

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 ricoprono gli intervalli di tensioni efficaci rappresentativi di tutte le condizioni di carico utilizzate nelle verifiche e nelle analisi;
7. pianificare ed eseguire prove triassiali programmate con idonei percorsi di carico, i cui esiti potranno essere utilizzati anche per una migliore quantificazione dello stato tensionale iniziale nella modellazione ad EF, superando le assunzioni sulle storie di carico pregresse sui due versanti;
8. quantificare sperimentalmente l'angolo di dilatanza dei mezzi granulari coinvolti e della rigidità 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 sottostrutture in campo dinamico per mezzo di modellazione agli EF 3D, confrontando gli spostamenti dei blocchi di ancoraggio calcolati con quelli forniti dal metodo di Newmark;

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 perseguimento 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 geomeccaniche 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 progettuale,

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. accertare e considerare, in tema di verifiche e misure antincendio, la durabilità prestazionale dei sistemi di pittura intumescente previsti per la protezione della torre e dei collari, verificandone la compatibilità con il sistema di manutenzione delle verniciature anticorrosione.

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 similari, 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), accertare che nel caso di eventi estremi e di lunga durata venga comunque garantita la fornitura di energia elettrica;
50. esplorare la possibilità, per le torri, di ricorrere a sistemi di controllo semiattivo o ibrido o anche l'ipotesi di utilizzare dispositivi di ultima generazione TMDI (Tuned Mass Damper with Inerter) sia per le torri, in alternativa agli AMD, sia per l'impalcato, per ridurre 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 del 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.