



**COMITATO SCIENTIFICO**  
di Stretto di Messina S.p.A.

PARERE SULLA RELAZIONE DEL PROGETTISTA (D.L. 35/2023)



Roma, 29 gennaio 2024



## REALIZZAZIONE DEL COLLEGAMENTO STABILE TRA LA SICILIA E LA CALABRIA

Comitato Scientifico di Stretto di Messina S.p.A.

Riunione del 29 gennaio 2024

Il Comitato Scientifico di Stretto di Messina S.p.A., riunito nella seduta del 29 gennaio 2024, visto il Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 249 del 4 ottobre 2023, esprime il richiesto parere sulla relazione di cui all'articolo 3, comma 3, del D.L. n. 35 del 31 marzo 2023, così come articolato nel seguente indice:

PREMESSA.....	3
I. Sintesi degli eventi principali delle attività dal 1955 sino alla liquidazione della Società Stretto di Messina.....	3
I.i. Attività precedenti alla costituzione della Società Stretto di Messina .....	3
I.ii. Eventi principali dalla costituzione alla liquidazione .....	3
I.iii. Riavvio delle attività ai sensi del D.L. 35/2023.....	4
II. Inquadramento normativo e compiti del Comitato Scientifico .....	4
III. Composizione del Comitato Scientifico .....	6
IV. Attività del Comitato Scientifico .....	7
V. Costituzione dei Gruppi di Lavoro.....	7
VI. Parere del precedente Comitato Scientifico (CS-2011) .....	9
VII. Iter metodologico seguito dal Comitato Scientifico per l'espressione del Parere .....	11
VIII. Articolazione del Parere.....	12
1. CONSIDERAZIONI, OSSERVAZIONI E RACCOMANDAZIONI DEL COMITATO SCIENTIFICO SULLA RELAZIONE DI AGGIORNAMENTO DEL PROGETTO DEFINITIVO PRESENTATA DAL CONTRAENTE GENERALE .....	13
a) Adeguamento alle <i>norme tecniche 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</i> , e alle conseguenti modifiche alla <i>modellazione geologica</i> e alla <i>caratterizzazione geotecnica</i> .....	13
b) Adeguamento alla normativa vigente in materia di sicurezza .....	22
c) Adeguamento alle regole di progettazione specifiche di cui ai manuali di progettazione attualmente in uso, salve deroghe .....	23
d) Adeguamento alla compatibilità ambientale .....	24
e) Eventuali ulteriori adeguamenti progettuali ritenuti indispensabili anche in relazione all'evoluzione tecnologica e all'utilizzo dei materiali di costruzione.....	28

f) Adeguamento 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.....	35
<b>2. RACCOMANDAZIONI DEL COMITATO SCIENTIFICO.....</b>	<b>37</b>
a) Adeguamento alle <i>norme tecniche 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</i> , e alle conseguenti modifiche alla <i>modellazione geologica e alla caratterizzazione geotecnica</i> .....	37
b) Adeguamento alla normativa vigente in materia di sicurezza .....	39
c) Adeguamento alle regole di progettazione specifiche di cui ai manuali di progettazione attualmente in uso, salve deroghe .....	40
d) Adeguamento alla compatibilità ambientale .....	40
e) Eventuali ulteriori adeguamenti progettuali ritenuti indispensabili anche in relazione all'evoluzione tecnologica e all'utilizzo dei materiali di costruzione.....	41
f) Adeguamento 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.....	43
<b>3. PARERE AL CONSIGLIO DI AMMINISTRAZIONE DI STRETTO DI MESSINA S.p.A.....</b>	<b>45</b>
<b>APPENDICE - Riesame delle soluzioni proposte dal Contraente Generale alla luce delle raccomandazioni per il Progetto Esecutivo contenute nel parere del CS-2011 .....</b>	<b>47</b>

## PREMESSA

### I. Sintesi degli eventi principali delle attività dal 1955 sino alla liquidazione della Società Stretto di Messina

#### I.i. Attività precedenti alla costituzione della Società Stretto di Messina

- 1955: costituzione da parte di alcune tra le maggiori imprese dell'industria delle costruzioni italiana (FINSIDER, FIAT, ITALCEMENTI, PIRELLI, ITALTRADE) della Gruppo Ponte Messina S.p.A. per promuovere studi ingegneristici e ambientali finalizzati alla realizzazione di un collegamento stabile viario e ferroviario tra la Sicilia e il continente.
- 1970: concorso internazionale di idee per l'attraversamento viario e ferroviario dello Stretto di Messina bandito da ANAS e Ferrovie dello Stato, di concerto con il CNR. Vengono presentate 143 "idee-progetto". Di queste, una giuria internazionale di elevato prestigio premia 12 soluzioni: 9 ponti; 1 galleria in alveo; 1 galleria appoggiata ai fondali; 1 galleria subalvea. La galleria in alveo, quella appoggiata al fondale e quella subalvea sono state ritenute inadeguate soprattutto per ragioni geomorfologiche, sismiche e costruttive, nonché di sicurezza. Tra le 9 soluzioni aeree, quella a "campata unica" è stata considerata la più vantaggiosa, dopo un'attenta analisi degli aspetti ambientali, della sicurezza della navigazione, nonché per la migliore risposta agli eventi sismici e al vento.
- 1971: Legge 17 dicembre 1971 n. 1158, "Collegamento viario e ferroviario tra la Sicilia e il continente", che prevede la costituzione di un S.p.A. partecipata da ANAS, regioni Sicilia e Calabria, nonché da altre società statali o partecipate da amministrazioni pubbliche, con il compito di studiare, progettare, costruire e gestire la grande opera.

#### I.ii. Eventi principali dalla costituzione alla liquidazione

- 1981: costituzione della Società Stretto di Messina (SdM), ai sensi della Legge 17 dicembre 1971 n. 1158, quale Concessionaria di Stato per lo studio, la progettazione, la realizzazione e la gestione del collegamento stabile viario e ferroviario fra la Sicilia e il continente.
- 1992: approvazione del Progetto di massima da parte della Società Stretto di Messina.
- 1997: approvazione del Progetto di massima dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sulla base dei pareri positivi di ANAS ed FS.
- 2003: redazione del Progetto Preliminare e dello Studio d'Impatto Ambientale (SIA), con relativi pareri ANAS, FS, Commissione di Garanzia della Qualità.
- 2003: approvazione del Progetto Preliminare, corredata dallo Studio di Impatto Ambientale e dalla documentazione relativa alla Localizzazione urbanistica, da parte del CIPE con Delibera n.66/2003.
- 2004-2006: gare internazionali e stipula dei contratti con Contraente Generale, Project Management Consultant (PMC) e Monitor Ambiente.
- 2006-2008: fermo del Progetto.
- 2009: riavvio delle attività.
- 2010: costituzione del Comitato Scientifico (CS-2011).

2010-2011: elaborazione del Progetto Definitivo.

- 2011: approvazione del Progetto Definitivo da parte del Consiglio di Amministrazione di SdM previo parere del CS-2011.
- 2011: avvio delle procedure per la Compatibilità Ambientale e Territoriale e delle procedure amministrative finalizzate all'approvazione del Progetto Definitivo.
- 2013: messa in liquidazione della Società a seguito delle disposizioni di cui all'art. 34 *decies* della Legge n. 221 del 17 dicembre 2012.

I.iii Riavvio delle attività ai sensi del D.L. 35/2023

- 2023: D.L. n. 35 del 31 marzo recante *"Disposizioni urgenti per la realizzazione del Collegamento Stabile tra la Sicilia e la Calabria"* convertito con modificazioni dalla Legge 26 maggio 23, n. 58 (GU 30.05.2023, n. 125).
- 2023: trasmissione del Contraente Generale alla Società Stretto di Messina, 30 settembre, della *"Relazione del Progettista (RP) attestante la rispondenza al progetto preliminare ed alle eventuali prescrizioni dettate in sede di approvazione del Progetto Definitivo, con particolare riferimento alla compatibilità ambientale ed alla localizzazione dell'Opera"*.
- 2023: Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti n.249 del 4 ottobre, recante la nomina dei componenti del Comitato Scientifico.
- 2023: integrazioni del Contraente Generale alla RP in ottobre/novembre.
- 2024: consegna dell'elaborato finale della RP del 20 gennaio con ulteriori integrazioni, riguardanti in particolare la componente ambientale.

**II. Inquadramento normativo e compiti del Comitato Scientifico**

Il D.L. n. 35 del 31 marzo 2023, convertito, con modificazioni, dalla Legge 26 maggio 2023, n. 58, prevede, all'articolo 1, comma 1, lettera e), la costituzione, demandata a un decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, di un Comitato Scientifico (CS), a cui sono attribuiti *"compiti di consulenza tecnica, anche ai fini della supervisione e dell'indirizzo delle attività tecniche progettuali"* inerenti alla realizzazione del collegamento stabile fra la Sicilia e la Calabria. *"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"*.

Con Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 249 del 4.10.2023, è stato costituito il Comitato Scientifico *"composto da nove membri, scelti, d'intesa con la Regione siciliana e la Regione Calabria, tra soggetti dotati di adeguata specializzazione ed esperienza"*.

L'articolo 3 del citato D.L. n. 35 del 2023, al comma 2, recita: *"Il progetto definitivo dell'opera (...) 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"*, precisando, al comma 3, che: *"La relazione di cui al comma 2 (...) è trasmessa per l'approvazione al Consiglio di amministrazione della*

*società concessionaria che, previo parere del Comitato scientifico di cui all'articolo 4, comma 6, della legge n. 1158 del 1971, si esprime entro i successivi trenta giorni".*

Con riferimento al citato Art. 3, comma 2 del D.L. n. 35, del 31 marzo 2023, il CS esprime dunque il proprio parere sulla RP che integra il Progetto Definitivo (PD) redatto ai sensi del D.L. 20 agosto 2002, n. 190 ed approvato dal Consiglio di Amministrazione della Società concessionaria il 29 luglio 2011, *"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. 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, 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 di materiali di costruzione;*
- f) *alle prove sperimentali richieste dal parere espresso dal Comitato scientifico di cui all'art. 4, comma 6, della Legge 17 dicembre 1971, n. 1158, sul progetto definitivo approvato dal Consiglio di amministrazione della società il 29 luglio 2011."*

Le considerazioni, osservazioni e raccomandazioni contenute nel Parere del CS, si inseriscono nell'ambito dell'organizzazione di cui si è dotata la Società Stretto di Messina per garantire quanto sancito dal D.L. n. 35 del 2023, che si articola nelle seguenti fasi:

- 1- fase di presentazione, il Contraente Generale (CG) sottomette la RP così come previsto dal D.L. n. 35 del 2023;
- 2- fase di verifica, la Società coadiuvata dall'Expert Panel (EP) e dal Project Management Consultant (PMC), procede alla verifica di tutta la documentazione costituente la RP;
- 3- fase di approvazione, sulla base delle istruttorie e dei pareri acquisiti sulla RP, il CS elabora e trasmette il proprio parere al Consiglio di Amministrazione di SdM, il quale potrà così esprimersi sulla sua approvazione.

Sulla base della struttura organizzativa sopra sintetizzata, i compiti e le responsabilità connessi alle integrazioni al PD contenute nella RP, così come previsto all'Art. 3 del D.L. 35/2023, risultano così articolati:

- a) la redazione e le relative responsabilità del progetto sono interamente del CG e dei suoi sub affidatari consulenti e fornitori;
- b) il controllo dei contenuti della Relazione del Progettista e la loro rispondenza al D.L. 35/2023 sono responsabilità del PMC (Parsons), che ha il compito di verificarne completezza, coerenza e adeguatezza;
- c) la responsabilità che le attività del CG e del PMC siano svolte in modo completo e soddisfacente alle clausole contrattuali è di SdM.

Al CS è demandato il compito di esperire attività di consulenza tecnica per conto del Consiglio di amministrazione di SdM, anche ai fini della supervisione delle attività tecnico-progettuali in ordine alla RP e, successivamente, al Progetto Esecutivo (PE), comprensivo di eventuali varianti.

Da quanto sopra si evince che il CS:

- 1) ha il compito formale di certificare che l'intero processo di verifica della RP sia svolto in maniera corretta, ciò escludendo ogni responsabilità sui contenuti e sulle scelte progettuali operate dal CG;
- 2) ha compiti di alta consulenza nei riguardi di problematiche specifiche che venissero sottoposte dalla Società Stretto di Messina;
- 3) può svolgere funzione di stimolo a effettuare studi o indagini per approfondire la conoscenza di aspetti di particolare importanza, che possono anche generare attività di ricerca e sviluppo.

### **III. Composizione del Comitato Scientifico**

Il Ministro dei Trasporti e delle Infrastrutture, con decreto n. 249 del 4.10.2023, Art. 8, ha nominato quali componenti del Comitato Scientifico:

- Prof. Ing. Claudio Borri, Professore ordinario di Scienza delle Costruzioni, Università di Firenze;
- Prof. Ing. Mauro Dolce, Professore ordinario di Tecnica delle Costruzioni, Università Federico II di Napoli;
- Prof. Ing. Alessio Ferrari, Professore ordinario di Ingegneria Geotecnica, Università di Palermo;
- Prof. Ing. Paolo Fuschi, Professore ordinario di Scienza delle Costruzioni, Università Mediterranea di Reggio Calabria;
- Prof. Arch. Francesco Karrer, già Professore ordinario di Urbanistica, Università di Roma La Sapienza;
- Prof.ssa Ing. Sara Muggiasca, Professoressa associata di Meccanica Applicata, Politecnico di Milano;
- Prof. Ing. Giuseppe Alfredo Muscolino, Professore ordinario di Scienza delle Costruzioni, Università di Messina;
- Prof. Geol. Alberto Prestinanzi, già Professore ordinario di Rischi geologici e Pianificazione territoriale, Università di Roma La Sapienza;
- Prof. Ing. Andreas Taras, Professore ordinario di Tecnica delle Costruzioni - strutture in acciaio e composte, ETH Politecnico Federale di Zurigo.

Il Coordinatore del Comitato Scientifico è stato individuato nella persona del Prof. Geol. Alberto Prestinanzi. In caso di assenza o impedimento, la funzione di Coordinatore è svolta dal Prof. Ing. Andreas Taras, componente più giovane del Comitato, ai sensi dell'art.1 del citato D.M..

#### **IV. Attività del Comitato Scientifico**

Il Comitato Scientifico ha effettuato 12 riunioni plenarie, precedute da una informale, di seguito elencate, tenutesi in presenza e/o in modalità mista, oltre la riunione definitiva, convocata via PEC, in data 29 gennaio 2024:

- 6 ottobre 2023: riunione informale con illustrazione del quadro normativo, presentazione dei componenti e descrizione dei compiti del Comitato;
- 12 ottobre 2023: insediamento del Comitato con nomina del Segretario (esterno al Comitato), definizione dei Gruppi di Lavoro e acquisizione formale della documentazione costituente la “Relazione del Progettista” relativa alla consegna effettuata dal Contraente Generale il 30 settembre 2023;
- 20 ottobre 2023: primo confronto sulla Relazione del Progettista tra il Comitato Scientifico ed il Contraente Generale. Alla riunione partecipano su invito anche i rappresentanti di Stretto di Messina S.p.A., i componenti dell’Expert Panel e del PMC;
- 6 novembre 2023: stato di avanzamento delle attività istruttorie condotte dai Gruppi di Lavoro e definizione dei contenuti principali da inserire nel parere, anche in presenza dei componenti dell’Expert Panel. Comunicazione da parte della Società Stretto di Messina dei rappresentanti designati da ANAS, RFI, ITALFERR;
- 13 novembre 2023: stato di avanzamento del lavoro svolto dai Gruppi e discussione collegiale sulla struttura da conferire al parere e sulle modalità di elaborazione congiunta dello stesso;
- 16 novembre 2023: resoconto del Coordinatore sull’incontro tenutosi il 15 novembre tra Stretto di Messina, il Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti e i membri della Commissione Europea ambiente. Analisi dello stato di avanzamento di alcune attività dei Gruppi di Lavoro;
- 21 novembre 2023: elaborazione congiunta della bozza di parere;
- 12 dicembre 2023: incontro con l’Amministratore Delegato di Stretto di Messina e prosecuzione delle attività di revisione della bozza di parere;
- 27 dicembre 2023: esame dei documenti pregressi, con particolare riferimento alle riunioni del Gruppo 1 con il CG;
- 4 gennaio 2024: stato di avanzamento del parere con esame complessivo dei contenuti;
- 11 gennaio 2024: esame del parere con particolare riferimento ai punti da a) ad f) - art. 3, comma 2, del D.L. n. 35/2023;
- 12 gennaio 2024: incontro con la prof.ssa Maria Pia Repetto, il prof. Massimiliano Burlando, entrambi dell’Università degli Studi di Genova, e il prof. Giorgio Diana, membro dell’Expert Panel. Attività di revisione della bozza di parere;
- 24 gennaio 2024: esame conclusivo del parere.

#### **V. Costituzione dei Gruppi di Lavoro**

La complessità del Progetto e i ridotti tempi disponibili hanno imposto al CS di organizzare le attività istruttorie creando cinque Gruppi di Lavoro (GdL). Di seguito si riportano per ciascun GdL le tematiche di competenza, i componenti, tra i quali un relatore (sottolineato qui di seguito) e il referente di SdM. L’attività dei GdL si è avvalsa, di concerto con la SdM, dei seguenti esperti specialisti: Ing. Antonio Scalmandrè per ANAS, Ing. Luigi Evangelista per ~~Italferr~~, Ing. Roberto

Iacobini per RFI. Ai lavori del CS hanno inoltre partecipato, su invito del Coordinatore, i seguenti componenti dell'Expert Panel nominati dalla SdM: prof. Sascia Canale, prof. Giorgio Diana; prof. Ezio Faccioli; Ing. Giovanni Vaciago;.

- Gruppo 1: modellazione del sottosuolo, blocchi di fondazione e ancoraggio, gallerie, sismica delle costruzioni e del Ponte, in esercizio e durante il montaggio.  
Referenti CS: Ferrari, Dolce, Prestininzi, Fuschi, Muscolino  
Referente SdM: Alessandro Micheli (supportato da Andrea Lattanzi)
- Gruppo 2: completezza e congruenza dei modelli dell'azione del vento e di verifica del Ponte, aerodinamica e/o aeroelastica del Ponte, in esercizio e durante il montaggio.  
Referenti CS: Borri, Fuschi, Muggiasca  
Referente SdM: Achille Devitofranceschi (supportato da Alessandro Piccarreta)
- Gruppo 3: Sovrastruttura (in acciaio) dell'Opera di Attraversamento, verifiche a fatica, manutenzione; percorribilità, sistema di binario, sicurezza stradale e ferroviaria.  
Referenti CS: Taras, Dolce, Muscolino  
Referente SdM: Marco Cerullo (supportato da Massimo Tarquini Guetti)
- Gruppo 4: Robustezza in esercizio (risorse/riserve strutturali di schema), affidabilità, monitoraggio strutturale e geotecnico.  
Referenti CS: Muscolino, Dolce, Ferrari, Borri, Taras  
Referente SdM: Giorgio Micolitti (supportato da Massimo Tarquini Guetti)
- Gruppo 5: Compatibilità ambientale, aspetti legati alla localizzazione dell'opera, inserimento paesaggistico, monitoraggio ambientale (riferimento: Verifica di ottemperanza del progetto definitivo e approvazione varianti sostanziali; Parere CT-VIA n. 1185 del 15/03/2013).  
Referenti CS: Karrer, Prestininzi, Muscolino, Fuschi  
Referente SdM: Ilaria Coppa (supportata da Daniela Perfetti e Giuseppe Cardillo)

I Gruppi di Lavoro del Comitato Scientifico hanno effettuato 25 riunioni, di seguito elencate, tenutesi in presenza e/o in modalità mista, alcune delle quali con la presenza di tecnici del CG e componenti dell'Expert Panel.

**Gruppo 1:**

- 17 ottobre 2023
- 02 novembre 2023
- 13 novembre 2023
- 27 novembre 2023
- 19 dicembre 2023 con i progettisti
- 20 dicembre 2023 con i progettisti

**Gruppo 2:**

- 16 ottobre 2023
- 26 ottobre 2023
- 01 novembre 2023
- 02 novembre 2023 con i progettisti
- 27 novembre 2023
- 10 gennaio 2024

**Gruppo 3:**

- 19 ottobre 2023
- 02 novembre 2023
- 09 novembre 2023 con i progettisti
- 10 gennaio 2024

Gruppo 4:

- 19 ottobre 2023
- 02 novembre 2023
- 09 novembre 2023 con i progettisti
- 10 gennaio 2024

Gruppo 5:

- 25 ottobre 2023
- 24 novembre 2023
- 07 dicembre 2023
- 15 dicembre 2023
- 22 gennaio 2024

L'attività dei Gruppi di Lavoro e, in generale, dei componenti del CS è stata caratterizzata da un'intensa interlocuzione tramite posta elettronica, video chiamate, con varie piattaforme informatiche per la reciproca consultazione in remoto, al fine di redigere il presente documento.

## VI. Parere del precedente Comitato Scientifico (CS-2011)

Al fine di inquadrare gli ambiti e le attività del CS nell'elaborazione del Parere sulla RP, è fondamentale analizzare il Parere sul PD espresso dal CS-2011, rispetto al quale le attività del CS si pongono in continuità, ferma restando la chiusura del processo approvativo del PD 2011 con il Parere del CS-2011 emesso il 23 maggio 2011. Infatti, a questo CS sono assegnati gli stessi compiti generali, sebbene da sviluppare in fasi diverse del processo progettuale (*"esperire attività di consulenza tecnica, anche ai fini della supervisione e dell'indirizzo delle attività tecniche progettuali; rendere parere in ordine al progetto definitivo ed esecutivo dell'opera ed alle varianti"* – Legge 17 dicembre 1971, n. 1158 e s.m.i.).

Il CS-2011 operava a partire dalla seduta di insediamento avvenuta in data 12 luglio 2010 fino a quella conclusiva del 23 maggio 2011.

Nel suddetto Parere venivano evidenziati i compiti di Parsons, nel ruolo di Project Management Consultant, cioè *"l'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"*. In particolare, l'attività di validazione era demandata da Parsons a RINA S.p.A., che operava come sub-contraente. Al PMC era anche richiesta, con processo autonomo e separato, l'attività detta *"independent check"*, consistente, nella sostanza, 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 sostanzialmente una doppia progettazione, una del CG e una del PMC.

Inoltre, SdM aveva affiancato al suo gruppo di tecnici un Expert Panel per "problematiche aeroelastiche, sismiche, geotecniche e ambientali, con il compito di assisterla per problemi particolari soprattutto nel caso di eventuali discrepanze tra i risultati ottenuti da Eurolink e quelli prodotti dal PMC".

Nella procedura di verifica del PD (Documento GCG.F.01.01-rev.1-7 ottobre 2004) si prevedeva che "una volta validato, l'intero Progetto Definitivo verrà sottoposto ad Istruttoria presso il Comitato Scientifico del Committente ed alla approvazione del Consiglio di amministrazione del Committente ai fini della trasmissione del Progetto definitivo ai Soggetti coinvolti nelle procedure di valutazione e di approvazione presso il CIPE".

Come chiaramente sintetizzato nel Parere del 2011, SdM si era riservata il compito di verificare il PD servendosi di una serie di differenti apporti gestionali e tecnici, sia interni che esterni, operando secondo cinque fasi:

1. *fase di presentazione*, a cura del CG;
2. *fase di verifica*, da parte di SdM coadiuvata dal suo gruppo di esperti e dal PMC (Parsons);
3. *fase di vidimazione*, da parte di SdM a seguito delle verifiche effettuate;
4. *fase di validazione*, da parte del soggetto validatore (RINA S.p.A.);
5. *fase di approvazione*, da parte del Consiglio di Amministrazione di SdM, previo parere del CS.

In sostanza, lo stesso CS-2011 sintetizzava, nel suo Parere, "compiti e responsabilità nei riguardi della progettazione definitiva dell'Opera" come segue:

- 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".*

In definitiva, il CS-2011 elencava nel suo Parere i propri compiti come segue:

*"Da quanto sopra riportato appare chiaramente che il Comitato Scientifico:*

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".*

Nell'esprimere il proprio parere, il CS-2011 aveva "ritenuto opportuno formulare una *Check List* nella quale è elencata una serie di requisiti dedotti dalle specifiche tecniche sopra richiamate, e una serie di commenti e richieste di approfondimento (...)".

Nelle Considerazioni Conclusive del Parere il CS-2011 dichiarava 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".

Veniva altresì evidenziata 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".

Nella formulazione finale del suo Parere il CS-2011 ha fornito una serie di raccomandazioni relative alla fase di progettazione esecutiva concernenti "l'adempimento di tutte le raccomandazioni così come esplicitate nelle tre parti 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", segnalando in particolare 13 (da a) a o)), esplicitate puntualmente nei "considerato" del Parere stesso.

Nel Parere del 2011 il CS-2011 ha in conclusione certificato che "l'intero processo di verifica, *vidimazione e validazione* del Progetto Definitivo si è svolto in modo sufficiente e corretto ed esprime, sempre all'unanimità, parere positivo sul Progetto Definitivo dell'Opera".

## VII. Iter metodologico seguito dal Comitato Scientifico per l'espressione del Parere

Come richiamato nel precedente paragrafo di inquadramento normativo, ai sensi del D.L. 35/2023 il CS "esprime, in particolare, parere al Consiglio di amministrazione della società in ordine al progetto definitivo ed esecutivo dell'opera e delle varianti". Con riferimento alla fase attuale, di riavvio delle procedure per la realizzazione dell'opera, il CS esprime Parere al Consiglio di Amministrazione della Società concessionaria sulla "relazione del progettista attestante la rispondenza al progetto preliminare e alle eventuali prescrizioni dettate in sede di approvazione dello stesso (...)", che indica "le ulteriori prescrizioni da sviluppare nel progetto esecutivo al fine di adeguarlo" ai sei punti (da a) a f)) di cui all'art.3 c. 2 dello stesso D.L., riportati testualmente nel suddetto paragrafo di inquadramento normativo.

Il D.L. 35/2023, pertanto, circoscrive molto chiaramente l'ambito di attività del CS, rispetto all'ambito molto più ampio di valutazione della progettazione definitiva, su cui ha espresso il proprio Parere il CS-2011 in data 23 maggio 2011.

Coerentemente con il dettato normativo, il CS ha assunto come punto di partenza le conclusioni di tale Parere 2011, concentrando la propria attività sui sei punti da a) a f) di cui all'art.3 c. 2 dello stesso D.L., che pongono l'attenzione su quanto, in termini di norme tecniche per le costruzioni, norme in materia di sicurezza, manuali di progettazione, compatibilità ambientale, evoluzione

tecnologica e di materiali da costruzione, rispetto al corrispondente quadro di riferimento nel quale si era sviluppato il Progetto Definitivo del 2011, possa richiedere approfondimenti in sede di progettazione esecutiva, insieme alle stesse raccomandazioni e prescrizioni poste dal CS-2011, oltre che dal PMC e dall'Independent Check, per i successivi sviluppi in fase esecutiva. Nella RP i diversi aspetti relativi ai sei punti da a) a f) sono stati puntualmente trattati, così che il documento di riferimento fondamentale per l'analisi svolta dal CS ai fini dell'espressione del suo Parere è costituito proprio dalla RP e dalle raccomandazioni finali del CS-2011, riportate, insieme a quelle proposte dal PMC e dall'Independent Check, in un apposito documento (GER0328).

Per consentire al CS di esprimere il proprio Parere, SdM ha fornito al CS la suddetta RP, in occasione della prima riunione plenaria di insediamento del 12.10.2023, acquisita dal CG il 30.09.2023 (documento GER0326). I successivi aggiornamenti della RP sono stati emessi in data 20.10.2023, 10.11.2023, 30.11.2023 e la versione finale in data 20.01.2024. Contestualmente è stato reso disponibile anche il Parere espresso il 23 maggio 2011 dal CS-2011. SdM ha altresì reso disponibili, attraverso la condivisione in apposita piattaforma informatica, la documentazione attinente al PD sviluppata fino al 2011, tra cui in particolare: gli elaborati del PD, i pareri sul PD espressi dai membri dell'Expert Panel di SdM operativo fino al 2011, le raccomandazioni per lo sviluppo del PE poste dal CS-2011, nonché quelle poste dal PMC, dall'Independent check e dal validatore RINA S.p.A. (documento GER0328), da sviluppare nel Progetto Esecutivo con le risposte e i chiarimenti forniti dal CG nel 2023 su come intende ottemperare a tali prescrizioni.

Alla luce della straordinarietà dell'Opera di Attraversamento, il CS ha rivolto particolare attenzione alla verifica dei contenuti della RP anche alla luce delle più aggiornate ed innovative conoscenze in materia di sicurezza, materiali e, in generale, all'evoluzione tecnologica degli ultimi 10 anni. Per le Opere a Terra, considerato il loro carattere ordinario, si è provveduto alla verifica delle proposte presenti nella RP rispetto al mutato quadro normativo nazionale (NTC2018). 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 l'Opera di Attraversamento, l'esame della RP ha richiesto alcune approfondite verifiche sugli elaborati del PD, nonché interazioni con SdM, con il gruppo di progettazione del CG, con PMC e i componenti dell'Expert Panel, avvenute sia nelle riunioni plenarie, sia in occasione delle riunioni promosse dai Gruppi di Lavoro.

Con riferimento ai punti a) - f) di cui all'art. 3 c. 2 del D.L. 35/2023, si rileva come le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018) incidano solo per alcuni aspetti della progettazione, essendo prevalente per molti altri il contenuto dei Fondamenti Progettuali. Il CS ha rilevato inoltre come, in particolare, i punti d) ed e) del citato D.L. richiedessero una attenta considerazione in relazione ad alcuni aspetti specifici da sviluppare in fase di Progettazione Esecutiva. Coerentemente con il dettato del punto f) infine, il CS, nel prendere atto e condividere le raccomandazioni del CS-2011, anche con riferimento alle prove sperimentali da effettuare, ha ritenuto altresì di esaminare le risposte e i chiarimenti forniti nel 2023 dal CG per verificarne la congruenza e l'accettabilità delle soluzioni proposte, e ciò in continuità con l'azione del CS-2011

## **VIII. Articolazione del Parere**

Il presente Parere è organizzato in tre Sezioni:

- nella prima Sezione, si esamina la RP, valutandone la coerenza con le sue finalità e formulando considerazioni, osservazioni e raccomandazioni coerentemente con i punti da a) a f) di cui all'art. 3 c. 2 del D.L. 35/2023;
- nella seconda Sezione, le raccomandazioni argomentate in precedenza vengono sintetizzate in forma di elenco;
- nella terza Sezione è formulato il dispositivo finale del Parere del CS al Consiglio di Amministrazione di SdM.

Completa il documento un'Appendice con le osservazioni del CS alle soluzioni/strategie proposte dal CG in ottemperanza alle raccomandazioni per il PE contenute nel parere del CS-2011.

## **1. CONSIDERAZIONI, OSSERVAZIONI E RACCOMANDAZIONI DEL COMITATO SCIENTIFICO SULLA RELAZIONE DI AGGIORNAMENTO DEL PROGETTO DEFINITIVO PRESENTATA DAL CONTRAENTE GENERALE**

Le attività istruttorie svolte dai GdL specificati in premessa hanno condotto alle considerazioni, osservazioni e raccomandazioni del CS conseguenti alla disanima della RP (GER0326), relative alle tematiche di competenza dei suddetti GdL e di seguito analizzate separatamente per i punti da a) sino ad f) di cui all'art. 3, comma 2 del D.L. n. 35, del 31 marzo 2023.

- a) **Adeguamento alle norme tecniche 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**

Il Capitolo 3.1 della Relazione del Progettista (GER0326) tratta delle prescrizioni da sviluppare nel PE ai fini dell'adeguamento alle norme tecniche per le costruzioni NTC2018, di cui al decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti del 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.

Il CS sottolinea preliminarmente come nel trattare gli aspetti oggetto di tale Capitolo, la RP distingue le prescrizioni normative relative all'*"Opera di Attraversamento"* da quelle più specificatamente riferibili alle *"Opere a Terra"*. Molti aspetti progettuali dell'Opera di Attraversamento, infatti, assumono una gerarchia superiore rispetto alle normative nazionali riferibili alle NTC2018, e sono estesamente trattati nei *"Fondamenti Progettuali e Prestazioni Attese per l'Opera di attraversamento – 2004"* (di seguito Fondamenti) come successivamente integrato in sede di PD dai documenti PG0024\_F0 *"Fondamenti Progettuali nel quadro delle normative NTC 2008"* e PG0025\_F0 *"Manuale applicativo riferito ai fondamenti progettuali"*. I Fondamenti contengono due classi concettuali di prescrizioni progettuali che rispettivamente integrano le normative nazionali o gerarchicamente prevalgono su di esse e dalle quali è necessario partire per introdurre eventuali elementi che eventi eccezionali degli ultimi anni potrebbero avere evidenziato. Il CG, inoltre, ritiene necessario seguire lo stesso percorso, con la redazione propedeutica al PE di due documenti analoghi, che contengano, rispettivamente, le variazioni intervenute con l'entrata in vigore delle NTC2018, nel primo, e tutti i necessari aggiornamenti che derivino anche da regole di progettazione specifiche di cui ai manuali di progettazione attualmente in uso, nonché di ogni altro aggiornamento conseguente alla evoluzione tecnologica, nel secondo.

Per quanto riguarda la valutazione delle azioni sismiche di progetto per l'Opera di Attraversamento, gli spettri di risposta elastica definiti nei Fondamenti per il PD del 2011 sono riferiti ad accelerazioni a terra di ancoraggio degli spettri pari rispettivamente a  $5,7 \text{ m/sec}^2$  e  $6,3 \text{ m/sec}^2$ , per gli stati limite ultimo, SLU, e di integrità strutturale, SLIS. Tali spettri sono considerati validi per terremoti in *near field* di magnitudo momento 7,0. Le analisi effettuate per il PD hanno utilizzato tali spettri e alcuni accelerogrammi sintetici con essi compatibili. Successivamente al 2004, si sono verificati in Italia alcuni terremoti in cui l'accelerazione di picco al suolo (PGA) registrata in alcuni siti ha superato tali valori. È il caso delle sequenze sismiche del 2009 nell'Aquilano e del 2016 nel Centro Italia, in cui le magnitudo momento si sono mantenute tra 6,0 e 6,5, quindi decisamente inferiori alla magnitudo di riferimento per l'Opera di Attraversamento. Sarà quindi opportuno valutare il grado di dannosità di questi eventi rispetto alle azioni sismiche di progetto contenute nei Fondamenti, attraverso un confronto tra le forme spettrali, considerando, in particolare, le ordinate in corrispondenza del range di periodi di vibrazione di maggiore interesse per l'Opera di Attraversamento.

Sempre a partire dal 2004, sono numerosi i terremoti avvenuti nel mondo di magnitudo momento vicino al 7,0, anche oggetto di un gran numero di registrazioni, che potrebbero consentire di ampliare il numero di accelerogrammi utilizzabili, sia per un'ulteriore verifica della forma spettrale assunta, in particolare nel range di frequenze di vibrazione di interesse del Ponte, sia per potere effettuare analisi numeriche con integrazione al passo con accelerogrammi naturali, compatibili sia per magnitudo e sia per meccanismo di rottura della faglia con le caratteristiche sismotettoniche dell'area dello Stretto. Si rileva inoltre come in tempi recenti la capacità di generare storie di spostamenti/accelerazioni utilizzando modelli fisici ("physics-based") si sia notevolmente sviluppata.

Pertanto il CS raccomanda che, per le analisi al passo della struttura dell'Opera di Attraversamento, si considerino anche storie temporali generate mediante modelli "physics-based", così da simulare correttamente il non sincronismo del moto applicato alle fondazioni delle pile e agli ancoraggi delle funi e tenere correttamente conto del contenuto in frequenze nel campo di quelle particolarmente basse, vicine alle frequenze dei primi modi di vibrazione del Ponte, non sempre misurate con sufficiente accuratezza nelle registrazioni di terremoti reali. Per rispettare la coerenza dell'approccio, le storie temporali delle accelerazioni, nelle tre direzioni principali relative sia a eventi reali registrati nel passato sia a eventi generati con modelli physics-based, richiedono l'adozione di coefficienti di combinazioni unitari in quanto esse riproducono esattamente il moto al suolo che si è verificato o si potrebbe verificare coerentemente con il modello fisico adottato.

Per ciò che attiene le azioni dovute al vento, le variazioni introdotte dalle NTC2018 non sono applicabili per l'Opera di Attraversamento in quanto, per quest'ultima, le azioni del vento utilizzate derivano da campagne di rilevamento *in situ*, come previsto dai "Fondamenti".

Con riferimento al Capitolo 6 – PROGETTAZIONE GEOTECNICA, delle NTC 2018, 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. L'analisi prevista dal CG in sede di PE si articolerà in cinque filoni principali:

- a) geologia dell'area: approfondimento della conoscenza dei depositi di fondazione dei piloni e degli ancoraggi del Ponte, della tettonica attiva e della sismicità recente dell'area dello Stretto di Messina, basandosi su studi recenti;
- b) terremoto del 1908: considerazione delle diverse proposte di sorgente presentate nell'letteratura scientifica;

- c) geodinamica del Mediterraneo centrale: studio dei processi di subduzione, della relazione tra l'area ionica e quella tirrenica e delle caratteristiche del vulcanismo attivo e quiescente nel Mediterraneo centrale;
- d) pericolosità da maremoto: aspetto non approfondito nel PD ma da considerare per valutare l'eventuale l'impatto sulle opere di collegamento del Ponte e, soprattutto, i rischi durante la costruzione;
- e) geologia dei fondali marini: integrazione degli studi più recenti sui fondali marini dello Stretto di Messina e delle zone limitrofe, considerando recenti studi su fagliazione, depositi e forme come possibili indicatori di attività tettonica recente.

Con riferimento ai citati filoni di attività, il CS concorda con la necessità di approfondimenti secondo quanto proposto nella RP.

La RP elenca poi le banche-dati sismologiche e sismotettoniche aggiornate dopo il 2010 da considerare ai fini del PE, quali, tra le altre: il *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani* (CPTI15), il *Database Macroseismico Italiano* (DMBI15) e l'*Archivio Storico Macroseismico Italiano* (ASMI). Si menziona anche l'importanza del *3D Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS) e della banca dati ITHACA. Inoltre, sono citati studi quali il *Catalogo degli Effetti Deformativi al suolo* (CEDIT), l'*Atlante CFTI Visual* per terremoti storici italiani e la banca dati *CFTI Landslides* sulle frane sismo indotte. L'*Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia* (IFFI), che fornisce ulteriori dettagli sulla distribuzione in piccola scala dei fenomeni franosi.

La RP fa poi riferimento alle attività di microzonazione sismica svolte nelle zone interessate dai lavori e le linee guida emanate per studi sismo tettonici sulle dighe (Circolare DG Dighe 27/9/2017 n. 21530). La RP conclude affermando che il PE sarà quindi supportato da un adeguato insieme di dati aggiornati e dettagliati riguardanti aspetti geologici, sismo tettonici e di microzonazione sismica. Tutti i riferimenti a studi e banche dati sono riportati in un'ampia bibliografia. Al termine di questa disamina, il progettista presume che, in base alle evidenze, non ci saranno impatti significativi sul PE e in particolare sull'Opera di Attraversamento.

Il CS ritiene che le strategie proposte dal Progettista siano condivisibili; allo stesso tempo raccomanda di completare il quadro di riferimento sopra descritto, integrando la bibliografia di riferimento con l'aggiornamento del modello europeo di pericolosità sismica, ESHM20 (Danciu et al. 2021)<sup>1</sup>, fermo restando che per le opere a terra la pericolosità di riferimento è definita dalle NTC2018, invariata rispetto alle NTC2008. Per quanto riguarda la microzonazione sismica, si segnala che le attività svolte in Italia a tale riguardo hanno fatto riferimento agli *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica* (Gruppo di lavoro MS, 2008), come descritto in Dolce et al. (2019), e Moscatelli et al. (2020)<sup>2</sup>. Gli studi di microzonazione sismica di livello 3, qualora disponibili nelle aree interessate dalle opere a terra, potranno offrire un primo contributo conoscitivo alla

<sup>1</sup>Danciu L., Nandan S., Reyes C., Basili R., Weatherill G., Beauval C., Rovida A., Vilanova S., Sesetyan K., Bard P-Y., Cotton F., Wiemer S., Giardini D. (2021) - The 2020 update of the European Seismic Hazard Model: Model Overview. EFEHR Technical Report 001, v1.0.0, <https://doi.org/10.12686/a15>

<sup>2</sup> Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Gruppo di lavoro MS (2008). Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Dipartimento della Protezione Civile, Roma.

Dolce M., Bramerini F., Castenetto S. & Naso G. (2019). The Italian policy for Seismic Microzonation. 7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (VII ICEGE). Earthquake Geotechnical Engineering for Protection and Development of Environment and Constructions – Silvestri & Moraci (Eds) © 2019 Associazione Geotecnica Italiana, Rome, Italy

Moscatelli M., Albarello D., Scarascia Mugnozza G., Dolce M. (2020). The Italian approach to seismic microzonation. Bulletin of Earthquake Engineering. S.I.: Seismic Microzonation of Central Italy. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00856-6>

definizione, da parte del progettista, delle azioni sismiche di progetto, fermo restando che, come previsto nelle NTC2018, saranno eventualmente necessarie analisi della risposta sismica locale per il sito della singola opera. Inoltre, per quanto riguarda gli approfondimenti necessari in fase di PE sulla geologia dei fondali marini dello Stretto di Messina e dei settori adiacenti presente nella RP, si segnala la disponibilità dei dati derivanti dai Progetti MAGIC 1 e MAGIC 2<sup>3</sup>, promossi dal Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri.

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 NTC2018 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.

Il CS concorda con l'analisi del Progettista; tuttavia, ritiene opportuno sottolineare alcuni elementi che dovrebbero essere considerati durante la fase di PE:

- i. Con riferimento alla progettazione geotecnica, si riscontra che le novità introdotte dalle NTC2018 riguardano principalmente la ridefinizione degli approcci e delle combinazioni per le verifiche e la ridefinizione delle classi di sottosuolo ai fini dell'identificazione delle azioni sismiche. Tali modifiche sembrano non comportare nuove considerazioni sugli studi svolti in fase di PD. Allo stesso tempo, la redazione del PE consentirà di approfondire la caratterizzazione geomeccanica delle formazioni coinvolte; in tale senso si raccomanda:
  - a. La pianificazione e l'esecuzione di nuove prove geomeccaniche su provini indisturbati prelevati alle diverse profondità di interesse, e testati a valori di confinamento che ricoprono gli intervalli di tensioni efficaci rappresentativi di tutte le condizioni di carico utilizzate nelle verifiche e nelle analisi. La campagna da eseguire nell'ambito del PE dovrà essere condotta al fine di estendere le misure disponibili su materiale non ricostituito per la definizione dei valori di progetto. Si raccomanda in particolare di: 1) approfondire lo studio delle resistenze di picco e degli angoli di dilatazione, ad oggi ottenuti principalmente da correlazioni, e quantificare il comportamento di softening post-picco; 2) affinare la valutazione dell'indice di tensione laterale a riposo tramite opportune prove triassiali (anche per superare le assunzioni relative ai precarichi geologici (e.g. 70m o 100m)); 3) quantificare le rigidezze su tutto l'intervallo di tensioni anche a mezzo di prove di compressione isotrope ed edometriche; 4) estendere i dati di misura diretta degli indici di porosità per affinare la calibrazione delle relazioni utilizzate per il calcolo dei pesi dell'unità di volume e delle densità relative. I risultati della sperimentazione, insieme a quelli ottenuti nelle fasi precedenti, dovranno essere utilizzati per una esaustiva validazione dei modelli costitutivi utilizzati nelle analisi agli elementi finiti (EF) su tutto il campo di tensioni interessate e con riferimento ai percorsi di sollecitazione rilevanti.
  - b. La quantificazione sperimentale dei parametri meccanici di interfaccia (tra terreni e strutture) da utilizzare sia nelle modellazioni agli EF, che nell'analisi degli spostamenti dei blocchi di ancoraggio.
  - c. La quantificazione sperimentale delle proprietà meccaniche dei terreni trattati con jet-grouting utilizzate nelle modellazioni agli EF delle fondazioni delle torri e dei blocchi di ancoraggio.

<sup>3</sup> (<https://www.protezionecivile.it/it/approfondimento/progetto-magic-marine-geohazards-along-italian-coasts/>).

- 
- ii. Per quanto riguarda lo spostamento dei blocchi di ancoraggio modellati come blocchi rigidi, considerata la potenziale sensibilità del metodo di Newmark rispetto alla scelta dei parametri e alle caratteristiche dell'azione sismica, sarà opportuno estendere le verifiche svolgendo analisi parametriche che considerino range significativi dei parametri geotecnici e geometrici (ad esempio, l'inclinazione del piano basale) ed utilizzando le registrazioni più recenti (nel range di magnitudo di interesse) e/o ottenute con modellazione fisica. Si ravvisa nuovamente la necessità di una migliore caratterizzazione dei parametri di interfaccia utilizzati in queste analisi.
  - iii. Sarà opportuno considerare l'estensione dell'utilizzo della modellazione ad EF 3D (ad oggi impiegata principalmente ai fini delle verifiche statiche e pseudo-statiche) anche all'analisi della risposta delle sottostrutture in presenza di sollecitazione sismica, tenendo conto degli eventuali effetti ciclici sulla variazione dei parametri geomeccanici dei terreni di fondazione. In particolare, il confronto del calcolo degli spostamenti dei blocchi di ancoraggio con modellazione ad EF in campo dinamico ed il metodo di Newmark, contribuirà alla verifica dei campi di spostamento attesi attraverso l'utilizzo di metodi di calcolo alternativi.

Per quanto riguarda la progettazione e la posa in opera delle sovrastrutture in acciaio dell'Opera di Attraversamento (ovvero le torri, gli impalcati stradali e quello ferroviario, i cavi principali, i pendini, le selle, gli ancoraggi dei cavi, i buffers) il progettista ritiene che i puntuali aggiornamenti del progetto dovuti all'introduzione delle NTC 2018 potranno essere affrontati in fase di PE senza modificare l'assetto e le caratteristiche principali dell'Opera. Infatti, il quadro normativo riguardante le tipologie di materiali da costruzione, i metodi di progettazione e le tecniche di costruzione per la carpenteria metallica, la loro esecuzione in officina e la loro posa in opera hanno subito modifiche di carattere puntuale, sia nelle NTC stesse che nelle normative europee di riferimento (gli Eurocodici per la progettazione strutturale, le normative della serie EN 10025 e 1021x per gli acciai strutturali e la EN 1090-x per l'esecuzione della carpenteria metallica).

Il CS concorda in linea generale con questa valutazione del progettista, ritiene però opportuno evidenziare alcuni aspetti da tenere in particolare considerazione durante la progettazione esecutiva:

- i. Con riferimento agli acciai da carpenteria da utilizzare per la realizzazione dell'impalcato e delle torri del Ponte è da notare che, in confronto ad altre normative europee ed internazionali per la progettazione di ponti, le NTC2018 (come anche le precedenti NTC2008) sono particolarmente restrittive riguardo all'uso di acciai di alta resistenza, quindi di resistenza meccanica superiore a quella del grado S460, richiedendo l'autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale (STC) presso il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (C.S.LL.PP.) per l'utilizzo di questi acciai nella realizzazione di elementi strutturali portanti. Congruamente, nel PD del Ponte si prevede l'uso di lamiere in acciaio a grano fine ottenute mediante laminazione termomeccanica secondo la normativa europea EN 10025-4, partendo dal grado S355ML e fino - ma non oltre - al grado S460ML. Si tratta quindi di acciai di altissima resilienza all'impatto a basse temperature (specificata dalla designazione "ML") ed ottima lavorabilità e saldabilità, ma di resistenza meccanica convenzionale.

Le lamiere destinate all'uso nella sovrastruttura variano di spessore, raggiungendo – nelle torri – valori di 150mm per l'acciaio S355ML e 110mm per l'acciaio S460ML. È risaputo che, per motivi collegati alla procedura di laminazione dell'acciaio, a parità di grado (e quindi per materiali prodotti dalla stessa colata e dallo stesso semilavorato siderurgico) la resistenza meccanica diminuisce con l'incrementare dello spessore della lamiera o della parete di un profilo laminato. Sia la normativa di prodotto UNI EN 10025-4 che le NTC2018 riflettono questa

circostanza, indicando valori minimi garantiti della tensione di snervamento o della tensione di rottura i quali diminuiscono con l'incremento dello spessore della lamiera.

Nel PD del 2011 il progettista ha assunto valori per le tensioni di snervamento e di rottura a trazione per lamiere di spessore elevato che vanno oltre i valori minimi garantiti specificati nella UNI EN 10025-4 ed i valori di progetto contenuti nelle NTC2008 e NTC2018. In modo particolare, il progettista ha specificato che entrambi questi valori di resistenza del materiale dovranno rimanere costanti per tutti gli spessori di lamiera, mantenendo quindi il maggiore dei valori minimi garantiti, specificato nella normativa per gli spessori più sottili, per ogni spessore utilizzato: per esempio, per l'acciaio S460ML, il valore di progetto della tensione di snervamento usato nel PD è quindi pari a 460 N/mm<sup>2</sup> per tutti gli spessori di lamiera. In principio, questo tipo di richiesta specifica sulla resistenza degli acciai era possibile secondo le NTC2008, valide all'epoca della stesura del PD. Infatti, le NTC2008, al punto 11.3.4, aprivano alla possibilità di utilizzare in sede di progettazione dei valori di resistenza derivati da "specifici studi statistici di documentata affidabilità", senza però entrare nello specifico di questa metodologia e rimandando comunque all'uso dei valori minimi riportati nelle normative "in favore di sicurezza". Con l'introduzione delle NTC2018, questo riferimento a "studi statistici" è stato eliminato dal contesto specifico della definizione delle resistenze meccaniche dell'acciaio strutturale e si è passati all'approccio standard oggi in uso, basato sul sistema di controllo di qualità di prodotto definito nelle norme della serie EN 10025-x. In questo modo, si è tenuto conto implicitamente anche del fatto che, oggi, le normative per la produzione dell'acciaio prevedono una fine gradazione delle classi di resistenza, rendendo quindi normalmente inutile una deviazione dai valori garantiti in normativa. Ciò nonostante, le NTC2018 non escludono la possibilità di determinare valori di progetto delle resistenze dei materiali in modo alternativo a quanto specificato nelle normative di prodotto: infatti, al §4.2.7 "Progettazione Integrata da Prove e Verifica Mediante Prove" si prevede l'uso di prove sperimentali sui materiali e sui prodotti per sviluppare o validare valori di progetto per le resistenze meccaniche, e si fa riferimento all'Appendice D dell'Eurocodice UNI EN 1990, la quale riporta metodi di verifica e determinazione statistica per queste quantità.

Il CS raccomanda che in sede di PE si tenga conto dell'attuale quadro normativo e si specifichino i requisiti meccanici per gli acciai in modo congruo alle normative attualmente vigenti. Per fare questo, in fase di PE il progettista potrà scegliere tra uno dei seguenti approcci:

- a. utilizzare acciai di gradi non superiori a S460, usando come valori di progetto delle resistenze meccaniche i valori minimi garantiti riportati nelle normative armonizzate (UNI EN) o in specifiche valutazioni tecniche di prodotto (ETA) europee per la produzione e descrizione delle prestazioni dell'acciaio, oppure i valori riportati nelle NTC2018 stesse;
- b. richiedere apposita autorizzazione al STC presso il C.S.LL.PP. per utilizzare acciai di grado superiore all' S460ML atti a rispettare i requisiti progettuali espressi in sede di PD, come per esempio il grado S500ML recentemente introdotto nella normativa europea EN10025-4 che, pur avendo resistenza maggiore anche a spessori di lamiera elevati, risulta identico al grado S460ML nelle sue caratteristiche chimiche, nella saldabilità e nella resilienza all'impatto;
- c. fare uso della "progettazione integrata da prove" di cui al §4.2.7 delle NTC2018. In questo caso sarà necessario seguire procedure di qualificazione del processo di produzione dei prodotti laminati di spessore elevato, atte a dimostrare la conformità degli acciai ai requisiti di sicurezza e di qualità espressi dai Fondamenti Progettuali e dalle NTC.

Oltre a questo aspetto, alla luce dei più attuali sviluppi nel mercato internazionale dei prodotti siderurgici e delle pratiche di produzione e certificazione degli acciai strutturali, il CS ritiene necessario che la progettazione esecutiva tenga debito conto dell'effettiva reperibilità degli acciai da impiegare, raggiungendo un opportuno livello di flessibilità a riguardo.

- ii. Nella struttura del Ponte, in modo particolare nel sistema di sospensione, si farà uso di ingenti quantità di fusioni/getti in acciaio. Con questa tecnologia verranno fra l'altro prodotti i collari, le parti principali delle selle e parti del pendolo di deviazione presso il blocco d'ancoraggio. Ripetendo quanto riportato al §11.3.4.3 delle NTC2018, nella RP si fa riferimento alla normativa europea UNI EN 10293:2015. Il CS evidenzia però che questa normativa tratta della produzione di getti in acciaio per usi meccanici o comunque non-strutturali, mentre la normativa armonizzata europea, conforme con la direttiva UE N° 305/2011 sui prodotti da costruzione, è la UNI EN 10340. Solo quest'ultima normativa, tra le due norme citate, prevede l'applicazione della marcatura CE. Nel PD 2011 si era già considerato in modo corretto il quadro normativo per la produzione di getti in acciaio per uso strutturale. Anche in fase di PE sarà quindi giusto e necessario riferirsi alla normativa UNI EN 10340, al fine di rettificare questa apparente imprecisione nelle NTC 2018.
- iii. Il progettista nota correttamente come le attuali normative europee per l'esecuzione di strutture d'acciaio, in modo particolare la EN1090-1 e la EN 1090-2, richiedano la selezione di "classi di esecuzione – EXC" per gli elementi strutturali. La scelta di EXC determina l'entità, quantità ed intensità delle misure di controllo della qualità di produzione (*production quality control*) da effettuare in officina ed in cantiere, parallelamente o in aggiunta a quanto richiesto dalle NTC 2018 al §11.3.4. A tal proposito si ritiene opportuno sottolineare che tra queste misure rientrano la selezione e documentazione dei controlli sulle saldature nonché la documentazione delle proprietà meccaniche e chimiche degli acciai strutturali impiegati. La scelta delle EXC è quindi un aspetto fondamentale per la documentazione dell'esecuzione dell'opera, e pertanto richiederà, in fase di PE, la collaborazione tra progettista, direzione dei lavori ed altri enti di controllo, nonché la società concessionaria dell'opera, in quanto depositaria finale della documentazione.
- iv. Commentando il §11.4.2 delle NTC 2018, il progettista nota che per i giunti di dilatazione le NTC fanno riferimento alla Valutazione Tecnica Europea ETAG032, ed esprime l'intento di applicare i principi generali di questo documento alla progettazione esecutiva dei giunti d'espansione, pur non ritenendoli rientranti (per dimensioni e caratteristiche) nel campo d'applicazione della ETAG stessa. Il CS fa notare che al posto della ETAG 032 è nel frattempo subentrata una serie di "European Assessment Documents" (EADs), pubblicati dalla European Organisation for Technical Assessment (EOTA) per conto della Comunità Europea. Per giunti d'espansione modulari tipologicamente assimilabili a quelli usati nell'Opera di Attraversamento, l'EAD di riferimento è la EAD 120113-00-0107:08/2019, "Modular Expansion Joints for Road Bridges". Nell'aggiornare i riferimenti progettuali in fase di PE, si raccomanda di fare riferimento a questo documento nonché verificare se sussista tutt'ora motivo di ritenere i giunti d'espansione del Ponte al di fuori del campo d'applicazione dello stesso.
- v. Nella RP si afferma che "per l'Opera di Attraversamento le caratteristiche dei dispositivi idraulici previsti, denominati "buffers" nel PD, per il sistema di vincolo dell'impalcato, sono al di fuori del campo di applicazione della citata EN 15129". La EN 15129 può, in ogni caso, costituire un valido riferimento per definire i requisiti prestazionali e i test a cui i dispositivi devono essere sottoposti. In particolare, nella tab. 5 nel suddetto capitolo vengono stabiliti i limiti di tolleranza sui parametri caratteristici del comportamento di tali dispositivi, quali la forza, la rigidezza e l'energia dissipata. Si ritiene opportuno notare che nelle Figure 2.1 e 2.2 del documento PS0191\_F0 vengono mostrati i diagrammi ideali di comportamento di tali

dispositivi senza però evidenziare le tolleranze rispetto alle curve riportate, da rispettare sia nelle condizioni iniziali, sia nel tempo di vita utile, sia nelle diverse condizioni di funzionamento, di temperatura e di velocità di spostamento, affinché le sollecitazioni trasmesse alle parti strutturali siano quelle attese o comunque compatibili. Il CS raccomanda di valutare le conseguenze delle suddette variabilità che dovranno essere tenute in conto nella redazione del PE.

- vi. Con specifico riferimento ai buffer longitudinali, nel documento PS0191\_F0 del PD si ipotizza un comportamento a vincoli fissi per forze inferiori al 10 MN (*“Al di sotto del valore di soglia di 10 MN, i sistemi di buffer dovranno agire da elemento passivo”*) e elastici per forze superiori. Nella loro massima estensione o contrazione i buffer arriverebbero ad applicare forze dell’ordine dei 30-40 MN su ciascuna gamba delle torri, in funzione dell’entità dello spostamento. Le ipotesi di progettazione non prevedono alcuna dipendenza di questo comportamento dalla velocità dello spostamento, attivando quindi un vincolo quasi-rigido per tutte le azioni variabili in senso longitudinale e rendendo ipotizzabile che l’apparecchio venga attivato anche per effetto delle variazioni di lunghezza dell’impalcato prodotte dalle variazioni termiche, le quali imporrebbero spostamenti estremamente lenti a tali dispositivi. Il vincolo creato in questo modo riduce gli spostamenti all’estremità del Ponte, ma porta anche alla nascita di sollecitazioni di coazione nell’impalcato, e sollecitazioni assiali che possono incidere anche sugli effetti di interazione binario-struttura. Inoltre, stante l’andamento non rettilineo dell’impalcato nel piano verticale, si determinerebbero sollecitazioni flessionali nell’impalcato. In definitiva, il CS ritiene necessario che venga chiarito nella redazione del PE se per spostamenti molto lenti come quelli determinati dalle variazioni di temperatura i buffer longitudinali consentano liberamente o meno lo spostamento delle estremità dell’impalcato. Nel caso in cui tale spostamento fosse contrastato dai buffer longitudinali, occorre valutarne le conseguenze sull’impalcato, anche in relazione alla presenza del binario.

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 NTC2018 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 NTC2018 trattino in maniera più completa il tema della RSL e dell’interazione terreno-struttura rispetto alle NTC2008, 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<sup>4</sup>, come invece paventato in GER0329.

Tra le innovazioni previste per la concezione di strutture civili ed infrastrutturali introdotte dalle NTC2018, una delle più notevoli ed importanti riguarda la maggiore attenzione data al concetto della robustezza strutturale, ovvero la capacità di una struttura portante di “*evitare danni sproporzionati rispetto all'entità di possibili cause eccezionali, quali ad esempio esplosioni, urti*” o altri effetti in grado di provocare improvvise perdite di resistenza in singoli elementi o giunti strutturali. Nelle NTC2018, al §2.2.5 “Robustezza”, vengono elencate diverse strategie di progettazione per assicurare una sufficiente robustezza alla struttura facendo ricorso ad una o più tra le seguenti strategie di progettazione:

- a. *progettazione della struttura in grado di resistere ad azioni eccezionali di carattere convenzionale, combinando valori nominali delle azioni eccezionali alle altre azioni esplicite di progetto;*
- b. *prevenzione degli effetti indotti dalle azioni eccezionali alle quali la struttura può essere soggetta o riduzione della loro intensità;*
- c. *adozione di una forma e tipologia strutturale poco sensibile alle azioni eccezionali considerate;*
- d. *adozione di una forma e tipologia strutturale tale da tollerare il danneggiamento localizzato causato da un'azione di carattere eccezionale;*
- e. *realizzazione di strutture quanto più ridondanti, resistenti e/o duttili è possibile;*
- f. *adozione di sistemi di controllo, passivi o attivi, adatti alle azioni e ai fenomeni ai quali l'opera può essere sottoposta.*

Si osserva come le considerazioni sulla robustezza strutturale determinate dalle NTC2018 si applicano integralmente per le opere a terra, mentre sono gerarchicamente secondarie, rispetto a quanto contenuto a tal proposito nei Fondamenti, per quel che riguarda l'Opera di Attraversamento. Nei Fondamenti, e in particolare nel Par. 6.5, la robustezza strutturale è stata trattata in termini sostanzialmente non troppo diversi da quanto prescritto nelle NTC2018. La robustezza viene definita come “*la capacità di subire limitate riduzioni delle prestazioni in presenza di variazioni rispetto alla configurazione di progetto dovute a danneggiamenti localizzati per azioni accidentali, fuori-servizio di componenti strutturali secondari per manutenzione o decadimento delle proprietà meccaniche*”. Al termine del paragrafo viene detto: “*Per l'inquadramento e la gestione delle verifiche di robustezza, si ritiene necessario lo sviluppo di accurate ed esaurienti analisi relative a: - analisi dei modi di guasto e relativi effetti; - albero dei difetti. I risultati dovranno essere documentati e valutati criticamente dal Contraente Generale*”.

Nella RP si descrive come vari aspetti della progettazione definitiva dell'Opera di Attraversamento abbiano già tenuto conto di questi requisiti. In proposito si rimanda alle ulteriori considerazioni sullo stato dell'arte di cui al successivo punto e). Al punto 3.1.2.1 della RP si afferma che: “*si ritiene opportuno prevedere in sede di Progetto Esecutivo (PE) un incremento della robustezza del sistema dei pendini, ovvero l'introduzione di scenari di contingenza che prevedano la perdita improvvisa di due pendini correnti adiacenti*”. Non v'è dubbio che tale prescrizione è, oltre che nello spirito dei Fondamenti, coerente con le indicazioni delle NTC2018, dando riscontro in modo particolare alla lettera d), sopra richiamata, delle NTC2018 §2.2.5.

<sup>4</sup> Dolce M., Liberatore D., Bonuccelli C., Tralni G. (1998). Seismic Isolation of Railway Bridges. Atti dell'U.S.-ITALY WORKSHOP ON SEISMIC PROTECTIVE SYSTEMS FOR BRIDGES, New York City.

Vista l'importanza data alla tematica della robustezza dalle normative attuali, il CS ritiene che l'insieme di questo gruppo tematico debba essere trattato in modo organico sia nelle analisi strutturali che nelle analisi di rischio, dando un riscontro in fase di PE sulla robustezza della struttura per effetto dei vari scenari considerati in relazione a carichi accidentali estremi o ad improvvise perdite di resistenza in singoli elementi strutturali. Per questo motivo, oltre allo scenario della perdita di singoli pendini, il CS ritiene opportuno che in fase di PE si verifichi la robustezza della struttura del Ponte in maniera più ampia. Questo aspetto verrà approfondito per quanto riguarda l'Opera di Attraversamento al successivo punto e).

Infine, con riferimento al Capitolo 10 delle NTC2018 (redazione dei progetti strutturali e delle relazioni di calcolo), il CS concorda pienamente con quanto asserito nella RP al § 3.1.10.1 e prescritto nei Fondamenti che richiedono, vista l'eccezionalità dell'opera, un controllo incrociato con più codici di calcolo.

**b) Adeguamento alla normativa vigente in materia di sicurezza**

Il Capitolo 3.2 della RP (GER0326) tratta delle prescrizioni da sviluppare nel PE al fine di adeguarsi alle normative vigenti in materia di sicurezza stradale, ferroviaria, impiantistica e antincendio.

Con riferimento alle nuove normative riguardanti gli aspetti della sicurezza stradale, il CS ha acquisito il parere dell'esperto ANAS di supporto, il quale ha precisato che il D.L. 35/2011, in attuazione della direttiva 2008/96/CE riguardante la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali, è intervenuto successivamente alla redazione del PD e prevede, tra l'altro, controlli da parte del MIT/ANSFISA sia in sede di progettazione che in esercizio. In particolare, l'art. 1 comma 1 recita: *"il presente decreto detta disposizioni per l'istituzione e l'attuazione di procedure relative alle valutazioni di impatto sulla sicurezza stradale per i progetti di infrastruttura, ai controlli sulla sicurezza stradale, alle ispezioni di sicurezza stradale e alle valutazioni della sicurezza stradale a livello di rete"*. Il CS, pertanto, evidenzia la necessità di tenere conto delle prescrizioni dettate dal D.L. 35/2011 nella redazione del PE e nelle successive fasi, fino alla messa in esercizio

In tema di pavimentazione degli impalcati stradali, l'esperto ANAS ha fatto notare la mancanza di rilevanti esperienze a livello nazionale per la tipologia realizzativa di pavimentazioni sottili a base di resine. Nella mancanza attuale di norme o manuali a livello europeo, il CS raccomanda che siano acquisiti da parte del Progettista riferimenti normativi sviluppati a partire dal 2011 ad oggi in altri Paesi relativamente all'uso di pavimentazioni sottili (dell'ordine dei 12 mm). Nel documento PS0248 è riportata una lista di ponti in Danimarca e in altri paesi non europei aggiornata al momento della redazione del PD. I 7 ponti danesi, per i quali viene anche fornito sinteticamente l'esito, generalmente positivo, dell'applicazione hanno tuttavia superfici molto contenute, tra i 270 e i 600 mq, non confrontabili con i circa 100.000 mq di superficie degli impalcati stradali del Ponte. I 12 ponti non europei, di cui circa la metà negli Stati Uniti, con superfici di applicazione più significative, sono invece da approfondire. Il CS raccomanda di acquisire una documentazione quanto più completa possibile sulle esperienze applicative ad oggi su impalcati in acciaio a piastra ortotropa, confrontabili con la situazione del Ponte sullo Stretto, in Italia, se ce ne sono, e soprattutto all'estero, in modo da identificare le possibili problematiche riscontrate sia in fase di applicazione, sia in fase di esercizio, sia in fase di riparazione e sostituzione.

Per il progetto dell'Opera di Attraversamento, non potendosi adottare l'armamento su ballast per ovvie ragioni di riduzione dei pesi, si è adottato un armamento di tipo Embedded Rail System (ERS) che consente anche la riduzione delle emissioni acustiche rispetto a un armamento diretto tradizionale. Il CS raccomanda in proposito che l'ERS sia adeguatamente valutato nei riguardi della sicurezza ferroviaria tenuto conto delle esperienze applicative ad oggi possibilmente confrontabili con la situazione del Ponte sullo Stretto, in Italia e all'estero, in modo da identificare le possibili

problematiche riscontrabili sia in fase di applicazione, sia in fase di esercizio, sia in fase di riparazione e sostituzione.

Per quanto riguarda la sicurezza impiantistica, tra le norme di carattere generale richiamate nel par. 3.2.1.3.1 non sono menzionate le NTC 2018, che in particolare trattano dei criteri di progettazione degli impianti rispetto alle azioni sismiche nel par. 7.2.4. Quest'ultimo *"fornisce indicazioni utili per la progettazione e l'installazione antisismica degli impianti, intesi come insieme di: impianto vero e proprio, dispositivi di alimentazione dell'impianto, collegamenti tra gli impianti e la struttura principale"*. Considerando il ruolo cruciale che i diversi tipi di impianti possono svolgere rispetto alla sicurezza non solo dell'esercizio ma anche dell'opera stessa, il CS ritiene che gli effetti del sisma debbano essere valutati nella progettazione degli impianti, siano essi presenti nelle opere a terra, sia nell'Opera di Attraversamento. Inoltre, raccomanda un'attenzione particolare nelle zone di transizione dall'Opera di Attraversamento alla terraferma, a causa dei notevoli spostamenti relativi eventualmente determinati dal terremoto, che potrebbero determinare l'interruzione dei collegamenti con gli impianti presenti sull'Opera di Attraversamento.

**c) Adeguamento alle regole di progettazione specifiche di cui ai manuali di progettazione attualmente in uso, salve deroghe**

Il Capitolo 3.3 della RP tratta delle prescrizioni da sviluppare nel PE al fine dell'adeguamento alle regole di progettazione specifiche contenute nei manuali di progettazione di RFI ed ANAS attualmente in uso, salve deroghe.

Per quanto concerne la progettazione e posa in opera della sovrastruttura ferroviaria, la RP esamina le regole per la progettazione stradale, ferroviaria (armamento), di gallerie e di impianti, (compresi gli impianti nei collegamenti stradali, nelle stazioni ferroviarie, gli impianti di trazione elettrica, le sottostazioni elettriche e gli impianti di segnalamento). Nella RP, il progettista evidenzia che le *"Istruzioni per la progettazione e la costruzione dei ponti ferroviari"*, oggi sostituite dal MdP Ponti e Strutture di RFI, erano state utilizzate, in fase di PD dell'Opera di Attraversamento, solo per alcuni aspetti non disciplinati esplicitamente dai Fondamenti. Questi ultimi forniscono infatti indicazioni complementari o comunque gerarchicamente superiori alle normative nazionali vigenti per le costruzioni. Inoltre, l'MdP è orientato alle tipologie di uso comune nel settore ferroviario e non tiene pienamente conto delle caratteristiche eccezionali dell'Opera di Attraversamento. Anche nella fase di PE, il progettista prevede di prendere in considerazione l'edizione attuale dell'MdP solo per gli aspetti precedentemente regolati dalle istruzioni di RFI in fase di PD. Questi aspetti riguardano la definizione dei modelli di carico ferroviario, gli effetti dinamici, le forze orizzontali dovute a serpeggio, centrifuga, frenatura e avviamento, i gruppi di carico e i coefficienti di combinazione dei carichi. Il progettista non prevede modifiche significative rispetto alla progettazione in fase di PD. Le istruzioni applicate in tale fase, come quelle riguardanti l'analisi dinamica di percorribilità ferroviaria e gli effetti di fatica dovuti al passaggio dei treni, rimangono valide anche nell'attuale edizione dell'MdP. Alcune prescrizioni aggiunte nell'attuale edizione del Manuale erano già state considerate nel PD dell'Opera di Attraversamento, come la limitazione delle emissioni acustiche e la necessità di un sistema di monitoraggio strutturale. Pertanto, il progettista non prevede impatti significativi nel processo di PE conseguenti l'aggiornamento dell'MdP. Il CS concorda al riguardo con le valutazioni del progettista, fatti salvi gli aspetti specifici presi in esame di seguito e ferma restando la necessità di coordinarsi in merito con gli esperti di RFI.

Per quanto riguarda gli effetti dell'interazione statica binario-struttura, i Fondamenti rimandano all'apposito paragrafo delle Istruzioni RFI 44 dell'epoca, i cui contenuti sono stati integralmente ripresi dal MdP attuale (par. 2.5.1.4.5 Effetti di interazione statica Treno-Binario-Struttura) e che sono sostanzialmente allineati con la Fiche UIC 774 - 3 R, la cui ultima versione è del 2002. Nei MdP si afferma: *"Gli effetti dell'interazione binario-struttura in termini di azioni longitudinali trasmesse*

*alla sottostruttura (reazioni vincolari negli appoggi fissi), tensioni supplementari nel binario e scorrimenti relativi binario-impalcato, saranno valutati mediante una serie di analisi di simulazione del comportamento del ponte soggetto alle azioni termiche ed ai carichi orizzontali e verticali del convogli in transito, portando in conto la resistenza ai movimenti longitudinali del binario e la rigidezza della struttura, attraverso un modello di calcolo del tipo riportato in Fig. 2.5.1.4.5.3-1. In alternativa, è possibile effettuare una valutazione semplificata delle reazioni vincolari con il metodo riportato nell'Allegato 3, oppure con il metodo di cui all'Allegato 4 qualora siano rispettate le condizioni ivi elencate".* Per tali condizioni, i metodi semplificati possono applicarsi solamente a ponti e viadotti ferroviari semplici, quali opere a singola campata di luce limitata o opere a più campate semplicemente appoggiate e regolari, e non si possono ovviamente applicare a un'opera peculiare e complessa come è l'Opera di Attraversamento sullo Stretto con una posa di binario anch'essa peculiare, quale l'Embedded Rail System. Analoghi approccio è adottato nella Fiche UIC 774 – 3 R riguardo alla possibilità di applicazione dei metodi semplificati.

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.

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. A questo proposito si ritiene necessario che RFI si esprima su quali valori adottare per le verifiche conseguenti all'analisi di interazione.

Sull'importanza delle prescrizioni del MdP di RFI, oltre che delle NTC2018, sulla progettazione del Viadotto Pantano si è già ampiamente argomentato al punto a), cui si rimanda.

#### d) Adeguamento alla compatibilità ambientale

Le osservazioni e i suggerimenti inerenti il profilo ambientale del Progetto sono espressi sulla base della seguente documentazione: la Relazione del Progettista (GER0326), la "Relazione di sintesi - Analisi metodologica integrata dei contenuti" (RS) trasmessa dal CG in data 13 novembre 2023 a seguito di richiesta del CS avvenuta in data 25 ottobre 2023 e della "Relazione Introduttiva" (RI) (GER0325).

In merito:

- premesso che il CG ritiene sufficiente ed adeguata la conoscenza acquisita del contesto culturale e ambientale interessato dal progetto, ai fini del prosieguo della progettazione;
- tenuto conto della procedura di infrazione 2015/2163 e della lettera di costituzione in mora aperta dalla Commissione Europea contro lo Stato italiano a causa dell'inadempimento degli

obblighi previsti dalla Direttiva 92/43/CEE e, in particolare, della mancata individuazione di obiettivi dettagliati di conservazione specifici per il sito e delle necessarie misure di conservazione;

- visto che il CG esplicita la necessità di tenere conto di tali obiettivi e misure di conservazione per tutti i Siti Rete Natura 2000 interessati dall'Opera di Attraversamento e dalle Opere a terra, puntualmente richiamati dal Progettista ai fini del riavvio delle procedure amministrative di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) e Valutazione di Incidenza Ambientale (VIncA) finalizzate all'ottenimento del giudizio di compatibilità ambientale;
- tenuto conto che tra gli aspetti che incidono profondamente sulla progettazione e valutazione ambientale dell'Opera di Attraversamento e delle Opere a terra, in particolare dello Studio di impatto ambientale (SIA) e dello Studio di incidenza ambientale (SIncA), sono compresi: l'individuazione e lo studio di tutte le componenti ed elementi ambientali con i necessari livelli di approfondimento, i criteri di individuazione e stima degli impatti potenziali e la progettazione degli interventi di inserimento ambientale e urbanistico-territoriale dell'Opera di Attraversamento e delle Opere a terra, nonché le misure di mitigazione puntuali e di gestione ambientale integrata.

Ciò premesso, il CS ritiene che con la RS, e soprattutto con la successiva RI, il CG abbia adeguatamente trattato la complessa ed articolata documentazione predisposta nella presente fase di aggiornamento del PD e, inoltre, abbia dato evidenza dell'approfondimento compiuto in merito al profilo ambientale del progetto, sia rispetto alle principali e specifiche problematiche che rispetto al perfezionamento delle procedure amministrative alle quali il progetto è assoggettato. Alla base delle valutazioni del CG, infatti, è stata posta la ricostruzione del complesso processo amministrativo cui il progetto è stato già sottoposto.

Il CS ritiene altresì di poter esprimere i seguenti commenti sulla documentazione prodotta dal CG ai fini del riavvio delle attività di programmazione e progettazione esecutiva dell'Opera di Attraversamento e delle Opere a terra. In particolare, il CS ritiene che il CG:

- a) abbia ricostruito il complesso processo amministrativo cui il progetto è stato sottoposto nelle fasi precedenti e abbia analizzato adeguatamente i contenuti tecnici alla base delle diverse procedure da riavviare nella presente fase e la tipologia di elaborati da sviluppare ai fini delle medesime procedure, ossia:
  - SIA, per l'ottenimento del giudizio di compatibilità ambientale, comprensivo dei compendi relativi agli *"Indirizzi per l'implementazione del Progetto di monitoraggio ambientale (PMA)"* e al *"Piano di indirizzo per l'utilizzo delle terre e rocce da scavo (PUD)"*;
  - SIncA, ai fini del procedimento di VIncA e dell'espressione del relativo parere nell'ambito del medesimo giudizio di compatibilità ambientale;
  - Relazione Paesaggistica, richiesta dall'art. 23 comma 1 del D.lgs. 152/2006 richiamato dall'art. 3 comma 4 del D.L. 35/2023, così come modificato dalla L. n.58/2023, e necessaria per l'Autorizzazione Paesaggistica (DPCM 12 dicembre 2005);
  - Relazione di Ottemperanza, con riguardo alle prescrizioni avute dalla Delibera CIPE n. 66/2003, nonché con riferimento ai pareri MATTM n. 1185/2013 e MIBAC n. 6933/2013 rilasciati a seguito dei procedimenti ai quali il PD è stato sottoposto nelle fasi precedenti;
- b) abbia correttamente inquadrato, rispetto ai seguenti fondamentali procedimenti, l'*iter* autorizzativo da riavviare nella presente fase:

- Conferenza dei Servizi Istruttoria;
- Valutazione di Impatto Ambientale;
- Verifica di Ottemperanza.

Il CG, con la RI, fornisce una ulteriore ed esauriente ricostruzione dello stato della considerazione dell'interesse ambientale e culturale nel progetto dell'Opera di Attraversamento e delle Opere a terra e delle conseguenti procedure amministrative, VIA, VInCA, Verifica di Ottemperanza, Autorizzazione Paesaggistica, per mezzo della messa a punto:

- a) di una "guida" alla consultazione ordinata ed agevole della intera documentazione tecnico-ambientale per l'attivazione delle procedure istruttorie di cui all'art. 3 del D.L. 35/2023, così come modificato dalla L. n.58/2023, e per la verifica di ottemperanza delle prescrizioni e raccomandazioni, risultate non ottemperate o parzialmente ottemperate nella precedente fase, della Delibera CIPE n. 66 del 1 agosto 2003 di approvazione del Progetto Preliminare;
- b) dell'elencazione degli specifici approfondimenti in merito ai seguenti temi, che rilevano:
  - la documentazione oggetto della procedura di Conferenza dei Servizi Istruttoria, ai sensi dell'art. 3, comma 5 del D.L. 35/2023, come convertito in L n. 58/2023;
  - la documentazione oggetto della procedura di VIA, ai sensi dell'art. 3, comma 6 del D.L. 35/2023, come convertito dalla L. n.58/2023;
  - l'esito delle procedure integrate Conferenza dei Servizi Istruttoria e procedura di VIA;
  - la verifica di ottemperanza rispetto alle prescrizioni e raccomandazioni contenute nell'"Allegato A" della Delibera CIPE n.66 del 1 agosto 2003 risultate parzialmente ottemperate e non ottemperate sul PD e di cui al Parere CT-VA n. 1185 del 21/03/2013;
  - la verifica di ottemperanza rispetto alle condizioni del Parere n. 6933 del 05/03/2013 della Direzione Generale per il Paesaggio, Belle Arti, Architettura e Arte Contemporanea- Sezione IV-Tutela e Qualità del Paesaggio dell'allora Ministero per i Beni e le Attività Culturali (MiBAC).

Il CG, al fine di consentire di rispondere alle procedure di cui sopra, ha aggiornato il "quadro ambientale" per mezzo della redazione di una aggiornata cartografia e, quindi, integrato la documentazione progettuale relativamente ai seguenti tematismi, con relazioni ed elaborati grafici, di seguito richiamati secondo l'ordine dell'elenco elaborati adottato: geologia, suolo e sottosuolo; vegetazione reale; connettività, rete ecologica, fauna; unità di paesaggio; quadro di riferimento ambientale, ambiti di paesaggio; rumore (relazione e rilievi); rumore zonizzazione; rumore, valutazione impatto pre e post opera, diurno/notturno; campi elettromagnetici; quadro programmatico; acque superficiali, reticolo idrografico; acque sotterranee; suolo e sottosuolo; vegetazione e flora; fauna; carta delle unità di paesaggio; paesaggio; paesaggistica.

Il CG ha anche presentato uno studio sull'ambiente marino costiero, ripascimenti, scogliere, pennelli, dinamica dei litorali e trasporto sedimenti (emissione documento CZ R 1158).

In ordine alla specifica procedura di VIA, si richiama la prescrizione di legge secondo cui la rinnovazione della procedura di VIA (art. 3 del D.L. 35/2023, come modificato dalla L. n. 58/2023) debba essere circoscritta ai "contenuti progettuali interessati dalle prescrizioni da sviluppare nel progetto esecutivo ed illustrati nella RP ed ai contenuti progettuali che sono stati valutati o sono stati oggetto di valutazioni negative nel procedimento attivato sul PD, i cui effetti sono fatti salvi" (Parere MiBAC n. 6933 del 5 marzo 2013, Parere CT VIA n. 1185 del 15 marzo 2013). Il CG ritiene

comunque che lo SIA, predisposto nell'ambito della fase di riavvio delle attività di programmazione e progettazione dell'Opera di Attraversamento e delle Opere a terra, debba superare tale limitazione in coerenza con il quadro normativo di riferimento delineato in sede europea e nazionale, con una appropriata struttura metodologica e adeguati contenuti, per consentire una valutazione anche delle parti già valutate ambientalmente compatibili nell'ambito della precedente valutazione espletata sul PD (VIA PD 2011-PD 2012).

Al riguardo, il CS condivide la posizione del CG di integrare ed aggiornare lo SIA e la Relazione di ottemperanza istruiti nel procedimento avviato nel 2011, mediante l'aggiornamento documentale, inclusivo dei pareri, dei suggerimenti e delle prescrizioni già formulati dalle autorità competenti grazie all'aggiornamento delle previsioni di impatto.

Il CG mostra di avere approfondito la conoscenza dei siti di Rete Natura 2000, precisamente individuati, e ha verificato il grado di interferenza delle opere di progetto articolando le procedure: di incidenza effettiva e di "screening" (caso quest'ultimo allorché l'opera non possa interferire neanche indirettamente con il sito).

Le conoscenze acquisite con gli studi effettuati di recente consentiranno di misurare l'incidenza dell'Opera di Attraversamento e delle Opere a terra tenendo anche conto dell'aggiornamento degli Obiettivi e Misure di conservazione sito specifici, nel frattempo pubblicati dalle competenti Autorità delle due Regioni in data 28/11/23 e 01/12/23 e sottoposti per 30 giorni ad inchiesta pubblica e, quindi, di adempiere a quanto prescritto dalla Direttiva 92/43/CEE "Habitat".

Il CG, relativamente alla Valutazione Preventiva dell'Interesse Archeologico (VPIA), ritiene che le conoscenze già acquisite siano tali da poter ottemperare alle prescrizioni del parere MIBAC n. 6933/2013 dopo che il CIPESS avrà espresso il proprio parere sul Progetto Definitivo.

Gli elaborati oggetto della RI mostrano che anche il tema "paesaggio" è stato ulteriormente studiato dal CG, così consentendo la verifica della validità della procedura a suo tempo espletata sia nell'ambito della VIA, sia ai fini dell'Autorizzazione paesaggistica, ai sensi del DPCM 12 dicembre 2005.

Infine, con l'occasione della RI, il CG ha presentato lo studio relativo al "Piano di indirizzo per l'utilizzo delle terre e rocce da scavo (PUD)" e fornito orientamenti per l'aggiornamento del Piano di monitoraggio ambientale (PMA).

Sulla base di quanto sopra, ai fini del riavvio delle procedure ambientali già richiamate, il CS prende atto che:

- la documentazione presentata dal CG costituisce l'estensione e l'integrazione dell'omologo SIA istruito nel 2011-12;
- l'aggiornamento dello SInCA costituisce una integrazione sostanziale degli omologhi compendi istruiti nel corso del procedimento precedentemente istruito e ad oggi privo di un'esplicita espressione di compatibilità ambientale;
- la Relazione di ottemperanza costituisce l'estensione ed integrazione dell'omologa Relazione istruita nel 2011-12.

Il CS raccomanda quindi al CG di:

- tenere conto dell'evoluzione del quadro tecnico e legislativo in materia ambientale, orientato al perseguitamento degli obiettivi di "sostenibilità ambientale" e non più solo a quelli di

“compatibilità ambientale”, in riferimento ai quali era stato informato il progetto nelle fasi precedenti;

- tenere conto di tale evoluzione anche eventualmente ispirandosi ai principi della “Relazione di sostenibilità” richiesta per i Progetti di Fattibilità Tecnico Economica dal Codice dei contratti pubblici (D.Lgs. n. 36/2023), alle “Linee guida sulla valutazione degli investimenti pubblici” (MIT 07/07/2022), nonché al principio del DNSH “Orientamenti tecnici sull’applicazione del principio DNSH europeo” (C/2033/111, Gazzetta Unione Europea 11/10/2023: effetto diretto, uso dei materiali per la costruzione dell’opera; indiretto, emissioni di gas a effetto serra);
- relativamente al PMA, di prestare particolare attenzione alla trasformazione dell’ambiente in fase di realizzazione delle opere, predisponendo le adeguate azioni di salvaguardia e contenimento;
- relativamente ai traffici marittimi, di tenere conto degli usi attuali dello spazio marittimo (rotte delle navi e altri usi del mare);
- sviluppare le opere di inserimento territoriale ed urbanistico valorizzando contestualmente le misure di mitigazione e compensazione, tenendo conto sia di quelle previste nel progetto definitivo che delle ulteriori che potranno eventualmente emergere nel corso del PE nonché dalle risultanze dell’iter autorizzativo cui sarà sottoposto il progetto.

**e) Eventuali ulteriori adeguamenti progettuali ritenuti indispensabili anche in relazione all’evoluzione tecnologica e all’utilizzo dei materiali di costruzione**

Il Capitolo 3.5 della RP (GER0326) tratta delle Prescrizioni da sviluppare nel Progetto Esecutivo ai fini degli eventuali ulteriori adeguamenti progettuali ritenuti indispensabili anche in relazione all’evoluzione tecnologica e all’utilizzo dei materiali di costruzione.

Gli adeguamenti riguardano diverse aree, tra cui la progettazione impiantistica, l’esecuzione delle strutture metalliche e la selezione dei trattamenti protettivi che riguardano direttamente la sovrastruttura dell’Opera di attraversamento. Si prevede inoltre l’aggiornamento dei metodi di raccolta, dell’organizzazione e dell’analisi dei dati per il monitoraggio.

Il CS ritiene in generale che, nella fase di PE, sia necessario l’aggiornamento degli hardware e dei software previsti nel PD con strumenti e tecnologie di ultima generazione, facendo anche riferimento all’aumentata capacità computazionale nel risolvere problemi in condizioni 3D.

Il CS ritiene altresì opportuno evidenziare i seguenti punti con riferimento all’evoluzione tecnologica e all’utilizzo di materiali da costruzione:

- i. Nella realizzazione delle opere fondali il PD ha previsto l’impiego di intensivi interventi di trattamento del terreno tramite jet-grouting, in particolare in corrispondenza delle fondazioni delle torri e dei blocchi di ancoraggio. Tenendo conto dell’evoluzione tecnologica di questo metodo di consolidamento, in fase di PE è prevista la modifica dei diametri delle colonne da realizzare (fino a 2200 mm). Il CS ritiene che tale modifica possa essere accolta pur richiedendo un’attenta verifica dei metodi e dei parametri di esecuzione per mezzo del previsto campo prove e la caratterizzazione meccanica dei terreni alle quote interessate a consolidamento effettuato.
- ii. Per quanto concerne la progettazione dell’impalcato stradale dell’Opera di Attraversamento, si evidenzia un aspetto che richiederà particolare attenzione nella fase di PE. La lamiera

superiore della piastra ortotropa del cassone stradale, esposta direttamente ai carichi locali delle ruote dei mezzi pesanti, è stata progettata con uno spessore di 17 mm nelle carreggiate. Allo stesso tempo, il progetto prevede l'impiego di una pavimentazione ultrasottile a base polimerica, solitamente eseguita con spessori di circa 10-12 mm. Questa soluzione ha il vantaggio di ridurre significativamente il peso complessivo dell'impalcato rispetto alle soluzioni tradizionali. Tuttavia, la pavimentazione ultrasottile non porta ad una efficace ridistribuzione dei carichi locali trasferiti dalle ruote dei mezzi pesanti. Nelle strutture da ponte in acciaio con piastra ortotropa, questa configurazione è ampliamente utilizzata nel Nord Europa, ad esempio per i ponti mobili vicino ai porti di Rotterdam ed Amburgo. In anni recenti, alcune di queste strutture hanno subito sia danni della pavimentazione stessa, dovuti ad una rapida usura dello strato superficiale in conseguenza di un'applicazione non corretta o di ipotesi erronee riguardo al traffico, sia danni locali a fatica nella piastra ortotropa costituente la sovrastruttura del Ponte. La causa principale dei danni a fatica è stata ricondotta a un dimensionamento inadeguato, in termini di tensioni da fatica, delle canalette e della lamiera superiore nei confronti dei carichi esercitati dai mezzi pesanti, in forte crescita negli ultimi decenni. Di conseguenza, 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.

Sebbene l'analisi della fatica nel PD abbia tenuto conto di mezzi con assi più pesanti rispetto a quelli comunemente in uso oggi, nella fase di PE sarà opportuno verificare anche l'ipotesi di un cambiamento nel parco mezzi pesanti in Europa nonché i potenziali effetti derivanti da tale cambiamento. Infine, nella RP il progettista prevede una serie di prove sulla pavimentazione stradale sulle quali il CS si esprime al successivo punto f).

- iii. Come già riportato al punto a), il progetto dell'Opera di Attraversamento prevede l'uso di ingenti quantitativi di fusioni/getti in acciaio per la realizzazione di componenti strutturali nel sistema di sospensione. Oltre ai riferimenti normativi di cui al punto a), è importante evidenziare che la progettazione esecutiva di questi elementi richiede una particolare attenzione al processo di fusione e getto stesso e quindi esige una stretta collaborazione tra fonderie, progettisti ed enti di controllo ed accettazione. È risaputo che i getti d'acciaio non sono generalmente volumi d'acciaio paragonabili alle lamiere, e quindi tecnicamente assimilabili a dei corpi metallici omogenei, ma sono invece caratterizzati dalla presenza più o meno estesa di disomogeneità ed irregolarità. È scientificamente acclarato e risaputo che la performance statica ed a fatica dei getti metallici dipende dall'entità e densità di tali irregolarità. Le normative europee UNI EN 1559-2 e UNI EN 12680, già incorporate nelle Specifiche Tecniche del PD, descrivono varie classi di qualità e criteri di classificazione per le suddette imperfezioni nei getti d'acciaio. Ciononostante, nell'ambito delle costruzioni e dell'ingegneria strutturale non esistono al momento normative o linee guida che esplicitino un nesso tra le classi di qualità e la performance statica ed a fatica delle componenti in getto d'acciaio. Nelle Specifiche Tecniche del PD si fa riferimento a prove di qualifica e controllo nonché a getti di prova, da sottoporre ad una esplicita accettazione da parte della Società Stretto di Messina. In fase di PE si raccomanda di precisare queste indicazioni di carattere generale. Il progettista dovrà dimostrare che le sollecitazioni calcolate nei pezzi in getti d'acciaio siano compatibili con le qualità del getto e la densità e dimensione di imperfezioni in essi presenti. La dimostrazione dell'idoneità delle classi d'accettazione per le prove non-distruttive sui getti d'acciaio con le ipotesi di calcolo potrà comprendere prove sperimentali

distruttive, calcoli basati sulla meccanica della frattura o ipotesi conservative presenti in letteratura<sup>5</sup>. Se ritenuto necessario, si dovrà inoltre adattare la progettazione degli elementi in getto ai requisiti di realizzazione ed affidabilità dei processi produttivi nelle fonderie.

- iv. Al punto 3.5.2.3.8 della RP il progettista propone la modifica della configurazione delle selle e dei pettini di deviazione dei cavi principali, ipotizzando l'adozione di selle di tipo convenzionale a differenza di quanto previsto nel PD. Il CS concorda con questa ipotesi, notando che la proposta è coerente con quanto asserito al punto 3.5.1.1 della RP circa l'incremento della resistenza degli acclai, per i cavi principali, da 1860 MPa a 1960 MPa e, per i pendini, da 1770 MPa a 1860 MPa. Il CS ritiene che anche questa proposta sia condivisibile, a condizione che le resistenze a fatica e a "fretting" dei fili e dei dettagli costruttivi scelti non siano inferiori a quelle del PD e che vengano opportunamente analizzate tutte le conseguenze derivanti da tale scelta quali, ad esempio, la riduzione della sezione e/o la diminuzione del tiro dei cavi principali.
- v. Per quanto riguarda i giunti di dilatazione, i cui riferimenti normativi sono stati già richiamati al punto a), essi richiedono un'ulteriore attenzione nella fase di PE. Come detto in precedenza, nel tempo intercorso dall'approvazione del PD sono stati introdotti prima la ETAG 032 (2013) e poi l'EAD 120113-00-0107:08/2019 "Modular Expansion Joints for Road Bridges", pubblicati dall'EOTA come documenti di riferimento per la progettazione e sperimentazione dei giunti di dilatazione. Nella progettazione di questo tipo di giunti, particolare importanza è data agli effetti dinamici derivanti dal passaggio del traffico pesante in velocità, quindi alla resistenza alla fatica e alla durabilità delle varie componenti. I metodi di verifica previsti sono sia di tipo analitico che sperimentale. Trattandosi, nel progetto del Ponte, di giunti di dilatazione di dimensioni inusuali, il CS ritiene opportuno considerare i programmi di sperimentazione previsti nell'EAD di cui sopra, specialmente con riferimento a quanto riportato negli Annessi C (test statici), D (test dinamici di singole componenti) ed E (test sul campo per verificare il comportamento dinamico). È in ogni caso raccomandato determinare adeguati coefficienti d'impatto mediante metodi di sperimentazione diretta, da svolgere presso i fornitori dei giunti stessi, secondo le modalità descritte negli annessi succitati o prescritte dalla Committenza.

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.

Al § 3.5.2.3.3 e 3.5.2.3.4 della RP (GER0326) si evidenzia la necessità di adeguare il progetto per quanto riguarda le verifiche della robustezza e della sicurezza antincendio. Le NTC2018 (come altre

<sup>5</sup> Criteri semplificati per la determinazione di tensioni ammissibili ridotte in funzione della classe di qualità dei getti d'acciaio sono per esempio dati nell'annesso nazionale tedesco alla EN 1993-1-8, DIN EN 1993-1-8/NA.

normative internazionali) fanno riferimento al concetto della *robustezza* ed introducono diverse strategie. La strategia indicata nel punto a. delle NTC2018, ovvero *la progettazione della struttura in modo da renderla in grado di resistere ad azioni eccezionali*, è stata usata nel PD per vari scenari, sia allo Stato Limite Ultimo (SLU) che allo Stato Limite di Integrità Strutturale (SLIS). Questi scenari includono l'impatto di veicoli e treni in zone al di fuori della carreggiata, incendi ed esplosioni.

Pur condividendo le valutazioni del CG, il CS ritiene inoltre opportuno segnalare alcuni aspetti da tenere in considerazione in fase di PE:

- i. Al § 3.5.2.3.3 della RP (GER0326), il progettista riporta le verifiche per scenari di contingenza già considerate in sede di PD ed inquadrabili come verifiche di robustezza secondo la normativa vigente. Tali verifiche in sede di PD consideravano l'effetto della perdita di singoli pendini allo SLU nonché la perdita di un trasverso allo SLIS. Questa verifica rispecchia la strategia progettuale d. del §2.2.5 delle NTC2018 di cui al precedente punto a). Per aggiornare il PD al più attuale stato dell'arte, nella RP il progettista prevede di introdurre uno scenario di verifica aggiuntivo che contempla la rottura di due pendini consecutivi su un lato del Ponte. È sicuramente vero che i pendini hanno un ruolo fondamentale nella stabilità del Ponte, in quanto essi trasferiscono il carico dall'impalcato ai cavi portanti. Vari fattori ambientali ed accidentali, come fenomeni di fatica o rottura di giunti, impatto con veicoli, esplosioni e incendi, possono causare la perdita simultanea o a breve giro di vari pendini. La rottura di uno o più pendini genera una redistribuzione delle sollecitazioni negli altri elementi strutturali. Pertanto, è raccomandato lo studio dell'evoluzione del collasso progressivo, allo scopo di valutare quanto incidono gli elementi critici prima individuati sulla robustezza.
- ii. A parere del CS, la stessa strategia progettuale delle NTC2018, ovvero l'adozione di una forma e tipologia strutturale tale da tollerare il danneggiamento localizzato causato da un'azione di carattere eccezionale, dovrà essere applicata anche ad altri elementi strutturali locali di pari o persino maggiore importanza per la stabilità e resistenza dell'Opera di Attraversamento nel suo complesso. Un esempio tra questi è il sistema delle articolazioni laterali e longitudinali in corrispondenza delle torri, composto da singoli elementi come buffer idraulici, cassoni saldati, unioni bullonate e saldate, perni e giunti sferici. Sarà prudente verificare se l'inattesa perdita di resistenza o funzionalità di uno di questi elementi locali possa portare ad un propagarsi di cedimenti strutturali ben oltre la zona limitrofa agli elementi stessi. Questo corrisponde ad uno studio nel dettaglio della possibile evoluzione di un collasso progressivo.
- iii. Il CS osserva che, in tema di robustezza, una caratteristica propria dello schema strutturale dei ponti sospesi con impalcato leggero è data dall'assenza di rigidezza verticale significativa verso l'alto che possa opporsi a situazioni eccezionali tali da indurre spostamenti e/o deformazioni anomale dell'impalcato. Anche con riferimento al §2.2.5 delle NTC2018, si ritiene che sia prudente considerare, sulla base dei risultati dell'aggiornamento del vento di progetto, anche tale evenienza. Il CS raccomanda al CG di esprimersi su tale evenienza e di prevedere eventualmente opportune contromisure nell'ottica di adottare le strategie di progettazione di cui ai punti "e. *realizzazione di strutture quanto più ridondanti*" ed "f. *adozione di sistemi di controllo*" della succitata norma.
- iv. 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 NTC2018. 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 anticondizionamento. 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.

Ai §§ 3.5.2.3.2 e 3.5.2.3.6 della RP (GER0326) si evidenzia la necessità di realizzare dei sistemi di controllo passivo, attivo, semiattivo o ibrido per ridurre l'ampiezza delle vibrazioni e delle sollecitazioni nelle strutture soggette ad azione dinamiche. Nel caso dell'Opera di Attraversamento vi sono tre elementi portanti, pendini, torri e impalcato che il progettista propone di proteggere mediante dispositivi per aumentarne la robustezza, e ciò nella logica dei Fondamenti, nonché in attuazione delle indicazioni riportate nel § 2.2.5 delle NTC2018 punto f., ovvero *"adozione di sistemi di controllo, passivi o attivi, adatti alle azioni e ai fenomeni ai quali l'opera può essere sottoposta"*. In dettaglio:

- I. Il § 3.5.2.3.6 della RP recita: *"Per il sistema dei pendini in sede di PE si prevedono snodi sferici alla connessione tra pendino e impalcato in sostituzione dei limitatori di flessione previsti nel PD"*. Inoltre, nel § 3.6.2.2.3: *"Vibrazioni indotte da vento-pioggia hanno frequenze tipiche di circa 2 Hz e ampiezze pari a 3-5 diametri del cavo coinvolto. Per il ponte 1915 [in Turchia] tali vibrazioni sono state studiate in galleria del vento con lo scopo di determinare lo smorzamento addizionale necessario per mitigarne l'entità. Per l'Opera di Attraversamento ci si attende un comportamento analogo e pertanto ci si propone di svolgere un programma di prove analogo"*. Il CS raccomanda di esplorare la possibilità di applicare ai pendini smorzatori del tipo "stockbridge" o similari. Nel PE si propone inoltre una modifica nel sistema dei pendini consistente nell'adozione di snodi sferici (già previsti nel PD per i pendini in prossimità della mezzeria del Ponte) per ulteriori 20 coppie di pendini su ciascun lato del Ponte (per un totale di 160 elementi, vedi anche P.ET-013 del GER0326). Il CS raccomanda di verificare tali scelte in fase di PE in relazione alle mutate condizioni di vincolo interno da considerare nelle analisi agli EF dell'intera Opera di Attraversamento in condizioni di esercizio, di montaggio ed eccezionali.
  - II. Nel § 3.5.2.3.2 della RP si legge: *"Le prove in galleria del vento svolte in fase di PD 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 PD 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"*.
- 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 a-

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 NTC2018. 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. Inoltre, al fine di ridurre l'entità delle oscillazioni dell'impalcato, dovute soprattutto alla componente fluttuante dell'azione del vento ed ai carichi ferroviari e stradali, si potrebbe valutare l'opportunità di inserire anche all'interno dei cassoni dei dispositivi TMDI.

- iii. Nel PD sono previsti degli smorzatori idraulici (buffer) inseriti tra le torri e l'impalcato che fungono da limitatori di spostamento e dissipatori di energia nelle direzioni longitudinale e trasversale. Questi elementi influenzano in modo considerevole il comportamento sia delle torri che dell'impalcato, nonché degli elementi secondari quali vincoli, giunti di dilatazione ed apparecchi d'appoggio. A parere del CS, i buffer sono elementi rilevanti del progetto, un loro malfunzionamento potrebbe comportare sovrasollecitazioni sulle torri e sull'impalcato e/o spostamenti eccessivi ad una estremità dell'impalcato, che meritano un'attenta valutazione anche ai fini della robustezza del sistema. Un'accurata analisi strutturale, in sede di PE, dei possibili scenari di malfunzionamento dei buffer, sia longitudinali che trasversali, e dell'intero sistema di vincolo dell'impalcato alle torri è altamente raccomandata. Si ritiene inoltre come sia di fondamentale importanza che il sistema di monitoraggio possa individuare tempestivamente eventuali malfunzionamenti, in modo da attivare con la necessaria immediatezza le contromisure necessarie ad evitare conseguenze gravi per la struttura.
- iv. Con riferimento al requisito di ridondanza, ad esigenze di carattere manutentivo e ai fini di una distribuzione simmetrica degli sforzi sulle due gambe delle torri, il CS raccomanda di 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.

Al § 3.5.2.2 della RP (GER0326) si affronta il tema dei sistemi di monitoraggio, il CS ritiene opportuno preliminarmente evidenziare che i sistemi di monitoraggio si trovano attualmente in una fase di

rapida evoluzione, principalmente a causa dei continui progressi nella precisione di acquisizione dei sensori e nella gestione dei dati digitali, nonché grazie all'introduzione di tecnologie basate sull'intelligenza artificiale. Poiché l'apertura dell'Opera di Attraversamento al traffico è prevista non prima della fine di questo decennio, è consigliabile che la PE non si concentri tanto su tecnologie specifiche, ma assicuri invece una debita flessibilità al riguardo considerando la possibilità di installare agevolmente e sfruttare tecnologie che potrebbero non essere ancora pienamente mature al giorno d'oggi. Questo richiede una particolare attenzione all'installazione di ponteggi, rotaie e carrelli per l'agevole accesso, a personale o macchine d'ispezione, ai punti della struttura più adatti al monitoraggio, quali l'interno ed esterno dei cassoni stradali, i giunti e gli apparecchi di appoggio, le differenti parti delle torri e il sistema di sospensione.

Il CS concorda con gli aggiornamenti proposti nel paragrafo sopra citato per ciò che attiene al monitoraggio e raccomanda altresì di approfondire i seguenti aspetti:

- i. 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.
- ii. Con riferimento alle tecnologie di monitoraggio descritte nella RP, il progettista evidenzia i vantaggi di un monitoraggio della fessurazione a fatica con sensori acustici. Il CS, riconoscendo il potenziale di questa tecnologia, raccomanda di definire in modo preciso il tipo e le dimensioni delle fessure da fatica per le quali i sensori acustici possono essere utilizzati, specificando la posizione, la frequenza e il metodo di acquisizione dati. In particolare, è raccomandabile verificare e sperimentare i campi più idonei all'utilizzo di questa tecnologia per impalcati stradali e ferroviari con sezione a cassone soggetti a traffico corrente.
- iii. Un commento simile si applica alla tecnica DIC (Digital Image Correlation) per il monitoraggio in-situ del Ponte, descritta dal progettista nella RP come tecnologia adatta a misurare gli spostamenti relativi e i campi di deformazione relativi delle aree coperte dai pixel di una data immagine e a monitorare lo stato di deformazione e di tensione della struttura. Anche per questa tecnologia, sicuramente valida e sperimentata per applicazioni in laboratorio e già usata in diverse applicazioni *in situ*, il CS raccomanda di determinare il tipo di elemento strutturale oggetto di monitoraggio e le applicazioni specifiche in cui si intende utilizzarla.
- iv. Con specifico riferimento alla vita utile a fatica dell'impalcato stradale e ferroviario che dipende dal numero e dall'ampiezza di cicli tensionali ai quali i singoli elementi sono esposti, il CS ritiene che tra le tecnologie adatte ad un monitoraggio continuo del volume e delle caratteristiche del traffico stradale e ferroviario, che richiedono la conoscenza dei pesi dei

singoli assi dei mezzi pesanti e vagoni ferroviari, siano da considerare 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.

- v. La RP riporta che nella fase di PE dovranno essere realizzate le indagini concordate, in fase di PD, tra SdM, Parsons, Rocksoil e CG riguardanti il monitoraggio geotecnico integrativo che richiede l'uso di piezometri, inclinometri, capisaldi topografici, ed interferometria satellitare. Il CS ritiene che anche per il monitoraggio geotecnico valgono le raccomandazioni relative al monitoraggio della sovrastruttura, ovvero quelle relative alla rapida evoluzione della tecnologica e della sensoristica, con particolare riferimento alle misure con continuità spaziale attraverso l'uso di fibre ottiche. Si raccomanda inoltre il ripristino, ove possibile, della strumentazione di monitoraggio già messa in opera in fase di PD.
- f) **Adeguamento 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**

Il Capitolo 3.6 della RP (GER0326) tratta principalmente delle prescrizioni da sviluppare nel PE al fine di soddisfare le prove sperimentali richieste dal CS-2011. Inoltre, provvede a fornire un riscontro alle ulteriori raccomandazioni dello stesso CS-2011, di cui si tratterà più avanti.

Il progettista prevede di eseguire prove sperimentali, nella fase precedente o in fase di PE, sia sulla tematica legata specificatamente al comportamento aeroelastico/aerodinamico dell'Opera di Attraversamento che a quella relativa a elementi strutturali della sovrastruttura.

Per ciò che attiene alle problematiche relative alla completezza e congruenza dei modelli dell'azione del vento (venti non-sinottici) e di verifica aerodinamica e/o aeroelastica del Ponte, nelle sue varie fasi di vita (in esercizio e durante il montaggio), il CS ritiene opportuno osservare quanto segue:

- i. La problematica principale risiede nella struttura vorticosa del flusso nel caso di sezioni a multi-cassone. Infatti, gli effetti di interferenza fra cassoni possono provocare fenomeni di distacchi di vortici complessi, differenti da quelli evidenziati su impalcati a singolo cassone. Una ulteriore difficoltà nel valutare tali fenomeni è data dalla loro dipendenza dal numero di Reynolds (Re) che può essere solo parzialmente valutata con prove in galleria del vento a strato limite ordinarie (pressione e temperatura ambiente) pur se di grandissime dimensioni, data la non perfetta riproduzione del numero di Re. Il CS ritiene pertanto essenziale investigare opportunamente il fenomeno valutando, per tutte le tipologie di prove richieste, gli effetti della variazione del numero di Re fino al raggiungimento del massimo consentito dalla strategia di prova prescelta. Tali valutazioni dovranno essere effettuate con opportuna riproduzione di tutti i dettagli geometrici essenziali.
- ii. Una seconda problematica è quella legata all'aggiornamento del documento DT.ISP.V.E.R1.001 Rev. 0 30.4.2004 - VALUTAZIONE DEL VENTO DI PROGETTO adottato nel PD 2011 dell'Opera di Attraversamento e redatto nel 2004 da un gruppo di ricerca dell'Università di Genova su incarico di SdM. Si ritiene che il documento debba essere adeguato/aggiornato, seguendo le indicazioni già contenute nelle conclusioni del documento sopracitato. Come evidenziato al punto e) del presente parere, è importante garantire non appena possibile la copertura LIDAR di registrazione in continuo per acquisire ulteriori dati utili all'aggiornamento del report.
- iii. Una terza questione riguarda gli approfondimenti numerici e la modellazione della struttura e delle azioni dovute al vento. Nel parere del CS-2011 si afferma che: *"appare pertanto necessario che la Società, il Contraente generale, il PMC ed 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". Ciò si riferisce, 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, così come prove ad altissimo Re fino al raggiungimento del massimo consentito dalla strategia di prova prescelta (per esempio in galleria pressurizzata).

Per quanto riguarda le prove sperimentali previste per gli elementi della sovrastruttura del Ponte, il CS conferma la validità generale dell'approccio proposto nella RP. Si ritiene tuttavia opportuno osservare:

- i. Le prove a fatica su dettagli ritenuti particolarmente critici verranno svolte con l'obiettivo di verificare l'ipotesi del progettista di un miglioramento della classe di resistenza a fatica (FAT class) rispetto ai valori in normativa. Il progettista ritiene che sia possibile dimostrare questo miglioramento attraverso l'impiego di processi di saldatura o effetti geometrici meno critici rispetto a quelli considerati nella definizione delle curve di resistenza a fatica previste dalle normative. A riguardo il CS esprime le seguenti considerazioni:
  - Nel caso in cui il miglioramento previsto derivi da un processo di saldatura, dal comportamento più efficiente di una specifica lega di acciaio utilizzata in laboratorio e/o da una conformità a tolleranze geometriche più strette, si raccomanda di assicurare una replica delle condizioni di laboratorio in modo sufficientemente simile sia in officina che per i giunti in cantiere. Ciò potrebbe includere l'adozione di protocolli rigorosi di controllo di qualità, la documentazione accurata dei processi di saldatura e la verifica costante delle tolleranze geometriche.
  - Nel caso in cui il miglioramento previsto derivi principalmente da un campo tensionale meno critico rispetto a quanto implicitamente contenuto nelle curve di resistenza in normativa, si raccomanda di verificare questa ipotesi anche attraverso metodi numerici di analisi e verifica della fatica, come ad esempio lo "structural stress approach" secondo IIW e prEN1993-1-9:2023. Ciò richiede che anche le prove sperimentali siano svolte in modo adatto a misurare questo tipo di tensione locale (anziché "nominale"). Il CS ritiene che questo approccio alternativo consentirà una valutazione più precisa e dettagliata dei miglioramenti attesi nei dettagli critici dell'impalcato, contribuendo così a garantire una maggiore affidabilità del progetto dell'impalcato metallico per quanto concerne la tematica della fatica.
- ii. La RP prevede di effettuare prove di laboratorio sulla pavimentazione stradale che, in sede di PD, è stata concepita come pavimentazione ultrasottile a base di resine epossidiche. Le prove sperimentali sono, tra l'altro, necessarie per caratterizzare, alle varie temperature, le proprietà meccaniche dei materiali viscoelastici che la compongono. Ulteriori prove sono necessarie per

testare la durabilità a carichi ciclici ed all'usura sotto carichi di frenata o accelerazione. Il CS raccomanda inoltre di testare e validare il processo di applicazione della pavimentazione ultrasottile, in modo da permettere la definizione di un processo di qualifica.

Si fa notare che il progettista, al punto 3.6.2.6.2 della RP, ha espresso l'intenzione di verificare altre tipologie di pavimentazione stradale tra cui quella che ne prevede una ultrasottile applicata direttamente sulla piastra ortotropa della sovrastruttura in acciaio. Nella RP si fa infatti menzione di un sistema a "membrana rigida" il quale potrebbe incrementare la prestazione a fatica dell'impalcato stradale a piastra ortotropa. Pur non trattandosi di una tecnologia acclarata, il CS nota che, negli ultimi anni, si sta diffondendo una pavimentazione che prevede l'uso di uno strato sottile di calcestruzzo rinforzato con fibre di altissima resistenza (Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete – UHPFRC) da applicare sulla lastra ortotropa, usando un sottilissimo strato di resina e granulato come interfaccia. Questo sistema, essenzialmente rigido e di altissima durabilità, può essere applicato con o senza strati aggiuntivi di pavimentazione, ed è già stato usato con successo nel Nord Europa per vari progetti di riabilitazione di piastre ortotrope. Il CS concorda con l'opportunità di verificare i possibili vantaggi derivanti da questo o altri tipi di sistema alternativi a quello ipotizzato nel PD con l'obiettivo di ottenere una soluzione che riesca ad ottimizzare il peso proprio, la resistenza alla fatica e all'usura, incrementando altresì gli intervalli temporali per la manutenzione.

- iii. 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.

Il CS ha proceduto alla disamina del documento GER0328 in cui il CG ha risposto a tutte le raccomandazioni del CS-2011. In particolare, in tale disamina si commentano esclusivamente i punti per i quali questo CS ritiene che il CG non abbia recepito in modo completo i commenti del CS-2011 e/o abbia proposto una soluzione che necessiti di ulteriori approfondimenti. Le considerazioni e i commenti del CS sul documento GER0328 sono riportati in appendice nel presente documento.

Nei citato GER0328 sono altresì riportate le risposte del CG alle osservazioni poste dal Project Management Consultant (PMC) e dal Validatore sul PD e delle quali questo CS ha preso atto.

## 2. RACCOMANDAZIONI DEL COMITATO SCIENTIFICO

In questa sezione si riportano sinteticamente le raccomandazioni argomentate in dettaglio nella Sezione precedente.

- a) Adeguamento alle norme tecniche 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

In relazione all'adeguamento, in sede di PE, alle norme tecniche NTC2018 e alle conseguenti modifiche alla modellazione geologica e alla caratterizzazione geotecnica, il CS raccomanda di:

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 anche i dati derivanti dai Progetti MAGIC 1 e MAGIC 2 per gli approfondimenti sulla geologia dei fondali marini dello Stretto di Messina e dei settori adiacenti;
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 dilatazione 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;
13. estendere l'analisi del comportamento delle sottostruuture 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;

14. specificare i requisiti meccanici degli acciai da carpenteria in modo coerente con le normative attualmente vigenti e, conseguentemente, adottare uno degli approcci suggeriti nella Sezione 1 del presente Parere;
15. fare riferimento, per le fusioni/getti in acciaio, alla normativa UNI EN 10340, ponendo particolare attenzione alla quantità e intensità delle misure di controllo della qualità di produzione (*production quality control*) in officina e in cantiere, parallelamente o in aggiunta a quanto richiesto dalle NTC2018 al §11.3.4;
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;
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, in particolare per ciò che riguarda le tolleranze da rispettare nella fornitura, sia nelle condizioni iniziali, sia nel tempo di vita utile, sia nelle diverse condizioni di funzionamento, di temperatura e di 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;
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;
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;
21. considerare ulteriori scenari atti a verificare la robustezza della struttura del Ponte, aggiungendo alle analisi esistenti altre considerazioni derivate dalle strategie di progettazione contenute nel §2.2.5 delle NTC2018;
22. effettuare controlli incrociati con più codici di calcolo durante la prevista fase di aggiornamento delle analisi numeriche, come prescritto nei Fondamenti.

**b) Adeguamento alla normativa vigente in materia di sicurezza**

In relazione all'adeguamento, in sede di PE, alla normativa vigente in materia di sicurezza, il CS raccomanda di:

23. tenere conto delle prescrizioni dettate dal D.L. 35/2011 in attuazione della direttiva 2008/96/CE riguardanti la sicurezza stradale, nella redazione del PE e nelle successive fasi fino alla messa in esercizio;
24. acquisire i riferimenti normativi sulle pavimentazioni degli impalcati stradali sviluppati dopo il 2011 in altri Paesi e una documentazione sulle esperienze applicative di pavimentazioni ultrasottili su impalcati in acciaio a piastra ortotropa, in modo da identificare eventuali problematiche riscontrate in fase di applicazione, esercizio, riparazione e sostituzione;

25. acquisire informazioni sulle esperienze applicative dell'ERS (Embedded Rail System), possibilmente in situazioni paragonabili a quelle dell'Opera di Attraversamento, in modo da identificare le possibili problematiche in fase di applicazione, esercizio, riparazione e sostituzione;
  26. per quanto riguarda la sicurezza impiantistica, valutare gli effetti del sisma nella progettazione degli impianti, sia nelle opere a terra, sia nell'Opera di Attraversamento, con particolare attenzione alle zone di transizione dall'Opera di Attraversamento alla terraferma, per i notevoli spostamenti relativi determinati dal terremoto.
- c) **Adeguamento alle regole di progettazione specifiche di cui ai manuali di progettazione attualmente in uso, salve deroghe**

In relazione all'adeguamento alle regole di progettazione specifiche di cui ai manuali di progettazione attualmente in uso, salve deroghe, il CS raccomanda di:

27. effettuare l'analisi di interazione statica binario-struttura su un modello completo dell'Opera di Attraversamento, applicando le diverse azioni coerentemente con quanto previsto nella Fiche UIC 774 - 3 R e nel MdP Ponti e Strutture di RFI;
28. verificare sperimentalmente i parametri di deformabilità longitudinale dell'ERS, nelle diverse condizioni di funzionamento (temperatura e velocità di applicazione degli sforzi);
29. acquisire il parere di RFI sui valori ammissibili da adottare per le verifiche delle tensioni nella rotaia conseguenti all'analisi di interazione statica binario-struttura.

d) **Adeguamento alla compatibilità ambientale**

In relazione all'adeguamento alla compatibilità ambientale, il CS raccomanda di:

30. tenere conto dell'evoluzione del quadro tecnico e legislativo in materia ambientale, orientato al perseguitamento degli obiettivi di "sostenibilità ambientale" e non più solo a quelli di "compatibilità ambientale", in riferimento ai quali era stato informato il progetto nelle fasi precedenti;
31. tenere conto dell'evoluzione di cui al punto precedente eventualmente ispirandosi ai principi della "Relazione di sostenibilità" richiesta per i Progetti di Fattibilità Tecnico Economica dal Codice dei contratti pubblici (D.Lgs. n. 36/2023), alle "Linee guida sulla valutazione degli investimenti pubblici" (MIT 07/07/2022), nonché al principio del DNSH "Orientamenti tecnici sull'applicazione del principio DNSH europeo" (C/2033/111, Gazzetta Unione Europea 11/10/2023: effetto diretto, uso dei materiali per la costruzione dell'opera; indiretto, emissioni di gas a effetto serra);
32. relativamente al PMA, prestare particolare attenzione alla trasformazione dell'ambiente in fase di realizzazione delle opere, predisponendo le adeguate azioni di salvaguardia e contenimento;
33. relativamente ai traffici marittimi, tenere conto degli usi attuali dello spazio marittimo (rotte delle navi e altri usi del mare);
34. sviluppare le opere di inserimento territoriale ed urbanistico valorizzando contestualmente le misure di mitigazione e compensazione, tenendo conto sia di quelle previste nel progetto

definitivo che delle ulteriori che potranno eventualmente emergere nel corso del PE nonché dalle risultanze dell'iter autorizzativo cui sarà sottoposto il progetto.

e) **Eventuali ulteriori adeguamenti progettuali ritenuti indispensabili anche in relazione all'evoluzione tecnologica e all'utilizzo dei materiali di costruzione**

In relazione ad eventuali ulteriori adeguamenti progettuali ritenuti indispensabili anche in relazione all'evoluzione tecnologica e all'utilizzo dei materiali di costruzione, il CS raccomanda di:

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 geomecaniche dei terreni a consolidamento effettuato;
36. per quanto concerne la lamiera superiore della piastra ortotropa del cassone stradale e la prevista utilizzazione di una pavimentazione ultrasottile, giustificare eventuali deviazioni dalle raccomandazioni costruttive dell'annesso C della prEN1993-2:2023 con riferimento alla pavimentazione sottile;
37. con riferimento agli ingenti quantitativi di fusioni/getti in acciaio per la realizzazione di componenti strutturali nel sistema di sospensione, fornire un'adeguata analisi e documentazione riguardo alla correlazione tra i requisiti prestazionali e le prove di qualifica e controllo per getti di prova e di produzione, da sottoporre ad una esplicita accettazione da parte di SdM;
38. analizzare tutte le conseguenze derivanti dall'adozione di acciai di più elevata resistenza per i cavi e per i pendini, quali, ad esempio, la riduzione della sezione e/o la diminuzione del tiro dei cavi principali;
39. 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.

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, per i quali il CS raccomanda di:

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.

Sul tema della robustezza strutturale e della sicurezza antincendio, si segnalano di seguito alcuni aspetti da tenere in considerazione in fase PE, per i quali il CS raccomanda di:

43. 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,

- allo scopo di valutare quanto incidono gli elementi critici prima individuati sulla robustezza dell'Opera di Attraversamento;
44. applicare la strategia progettuale "d." delle NTC2018, ovvero l'adozione di una forma e tipologia strutturale tale da tollerare il danneggiamento localizzato causato da un'azione di carattere eccezionale, anche ad altri elementi strutturali locali di grande importanza, ad esempio, il sistema delle articolazioni laterali e longitudinali in corrispondenza delle torri;
  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;
  46. accettare 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.

Con riferimento ai sistemi di controllo passivo, attivo, semiattivo o ibrido, previsti nei pendini, nelle torri e nell'impalcato, e utili anche al fine di aumentare la robustezza strutturale, il CS raccomanda di:

47. esplorare la possibilità di applicare smorzatori del tipo "stockbridge" o simili, sui pendini;
48. verificare la scelta dell'adozione di snodi sferici per ulteriori 20 coppie di pendini su ciascun lato del Ponte in relazione alle mutate condizioni di vincolo interno da considerare nelle analisi;
49. con riferimento all'adozione proposta per le torri di sistemi AMD (Active Mass Damper), accettare 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 TMD (Tuned Mass 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;
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 posto al di Ponte;
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.

Per ciò che attiene ai sistemi di monitoraggio, il CS raccomanda di:

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.
- f) **Adeguamento 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 alle prove sperimentali richieste dal parere espresso dal CS-2011 sul Progetto Definitivo, il CS raccomanda di:

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;
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;
64. condurre, in parallelo e in modo complementare all'attività sperimentale, analisi CFD-LES (Computational Fluid Dynamics – Large Eddy Simulation), attraverso sistemi di calcolo super-computing, ai fini della verifica dell'aerodinamica del Ponte nelle varie fasi;
65. assicurare, nell'esecuzione degli elementi in carpenteria metallica, condizioni simili a quelle di laboratorio per le prove a fatica per quanto concerne il processo di saldatura, il materiale utilizzato e il grado di conformità a tolleranze geometriche, in modo che il miglioramento della resistenza a fatica sia effettivamente riprodotto nel Ponte;

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;
68. integrare le prove sperimentali già previste sull'ERS al fine di determinare i parametri di comportamento meccanico del sistema nei confronti di azioni longitudinali in diverse condizioni di funzionamento, da adottare nelle analisi di interazione binario-struttura.

### **3. PARERE AL CONSIGLIO DI AMMINISTRAZIONE DI STRETTO DI MESSINA S.p.A.**

In merito alla Relazione del Progettista che integra il Progetto Definitivo di cui all'art. 3 c. 2 del D.L. 31 marzo 2023, n. 35, convertito, con modificazioni, dalla Legge 26 maggio 2023, n. 58, in ottemperanza a quanto stabilito dall'art. 3, c. 3, del suddetto D.L., nonché dall'art. 4 del Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 249 del 4 ottobre 2023, con il presente documento il Comitato Scientifico consegna formalmente al Consiglio di Amministrazione della Stretto di Messina S.p.A. il proprio parere sulla Relazione del Progettista, così come di seguito espresso.

#### **Il Comitato Scientifico**

##### **acquisiti**

- la Relazione del Progettista nelle versioni del 30.09.2023, 20.10.2023, 10.11.2023, 30.11.2023 e la versione finale del 20.01.2024, inclusi i riscontri da parte del Contraente Generale alle osservazioni/raccomandazioni sul Progetto Definitivo fatte dal CS-2011, dal Project Management Consultant, dal Validatore e dall'Independent Design Check

##### **visti**

- il Parere al Consiglio di Amministrazione di Stretto di Messina S.p.A. del CS-2011, espresso in data 23 maggio 2011, con i relativi annessi, che comprendono la Check List elaborata dallo stesso Comitato, che esprime parere positivo *“sul Progetto Definitivo dell’Opera e in particolare sull’intero processo di verifica, validazione e validazione del Progetto Definitivo”*
- i pareri dei componenti dell’Expert Panel datati 27.11.2023 (ing. Vaciago), 23.12.2023 (prof. Faccioli), 08.01.2024 (prof. Diana), 22.01.2024 (prof. Canale)
- il parere del PMC, consegnato da SdM in data 26.01.2024

##### **considerato**

l'esito dell'attività istruttoria di questo Comitato Scientifico sulla Relazione del Progettista in merito ai punti da a) a f) del D.L. 35/2023 richiamati nelle precedenti Sezioni, da cui è scaturita una serie di considerazioni, osservazioni e raccomandazioni riportati nella Sezione 1 e sintetizzate nella Sezione 2

##### **all'unanimità esprime**

al Consiglio di Amministrazione di Stretto di Messina S.p.A.

parere positivo sulla Relazione del Progettista nella versione finale, fatte salve le considerazioni, osservazioni e raccomandazioni riportate nelle Sezioni 1 e 2 e nell'Appendice del presente documento.

*per il Comitato Scientifico*

Il Coordinatore

*Prof. Geol. Alberto Prestinanzi*



## **APPENDICE - Riesame delle soluzioni proposte dal Contraente Generale alla luce delle raccomandazioni per il Progetto Esecutivo contenute nel parere del CS-2011**

In questa appendice si riportano le considerazioni del CS (da qui in poi indicato, per maggiore chiarezza espositiva, come CS-2023) con riferimento alla disamina del documento GER0328. Nel seguito si commentano esclusivamente i punti per i quali il CS-2023 ritiene che il CG non abbia recepito in modo completo i commenti del CS-2011 e/o abbia proposto una soluzione che necessiti di ulteriori approfondimenti. Nel citato GER0328 sono altresì riportate le risposte alle osservazioni poste dal Project Management Consultant (PMC) e dal Validatore sul PD e delle quali il CS-2023 ha preso atto.

In particolare, per ciascuno dei punti di seguito esaminati, si riportano:

- l'identificativo del commento (nella sequenza riportata nel documento GER0328 nella quale CS indica il CS-2011) seguito dal contenuto dello stesso.
- la Priorità assegnata dal CG e la risposta fornita (Eurolink clarification 2023).
- il parere del presente Comitato Scientifico (Parere CS-2023).

Per i restanti punti sollevati dal CS-2011 e qui non discussi, è da intendersi che il CS-2023 ha preso atto delle intenzioni del CG di risolvere le questioni poste in fase di PE e ne condivide la strategia di soluzione.

**2CS – 4a)** “La 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”

Priorità 4, Eurolink clarification 2023: “Verrà realizzato un modello alla scala adeguata per testare il sezonale dell’impalcato a numeri di Reynolds elevati, compatibilmente con la tecnologia disponibile.” (maggiori dettagli in merito alla strategia che verrà adottata sono riportati in GER0326)

Parere CS-2023: Nella revisione del progetto definitivo sono state recepite le indicazioni del precedente CS pur evidenziando le difficoltà nel raggiungere un numero di Reynolds che sia del medesimo ordine di grandezza della struttura reale. Due possibili strategie di prova sono presentate ciascuna con pro e contro. In fase di PE sarà opportuno condurre approfondite riflessioni in merito alla strategia da adottare e un’analisi critica dei passati risultati sperimentali che venissero riutilizzati. Si rimarca l’importanza di valutare gli effetti di barriere e traffico. Si ritiene che prove finalizzate alla valutazione degli effetti del numero di Reynolds (pur mantenendosi a livelli più bassi rispetto al vero) siano utili a scopo predittivo. Analisi CFD possono inoltre rivelarsi utili per lo studio approfondito delle evidenze sperimentali in diverse condizioni operative.

**2CS – 4b)** “lo svolgimento di analisi numeriche non lineari, finalizzate ad 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;”

Priorità 2, Eurolink clarification 2023: “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.”

Parere CS-2023: 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.

**2CS – 4c)** "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;"

Priorità 3, Eurolink clarification 2023: "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)."

Parere CS-2023: 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.

**3CS – 4e)** "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;"

Priorità 3, Eurolink clarification 2023: "Saranno previste prove in gallerie del vento per le torri che includano l'effetto di dispositivi di smorzamento meccanico passivo (TMD) o attivo (AMD). Quanto alle limitazioni sul numero di Reynolds si veda la risposta al punto a)."

Parere CS-2023: Nella revisione del PD sono state recepite le indicazioni del precedente CS, tuttavia si ritiene che, sebbene non sia possibile riprodurre il numero di Reynolds equivalente al vero, sia comunque opportuno valutare la dipendenza da Reynolds della geometria della torre (anche al fine di valutare l'opportunità di aumentare il fattore di scala).

**4CS – 4f)** "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;"

Priorità 3, Eurolink clarification 2023: "Verranno eseguite le analisi non lineari richieste tramite modellazione NL a EF."

Parere CS-2023: Nella revisione del PD sono state recepite le indicazioni del precedente CS, tuttavia si ritiene che, alla luce delle diverse soluzioni proposte in fase di PE, sia necessaria un'analisi numerica agli elementi finiti in campo geometricamente non lineare dell'intero manufatto sia per la verifica del suo comportamento globale che per lo studio di eventuali problemi di instabilità dell'equilibrio. Nella verifica tramite modelli non lineari agli Elementi Finiti (NL-FEM) sarà opportuno modellare in modo particolare le torri, nel loro insieme, usando la metodologia impiegata nel PD 2011 per singoli conci, ovvero una modellazione NL-FEM usando elementi bidimensionali (di tipo "shell"), considerando in questo caso le non linearità geometriche e del materiale, nonché le imperfezioni locali e globali della geometria (cosiddetti calcoli "GMNIA" in letteratura). In particolare, si ritengono tali analisi indispensabili in relazione: a) all'auspicata adozione di acciai a più elevata resistenza per i cavi e per le torri, scelta che modificherebbe la geometria e il peso dei cavi principali e dei pendini; b) all'adozione di smorzatori AMD invece di TMD; c) all'adozione di diversi dispositivi di vincolo per i pendini.

**5CS – 4h)** “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;”

Priorità 2, Eurolink clarification 2023: “Il controllo completo fase per fase verrà effettuato come da prassi combinando i risultati ottenuti dal modello EF con le derivate aerodinamiche misurate in laboratorio. verranno condotte prove in galleria del vento per un numero limitato di configurazioni significative di montaggio e in particolare: • Prove sezionali dell’impalcato; • Prove sulle torri; • Prove su modello aeroelastico completo”

Parere CS-2023: Vale il parere di cui al punto precedente (4CS – 4f) qui riferito alle citate analisi di dettaglio su torri, cavi e impalcato.

**6CS – 4l)** “Si segnalano in particolare le seguenti raccomandazioni: Approfondire 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;”

Priorità 4. Eurolink clarification 2023: “La sperimentazione sul sistema ERS è stata condotta durante e a valle dello sviluppo del Progetto Definitivo. I risultati sono stati parzialmente acquisiti. E’ in corso una ricognizione delle prove completate e dei relativi rapporti. Eventuali prove non concluse positivamente o non svolte saranno completate nella prima fase della ripresa delle attività di progettazione e inclusi nel PE. 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 Firenze.”

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.

**27CS:** “Il Progetto Definitivo, in aggiunta alle inderogabili verifiche di sicurezza, deve quindi contenere uno studio per la determinazione dell’innesto, 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.

**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 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".

**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."

**Parere CS-2023:** Le osservazioni riportate ripercorrono le indicazioni conclusive del CS-2011 pertanto valgono le considerazioni riportate ai punti 2CS – 4a, 2CS – 4c.

**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".

**Priorità 3, Eurolink clarification 2023:** "Vedi riscontro a commento n.4".

**Parere CS-2023:** Le osservazioni riportate ripercorrono le indicazioni conclusive del CS-2011 pertanto valgono le considerazioni riportate ai punti 3CS – 4e, 4CS – 4f.

**32CS "PROGETTAZIONE AERODINAMICA:** 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".

**Priorità 3/4, Eurolink clarification 2023:** "Vedi riscontro al commento n.2, punto 4 d) per i cavi principali. Per i pendini saranno predisposte le prove previste dalla specifica CGC.F.05.03".

**Parere CS-2023:** Le osservazioni riportate ripercorrono le indicazioni conclusive del CS-2011 pertanto valgono le considerazioni riportate ai punti 4CS – 4f, 5CS – 4h.

**33CS "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”.

Priorità 3, Eurolink clarification 2023: “Vedi precisazione al commento n.32. Le prove richieste saranno sviluppate nell'ambito del Progetto Esecutivo. Si intravede, sulla base di esperienze recenti, l'introduzione di dispositivi di smorzamento di tipo idraulico”.

Parere CS-2023: Le osservazioni riportate ripercorrono le indicazioni conclusive del CS-2011 pertanto valgono le considerazioni riportate ai punti 4CS – 4f, 5CS – 4h.

**34CS** “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”.

Priorità 2, Eurolink clarification 2023: “Si veda precisazione al commento 9e. Il livello di priorità è stato reso coerente in accordo”.

Parere CS-2023: Le osservazioni riportate ripercorrono le indicazioni conclusive del CS-2011 pertanto valgono le considerazioni riportate ai punti 2CS – 4a, 2CS – 4b, 2CS – 4c.

**87CS:** “**PROGETTAZIONE STRUTTURALE:** Specifica attenzione deve essere dedicata alla definizione e all'Analisi degli stati tensionali e deformativi residui indotti dal processo costruttivo”.

Priorità 2, Eurolink clarification 2023: “Il processo costruttivo è incluso nelle analisi, si faccia riferimento alla descrizione del modello globale PS0002. Le tensioni residue sono state con le analisi dettagliate agli elementi finiti dei sostegni completi delle gambe della torre. Le torri non sono particolarmente suscettibili alle sollecitazioni di lock-in derivanti dal processo di costruzione. Tuttavia, l'ingegneria di costruzione dettagliata dovrà considerare la sequenza di realizzazione delle giunzioni combinate delle gambe della torre bullonate/saldate e il processo mediante il quale i traversi vengono installate per garantire che venga mantenuta la corretta geometria della torre e che le rotazioni trasversali non siano bloccate dalle gambe della torre. Queste potenziali problematiche riceveranno la necessaria considerazione nel Progetto Esecutivo e nel Progetto di Montaggio”.

Parere CS-2023: 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.

**88CS:** “**PROGETTAZIONE STRUTTURALE:** 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.”

Priorità 2. Eurolink clarification 2023: “I requisiti qui riportati sono stati recepiti dal PD in termini di principi e, ove possibile, riportati nei disegni che illustrano dettagli specifici e tipologici, comunque saranno recepiti in modo esteso e particolareggiato nel PE e nei disegni di officina, contemplando l’aggiornato quadro normativo.”

Parere CS-2023: Riguardo a questo aspetto il CS si è espresso al punto e) del presente parere. Si ritiene opportuno ripetere che la normativa citata dal precedente CS (allora prEN1993-2:2003 allegato C) è stata recentemente aggiornata (prEN1993-2:2023 Annesso C) in base ad esperienze recenti in Europa e contiene raccomandazioni per il caso specifico di impalcati con piastra ortotropa in acciaio e pavimentazione ultrasottile. L’attuale PD non corrisponde interamente a queste raccomandazioni, in modo particolare per quanto riguarda lo spessore della lastra superiore (a contatto con la pavimentazione ultrasottile). In fase di PE si dovrà dimostrare l’idoneità delle soluzioni costruttive scelte, facendo riferimento anche agli aspetti riguardanti i carichi da mezzi pesanti descritti al punto e) di questo parere.

**96CS:** “PROGETTAZIONE A FATICA: I buffer indicati sui disegni sono solamente schematici; gli stessi devono essere dettagliati a livello grafico, poi verificati anche a fatica”.

Priorità 2. Eurolink clarification 2023: “La verifica di dettaglio degli ammortizzatori idraulici – statici e a fatica – sarà effettuata in fase il Progetto Esecutivo e perfezionata in fase di Progetto Costruttivo da parte del fornitore secondo i requisiti indicati nel documento n. PS0191 Specifiche prestazionali – Buffer. Fare riferimento alle Sezioni 7.2 e 7.3 che specificano i requisiti per la prova degli ammortizzatori idraulici, inclusa la prova sotto carico dinamico”.

Parere CS-2023: Questo CS concorda con l’approccio auspicato dal CG e considera che l’argomento debba godere di un’appropriata priorità. Si vedano al riguardo le considerazioni riportate ai punti a) ed e) di questo parere.

**131CS:** “APPARECCHI SPECIALI, CINEMATISMI E VINCOLI: 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”.

Priorità 2, Eurolink clarification 2023: “Con riferimento al giunto stradale, si ritiene che il valore specificato non giustificato. Non definendo l’NTC tale valore si ritiene opportuna l’applicazione del 4.3.3 (3) dell’UNI EN 1991-2 quale valido riferimento”.

Parere CS-2023: Questo CS concorda con l’opportunità di derogare dalla prescrizione di un fattore d’impatto dinamico fissato ad un minimo di 2,5, essendo questa una formulazione imprecisa se non collegata in modo univoco a delle situazioni di carico (veicoli di riferimento) e condizioni del manto stradale e del giunto stesso. Il fattore definito in UNI EN 1991-2 4.3.3(3) al quale fa riferimento il CG può considerarsi sufficientemente validato ed adeguato per giunti progettati secondo la precedente ETAG 032 o il più attuale documento EAD 120113-00-0107:08/2019, “Modular Expansion Joints for Road Bridges” dell’EOTA. Questi documenti prevedono strette tolleranze per i dislivelli nella superficie di corsa in condizioni di assenza di carico. È da verificare se queste tolleranze siano raggiungibili per giunti d’espansione di dimensioni fuori dalla regola, quali quelli dell’Opera di Attraversamento. È in ogni caso auspicabile determinare adeguati coefficienti d’impatto mediante metodi di sperimentazione diretta, da svolgere presso i fornitori dei giunti stessi secondo modalità descritte nella EAD (Annesso E) o prescritte dalla committenza in collaborazione con il CG.

**134CS: "APPARECCHI SPECIALI, CINEMATISMI E VINCOLI:** 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”.

**Priorità 2. Eurolink clarification 2023:** “Da elaborare ulteriormente all'interno del Progetto Esecutivo. Non si ritiene adeguatamente giustificata la richiesta di un sovradimensionamento del 10% rispetto ai valori di calcolo conformi alla normativa”.

**Parere CS-2023:** Questo CS ritiene giustificata la richiesta di un sovradimensionamento dei giunti rispetto agli spostamenti massimi calcolati, stante la complessità dei modelli di valutazione e delle azioni da considerare, come provvedimento che contribuisce alla robustezza complessiva dell'opera nei riguardi delle condizioni di servizio.

**137CS: "SISTEMI FERROVIARI:** 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 piano-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”.

**Priorità 2. Eurolink clarification 2023:** “Assumiamo che il “livello 1, livello 2” nei commenti si riferisca alle deformazioni longitudinali determinate per SLS e SLU. Per il progetto attuale il giunto di dilatazione viene posizionato in base alle deformazioni ULS. Allo stesso tempo i giunti sono posizionati esattamente in una posizione in cui le deformazioni verticali sono piccole, in modo da garantire che non risentano delle deformazioni dell'impalcato. Pertanto, non prevediamo che ciò abbia un impatto sulla progettazione attualmente prevista”.

**Parere CS-2023:** Questo CS, nel prendere atto del chiarimento dato dal CG, ribadisce comunque l'importanza di una valutazione attenta degli spostamenti massimi in corrispondenza dei giunti, tenendo anche conto di possibili malfunzionamenti dei buffer longitudinali e trasversali.

**140CS: "APPARECCHI SPECIALI/CINEMATISMI E VINCOLI:** Nonostante che dalle tabelle si evinca il contrario, solamente alcuni apparecchi d'appoggio sono bilateri e peraltro tale tipo di vincolo è realizzato mediante carpenteria esterna”.

**Priorità 2. Eurolink clarification 2023:** “Dispositivi dotati di magisteri atti a impedirne il sollevamento sono previsti ovunque sia stata calcolata un'azione di trazione o allo SLS o allo SLU, si faccia riferimento all'elaborato PS0201. L'anti-sollevamento è realizzato tramite dispositivi esterni onde permettere che l'apparecchio di appoggio, ricadendo nell'ambito della UNI EN 1337, sia marcabile CE ed impiegabile come materiale da costruzione. Il dettaglio sarà sviluppato in sede di PE”.

**Parere CS-2023:** Questo CS, nel prendere atto del chiarimento dato dal CG, ribadisce comunque che, stante la complessità delle zone di transizione alle due estremità dell'Opera di Attraversamento e la necessità di garantire adeguata robustezza al sistema, sia necessario valutare l'adozione del vincolo bilatero, non solo in relazione ai risultati che scaturiscono dalle analisi, ma anche alle conseguenze che possono scaturire dal sollevamento in corrispondenza dell'appoggio realizzato come monolatero.

