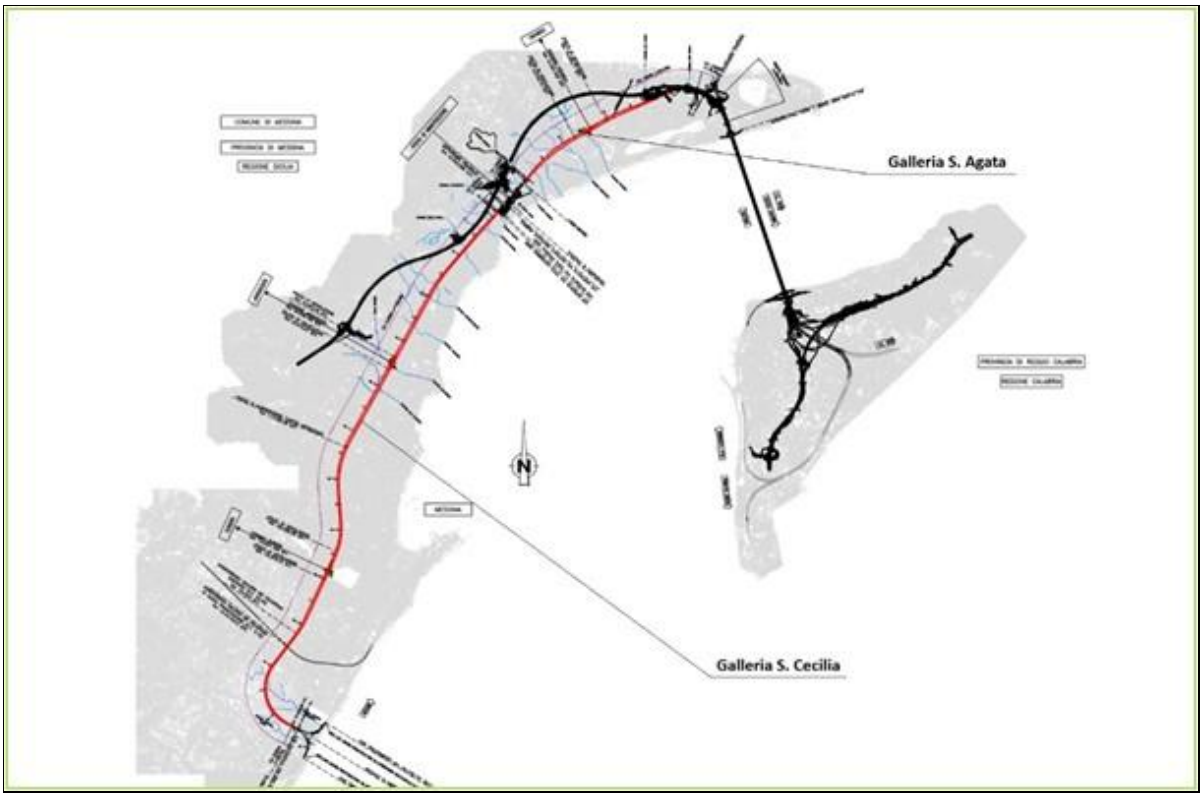


Figura 11-50 - Collegamento ferroviario e relative gallerie lato siciliano

Sono inoltre previste stazioni e/o fermate sotterranee in galleria nella tratta di competenza di **SdM**.

Dallo schema geometrico completo di entrambi i versanti per la interconnessione del sistema ferroviario al Ponte, si evince la complessità tecnica delle analisi di sicurezza in galleria ferroviaria in caso di incendio e/o esplosioni.

11.4.4. Stazioni/fermate ferroviarie in sotterraneo versante siciliano

Nel versante siciliano, sono previste nella galleria Santa Cecilia la fermata Europa e la stazione Annunziata, mentre nella galleria Sant'Agata la stazione Papardo. Le tre stazioni ferroviarie considerate si sviluppano prevalentemente su diversi livelli interrati ed un unico livello fuori terra e/o seminterrato denominato atrio. Ogni stazione ferroviaria, oggetto di progettazione, risulta organizzata nelle seguenti macro-aree quali: atrio, livelli intermedi non accessibili al pubblico (centrali e impianti tecnologici), livelli intermedi accessibili al pubblico (permettono l'accesso del pubblico all'atrio e/o alle banchine), banchine interrate lungo la via di corsa (consentono l'accesso del pubblico ai treni), galleria di accesso alle banchine (corridoio interrato accessibile al pubblico tramite i vani scala / ascensori), sotto banchine (livello tecnico non accessibile al pubblico).

In Figura 11-51, Figura 11-52, Figura 11-53 sono riportate le sezioni delle stazioni/fermata in sotterraneo del versante siciliano.

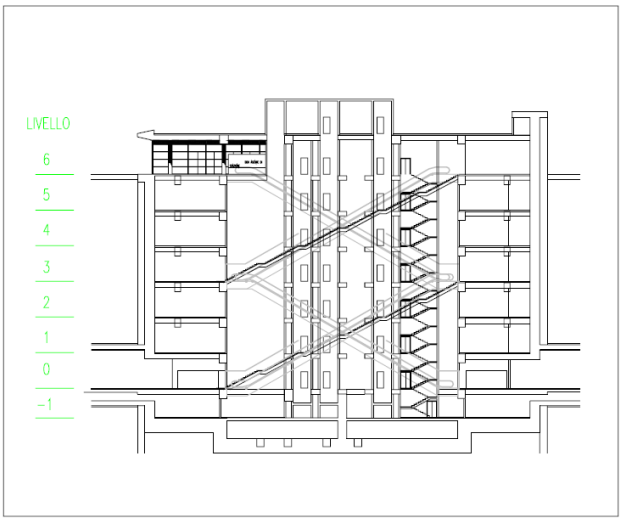


Figura 11-51 - Sezione della stazione Papardo

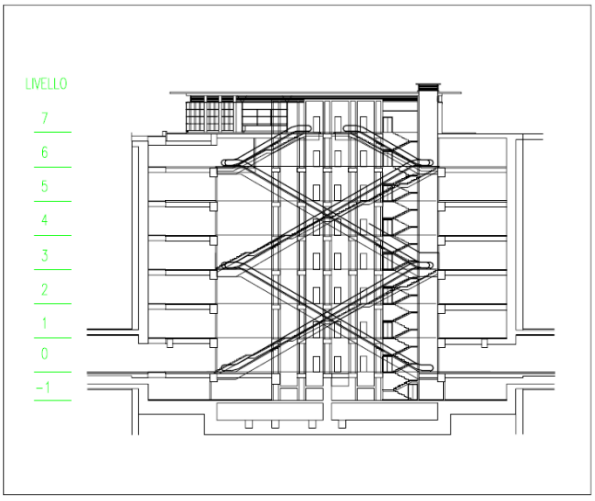


Figura 11-52 - Sezione della stazione Annunziata

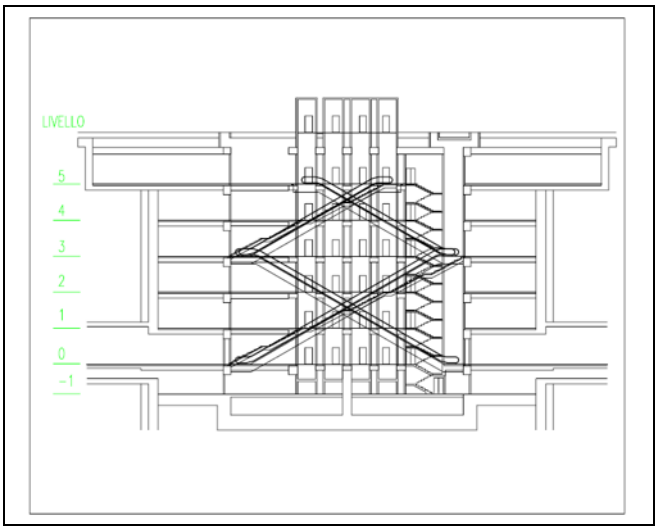


Figura 11-53 - Sezione della fermata Europa

I collegamenti ferroviari alle suddette stazioni sono in galleria. Pertanto, le stazioni risultano parte del sistema infrastrutturale integrato con le gallerie di linea e di conseguenza soggette alle analisi di sicurezza in caso di incendio/esplosioni nel rispetto delle reciproche normative di riferimento.

Dallo schema completo a più livelli delle stazioni interrate, oltre a quello delle gallerie di linea (S. Agata e S. Cecilia intervallate da un breve tratto all'aperto), si evince a maggior ragione la complessità tecnica delle analisi di sicurezza del sistema ferroviario composto dalle gallerie di linea, dalle gallerie di stazione (binari di stazione) e dalle stazioni/fermata interrate del collegamento ferroviario del lato siciliano.

La **RP** (GER0326_E) al § 3.2.1 indica le prescrizioni da sviluppare nel **PE** sulla tematica progettuale della sicurezza in galleria. In particolare, il § 3.2.1.1 è inerente alla "*Progettazione stradale-Inquadramento normativo*" e il § 3.2.1.2 alla "*Progettazione ferroviaria-Inquadramento normativo*".

11.4.5. Gallerie stradali

Nella **RP** in merito alla progettazione stradale in galleria è riportato quanto segue:
"*Per quanto attiene la sicurezza nelle gallerie stradali si fa riferimento all'aggiornamento del D.Lgs 264/06 intervenuto col DM 12/07/2021 che conferma l'impianto normativo vigente ed integra informazioni relative alla segnaletica e alla gestione del processo di messa in esercizio. La principale novità è rappresentata dal DPR 151/2011 che include in categoria A le gallerie stradali di lunghezza superiore a 500 m nell'ambito della prevenzione incendi richiedendo la SCIA prima della messa in esercizio. Attualmente non è in vigore nessuna regola tecnica relativa alle gallerie stradali per cui si fa riferimento al D. lgs 264/06 per le gallerie della rete transeuropea.*"

Inoltre, nella **RP** al § 3.2.2.1 sono contenute le relative prescrizioni da sviluppare nel **PE**:
"*l'analisi della resistenza al fuoco delle strutture delle gallerie compreso l'impatto sulla sicurezza del fenomeno dello spalling e la definizione dell'idoneo mix design,*
· *l'adeguamento della segnaletica stradale e antincendio,*
· *l'adeguamento degli impianti antincendio a servizio delle gallerie agli standard più recenti,*
· *la verifica e l'allestimento dei percorsi di esodo per facilitarne l'individuazione in linea con il codice prevenzione incendi,*
· *il miglioramento delle comunicazioni di allertamento agli utenti in linea con il codice di prevenzione incendi,*
· *il dimensionamento e la verifica dei sistemi di controllo fumi sulla base dei criteri di prevenzione incendi ovvero dell'ingegneria della sicurezza antincendio.*"

Nella **RP** sono, anche, menzionate le Delibere della **CPG**, al tempo del **PD** operante nell'ambito del **CSLP**, e dal 2021 operante presso la **ANSFISA**.

Nella **RP** è citato altresì, il Parere della **CPG**, indicato come M_IT-CSLP_S5 Prot.006865-05/07/2021, in cui è richiesto quanto di seguito riportato in merito alla resistenza al fuoco delle strutture (**D.Lgs.** 264/06 – Allegato 2, P.TO 2.7):
"Nell'ambito delle verifiche di resistenza al fuoco prendere in esame anche la valutazione del fenomeno dello spalling, in relazione alla stabilità delle strutture ed alla sicurezza delle vie d'esodo e di accesso in caso di emergenza."

Inoltre, nella **RP** è indicato che in sede di **PE** verranno definite le misure mitigative per la gestione delle verifiche antincendio, non precludendo sin da ora l'eventuale utilizzo di fibre. Inoltre, per le gallerie stradali, a seguito di quanto espresso nelle citate delibere della **CPG**, in **PE** si prevederà l'inserimento delle seguenti modifiche delle gallerie e alle relative uscite di emergenza:
"· Lato Calabria, nuovo by-pass pedonale tra Ramo A e Ramo B (vedasi anche scheda progetto B-001);
· Lato Calabria, nuovo accesso carrabile di collegamento tra Ramo A e Ramo C (vedasi anche scheda progetto B-002);
· Lato Sicilia, inserimento varco su spartitraffico con una rampa carrabile in corrispondenza dell'imbocco lato Messina della galleria Le Fosse (vedasi anche scheda progetto B-003)."

11.4.5.1. Delibera della Commissione Permanente per le Gallerie (CPG)

Le delibere della **CPG** di cui all'art.4 del **D.Lgs.** 264/06, in ambito stradale, sono comprese, nei documenti progettuali, nel doc. M_IT-CSLP S5 Prot. 0006865-05/07/2012. Le due delibere di riferimento, rispettivamente per le gallerie del lato siciliano e del lato calabrese, sono state adottate dalla suddetta **CPG**, in relazione alla verifica di conformità del progetto dell'epoca ai requisiti del **D.Lgs.** 264/06, nella seduta del 17 maggio 2012.

SPONDA SICILIANA
La **CPG** ha rappresentato che le gallerie stradali lato siciliano presentano caratteristiche speciali, in particolare, per:
"[...]
- *percentuale elevata di veicoli pesanti con libero transito di merci pericolose;*
- *presenza di svincoli in prossimità degli imbocchi;*
- *assenza dei varchi spartitraffico agli imbocchi (galleria Balena lato ME, galleria le Fosse entrambi i lati), per i quali il D.lgs 264/06 non prevede indicazioni vincolanti qualora sussistano vincoli geomorfologici o circostanze particolari*;
- *il gestore ha predisposto misure integrative nello stesso progetto definitivo per tener conto della specificità sopra richiamate*."

Nella delibera della **CPG** è riportato, fra l'altro, che*: "dall'analisi di rischio si evince che i requisiti integrativi non richiesti per il gruppo di appartenenza della galleria contribuiscono alla riduzione del rischio per le gallerie a caratteristiche speciali."*

Nella delibera della **CPG** sono stabilite diverse prescrizioni da assolvere e sviluppare nelle successive fasi progettuali, alle quali si prescrive di ottemperare nella redazione del **PE** in maniera puntuale (**Fase A**).

SPONDA CALABRESE
Per quanto concerne il lato calabrese, la **CPG** ha evidenziato che le gallerie stradali presentano caratteristiche speciali, in particolare, per:
"[...]
- *percentuale elevata di veicoli pesanti con libero transito di merci pericolose;*
- *caratteristiche planoaltimetriche delle gallerie in oggetto*,
- *presenza di svincoli in prossimità degli imbocchi (galleria Ramo C)*;

Per la particolare conformazione e muta interazione tra le gallerie è stata ravvisata la necessità di approfondire l'analisi di resistenza al fuoco delle strutture (Gallerie Ramo A, Ramo C e Ramo D).
Il gestore ha predisposto misure integrative nello stesso progetto definitivo per tener conto della specificità sopra richiamate."

Nella delibera della **CPG** è riportato, fra l'altro, che: "*dall'analisi di rischio proposta dal gestore i risultati mostrano che, nell'ipotesi in cui vengano predisposte le dotazioni previste dal progetto definitivo, il livello di rischio sia inferiore al livello di rischio tollerabile anche in presenza di transito di merci pericolose.*"

Nella delibera della **CPG** sono stabilite diverse prescrizioni da assolvere e sviluppare nelle successive fasi progettuali, alle quali si prescrive di ottemperare nella redazione del **PE** in maniera puntuale (**Fase A**).

11.4.5.2. Prescrizioni e raccomandazioni del CSLP inerenti alla sicurezza delle gallerie stradali

Questo Consesso rappresenta innanzitutto, come del resto già descritto nel § 11.4.1, che la complessità della configurazione geometrica delle gallerie stradali e la loro interazione sia per il lato calabrese sia siciliano, fa sì che una singola galleria non possa essere considerata indipendentemente dalle altre nelle analisi di sicurezza, in quanto gli effetti di un evento incidentale (incendio e/o esplosione) in una di esse possono avere gravi conseguenze anche sulle altre, nonché quelle del versante calabrese riverberare anche sul Ponte e quelle del versante siciliano anche sul viadotto Pantano.

Il progetto della sicurezza deve quindi essere definito e illustrato nel **PE** (**Fase A**) attraverso apposita documentazione (documentazione di sicurezza di sistema) che è parte integrante del progetto.

Pertanto, si ritiene che in fase di **PE** siano sviluppate analisi di sicurezza approfondite del sistema di gallerie stradali, per entrambe le sponde, anche in relazione al Ponte e al viadotto Pantano (**Fase A**).

Il quadro normativo di riferimento è quello delle gallerie appartenenti alla rete stradale **TEN-T**, ricadenti nel campo di applicazione della Direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea, recepita in Italia con **D.Lgs.** 264/06.

Si rappresenta che il riferimento corretto delle delibere della **CPG** stradali, sopra indicate ed adottate in data 17 maggio 2012, è M_IT-CSLP S5 Prot. 0006865-05/07/2012 (cioè risalente all'anno 2012 e non al 2021 come è invece riportato per mero errore nella **RP**).

Oltre a quanto già sopra menzionato in merito alle prescrizioni contenute nella **RP**, per lo sviluppo in fase del **PE**, si ritiene comunque di prescrivere, come sopra menzionato, che in fase di **PE** sia anche effettuata una verifica più puntuale ed approfondita di conformità a tutte le prescrizioni e raccomandazioni contenute nelle delibere della **CPG** (M_IT-CSLP S5 Prot. 0006865-05/07/2012) (**Fase A**).

Inoltre, si ritiene necessario che siano sviluppate analisi fluidodinamiche per ciascun fornice di galleria, nell'ottica della menzionata analisi di sistema dell'insieme delle gallerie, al fine di dimostrare l'efficacia della ventilazione in caso di incendio e che non siano mai superate le soglie di accettabilità per la vita umana in termini di temperature, concentrazione di CO e CO_2, di flusso radiante, e che sia sempre garantita la distanza di visibilità minima per l'esodo degli utenti, soprattutto con riferimento all'ultimo utente in fuga, considerando le modifiche eventualmente apportate al progetto (**Fase A**).

Poiché nelle gallerie stradali in progetto non è inibito il transito di veicoli trasportanti merci pericolose, si ritiene di prescrivere che nel **PE** sia dimostrato anche come si intende affrontare il rischio di eventuali esplosioni che potrebbero riverberare anche sul Ponte o sul viadotto Pantano (**Fase A**).

Nello sviluppo successivo del **PE** nell'Analisi di Rischio, oltre a quanto contenuto nelle delibere della **CPG**, dovranno essere considerati i risultati delle analisi fluidodinamiche in 3D (anch'esse da sviluppare come già detto nel **PE**) cui l'analisi di rischio è strettamente legata. Si ritiene inoltre di prescrivere nello sviluppo del **PE** di estendere le analisi di rischio anche ai nuovi vettori energetici alternativi (p.e. veicoli elettrici, veicoli a idrogeno, etc.) e soprattutto ai veicoli pesanti trasportanti le nuove tipologie di merci pericolose (**Fase A**).

Infine, si ritiene di ribadire di prescrivere quanto espresso nelle citate delibere dalla **CPG** in merito alle sopra menzionate verifiche da apportare nel **PE** inerenti al by-pass pedonale (tra ramo A e B), nuovo accesso carrabile (tra Ramo A e C), inserimento varco su spartitraffico in corrispondenza dell'imbocco lato Messina della galleria Le Fosse (**Fase A**).

In merito alla definizione delle misure mitigative inerenti al rischio di incendio, prima dell'inizio lavori dovranno essere certamente effettuate le verifiche e documentati i certificati di resistenza al fuoco degli elementi strutturali del rivestimento delle gallerie stradali che si intendono impiegare (**Fase B**).

In definitiva, le successive fasi progettuali dovranno, pertanto, essere redatte in conformità a quanto deliberato dalla **CPG**, nella seduta del 17 maggio 2012, di quanto riportato nel presente parere, oltre che di tutti gli aggiornamenti normativi nel frattempo intercorsi. Detti aggiornamenti progettuali dovranno altresì tenere adeguatamente conto delle evoluzioni dello stato dell'arte tecnico-scientifico, nonché anche delle normative volontarie nel frattempo intercorse o soggette ad aggiornamento. Dette successive fasi progettuali dovranno essere sottoposte alla **CPG**, di cui all'art. 4 del **D.Lgs.** 264/2006, per i successivi iter cogenti previsti dal medesimo **D.Lgs.** 264/2006. Resta ovviamente impregiudicata l'autonomia istruttoria, procedurale e di valutazione della stessa **CPG**, quale autorità amministrativa prevista dalla Direttiva 2004/54/CE.

Interfaccia stradale
Poiché sono previsti opere di interfaccia stradale di competenza **ANAS**, in particolare sul lato calabrese con l'autostrada A2 e la rete stradale esistente e sul lato siciliano con l'autostrada A20 Messina-Palermo e A18 Messina-Catania, è necessario assicurare il coordinamento con tale Ente anche nello sviluppo delle analisi di sicurezza delle gallerie stradali (in caso di incendio/esplosioni) previste in progetto di competenza di **SdM** oppure ancora da progettare (p.e. la galleria Serrazzo del lato siciliano prevista in Accordo di Programma) (**Fase A**).

11.4.6. Gallerie ferroviarie

Nella **RP**, al § 3.2.1.2, per quanto attiene la sicurezza nelle gallerie ferroviarie, è riportato quanto segue: " a *seguito della redazione del progetto definitivo (PD) sono state pubblicate due versioni della STI SRT (Specifiche Tecniche di Interoperabilità-Sicurezza nelle gallerie Ferroviarie) ovvero il Regolamento (UE) n.1303/2014 e il regolamento UE 16/05/2019 N.776 che modifica parzialmente la norma del 2014. Inoltre, il DPR 151/2011 che include in categoria A le gallerie ferroviarie di lunghezza superiore a 1000 m nell'ambito della prevenzione incendi richiedendo la SCIA prima della messa in esercizio. Attualmente non è in vigore nessuna regola tecnica relativa alle gallerie ferroviarie per cui si fa riferimento alla STI SRT.*"

Nella **RP**, al § 3.2.2.1, è menzionato che nel documento M_IT-CSLP_L4 Prot. 0007010-16/07/2021, parere della **CSGF** istituita a valle del **DM** 28/10/2005, è richiesto quanto di seguito riportato: "*La Commissione ritiene in sede di progetto esecutivo vengano effettuate verifiche di resistenza al fuoco coerenti con le STI di cui alla Decisione 2008/163/CE, al fine di tenere in conto il fenomeno di spalling.*"

Nella **RP** al § 3.2.2.2 è riportato che per quanto attiene la sicurezza nelle gallerie ferroviarie si fa riferimento alle **STI** SRT ed alle regole di prevenzione incendi, si prevede per lo sviluppo del **PE**:
"[..]
- *l'analisi della resistenza al fuoco delle strutture delle gallerie compreso l'impatto sulla sicurezza del fenomeno dello spalling e la definizione dell'idoneo mix design,*
- *l'adeguamento della segnaletica e antincendio,*
- *l'allestimento del PES all'esterno e l'adeguamento degli impianti antincendio,*
- *l'allestimento dei PES in galleria e l'adeguamento degli impianti antincendio,*
- *la verifica e l'allestimento dei percorsi di esodo per facilitarne l'individuazione in linea con il codice prevenzione incendi,*
- *il miglioramento delle comunicazioni di allertamento agli utenti in linea con il codice di prevenzione incendi,*

- *il dimensionamento e la verifica del sistema di controllo fumi sulla base dei criteri di prevenzione incendi ovvero dell'ingegneria della sicurezza antincendio.*

Per quanto attiene i PES risulta necessario riorganizzare gli spazi esterni ed interni già previsti dalle precedenti STI SRT nonché aggiornare gli impianti tecnologici secondo le indicazioni contenute nell'aggiornamento della norma del 2019.

Inoltre, anche per le gallerie ferroviarie, in forza a quanto già menzionato nel precedente paragrafo relativo alla progettazione stradale, in sede di progetto esecutivo verranno definite le misure mitigatrici per le verifiche al fuoco valutando prioritariamente l'adozione delle soluzioni previste nel MdP RFI, non precludendo sin da ora l'eventuale utilizzo di fibre."

11.4.6.1. Stazioni/fermate ferroviarie lato siciliano

Nella **RP** per quanto attiene alle prescrizioni da sviluppare nel **PE** al § 3.2.1.3.4 "*Normative Impianti nelle stazioni ferroviarie*" sono riportate le disposizioni legislative da applicare alle stazioni ferroviarie interrate, le quali in particolare sono le seguenti:

- **DM** *del 21/10/2015 (Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane).*
- *NFPA 130/2023 (Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems; da quest'ultima saranno adottati solamente i dati relativi ad affollamento.*
- *Per quanto concerne l'esodo i criteri saranno valutati in accordo con SdM e RFI per tenere conto degli standard del gestore.*

Nel § 3.3.1.6.2 sono riportati ulteriori prescrizioni per gli impianti nei collegamenti e stazioni ferroviarie da sviluppare nel **PE**:
"[..]

- *architettura di impianto di pressurizzazione by-pass mutuato da analoghe e recenti progettazioni, per quanto attinente prestazioni, architettura, tipologia e logiche di gestione impianto,*
- *inserimento di pozzi di disconnessione nei cameroni ove i due binari pari e dispari confluiscono in una singola galleria, per la gestione di incendi di un treno merci per potenze dell'ordine di 150 MW,*
- *inserimento di pozzi di disconnessione negli sfiocchi della Galleria Bolano, fra il collegamento del Ponte e le AV direzione Nord e direzione Reggio Calabria, per la gestione di incendi di un treno merci per potenze dell'ordine di 150 MW,*
- *modifiche ai pozzi di stazione per la gestione di incendi di un treno merci per potenze dell'ordine di 150 MW.*"

11.4.6.2. Delibera della Commissione Sicurezza per le Gallerie Ferroviarie

Le Delibere della **CSGF** sono contenute nel documento M_IT-CSLP S4 Prot. 0007010-16/07/2012. La Commissione Gallerie ha rappresentato innanzitutto che per le gallerie ferroviarie lato sia siciliano sia calabrese è stata presentata per ciascuna singola galleria una verifica di conformità ai requisiti minimi previsti dal 28/01/2005 e che: "*non essendo possibile escludere la presenza contemporanea di treni merci pericolose e treni passeggeri le gallerie Bolano, Innesto, Sant'Agata e Santa Cecilia sono state sottoposte ad Analisi di Rischio Estesa (ARE).*"

Con riferimento all'analisi di rischio estesa per ciascuna galleria, dotata di requisiti minimi e integrativi, nel parere della Commissione Gallerie sono riportati in forma sintetica gli esiti delle analisi di rischio secondo cui la curva cumulata complementare ricade all'interno della zona di attenzione (fascia **ALARP**).

Tuttavia, nella delibera della **CSGF** sono effettuate varie richieste da sviluppare in fase di **PE** alle quali si prescrive di ottemperare in maniera puntuale (**Fase A**).

11.4.6.3. Prescrizioni e raccomandazioni del CSLP inerenti alla sicurezza delle gallerie ferroviarie

Questo Consesso rappresenta innanzitutto, come del resto già detto per le gallerie stradali, che la complessità della configurazione geometrica delle gallerie ferroviarie e la loro interazione sia per il lato calabrese sia siciliano fa sì che

una singola galleria non possa essere considerata indipendentemente dalle altre nelle analisi di sicurezza, in quanto gli effetti di un evento incidentale (incendio e/o esplosione) in una di esse possono avere gravi conseguenze anche sulle altre, nonché quelle del versante calabrese riverberare anche sul Ponte e quelle del versante siciliano anche sul viadotto Pantano.

Il progetto della sicurezza deve quindi essere definito e illustrato nel **PE** (**Fase A**), come già menzionato per le gallerie stradali, attraverso apposita documentazione (documentazione di sicurezza di sistema) che è parte integrante del progetto.

Pertanto, si ritiene di prescrivere che in fase di **PE** siano sviluppate analisi di sicurezza del sistema di gallerie ferroviarie, sia per entrambi le sponde, sia in relazione alle opere d'arte menzionate (**Fase A**).

Si rappresenta, inoltre, che sono state pubblicate nuove norme che sono successive alla **RP** datata 20/01/2024. In particolare, è stato emanato il **DM** 4 marzo 2025 "Approvazione delle linee guida in materia di sicurezza ferroviaria", pubblicato in **GU** n.35 del 31-3-2025, entrato in vigore alla data stessa di pubblicazione in **GU**. Tale **DM** all'art.7 recita: Il decreto del **MIT** del 28 ottobre 2005 «*Sicurezza nelle gallerie ferroviarie*» è abrogato. Continuano, comunque, ad essere applicate le **STI** SRT 1303/2014 e le **STI** SRT 2019. Si rappresenta, inoltre, che in data 17/01/2025 **ANSFISA** ha pubblicato le "Linee guida per stima, valutazione e gestione del rischio connesso al trasporto di merci pericolose in ferrovia". La normativa attualmente in vigore rappresentata dal **DM** 4 marzo 2025, nonché le "Linee Guida" di **ANSFISA**, rendono necessario lo sviluppo del **PE** in modo conforme alla normativa vigente in quanto il **PD** è stato sviluppato sulla base **DM** 28 ottobre 2005 che ora risulta abrogato. **Si prescrive, pertanto, di adeguare il PE al DM 4 marzo 2025, nonché alle "Linee Guida" di ANSFISA (Fase A).**

Si rappresenta che il parere della **CSGF** è M_IT-CSLP S4 Prot. 0007010-16/07/2012 e non M_IT-CSLP_L4 Prot. 0007010-16/07/2021 come riportato nella **RP**.

Questo Consesso, oltre a prescrivere l'adeguamento del progetto alla normativa vigente (**DM** 4 marzo 2025, nonché alle "Linee Guida" di **ANSFISA**) (**Fase A**), ritiene di prescrivere, come già detto, una verifica di conformità alle prescrizioni e raccomandazioni contenute nella Delibera della **CSGF** (M_IT-CSLP_L4 Prot. 0007010-16/07/2012) (**Fase A**).

11.4.6.3.1. Lato calabrese

Si prescrive che siano sviluppate analisi fluidodinamiche monodimensionali (1D) del sistema complesso delle gallerie ferroviarie (non potendo la singola galleria essere sottoposta ad analisi di sicurezza indipendentemente dalle altre) al fine di dimostrare l'efficacia del sistema di ventilazione previsto (dotato tra l'altro di pozzi di disconnessione fluidodinamica) in caso di incendio/esplosioni (**Fase A**).

Si ritiene, inoltre, di prescrivere di sottoporre ad analisi fluidodinamiche tridimensionali (3D) i tratti ferroviari in galleria più pericolosi dimostrando che non siano mai superate le soglie di accettabilità per la vita umana in termini di temperature, concentrazione di CO e CO_2, di flusso radiante, e che sia sempre garantita la distanza di visibilità minima per l'esodo degli utenti, soprattutto con riferimento all'ultimo utente in fuga (**Fase A**).

Poiché nel sistema di gallerie in progetto non è inibito il transito di treni trasportanti merci pericolose, si ritiene di prescrivere che nel PE sia dimostrato anche come si intende affrontare il pericolo di eventuali esplosioni che potrebbero riverberare anche sul Ponte (**Fase A**).

Se nel modello di esercizio è previsto in uno dei fornici la simultanea presenza di un treno merci pericolose (**TMP**) e di un treno passeggeri (**TP**), si prescrive di effettuare l'analisi fluidodinamica prevedendo lo scenario del **TMP** incendiato fermo nel fornice col **TP** ad esso accodato o presente sul binario in direzione di marcia opposta; dimostrando l'autosalvabilità degli occupanti il treno passeggeri, ivi inclusa la possibilità che alcuni passeggeri si possano dirigere verso l'uscita di sicurezza cosiddetta "sbagliata" (**Fase A**).

Nello sviluppo successivo del progetto dell'Analisi di Rischio, oltre a quanto contenuto nella Delibera della menzionata **CSGF**, si prescrive di considerare i risultati dell'analisi fluidodinamica in 3D cui l'analisi di rischio è strettamente legata (**Fase A**).

Nell'Analisi di Rischio, inoltre, si prescrive di tener conto degli scenari di pericolo sia "freddi" che "caldi" e dell'avanzamento del livello della conoscenza, utilizzando i più recenti ed avanzati strumenti metodologici di calcolo che sono di validità generale e consolidati nella progettazione tecnico-scientifica di settore a livello nazionale e internazionale, dimostrando che la relativa curva cumulativa complementare sia tutta contenuta nella regione **ALARP** (**Fase A**).

Pur condividendo la **RP** secondo la quale in fase di **PE** saranno definite le misure mitigatrici di resistenza al fuoco, non escludendo l'eventuale utilizzo di fibre, si ritiene comunque di prescrivere che prima dell'inizio lavori siano effettuate le verifiche ed esibiti i certificati di resistenza al fuoco degli elementi strutturali del rivestimento delle gallerie ferroviarie che si intendono impiegare (**Fase C**).

11.4.6.3.2. Lato siciliano

Per quanto riguarda le gallerie ferroviarie del lato siciliano, vista anche la presenza di stazioni e/o fermate sotterranee in galleria, questo Consesso aveva posto a **SdM** una richiesta di chiarimento come di seguito riportato.

Chiarimento n.6 Ferrovia Urbana/Trasporto di Massa: *"Si fa riferimento al punto "1.3.2 Sintesi del Parere n. 1185 del 21/03/2013 emesso dalla CTVA dell'allora Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), oggi Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE)" della relazione del progettista, nella parte titolata:*
"Versante Sicilia:
- Realizzazione e/o Appalti per Lavori da parte di ANAS (Galleria Serrazzo in direzione Messina e canna in direzione Palermo – Catania);
- Variante richiesta dal Comune di Messina, con lo spostamento della stazione ferroviaria di Messina e l'utilizzo della linea ferroviaria come sistema metropolitano, con la realizzazione di tre fermate intermedie a Papardo, Annunziata ed Europa.

Al riguardo occorre chiarire il significato del testo sottolineato relativamente a "l'utilizzo della linea ferroviaria come sistema metropolitano". In particolare, occorre chiarire se tale testo indichi una infrastruttura ferroviaria ordinaria adibita a servizio di trasporto metropolitano ovvero se si riferisca a un "sistema rapido di massa".

Tale circostanza ha una rilevanza essenziale per inquadrare il sistema normativo di sicurezza di linea e stazioni a cui fare riferimento. Infine, con riferimento alle stazioni sotterranee in galleria lato Sicilia, si chiede che venga precisato il ruolo in termini di gestione della sicurezza in galleria, cioè se esse sono da intendersi come PES o solo come stazioni."

La risposta di **SdM** al predetto quesito è stata la seguente:
"In riferimento alla richiesta di chiarimento relativa all'espressione "utilizzo della linea ferroviaria come sistema metropolitano", si precisa quanto segue.

L'infrastruttura di progetto è configurata come linea ferroviaria ordinaria, parte del sistema nazionale e interregionale, inserita nel più ampio contesto dei collegamenti legati all'attraversamento stabile dello Stretto di Messina.

Tale espressione indica che la linea, pur mantenendo la natura di infrastruttura ferroviaria convenzionale, può svolgere anche funzioni di trasporto metropolitano/suburbano tramite servizi dedicati e fermate intermedie lungo il tracciato.

Il sistema non si configura quindi come "sistema rapido di massa" autonomo (metropolitana o metro leggera), ma come linea ferroviaria interoperabile utilizzata anche per esigenze di mobilità urbana. Questa impostazione è coerente con la presenza di fermate intermedie sul versante siciliano, finalizzate a migliorare accessibilità e integrazione con il trasporto locale.

Il quadro normativo di riferimento resta pertanto quello delle linee ferroviarie ordinarie, mentre la funzione metropolitana rappresenta esclusivamente una modalità di esercizio del servizio.

La caratterizzazione della linea dipende dai parametri di esercizio definiti dal Gestore dell'Infrastruttura (RFI): essa è infatti prevista per traffico anche merci e interregionale, con frequenze dell'ordine di 20–30 minuti, non compatibili con quelle tipiche dei sistemi metropolitani (2–10 minuti).

In base al DM 21/10/2015, la metropolitana è un sistema autonomo, segregato e dedicato al trasporto rapido di massa; pertanto, la linea in oggetto non è classificabile come tale, ma come linea ferroviaria ordinaria con possibilità di servizio urbano.

Nell'ambito dell'adeguamento normativo del PD alle STI SRT (Regolamento (UE) n. 1303/2014 della Commissione e Regolamento di esecuzione (UE) 2019/776 della Commissione), sono stati considerati i soli Punti di Evacuazione e Soccorso (PES) previsti per treni con running capability pari ad almeno 20 km ovvero materiale rotabile di categoria B. Pertanto, considerata la lunghezza del sistema gallerie S. Agata-S. Cecilia inferiore a 20 km, essi sono ubicati all'esterno delle gallerie.

Per quanto attiene le stazioni, esse non hanno tale ruolo nella gestione della sicurezza, pur essendo concepite come vie d'esodo e come accessi per i servizi di soccorso, in quanto progettate in base alla normativa vigente al momento della redazione del PD (ovvero la Decisione della Commissione n.163/2008)".

Alla luce delle sopra menzionata risposta di **SdM**, chiarito che anche per il versante siciliano si è in presenza di una linea ferroviaria ordinaria che svolge, in questo caso, anche un servizio metropolitano con n.3 stazioni/fermate sotterranee e che non si tratta quindi di un sistema rapido di massa (cioè non è una metropolitana), questo Consesso richiama l'attenzione sul fatto che la normativa da applicare nello sviluppo del **PE** non è il **DM** 21/10/2015 (Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane) menzionato nella Relazione del progettista in merito al sistema ferroviario del lato siciliano, ma è quella relativa alla linea ferroviaria ordinaria. Quindi si prescrive che anche il sistema complesso di gallerie del lato siciliano debba essere studiato nel **PE**, sotto gli aspetti della sicurezza degli utenti in caso di incendio e/o esplosioni, applicando il **DM** 4 marzo 2025 "Approvazione delle linee guida in materia di sicurezza ferroviaria", pubblicato in **GU** n.35 del 31-3-2025, le **STI** SRT 1303/2014 e le **STI** SRT 2019, nonché le "Linee Guida" di **ANSFISA**.

Si prescrive, come già detto per il lato calabrese, che siano sviluppate analisi fluidodinamiche monodimensionali (1D) del sistema complesso delle gallerie ferroviarie (non potendo la singola galleria essere sottoposta ad analisi di sicurezza indipendentemente dalle altre) al fine di dimostrare l'efficacia del sistema di ventilazione (ad esempio immissione di aria fresca ed estrazione fumi) previsto in caso di incendio/esplosioni (**Fase A**).

Si ritiene, inoltre, di prescrivere di sottoporre ad analisi fluidodinamiche tridimensionali (3D) i tratti ferroviari in galleria più pericolosi dimostrando che non siano mai superate le soglie di accettabilità per la vita umana in termini di temperature, concentrazione di CO e CO_2, di flusso radiante, e che sia sempre garantita la distanza di visibilità minima per l'esodo degli utenti, soprattutto con riferimento all'ultimo utente in fuga (**Fase A**).

Poiché nel sistema di gallerie in progetto non è inibito il transito di treni trasportanti merci pericolose, si ritiene di prescrivere che nel PE sia dimostrato anche come si intende affrontare il pericolo di eventuali esplosioni che potrebbero riverberare anche sul viadotto Pantano (**Fase A**).

Se nel modello di esercizio è previsto in uno dei fornici la simultanea presenza di un **TMP** e un **TP**, si prescrive di effettuare l'analisi fluidodinamica prevedendo lo scenario del **TMP** incendiato fermo nel fornice col **TP** ad esso accodato o presente sul binario in direzione di marcia opposta; dimostrando l'autosalvabilità degli occupanti il treno passeggeri, ivi inclusa la possibilità che alcuni passeggeri si possano dirigere verso l'uscita di sicurezza cosiddetta "sbagliata" (**Fase A**).

Si prescrive, inoltre, di dimostrare l'auto-salvabilità degli utenti nel caso di un treno incendiato fermo in galleria di stazione, tenendo conto della contemporanea presenza di altri treni (se previsti nel modello di esercizio) (**Fase A**).

In quest'ultimo caso, si prescrive di dimostrare l'autosalvabilità sia dei passeggeri del treno incendiato sia degli utenti presenti sulla banchina di stazione del treno incendiato, nonché degli occupanti il treno passeggero eventualmente presente sull'altro binario di stazione e di quelli presenti sulla relativa banchina (**Fase A**).

Si prescrive, inoltre, di dimostrare l'autosalvabilità di tutti gli utenti lungo il percorso di esodo dalle banchine di stazione fino all'atrio di stazione e quindi all'aperto (**Fase A**).

Si ritiene, infine, di prescrivere di verificare, attraverso apposita analisi di rischio, la possibilità di consentire la presenza di utenti sulle banchine di stazione e/o di fermata quando è previsto il transito di un **TM** o di un **TMP** (**Fase A).**

Nello sviluppo successivo del progetto dell'Analisi di Rischio, oltre a quanto contenuto nel parere della menzionata **CSGF**, si prescrive di considerare i risultati dell'analisi fluidodinamica in 3D cui l'analisi di rischio è strettamente legata (**Fase A**).

Nell'Analisi di Rischio, inoltre, si ritiene di ribadire, come già menzionato per il lato calabrese, di tener conto degli scenari di pericolo sia "freddi" che "caldi" e dell'avanzamento del livello della conoscenza, utilizzando i più recenti ed avanzati strumenti metodologici di calcolo che sono di validità generale e consolidati nella progettazione tecnico-scientifica di settore a livello nazionale e internazionale; dimostrando che la relativa curva cumulativa complementare sia tutta contenuta nella regione **ALARP** (**Fase A**).

Pur condividendo la **RP** secondo la quale in fase di **PE** saranno definite le misure mitigatrici per le verifiche di resistenza al fuoco, non escludendo l'eventuale utilizzo di fibre, si ritiene comunque di prescrivere che prima dell'inizio lavori siano eseguite le verifiche ed esibiti i certificati di resistenza al fuoco degli elementi strutturali del rivestimento delle gallerie ferroviarie che si intendono impiegare (**Fase B**).

Stazioni/fermate sotterranee
Con riferimento alle stazioni/fermate sotterranee in galleria lato siciliano, visto la menzionata risposta di **SdM**, si prescrive ai fini della sicurezza degli utenti delle stazioni in caso di incendio di applicare il **DPR** 151/2011 (**Fase A**).

Interfaccia ferroviaria
Poiché sono previste opere di interfaccia ferroviaria di competenza di **RFI**, in particolare per il lato calabrese il prolungamento verso la città di Villa San Giovanni e Reggio Calabria, oltre alla connessione col lotto 6 della linea AV Salerno-Reggio-Calabria, e sul lato siciliano il collegamento in direzione Messina e Catania, si prescrive di interagire con tale Ente ai fini della sicurezza del sistema di gallerie previste in progetto (**Fase A**).

Con riferimento all'interfaccia ferroviaria lato siciliano, l'**Assemblea** prescrive, inoltre di ottemperare a quanto contenuto nel Parere del **CSLP** n. 58/2025 – Opere ferroviarie di connessione al Ponte sullo stretto di Messina, sponda sicula – progetto preliminare – emesso in data 13 luglio 2026.

11.4.6.4. Analisi di Rischio-Indicazioni per il PE

Nella **RP** al § 3.2.3.3 "*Analisi di Rischio-Indicazioni per il PE*", in particolare nel § 3.2.3.3.2 "*Rischi operativi*", con riferimento al rischio da fuoco, è indicato che il **PE** amplierà l'analisi mediante:
"[...]

- *attento esame dello storico degli eventi incidentali che hanno interessato infrastrutture stradali e/o ferroviarie nel mondo, con particolare riferimento a eventi d'incendio, esplosione e rilascio di agenti chimici pericolosi;*
- *gli scenari attualmente individuati (incendio di mezzi/mezzi pesanti, pool fire, jet fire, UVCE, oltre ad alcuni scenari d'incendio riconducibili a incidenti che coinvolgono il traffico navale) saranno rivisti alla luce delle caratteristiche emergenti del traffico veicolare*;

- *saranno considerati in fase di redazione di analisi di rischio (ORA) anche le seguenti tipologie di incidentalità*:
- *incidenti/incendio di automobili e/o camion elettrici e/o ibridi, compreso l'effetto del rilascio di fumi tossici e corrosivi per presenza, tra l'altro, di acido fluoridrico;*
- *incidenti/incendio di camion alimentati a LNG (gas naturale liquefatto);*
- *incidenti/incendio di automobili e/o camion alimentati a idrogeno compresso*;
- *incidenti ferroviari a carico di convogli alimentati mediante Idrogeno compresso e/o trazione mediante power units a fuel cells;*
- *esplosione di convogli ferroviari composti da ferrocisterne*.

Sempre in riferimento al rischio da fuoco, il PE dedicherà ad alcuni scenari incidentali un maggiore approfondimento computazionale al fine di meglio descriverne le conseguenze, l'effetto di queste sulle strutture e soprattutto l'interazione reciproca tra evento incidentale e struttura. Ciò è particolarmente rilevante in tutti gli scenari di rilascio di infiammabili ed esplosione (es UVCE, rilascio di liquidi infiammabili nelle caditoie) per i quali si raccomanda l'uso di metodi di fluidodinamica computazionale atti a modellare la dinamica dell'esplosione e l'interazione della massa reagente con le strutture, compreso l'effetto della congestione.

Saranno inoltre modellati gli scenari d'incendio mediante metodi e/o algoritmi validati e/o universalmente riconosciuti dalla comunità tecnico/scientifica. Verranno considerati i profondi miglioramenti i relativi alla protezione al fuoco e alla distribuzione acqua e antincendio riportati ai paragrafi 3.5.2.4.4 e 3.5.2.5.2.7.2 della presente (Relazione del progettista)*, nonché (con valenza generale) l'aumentata robustezza dei pendini di cui al 3.5.2.4.3".* A tal proposito, si segnala che i riferimenti corretti sono 3.5.2.3.4 e 3.5.2.4.2.7.2 e 3.5.2.3.4.

"*[…] In riferimento al traffico di merci pericolose, il PE aggiornerà la mappatura del traffico di sostanze pericolose anche al fine di considerare i trasporti di materiali legati allo sviluppo di nuove tecnologie (es idrogeno) traguardando il periodo previsto di vita utile dell'infrastruttura. Le classificazioni delle sostanze pericolose andranno effettuate in base ai regolamenti Reach e CLP correnti (Regolamento (CE) n. 1907/2006 e s.m.i e regolamento n. 1272/2008 e s.m.i.).*"

Infine, nella **RP** § 3.2.3.3.3 "*Conclusioni*" è riportato quanto di seguito descritto:
"*In base a quanto esposto si conferma che le Analisi di Rischio Operativo saranno aggiornate in sede di PE, recependo le best practice e le novità nel frattempo intervenute. Peraltro, l'impianto fondamentale di quanto svolto in PD rimane valido e coerente con i principi progettuali*.

D'altra parte, la necessità o meno di predisporre misure di mitigazione, e a maggior ragione, la loro entità (in termini di costi e tempi), non potrà che dipendere da scelte discrezionali in capo all'Ente Gestore, nell'ambito della definizione delle soglie di rischio accettabile, e dell'eventuale introduzione di ulteriori categorie di rischio ad oggi non contemplate."

Questo Consesso in merito a quanto sopra riportato nella **RP** condivide la valenza generale di quanto riportato nel § 3.2.3.3 "*Analisi di Rischio-Indicazioni per il PE*", in particolare nel § 3.2.3.3.2 "*Rischi operativi*" con riferimento al rischio da fuoco, così come il § 3.2.3.3.3 "*Conclusioni*" in cui si legge: *In base a quanto esposto si conferma che le Analisi di Rischio Operativo saranno aggiornate in sede di PE, recependo le best practice e le novità nel frattempo intervenute*.

Peraltro, l'impianto fondamentale di quanto svolto in **PD** rimane valido e coerente con i principi progettuali. Tuttavia, si ritiene di ribadire, nel caso specifico, che nel **PD** relativamente alla sicurezza in galleria in ambito sia ferroviario sia stradale, ciascuna galleria è stata analizzata separatamente dalle altre per il versante sia calabrese che siciliano, a prescindere, quindi, dal sistema complesso di gallerie di cui ciascuna di essa fa parte, così come non sono stati valutati eventuali riverberi sul Ponte in caso di incendio/esplosioni in galleria oppure sul viadotto Pantano.

Inoltre, questo Consesso rappresenta che i principali elaborati del **PD** sulla tematica della sicurezza in caso di incendio per ciascuna singola galleria ferroviaria oppure stradale sono identificati nella "*Relazione di Calcolo Impianto di Ventilazione*" e "*Relazione di Calcolo Impianto Antincendio*". Questo Consesso rappresenta che la "*Relazione di Calcolo Impianto di Ventilazione*" del **PD** vede l'impiego di analisi numeriche basate su formule semplificate reperibili in

letteratura tecnica di settore e che la "*Relazione di calcolo Impianto Antincendio*" utilizza uno specifico software inerente alla rete idrica antincendio.

Pur comprendendo, che gli strumenti metodologici che sono stati utilizzati nel **PD** sono da contestualizzare e quindi condivisibili per il livello della conoscenza all'epoca di redazione del **PD**, questo Consesso ribadisce la prescrizione di effettuare nel PE analisi sistemiche approfondite del complesso di gallerie, in ambito sia stradale che ferroviario, basate sulla fluidodinamica computazionale per la verifica della efficacia dell'impianto di ventilazione (ivi inclusi i pozzi di disconnessione), e di impiegare codici di calcolo più avanzati per quanto riguarda l'impianto antincendio delle gallerie stradali.

Con riferimento nello specifico alle Analisi di Rischio del **PD**, presentate alla **CPG** che si è espressa col parere "M_IT-CSLP S5 Prot. 0006865-05/07/2012" per quanto attiene alle gallerie stradali, e alla **CSGF** che si è espressa col parere M_IT-CSLP S4 Prot. 0007010-16/07/2012 in merito alle gallerie ferroviarie, questo Consesso prende atto che il metodo utilizzato nel **PD** è anch'esso da contestualizzare in rapporto al livello di conoscenza dell'epoca.

Pertanto, ribadisce la prescrizione che lo strumento metodologico da utilizzare nel PE deve essere basato sull'avanzamento del livello della conoscenza tecnico-scientifica di settore impiegando software di validità più generale e riconosciuti a livello nazionale e internazionale; nonché ribadisce la prescrizione che le Analisi di Rischio devono basarsi sui risultati della analisi fluidodinamiche alle quali il livello di rischio degli utenti è strettamente correlato.

11.4.6.5. Prescrizioni da sviluppare nel PE ai fini degli eventuali ulteriori adeguamenti progettuali

Nella **RP**, nel § 3.5.1 "*Prescrizioni da sviluppare nel Progetto Esecutivo ai fini dell'adeguamento agli eventuali ulteriori adeguamenti progettuali*", al § 3.5.1.1 "*Progettazione Impiantistica*" è riportato quanto segue.

Adeguamenti impianti nei collegamenti stradali (§ 3.5.1.1.1 della **RP**) - Impianti a servizio dei tunnel*:*

- *dimensionamento degli impianti di ventilazione secondo gli standard più recenti, con eventuale utilizzo di ventilatori ad alta efficienza energetica e/o con maggiori performance, anche a mezzo di simulazioni fluidodinamiche (secondo prescrizione lato Calabria della Commissione gallerie – vedasi anche scheda P.PRO-019),*
- *eventuale inserimento di sistemi automatici di mitigazione incendi a protezione delle persone e delle strutture (qualora richiesto dall'analisi del rischio),*
- *adeguamento degli impianti idrici antincendio agli ultimi standard.*

Adeguamenti impianti nei collegamenti ferroviari (§ 3.5.1.1.2 della **RP**)

- *progettazione Punti di Evacuazione e Soccorso (PES) esterni con impianto ad idranti,*
- *progettazione di punti di evacuazione e soccorso in galleria in corrispondenza delle stazioni ferroviarie,*
- *inserimento di pozzi di disconnessione per i cameroni ai portali e per i punti di divisione/unione della linea.*

Adeguamenti impianti nelle stazioni ferroviarie (§ 3.5.1.1.3)

- *revisione progettuale generale sulla base del D.M. 21/10/2015, e, limitatamente ai dati relativi all'affollamento, sulla base della NFPA 130/2023 (Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems), per quanto concerne l'esodo i criteri saranno valutati in accordo con SdM e RFI per tenere conto degli standard del gestore,*
- *incremento della potenzialità dei pozzi delle stazioni ai fini della gestione di eventi con merci pericolose,*
- *rimozione dell'impianto a lame d'acqua, sostituendolo con un impianto a lame d'aria (prescrizione VVF di Messina e D.M. 21/10/2015),*
- *inserimento di filtri a prova di fumo, a livello banchina, per la separazione del piano binario dalla stazione (richiesta VVF di Messina),*
- *locali di pompaggio a servizio delle stazioni da prevedersi in conformità alla norma 11292 (richiesta VVF di Messina),*
- *ventilazione di galleria e di stazione (D.M. 21/10/2015),*

- *revisione della progettazione degli ascensori,*
- *progettazione alimentazione elettrica (D.M. 21/10/2015).*

Questo Consesso ribadisce che in fase di **PE**, visto che anche per il lato siciliano si è in presenza di una linea ferroviaria ordinaria che svolge, in questo caso, anche un servizio metropolitano e che non si tratta quindi di un sistema rapido di massa (cioè non è una metropolitana), la norma da applicare non è il **DM** 21/10/2015 (Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane) menzionato nella Relazione del progettista sotto gli aspetti della sicurezza in caso di incendio e/o esplosioni in galleria, ma il **DM** 4 marzo 2025 "Approvazione delle linee guida in materia di sicurezza ferroviaria", pubblicato in GU n.35 del 31-3-2025, le **STI** SRT 1303/2014 e le **STI** SRT 2019, nonché le "Linee Guida" di **ANSFISA**.

Inoltre, si rappresenta, in base alla risposta data da **SdM**, che le stazioni ferroviarie previste sul tale versante siciliano non sono considerate dei **PES**.

Pertanto, esse sono da considerare, ai fini della sicurezza in caso di incendio/esplosioni, come punti di disconnessione fluidodinamica. Tali precisazioni e la relativa normativa da applicare devono essere necessariamente considerate nell'approfondimento del **PE**. Si ribadisce, inoltre, che sotto gli aspetti della sicurezza in caso di incendi la normativa da applicare alle stazioni/fermate ferroviarie è il **DPR** 151/2011.

Questo Consesso ritiene, comunque, di precisare che nello sviluppo degli Scenari di Rischio del **PE** non si possa prescindere in alcun modo dalle politiche di gestione del modello di esercizio di transito sia ferroviario sia stradale sul Ponte e sulle relative opere infrastrutturali di collegamento.

11.4.6.6. Altri pareri espressi e documenti consultati

In questo paragrafo sono indicati gli ulteriori pareri e relazioni consultate, quali:

- parere del Consiglio Superiore Lavori Pubblici n.220 del 10/01/1997;
- parere del Comitato Scientifico n.1/2011 (23 maggio 2011),
- RINA 2011,
- **PMC** (10 giugno 2011),
- Expert Pannel (20-06-2011),
- Italcertier (01-08-2011),
- **PMC** 2023,
- Expert Pannel 2023
- GER 0328 controdeduzione **SdM** (30/09/2023)
- parere del Comitato Scientifico del 29 gennaio 2024.

11.4.6.6.1. Prescrizioni e raccomandazioni del CSLP

Questo Consesso rappresenta che non sono stati rintracciati prescrizioni/raccomandazioni di particolare rilievo sugli aspetti della sicurezza nelle gallerie sia stradali sia ferroviarie, negli altri pareri espressi e documenti consultati di cui al paragrafo precedente del presente contributo, con riferimento agli impianti di ventilazione, pozzi di disconnessione, impianto antincendio, e alle analisi di rischio in caso di incendio e/o esplosioni in galleria.

Si rappresenta che nel paragrafo relativo all'Antincendio, contenuto nel presente parere del **CSLP**, è inserita la Relazione del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.

Al riguardo, le considerazioni esposte nel presente contributo relativamente ai collegamenti stradali e ferroviari al Ponte sullo stretto di Messina, in merito agli aspetti della sicurezza in caso di incendi/esplosioni nelle gallerie in essi previsti per entrambe le sponde, sono da intendere di indirizzo metodologico per un'analisi di sistema della sicurezza da sviluppare nel **PE**, sono di valenza generale, e sono espresse a titolo esemplificativo e non esaustivo.

Per un approfondimento più dettagliato inerenti le problematiche di incendi/esplosioni relativamente ai collegamenti si rinvia alle Raccomandazioni contenute del Parere dei Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco "m_it. STAFFCNVVF. REGISTRO UFFICIALE. U. 0010626.04-06-2026. h.14:06" per la parte strettamente applicabile.

11.4.6.6.2. Sintesi delle prescrizioni e raccomandazioni

Gallerie stradali

Prescrizioni in Fase A

1. Effettuare una progettazione della sicurezza di sistema, cioè estesa all'insieme delle gallerie previste in progetto per entrambe le sponde.
2. Effettuare ulteriori verifiche approfondite e puntuali di conformità a tutte le prescrizioni del D.Lgs. 264/20026 e al relativo aggiornamento contenuto nel DM 12/07/2021.
3. Ottemperare alle prescrizioni contenuti nel parere della **CPG** (M_IT-CSLP S5 Prot. 0006865-05/07/2012).
4. Sviluppare analisi fluidodinamiche monodimensionali (1D) per la verifica dell'efficacia del sistema di ventilazione.
5. Effettuare analisi fluidodinamiche tridimensionali (3D) dimostrando che non sono mai superati i limiti di accettabilità per la vita umana in caso di incendio/esplosioni in galleria.
6. Sviluppare le Analisi di Rischio secondo la metodologia prevista nell'Allegato 3 del **D.Lgs.** 264/2006, nonché tenendo conto dei risultati dell'analisi fluidodinamica in 3D.
7. Nell'Analisi di Rischio di utilizzare codici di calcolo avanzati e consolidati nella letteratura tecnico-scientifica di settore a livello nazionale e internazionale.
8. Illustrare esaustivamente come si intende affrontare il pericolo di eventuali esplosioni in galleria che potrebbero riverberare anche sul Ponte o sul viadotto Pantano.
9. Sviluppare Scenari di Gestione dell'Emergenza alla luce dei risultati delle analisi fluidodinamiche e del rischio.
10. Sviluppare analisi di sicurezza congiunte con **ANAS** alle interfacce di reciproca competenza.

Prescrizioni in Fase C

1. Effettuare le verifiche ed esibire i certificati di resistenza al fuoco degli elementi strutturali del rivestimento delle gallerie stradali prima dell'inizio lavori.

Gallerie ferroviarie

Prescrizioni in Fase A

1. Sviluppare, in maniera approfondita, la progettazione della sicurezza di sistema, cioè estesa all'insieme delle gallerie previste in progetto per entrambe le sponde.
2. Effettuare un'analisi di sicurezza per gli scenari sia freddi sia caldi, tenendo conto della contemporanea presenza di treno passeggeri e treni merci/merci pericolose (se previsti nel modello di esercizio) i cui effetti potrebbero riverberare anche sul Ponte o sul viadotto Pantano.
3. Adeguare il progetto alla sopravvenuta normativa **DM** 4 marzo 2025, nonché alle "Linee Guida" di **ANSFISA** sia per il lato calabrese sia siciliano.
4. Con riferimento alle stazioni/fermate sotterranee lato siciliano si prescrive ai fini della sicurezza degli utenti delle stazioni in caso di incendio di applicare il **DPR** 151/2011.
5. Ottemperare alle prescrizioni della **CSGF** (M_IT-CSLP S4 Prot. 0007010-16/07/2012).
6. Effettuare analisi fluidodinamiche monodimensionali 1D per verificare efficacia del sistema di ventilazione, tenendo conto dei pozzi di disconnessione.
7. Effettuare analisi fluidodinamiche tridimensionali (3D) nei tratti più pericolosi, mostrando che non sono mai superati i limiti di accettabilità della vita umana.
8. Per il lato siciliano, dimostrare l'autosalvabilità degli utenti in caso di incendio treno sia in galleria di linea sia in galleria di stazione, tenendo tra l'altro conto della eventuale presenza contemporanea di altri treni.
9. Dimostrare l'autosalvabilità degli utenti lungo il percorso di esodo dalle banchine di stazione fino all'atrio e quindi all'aperto.

10. Verificare, attraverso apposita analisi di rischio, la possibilità di consentire la presenza di utenti sulle banchine delle stazioni/fermate al transito dei TM e/o TMP.
11. Sviluppare Analisi di Rischio per il sistema di gallerie ferroviarie per entrambi i versanti tenendo conto delle norme sopravvenute e della necessità di assicurare la piena integrazione in sicurezza delle gallerie nel sistema ferroviario complessivo (art. 18, comma 3, del **D.Lgs.** 57/2019).
12. Effettuare le Analisi di Rischio per scenari sia caldi sia freddi tenendo conto di eventuale contemporaneità di treni passeggeri e treni merci/merci pericolose (se previsto nel modello di esercizio).
13. Effettuare le Analisi di Rischio utilizzando codici di calcolo avanzati che sono universalmente riconosciuti e consolidati a livello nazionale e internazionale.
14. Dimostrare come si intende affrontare il pericolo di eventuali esplosioni in galleria che potrebbero riverberare anche sul Ponte o sul viadotto Pantano.
15. Sviluppare, alla luce delle analisi fluidodinamiche e di rischio, aggiornati Scenari di Gestione dell'Emergenza in caso di incendio/esplosione.
16. Sviluppare analisi di sicurezza congiunta con **RFI** all'interfaccia di reciproca competenza.

Prescrizioni in Fase C

1. Effettuare le verifiche ed esibire i certificati di resistenza al fuoco degli elementi strutturali del rivestimento delle gallerie ferroviarie prima dell'inizio lavori.

11.4.7. Aspetti impiantistici

11.4.7.1. Adeguamento degli impianti e ulteriori indicazioni alla Relazione del progettista

La **RP** prevede l'adeguamento degli impianti e ulteriori adeguamenti ai §§ 3.2.2 e 3.5. Al riguardo, in ogni caso, non è significativo entrare nel merito di dettaglio delle specifiche progettazioni impiantistiche in quanto è necessario che nella progettazione esecutiva sia effettuato, non solo l'adeguamento normativo prescritto, ma la revisione completa delle calcolazioni degli impianti in quanto la componentistica progettata è stata generalmente sostituita da nuovi elementi e prodotti di serie (come trasformatori a basse perdite, cavi **CPR** e loro resistenza al fuoco se in galleria con posa esposta alle temperature elevate, unità di protezione **MT**, quadri elettrici e interruttori **BT**, apparecchi di illuminazione e componentistica varia).

Le relazioni tecniche e di calcolo degli impianti non devono illustrare in modo generico gli impianti con un testo mutuabile per qualsiasi impianto similare. Attualmente le relazioni di calcolo del **PD** si presentano come una raccolta di schede/calcolazioni e tabulati senza alcuna presentazione introduttiva riepilogativa. Le relazioni tecniche e di calcolo devono consentire per quanto possibile una analisi e comprensione semplificata, chiara e sintetica del processo progettuale attuato con una illustrazione dei criteri di impostazione dei calcoli, di scelta dei componenti e dei risultati ottenuti nel conseguimento degli obiettivi prefissati. La relazione deve evidenziare i casi più critici di corto circuito di valore massimo in relazione alla alimentazione da rete e di valore minimo in riferimento alle condizioni di alimentazione critica (caso particolare a valle di gruppo elettrogeno e di **UPS**).

Con riferimento alla risposta al quesito 16 del gruppo di Quesiti **CSLP** n.5, la previsione della non necessità di verifica del corto circuito minimo norma **CEI** 64-8 art. 533.3 è in relazione alla sola protezione della conduttura, però all'art. 532.2 - Interruttori differenziali **RCD** per la protezione contro il rischio di incendio, la **CEI** 64-8 prescrive come necessaria la protezione di guasti locali per correnti superiori a 300 mA in particolare per luoghi con maggior rischio in caso di incendio come le gallerie. È quindi necessario evidenziare che il rischio di incendio non sia correlato ai soli guasti a terra, ma anche ai corto circuiti franchi o con arco che presentano valori superiori molto più elevati di 300 mA, cosa che generalmente i programmi software utilizzati non considerano.

11.4.7.2. Sistema di distribuzione generale Calabria -Ponte- Sicilia

Considerato che strade e ferrovie caratterizzano un sistema interconnesso tra Calabria, **Opera** e Sicilia, come rappresentato nella P.ET- 011 della **RP**, la cui definizione è condizione imprescindibile per la fattibilità dell'**Opera**, è

certamente necessaria la determinazione di un chiaro piano esigenziale complessivo e una programmazione e pianificazione del probabile adeguamento della rete Terna in coordinamento con la realizzazione dell'intero intervento. Infatti, è necessario lo studio e la redazione di una relazione che inquadri il sistema generale della distribuzione elettrica con il fabbisogno complessivo di potenze, i punti di consegna principali e gli allacci dei singoli interventi stradali e ferroviari, la configurazione dei sistemi di distribuzione ad anelli, la tipologia di percorso e di posa dei circuiti all'aperto e in galleria.

Nella risposta al quesito 12 del gruppo di Quesiti **CSLP** n.5. i documenti [PI0108_F0], [PI0157_F0], [PI0161_F0], [PI0153_F0] indicati come riferimento, non risultano sufficienti a chiarire e definire quanto richiesto.

La risposta al quesito 5 del gruppo dei Quesiti **CSLP** n.4 sulle interrelazioni tra i diversi contesti esecutivi con particolare riferimento alla sicurezza delle gallerie e degli impianti, nonché alle interfacce tra i differenti sottosistemi infrastrutturali e tecnologici, dichiara che, nell'ambito dello sviluppo del PE, sarà assicurata una gestione strutturata e coordinata con gruppi di lavoro che coinvolgono **SdM, RFI, FS Engineering** e il **CG**. Mentre per quanto concerne le connessioni con le reti esterne e le relative configurazioni impiantistiche, la stessa risposta dichiara che le connessioni e le configurazioni sono state definite tenendo conto delle esigenze complessive del sistema e delle condizioni di esercizio dell'infrastruttura ferroviaria, ma tra gli elaborati presentati manca il piano complessivo che è stato definito e il dettaglio delle connessioni per gli impianti e per le gallerie e manca la relativa relazione esplicativa peraltro oggetto della richiesta 12 del gruppo del gruppo dei Quesiti **CSLP** n. 5

Per la Sicilia sezione trazione nel documento [ST0240_F0], pagina 21, risultano indicate potenze da Enel per 3,1 MW (ME Riviera) e 5,2 MW (Contesse) e da **RFI** (La Guardia) per 5,6 MW confermate nell'elaborato [SF0627_F0] a pagina 17/90. Nel documento [PI0009_F0_ITA] pagina 60 impianti del ponte risulta una potenza necessaria massima di 5,4 MW. Nel documento di risposta al quesito 12 dei Quesiti **CSLP** n.5 vengono dichiarati anche i fabbisogni per le opere stradali di 4,8 MW per la Sicilia e 3,6 MW per la Calabria per la quale si indica il fabbisogno di 0,75 MW per gli impianti del piazzale Bolano, ma non si indica il fabbisogno di potenza per la trazione.

Complessivamente, quindi, gli interventi prevedono un impatto sulla rete di trasmissione nazionale nella zona interessata di più di 29 MW.

Per potenze superiori a 10 MW, la soluzione ottimale delle alimentazioni è la derivazione da consegne di alta tensione **AT**, prescritta dalle **STI** per l'alta velocità e dalle norme **CEI** 0-16 per le utenze. Da qui la necessità di organizzare e documentare la condivisione delle esigenze di alimentazione **AT** dell'intero sistema con Terna, gestore della rete **AT**, per il soddisfacimento delle esigenze di potenza-energia di sicuro impatto sulla rete.

Si presume la necessità di un protocollo di intesa di programmazione per il soddisfacimento dei fabbisogni e per la gestione delle situazioni di emergenza, da correlare con la possibilità di soccorso tra una consegna ed un'altra. Ciò premesso è quindi necessaria l'integrazione di una relazione generale di inquadramento dell'intero sistema nella **Fase A** del PE per le possibili ripercussioni sulla configurazione generale della progettazione esecutiva impiantistica.

11.4.7.3. Sicurezza delle gallerie (impianti e antincendio) in relazione alle norme vigenti

Gallerie stradali - Aspetti Impiantistici

Riguardo gli aspetti impiantistici delle gallerie stradali, si prescrive di analizzare soluzioni alternative al principio enunciato nella relazione [SS0984_F0] che stabilisce che per gallerie di lunghezza inferiore a 1700 m (pagina 27) l'adozione di un'unica cabina elettrica di alimentazione. La normativa **CEI** 64-20 propone la possibilità di due o più punti di consegna in relazione alla loro lunghezza. L'adozione di una sola cabina per gallerie superiori a 1 km comporta in particolare l'adozione di circuiti sovradimensionati e comunque l'esigenza di dimostrare per circuiti particolarmente lunghi il sicuro funzionamento degli impianti e della ventilazione e il sicuro coordinamento della protezione con alimentazione non solo da rete ma anche da gruppo elettrogeno e da **UPS**. Un esempio di circuiti particolarmente lunghi, nella galleria Ramo A Calabria (1620 m), si citano il circuito di alimentazione di un ventilatore

(alimentato a 690 V) a 1600 m (lunghezza dedotta dal fatto che i ventilatori sono distribuiti come riportato nell'elaborato P PRO-019 pagina 490 della **RP**), il circuito critico della illuminazione di rinforzo (400 V) e il circuito di sicurezza sotto **UPS** per utenze a 1600 m nell'imbocco opposto a quello di installazione della cabina.

La risposta al quesito 15 del gruppo di Quesiti **CSLP** n.5 non soddisfa l'analisi richiesta di soluzioni alternative che è prescritta in **Fase A** del **PE** per le possibili ripercussioni sulla configurazione della impiantistica delle gallerie.

Gallerie ferroviarie - **Aspetti Impiantistici - Sicurezza e continuità di esercizio**
Riguardo agli aspetti impiantistici delle gallerie ferroviarie si prescrive di analizzare, ai fini della sicurezza di esercizio, soluzioni alternative al numero ridotto di cabine per le gallerie ferroviarie, che appaiono essere soltanto 3 per la galleria Santa Cecilia di 11 km. Peraltro, l'adozione di un numero ridotto di cabine comporta in particolare l'adozione di lunghi circuiti sovradimensionati.

Infatti, in questi casi si evidenzia comunque l'esigenza di dimostrare l'affidabilità del sistema, il sicuro funzionamento e il sicuro coordinamento della protezione per le utenze alimentate a valle del sistema 1 kV in particolare per i casi critici come quello previsto con lunghezza di 6700 m nella galleria Santa Cecilia (nicchia 24). Certamente la distribuzione da 1 kV con lunghezze elevate che alimenta numerose nicchie presenta un grado maggiore di vulnerabilità ed esposizione al guasto. Peraltro, il **DM** 28-10-2005, al punto 1.2.2 - Affidabilità delle installazioni elettriche-, prescrive che gli impianti di alimentazione elettrica a servizio dei dispositivi di emergenza (luce e forza motrice) devono, inoltre, prevedere opportune configurazioni o ridondanze tali da garantire, in caso di guasto singolo, la sola perdita di brevi tratti di impianto in galleria, comunque non superiori a 500 m.

Il regolamento **UE** 1303/2014 al § 4.2.2.1. prevede che il sistema di alimentazione elettrica di *trazione* nelle gallerie deve essere suddiviso in sezioni, ognuna di lunghezza non superiore a 5 km.

11.4.7.4. Alimentazione in emergenza del sistema - Aspetti Impiantistici

Premesso che nelle relazioni quali la [ST0224_F0] alla pagina 43 si dichiara che *Viene meno l'esigenza di predisporre gruppi elettrogeni per sostenere il carico derivato dai quadri generali e dei pozzi di ventilazione* e tenuto conto che l'art 710.562.3 della norma **CEI** 64-8 sancisce come *una seconda alimentazione non può essere considerata una sorgente di sicurezza,* è necessario prevedere l'alimentazione di emergenza con adeguati gruppi elettrogeni e la loro installazione per le stazioni, le gallerie e i pozzi di ventilazione.

Con riferimento alla risposta al quesito 13 del gruppo di Quesiti **CSLP** n.5, la **RP** *prevede l'"Adeguamento dei sistemi di alimentazione ordinaria e di emergenza, nonché dei sistemi di utilizzazione, al nuovo quadro normativo di riferimento ed alle nuove prassi progettuali".*

La risposta al quesito 13 conferma che *in rapporto a quanto previsto in diverse recenti progettazioni nell'ambito degli impianti di gallerie ferroviarie, ai fini dell'incremento dell'affidabilità e disponibilità di sistemi di alimentazione degli impianti di sicurezza si prevede la fornitura di stazioni di energia costituite da Gruppi Elettrogeni e relative cisterne gasolio per l'alimentazione degli impianti presso il Piazzale Bolano e il Piazzale di Manutenzione. Si precisa che le Stazioni di Energia saranno a servizio "degli impianti di sicurezza" quindi tutti gli impianti di sicurezza presenti nei piazzali, all'interno dei tunnel ferroviari, nei pozzi e nelle stazioni ferroviarie. La distribuzione avverrà in MT sulla rete MT che connette i diversi piazzali (con relative cabine) e le Stazioni Ferroviarie,* che sarà necessario descrivere e documentare.

La risposta 13 sostiene che *tale proposta supera quindi il concetto di "alimentazione ordinaria ridondata ovvero di riserva" in quanto connessa in MT a diverse sottostazioni/cabine primaria di ENEL o RFI, indicato nel documento di PD ST0224_F0* in conformità con il citato art 710.562.3 della norma **CEI** 64-8 per cui una seconda alimentazione ordinaria non può essere considerata una sorgente di sicurezza.

Prescrizioni /Raccomandazioni per lo sviluppo del PE per gli aspetti impiantistici

In questo paragrafo sono riportate in sintesi le prescrizioni e per lo sviluppo del **PE** per quanto attiene agli aspetti impiantistici maggiormente rilevanti

1. **Impianti - Sistema di distribuzione generale Calabria – Opera -- Sicilia** - Considerato che strade e ferrovie caratterizzano un sistema interconnesso tra Calabria, Opera e Sicilia, condizione imprescindibile per la fattibilità dell'**Opera** è certamente necessaria la definizione di un chiaro piano esigenziale complessivo e una programmazione e pianificazione del probabile adeguamento della rete Terna in coordinamento con la realizzazione dell'intero intervento. Ciò premesso si prescrive l'integrazione di una relazione generale di inquadramento dell'intero sistema per le possibili ripercussioni sulla configurazione generale della progettazione esecutiva impiantistica e la predisposizione di un protocollo di intesa con Terna di programmazione per il soddisfacimento dei fabbisogni e per la gestione delle situazioni di emergenza. La relazione generale deve inquadrare il sistema generale della distribuzione elettrica con il fabbisogno complessivo di potenze, i punti di consegna principali e gli allacci dei singoli interventi stradali e ferroviari, la configurazione dei sistemi di distribuzione ad anelli, la tipologia di percorso e di posa dei circuiti all'aperto e in galleria. (**Fase A**).
2. La **RP** GER0326_revE prevede l'adeguamento degli impianti e ulteriori adeguamenti ai § 3.2.2 e 3.5, ma la progettazione esecutiva deve effettuare non solo l'adeguamento normativo prescritto, ma la revisione completa delle calcolazioni degli impianti perché la componentistica progettata è ormai superata. Le relazioni tecniche e di calcolo devono consentire per quanto possibile una analisi e comprensione semplificata, chiara e sintetica del processo progettuale attuato con una illustrazione dei criteri di impostazione dei calcoli, di scelta dei componenti e dei risultati ottenuti nel conseguimento degli obiettivi prefissati. La relazione deve evidenziare i casi più critici di corto circuito di valore massimo in relazione alla alimentazione da rete e di valore minimo in riferimento alle condizioni di alimentazione critica, la cui protezione è necessaria in relazione alla protezione dell'innesco locale dell'incendio in particolare per luoghi con maggior rischio in caso di incendio come le gallerie (**Fase B**).
3. **Gallerie stradali** - Si prescrive di analizzare soluzioni alternative al principio enunciato nella relazione SS0984_F0 che stabilisce come per gallerie di lunghezza inferiore a 1700 m (pagina 27) si prevede una unica cabina elettrica di alimentazione. La normativa **CEI** 64-20 propone la possibilità di due o più punti di consegna in relazione alla loro lunghezza. L'adozione di una sola cabina per gallerie superiori a 1 km comporta in particolare l'adozione di circuiti sovradimensionati e comunque l'esigenza di dimostrare per circuiti particolarmente lunghi il sicuro funzionamento degli impianti e della ventilazione e il sicuro coordinamento della protezione con alimentazione non solo da rete ma anche da gruppo elettrogeno e da **UPS** (**Fase A**).
4. **Gallerie ferroviarie - Sicurezza e continuità di esercizio** - Si prescrive di analizzare ai fini della sicurezza di esercizio soluzioni alternative al numero ridotto di cabine per le gallerie ferroviarie, solo 3 per la galleria Santa Cecilia di 11 km. L'adozione di un numero ridotto di cabine comporta in particolare l'adozione di lunghi circuiti per i quali si evidenzia l'esigenza di dimostrare l'affidabilità del sistema, il sicuro funzionamento e il sicuro coordinamento della protezione per le utenze alimentate a valle del sistema 1 kV. Certamente la distribuzione da 1 kV con lunghezze elevate (circuito di 6700 m nella galleria Santa Cecilia) che alimenta numerose nicchie presenta un grado maggiore di vulnerabilità ed esposizione al guasto. (riferimenti **DM** 28-10-2005, al punto 1.2.2 Affidabilità delle installazioni elettriche, regolamento **UE** 1303/2014 al punto 4.2.2.1) (**Fase A**).
5. **Gallerie ferroviarie - Alimentazione in emergenza del sistema** - Premesso che nelle relazioni quali la ST0224_F0 alla pagina 43 si dichiara che viene meno l'esigenza di predisporre gruppi elettrogeni per sostenere il carico derivato dai quadri generali e dei pozzi di ventilazione e tenuto conto che l'art 710.562.3 della norma **CEI** 64-8 sancisce come una seconda alimentazione non può essere considerata una sorgente di sicurezza, si prescrive di prevedere l'alimentazione di emergenza con adeguati gruppi elettrogeni e la loro installazione per le stazioni, le gallerie ed i pozzi di ventilazione. La risposta al quesito 13 del gruppo di Quesiti **CSLP** n.5, conferma che la **RP** GER0326_revE – 3.2.2.3.3 (pag. 117) prevede l'"*Adeguamento dei sistemi di alimentazione ordinaria e di emergenza, nonché dei sistemi di utilizzazione, al nuovo quadro normativo di riferimento ed alle nuove prassi*

progettuali" e precisa che si prevede la fornitura di stazioni di energia costituite da Gruppi Elettrogeni presso il Piazzale Bolano e il Piazzale di Manutenzione per l'alimentazione degli impianti di sicurezza presenti nei piazzali, all'interno dei tunnel ferroviari, nei pozzi e nelle stazioni ferroviarie. La distribuzione avverrà in **MT** sulla rete **MT** che connette i diversi piazzali (con relative cabine) e le Stazioni Ferroviarie, che sarà necessario descrivere e documentare (**Fase A**).

12. IMPIANTI DELL'OPERA DI ATTRAVERSAMENTO

Si premette che la parte impiantistica necessita di una revisione sia per gli aggiornamenti alle nuove normative sia perché molti componenti di progetto non sono più sul mercato. Pertanto, l'approccio dell'esame impiantistico per il parere è vincolato ad una visione di tipo generale sugli aspetti di tipo metodologico di progetto e di tipo prestazionale ed energetico per alcuni impianti e componenti e viene articolato per tematiche.

12.1. Sistema di distribuzione a 6 kV

12.1.1. Valutazione alternativa di alimentazione a 20 kV

Si osserva preliminarmente che in risposta alla richiesta 1 del gruppo dei Quesiti CSLP n.5 il progettista conferma la non necessità del livello di tensione 6 kV in relazione al fatto che i gruppi elettrogeni saranno previsti con tensione 400 V.

L'attuale scelta progettuale è stata assunta in conformità alla raccomandazione del documento GCG.F.05.03 (v.§ 10.9.5.1.1), vincolata alla possibilità di adozione di gruppi elettrogeni per un funzionamento diretto al livello di 6 kV. Al riguardo si evidenzia che il citato documento GCG.F.05.03 già prevede che il **CG** potrà rivedere e ottimizzare tale scelta sulla base di comprovati motivi.

Tra queste motivazioni per rivedere la scelta della tensione,:, si cita a livello esemplificativo e non esaustivo:

- adottare gruppi elettrogeni non più a 6 kV ma alla tensione di 400 V e un trasformatore elevatore;
- adottare la tensione 20 kV eliminando il problema di ricorrere a trasformatori 20/6 kV generali di elevata potenza sia sulla sponda siciliana che quella calabra;
- eliminare il problema delle loro perdite h24 e delle conseguenze di disservizi sui trasformatori stessi per guasti e per manutenzioni;
- eliminare il problema della gestione del guasto a terra del sistema a 6 kV non affrontato nel progetto.

L'**Assemblea**, per le possibili ripercussioni sulla configurazione generale della progettazione esecutiva impiantistica, prescrive, in **Fase A** del **PE**, di valutare l'adozione della tensione di 20 kV per la distribuzione elettrica sul ponte in alternativa all'adozione della tensione di 6 kV.

12.1.2. Considerazioni impiantistiche qualora si mantenga l'alimentazione a 6 kV

Nel seguito si segnalano alcune peculiarità impiantistiche relative a ridondanze di capacità di alimentazione dei trasformatori, necessari a 6 kV, e dei gruppi elettrogeni su ciascun lato del ponte, sponda calabra e sponda sicula, relative alle attività di manutenzione sulle macchine e di soccorso da una sponda all'altra in caso di fuori servizio della rete.

Se la scelta finale è quella di adottare la tensione di 6 kV per la distribuzione elettrica sul ponte, affinché sia garantita la possibilità di alimentare la distribuzione **MT** in soccorso, nel caso di mancanza di una alimentazione ordinaria, sia dal lato Sicilia che dal lato Calabria, l'**Assemblea** prescrive, in **Fase A** del **PE**, che la potenza di trasformazione deve essere sufficientemente adeguata anche ai fini di garantire la manutenzione dei trasformatori e dei componenti generali.

Infatti, premesso che nel documento PI0009_F0_ITA pagina 60 si stima una potenza complessiva per il ponte di 6 MVA, la soluzione che prevede la presenza di un solo trasformatore 20/6 kV da 3,2 MVA, ai due lati del ponte, risulta non adeguata alla potenza complessiva di 6 MVA.

Peraltro, non riesce a garantire neanche la continuità di servizio del solo lato alimentato perché in caso di manutenzione del singolo trasformatore, il solo gruppo elettrogeno previsto da 1,6 MVA risulta adeguato al solo carico di emergenza di un solo lato. La trasformazione 20/6 kV non sarebbe necessaria utilizzando il 20 kV, evitando la necessità della ridondanza di potenza di trasformazione e le perdite nella trasformazione 24h. Si dà atto che la risposta al quesito 2 del gruppo dei Quesiti **CSLP** n.5 conferma la insufficienza dei valori riportati per le taglie dei trasformatori e dei gruppi elettrogeni che sono dichiarati valori solo indicativi.

12.1.3. Gestione del guasto a terra nel sistema a 6kV

Nel caso di adozione della tensione 6 kV per la distribuzione elettrica sul ponte, l'**Assemblea** prescrive, in **Fase A** del **PE**, di prevedere la protezione del guasto a terra del sistema di distribuzione a 6 kV sia da trasformatori 20/6 kV che da gruppo elettrogeno con qualsiasi tensione (6 o 20 kV).

Infatti, il documento PI0009_F0_ITA pagina 128 dichiara il livello di corto circuito minimo del sistema a 6 kV pari a 1,5 kA ma non prevede la protezione del guasto a terra che viene trattato solo per la sezione 400 V con il sistema TN-S. La relazione SS0984 a pagina 76 prevede interruttori **MT** equipaggiati di protezioni di massima corrente direzionale di fase e protezioni di massima corrente direzionale di guasto a terra.

12.1.4. Configurazione e costituzione di distribuzione e relativi calcoli di dimensionamento

Le relazioni tecniche e di calcolo non devono illustrare in modo generico gli impianti con un testo mutuabile per qualsiasi impianto similare, per contro devono descrivere in modo dettagliato la configurazione e costituzione della distribuzione, sia essa a 6 kV o a 20 kV, attualmente riportata solo in schemi (PI0108, PI0117, PI0153 e PI0158). Analoga considerazione può essere estesa anche alle cabine di trasformazione diffuse e alla distribuzione a 400 V a valle.

Le relazioni di calcolo del **PD** sono una raccolta di schede, calcoli e tabulati mancanti di una presentazione introduttiva riepilogativa, mentre, tali elaborati dovrebbero consentire per quanto possibile l'analisi e la comprensione semplificata, chiara e sintetica del processo progettuale attuato con una illustrazione dei criteri di impostazione dei calcoli, di scelta dei componenti e dei risultati ottenuti nel conseguimento degli obiettivi prefissati.

In particolare, la relazione di calcolo deve evidenziare i casi più critici di corto circuito di valore massimo in relazione all'alimentazione da rete e di valore minimo in riferimento alle condizioni di alimentazione critica (caso particolare a valle del gruppo elettrogeno e dell'**UPS**).

Pertanto, prendendo atto che la risposta al quesito 4 del gruppo dei Quesiti **CSLP** n.5 fa riferimento a schemi e planimetrie e non alla presenza tra gli elaborati delle necessarie relazioni, l'**Assemblea** prescrive, in **Fase B** del **PE**, la loro elaborazione.

12.1.5. Alimentazione di emergenza del sistema trazione sull'Opera

Premesso che nelle relazioni quali la ST0224_F0 alla pagina 43 si dichiara che viene meno l'esigenza di predisporre gruppi elettrogeni per sostenere il carico derivato dai quadri generali e dei pozzi di ventilazione e tenuto conto che l'art 710.562.3 della norma **CEI** 64-8 prescrive che una seconda alimentazione non può essere considerata una sorgente di sicurezza, l'**Assemblea** prescrive di prevedere l'alimentazione di emergenza con adeguati gruppi elettrogeni e la loro installazione per la trazione nella tratta del ponte.

Con riferimento alla risposta al quesito 13 del gruppo di Quesiti **CSLP** n.5, si rappresenta che la **RP** prevede l'"*Adeguamento dei sistemi di alimentazione ordinaria e di emergenza, nonché dei sistemi di utilizzazione, al nuovo quadro normativo di riferimento ed alle nuove prassi progettuali*".

La risposta al quesito 13 conferma che Stazioni di Energia saranno a servizio "*degli impianti di sicurezza*" quindi tutti gli impianti di sicurezza presenti nei piazzali, all'interno dei tunnel ferroviari, nei pozzi e nelle stazioni ferroviarie.

Per quanto sopra e tenuto conto della particolarità dell'**Opera** l'**Assemblea** prescrive, in **Fase A** del **PE**, di prevedere un'alimentazione in modalità di emergenza anche per la trazione nella tratta sul ponte.

12.2. Alimentazioni di sicurezza

Per quanto concerne gli **UPS** questi dovranno essere modificati col sistema trifase come già prescritto da RINA.

A tal proposito, l'**Assemblea** prescrive che, in **Fase B** del **PE**, gli **UPS** dovranno essere dimensionati in modo tale che ogni fase disponga della potenza necessaria al carico monofase alimentato.

12.2.1. Rischio sismico sugli impianti

Si conferma la necessità di prevedere elasticità e flessibilità degli impianti antivibrazioni e deformazioni, come già segnalato da **CS 2011** e **CS 2023**.

Pertanto, l'**Assemblea** prescrive, in **Fase B** del **PE**, che i cavi, tubazioni, canalizzazioni in genere, siano quanto più possibile svincolati dalle strutture e che abbiano flessibilità tale da potersi adattare alle deformazioni che le stesse strutture possano subire a seguito di azioni termiche, statiche o dinamiche. Parimenti, i componenti impiantistici non devono originare o trasmettere vibrazioni nocive ad altre parti degli impianti o alle strutture.

Quanto alla sicurezza impiantistica, l'**Assemblea** prescrive, in **Fase B** del **PE**, che per la progettazione degli impianti, sia necessario valutare gli effetti del sisma sia nei collegamenti a terra che nell'**Opera**, con particolare attenzione alle zone di transizione dall'**Opera** alla terraferma, per i notevoli spostamenti relativi determinati dal terremoto.

12.2.2. Mitigazione degli effetti delle correnti vaganti e accorgimenti anticorrosione

L'**Assemblea** prescrive che, in **Fase B** del **PE**, in coerenza con le valutazioni formulate dal **CS 2011**, siano previsti accorgimenti anticorrosione come l'adozione di acciaio inox o trattamenti superficiali (es. tropicalizzazione) oltreché resistenze anticondensa per quadri e cassette elettriche.

In riferimento alle previsioni del progettista al punto 3.5.2.4.2.7.3 "*Correnti vaganti*" della **RP**, l'**Assemblea** prescrive di procedere ad una modellazione della distribuzione e dei potenziali delle correnti che tenga conto della struttura metallica del ponte per cui la protezione più idonea alla mitigazione dei fenomeni è certamente quella passiva, conseguibile con il confinamento delle correnti di ritorno della trazione sui binari.

Pertanto, l'**Assemblea** prescrive, in **Fase B** del **PE**, di approfondire l'analisi del sistema **ERS** al fine di conseguire la migliore soluzione per garantire la protezione passiva dalle correnti vaganti.

Si prescrive di verificare e descrivere la costituzione della soluzione **embedded rail** ai fini della migliore prestazione per la protezione passiva dalle correnti vaganti.

12.2.3. Protezione dalle scariche atmosferiche

In riferimento alle previsioni del progettista al punto 3.5.2.4.2.7.5 della **RP** di una nuova analisi della protezione ai fulmini e tenuto conto della struttura speciale del sistema ponte, l'**Assemblea** prescrive, in **Fase A** del **PE**, di applicare un approccio speciale nella progettazione oltre alla necessaria conformità alla normativa di riferimento **CEI** EN 62305. In particolare, occorre valutare la problematica relativa al fatto che, essendo le torri alte 400 metri, sono anche origine di fulmini ascendenti. A riguardo si cita il fenomeno di fulmini ascendenti osservato sulla Willis Tower o Sears Tower di Chicago di 442 m.

L'impatto dei fulmini certamente non mette in crisi strutture metalliche così dimensionate, ma riesce a compromettere componenti mobili di piccole dimensioni come i componenti interni agli snodi sferici. Si citano eventi di abbattimento di pale eoliche in rotazione colpite da fulmini, per la fusione delle sfere dei cuscinetti.

Pertanto, l'**Assemblea** prescrive, in **Fase B** del **PE**, di valutare il comportamento deli snodi sferici dei pendini, di cui all'elaborato P.ET_ 013, all'impatto di fulmini che ne possono compromettere la libera rotazione nonché la loro facile sostituibilità.

l'**Assemblea** prescrive, in **Fase B** del **PE**, di valutare il miglior posizionamento dei corpi illuminanti e altri impianti lungo le facciate dei piloni portanti delle torri (pagina 25 dell'elaborato PIW0078) in relazione all'impatto dei fulmini.

Come noto, l'effetto gabbia di Faraday tende a schermare i componenti nello sviluppo interno alla struttura, tuttavia, i componenti sensibili vanno protetti dalle sovratensioni.

Pertanto, l'**Assemblea** raccomanda, in **Fase B** del **PE**, l'impiego, per quanto possibile, di fibre ottiche per i collegamenti dei monitoraggi.

12.2.4. Impianti di illuminazione sul ponte

Con riferimento alle valutazioni formulate dal **CS 2011** in merito al fatto che le condizioni di percorrenza del ponte appaiono, per molti aspetti (velocità, molteplicità di corsie ecc.) più gravose di quelle tipiche di uno svincolo autostradale e al tempo stesso le esigenze di sicurezza maggiori per le più gravi potenziali conseguenze di incidenti, l'**Assemblea** raccomanda, in **Fase B** del **PE**, di adottare l'impiego di sistemi con prestazioni illuminotecniche più performanti.

In coerenza con le osservazioni del **CS 2011** rispetto al corretto esercizio della funzione visiva, si conferma che la grandezza efficace da prendere in considerazione è la luminanza piuttosto che l'illuminamento.

Pertanto, l'**Assemblea** prescrive, in **Fase B** del **PE**, di valutare l'ottenimento delle desiderate condizioni (livelli, uniformità ecc.) di luminanza in relazione alle particolari caratteristiche geometriche e fotometriche (entità e solido fotometrico del rinvio) dell'impalcato, dei rivestimenti, dei manti stradali, dei grigliati e degli altri elementi.

In ultimo, per quanto concerne gli impianti di illuminazione dell'**Opera**, l'**Assemblea** raccomanda che, in **Fase B** del **PE**, gli stessi siano progettati con l'adozione di apparecchi illuminanti di adeguate caratteristiche fotometriche e posizionati in maniera tale da minimizzare l'effetto illuminante sul mare.

12.2.5. Pali per l'illuminazione stradale

Il **CS 2011** ha evidenziato che i pali previsti per la sospensione dei corpi illuminanti sono soggetti agli spostamenti dell'impalcato generati dalle azioni agenti sull''**Opera**(p.e. vento, sisma, ecc.).

In coerenza con la suddetta valutazione, l'**Assemblea** prescrive, in **Fase B** del **PE**, di prevedere pali di illuminazione stradali sull'**Opera** idonei a tollerare le velocità di raffica del vento (v. pag. 41 *Manuale*) e dettagliare il sistema di alimentazione della coppia di apparecchi di cui è dotato ogni palo.

12.2.6. Impianto di deumidificazione

Con riferimento alle valutazioni sugli aspetti impiantistici, di trazione elettrica e di telecomunicazioni afferenti al parere del **CSLP** (1997), l'**Assemblea** prescrive, in **Fase A** del **PE**, l'analisi fra possibili alternative di realizzazione dell'impianto di deumidificazione per le torri motivando le scelte dei parametri di progetto (ambientali, temperatura di rugiada, strutture, cavi, etc.).

Nello specifico, se le uniche soluzioni per far fronte ai fabbisogni energetici sono solo quelle identificate nelle controdeduzioni della **SdM** al **CS 2011** (v. GER0328) l'**Assemblea** prescrive, in **Fase A** del **PE**, di giustificare:

- le espressioni teoriche usate nei calcoli (riportati numericamente nell'elaborato PI0172_F0_ITA):
- le scelte progettuali ai fini delle valutazioni di consumo energetico che permettono di passare dalla potenza di 1.2 MW dell'impianto di deumidificazione -come risulta prevista nel parere del **CSLP** del 1997 - alla potenza di 577 kW prevista nel **PD** (Appendice tabella 4.1 di PI0172_F0_ITA);
- le valutazioni tecniche di supporto a considerare solo 876 ore di funzionamento dei sistemi di deumidificazioni portando ad una riduzione da 5054 MWh/anno (corrispondente al funzionamento per 8760 ore anno) a 658 MWh/anno.

In ultimo, l'**Assemblea** ritiene di confermare, nella **Fase B** del **PE**, la raccomandazione del **PMC** contenuta a p. 24 del documento "ICD XII 12. Dehumidification System" relativamente al fatto che "*i componenti dei sistemi di deumidificazione saranno progettati in conformità a una specifica di prestazione come indicato nel Progetto Definitivo*".

12.2.7. Trazione elettrica 3 kV cc - 25 kV ac

L'**Assemblea** prescrive, in **Fase B** del **PE**, sulla scorta dell'osservazione formulata dal **PMC** e contenuta nel documento "ICD XII 13. Lighting and Catenary Masts" a p. 25, di progettare i portali di trazione al fine di consentire la sostituzione dell'alimentazione a 3 kV CC con un'alimentazione a 25 kV CA, predisponendoli per eventuali carichi aggiuntivi.

13. ASPETTI DI "SAFETY" E "SECURITY"

13.1. Eventi incidentali. Aspetti generali

Il Collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria comprende, oltre al Ponte sospeso e al Viadotto Pantano, un insieme di opere di collegamento stradali e ferroviarie che si presenta, nel suo insieme, come un sistema ad elevatissima complessità non solo per la complessità intrinseca di ognuna delle opere che lo compongono ma anche per il grado di interazione che deve essere garantito tra le diverse opere stesse.

Per queste ragioni affrontare il tema della sicurezza per il Collegamento stabile tra Sicilia e la Calabria richiede sia di verificare che siano rispettate le normative specifiche e siano assicurate le condizioni di sicurezza in ogni opera esaminata, sia che le problematiche e gli eventi che si verificano in una non creino condizioni di pericolo nelle altre.

In altri termini è necessario verificare dal punto di vista sia stradale sia ferroviario, che sia possibile gestire il singolo evento incidentale e/o di incendio o momenti di limitata percorribilità del ponte senza che queste situazioni creino condizioni di pericoli in altri punti del complesso sistema infrastrutturale qui considerato.

Il progetto della sicurezza e il suo esame, non può quindi prescindere da queste considerazioni e non può limitarsi ad una mera verifica dell'osservazione della normativa e ad una analisi delle singole opere, ma richiede una visione complessiva del sistema che per la sua complessità non sempre è inscrivibile all'interno del perimetro previsto dalla normativa.

Gli incendi e/o esplosioni su ponti in acciaio sono considerati, in generale, eventi rari. Tuttavia, nel caso specifico del Ponte sospeso di grande luce sullo stretto di Messina, un incendio e/o un esplosione sul Ponte potrebbe causare il cedimento di uno o più elementi strutturali quali pendini, cavo principale, torri e/o travata, il che potrebbe portare ad un progressivo indebolimento di robustezza della struttura con conseguenze catastrofiche dovuto all'eventuale crollo del ponte stesso se, per esempio, venissero in particolare coinvolti in maniera significativa i pendini e il cavo principale.

Ciò inevitabilmente porterebbe, se il Ponte non venisse rapidamente chiuso al transito e sgombrato dal traffico su di esso presente, a conseguenze per gli utenti, oltre che all'interruzione della sua transitabilità per un lungo periodo di tempo, nonché ad ingenti costi di ricostruzione strutturale.

Trattasi, pertanto, di una tematica progettuale **rilevante** e allo stesso tempo **complessa** per la molteplicità dei parametri che entrano in gioco quali la configurazione e dimensioni geometriche del Ponte, la contemporanea presenza di traffico stradale e ferroviario, la curva di incendio e la relativa potenza massima, la simultanea azione del vento, la presenza o meno di sistemi di mitigazione attiva dello sviluppo dell'incendio, i sistemi di protezione passiva degli elementi strutturali, il tempo di intervento dei vigili del fuoco e delle squadre di soccorso per limitare le conseguenze sugli utenti, nonché eventuali incendi/esplosioni a bordo di navi in transito sotto il Ponte.

Tra l'altro non si possono trascurare gli effetti sulla sicurezza che potrebbero riverberare anche sui collegamenti stradali e ferroviari dei due versanti della terra ferma (calabrese e siciliano), ivi incluso il viadotto Pantano per il lato siciliano e il sistema delle gallerie previste nel lato calabrese, cui il Ponte è comunque connesso.

Pertanto, è necessario che la problematica di sicurezza menzionata sia particolarmente attenzionata in fase di **PE** attraverso un'analisi approfondita di sistema che, oltre alla verifica di ottemperanza alla normativa sopravvenuta, non potrà limitarsi al rispetto di raccomandazioni contenute in letteratura tecnica di settore, ad esempi di altri ponti, e/o alla generica indicazione di sistemi di protezione passiva degli elementi strutturali.

L'analisi di sistema dovrà essere approfondita, sulla base del progresso della conoscenza e degli strumenti metodologici oggi disponibili, e soprattutto di tipo intermodale dato che interessa sia il trasporto ferroviario sia

quello stradale, nonché quello navale. Non va peraltro trascurato che un aereo potrebbe anche urtare il ponte e di conseguenza incendiarsi su di esso. Si ritiene pertanto indispensabile prevedere nel **PE** uno studio approfondito di sistema e la figura di un referente coordinatore della sicurezza in caso di incendi/esplosioni, di altissimo profilo e di consolidata competenza multidisciplinare, che sia in grado di pianificare e gestire l'emergenza anche di tipo intermodale.

Pertanto, l'**Assemblea** prescrive di integrare l'analisi di rischio anche con scenari combinati "*ragionevolmente credibili quali: incendio post-collisione navale con rilascio di carburanti; incidente ferroviario e/o stradale con rilascio di sostanze pericolose e incendio/esplosione successivi*; *incendio in condizioni di vento intenso che ostacola l'evacuazione e l'accesso dei soccorsi*" (cfr. § 13.2), nonché incendio/esplosione post-collisione di un aereo di contenute dimensioni o di un elicottero. Si ritiene, inoltre, che le analisi di rischio debbano essere integrate con scenari di rischio che prevedano anche il transito dei veicoli alimentati da nuove fonti energetiche alternative.

Nella **RP**, al § 3.5.2.3.4 "Protezione al fuoco", è riportato quanto segue:
"*i Fondamenti Progettuali (doc. PG0024) prescrivono che le porzioni di torri e cavi fino a un'altezza di 25 m dal piano stradale siano progettate per resistere a un incendio di progetto di 1200°C per una durata di 30 minuti, mediante sistemi di protezione passiva. Anni recenti hanno visto l'applicazione di tali sistemi per la protezione dei cavi principali di ponti sospesi di primaria importanza come lo Storebaelt ed il Lillebaelt in Danimarca, mentre come riferimento per la protezione delle torri è disponibile la recente realizzazione del Ponte sui Dardanelli*.

Un importante argomento a favore delle protezioni passive è rappresentato dai risultati di sperimentazioni recenti che hanno messo in risalto un degrado di resistenza per esposizione al calore dei fili costituenti i cavi principali superiore rispetto a quanto assunto in precedenza. Ne consegue che l'approccio tradizionale di adottare una resistenza ridotta per cavi non protetti esposti al fuoco comporterebbe potenziali criticità.".

Nella **RP** al § 3.5.2.3.4.1 "Protezione al fuoco delle torri" è scritto:
"*La protezione al fuoco delle torri dovrà limitare la temperatura esterna delle carpenterie metalliche a un massimo di 200°C. Per il Ponte dei Dardanelli tale requisito è stato soddisfatto per una durata di 45 minuti considerando l'incendio di progetto da Eurocodice (idrocarburi). La protezione passiva può essere implementata mediante l'utilizzo di vernici intumescenti.".*

Inoltre, nella **RP** al § 3.5.2.3.4.2 "Protezione al fuoco dei cavi principali" è riportato*:*
"*Il criterio di progetto originariamente adottato per la protezione antincendio dei cavi principali del ponte sul Grande Belt prevede di limitare la temperatura massima superficiale del cavo a una temperatura di 400°C durante un evento di incendio capace di sprigionare temperature fino a 1100°C per una durata massima di 50 minuti. Risultati recentemente ottenuti e non ancora pubblicati di prove di carico di fili sottoposti a calore da incendio hanno messo in mostra riduzioni di resistenza superiori a quanto precedentemente ipotizzato. Per l'Opera di Attraversamento si propone quindi di adottare un requisito maggiormente restrittivo, ovvero una temperatura massima superficiale di 300°C, pari cioè al limite proposto nelle Recommendations for Stay Cable Design, Testing, and Installation. PTI DC45.1-18" del Post-Tensioning Institute (PTI, 2018).*

La protezione del ponte sul Grande Belt è stata realizzata mediante un doppio strato di materiale isolante per uno spessore complessivo di 15 mm, tale da limitare la temperatura superficiale dei cavi a meno di 300°C. I collari dei pendini sono stati trattati con una pittura intumescente atte da garantire prestazioni analoghe.

Allo stesso tempo si propone di abbassare leggermente la temperatura di progetto dai 1200°C attualmente previsti ai 1100°C delle curve di incendio da idrocarburi dell'Eurocodice (§3.2.3 del EN1991-1-2), non essendo peraltro disponibili in commercio materiali testati per tali temperature.".

Oltre alla **RP**, sono stati consultati i seguenti pareri e documenti:

- parere del **CSLP** n.220 del 10/01/1997,

- parere del **CS 2011** n.1/2011 del 23 maggio 2011,
- RINA 2011,
- **PMC** (10 giugno 2011),
- Expert Pannel (20-06-2011),
- *Fondamenti* progettuali (elaborato PG0024, 26-06-2011),
- Italcertier (01-08-2011),
- **PMC** 2023,
- Expert Pannel 2023,
- GER 0328 controdeduzione **SdM**/Eurolink (30/09/2023),
- parere del **CS 2023** del 29 gennaio 2024.

In particolare, tra questi appaiono di rilievo sulla tematica degli incendi e delle esplosioni che potrebbero interessare il Ponte alcune raccomandazioni/prescrizioni per lo sviluppo del **PE** contenute soprattutto: nel Parere **CSLP** 1997, nelle valutazioni del **PMC**, in *Fondamenti*, nelle controdeduzioni **SdM**/Eurolink e nel parere del **CS 2023**; dei quali di seguito si riportano alcuni aspetti di interesse.

In particolare, il **CSLP** nel voto n.220 del 1997, con riferimento al tema incendi/esplosioni esprime quanto segue:
"Si vogliono ricordare, fra i molteplici aspetti che lo sviluppo del progetto esecutivo dovrà considerare, l'esigenza di rendere compatibili le reti di distribuzione con le grandi deformazioni previste per l'implacato; l'opportunità di prevedere eventuali impianti di spegnimento automatico in ambienti particolari ed inoltre, l'esigenza che l'impiego degli idranti antincendio e dell'impianto di lavaggio non possa avvenire con le linnee elettriche di contatto sotto tensione."
Sul tema incendi il **PMC** nel 2011 evidenzia che:

"È consigliabile che i pericoli dovuti all'incendio siano meglio investigati rispetto a quanto è presentato nel documento, specialmente per quanto riguarda il trasporto di vagoni contenenti materiale infiammabile (non solo merci pericolose, ma anche cibo infiammabile, così come l'olio di oliva). Noi tutti ricordiamo che il veicolo pesante caricato di margarina prese fuoco nella galleria del Monte Bianco. È l'uso di vagoni per trasportare camion/autocarri a motore (come quello viaggiante su un autostrada) escluso? Se questo è il caso, non sarebbe meglio dichiararlo chiaramente? Se questo non è il caso, i relativi rischi necessitano di essere valutati. Il rischio connesso con la possibile evacuazione delle persone da un treno che necessita di fermarsi lungo la linea devono essere analizzati e valutati, indicando - se e in quali casi l'evacuazione dal treno dei passeggeri è ammessa - come la possibile evacuazione può essere gestita (vie di uscita, assistenza dello staff a bordo treno, possibile treno di emergenza per il trasbordo, etc.)."

Il **CG** nel 2023 alla sopra menzionata raccomandazione del **PMC** risponde:
"In generale, i rischi di incendio del ponte saranno riconsiderati nel Progetto Esecutivo, coprendo sia gli incendi nei veicoli che trasportano merci pericolose, sia i veicoli che trasportano merci non pericolose (ma infiammabili). A questo proposito, dovrebbero essere rese disponibili affidabili previsioni relative alle merci che verranno trasportate da camion/autocarri e vagoni dei treni merci."

Sempre il **PMC**, con riferimento ad eventi incidentali che potrebbero dare origine ad incendi, evidenzia che:

"Il riferimento si applica a due navi diverse che si scontrano. La questione più importante e che questo può causare diversi tipi di fuoriuscita di petrolio e si possono verificare degli incendi sulla base del danno arrecato ad ogni nave e/o al loro carico. Non bisogna assolutamente trascurare il fatto che le navi commerciali di oggi trasportano una quantità notevole di combustibili che non viene calcolato come parte della stazza lorda. Inoltre, le navi vengono costruite oggi per sopportare una capacità maggiore di container (navi portacontainer da 12.500-18.000 TEU di Maersk). Tali navi possono avere un'altezza di circa 55 metri (altezza da 60 a 65 metri sopra la ciglia) con 7 container sul ponte e 10 container sotto il ponte e larghe da 21 a 24 container. Ciò significa che il caldo intenso e le fiamme potrebbero verificarsi appena sotto la sovrastruttura. L'ubicazione e la durata potrebbe dipendere dalla natura dell'incidente e se la nave si arena, trascina la sua ancora, fa manovre cercando di controllare l'incendio per salvare la nave e il carico in fiamme

mentre passa sotto la struttura del ponte. Un incendio è scoppiato sulla Charlotte Maersk, una nave da 6.600 TEU in servizio tra l'Asia e l'Europa, mentre passava per Port Klang diretta verso Salalah, Oman. All'apice dell'incendio i container bruciavano ad una temperatura di 1000 °C. L'incendio è scoppiato su un container posizionato sulla coperta di prua. Ci sono voluti diversi giorni per riuscire a tenere pienamente sotto controllo l'incendio. Questo tipo di incidente non è un evento "una tantum" e rappresenta un rischio potenziale per il ponte. Tale rischio deve essere considerato e devono essere prese le misure adeguate per prevenire o mitigare i danni arrecati al ponte. È irrealistico pensare che il VTS vieti alle navi di transitare sotto il ponte. Il capitano e un pilota, se a bordo, focalizzerebbero la loro attenzione sull'incidente, gestendo i problemi e minimizzando i danni arrecati alla nave e a qualsiasi carico che non è interessato dall'incendio. Nel valutare e affrontare tale rischio, dovranno essere presentati i dati della frequenza con cui navi subiscono incidenti da sbandamento, incendi sui container, incendi nella sala macchine, calo di potenza ed eventuali combinazioni degli stessi. Alcune delle fonti possibili per tali informazioni potrebbero essere Statistiche sulla Flotta Mondiale di Lloyd e World Casualty Statistics di Lloyd. Per nominarne alcune: Perdite Totali e Eliminazione per categoria di nave e la gamma della portata lorda (navi porta carichi), Perdite Totali e Eliminazione per categoria di nave e la gamma della stazza lorda (navi che non portano i carichi), Perdite Totali per categoria di nave e tipo di incidente iniziale. Si prega di prendere in considerazione quanto detto sopra e di inserirlo di conseguenza."

Sul tema, il **Cs 2023** sottolinea che:

"Nell'ambito del concetto di robustezza rientrano anche le verifiche e misure antincendio. I grandi ponti sospesi sono molto esposti a rischi di incendio poiché attraversati da un numero rilevante di veicoli pesanti adibiti al trasporto di carburanti o merci infiammabili. Nella RP vengono previste varie misure di adeguamento per la protezione antincendio attiva e passiva degli elementi strutturali più esposti o sensibili, quali certe porzioni delle torri, i collari dei pendini ed il cavo principale. Questa prescrizione progettuale tiene conto della strategia b. di cui al §2.2.5 delle ***NTC 2018****. Al riguardo, il CS considera adeguati gli aggiornamenti tecnologici previsti dal CG, ma ritiene opportuno che sia accertata e considerata la durabilità prestazionale dei sistemi di pittura intumescente previsti per la protezione della torre e dei collari, verificandone la compatibilità con il sistema di manutenzione delle verniciature ordinarie anticorrosione. Inoltre, il CS ritiene opportuno che gli scenari d'incendio da considerare in modo particolare quelli che possono portare alla perdita di resistenza o rigidezza del massimo numero ipotizzato di pendini, siano studiati nel dettaglio mediante metodi e algoritmi validati e universalmente riconosciuti."*

Pertanto, sul tema della robustezza strutturale e della sicurezza antincendio nella Relazione del **CS 2023** si segnalano alcuni aspetti da tenere in considerazione nel **PE**, per i quali il **CS 2023** raccomanda di:

- *con riferimento allo scenario introdotto nel PD che prevede la rottura di due pendini consecutivi su un lato del Ponte, effettuare uno studio dell'evoluzione del collasso progressivo,*
- *accertare e considerare, in tema di verifiche e misure antincendio, la durabilità prestazionale dei sistemi di pittura intumescente previsti per la protezione della torre e dei collari, verificandone la compatibilità con il sistema di manutenzione delle verniciature anticorrosione.*

Alla luce di tutto quanto sopra esposto, questo Consesso sviluppa di seguito le proprie considerazioni di merito.

Si rileva, innanzitutto, che nell'elaborato *Fondamenti* citato nella **RP** è scritto come di seguito riportato.

In particolare, al § 5.4.1.1 "*Incendi*" dei *Fondamenti* si legge:
Il Contraente Generale dovrà presentare uno studio che analizzi e illustri gli effetti di incendi accidentali, mediante una procedura articolata nel modo seguente:

- *definizione degli scenari di incendio di progetto significativi;*
- *determinazione degli incendi di progetto corrispondenti agli scenari definiti;*
- *determinazione dell'evoluzione spazio-temporale della temperatura nei componenti strutturali;*
- *valutazione dell'evoluzione nel tempo del danno e del comportamento strutturale a livello globale e locale, mediante analisi di tipo incrementale in campo non lineare.*

Inoltre, al § 5.4.1.2 "*Esplosioni*":
"Il Contraente Generale dovrà presentare uno studio che analizzi e illustri gli effetti di esplosioni per cause accidentali sulla struttura, con particolare riferimento alla distribuzione spazio-temporale della pressione sulla struttura, ai meccanismi di diffusione degli stati tensionali, deformativi e del danno fino al collasso, a livello locale e globale. Le analisi dovranno essere condotte in campo dinamico, a partire da ipotesi di calcolo documentate in merito alla modalità ed all'intensità dell'azione impulsiva. I documenti relativi a queste analisi dovranno avere carattere riservato e distribuzione limitata previa approvazione del Committente."

Le menzionate prescrizioni di resistenza al fuoco delle torri e dei cavi riportate nella **RP**, sono invece rintracciabili nell'elaborato del **PD** denominato "*Rischio da fuoco*" (PG0039_F0).

In merito, nel § 1 "*Relazione di sintesi*" dell'elaborato PG0039_F0 si legge:
"Si suppone che le torri siano progettate per resistere ad un fuoco di 1.200°C per 35 minuti, su un'area di 10 m per 10 m di fronte al margine della strada. Si suppone che l'area sia collocata ovunque fra l'impalcato stradale e 25 m verso l'alto. Si suppone che i cavi principali siano progettati per resistere a un incendio a 1200°C per 35 minuti che interessa 10 m di lunghezza del cavo. Si suppone che la lunghezza interessata del cavo si trovi in un qualsiasi punto in cui il cavo principale sia posizionato a meno di 25 m rispetto all'impalcato stradale."

Con riferimento al **PD**, questo Consesso prende atto che sono stati simulati scenari di incendi/esplosioni di treni, di veicoli stradali o a bordo di navi in transito sotto il Ponte, oltre ad altri scenari di pericolo, e sono stati stimati gli eventuali rischi per i pendini, cavo principale, torri e travata.

Per le simulazioni è stato utilizzato uno specifico software sviluppato da COWI. Nell'elaborato PG0039_F0 del **PD** è poi indicato, come soluzione alla tematica di progetto, di utilizzare sistemi di protezione passiva degli elementi strutturali più esposti o sensibili con vernici intumescenti per limitare la temperatura massima in essi raggiungibile.

Questo Consesso prende atto di quanto riportato nell'elaborato *Fondamenti* e nella **RP**, nonché condivide le prescrizioni del **CSLP** (1997), le raccomandazioni del **PMC** (2011) e quanto scritto nella Relazione del **CS 2023** in merito alla tematica di progetto incendi/esplosioni interessanti il Ponte, nonché prende atto della sopra menzionata risposta di **SdM**/Eurolink (2023).

Tuttavia, si ritiene che siano necessari ulteriori approfondimenti nello sviluppo del **PE** al fine di fornire un contributo per una possibile attenuazione del livello rischio per la struttura e gli utenti in caso di incendi/esplosioni sul Ponte.

Per quanto attiene gli strumenti metodologici per la simulazione di incendi/esplosioni sul Ponte, questo Consesso rappresenta che il ricorso al codice di calcolo utilizzato nel **PD** sia da contestualizzare nell'ambito del livello di conoscenza dell'epoca, tuttavia per un'opera così complessa come quella del Ponte si ritiene di prescrivere che in fase di **PE** siano utilizzati i più recenti ed avanzati modelli e metodi di calcolo di simulazioni numeriche, aventi validità generale, riconosciuti al livello internazionale, e consolidati nella letteratura tecnico-scientifica di settore. Ad esempio, quelli basati sull'analisi della fluidodinamica computazionale; per la cui risoluzione sono disponibili appropriati e raffinati codici di calcolo distinti per la simulazione di incendio ed esplosioni (**Fase A**).

Questo Consesso ritiene che siano da prescrivere studi basati sull'analisi della fluidodinamica computazionale che analizzino per i vari scenari di pericolo gli effetti degli incendi e/o di esplosioni (ivi incluso la contemporanea presenza del vento) dovuti a cause accidentali sui principali elementi strutturali del Ponte (pendini, cavo principale, torri, travata); con particolare riferimento alla distribuzione spazio-temporale delle fiamme e della sovrapressione dovuta all'onda d'urto generata da una eventuale esplosione, in termini di conseguenze sui meccanismi di diffusione degli stati tensionali e deformativi che possono provocare un decadimento delle resistenze degli elementi strutturali coinvolti e quindi sul livello di danno locale o globale, fino ad un eventuale collasso della struttura (**Fase A**).

Effettuare le relative analisi di rischio dimostrando che il livello di rischio delle strutture è accettabile in caso di incendi/esplosioni (**Fase A**).

Si ritiene che debba essere perseguito nel **PE** l'obiettivo di una necessaria compartimentazione strutturale, in modo che attraverso la disposizione di opportuni collegamenti, il collasso locale di alcuni elementi strutturali in caso di incendi e/o esplosioni non si propaghi ad altri elementi strutturali e/o all'intero impalcato, causandone eventualmente il pericolo di crollo (l'approfondimento progettuale nel **PE** dovrebbe quindi essere indirizzato all'attuazione del principio di ridondanza degli elementi strutturali, ove possibile) (**Fase A**).

Con riferimento alla protezione passiva dei principali elementi strutturali del Ponte mediante vernici intumescenti, si ritiene necessario effettuare uno studio approfondito nel **PE** sulla individuazione del tipo di vernice intumescente più adatta, sulla sperimentazione delle sue caratteristiche fisico-chimiche, durabilità in ambiente salino, e compatibilità con l'acciaio sia nei confronti delle vernici anticorrosive sia delle diverse condizioni climatiche di esercizio previste sul Ponte, nonché di effettuare prove sperimentali di resistenza al fuoco dimostrando che le temperature massime raggiungibili negli elementi strutturali del Ponte, protetti con la tipologia di vernice intumescente prescelta, siano in caso di incendi/esplosioni non superiori a quelle previste nei calcoli di progetto (**Fase B**).

Si prescrive inoltre di studiare nel **PE**, oltre al sistema di protezione passiva sopra citato, l'impiego dei più avanzati ed automatici sistemi tecnologici di protezione attiva anche a schiuma, per limitare lo sviluppo della curva di incendio nel tempo, contenendone quindi la potenza massima di rilascio del calore, già a partire dai primi istanti dall'innesco dell'evento incidentale sul Ponte (**Fase B**).

E' anche opportuno prescrivere di studiare appropriati sistemi tecnologici attivabili automaticamente nel caso di un incendio a bordo di una nave in transito sotto il Ponte (per esempio, a titolo puramente indicativo, come quelli di tipo a diluvio ubicati eventualmente all'intradosso dell'impalcato e caratterizzati da un azionamento automatico e controllato sulla zona di interesse ubicata sulla verticale della nave) per cercare di contrastare il rischio che le fiamme e/o il flusso di calore caratterizzato dalle altissime temperature generate dalla nave incendiata possano interessare le strutture del Ponte (**Fase B**).

Poiché gli effetti degli scenari di incendi/esplosioni che possono interessare gli elementi strutturali del Ponte (pendini, cavo principale, torri, e travata) possono essere dovuti a differenti tipologie incidentali che possono interessare sia i treni che i veicoli stradali, nonché le navi in transito e/o gli aerei, così come si possono verificare eventuali interazioni e/o combinazioni simultanee di eventi tra i vari modi di trasporto citati, si ritiene sia opportuno prescrivere che nel **PE** sia svolta, preliminarmente, un analisi di sicurezza complessiva che interessi l'intero sistema intermodale (**Fase A**).

In merito all'analisi di sicurezza integrata tra i vari metodi di trasporto, si ritiene opportuno che vada anche prescritto, come già accennato, di prevedere nel **PE** la figura di un referente coordinatore della sicurezza del sistema intermodale, di altissimo profilo e avente consolidata competenza multidisciplinare sulle quattro modalità di trasporto menzionate, che partecipi alla pianificazione, attuazione e valutazione degli interventi di emergenza, e che assicuri il coordinamento con i servizi di pubblico soccorso (**Fase B**).

Inoltre poiché non è possibile escludere a priori che gli effetti di un singolo evento incidentale sul Ponte (treno incendiato, veicolo stradale in fiamme o collisione di un aereo di piccole dimensioni e/o di un elicottero con conseguente incendio) possa, oltre ad interessare direttamente il Ponte, riverberare anche sui collegamenti stradali e ferroviari sulla terra ferma di entrambi i versanti, ivi incluso il viadotto Pantano e le gallerie, si ritiene opportuno prescrivere che nello sviluppo del **PE** sia svolta anche una progettazione della sicurezza specialistica sia per le modalità di trasporto stradale sia ferroviaria, e che essa sia approfondita e dettagliata in merito allo studio dell'interazione tra il Ponte e il sistema di collegamenti stradali e/o ferroviari delle due sponde, cioè un'analisi specialistica di sistema (**Fase A**).

Si prescrive, inoltre, di dimostrare nel **PE** l'autosalvabilità dei passeggeri durante il processo di evacuazione da un treno eventualmente fermo sul Ponte e degli utenti presenti sulle due carreggiate stradali del Ponte in caso di incendi/esplosioni su tale struttura (**Fase A**).

Per le considerazioni esposte, si ritiene che sia opportuno prescrivere che in fase di **PE** sia sviluppato uno studio approfondito in cui gli scenari di rischio, sul Ponte e sulle opere infrastrutturali di collegamento, siano strettamente correlati alle politiche di gestione del modello di esercizio sia stradale sia ferroviario, specialmente con particolare riferimento al transito delle merci altamente infiammabili e/o pericolose (**Fase A**).

Poiché la possibilità di incendi/esplosioni sul Ponte comporterà inevitabilmente l'interruzione parziale o completa della transitabilità stradale e/o ferroviaria sulla struttura, anche per un lungo periodo di tempo nel caso di eventi incidentali rilevanti, si prescrive che in fase di **PE** sia sviluppato uno studio di resilienza del Ponte, tenendo in considerazione anche la possibilità di utilizzare in emergenza l'itinerario alternativo rappresentato dalla navigazione marittima (**Fase A**).

Inoltre, si raccomanda che siano previsti sulla terra ferma di entrambe le sponde presidi antincendio operanti h 24 e 7/7 gg. Il posizionamento, la tipologia, il proporzionamento della sorveglianza antincendio e i tempi massimi di intervento dovranno essere studiati nel **PE** in relazione agli scenari di pericolo previsti sul Ponte (**Fase B**).

Con riferimento al transito delle navi sotto il Ponte, poiché appare difficilmente realizzabile l'ipotesi di inibire la navigazione alle navi, anche a quelle maggiormente suscettibili di incendio/esplosioni (per esempio petroliere, navi trasportanti liquidi infiammabili e/o gas, navi portacontainer trasportanti materiale altamente infiammabile e/o merci pericolose, etc.), si raccomanda di prevedere un presidio h 24 e 7/7 gg, costituito da navi antincendio su entrambe le sponde del mare (**Fase B**).

Infine, si prescrive che, alla luce degli studi delle analisi fluidodinamiche e delle prove sperimentali sopra menzionate, nel **PE** siano sviluppati aggiornati Scenari di Gestione dell'Emergenza per il caso in cui sul Ponte si verifichino incendi/esplosioni per ciascuna modalità di trasporto (stradale, ferroviario, marittimo, aereo) e/o di tipo multirischi tra i diversi modi di trasporto; tali scenari dovranno comunque essere necessariamente coordinati tra loro per costituire uno Scenario di Gestione dell'Emergenza generale di tipo intermodale (**Fase B**).

Questo Consesso ritiene, comunque, di precisare che nello sviluppo degli Scenari di Rischio del **PE**, come sopra accennato, non si possa prescindere in alcun modo dalle politiche di gestione del modello di esercizio di transito sia ferroviario sia stradale sul Ponte e sulle relative opere infrastrutturali di collegamento (**Fase B**).

Con riferimento al traffico ferroviario devono essere attenzionati nel predisporre il modello di esercizio oltre ai **TM** trasportanti merci altamente infiammabili e/o veicoli stradali quali gli autocarri, soprattutto i treni **TMP**. In merito a quest'ultimi, da un punto di vista esclusivamente cautelativo, si ritiene di precisare, a titolo esemplificativo e non esaustivo, la necessità di inibire il transito a quelli che in caso di incendio/esplosioni possono compromettere in maniera significativa le strutture del Ponte e/o la salvabilità degli utenti, e per quelli ammessi al transito di prevedere il loro passaggio esclusivamente nelle ore notturne (p.e., dalle 22:00 alle 6:00), e con una velocità massima commisurata alle effettive condizioni climatiche sul Ponte (vento, pioggia, nebbia, neve); inoltre di non consentire la contemporanea presenza sul Ponte di un altro treno sullo stesso binario o sul binario parallelo, specialmente se si tratta di un **TP**.

Con riferimento al modello di esercizio stradale, oltre i veicoli trasportanti merci infiammabili, devono essere attenzionati i veicoli che trasportano merci pericolose e/o sostanze chimiche o radioattive. Deve essere previsto la possibilità di inibire il transito a determinate categorie di veicoli pericolosi, individuabili attraverso il documento noto come "Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road" redatto dalla "Economic Commission for Europe Inland Transport Committee" (ADR). Per i veicoli trasportanti merci pericolose ammesse al transito sul Ponte, si richiede di prevedere un centro di controllo che ne possa verificare l'effettivo contenuto e ne

rilasci l'autorizzazione. Tali veicoli, una volta raggruppati a formare dei convogli, dovrebbero essere autorizzati al transito esclusivamente notturno (p.e. dalle 22:00 alle 6:00) e con una velocità massima rapportata alle effettive condizioni climatiche sul ponte, nonché alla eventuale presenza di gelo sulla sovrastruttura stradale. Si prescrive di non consentire la contemporanea presenza sul ponte di convogli di veicoli stradali trasportanti merci pericolose e di un **TMP**.

13.2. Aspetti relativi al soccorso pubblico e alla prevenzione incendi

Le considerazioni esposte nel § 13.1 sono da intendersi di indirizzo metodologico per un'analisi di sistema della sicurezza da sviluppare nel **PE** in caso di incendi ed esplosioni sull'**Opera.** Esse sono di carattere generale e pertanto non esaustive.

Per un approfondimento più dettagliato in merito agli aspetti relativi alla sicurezza antincendio del Ponte dello stretto di Messina, si rinvia alle "*Raccomandazioni*" contenute nella nota del Corpo nazionale dei vigili del fuoco "*m_it. STAFFCNVVF. REGISTRO UFFICIALE. U. 0010626.04-06-2026. h.14:06*" **riportata come Allegato 2 al presente parere, di cui costituisce parte integrante**.

Dette "*Raccomandazioni*", tuttavia, hanno valore prescrittivo come precisato in sede assembleare.

13.3. Aspetti relativi alla bonifica ordigni esplosivi

I sedimi interessati dal processo di realizzazione dell'opera dovranno essere oggetto di Bonifica Sistematica Terrestre (BST)/Subacquea (BSS) da eventuali ordigni esplosivi residuati bellici.

Il tema è complessivamente affrontato nel § 3.5.1.7 "Bonifica Ordini Bellici" della **RP**. In particolare, le profondità di bonifica da adottare nel **PE**, estese a 3 m per le aree di cantiere e tecnico-logistiche e a 7 m per le opere più profonde, sono state correttamente indicate nell'elaborato, con ciò aggiornando le minori profondità adottate nella redazione del **PD** in quanto non più applicabili alla luce delle norme vigenti (cfr. "Metodologia di esecuzione delle bonifiche belliche in **PE**").

Ciò premesso, l'adeguamento normativo evidenziato nella **RP** non è del tutto allineato all'attuale quadro legislativo (cfr. "Aggiornamento per intervenute normative"). Segnatamente, si evince il ricorso all'abrogata Direttiva 001/B/TER/2015 nonché alle superate edizioni delle Direttive GEN-BST-001 (ed. 2020) e GEN-BSS-001 (ed. 2017), che rispettivamente disciplinano le attività di BST e BSS, queste ultime aggiornate alle edizioni 2025.

Inoltre, sebbene non esplicitamente indicato nella **RP**, taluni contenuti del Piano di Sicurezza e Coordinamento (CG3300-P-PU-D-G-TC-P5-G0-00-00-00-01-F0) del **PD** non sono aderenti al vigente quadro normativo, con particolare riferimento alle procedure da adottare in caso di rinvenimento di ordigni.

In relazione a quanto precede, il **PE** dovrà essere redatto in applicazione dei contenuti delle citate Direttive GEN-BST-001 e GEN-BSS-001 ed. 2025.

In particolare, le condizioni tecnico-operative di bonifica dovranno essere contenute nei relativi elaborati denominati "Documento Unico di Bonifica" (DUB) che il "Soggetto richiedente", avvalendosi di operatore economico specializzato, dovrà redigere prima dell'avvio delle operazioni di bonifica ed inoltrare ai competenti Organi Esecutivi Periferici (10° Reparto Infrastrutture dell'Esercito e Comando Logistico della Marina Militare) per l'emissione dei relativi pareri vincolanti.

Infine, prima dell'avvio delle operazioni di bonifica si suggerisce di promuovere un'azione di coordinamento con i citati Enti militari per agevolare lo svolgimento tecnico-amministrativo delle attività durante la fase di esecuzione.

13.4. Aspetti relativi a danneggiamenti intenzionali

Data la valenza strategica e la natura fortemente emblematica dell'opera, si ritiene necessario che l'analisi del rischio, e la conseguente individuazione delle relative misure di mitigazione, debba includere anche le valutazioni riguardanti possibili danneggiamenti intenzionali derivanti da azioni di sabotaggio o terroristiche, superando l'approccio probabilistico tipico delle NTC. Ciò, nella considerazione che nel **PD**, sebbene i danneggiamenti intenzionali siano stati inclusi tra i pericoli identificati, non è stata sviluppata in merito agli stessi una specifica analisi del rischio precisando solo che *"(…) su tale argomento dovrebbe essere presentata un'apposita relazione preparata da esperti del settore"* (cfr. elaborato Identificazione di rischio del **PD**, CG1000-P-SR-D-P-GE-R5-00-00-00-00-03-F0 § 4.9 pag. 16).

Sebbene la **RP** fornisca estese indicazioni per l'aggiornamento dell'analisi di rischio sviluppata nel **PD**, rinviando alla fase di elaborazione del **PE** l'effettuazione di un'ulteriore analisi dei rischi, l'elaborato non affronta esplicitamente il tema del danneggiamento intenzionale, pur inserendo alcuni richiami riguardanti, ad esempio, la:

- necessità di sistemi antintrusione, che *"(…) dovranno essere revisionati ed adeguati alle crescenti esigenze in tema di antiterrorismo (…)"* (cfr. § 3.5.2.4.2.7.1, pag. 204);
- prevenzione del collasso progressivo dell'impalcato, ove si ritiene che debbano essere presi in considerazione anche *"(…) scenari di contingenza che vedano la perdita di due pendini consecutivi (…), quale che sia la causa innescante dello scenario accidentale, ovvero urti, incendio, esplosioni, azioni terroristiche (…)"* (cfr. scheda P.ET-003).

In relazione a quanto precede, trattandosi di un'opera strategica di rilievo transeuropeo, in accordo ai principi richiamati anche dalle apposite norme e direttive sulla resilienza delle infrastrutture e dei soggetti critici, si ritiene necessario che nella **Fase A** del **PE** l'analisi di rischio venga estesa anche ai danneggiamenti intenzionali, approfondendo l'esame degli eventi che, pur caratterizzati da trascurabile o nulla probabilità di accadimento ove dovuti a cause accidentali, possano però essere agevolmente provocati da atti dolosi e siano in grado di arrecare importanti danni se interessano eventuali specifici fattori di vulnerabilità dell'**Opera**.

Ciò, con particolare riferimento alle minacce che si sono significativamente evolute dopo l'elaborazione del **PD** (per esempio la minaccia cibernetica, l'uso di droni commerciali modificati, ecc.).

14. TABELLA SINOTTICA

Allo scopo di agevolare la lettura del testo e la successiva attività di verifica della progettazione, si è redatta una complessiva tabella sinottica di tutte le "considerazioni" formulate nel presente parere (gerarchizzate in "prescrizioni" e "raccomandazioni" ai sensi del § 3.3). Essa rappresenta una ragionata sintesi delle "considerazioni" stesse.

Si sottolinea che il contenuto del parere si fonda sulla lettura "integrata" del testo e della tabella, onde evitare inopinate equivocità interpretative.

Detta tabella è riportata come Allegato 3 al presente parere e ne costituisce parte integrante.

15. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Come chiaramente si evidenzia dalla "struttura" conferita al presente parere, il sistema delle prescrizioni e delle raccomandazioni, per i distinti aspetti tecnici esaminati, è parcellizzato sulla scala dei tempi, in funzione della specifica fase nella quale occorre tenerne conto. Di ciò se ne è già data ampia illustrazione, sotto il profilo metodologico, all'interno del § 3.3 "*Gerarchizzazione e temporizzazione delle "considerazioni" del parere*".

Più in particolare, **il sistema prescrittivo del parere va inteso come un contributo finalizzato alla definizione del complesso di indirizzi tecnici e metodologici di cui tenere conto nello sviluppo della progettazione dell'opera.**

Occorre procedere a verifica di ottemperanza alle prescrizioni anche al termine della c.d. "**Fase A**" del progetto esecutivo da parte del Soggetto verificatore. In tal modo, la società "Stretto di Messina" potrà successivamente disporre di un quadro completo delle risultanze delle molteplici attività tecniche correlate alla fase medesima. Si tratterà, con tutta evidenza, di un sistema composito di risultati, estremamente articolato ed eterogeneo, da valutare in modo necessariamente organico e contestuale. Ciò al fine di individuarne i concreti effetti sulla successiva "**Fase B**" del progetto esecutivo. **In altri termini, si dovranno stabilire e valutare preventivamente le condizioni tecniche per lo sviluppo delle attività previste nella "Fase B" con il necessario livello di conoscenza e di consapevolezza.**

Ciò, del resto, è in coerenza con quanto disposto all'art. 41 "*Estensione del controllo e momenti della verifica* "comma 1, dell'Allegato I.7 del D.Lgs. 31 marzo 2023, n. 36, che di seguito si riporta:
"*Le verifiche devono essere effettuate contestualmente allo sviluppo del progetto; il responsabile del progetto pianifica l'attività di verifica in funzione del piano di sviluppo della progettazione, degli adempimenti di approvazione, autorizzazione e affidamento.* "

Si segnala sin d'ora, pertanto, l'importanza di una attenta gestione di questo fondamentale quanto ineludibile momento del processo progettuale esecutivo, che costituisce una vera e propria attività di "interfaccia" tra la "**Fase A**" e la "**Fase B**". Del resto, il carattere di straordinaria unicità dell'opera di ingegneria di che trattasi non può che imporre una gestione tecnica del progetto strutturata per passi successivi e verifiche intermedie. Gli aspetti di "*particolare complessità e rilevanza*", infatti, non riguardano soltanto il **prodotto progettuale** in senso stretto, ma anche la gestione dell'articolato **processo progettuale**, che va condotto con una sapiente regia.

A tal riguardo si rammenta, infine, quanto già segnalato al § 3.3: **la descritta gestione del processo progettuale esecutivo per fasi è del tutto coerente, sotto il profilo metodologico, con quanto già riportato nella RP al § 3.6.4 *"Riscontro ai restanti commenti del Comitato Scientifico, del PMC e di RINA".***

Nella **RP**, infatti, si introduce il concetto di attività con "priorità 4" che devono essere propedeuticamente sviluppate all'interno del processo progettuale, in linea con il concetto di attività di "**Fase A**" introdotto nel presente parere.

16. DISPOSITIVO FINALE

Tutto ciò premesso e considerato,

l'Assemblea, all'unanimità, è del

PARERE

che, esaminati i "*profili tecnici di particolare complessità e rilevanza della relazione del progettista di cui all'articolo 3, comma 2, del decreto-legge n. 35 del 2023*", il processo progettuale dell'opera relativa al "*Collegamento stabile tra la Sicilia e la Calabria*" (CUP C41C23002750005) possa proseguire, nel rispetto:

- delle **prescrizioni** formulate nel presente parere;
- di quanto espresso nelle "**considerazioni conclusive**" di cui al Capitolo 15,

tenuto conto delle **raccomandazioni** riportate nelle "considerazioni" che precedono.