

## LA FATTIBILITA' TECNICA - DOMANDE & RISPOSTE

### Focus sulla gestione stradale e ferroviaria

#### • Per il ponte sullo Stretto sono stati eseguiti studi sui rischi indotti della circolazione?

Nell'ambito del progetto sono stati eseguiti appositi studi dedicati alla analisi dei rischi della circolazione, che dimostrano come il progetto rispetti elevati standard di sicurezza. Questi sono:

- Principi di valutazione del rischio
- Dati di base ORA (Operation Risk Analysis)
- Identificazione di rischio
- Rischi naturali
- Incidenti da traffico ferroviario
- Incidenti da traffico stradale
- Incidenti da traffico navale
- Rischio da fuoco
- Analisi di rischio delle operazioni principali
- Rischi da rilascio di sostanze pericolose
- Incidenti da traffico Aereo
- Analisi di rischio della realizzazione dell'opera

#### • E' noto che per il transito dei treni sui ponti il Gestore della infrastruttura ferroviaria italiana (RFI) stabilisca limiti di deformabilità stringenti: considerata la deformabilità dei ponti sospesi, risulterà possibile far transitare in sicurezza i treni sul Ponte di Messina?

La transitabilità dei treni sui ponti italiani di grande luce è garantita attraverso le "analisi di percorribilità" disciplinate dalle normative ferroviarie europee di riferimento. In queste analisi vengono controllati alcuni parametri inerenti sia la sicurezza del treno, relativi alla sua dinamica di marcia, sia il comfort dei passeggeri. Il Ponte sullo Stretto ha superato la prova delle analisi di percorribilità rispettando tutti i valori limite dei parametri di controllo così come riportati nelle citate normative ferroviarie di riferimento. Le analisi di percorribilità per questa opera sono state condotte, parallelamente ed in assoluta indipendenza, sia dal Progettista e sia dal Project Management Control di Stretto di Messina SpA (il PMC è una società esperta nella progettazione di queste opere, che Stretto di Messina SpA ha ingaggiato per controllare il progetto) che ha confermato i risultati ottenuti dal Progettista.

- **La pendenza longitudinale sul ponte è compatibile con gli standard imposti dal gestore della rete ferroviaria in Italia?**

La pendenza longitudinale sul ponte rispetta gli standard imposti dal gestore della rete ferroviaria.

Le condizioni di circolazione dei treni lungo il ponte sono state verificate mediante simulazioni numeriche che hanno dato esito positivo.

Il parametro indicativo per il traffico ferroviario è la pendenza longitudinale convenzionale, ovvero la pendenza mediata lungo lo sviluppo del treno. Ciò per tenere in conto la deformabilità longitudinale dell'impalcato durante la circolazione ferroviaria.

Per comprendere il concetto si pensi ad un treno fermo in una posizione qualunque del ponte lontana dalle torri. Il peso abbassa l'impalcato lungo tutto il treno e lungo i tratti adiacenti. L'abbassamento massimo si ha in corrispondenza della metà del treno e quando ci si allontana da detta posizione gli abbassamenti diminuiscono. Per tale ragione metà del treno si trova in discesa e l'altra metà in salita. La pendenza in discesa compensa, in tutto o in parte, quella in salita. Di conseguenza la pendenza longitudinale convenzionale lungo tutto il treno è quasi nulla quando il treno è nella zona centrale del ponte e in buona parte compensata nelle altre posizioni.

I valori di pendenza longitudinale convenzionale calcolati sul ponte rientrano pienamente nei valori riportati nelle specifiche progettuali ed in quelli ammessi sulla rete ferroviaria italiana, definiti, questi ultimi, per assicurare la prestazione di trazione delle locomotive, durante la fase di avvio, e di frenatura dell'intero treno, durante la fase di arresto.

- **Sono state verificate le condizioni di circolazione dei treni sul ponte in presenza degli spostamenti verticali che si generano sull'impalcato?**

Nei ponti sospesi di luce superiore a circa 1000 m la rigidezza globale è data principalmente dal tiro nei cavi di sospensione, risultando trascurabile il contributo della rigidezza flessionale dell'impalcato. La sezione dei cavi, dipendente dal tiro, cresce in modo più che proporzionale al crescere della luce e la rigidezza globale cresce in modo analogo, compensando l'incremento dimensionale. Per questo motivo i ponti sospesi di luce intorno a 1000 metri possono avere, sotto l'azione di carichi verticali, abbassamenti analoghi a quelli di ponti sospesi di luce più che doppia, a parità di carico. Spostamenti verticali di analoga entità su luci maggiori implicano che sono inferiori le pendenze e le rotazioni longitudinali dell'impalcato, con evidenti vantaggi per le prestazioni ferroviarie. I valori bassi delle pendenze sugli impalcati di grande luce e la pendenza longitudinale convenzionale, di cui al precedente punto, hanno effetti benefici per la circolazione dei treni.

Le condizioni di circolazione dei treni lungo il ponte sono state verificate mediante simulazioni numeriche che hanno dato esito positivo.

- **Sono state verificate le condizioni di circolazione dei treni sul ponte in presenza degli spostamenti trasversali che si generano sull'impalcato?**

Sulle linee ferroviarie il valore massimo della sopraelevazione del binario è di 160 mm, ben maggiore di quello sul ponte di 66 mm.

Il dislivello tra le rotaie è presente lungo le curve delle linee ferroviarie ove le rotaie sono intenzionalmente poste con un dislivello per migliorare le condizioni di circolazione dei treni. Soltanto nei tratti in rettilineo le rotaie sono allo stesso livello. Quando il treno percorre una curva si genera un'accelerazione trasversale che causa una spinta laterale avvertita dal viaggiatore a bordo e che, se raggiungesse valori elevati, potrebbe disturbarlo. Il dislivello tra le rotaie limita l'azione trasversale e, di conseguenza, migliora le condizioni a bordo del treno.

Le condizioni di circolazione dei treni lungo il ponte sono state verificate con simulazioni numeriche che hanno dato esito positivo.

- **Sono state verificate le condizioni di deformazione dell'impalcato ferroviario previste per i ponti ferroviari ordinari?**

Le condizioni di deformazione dell'impalcato ferroviario sono state verificate con simulazioni numeriche che hanno dato esito positivo.

Nei ponti ferroviari ordinari caratterizzati da luci modeste e schemi statici semplici viene usualmente adottato quale parametro significativo ai fini della percorribilità ferroviaria il rapporto tra la freccia e la luce in condizioni di carico reale (1/600). Tale valore però non risulta applicabile per opere non ordinarie convenzionali quali ponti strallati, ponti sospesi o ponti di grande luce, per i quali è previsto (Manuale di Progettazione Opere Civili – Sezione 2 Ponti e Strutture RFI DTC SI PS MA IFS 001 F) lo svolgimento di analisi dinamiche specifiche con modelli di carico corrispondenti a treni di tipo reale, al fine di determinare gli effettivi coefficienti di incremento dinamico da confrontare con quelli applicati ai modelli di carico convenzionali, allo scopo di valutare la percorribilità e la sicurezza dei veicoli ferroviari nonché altri parametri rilevanti per il sistema di armamento e l'interazione con la struttura.

- **E' vero che gli spostamenti verticali del Ponte per la presenza di auto e treni possono raggiungere il valore di circa 11,5 m circa? Questi spostamenti sono compatibili con la percorribilità dei veicoli e dei treni?**

Gli abbassamenti massimi teorici dell'impalcato del ponte possono raggiungere i valori estremi citati in corrispondenza di condizioni di carico molto gravose (presenza contemporanea di 2 treni merci di massimo peso di lunghezza 750m ciascuno e posti affiancati, in presenza di 45 mezzi pesanti da 40 t sulle corsie stradali, durante la stagione estiva e con temperature molto elevate). Tali condizioni, sebbene non effettivamente realizzabili, sono state previste cautelativamente dalle specifiche progettuali per la valutazione della percorribilità ferroviaria e dei parametri che definiscono la percorribilità dell'opera.

Anche con queste condizioni di carico il Ponte rispetta tutti i limiti imposti dalle specifiche di progetto e risulta percorribile da treni e auto senza restrizioni, in quanto le condizioni dell'impalcato risultano compatibili con la più completa percorribilità dell'opera.

- **E' vero che lo spostamento laterale del Ponte per effetto dei venti massimi registrabili nello Stretto è di circa 9 m? Questo spostamento è compatibile con la percorribilità dei veicoli e dei treni oppure per questo motivo il Ponte risulterà chiuso al traffico per molti giorni nel corso di ogni anno?**

Il ponte sullo Stretto di Messina sarà aperto 365 giorni l'anno 24 ore su 24, senza alcuna interruzione di traffico a causa del vento: questo in virtù della particolare forma aerodinamica dell'impalcato e dei dispositivi di barriere antivento. La chiusura del ponte non è prevista se non per eventi eccezionali (velocità medie del vento superiore a 169 Km/h), che è una velocità che può statisticamente attendersi nello Stretto una volta nell'arco di 200 anni

In particolare, spostamenti laterali dell'impalcato dell'ordine dei 9 m, sotto l'azione laterale del vento, possono raggiungersi per velocità medie del vento di 169 Km/h,

Entro questi limiti è garantita la percorribilità ferroviaria di tutti i treni passeggeri e merci, fatta eccezione per treni merci senza carico utile. Le registrazioni ventennali del vento, effettuate in sito, non hanno mai rilevato velocità medie del vento superiori a 169 Km/h.

- **A proposito del Ponte sospeso Akashi in Giappone (secondo ponte sospeso più lungo al mondo con una lunghezza di 1991m), è vero che in origine era stato previsto con doppia carreggiata sia stradale che ferroviaria e che gli ingegneri giapponesi hanno poi deciso di eliminare il passaggio della ferrovia? Questa decisione può ricondursi alle problematiche legate al passaggio dei treni sui ponti sospesi?**

La motivazione dell'assenza di binari sul ponte Akashi è esclusivamente di natura trasportistica.

Il ponte Akashi in Giappone è parte di uno dei collegamenti tra le isole di Honshu e Shikoku. Obiettivo generale fu a suo tempo, negli anni '70, di favorire un trasferimento di popolazione dalla densa isola principale Honshu alla meno popolata isola Shikoku. Per questo fu intrapreso un colossale progetto comprendente tre direttrici di collegamento, collocate nelle porzioni Est (Kobe-Awaji-Naruto Expressway, con lo stretto dell'Akashi), centrale (Seto-Chūō Expressway) e Ovest (Nishiseto Expressway). In una prima ipotesi fu previsto un collegamento ferroviario sull'allineamento Est, che lo avrebbe collocato alla minore distanza dalla conurbazione Kobe-Osaka ma sarebbe stato decentrato rispetto alle maggiori città dell'isola di Shikoku. In questo ambito fu sviluppato il progetto del ponte sospeso stradale e ferroviario sull'Akashi. Successivamente si ritenne, per motivazioni di carattere esclusivamente trasportistico, di collocare il collegamento ferroviario sulla connessione centrale, con migliore distribuzione delle tratte interne. Per favorire lo sviluppo anche del trasporto ferroviario, la linea centrale fu realizzata per prima e completata nel 1988, con la presenza di tre ponti sospesi ferroviari (Shimotsui Seto, Kita

Bisan Seto e Minami Bisan Seto, ciascuno di lunghezza tra 950 m e 1.100 m), tutti progettati e dimensionati per quattro binari, due dedicati al traffico ordinario e due all'alta velocità, ad oggi non attivata.

- **A proposito del Ponte sospeso Storebaelt in Danimarca (secondo ponte sospeso più lungo in Europa con una lunghezza di 1624m), è vero che appartiene ad un sistema stradale e ferroviario composto da una serie di viadotti, dove il traffico automobilistico cammina in parallelo con quello ferroviario e che in corrispondenza del ponte sospeso il solo traffico automobilistico attraversa il ponte, mentre i treni vengono deviati e spediti in un tunnel profondo scavato sotto il livello del mare? Questa decisione può ricondursi alle problematiche legate al passaggio dei treni sui ponti sospesi?**

Dalle informazioni raccolte da Stretto di Messina SpA risulta che sin dagli anni '70 sono stati condotti studi approfonditi su una soluzione di ponte sospeso stradale e ferroviario per l'attraversamento dello Storebaelt che hanno portato alla definizione, come soluzione tecnica preferita e di minore costo da parte della concessionaria Sund&Belt, di un ponte sospeso stradale e ferroviario di 1416 m di luce. Questa soluzione viene descritta con una certa ampiezza nella prima edizione del 1983 del testo del professore danese N.J. Gimsing "Cable Supported Bridges". La decisione di separare la parte stradale da quella ferroviaria, collocata in tunnel, fu infatti non tecnica, ma di politica dei trasporti. L'intenzione del governo danese del tempo fu di realizzare prima il tunnel ferroviario ed aprirlo al traffico, in modo da dare impulso al trasporto su ferro allora poco sviluppato nella Danimarca insulare, per poi seguire con il collegamento stradale. La conferma che si è trattato di una decisione politica e non tecnica può essere ampiamente riscontrata nella stampa danese del periodo, oltre che da quanto scritto dal Prof. Gimsing in una successiva edizione dello stesso testo "... The studies for a combined road and rail bridge across the eastern channel of the Storebaelt later become superfluous as it was decided by the politicians that the crossing should have separate road and railway links with the railway in a tunnel and the road on a bridge ...". Il prof. Gimsing, che si ricorda aver fatto parte della "Consulta Estera" per gli studi di fattibilità per l'attraversamento dello Stretto, ha sempre confermato la piena fattibilità e convenienza tecnico-economica della soluzione "ponte stradale e ferroviario" sia per quell'opera, che per il Ponte sullo Stretto di Messina.



- **Il ponte sullo Stretto è compatibile con il transito dei treni merci pesanti?**

Nel progetto definitivo è stata eseguita con successo la verifica di percorribilità ferroviaria (runnability), simulando l'incrocio in qualsiasi posizione di due treni merci pesanti da 750m. Considerando che un singolo vagone merci ha un peso di circa 80 tonnellate e che un treno da 750 metri è composto da 30 vagoni, il peso totale di un solo treno, compreso il locomotore, è superiore a 2.500 tonnellate.

Va poi aggiunto che da un punto di vista statico il ponte è stato calcolato con la presenza di quattro treni merci pesanti da 750m presenti contemporaneamente sull'impalcato ed ubicati nelle posizioni più sfavorevoli.

- **Sono previsti scambi ferroviari nel ponte sullo Stretto?**

Non sul ponte. Nel Progetto sono presenti scambi ferroviari sia lato Calabria, nel tratto compreso tra il ponte e la prima galleria, sia lato Sicilia, dopo la stazione di Papardo tra le gallerie S. Agata e S. Cecilia. Le distanze tra questi scambi rientrano tra le distanze standard per la normale gestione e manutenzione di una linea ferroviaria.



## Focus Costruzione

- **Considerate le dimensioni eccezionali del Ponte potranno sorgere problemi inaspettati e non risolvibili durante la costruzione, tali da rendere impossibile il completamento dei lavori?**

La progettazione del Ponte è stata sviluppata con l'intenzione di evitare scelte estreme e di adottare per le singole componenti del Ponte soluzioni costruttive già sperimentate con successo in altri ponti costruiti e in esercizio, alle quali sono dedicate numerosi elaborati progettuali. Quale esempio si citano:

- la tecnica costruttiva dei cavi principali, già utilizzata nelle maggiori realizzazioni degli ultimi decenni (ponti sospesi Akashi, Canakkale, Oman Gazi), ossia quella di impiego di funi prefabbricate;
- la struttura delle torri che utilizza acciai ad alta resistenza in grande spessore, come per i ponti Akashi e Canakkale, nonché le tecniche di costruzione, del tutto analoghe a quelle dei ponti appena citati, peraltro in condizioni morfologiche e di ventosità non meno impegnative di quelle dello Stretto di Messina;
- le tecnologie adottate per la movimentazione ed il sollevamento dei conci dell'impalcato, anche in questo caso analoghe a quelle utilizzate con successo in molti altri ponti sospesi.

In conclusione si può affermare che la completezza degli studi costruttivi eseguiti escludono l'insorgenza di problemi costruttivi non preventivati e non risolvibili durante la costruzione, come avvenuto per gli ultimi ponti sospesi realizzati nel mondo.

