

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)
SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)
COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)
SACYR S.A.U. (MANDANTE)
ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)
A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

<p>IL PROGETTISTA COWI Ing. E.M. Veje Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n°15408</p> 	<p>IL CONTRAENTE GENERALE Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>
---	--	---	---

<p><i>Unità Funzionale</i> <i>Tipo di sistema</i> <i>Raggruppamento di opere/attività</i> <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> <i>Titolo del documento</i></p>	<p>OPERA DI ATTRAVERSAMENTO STUDI DI BASE ANALISI GLOBALI Generale Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort</p>	<p>PB0029_F0</p>
---	---	-------------------------

CODICE	C G 1 0 0 0	P	R X	D	P	S B	A 2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 2	F0
--------	-------------	---	-----	---	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20-06-2011	EMISSIONE FINALE	PKAN/GB/SG	JCA/FB	JCA/EYA

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

INDICE

INDICE	3
1 Relazione di sintesi	7
1.1 <i>Principi Base, Dinamica ferroviaria</i>	8
1.1.1 <i>Sicurezza</i>	8
1.2 <i>Proprietà dinamiche dei treni RFI</i>	9
1.3 <i>Carichi e combinazioni dei carichi</i>	9
1.4 <i>Combinazioni di treni</i>	10
1.5 <i>Descrizione del modello globale IBDAS</i>	10
1.6 <i>Analisi locale di percorribilità ruota/binario AdTreS</i>	11
1.6.1 <i>Modello di raccordi e binario ferroviario incorporato</i>	12
1.7 <i>Scopo dell'analisi locale</i>	12
1.8 <i>Principali risultati dell'analisi - Percorribilità, sicurezza e comfort</i>	13
1.9 <i>Risultati principali delle analisi - Percorribilità stradale</i>	14
2 Introduzione	16
3 Requisiti di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	17
3.1 <i>Scopo e campo di applicazione</i>	18
3.2 <i>Stati limite</i>	18
3.3 <i>Criteri</i>	18
3.4 <i>Sicurezza</i>	19
3.4.1 <i>Deragliamenti</i>	19
3.4.2 <i>Ribaltamento</i>	20
4 Specifiche di carico	21
4.1.1 <i>Deformazione del carico statico (PP + PN)</i>	23
4.1.2 <i>Carico stradale e ferroviario (QR)</i>	23
4.1.3 <i>Azione del vento (VV)</i>	23
4.1.4 <i>Azione sismica (VS)</i>	28
4.1.5 <i>Azione termica (VT)</i>	32
4.2 <i>Combinazioni di carichi</i>	32
5 Modellizzazione reale del treno	34
5.1 <i>Modello IBDAS di treno dinamico</i>	34
5.2 <i>Modello ADTreS di treno dinamico</i>	35

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

5.3	<i>Proprietà dei treni</i>	36
6	Matrice di analisi	38
7	Introduzione al modello IBDAS	40
7.1	<i>Modellizzazione del treno dinamico IBDAS</i>	40
7.2	<i>Risultato</i>	41
7.3	<i>Modello di ponte IBDAS</i>	41
7.3.1	Approccio 14 DOF	42
8	Risultati dell'analisi globale IBDAS.....	44
8.1	<i>Combinazione di carichi 2, assenza di carichi ambientali</i>	44
8.2	<i>Combinazione di carichi 4, carico del vento</i>	45
8.2.1	Approccio di calcolo statico.....	45
8.2.2	Approccio di calcolo dinamico.....	47
8.3	<i>Combinazione di carichi 5, sisma</i>	55
8.4	<i>Analisi della percorribilità stradale</i>	69
8.5	<i>Spostamento verticale massimo</i>	69
9	Analisi locale di percorribilità ruota/binario	71
9.1	<i>Modello di ponte ADTres</i>	71
9.1.1	Modello del veicolo ferroviario.....	72
9.2	<i>Descrizione del modello di esecuzione a travi multiple</i>	72
9.2.1	Proprietà del modello FE (elementi strutturali)	72
9.2.2	Proprietà dei materiali	78
9.2.3	Discretizzazione dei cassoni	80
9.2.4	Convalida del modello strutturale.....	83
9.3	<i>Analisi del modello ADTres</i>	83
9.4	<i>Analisi modale SAP2000 e confronto</i>	86
9.5	<i>Modello di raccordi e binario ferroviario incorporato</i>	89
9.5.1	Raccordi del binario (tipo e proprietà della rete).....	89
9.5.2	Irregolarità del binario (riferimento ai codici)	91
9.6	<i>Combinazioni di treni</i>	91
10	Risultati dell'analisi locale	93
10.1	<i>Metodo di verifica</i>	93
10.2	<i>Posizioni risultanti</i>	95
10.3	<i>Quantità risultanti</i>	106

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

10.4	<i>Analisi dell'accelerazione del veicolo</i>	110
10.5	<i>Analisi del carico verticale delle ruote del veicolo</i>	110
10.6	<i>Confronto con carichi progettuali (Istruzioni da RFI)</i>	112
11	Modello globale ADTRES e analisi	115
11.1	<i>Modello globale FE</i>	117
11.2	<i>Analisi modale</i>	121
11.3	<i>Analisi globali di percorribilità ADTres: risultati dei casi critici</i>	123
12	Riferimenti	163
13	Appendice 1 (Risultati completi IBDAS)	1
13.1	<i>Combinazione di carichi SLS1 2 - Assenza di carico termico</i>	165
13.2	<i>Combinazione di carichi SLS1 2 - Carico termico</i>	168
13.3	<i>Combinazione di carichi SLS1 4 - Assenza di carico termico</i>	171
13.3.1	<i>Velocità del vento media di 44 m/s per 10 minuti (tempo registrato per il vento SLS1) – Risultati di percorribilità e sicurezza</i>	171
13.3.2	<i>Velocità del vento media di 38 m/s per 10 minuti (tempo registrato per il vento SLS1 in scala) – Risultati di percorribilità e sicurezza</i>	172
13.3.3	<i>Velocità del vento media di 38 m/s per 10 minuti (tempo registrato per il vento SLS1 in scala) – Risultati di comfort</i>	172
13.3.4	<i>Velocità del vento media di 47 m/s per 10 minuti (tempo registrato per il vento SLS2) – Risultati di percorribilità e sicurezza</i>	173
13.4	<i>Combinazione di carichi SLS1 4 - Carico termico</i>	173
13.4.1	<i>Velocità del vento media di 38 m/s per 10 minuti (tempo registrato per il vento SLS1 in scala) – Risultati di percorribilità e sicurezza</i>	173
13.5	<i>Appendice 2: Risultati della simulazione del modello locale</i>	174
13.5.1	<i>Simulazione 1 - RFI 1: Locomotiva ETR500 (velocità 144 km/h)</i>	174
13.5.2	<i>Simulazione 2 - RFI 1: Carrozza ETR500 (velocità 144 km/h)</i>	177
13.5.3	<i>Simulazione 3 - RFI 2: Locomotiva ETR470 (velocità 144 km/h)</i>	181
13.5.4	<i>Simulazione 4 - RFI 2: Carrozza ETR470 (velocità 144 km/h)</i>	185
13.5.5	<i>Simulazione 5.1 - RFI 3: Locomotiva E402B (velocità 144 km/h)</i>	189
13.5.6	<i>Simulazione 5.2 - RFI 3: Locomotiva E402B (velocità 120 km/h)</i>	193
13.5.7	<i>Simulazione 5.3 - RFI 3: Locomotiva E402B (velocità 110 km/h)</i>	197
13.5.8	<i>Simulazione 5.4 - RFI 3: Locomotiva E402B100 (velocità 100 km/h)</i>	201
13.5.9	<i>Simulazione 5.5 - RFI 3: Locomotiva E402B90 (velocità 90 km/h)</i>	206

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00- 02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

13.5.10	Simulazione 5.6 - RFI 3: Locomotiva E402B80 (velocità 80 km/h).....	211
13.5.11	Simulazione 5.7 - RFI 3: Locomotiva E402B70 (velocità 70 km/h).....	215
13.5.12	Simulazione 5.8 - RFI 3: Locomotiva E402B60 (velocità 60 km/h).....	220
13.5.13	Simulazione 5.9 - RFI 3: Locomotiva E402B50 (velocità 50 km/h).....	224
13.5.14	Simulazione 5.10 - RFI 3: Locomotiva E402B (velocità 144 km/h).....	228
13.5.15	Simulazione 6 - RFI 3: Semipilota MD (velocità 144 km/h)	231
13.5.16	Simulazione 7 - RFI 4: Locomotiva TAF (velocità 144 km/h)	238
13.5.17	Simulazione 8 - RFI 4: Carrozza TAF (velocità 144 km/h)	243

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

1 Relazione di sintesi

Il Ponte di Messina è un ponte con un progetto altamente innovativo, con la campata più lunga del mondo (3300 m), per collegare la Sicilia con la parte continentale dell'Italia. Si tratterà di un ponte sospeso formato da 4 cavi principali, un triplo cassone in acciaio e torri in acciaio alte 399 m. Ci si è spinti ai limiti delle attuali esperienze in materia di ponti, con una struttura che è notevolmente più grande rispetto a quella che al momento è la campata più lunga del mondo con i suoi 1991 m (ponte Akashi Kaikyo), e oltre a ciò la stabilità aerodinamica della struttura dell'impalcato trae beneficio dalle caratteristiche fornite dall'innovativa struttura a triplo cassone. Perciò la percorribilità ferroviaria, la sicurezza e il comfort di marcia devono essere verificate per il progetto strutturale.

La presente relazione riguarda lo scopo e l'approccio allo studio di percorribilità, sicurezza e comfort relativo alla ferrovia svolto per il ponte sullo Stretto di Messina.

Lo scopo principale dello studio sulla percorribilità è verificare che i treni effettivi che saranno probabilmente operativi sul ponte soggetto ai carichi specificati nei Principi Base, documento GCG.F.04.01, soddisfino i requisiti di percorribilità, nonché sicurezza e comfort. Tali requisiti sono indicati specificatamente per ogni stato limite (SLS1 e SLS2) e relative combinazioni di carichi.

Analisi e modelli si possono suddividere in due categorie:

- Analisi globali svolte con IBDAS, il software interno di COWI, sviluppato da FE, con un modello di treno comprendente 7 gradi di libertà (DOF) per carrello. IBDAS consente un'analisi diretta dell'interazione dinamica treno-ponte, dove i treni in movimento interagiscono direttamente con il modello globale FE utilizzando l'approccio modale del campo di frequenza. Questo gruppo di analisi è eseguito su un modello globale del ponte FE, con un modello semplificato dei treni in modo che non vi sia inserita modellizzazione di binari e raccordi. Si considera il numero totale di casi da analizzare, in modo da ottenere un'immagine ampia del comportamento di treno e ponte e dei parametri di risposta.
- Analisi locali con un numero elevato e determinato di modello di treno DOF, nonché binario e raccordi modellizzati. L'analisi locale è stata eseguita con ADTreS, un pacchetto software interamente sviluppato e convalidato dal Dipartimento di Ingegneria Meccanica del Politecnico di Milano. È interamente dedicato alla modellizzazione matematica dell'interazione treno-binario-ponte. Si basa su un modello multistruttura del veicolo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

ferroviario e sull'approccio dell'elemento finito per il ponte, che può comprendere anche il binario. L'obiettivo di questo gruppo di analisi è la valutazione del comportamento dinamico locale dei treni, determinando i carichi dinamici provocati dai treni reali su binari, raccordi, nonché sulle longherine primarie sottostanti e sul cassone ferroviario, da confrontare con i carichi statici convenzionali adottati per la progettazione degli stessi elementi.

Una delle principali preoccupazioni per la percorribilità ferroviaria del ponte sullo stretto di Messina è la sensibilità ai carichi di vento che agiscono sul ponte e, in particolare, sui treni. In particolare, i vagoni merci vuoti risultano problematici a tale proposito. Le accelerazioni indotte sui treni al passaggio dei giunti di dilatazione rappresentano un'area di ulteriore interesse. A parte queste questioni evidenti, la valutazione automatica dell'interazione treno-ponte nei modelli analitici garantisce inoltre la copertura dei potenziali effetti di amplificazione dinamica.

Con due binari ferroviari sul ponte, sei diversi treni dinamici calibrati secondo le tipologie realmente esistenti, tre posizioni strutturali chiave sul ponte in cui i treni si incrociano e due stati limite comprendenti un totale di 6 combinazioni di carichi, il numero totale di possibili combinazioni analitiche ammonta a circa 600. Questa quantità elevata di analisi richiede un approccio di calcolo sistematico e altamente automatizzato.

1.1 Principi Base, Dinamica ferroviaria

Il documento relativo ai Principi di Base della gara d'appalto GCG F.04.01 (Design basis and expected performance levels) delinea le verifiche di deragliamento e ribaltamento del treno da eseguire. Il progetto di base è stato elaborato ulteriormente nel documento "CG1000-P-RG-D-P-GE-00-00-00-00-00-02-A Manuale applicativo riferito ai fondamenti progettuali".

1.1.1 Percorribilità

I livelli delle prestazioni di percorribilità ferroviaria devono essere soddisfatti in accordo col documento "CG1000-P-RG-D-P-GE-00-00-00-00-00-02-A Manuale applicativo riferito ai fondamenti progettuali".

1.1.1 Sicurezza

La verifica di deragliamento si basa sulle variazioni della forza laterale, Y , e della forza verticale, P , nei punti di contatto ruota-binario per il sistema dinamico treno-ponte.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

I test eseguiti dal gruppo ORE C-138 hanno dimostrato che il deragliamento può verificarsi nel caso estremo in cui il rapporto Y/P sia superiore a 1.2 su una distanza superiore a 2 m. Per questa ragione il seguente valore è generalmente considerato come il criterio di sicurezza rispetto al deragliamento:

$$\frac{Y}{P} < 1.2$$

Tuttavia, per mantenere un margine di sicurezza soddisfacente, nel funzionamento normale, il rapporto non dovrà superare:

$$\frac{Y}{P} < 0.8$$

Il rischio di ribaltamento si valuta tramite il coefficiente di scarico ruota massimo, $\Delta P/P$. Lo Standard Europeo EN 14067-6, paragrafi 5.4.3.4 e 5.4.4.1, indica il rapporto limite $\Delta P/P < 0.9$ per treni soggetti a venti laterali supportati dalle Technical Specifications for Interoperability (TSIs) High Speed Rolling Stock, Annex G. Al fine di disporre le azioni dinamiche, comprese irregolarità dei binari e venti laterali, è stato concordato, a seguito di valutazione con SdM, Parsons ed EuroLink di utilizzare il rapporto:

$$\frac{\Delta P}{P} < 0.9$$

1.2 Proprietà dinamiche dei treni RFI

Tutti i parametri rilevanti di vagoni e locomotive sono basati sulle proprietà dinamiche presenti nel documento No. DT.ISP.F.E.R3.001 [1] e ulteriormente come corrette da SdM.

1.3 Carichi e combinazioni dei carichi

Le analisi svolte comprendono combinazioni di più parametri:

- Carichi ambientali, cioè temperatura, vento e attività sismica
- Numero di treni
- Posizione dei treni
- Velocità dei treni.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

I singoli carichi da inserire nell'analisi sono definiti nei Principi Base [2]. I carichi sono i seguenti:

- Deformazione del carico statico (PP + PN)
- Carico stradale e ferroviario (QR)
- Azione del vento (VV)
- Azione sismica (VS)
- Azione termica (VT)

1.4 Combinazioni di treni

Le combinazioni di treno analizzate sono composte da un totale di 27 casi diversi analizzati da elaborazioni al computer complete e individuali.

Nei casi in cui due treni si passano l'un l'altro sul ponte, tre diverse posizioni relative dei treni sono considerate con lo scopo di valutare le posizioni dei treni più sfavorevoli.

Le tre posizioni relative dei due treni corrispondono a:

- 1 I treni si incontrano nel mezzo della campata centrale.
- 2 I treni si incontrano approssimativamente alla torre.
- 3 I treni si incontrano approssimativamente nel giunto di espansione.

Tuttavia, solo per alcune analisi è stato studiato l'incrocio dei treni solo nella parte centrale del ponte a causa dei lunghi tempi di calcolo. Questo riguarda le analisi che includono i carichi sismici o il vento turbolento. Il risultato delle analisi eseguite per tutti e tre i punti di incrocio ha dimostrato che la sua influenza è minore.

1.5 Descrizione del modello globale IBDAS

I treni sono modellizzati tramite modello di carrello/7 DOF contenente due masse separate: la massa del carrello e la massa della carrozza. La massa del carrello contiene quattro DOF: traslazione laterale verticale e orizzontale, nonché rollio e beccheggio. La massa della carrozza contiene gli stessi due DOF di traslazione, oltre al rollio. L'interfaccia di contatto tra ruote e binari è modellizzata come collegamento totalmente rigido nel modello IBDAS. Non si può quindi calcolare alcun contatto ruota/binario rappresentativo. Per tale approccio di modellizzazione, possono comparire le forze negative delle ruote, cioè le forze di trazione, qualora le forze di sollevamento

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

delle ruote superino la forza di compressione del carico statico del treno. Di conseguenza, i risultati sono affidabili solo quando la forza di contatto ruota/binario è una forza di compressione.

Tra i punti di contatto ruota/binario e la massa del carrello, la sospensione primaria è modellizzata tramite sistema molla/smorzatore sia verticale sia laterale. Esiste una composizione identica per la sospensione secondaria, tra la massa del carrello e della carrozza. Molle e smorzatori del modello sono caratterizzati da coefficienti costanti, quindi esiste una relazione completamente lineare tra spostamento/velocità e forza.

I diversi criteri da esaminare in merito alle valutazioni di percorribilità, sicurezza e comfort sono forniti come conseguenza diretta nei file dei risultati generati da IBDAS. L'utente non deve quindi eseguire noiose elaborazioni dei dati di grandi file cronologici per calcolare le quantità rilevanti. Analogamente, IBDAS può riportare automaticamente quantità estreme nell'ambito di una serie temporale completa.

1.6 *Analisi locale di percorribilità ruota/binario AdTreS*

In questo capitolo, è stata particolarmente approfondita l'interazione locale dinamica tra transito dei treni e risposta della struttura attraverso diaframmi e traversi. Per raggiungere l'obiettivo, è stato sviluppato, modellizzato e convalidato un modello locale dettagliato del cassone ferroviario. L'intero cassone ferroviario è separato dalle quattro travi a T situate sotto il binario ferroviario e modellizzate singolarmente.

Il modello del veicolo ferroviario si basa su un approccio multistruttura corrispondente alla dinamica sia verticale sia laterale dell'interazione treno-struttura. Ogni veicolo è formato da sette strutture rigide (cioè carrozzeria, due carrelli e quattro assi montati) collegate tra loro dalle sospensioni primarie e secondarie. Gli elementi elastici e smorzanti lineari e non lineari sono utilizzati per la schematizzazione delle sospensioni. Si prevede che la carrozzeria e i carrelli abbiano ciascuno 5 gradi di libertà: movimenti rigidi di traslazione laterale e verticale della carrozzeria e rotazioni rigide di imbardata, rollio e beccheggio della carrozzeria stessa. Ogni asse montato è modellizzato secondo un sistema con 2 gradi di libertà che comprende un movimento di traslazione laterale e una rotazione di imbardata. Il movimento di traslazione verticale dell'asse montato rappresenta una variabile che dipende dallo spostamento laterale relativo tra binario e asse montato in maniera non lineare.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

Il modello multistruttura completo del veicolo prevede un totale di 23 DOF, in cui il modello longitudinale è fornito selezionando la velocità del veicolo. Spostamento laterale e verticale e rotazione di rollio dell'intera ferrovia si calcolano come sovrapposizione delle irregolarità e deformabilità dei binari. Il movimento laterale dei binari viene considerato attraverso la cosiddetta "rigidità gravitazionale" [15].

1.6.1 Modello di raccordi e binario ferroviario incorporato

Per migliorare la schematizzazione del modello locale strutturale si introduce un modello di binario ferroviario incorporato. Entrambi i binari sono posati su un strato continuo di elementi in gomma che si estende sull'intera lunghezza. Il modello matematico del binario incassato si sviluppa come segue:

- i binari sono modellizzati come elementi finiti tipo travi.
- i piani di posa in gomma sono modellizzati come uno strato continuo di elementi viscoelastici distribuiti uniformemente che uniscono il modello dell'elemento finito a travi multiple e il binario.

I valori dei parametri sono stati selezionati in modo che lo spostamento verticale e laterale dei binari siano inferiore a 2 mm applicando rispettivamente un carico verticale di 20 tonnellate/asse e una forza laterale di 20 kN.

1.7 Scopo dell'analisi locale

L'interazione locale tra treno e cassone ferroviario viene esaminata per una struttura con campata corta. Si sviluppa un modello locale di elemento finito lungo 300 m secondo le caratteristiche geometriche e fisiche del modello di elemento finito globale in scala reale.

È stato analizzato il fattore di amplificazione dinamica definito come rapporto tra valore dinamico massimo e valore statico massimo di una quantità Q, come flessione o sollecitazione.

Le simulazioni dinamiche di transito del treno sono confrontate con il transito statico dei carichi equivalenti sull'assale in prossimità di traversi e diaframmi. I fattori di impatto sono calcolati dalle quantità Q che rappresentano le forze nodali e gli spostamenti, in particolare:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

- la forza trasmessa ai piani di posta viscoelastici sul lato destro e sinistro dei raccordi del binario;
- la forza verticale massima del contatto ruota-binario a diverse velocità del veicolo;
- la differenza di spostamento verticale nodale tra binario e trave a T sul lato destro e sinistro del binario.

L'analisi degli effetti locali è eseguita anche calcolando i picchi di accelerazione di veicolo e binario:

- picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T;
- picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario;

1.8 Principali risultati dell'analisi - Percorribilità, sicurezza e comfort

L'unica violazione dei requisiti in assenza di carichi ambientali (vento o sisma) applicati è l'accelerazione verticale non ponderata RMS per il treno di tipo RFI 3. Quest'ultimo è un treno a due piani e contiene quindi una sospensione alquanto rigida per prevenire movimenti dinamici eccessivi. Di conseguenza, tale violazione di minore entità non desta preoccupazioni. Inoltre, il contraccolpo, ritenuto un criterio del comfort e quindi applicabile soltanto ai treni passeggeri, aumenta notevolmente in tutti i casi analizzati. Tuttavia, i valori inferiori dell'indice di comfort Sperling Ride implica che il comfort dei passeggeri sia mantenuto a un livello molto soddisfacente e il criterio del contraccolpo è stato recentemente sostituito con un approccio del filtro di frequenza, rif. EN 12299.

Per la combinazione di carico che introduce il carico dinamico del vento laterale orizzontale sulla struttura e sui veicoli in movimento, la velocità critica del vento trasversale deve essere ridotta con lo scopo di conformarsi al criterio sul ribaltamento $\Delta P/P$ e quindi il valore per il treno tipo RFI 6 (treno merci scarico) vicino a 0.9 è stato determinato per una velocità del vento applicata a tutti i tipi di treno (38 m/s media 10 min, raffica del vento di 50.5 m/s). Questo fa in modo che certi altri tipi di treno abbiano un margine di sicurezza considerevole, ma è stata adottata una velocità del vento unica per tutti i treni per motivi di semplicità di operazione. Se si sceglie di distinguere fra treni merci e passeggeri durante l'esercizio del ponte i treni passeggeri possono essere conformi alle specifiche di sicurezza (deraggiamento e ribaltamento) quando sono esposti a carichi di vento del tipo SLS2. In tal caso RFI 3 è il treno più sensibile al vento.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

Il carico sismico peggiore si verifica quando il picco del terremoto si verifica nel momento in cui i treni attraversano l'area dei piloni. Ciò è prevedibile in quanto la rigidità nettamente superiore di quest'area tenderà a provocare accelerazioni decisamente maggiori sul cassone ferroviario. Il carico sismico applicato nella condizione SLS1 generalmente non causa problemi in termini di ribaltamento e deragliamenti. Tuttavia i due treni merci (RFI 5 + RFI6) mostrano una violazione del rapporto di ribaltamento a questo livello di accelerazione al suolo. Nella condizione SLS2 diversi treni superano i limiti prescritti di ribaltamento e/o deragliamenti, mentre altri sono ben al di sotto dei limiti. L'approccio usato per la modellizzazione dei treni dinamici che viaggiano direttamente sull'impalcato del ponte impedisce di ottenere risultati affidabili quando i treni attraversano il giunto di espansione. Gli studi sui rischi (ORA Natural Hazards - CG1000-P-SR-D-P-GE-R5-00-00-00-04-C) valutano se i treni si ribaltino realmente o si sollevino soltanto dal binario per poi ricadere.

Le analisi comparative hanno evidenziato che le forze dinamiche calcolate con ADTreS non superano i carichi statici RFI amplificati, neppure nei casi peggiori. Per questo non è richiesta alcuna ulteriore analisi.

Dal punto di vista della modellizzazione, dei casi speciali sono tutti inclusi nei modelli numerici come segue:

- Modellizzazione dettagliata della struttura del giunto di espansione
- Modello locale dettagliato di una sezione di impalcato con tutte le travature e traversi inclusi.

1.9 Risultati principali delle analisi - Percorribilità stradale

Nella figura grande, la percorribilità stradale non è stata considerata difficoltosa quanto quella ferroviaria. COWI ed EDIN hanno quindi concordato di affrontare l'analisi calcolando le accelerazioni dell'impalcato stradale quando il ponte è soggetto a carichi del vento dinamici corrispondenti a carico del vento SLS1, cioè nessun veicolo dinamico è stato modellizzato come nel caso della percorribilità ferroviaria. A parte il fatto che la percorribilità stradale non sia realmente un'area di attenzione rilevante, nessuna proprietà dinamica è attualmente disponibile per automobili e autocarri.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00- 02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

I risultati mostrano un margine significativo tra le accelerazioni reali calcolate e i limiti assegnati nel documento del Progetto di Base GCG F.04.01.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

2 Introduzione

La presente relazione riguarda lo scopo e l'approccio allo studio di percorribilità, sicurezza e comfort relativo alla ferrovia svolto per il ponte sullo Stretto di Messina.

Lo scopo principale dello studio sulla percorribilità è verificare che i treni effettivi che saranno probabilmente operativi sul ponte soggetto ai carichi specificati nei Principi Base, documento GCG.F.04.01, soddisfino i requisiti di percorribilità, nonché sicurezza e comfort. Tali requisiti sono indicati specificatamente per ogni stato limite (SLS1 e SLS2) e relative combinazioni di carichi. Per la valutazione di percorribilità e sicurezza, la velocità nominale dei treni di 120 km/h è moltiplicata per un fattore pari 1.2, cioè 144 km/h, mentre l'analisi del comfort viene eseguita a 120 km/h secondo EC/TSI. I requisiti indicati nei Principi Base sono riassunti al Capitolo 3, mentre il successivo Capitolo 4 riepiloga i singoli carichi (per es. vento, sismico, temperatura) applicati simultaneamente con i treni in corsa. Si descrivono inoltre le relative combinazioni di carichi. Ciò conduce a una matrice che evidenzia le analisi da completare per trattare lo scopo in modo esauriente, vedere il Capitolo 6. I tre capitoli forniscono quindi un sommario degli scenari di percorribilità e dei livelli prestazionali previsti per i treni e il ponte.

I dati presunti previsti per i treni (per es. rigidità, smorzamento, proprietà inerziali, nonché dati geometrici e coefficienti di resistenza) sono riportati al Capitolo 5.

I capitoli successivi sono dedicati alle analisi svolte e ai risultati ottenuti. Analisi e modelli si possono suddividere in due categorie:

- Analisi globali svolte con IBDAS, il software interno di COWI, sviluppato da FE, con un modello di treno comprendente 7 gradi di libertà (DOF) per carrello. IBDAS consente un'analisi diretta dell'interazione dinamica treno-ponte, dove i treni in movimento interagiscono direttamente con il modello globale FE utilizzando l'approccio del campo di frequenza. Questo gruppo di analisi è eseguito su un modello globale del ponte FE, con un modello semplificato dei treni in modo che non vi sia inserita modellizzazione di binari e raccordi. Si considera il numero totale di casi da analizzare, in modo da ottenere un'immagine ampia del comportamento di treno e ponte e dei parametri di risposta. Il Capitolo 7 riporta un'introduzione al software impiegato e all'approccio di calcolo utilizzato. Il Capitolo 8 contiene un sommario dei risultati ottenuti secondo il programma di analisi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

- Analisi locali con un numero elevato e determinato di modello di treno DOF, nonché binario e raccordi modellizzati. L'analisi locale è stata eseguita con ADTreS, un pacchetto software interamente sviluppato e convalidato dal Dipartimento di Ingegneria Meccanica del Politecnico di Milano. È interamente dedicato alla modellizzazione matematica dell'interazione treno-binario-ponte e si basa su un modello multistruttura del veicolo ferroviario e sull'approccio dell'elemento finito per il ponte, che può comprendere anche il binario. L'obiettivo di questo gruppo di analisi è la valutazione del comportamento dinamico locale dei treni, determinando i carichi dinamici provocati dai treni reali su binari, raccordi, nonché sulle longherine primarie sottostanti e sul cassone ferroviario, da confrontare con i carichi statici convenzionali adottati per la progettazione degli stessi elementi. Metodi numerici e software sono descritti al capitolo 9.1. Le analisi si svolgono su un segmento dell'impalcato del ponte lungo 300 m, la cui modellizzazione FE è definita in modo da rappresentare efficacemente la dinamica locale del cassone ferroviario, con l'inserimento esplicito di diaframmi e longherine primarie, insieme a binari e raccordi.

Una delle principali preoccupazioni per la percorribilità ferroviaria del ponte sullo stretto di Messina è la sensibilità ai carichi di vento che agiscono sul ponte e, in particolare, sui treni. In particolare, i vagoni merci vuoti risultano problematici a tale proposito. Le accelerazioni indotte sui treni al passaggio dei giunti di dilazione rappresentano un'area di ulteriore interesse. A parte queste questioni evidenti, la valutazione automatica dell'interazione treno-ponte nei modelli analitici garantisce inoltre la copertura dei potenziali effetti di amplificazione dinamica.

Con due binari ferroviari sul ponte, sei diversi treni dinamici calibrati secondo le tipologie realmente esistenti, tre posizioni strutturali chiave sul ponte in cui i treni si incrociano e due stati limite comprendenti un totale di 6 combinazioni di carichi, il numero totale di possibili combinazioni analitiche ammonta a circa 600. Questa quantità elevata di analisi richiede un approccio di calcolo sistematico e altamente automatizzato.

3 Requisiti di Percorribilità, Sicurezza e Comfort

Sono stati determinati i livelli prestazionali relativi alla percorribilità ferroviaria per garantire livelli accettabili di comfort e sicurezza per i passeggeri, oltre a ridurre al minimo l'usura delle strutture ferroviarie. Nella parte seguente, sono presentati lo scopo e i livelli prestazionali effettivi, oltre al background della quantificazione dei due criteri di sicurezza.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

3.1 Scopo e campo di applicazione

I Principi Base, documento GCG.F.04.01, evidenziano i requisiti del funzionamento dei treni sul ponte in termini di percorribilità, sicurezza e comfort. La distinzione generale fra i tre gruppi di requisiti prevede quanto segue:

- I requisiti di percorribilità garantiscono che i diversi parametri relativi al movimento del treno e al binario restino entro limiti ragionevoli per prevenire l'usura eccessiva.
- I criteri di sicurezza definiscono due scenari pericolosi e potenzialmente fatali, che comprometteranno la sicurezza dei passeggeri e del personale ferroviario: deragliamento e ribaltamento.
- Si definiscono i criteri di comfort per garantire un livello soddisfacente di comfort ai passeggeri dei treni durante l'attraversamento del ponte. Ciò compromette sia gli impatti massimi di breve durata sia gli impatti di durata media.

3.2 Stati limite

Secondo i Principi Base GCG.F.04.01, la percorribilità ferroviaria deve essere garantita sia in SLS1 sia in SLS2, contrariamente alla percorribilità stradale che non deve essere garantita in SLS2. Le azioni ambientali corrispondenti a SLS1 e SLS2 sono state determinate rispettivamente sulla base di un periodo di ritorno di 50 e 200 anni. Tuttavia, come discusso al Capitolo 4, le velocità del vento definite persino in SLS1 superano i valori critici relativi al ribaltamento di determinati tipi di treno. Di conseguenza, la velocità del vento critica prevista come minimo comune denominatore di tutti i tipi di treno corrisponde a un periodo di ritorno più breve.

3.3 Criteri

La tabella seguente indica i requisiti di percorribilità, sicurezza e comfort in funzione dello stato limite e della combinazione di carichi in questione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

		Runability, Safety and Comfort criteria							
		Combination	SLS1			SLS2			
			2	4	5	2	4	5	
Runability	Train speed	[km/h]	144	144	144	144	144	144	
	Equivalent longitudinal slope	One train in one track	[%]	< 1.80	< 1.80	n/a	n/a	n/a	n/a
		Two trains in two tracks	[%]	< 2.00	< 2.00	n/a	< 2.20	< 2.20	n/a
	Transverse slope		[%]	< 8.00	< 8.00	n/a	< 10.00	< 10.00	n/a
	Total rate of change of cant of the track	Short base, bases from 1.3 to 4.5m	[%]	< 0.250	< 0.250	n/a	< 0.400	< 0.400	n/a
		Short base, bases from 4.5 to 20.0m	[%]	< 0.200	< 0.200	n/a	< 0.275	< 0.275	n/a
	Non-compensated acceleration		[m/s ²]	< 0.6	< 0.6	n/a	< 0.84	< 0.84	n/a
	Roll speed		[rad/s]	< 0.033	< 0.033	n/a	< 0.036	< 0.036	n/a
Vertical acceleration of the trackbed		[m/s ²]	< 0.70	< 0.70	n/a	< 1.00	< 1.00	n/a	
Longitudinal acceleration		[m/s ²]	< 2.50	< 2.50	n/a	< 2.50	< 2.50	n/a	
Safety	Train speed	[km/h]	144	144	144	144	144	144	
	Derailment check	Y/P	< 0.8	< 0.8	< 0.8	< 0.8	< 0.8	< 0.8	
	Overtuning check	dP/P	< 0.9	< 0.9	< 0.9	< 0.9	< 0.9	< 0.9	
Comfort	Train speed	[km/h]	120	120	n/a	120	120	n/a	
	Comfort index Wz	Passenger trains only	< 2.2	< 2.2	n/a	n/a	n/a	n/a	
	Peak vehicle acceleration	Passenger trains only	[m/s ²]	≤ 2.0	≤ 2.0	n/a	n/a	n/a	
	RMS transverse acceleration	Passenger trains only	[m/s ²]	< 0.5	< 0.5	n/a	n/a	n/a	
	RMS vertical acceleration [duration = 2.0 s]	Passenger trains only	[m/s ²]	< 0.75	< 0.75	n/a	n/a	n/a	
	Recoil	Passenger trains only	[m/s ³]	< 0.25	< 0.25	n/a	< 0.58	< 0.58	

RFI train 1-6

Tabella 3-1: Criteri di Percorribilità, Sicurezza e Comfort.

Come si può vedere, la velocità del veicolo per i controlli di percorribilità e sicurezza deve essere superiore del 20% alla velocità nominale progettuale.

Si osservi che i limiti dei livelli di accelerazione nei criteri di comfort si calcolano con e senza filtro di ponderazione di frequenza calibrato per riflettere il comfort percepito da un essere umano. È stato utilizzato il filtro di frequenza Sperling Ride (Wz). In mancanza di ulteriori dati, si utilizzano i medesimi limiti superiori in ambo i casi, come da tabella precedente.

3.4 Sicurezza

Si riporta di seguito una breve introduzione al background dei due criteri di sicurezza.

3.4.1 Deragliamento

La verifica di deragliamento si basa sulle variazioni della forza laterale, Y, e della forza verticale, P, nei punti di contatto ruota-binario per il sistema dinamico treno-ponte.

I test eseguiti dal gruppo ORE C-138 e successivamente riportati da EN14363 hanno dimostrato che il deragliamento può verificarsi nel caso estremo in cui il rapporto Y/P sia superiore a 1.2 su una distanza superiore a 2 m. Per questa ragione Y/P < 1.2 è generalmente considerato come il

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

criterio di sicurezza rispetto al deragliamento. Tuttavia, per mantenere un margine di sicurezza soddisfacente, nel funzionamento normale, il rapporto non dovrà superare:

$$\frac{Y}{P} < 0.8$$

Il criterio si applica a SLS1 e SLS2.

3.4.2 Ribaltamento

Il rischio di ribaltamento si valuta tramite il coefficiente di scarico ruota massimo, $\Delta P/P$, cioè il rapporto tra la forza di compressione statica dal carico statico del treno e le forze di trazione prodotte dalle forze laterali che agiscono sulle masse dei treni, nonché la rotazione delle masse dei treni attorno all'asse longitudinale del ponte.

Il criterio di ribaltamento si determina in modo diverso, in base alla fonte di riferimento.

- UIC 518
- Esveld: Modern railway track
- ORE 138
- EN 14067-6, paragrafi 5.4.3.4 (p. 29) e 5.4.4.1 (p. 29)
- Technical Specifications for Interoperability (TSIs) High Speed Rolling Stock, Annex G

Il criterio di ribaltamento è stato definito nell'intervallo $\Delta P/P < 0.6 - 0.9$. I test eseguiti prima da ERRI, successivamente da ORE e infine da UIC riguardano prevalentemente la sicurezza antiribaltamento quando il treno percorre curve strette.

In base all'approccio alla sicurezza, si ritiene che il criterio sia $\Delta P/P < 0.6$. L'analisi di percorribilità indica tuttavia che questo potrebbe risultare troppo conservativo in quanto il criterio si applica alle curve con raggio inferiore a 17200 m e non per una linea ferroviaria diretta su un ponte. Le analisi eseguite da COWI indicano le curve indotte dal vento sul ponte con un raggio di almeno 50000 m. Questo rapporto inoltre è valido solo in caso di test statici sul veicolo senza considerare l'effetto delle azioni dinamiche, quali irregolarità del binario, forze del vento, ecc.; i limiti di velocità sono applicabili al ponte e, di conseguenza, svanisce l'esigenza di criteri molto rigidi relativi al ribaltamento.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

La Fiche UIC 518 [R03] e la Fiche UIC 518-1 [R04] riportano il caso dinamico per produrre un rapporto $\Delta P/P < 0.8$, sebbene non comprendano gli effetti delle irregolarità dei binari.

Lo Standard Europeo EN 14067-6, paragrafi 5.4.3.4 e 5.4.4.1, indica il rapporto limite $\Delta P/P < 0.9$ per treni soggetti a venti laterali supportati dalle Technical Specifications for Interoperability (TSIs) High Speed Rolling Stock, Annex G. Al fine di disporre le azioni dinamiche, comprese irregolarità dei binari e venti laterali, è stato concordato, a seguito di valutazione con SdM, Parsons ed EuroLink di utilizzare il rapporto:

$$\frac{\Delta P}{P} < 0.9$$

4 Specifiche di carico

I controlli progettuali e prestazionali relativi al ponte considereranno in generale almeno le azioni indicate alla Tabella 4.1-1.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Tabella 4-1 Azioni a progetto.

Par. 1	Azioni permanenti (P)		
	Peso intrinseco strutturale		PP
	Peso intrinseco degli elementi non strutturali		PN
Par. 2	Azioni variabili generate dall'uomo (Q)		
	Azioni di dimensionamento locale del sistema strutturale (resistenza e deformazione a livello micro e meso ¹)		QL
	Azioni di dimensionamento globale del sistema strutturale e dei controlli di percorribilità dinamica (resistenza e deformazione a livello macro ²)	Carico variabile denso.	QA
		Carico variabile rarefatto.	QR
Par. 3	Azioni variabili naturali e ambientali (V)		
	Azione del vento		VV
	Azione sismica		VS
	Azione termica		VT
	Acqua nei tubi di drenaggio (pioggia)		VR
Par. 4	Azioni accidentali (A)		A

I controlli di percorribilità, sicurezza e comfort rappresenteranno una sottoserie dei controlli prestazionali e progettuali riportati sopra. Tale sottoserie è riportata sotto, Controlli progettuali e prestazionali.

Le analisi svolte comprendono combinazioni di più carichi:

- Carichi ambientali, cioè temperatura, vento e attività sismica
- Carico stradale su un cassone
- Numero di treni
- Posizione dei treni

¹ Il carico QL si applica per cassoni stradali e ferroviari, traverse, sistemi e gruppi di pendini

² I carichi QA e QR si applicano per sistema di ritenuta e di supporto, cavi principali e selle, e pendini del tie-down

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

- Velocità dei treni.

I singoli carichi da inserire nell'analisi sono definiti nei Principi Base [2].

Scopo di percorribilità, sicurezza e comfort è fornire un sommario completo delle analisi da eseguire per coprire i contenuti previsti nella tabella dei controlli progettuali e prestazionali.

4.1.1 Deformazione del carico statico (PP + PN)

Supponendo che le deformazioni locali del cassone dovute al carico statico siano eliminate nel corso della posa dei binari in costruzione, si suppone che il treno corra sul binario senza deformazioni da carico statico.

Non si applicano le deformazioni dovute a 200 anni di scorrimento e restringimento nelle pile di calcestruzzo.

4.1.2 Carico stradale e ferroviario (QR)

L'effetto delle interazioni statiche e dinamiche dei veicoli stradali su locomotive e vagoni ferroviari sono accertati unicamente tramite deformazioni statiche, in quanto le frequenze dei veicoli stradali e ferroviari sono nettamente superiori delle frequenze naturali del ponte. Queste ultime implicano che non si verificherà amplificazione dinamica che provochi carichi statici superiori ai limiti.

Ciò è stato dimostrato utilizzando il modello locale ADTreS al capitolo 12.6, confrontando il carico dinamico verticale massimo su un vagone di treno merci carico RFI 5 che viaggia a 144 km/h con il cosiddetto treno LM71 descritto nel testo RFI "ISTRUZIONI PER LA PROGETTAZIONE E L'ESECUZIONE DEI PONTI FERROVIARI - RFIDTC-ICI-POSPINF001A".

Le analisi comparative hanno evidenziato che le forze dinamiche calcolate con ADTreS non superano i carichi statici RFI amplificati, neppure nei casi peggiori. Per questo non è richiesta alcuna ulteriore analisi.

4.1.3 Azione del vento (VV)

Le forze del vento sono applicate come deformazioni statiche sulla struttura del ponte, utilizzando il profilo medio del vento definito nei Principi Base.

Le forze del vento che agiscono sul treno si calcolano come segue:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

$$w = \frac{1}{2} \rho v^2 C \text{ [N/m}^2\text{]}$$

dove

ρ è la densità dell'aria pari a 1.28 kg/m³

v è la velocità del vento che agisce sul treno

C è il coefficiente di resistenza.

I coefficienti di resistenza del vento con un angolo di attacco effettivo di 90 gradi (laterale) sono stati verificati in riferimento alle seguenti annotazioni, tenendo conto della velocità del treno:

- “Crosswind action on rail vehicles: Wind tunnel experimental analyses” , Marco Bocciolone, Federico Cheli, Roberto Corradi, Sara Muggiasca, Gisella Tomasini, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96 (2008) 584–610.
- “Wind tunnel tests on train scaled models to investigate the effect of infrastructure scenario”, Federico Cheli, Roberto Corradi, Daniele Rocchi, Gisella Tomasini and Emilio Maestrini, BBAA VI International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics & Applications, Milano, Italy, July, 20-24, 2008.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Tabella 4.1-2: Coefficienti di resistenza, CD, di treni reali

Treno	Tipo	Veicolo	Misurazioni disponibili		Veicoli simili		CD laterale	Area laterale di riferimento [m ²]
RFI1	ETR500	loco	ETR500	loco	-	-	0.9568	71.174
	ETR500	carrozza	ETR500	carrozza	-	-	0.9839	91.700
RFI2	ETR470	loco	-	-	ETR480	loco	1.1363	88.032
	ETR470	carrozza	-	-	ETR480	carrozza	0.9959	93.912
RFI3	E402B	loco	-	-	UICZ1	loco	0.7793	81.700
	"semipilota MD"	carrozza	UICZ1	loco	-	-	0.7793	92.204
RFI4	TAF	loco	-	-	UICZ1	loco	0.7793	111.000
	TAF	carrozza	-	-	UICZ1	carrozza	0.8610	112.000
RFI5	E402B	loco	-	-	UICZ1	loco	0.7793	81.700
	SHIMMINS	carrozza	-	-	ETR500	carrozza	0.9839	39.000
RFI6	E402B	loco	-	-	UICZ1	loco	0.7793	81.700
	HBILLS	carrozza	-	-	ETR500	carrozza	0.9839	77.000

La velocità del vento sul treno è inferiore a quella indotta sull'impalcato del ponte a causa dei frangivento.

Questo effetto è stato inizialmente esaminato dal Politecnico di Milano e riferito nella relazione sul test nella galleria del vento "APPROFONDIMENTO DEL COMPORTAMENTO AERODINAMICO E AEROELASTICO DELL'IMPALCATO III FASE", capitolo 4.2. nell'ambito dei requisiti della Progettazione di gara.

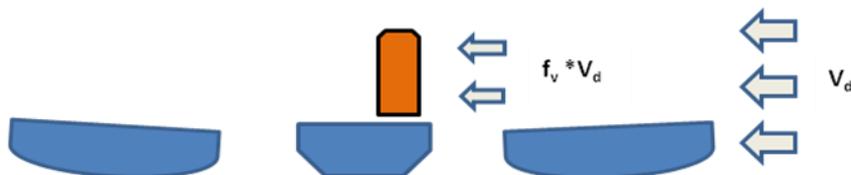


Figura 4-1 Riduzione del vento dovuta ai cassoni stradali esterni.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Si riporta di seguito l'influenza del vento perpendicolare al treno da diversi angoli del ponte, cioè -4, -2, 0, +2, +4 (fare riferimento al test nella galleria del vento del Politecnico di Milano).

Il coefficiente sul vento è stato calcolato integrando l'altezza del treno, utilizzando l'inclinazione -2 gradi (3.5%) del ponte, che corrisponde all'inclinazione trasversale effettiva del ponte per i carichi variabili.

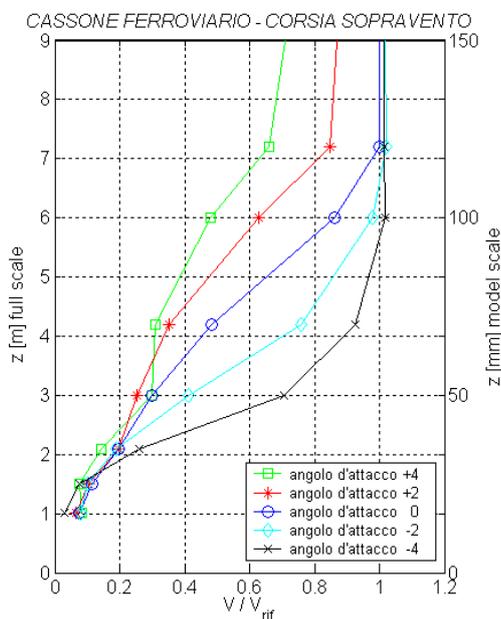


Figura 4-2 Fattore di riduzione del vento in funzione dell'inclinazione trasversale.

Il risultato indica un fattore pari a 0.65 misurato in quasi 4m di elevazione. Poiché l'altezza dei treni rientra nel range 3.47m – 4.2m, questo fattore di riduzione è conservativo in quanto applicato sull'intera altezza, anche considerando che è il quadrato del carico del vento a essere riferito alla velocità del vento.

I casi in presenza di vento sono stati analizzati con carico dinamico del vento completo sulla struttura, nonché sul treno; ciò significa che la deformazione della struttura è valutata in ogni fase temporale. La base del carico del vento è una serie temporale che descrive la velocità del vento nelle tre direzioni in qualsiasi fase temporale (frequenza di campionamento 10Hz) in 369 punti sul ponte, vedere Figura 4-3. È stata utilizzata la simulazione Monte Carlo del campo del vento. L'interpolazione lineare della velocità del vento è stata impiegata tra punti discreti e la velocità del vento applicata al treno è uguale a quella del cassone ferroviario al posizionamento reale in una determinata fase temporale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

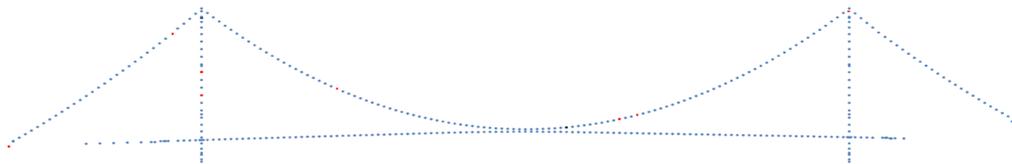


Figura 4-3 Posizioni sul ponte selezionate per la simulazione della serie temporale del vento.

La velocità del vento subita dal treno si valuta come velocità del vento effettiva, cioè velocità del campo del vento più velocità trasversale del treno stesso. Lo stesso vale per la struttura del ponte. Inoltre i coefficienti di resistenza, sollevamento e momento del ponte sono aggiornati in ogni fase temporale secondo la deformazione effettiva del ponte. Il relativo approccio di calcolo equivale a quello delle analisi dei venti a raffiche svolte.

La serie temporale della velocità del vento in SLS1 ha una velocità del vento media di 44 m/s e una velocità massima del vento a raffiche di 58.5 m/s. La Figura 4-4 mostra la velocità del vento in funzione del tempo in SLS1 al centro della campata principale. Si osservi che le analisi eseguite con velocità del vento ridotta a causa del contrasto con il ribaltamento si basano su una rappresentazione scalare uniforme delle serie temporali del vento SLS1.

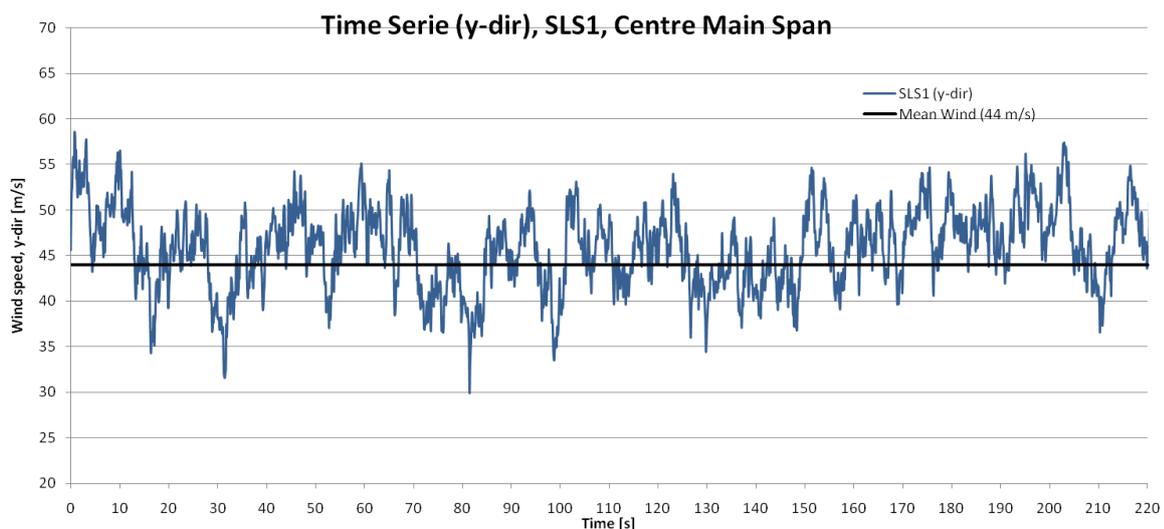


Figura 4-4: Cronologia della velocità del vento per SLS1.

La serie temporale della velocità del vento in SLS2 ha una velocità del vento media di 47 m/s e una velocità massima del vento a raffiche di 62.1 m/s. La Figura 4-5 mostra la velocità del vento in

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

funzione del tempo in SLS2 al centro della campata principale.

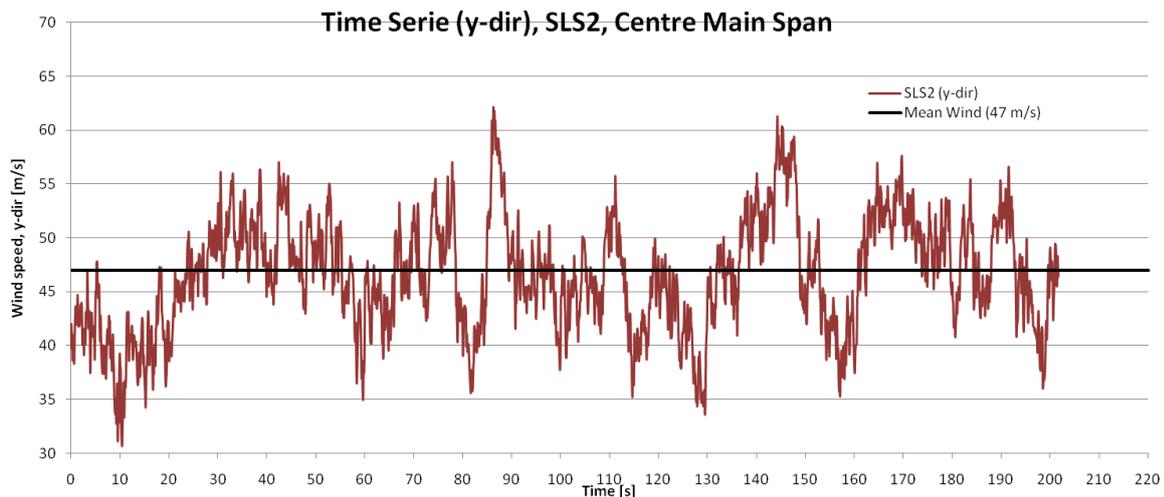


Figura 4-5: Cronologia della velocità del vento per SLS2.

Entrambe le serie temporali riferite al vento sono state prodotte con il metodo di simulazione Monte Carlo.

Studi convergenti hanno rivelato che i parametri cercati nello studio di percorribilità, sicurezza e comfort diventano praticamente indipendenti dal numero di autostati inseriti nell'analisi quando questi sono superiori a 800. Sono stati quindi utilizzati 800 autostati nelle analisi, compreso il carico del vento.

È necessario sottolineare che non esiste collegamento tra i singoli carrelli tranne la distanza fissa. Il modello non è quindi in grado di modellizzare l'effetto torsione di un carrello che si ribalta su quelli vicini. Di conseguenza, un vagone che si ribalta non può approfittare delle eventuali forze di ritenuta trasferite attraverso il collegamento ai vagoni vicini. Ovviamente l'approccio è comunque conservativo.

4.1.4 Azione sismica (VS)

Le azioni sismiche sono state applicate inducendo un totale di 8 serie temporali di accelerazioni specifiche per ogni direzione sui nodi supportati nel modello globale FE. Ognuna delle 8 serie temporali rappresenta la simulazione distinta di un terremoto. Le serie temporali disponibili corrispondono a terremoti ULS definiti con accelerazione massima al suolo di 5.7 m/s^2 . Per

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

convertire la serie temporale all'applicazione in SLS1 e SLS2, rilevanti unicamente nello studio di percorribilità, è stata realizzata una semplice scala, cioè

$$[A_{SLS1}] = \frac{1.2}{5.7} [A_{ULS}]$$

$$[A_{SLS2}] = \frac{2.6}{5.7} [A_{ULS}]$$

Le accelerazioni nelle single direzioni sono state indicate in scala secondo la prassi comune del progetto, rif. rapporto IBDAS CG1000-P-RG-D-P-SV--00-00-00-00-01-B. Ciò significa che si può scegliere una qualsiasi delle tre direzioni come dominante secondo la scala di seguito riportata.

Tabella 4-2: Fattori di adeguamento.

Direzione	Fattore di adeguamento
1 (dominante)	1.00
2	0.80
3	0.75

Tuttavia, poiché la direzione più critica delle accelerazioni dei treni in termini di ribaltamento e deragliamento è quella trasversale, è stata esaminata solo questa direzione in quanto dominante.

Il carico sismico peggiore si verifica quando il picco del terremoto si verifica nel momento in cui i treni attraversano l'area dei piloni. Ciò è prevedibile in quanto la rigidità nettamente superiore di quest'area tenderà a provocare accelerazioni decisamente maggiori sul cassone ferroviario.

Deformazioni, velocità e accelerazioni effettive trasferite sui binari ferroviari si risolvono attraverso l'approccio dell'analisi modale, comprendente 1000 autostati rispetto alle combinazioni di carichi privi di carico sismico, basate soltanto su 500 autostati senza carico del vento e 800 autostati con carico del vento. Dallo studio della sensibilità svolto con IBDAS ciò risulta sufficiente per il modello globale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00- 02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

La figura seguente mostra l'accelerazione nelle tre direzioni e il totale per il sisma SLS2 (E3-02), nonché l'ora del passaggio del primo e dell'ultimo assale di ciascuno dei sei treni reali sul pilone lato Sicilia.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

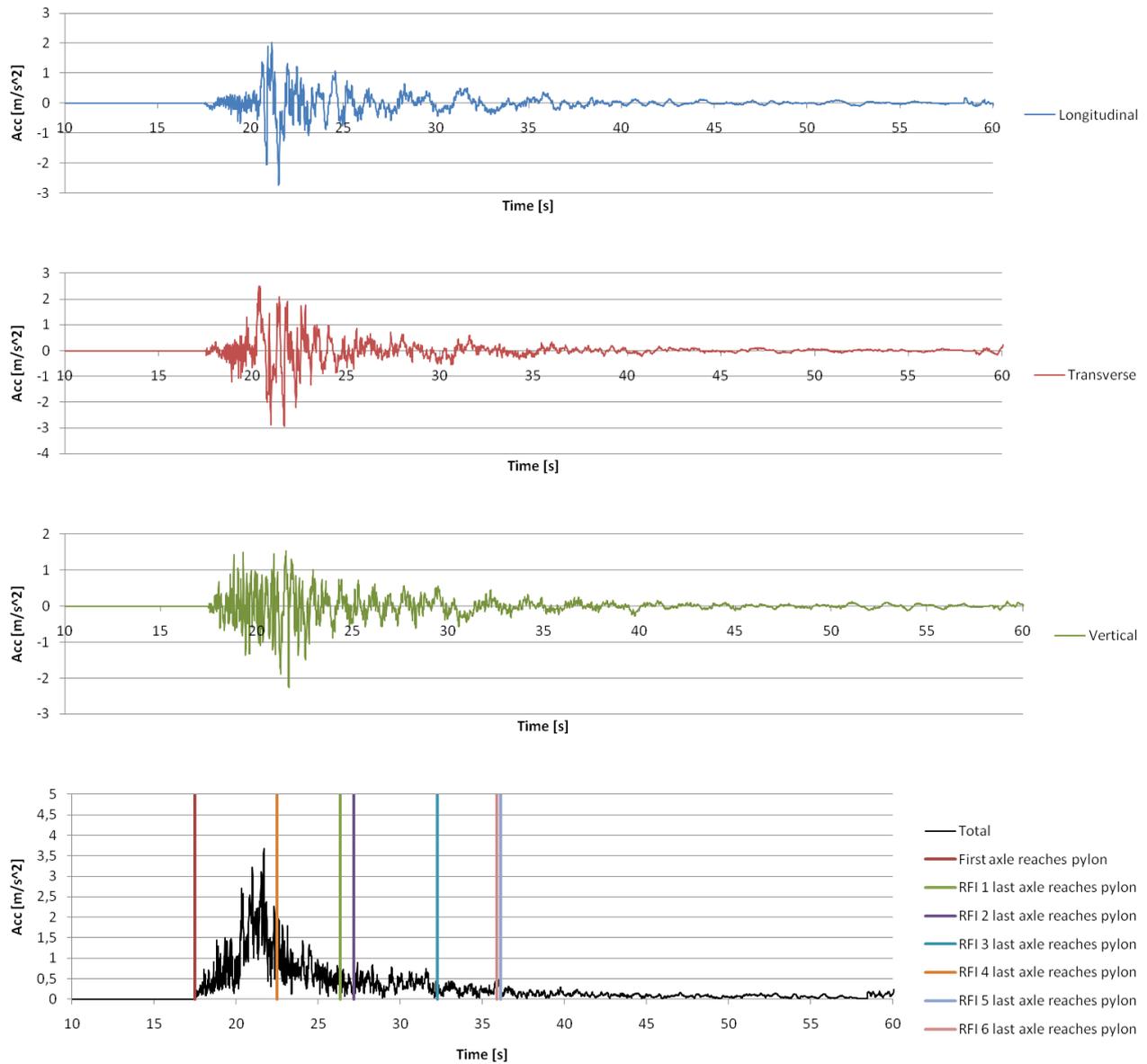


Figura 4-6 Tempo registrato nel sistema SLS2.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

4.1.5 Azione termica (VT)

La variazione termica si applica come le deformazioni statiche come descritto nel doc. PG 2R B0-001 N03 p1 (MODELLO GLOBALE) [3]. Si applicano le deformazioni statiche dovute a variazioni termiche distribuite uniformi e non uniformi.

4.2 Combinazioni di carichi

La tabella seguente mostra i carichi delle singole combinazioni. Si osservi che i carichi del vento nella combinazione di carichi 4 sono definite come velocità del vento medie di 10 minuti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C

Figura 4-6: Combinazioni di carichi rilevanti per lo studio di percorribilità.

Combination	Dead load		Variable man-generated loads		Variable natural and environmental loads		VT	
	PP Structural self weight	PN Self weight of non-structural elements	QR Road and rail traffic loads	VV Wind load	VS Seismic load	Thermal load		
2	As calculated geometrically	1.0 Includes all secondary equipment	1.0 Most heavily loaded lane: 3.75 kN/m One of the other two lanes: 1.25 kN/m Baking = 1/10 vertical	1.0 One dynamic RFI train in each track			Reference daily air temperatures: Summer: 22.5 °C - 41.0 °C Winter: -0.5 °C - 12.0 °C	0 / 1.0
4	As calculated geometrically	1.0 Includes all secondary equipment	1.0 Most heavily loaded lane: 3.75 kN/m One of the other two lanes: 1.25 kN/m Baking = 1/10 vertical	1.0 Level of velocity: SIS1: 44 m/s SIS2: 47 m/s	1.0		Reference daily air temperatures: Summer: 22.5 °C - 41.0 °C Winter: -0.5 °C - 12.0 °C	0 / 1.0
5	As calculated geometrically	1.0 Includes all secondary equipment	1.0 Most heavily loaded lane: 3.75 kN/m One of the other two lanes: 1.25 kN/m Baking = 1/10 vertical	1.0 One dynamic RFI train in each track		Seismic frequency response spectrum SIS1: Peak ground acc.: 1.2 m/s ² SIS2: Peak ground acc.: 2.6 m/s ²	Reference daily air temperatures: Summer: 22.5 °C - 41.0 °C Winter: -0.5 °C - 12.0 °C	0 / 1.0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

5 Modellizzazione reale del treno

Per simulare i veicoli ferroviari in movimento sul modello globale FE, compresi gli effetti dinamici, sono state determinate numerose proprietà relative a massa, rigidità, smorzamento, movimenti inerziali della massa, ecc. Inoltre, quando il carico del vento agisce sui veicoli stessi, i coefficienti aerodinamici diventano cruciali, anche in termini di integrazione dei parametri che descrivono le posizioni del centro della massa. I parametri dei treni adottati sono stati tratti dal documento DT.ISP.F.E.R3.001, laddove possibile. I restanti parametri sono stati confermati e concordati con SdM.

5.1 Modello IBDAS di treno dinamico

I treni sono modellizzati tramite modello di carrello/7 DOF contenente due masse separate: la massa del carrello e la massa della carrozza. La massa del carrello contiene quattro DOF: traslazione laterale verticale e orizzontale, nonché rollio e beccheggio. La massa della carrozza contiene gli stessi due DOF di traslazione, oltre al rollio. L'interfaccia di contatto tra ruote e binari è modellizzata come collegamento totalmente rigido nel modello IBDAS. Non si può quindi calcolare alcun contatto ruota/binario rappresentativo. Per tale approccio di modellizzazione, possono comparire le forze negative delle ruote, cioè le forze di trazione, qualora i momenti laterali superino la forza di compressione del carico statico del treno. Di conseguenza, i risultati sono affidabili solo quando la forza di contatto ruota/binario è una forza di compressione.

Tra i punti di contatto ruota/binario e la massa del carrello, la sospensione primaria è modellizzata tramite sistema molla/smorzatore sia verticale sia laterale. Esiste una composizione identica per la sospensione secondaria, tra la massa del carrello e della carrozza. Molle e smorzatori del modello sono caratterizzati da coefficienti costanti, quindi esiste una relazione completamente lineare tra spostamento/velocità e forza.

La figura seguente fornisce un diagramma generale del modello dinamico di un carrello.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">13-02-2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	C	13-02-2011
Rev	Data						
C	13-02-2011						

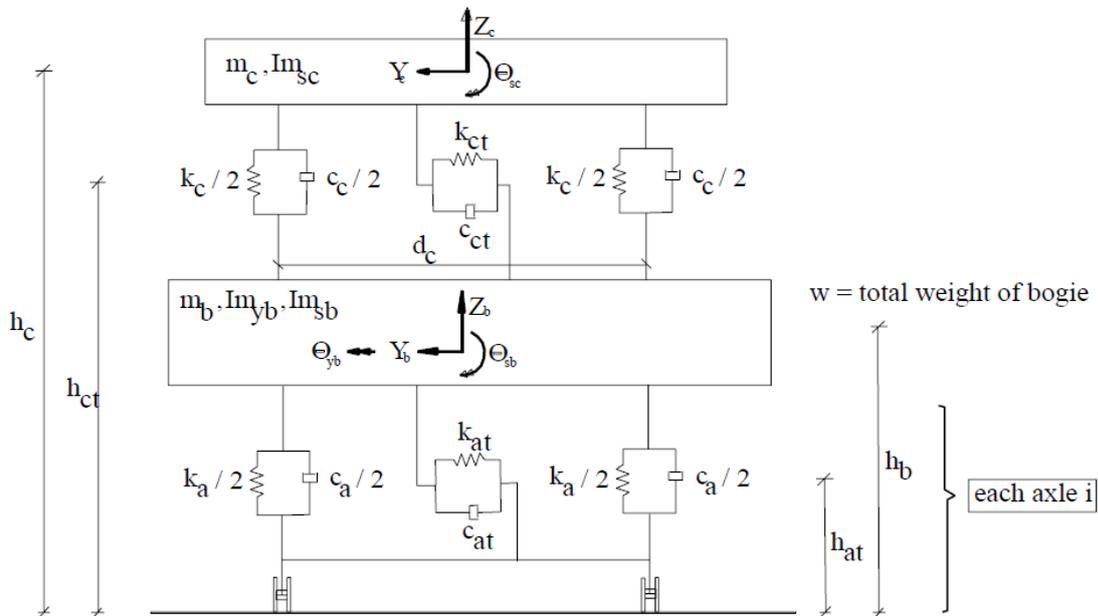


Figura 5-1 Schematizzazione della rappresentazione dinamica del carrello ferroviario in IBIDAS.

5.2 Modello ADTreS di treno dinamico

Il modello del veicolo ferroviario si basa su un approccio multistruttura corrispondente alla dinamica sia verticale sia laterale dell'interazione treno-struttura. Ogni veicolo è formato da sette strutture rigide (cioè carrozzeria, due carrelli e quattro assi montati) collegate tra loro dalle sospensioni primarie e secondarie. Gli elementi elastici e smorzanti lineari e non lineari sono utilizzati per la schematizzazione delle sospensioni. Si prevede che la carrozzeria e i carrelli abbiano ciascuno 5 gradi di libertà: movimenti rigidi di traslazione laterale e verticale della carrozzeria e rotazioni rigide di imbardata, rollio e beccheggio della carrozzeria stessa. Ogni asse montato è modellizzato secondo un sistema con 2 gradi di libertà che comprende un movimento di traslazione laterale e una rotazione di imbardata. Il movimento di traslazione verticale dell'asse montato rappresenta una variabile che dipende dallo spostamento laterale relativo tra binario e asse montato in maniera non lineare. Le modalità di deformazione torsionale e piegamento sono anch'esse modellizzabili, ma non inserite in questa sede.

Il modello multistruttura completo del veicolo prevede un totale di 23 gradi di libertà, in cui il modello longitudinale è fornito selezionando la velocità del veicolo. Spostamento laterale e

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

verticale e rotazione di rollio dell'intera ferrovia si calcolano come sovrapposizione delle irregolarità e deformabilità dei binari. Il movimento laterale dei binari viene considerato attraverso la cosiddetta "rigidità gravitazionale" [15].

Flessibilità dei binari e profili di contatto ruota-binario sono introdotti nel modello secondo le specifiche standard riportate in UNI60 e ORE S1002 rispettivamente per profili di binari e ruote, supponendo condizioni di singolo contatto. Di conseguenza, si applica il calcolo delle forze di contatto ruota-binario a scopo di interazione veicolo-struttura [13].

La Figura 9-1 mostra lo schema del modello di veicolo multistruttura, formato da carrozzeria, carrelli e assi montati. I parametri di rigidità e smorzamento delle sospensioni primarie e secondarie sono definiti secondo le specifiche standard dei treni reali RFI [1, 12, 13, 14].

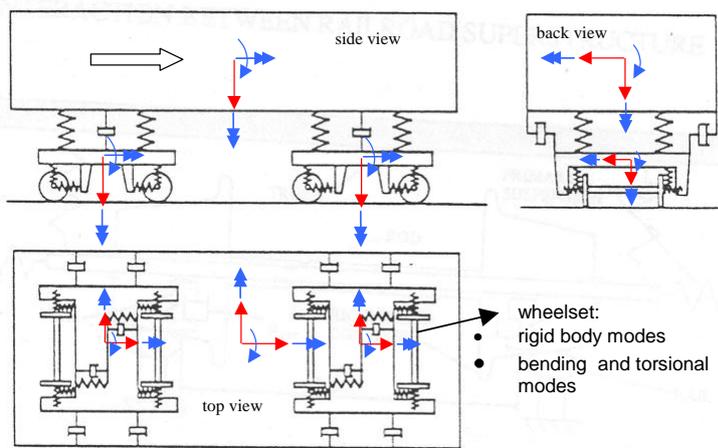


Figura 5-2 Schema del modello multistruttura del veicolo: sono indicati i gradi di libertà della carrozzeria e dei carrelli

5.3 Proprietà dei treni

La tabella seguente riporta la serie completa di parametri che descrivono i sei tipi di treni inclusi secondo i dati dei Principi Base (2) comprese le successive correzioni ricevute da SdM.

Additional 7DOF parameters	RF 1		RF 2		RF 3		RF 4		RF 5		RF 6	
	Locomotive	Coach										
Coach mass (half of full coach mass)	27420	17116	21736	18800	25920	13250	28550	24648	25920	45000	25920	8907
Damping coefficient of suspended coach system	0.1196	0.0624	0.0686	0.0687	0.1016	0.0730	0.056	0.056	0.1016	0.2000	0.1016	0.2000
Spring stiffness of suspended coach system	1.776	0.788	0.924	0.926	2.640	1.288	1.44	1.620	2.640	20	2.640	20
Bogie mass	3150	2675	2455	2587	12800	2950	6430	2817	12800	2100	12800	2100
Mass inertia moment of bogie about x axis	2420	1740	1552	1589	3320	1940	2360	1720	3320	1200	3320	1200
Mass inertia moment of bogie about y axis	5168	2789	1655	1694	10371	1660	6740	2686	10371	925	10371	925
Damping coefficient of each suspended bogie axle	0.0294	0.0206	0.0196	0.0250	0.0442	0.0032	0.0190	0.0060	0.0442	0.0484	0.0442	0.0484
Spring stiffness of each suspended bogie axle	4.670	2.270	2.270	2.270	4.570	1.665	3.70	1.900	4.570	4.840	4.570	4.840
Total weight of bogie (bogie, wheels, half coach)	0.341	0.228	0.228	0.250	0.445	0.192	0.401	0.311	0.445	0.497	0.445	0.136
Length between axles in bogie	3	3	2.7	2.7	2.85	2.4	2.75	2.55	2.85	1.80	2.85	1.80
Number of bogie axles	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Length of train	353	386	396	591	744	755	744	755	744	755	744	755
Number of coaches and locomotives	14	15	15	23	23	8	8	20	23	34	34	2.50
Bogie distances between coaches/locomotives	4.28	3.50	3.00	3.00	4.25	3.50	3.65	2.30	4.25	4.25	4.25	15.40
Bogie distance in coach/locomotive	1.445	1.19	1.19	1.19	10.45	1.8	1.9	1.9	10.45	7.00	10.45	15.40
Height of center of gravity of coach	1.5	1.5	1.464	1.5	1.924	1.7	2.145	1.89	1.924	1.5	1.924	1.56
Height of center of gravity of bogie	0.65	0.544	0.393	0.39	0.847	0.6	0.55	0.46	0.847	0.46	0.847	0.46
Height of center of gravity of wheels	0.52	0.445	0.445	0.585	0.625	0.43	0.55	0.46	0.625	0.44	0.625	0.44
Mass of wheels	1765	1425	1424	1424	2882	1510	2560	2882	2882	1278	2882	1278
Height of center of gravity (weighted average)	1.320	1.264	1.256	1.236	1.446	1.332	1.594	1.594	1.446	2.33	1.446	1.73
Height of center of wind load	1.85	1.85	1.74	1.74	2.03	2.03	2.10	2.10	2.03	1.90	2.03	1.90
Drag coefficient	0.96	0.98	1.14	1	0.78	0.78	0.78	0.88	0.78	0.98	0.78	0.98
Height of coach (for wind load evaluation)	3.7	3.7	3.47	3.47	4.05	4.05	4.2	4.2	4.05	3.8	4.05	3.8
Mass inertia moment about S axes of coach	33600	27350	34550	30147	27410	23500	34800	27500	27410	55605	27410	19177
Transversal spring stiffness of suspended coach system	0.42	0.2352	0.24	0.226	0.428	0.328	0.24	0.27	0.428	0.2	0.428	0.2
Transversal damping coef. of suspended coach system	0.0992	0.0392	0.0344	0.0343	0.065	0.028	0.0526	0.0526	0.065	0.05	0.065	0.2
Transversal spring stiffness of suspended axle	41.8	17	23.7	23	53.6	5.88	3.1	8.3	53.6	3.42	53.6	3.42
Transversal damping coef. of suspended axle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Height of axle transversal suspension above top of rail	0.52	0.445	0.445	0.585	0.625	0.43	0.55	0.46	0.625	0.44	0.625	0.44
Height of coach transversal suspension above top of rail	0.95	0.76	0.612	0.63	1.4315	0.661	0.925	0.845	1.4315	0.5	1.4315	0.56
Height of center of gravity of bogie above top of rail	0.65	0.544	0.393	0.393	0.847	0.6	0.55	0.46	0.847	0.46	0.847	0.46
Height of center of gravity of coach above top of rail	1.5	1.5	1.464	1.5	1.924	1.7	2.145	1.89	1.924	1.5	1.924	1.56
Transverse horizontal distance between the two vertical springs of the coach	2.05	2	2	2	2.1	2	1.94	2.1	2.1	1.5	2.1	1.56

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

6 Matrice di analisi

Con sei treni reali diversi operativi singolarmente o due alla volta sul ponte, si possono stabilire 27 combinazioni di tipi di treni. Per ciascuna, sono stati esaminati tre diversi punti di incontro: al centro del ponte, in prossimità di un pilone e al giunto di dilatazione. Tuttavia, nei casi di carico sismico, sono stati considerati solo i sei casi di carico con ogni tipo di treno che percorre da solo il ponte, in quanto l'influenza degli altri treni sulla sicurezza in relazione al carico sismico è trascurabile.

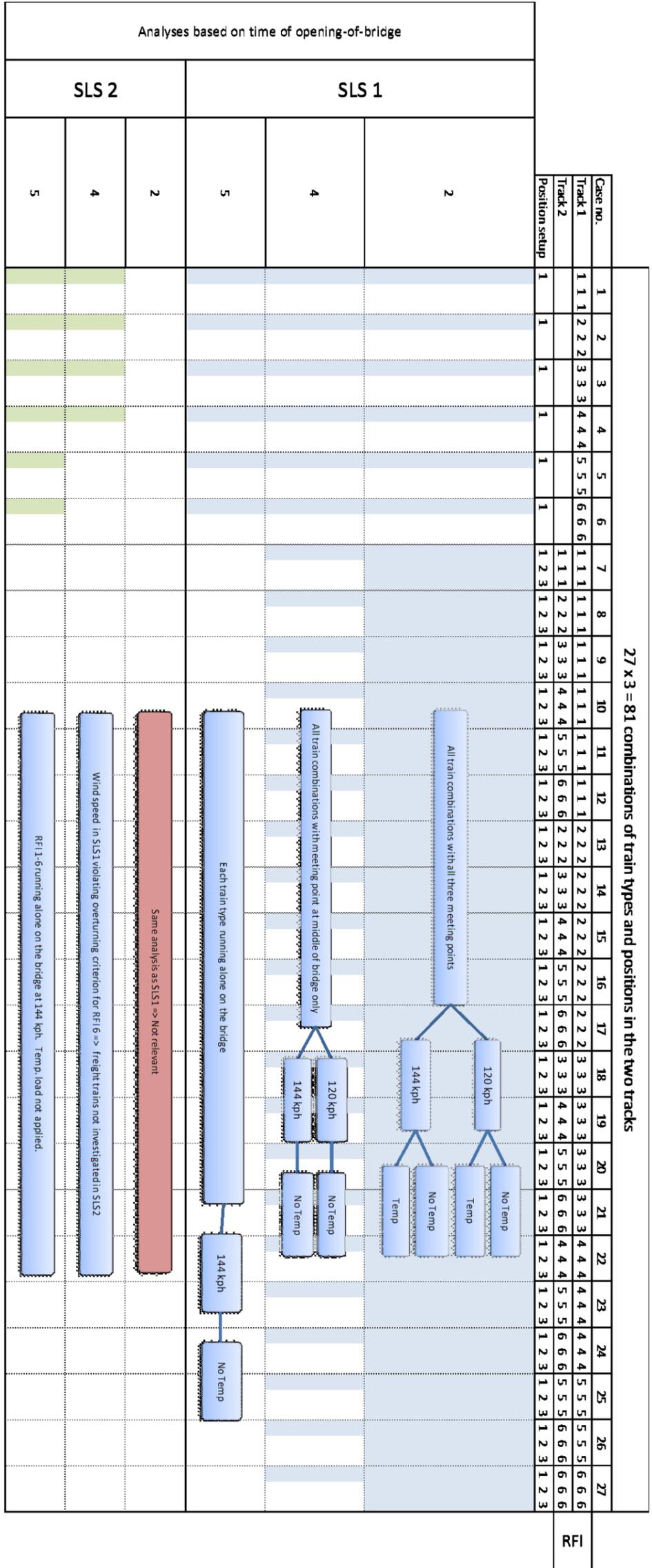
Inoltre, ogni combinazione di carichi può comprendere il carico termico. Poiché l'IBDAS non può determinare automaticamente se il carico termico sia negativo o distensivo in relazione ai modelli dinamici di treno, le combinazioni devono essere gestite con e senza temperatura. Tuttavia, anche in questo caso le combinazioni di carichi sismici non sono gestite con il carico termico in quanto l'unico obiettivo è la sicurezza.

Come indicato nelle sezioni precedenti, si è riscontrato che il limite della velocità trasversale del vento in termini di contrasto con il criterio di ribaltamento è nell'ordine di ampiezza della velocità del vento media corrispondente a SLS1. Non ha quindi senso aumentare la velocità del vento oltre tale livello in SLS2. La combinazione di carichi 4 in SLS2 è stata quindi annullata.

Poiché la combinazione di carichi 2 contiene solo il carico termico, questo è stato analizzato unicamente in SLS1.

I criteri relativi a percorribilità e sicurezza sono esaminati a velocità del treno superiori del 20% al limite nominale di velocità, cioè $120 \text{ km/h} \times 1.20 = 144 \text{ km/h}$. I criteri di comfort sono esaminati a 120 km/h .

La matrice seguente riepiloga graficamente il programma totale di analisi esaminate secondo quanto sopra.



Position setup 1 The trains meet at the middle of the main span / one train only crosses the bridge
 Position setup 2 The trains meet approximately at the tower
 Position setup 3 The trains meet approximately at the expansion joint

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

7 Introduzione al modello IBDAS

Per una descrizione completa del modello globale FE sviluppato in IBDAS, vedere il Doc. n° CG1000-P-RG-D-P-SV-00-00-00-00-00-01 “*Global IBDAS Model, Description*”.

7.1 Modellizzazione del treno dinamico IBDAS

Il modulo del comfort è disponibile nel pacchetto di analisi IBDAS standard che riporta la modellizzazione del treno dinamico da realizzare sulla base di un modello FE esistente. Nella parte seguente è riportato l’approccio di calcolo principale, mentre il Capitolo 5 contiene una descrizione dei parametri che definiscono i veicoli dinamici.

Il principio generale dei calcoli dinamici è un approccio all’analisi modale, quindi la risposta si calcola come combinazione lineare di un numero di autostati scelti dal modellista. Ogni autostato descrive lo spostamento di ciascun grado di libertà nel modello associato con l’autostato in questione. L’ampiezza di ogni autostato in una determinata fase temporale viene introdotta attraverso le cosiddette coordinate modali, che rappresentano una quantità scalare in funzione unicamente del tempo. Applicando le proprietà ortogonali degli autostati, le equazioni di movimento si disaccoppiano quando espresse in uno spazio dimensionale m , coperto dalle forme modali, anziché uno spazio tridimensionale coperto da assi fisici. Di conseguenza, un sistema di n DOF è risolvibile come n sistemi di un solo DOF. Il risultato è quindi dato dalle coordinate modali, da moltiplicare con gli autostati corrispondenti. Questo può essere successivamente ritrasformato in coordinate geometriche, cioè DOF fisici.

Quando il modello globale FE viene espresso tramite approccio modale, non contiene più n DOF fisici, ma m DOF modali, in cui $m \leq n$. I veicoli dinamici sono quindi introdotti a condizione che ogni assale sia accoppiato rigidamente al binario ferroviario, cioè alla superficie del modello del ponte. I movimenti dell’impalcato descrivono qualsiasi posizione in ogni fase temporale, tramite coordinate e forme modali. Tramite questa condizione, i veicoli si accoppiano con il ponte e introducono numerosi DOF supplementari corrispondenti al numero totale di DOF per i treni, in questo caso 7 DOF x numero di carrelli. In tal modo, si stabilisce la reciproca interazione tra ponte e treni.

In IBDAS, il sistema di equazioni del movimento da risolvere è espresso come equazioni differenziali di primo grado, dove le derivate secondarie, cioè le accelerazioni, dei DOF sono state definite come funzioni di tutte le altre variabili. Il sistema di equazioni differenziali di primo grado si

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

risolve quindi con il metodo Runge-Kutta, che suddivide automaticamente ogni fase temporale come necessario per ottenere una soluzione precisa.

L'interazione dinamica di ponte e treno dipenderà dalle caratteristiche di rigidità, massa e smorzamento delle due parti. Il modello globale FE IBDAS comprende un'interazione dinamica completa tra ponte e treni.

7.2 Risultato

I diversi criteri da esaminare in merito alle valutazioni di percorribilità, sicurezza e comfort sono forniti come conseguenza diretta nei file dei risultati generati da IBDAS. L'utente non deve quindi eseguire noiose elaborazioni dei dati di grandi file cronologici per calcolare le quantità rilevanti. Analogamente, IBDAS può riportare automaticamente quantità estreme nell'ambito di una serie temporale completa.

7.3 Modello di ponte IBDAS

Il modello IBDAS è stato definito in modo così dettagliato che gli effetti statici e dinamici sono riportati con sufficiente precisione per le analisi.

FLESSIONI GLOBALI E LOCALI

La deformazione del binario a seguito del passaggio di un asse montato aumenta per le seguenti ragioni:

- Flessione globale del cassone del ponte per il carico dei treni
- Flessione locale del cassone del ponte e della piastra dell'impalcato
- Flessione del cassone del ponte per effetti termici
- Flessione delle pile per effetti di scorrimento e restringimento a lungo termine
- Flessione del cassone del ponte per vento trasversale e longitudinale
- Flessioni e accelerazioni per azioni sismiche
- Deformazioni locali ai giunti di dilatazione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

- Interazione ruota/binario in relazione alle forme modali

7.3.1 Approccio 14 DOF

Per il modello IBDAS, si possono eseguire controlli diretti sui requisiti di percorribilità, comfort e sicurezza utilizzando il modello di treno 14 DOF.

Tali requisiti comprendono:

- Inclinazione trasversale
- Tasso di variazione della sopraelevazione
- Accelerazione non compensata
- Contraccolpo
- Velocità di rollio
- Accelerazione verticale della carrozza sospesa
- Accelerazione verticale del piano di posa del binario
- Controllo deragliamento e ribaltamento

Ogni veicolo (carrozza o locomotiva) è modellizzato da due carrelli 7 DOF, cioè 14 DOF per veicolo come in Figura 2.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>13-02-2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	C	13-02-2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
C	13-02-2011						

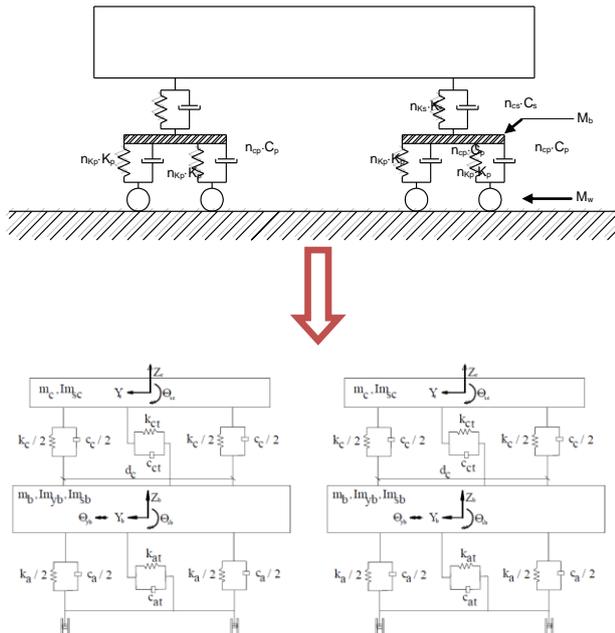


Figura 7-1 *Modello dinamico di carrozza o locomotiva per supporto schematico del carrello. Il modello semplificato (7DOF, Z_c , Z_b , Θ_y e Θ_s) e il modello di carrello spaziale (carrello con 2 ruote su 4 in evidenza) corrispondenti a ogni supporto del carrello sono riportati sotto.*

7.3.1.1 Massa equivalente, rigidità e smorzamento

I veicoli 14 DOF sono descritti in 3 dimensioni tramite la massa di carrello e carrozza m_b e m_c , la sospensione primaria e secondaria definita dalle molle verticali k_a e k_c e gli ammortizzatori c_a e c_c su ogni carrello, oltre ad ammortizzatori e molle laterali orizzontali k_{at} , k_{ct} , c_{at} , c_{ct} . La massa della carrozza è uguale a metà della massa della carrozza del veicolo reale. I parametri di molle e ammortizzatori si ottengono da ammortizzatori e molle primarie e secondarie specificate in DT.ISP.F.E.R3.001 dove p e s si riferiscono al sistema di sospensione primario e secondario del veicolo.

Per ogni carrello, il modello calcola la flessione laterale verticale e orizzontale di carrello e carrozza, rollio e beccheggio del carrello, nonché il rollio della carrozza.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Per il modello 14 DOF, si calcola l'area riferita alle variazioni dinamiche reali delle forze verticali e laterali della ruota P e Y, mentre il componente della forza laterale del vento che contribuisce a Y si calcola come forza del vento statica.

8 Risultati dell'analisi globale IBDAS

Si riportano di seguito le conclusioni principali del programma di analisi eseguito in IBDAS. Si effettuerà una distinzione in corrispondenza degli stati limite. Si riporteranno soltanto i risultati relativi a ciascuno dei sei tipi di treno RFI che percorrono il ponte da soli, in quanto l'interazione tra treni che sorraggiungono si è dimostrata marginale. I risultati restanti, compresi due treni che percorrono il ponte simultaneamente, sono reperibili al Capitolo 13 (Appendice 1).

I livelli di percorribilità stradale sono inoltre affrontati brevemente.

8.1 Combinazione di carichi 2, assenza di carichi ambientali

La combinazione di carichi due non prevede l'applicazione di carichi di vento o sismici. I risultati relativi a tale combinazione di carichi forniscono quindi un sommario del livello prestazionale derivante dall'interazione dinamica tra struttura e singolo veicolo.

Si riportano di seguito i risultati riferiti al caso senza carico termico.

RFI type	Train speed [km/h]	Transverse slope [m/m]	Change of cant [m/m]	Non-compensated lateral acc. [m/s ²]	Roll speed [rad/s]	Derailment ratio incl. wind [-]	Derailment ratio excl. wind [-]	Overturning ratio incl. wind [-]	Steering Ride index Wz [unweighted] [-]	Steering Ride index Wz [weighted] [-]	Peak vertical acc. [unweighted] [m/s ²]	Peak vertical acc. [weighted] [m/s ²]	RMS vertical acc. [unweighted] [m/s ²]	RMS vertical acc. [weighted] [m/s ²]	Recoil [based on 2.0 s.] [unweighted] [m/s ²]	Recoil [based on 2.0 s.] [weighted] [m/s ²]	Vertical peak acc. tracked [unweighted] [m/s ²]	Vertical peak acc. tracked [weighted] [m/s ²]
	0.08	0.0025	0.6	0.033	0.8	0.8	0.9	2.2	2.2	2.00	2.00	0.75	0.75	0.25	0.70	0.70		
1	144	0.0095	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192									0.040	0.025
1	120							0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.84			0.038	0.018
2	144	0.0098	0.0001	0.138	0.009	0.068	0.068	0.119										
2	120							0.61	0.52	1.40	0.87	0.60	0.34	0.87				
3	144	0.0099	0.0001	0.139	0.017	0.100	0.100	0.241									0.050	0.033
3	120							0.63	0.55	1.84	1.22	0.77	0.51	1.22				
4	144	0.0094	0.0000	0.132	0.003	0.022	0.022	0.195									0.060	0.043
4	120							0.70	0.60	1.81	1.07	0.91	0.54	0.97				
5	144	0.0201	0.0001	0.281	0.019	0.124	0.124	0.284									0.110	0.043
6	144	0.0099	0.0001	0.138	0.016	0.097	0.097	0.450									0.041	0.027

Tabella 8-1: Risultati della combinazione di carichi 2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

Com'è evidente, l'accelerazione verticale non ponderata RMS è stata violata per RFI 3 e, in particolare, per RFI 4. Quest'ultimo è un treno a due piani e contiene quindi una sospensione alquanto rigida per prevenire movimenti dinamici eccessivi. Di conseguenza, tale violazione di minore entità non desta preoccupazioni in quanto i valori RMS ponderati restano inferiori ai limiti. Inoltre, il contraccolpo, ritenuto un criterio del comfort e quindi applicabile soltanto ai treni passeggeri, aumenta notevolmente. Tuttavia, i valori inferiori dell'indice di comfort Sperling Ride implica che il comfort dei passeggeri sia mantenuto a un livello molto soddisfacente.

8.2 Combinazione di carichi 4, carico del vento

La combinazione di carichi 4 introduce il carico di vento orizzontale laterale sulla struttura e sui veicoli in movimento. Il carico del vento del ponte, oltre al treno, si applica come carico del vento completamente dinamico in base alla serie temporale che descrive la velocità del vento nelle tre direzioni in qualsiasi fase temporale in 369 posizioni sul ponte. L'interpolazione lineare si utilizza tra tali punti discreti e il treno è soggetto alla stessa velocità del vento del cassone ferroviario (prima della riduzione dovuta ai frangivento). Si tiene conto della velocità trasversale di treno e ponte per individuare la velocità effettiva del vento e i coefficienti di resistenza, sollevamento e momento del ponte sono costantemente aggiornati secondo la deformazione effettiva della struttura.

Per esaminare in prospettiva le analisi dinamiche nella combinazione dei carichi 4, è stato applicato un approccio statico molto semplificato, come segue. L'esito di tale studio consente di fornire un'idea della portata dei risultati dell'analisi dinamica completa, dominata dagli effetti di inerzia e smorzamento.

8.2.1 Approccio di calcolo statico

Con un semplice approccio di equilibrio statico per un treno con massa m soggetto a un carico del vento di ampiezza P_{vento} che colpisce $h/2$ dalla parte superiore del binario e punto di ribaltamento definito come ampiezza del carico del vento P_{vento} che provoca la forza di compressione dal carico statico equivalente alla forza di trazione del momento di ribaltamento introdotta dal carico del vento, è possibile rilevare la velocità del vento critica supponendo che la pressione del vento sia costante rispetto all'altezza e alla lunghezza del treno:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

$$v_{crit} = \sqrt{\frac{0.9mw}{\rho C_D \alpha^2 l h_1 \left(\frac{h_1}{2} + h_2\right)}}$$

Si osservi che il fattore 0.9 del numeratore si introduce per calcolare la velocità del vento critica secondo il criterio di ribaltamento $dP/P < 0.9$.

La tabella seguente indica i valori utilizzati per le diverse variabili nella formula della velocità del vento critica per ciascuno dei sei treni reali specificati. Tali proprietà sono identiche a quelle utilizzate nell'analisi dinamica svolta in IBDAS. Si osservi che sono stati utilizzati soltanto i valori di carrozze/vagoni, quindi senza approccio statico nell'analisi delle locomotive.

Densità dell'aria, rho [kg/m3]	1.28
Fattore di riduzione vento, alpha [-]	0.65

	massa [N]	h2 [m]	w [m]	l [m]	C_d [-]	h1 [m]
RFI 1	456820	0.9	1.51	25.2	0.98	3.7
RFI 2	500700	0.9	1.51	25.7	1.00	3.47
RFI 3	384400	0.9	1.51	25.7	0.78	4.05
RFI 4	621660	0.9	1.51	25	0.86	4.2
RFI 5	993120	0.9	1.51	12.6	0.98	3.8
RFI 6	271260	0.9	1.51	21.6	0.98	3.8

Quantificando la formula della velocità del vento critica si possono definire i grafici riportati sotto. È evidente che la velocità del vento critica è riportata in funzione dell'altezza della carrozza h_1 . Ciò consente di rilevare facilmente la prossimità di un determinato tipo di treno al limite in SLS1 e SLS2 con velocità del vento a raffiche di 58.5 e 62.1 m/s, rispettivamente. Tuttavia, le linee tratteggiate indicano le altezze effettive con lo schema cromatico corrispondente ai grafici della velocità del vento critica. I punti di intersezione segnalano quindi la velocità del vento statica critica del tipo di treno in questione e dovrebbero essere posizionati sopra le velocità del vento a raffiche SLS1 e SLS2 per non violare il criterio di ribaltamento in maniera statica.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

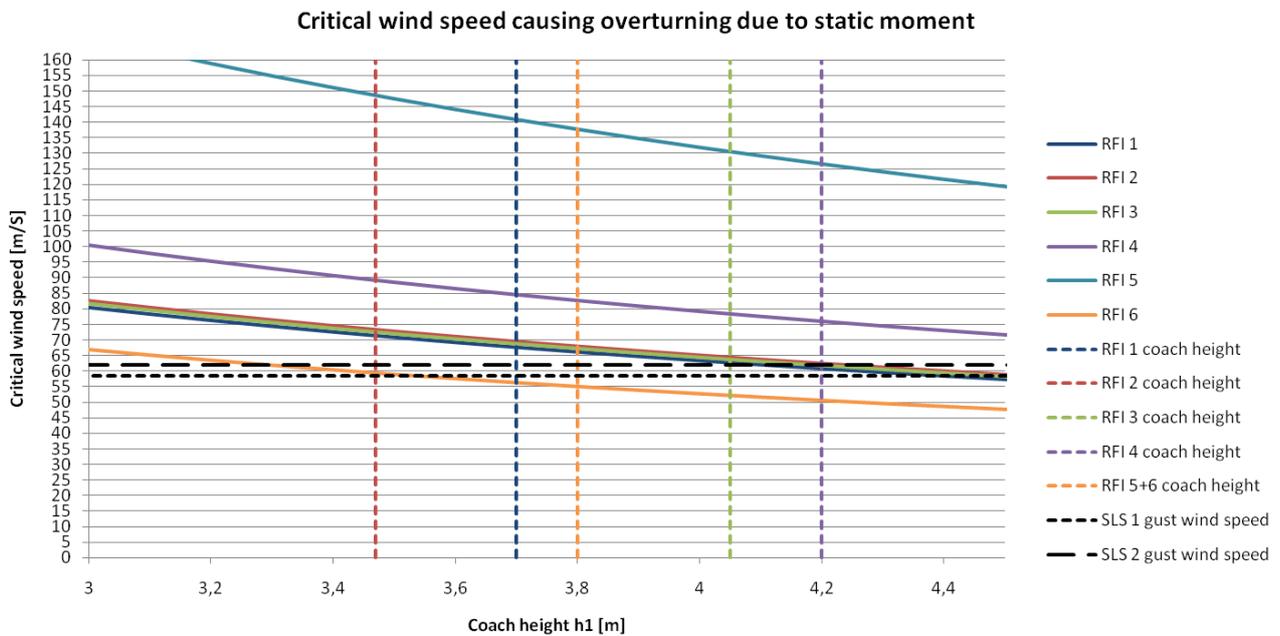


Figura 8-1: Velocità del vento statiche critiche.

Si riportano di seguito le principali conclusioni ottenute dall'approccio statico:

- Tra i treni passeggeri, RFI 3 è particolarmente sensibile al carico del vento trasversale e in contrasto con il criterio di ribaltamento a velocità del vento statiche di circa 60-65 m/s
- RFI 6 (treno merci vuoto) contrasta con il criterio di ribaltamento a velocità del vento statica di circa 55 m/s.

Le velocità del vento critiche indicate sono precedenti alla riduzione dei frangivento e quindi non corrispondono ai valori a cui saranno effettivamente esposti i treni. In questo caso, saranno solo il 65% delle velocità del vento senza riduzione dei frangivento.

Si osservi che tale approccio statico non è stato determinato per l'esito delle simulazioni di ribaltamento, ma solo come confronto nelle analisi dinamiche complete per evidenziare in quale misura la dinamica domini i risultati.

8.2.2 Approccio di calcolo dinamico

Le analisi che utilizzano il sistema IBDAS di COWI con approccio di carico del vento dinamico completo indicano la possibilità di soddisfare i requisiti di ribaltamento per i sei treni RFI

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

abbassando la velocità del vento media a progetto per la percorribilità del treno a 38 m/s, pari a una velocità del vento a raffiche di 50.5 m/s, nella rappresentazione in scala della serie temporale riferita al vento SLS1 della simulazione con Monte Carlo con un fattore $(38 \text{ m/s}) / (44 \text{ m/s}) = 0.864$. Il limite critico indicato corrisponde a un criterio di ribaltamento effettivo di $dP/P \leq 0.9$. Il tipo di treno previsto è un merci vuoto, RFI 6.

Per distinguere tra treni merci e passeggeri, questi ultimi possono operare con velocità del vento pari a una serie temporale del vento SLS 2 (velocità del vento media 47 m/s per 10 min., velocità del vento a raffiche 62.1 m/s). Per quanto riguarda SLS1, le serie temporali riferite al vento appartenenti a SLS2 sono state prodotte con il metodo di simulazione Monte Carlo. Il tipo di treno previsto è un passeggeri, RFI 3.

Attraverso l'analisi dei rischi, è stato previsto che il periodo di ritorno della velocità del vento media di 38 m/s per 10 min. sarà di 6 anni, mentre la velocità media di 47 m/s per 10 min. corrisponde a un periodo di ritorno di 200 anni.

I criteri di ciascuno dei sei tipi di treni reali nella combinazione di carichi 4 (senza carico termico) sono indicati al di sotto dei valori massimi di percorribilità, sicurezza e comfort. Inoltre, si riporta quindi una serie di grafici cronologici per mostrare la variazione spaziale dei parametri selezionati. Tali grafici non rappresentano necessariamente il carrello o l'assale peggiore del treno in merito al parametro in questione, ma consentono di comprendere la variazione principale attraverso il ponte.

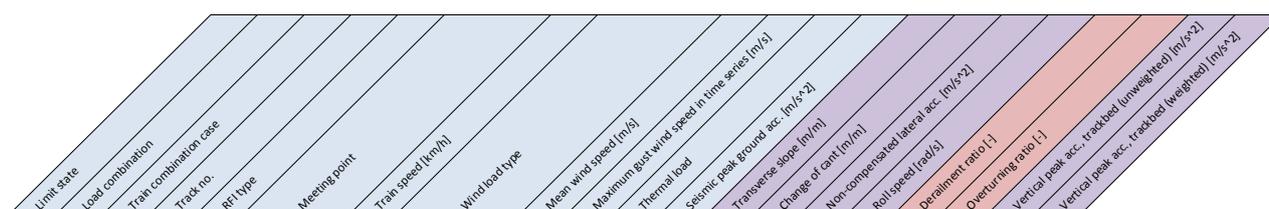
La tabella seguente mostra le proprietà di percorribilità e sicurezza calcolate per RFI da 1 a 6, nell'applicazione di una serie temporale del vento SLS1 senza scala. Come riscontrato, il treno merci vuoto (RFI 6) supera 1 nel rapporto di ribaltamento. Di conseguenza, la soglia della velocità del vento critica generale è stata ridotta per tutti i tipi di treno. A parte questo, il criterio della velocità di rollio viene violato notevolmente quando i treni sono esposti a tale carico del vento dinamico pesante.

Limit	Load state	Load combination	Train combination case	Track no.	RFI type	Meeting point	Train speed [km/h]	Wind load type	Mean wind speed [m/s]	Maximum gust wind speed in time series [m/s]	Thermal load	Seismic peak ground acc. [m/s ²]	Transverse slope [m/m]	Change of cant [m/m]	Non-compensated lateral acc. [m/s ²]	Roll speed [rad/s]	Derailment ratio [-]	Overturning rate [-]	Vertical peak acc. - trackbed (unweighted) [m/s ²]	Vertical peak acc. - trackbed (weighted) [m/s ²]
SLS1	4	1	1	1	One train only	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0161	0.0001	0.226	0.044	0.536	0.525	1.383	0.924	
SLS1	4	2	1	2	One train only	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0165	0.0001	0.231	0.085	0.655	0.538	8.777	2.357	
SLS1	4	3	1	3	One train only	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0181	0.0001	0.254	0.107	0.511	0.684	1.383	0.932	
SLS1	4	4	1	4	One train only	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0162	0.0001	0.227	0.034	0.208	0.471	1.359	0.881	
SLS1	4	5	1	5	One train only	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0282	0.0001	0.396	0.090	0.422	0.424	1.424	0.994	
SLS1	4	6	1	6	One train only	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0185	0.0001	0.260	0.093	0.517	1.029	1.383	0.941	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Figura 8-2 Risultati della velocità del vento media di 44 m/s per 10 minuti

Nella rappresentazione in scala della serie temporale del vento SLS1 con un fattore di 0.864 per ridurre la velocità del vento media a 38 m/s per 10 minuti (velocità del vento a raffiche 50.5 m/s), tutti i tipi di treni soddisfano i criteri di sicurezza. Come riscontrato, RFI 6 è proprio sul limite nel criterio di ribaltamento. Le violazioni della velocità di rollio non sono ritenute critiche in quanto non riguardano la sicurezza e il carico del vento resta comunque estremo. Come riscontrato al capitolo 8.1, la velocità di rollio non costituisce un problema senza carico del vento e quindi la velocità di rollio viene violata solo in pochissimi punti discreti lungo il ponte, come mostrato in figura 8-11. Di conseguenza, si adotta questo livello di velocità del vento come soglia unificata della velocità del vento critica per i sei tipi di treno.



Limit	4	1	1	1	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.08	0.0025	0.6	0.033	0.8	0.9	0.70	0.70
SLS1	4	1	1	1	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.0144	0.0001	0.202	0.034	0.388	0.418	1.036	0.713
SLS1	4	2	1	2	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.0151	0.0001	0.211	0.064	0.540	0.414	7.851	5.083
SLS1	4	3	1	3	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.0164	0.0001	0.229	0.082	0.405	0.675	1.027	0.718
SLS1	4	4	1	4	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.0141	0.0001	0.199	0.026	0.164	0.401	1.025	0.718
SLS1	4	5	1	5	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.0265	0.0001	0.371	0.069	0.338	0.412	1.088	0.710
SLS1	4	6	1	6	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.0166	0.0001	0.233	0.073	0.430	0.879	1.039	0.714

Figura 8-3: Risultati della velocità del vento media di 38 m/s per 10 minuti

Si riportano di seguito le proprietà di comfort calcolate applicabili ai quattro treni passeggeri corrispondenti a una velocità del vento media di 38 m/s per 10 minuti. È evidente che l'unica violazione dei requisiti sia l'accelerazione verticale RMS 2 sec. della carrozza e il contraccolpo. Poiché i valori RMS non sono violati applicando il filtro di frequenza del comfort Sperling Ride, ciò non è ritenuto un problema. Il criterio del contraccolpo si è rivelato praticamente impossibile da rispettare e, come citato sopra, l'approccio del filtro di frequenza, rif. EN 12299, sostituisce attualmente il criterio del contraccolpo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C

Limit	Load combination	Train combination case	Track no.	RFI type	Meeting point	Train speed [km/h]	Wind load type	Mean wind speed [m/s]	Maximum gust wind speed in time series [m/s]	Thermal load	Seismic peak ground acc. [m/s ²]	Spraying Ride index, Wz (unweighted) [-]	Spraying Ride index, Wz (weighted) [-]	Peak vertical acc. (unweighted) [m/s ²]	Peak vertical acc. (weighted) [m/s ²]	RMS vertical acc. (2.0 s.) (unweighted) [m/s ²]	RMS vertical acc. (2.0 s.) (weighted) [m/s ²]	Recoil (based on 2.0 s. RMS coach acc.) [m/s ²]
SLS1	4	1	1	1	One train only	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.68	0.55	1.44	0.74	0.78	0.41	1.11
SLS1	4	2	1	2	One train only	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.68	0.55	1.45	0.74	0.74	0.38	1.01
SLS1	4	3	1	3	One train only	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.72	0.62	1.90	1.11	0.88	0.54	1.33
SLS1	4	4	1	4	One train only	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.75	0.62	1.89	1.04	1.07	0.59	1.24

Figura 8-4: Risultati della velocità del vento media di 38 m/s per 10 minuti

Come indicato, i quattro treni passeggeri non violano i requisiti di sicurezza se esposti a una serie temporale del vento SLS2. Nella tabella seguente è riportato l'esito di questo scenario.

Limit	Load combination	Train combination case	Track no.	RFI type	Meeting point	Train speed [km/h]	Wind load type	Mean wind speed [m/s]	Maximum gust wind speed in time series [m/s]	Thermal load	Seismic peak ground acc. [m/s ²]	Change of cant. [m/m]	Non-compensated lateral acc. [m/s ²]	Roll speed [rad/s]	Derailment ratio [-]	Overturning ratio [-]	Vertical peak acc. trackload (unweighted) [m/s ²]	Vertical peak acc. trackload (weighted) [m/s ²]	
SLS2	4	1	1	1	One train only	144	Dynamic time series	47	62.1	No	0.0	0.10	0.0040	0.8	0.036	0.8	0.9	1.00	1.00
SLS2	4	2	1	2	One train only	144	Dynamic time series	47	62.1	No	0.0	0.0195	0.0001	0.273	0.049	0.325	0.713	1.600	1.042
SLS2	4	3	1	3	One train only	144	Dynamic time series	47	62.1	No	0.0	0.0197	0.0001	0.277	0.034	0.302	0.586	1.600	1.042
SLS2	4	4	1	4	One train only	144	Dynamic time series	47	62.1	No	0.0	0.0198	0.0001	0.278	0.059	0.317	0.788	7.876	5.099

Figura 8-5: Risultati della velocità del vento media di 47 m/s per 10 minuti

Gli 8 grafici seguenti mostrano la variazione spaziale delle proprietà di percorribilità, sicurezza e comfort selezionate per ogni tipo di treno. Tuttavia, esse non rappresentano necessariamente i valori massimi. Di conseguenza, le quattro tabelle mostrate precedentemente devono essere valutate per identificare l'esito generale dell'analisi. Lo scopo degli 8 grafici è mostrare la solidità fisica dei calcoli. Per esempio, l'impatto dei ponti di accesso/struttura terminale è decisamente ovvio su molti grafici. Si riporta il limite sui grafici in cui la proprietà in questione risulta violata per uno o più tipi di treni. Tutti i grafici si basano sulla velocità del vento media dinamica unificata, cioè 38 m/s.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

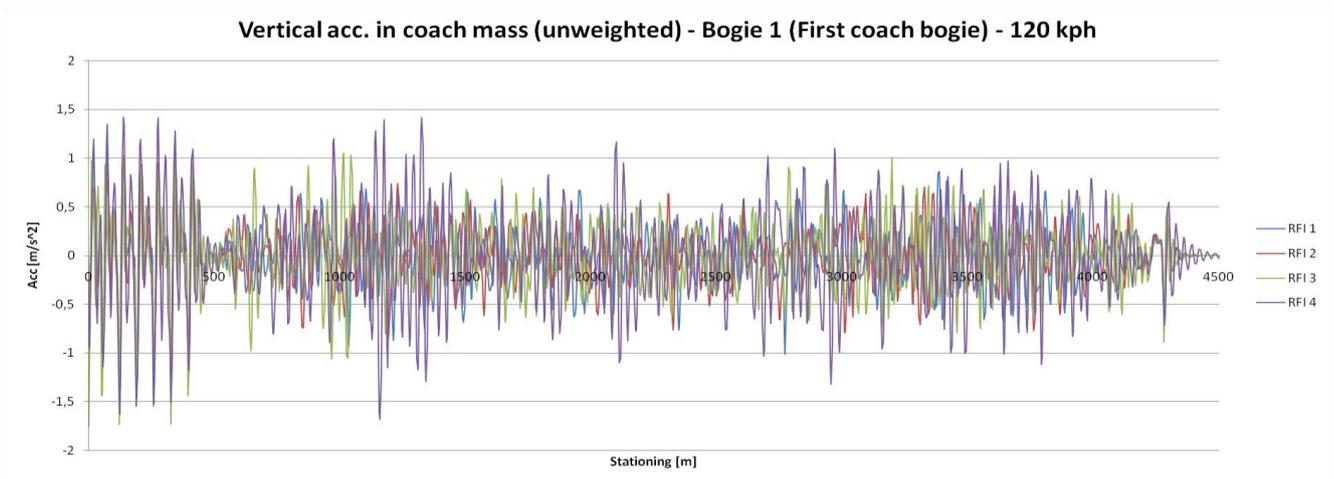


Figura 8-6: Acc. verticale nella massa della carrozza.

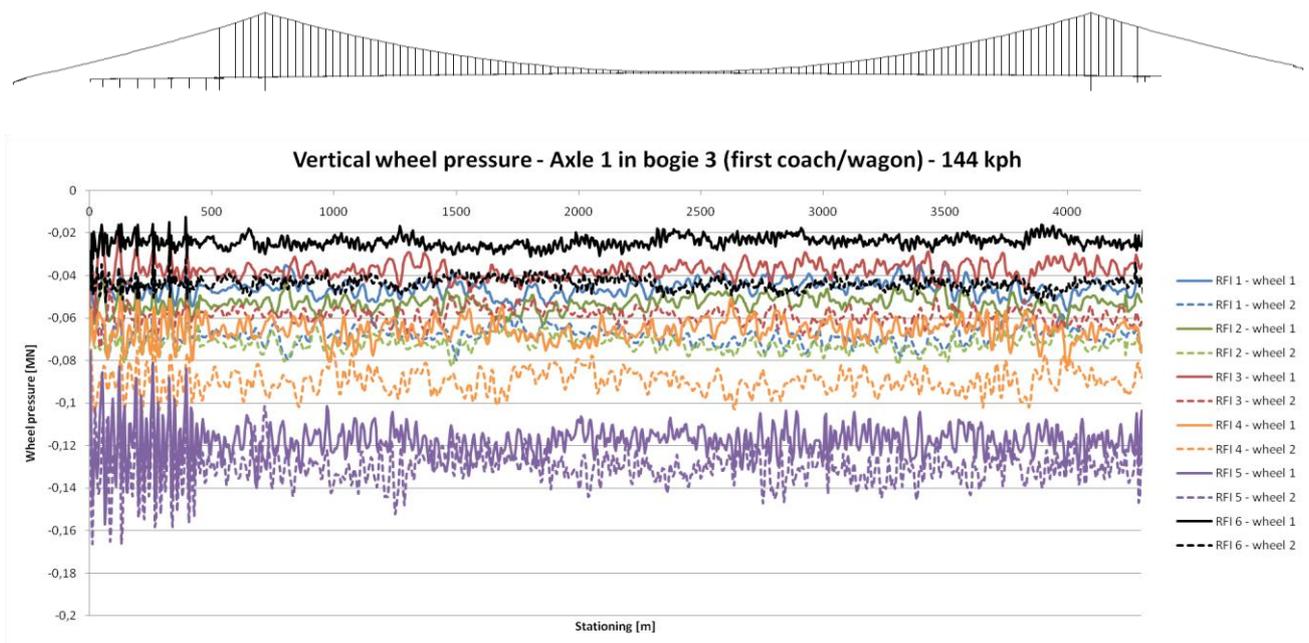


Figura 8-7: Pressione delle ruote.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

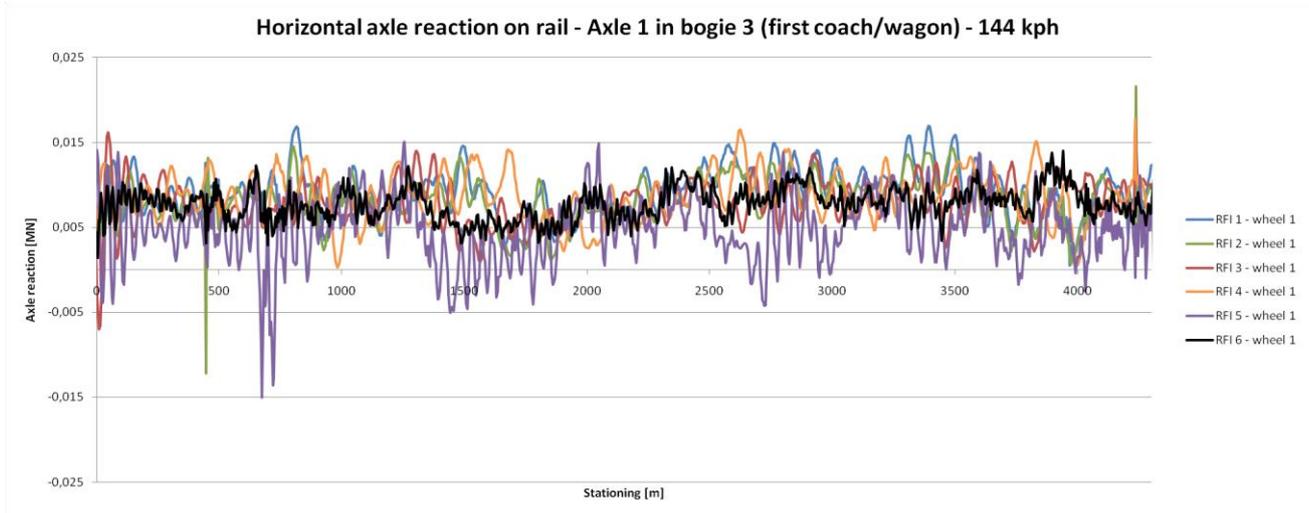


Figura 8-8: Reazioni dell'assale orizzontale.

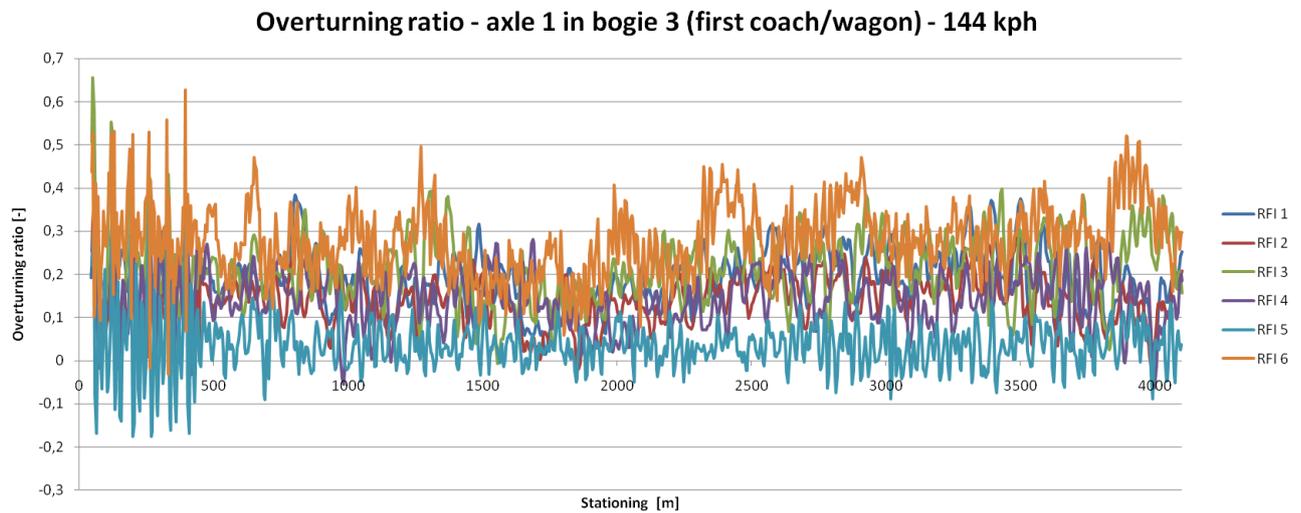


Figura 8-9: Rapporto di ribaltamento

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Derailment ratio - axle 1 in bogie 3 (first coach/wagon) - 144 kph

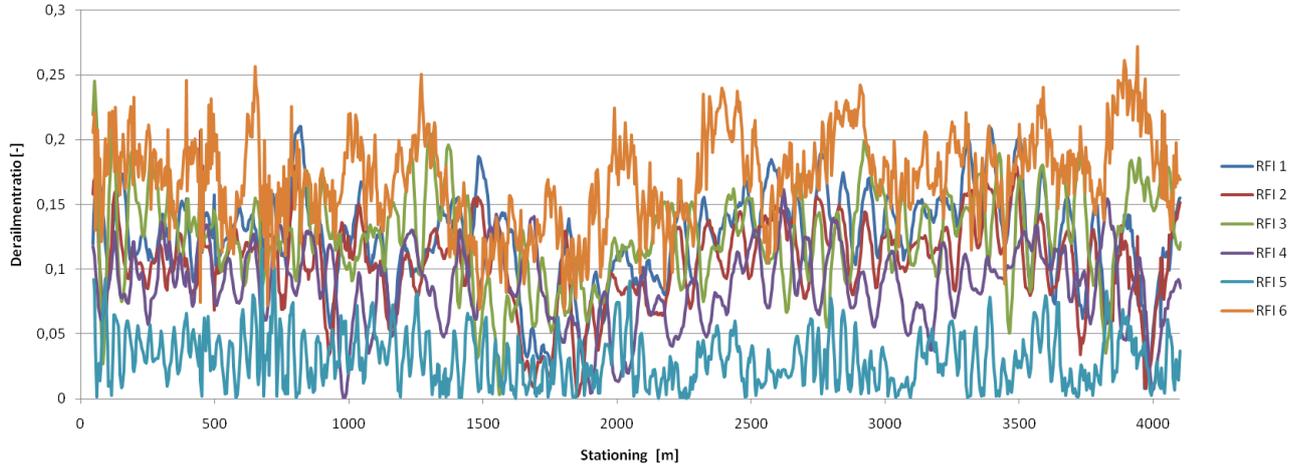
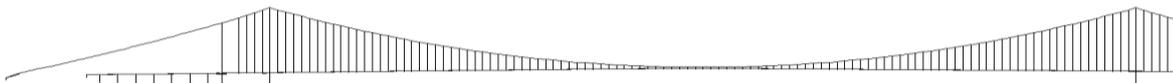


Figura 8-10: Rapporto di deragliamento.



Roll speed - axle 1 in bogie 3 (first coach/wagon) - 144 kph

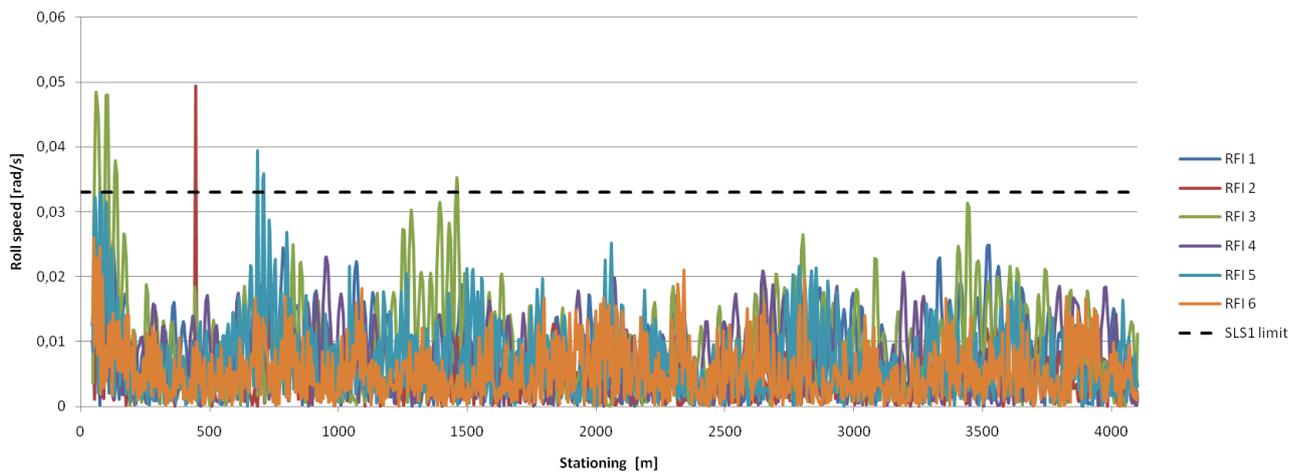


Figura 8-11: Velocità di rollio

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

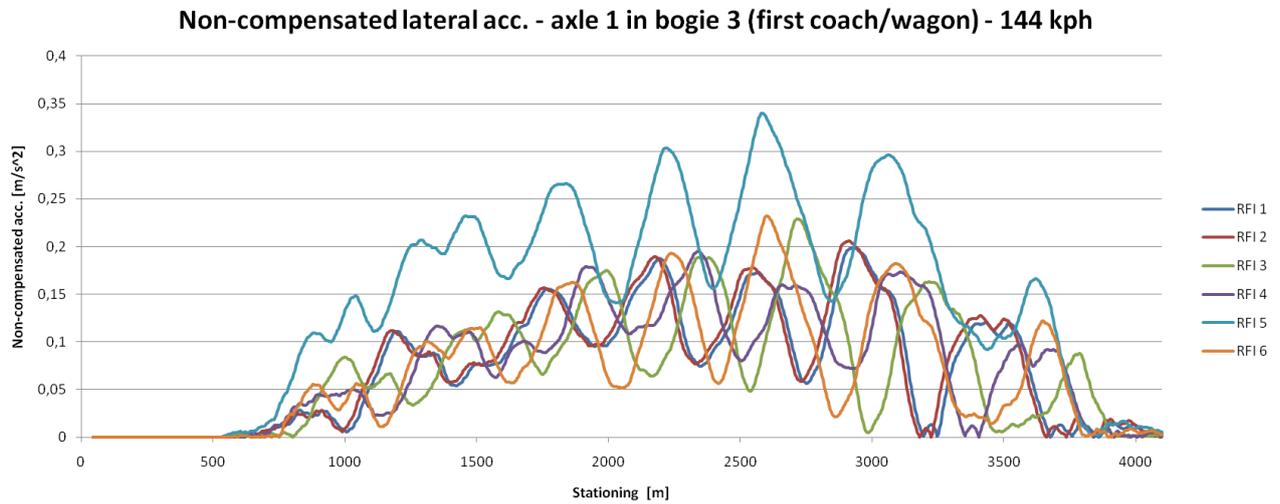


Figura 8-12: Accelerazione non compensata.

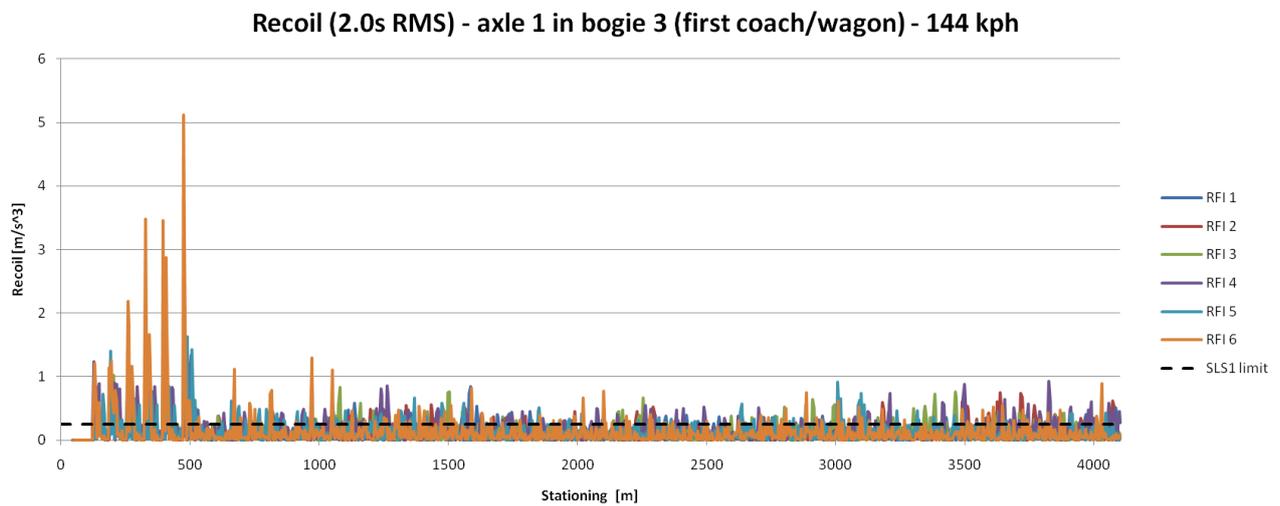
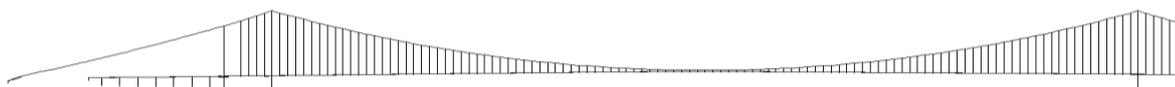
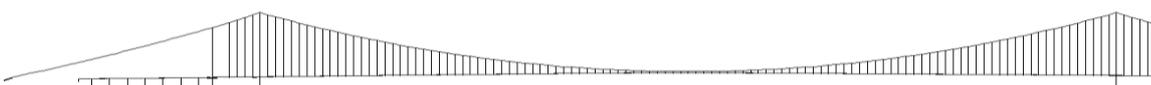


Figura 8-13: Contraccolpo.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

8.3 Combinazione di carichi 5, sisma

Nella combinazione di carichi 5, si induce un sisma sulla struttura applicando una serie temporale di accelerazioni sui nodi supportati nel modello. In SLS2 si esamina un totale di 8 serie temporali. La media dei rapporti di ribaltamento e deragliamento da tali analisi si utilizza quindi per individuare la serie temporale più rappresentativa tra le 8. Tale serie si utilizza quindi unicamente nella verifica SLS1. Questa procedura è stata utilizzata a causa del tempo di esecuzione ed è giustificata dal fatto che le serie temporali in SLS1 e SLS2 sono identiche, a eccezione della rappresentazione scalare. Inoltre, poiché lo studio di percorribilità si basa sulla dinamica lineare, nessun effetto nascosto sarà applicabile nell'esecuzione di una sola serie temporale in SLS2, quando questo si identifica come rappresentante dell'intera serie temporale.

La risposta risultante sui binari ferroviari si determina attraverso l'approccio risolutivo modale, come combinazione lineare degli autostati in ogni istante. Poiché il carico si trasferisce sui veicoli solo tramite la struttura stessa, in contrasto con un'azione parzialmente esterna come il vento, questo tipo di analisi richiede l'inserimento di un numero elevato di autostati per poter descrivere efficacemente la risposta. Gli studi sulla convergenza hanno mostrato che sono sufficienti 1000 autostati.

I risultati sono riportati come valori massimi nelle tabelle, anche in funzione della posizione, ma escludendo i giunti di dilatazione. Tale deduzione si introduce per mantenere un'immagine chiara dei livelli di sicurezza a livello spaziale, in quanto si è rilevato che il modello analitico provoca alcuni picchi artificiali nel rapporto di deragliamento e ribaltamento ai giunti di espansione, unitamente al carico sismico. Ciò è dovuto al fatto che i modelli di treni dinamici in IBDAS si muovono direttamente sul cassone ferroviario anziché sul binario. Quando il giunto di dilatazione è soggetto ad alcuni spostamenti orizzontali e verticali relativi durante un sisma, anche il modello del treno vi sarà esposto sotto forma di improvvisa curvatura del binario. Nella realtà, ovviamente, il binario produrrà un lieve flessione al giunto di dilatazione. Per riepilogare l'ordine di grandezza degli spostamenti relativi, è stato inserito uno schema cronologico per la direzione orizzontale laterale e verticale delle serie temporali sismiche rappresentative.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

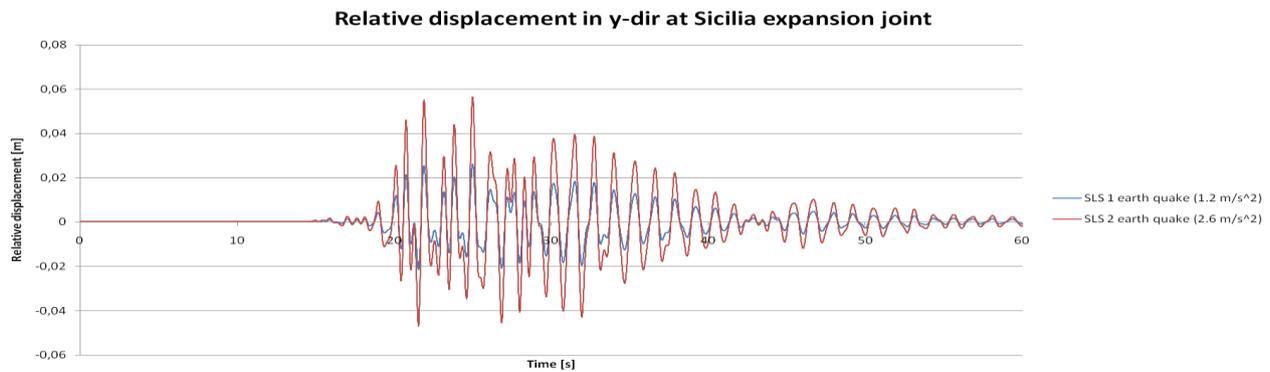


Figura 8-14 Spostamenti relativi del giunto di dilatazione.

I due schemi seguenti mostrano il principale problema di modellizzazione al giunto di dilatazione. Lo schema superiore mostra il rapporto di ribaltamento attraverso l'intero ponte, quello inferiore esclude il giunto di dilatazione attorno alla posizione 450. Si rileva che in questo caso il criterio di ribaltamento è effettivamente rispettato finché il treno corre sul modello globale FE, privo di difetti di modellizzazione in termini di impatto sismico

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

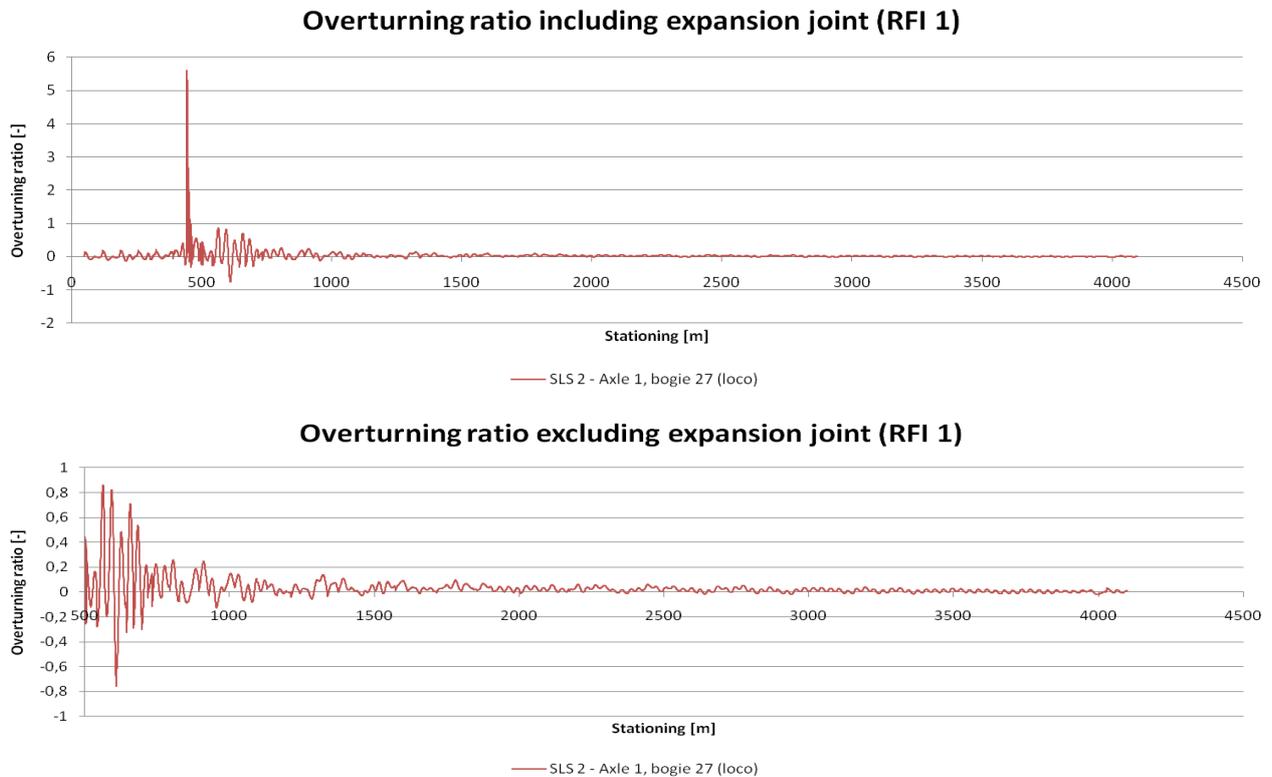


Figura 8-15 Rapporto di ribaltamento con e senza picco artificiale dovuto all'approccio di modellizzazione.

Qualora si rendano necessarie ulteriori indagini, sarà possibile eseguire la modellizzazione del binario stesso, anziché fare correre il treno direttamente sull'impalcato del ponte.

Si riportano i valori massimi del rapporto di ribaltamento e deragliamenti in tabelle seguite da grafici che mostrano le variazioni di spazio per gli assali peggiori nella serie temporale sismica più rappresentativa (E1-02). Come indicato precedentemente, questa serie temporale è l'unica esaminata in SLS1. Si osservi che i risultati del deragliamenti non sono affidabili quando il rapporto di ribaltamento è superiore a 1.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Tabella 8-2: Rapporti di ribaltamento e deragliamento per RFI1-6 in sisma SLS1 rappresentativo.

Seismic event		Sub ID		RFI type		Axle 1 position at start of earth quake		Overturning ratio		Axle		Bogie		Derailment ratio		Axle		Bogie	
SLS1 (Peak ground acc. = 1.2 m/s ²)																			
Peak value										Peak value									
E1	2	1	Sicily pylon	0.52	1	1	0.29	2	3										
				0.39	2	1	0.26	2	4										
				0.74	2	8	0.5	1	9										
				0.31	2	6	0.19	1	7										
				2.08	1	4	1.11	2	52										
				1.34	1	35	0.71	2	20										

Legend

- Value below design requirement
- Value above design requirement but below physical critical value
- Value above physical critical value

Tabella 8-3: Rapporti di ribaltamento e deragliamento per RF11-6 negli 8 sismi SLS2.

Seismic event	Sub ID	RF1 type	Axle 1 position at start of earth quake	Overturning ratio	Axle	Bogie	Derailment ratio	Axle	Bogie	SLS2 (Peak ground acc. = 2.6 m/s ²)					
										Peak value			Peak value		
										1	2	3	1	2	3
E1	1	Sicily pylon	1	0.8	2	2	0.46	2	3						
			2	0.52	2	13	0.51	2	1						
			3	1.26	2	5	4.42	2	4						
			4	0.67	2	3	0.28	1	7						
			5	4.48	1	4	164.6	2	21						
			6	2.67	1	22	13.35	2	1						
E1	2	Sicily pylon	1	1.11	1	1	0.58	2	3						
			2	0.84	2	1	0.64	2	1						
			3	1.59	2	8	836.2	1	3						
			4	0.7	2	6	0.39	1	7						
			5	4.54	1	4	3463.4	1	67						
			6	2.9	1	29	943.2	1	45						
E2	1	Sicily pylon	1	1.21	1	1	0.81	1	2						
			2	0.72	1	1	0.8	2	4						
			3	1.76	1	13	563.2	1	20						
			4	0.99	1	3	0.53	2	2						
			5	5.08	1	3	591	2	74						
			6	2.86	2	21	2.94	1	60						
E2	2	Sicily pylon	1	1.66	1	2	1.42	2	1						
			2	0.96	1	3	1.49	2	1						
			3	1.67	1	20	950.2	1	17						
			4	0.73	1	6	0.34	1	1						
			5	4.51	1	3	93.6	2	49						
			6	2.34	1	30	135.3	1	47						
E3	1	Sicily pylon	1	0.8	1	1	0.67	1	1						
			2	0.61	1	3	0.47	1	3						
			3	2.3	1	5	227.9	2	2						
			4	0.75	2	14	0.45	2	10						
			5	6.02	1	11	344.9	1	45						
			6	3.6	1	15	446.5	2	29						
E3	2	Sicily pylon	1	1.03	1	2	1.21	2	8						
			2	0.77	1	9	0.96	2	10						
			3	1.74	1	10	10863.9	1	8						
			4	0.8	2	3	0.46	2	1						
			5	4.72	1	3	58.2	2	98						
			6	2.77	1	39	130.6	1	58						
E4	1	Sicily pylon	1	1.48	2	1	0.67	2	5						
			2	0.79	2	3	0.62	2	3						
			3	1.48	2	1	10376.8	2	15						
			4	0.61	2	3	0.44	2	4						
			5	3.99	1	6	1673.4	1	55						
			6	3.44	2	8	109.5	2	14						
E4	2	Sicily pylon	1	0.76	1	27	0.45	2	4						
			2	0.45	1	17	0.39	1	1						
			3	1.02	1	8	85.3	1	3						
			4	0.69	2	6	0.37	1	1						
			5	5.66	2	3	275.4	2	49						
			6	2.87	2	63	97.5	2	60						

	Average	Average
RF1 1	1.11	0.78
RF1 2	0.71	0.74
RF1 3	1.60	2988.49
RF1 4	0.74	0.41
RF1 5	4.88	833.06
RF1 6	2.93	234.86

Legend

- Value below design requirement
- Value above design requirement but below physical critical value
- Value above physical critical value

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Come si può rilevare, la violazione del criterio di ribaltamento si verifica per entrambi i treni merci (RFI 5 e RFI 6) in SLS1. Per RFI 5 si supera anche il criterio di deragliamento. In SLS 2, molti tipi di treni hanno avuto problemi. Mediamente, solo RFI 2 e RFI 4 sono rimasti sotto i limiti in SLS2.

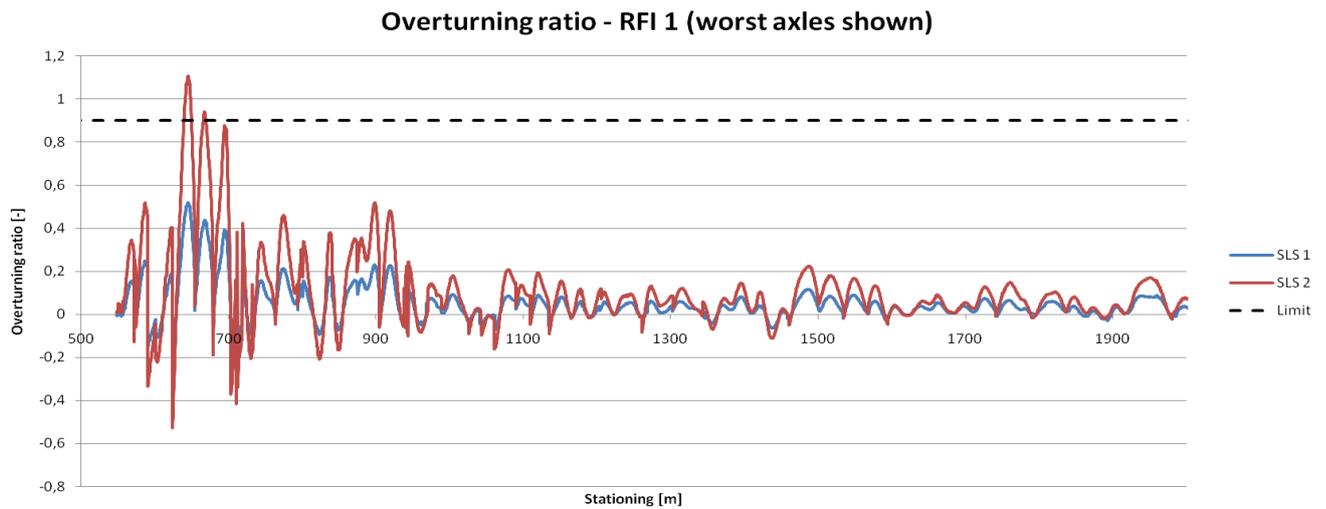


Figura 8-16 Rapporto di ribaltamento RFI 1

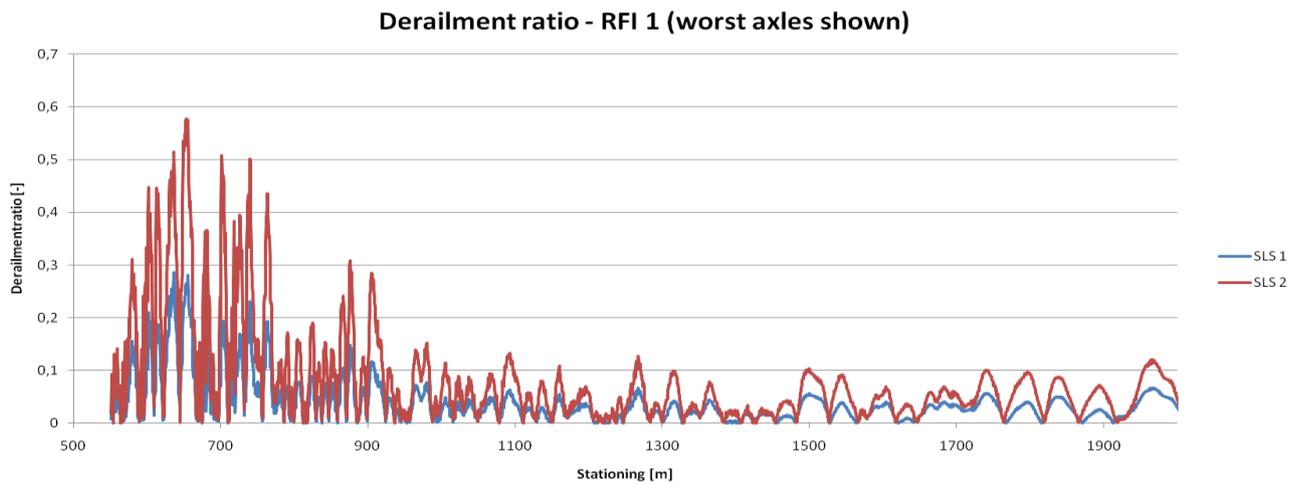
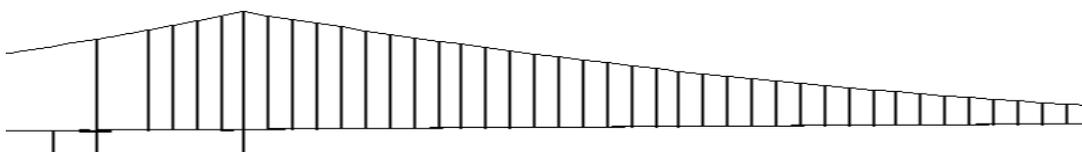


Figura 8-17 Rapporto di deragliamento RFI 1



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Overturning ratio - RFI 2 (worst axles shown)

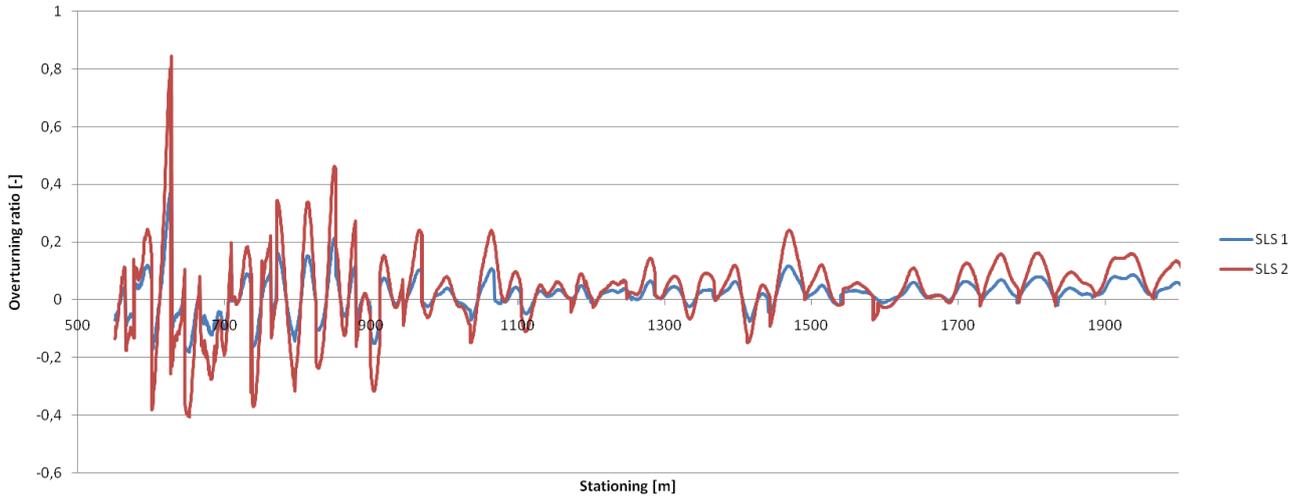


Figura 8-18 Rapporto di ribaltamento RFI 2

Derailment ratio - RFI 2 (worst axles shown)

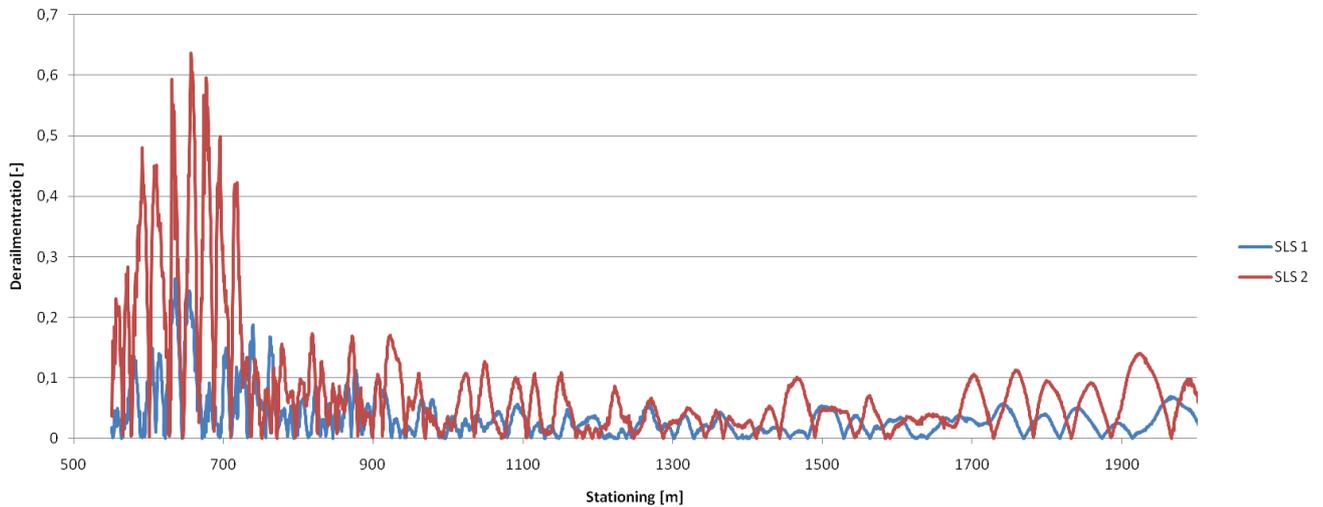
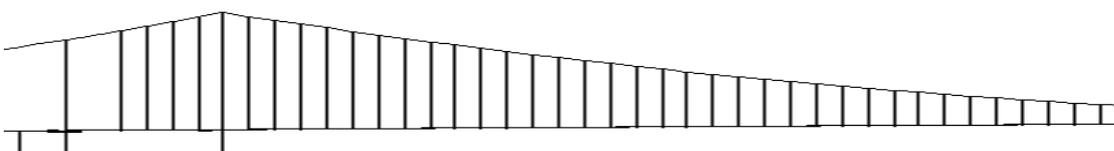


Figura 8-19 Rapporto di deragliamento RFI 2



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Overturning ratio - RFI 3 (worst axles shown)

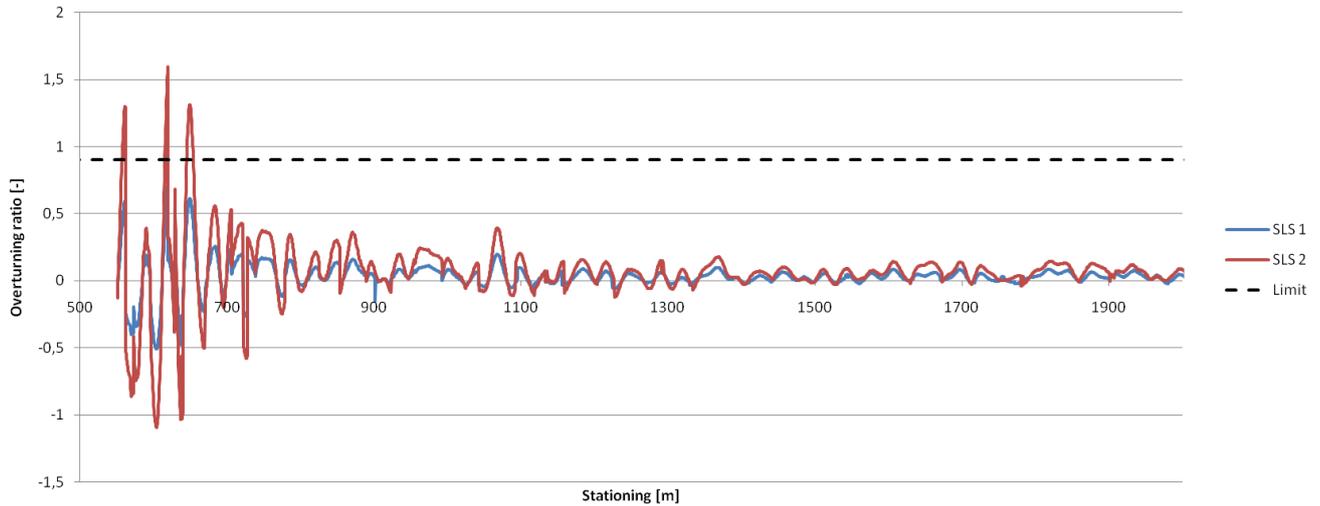


Figura 8-20 Rapporto di ribaltamento RFI 3

Derailment ratio - RFI 3 (worst axles shown)

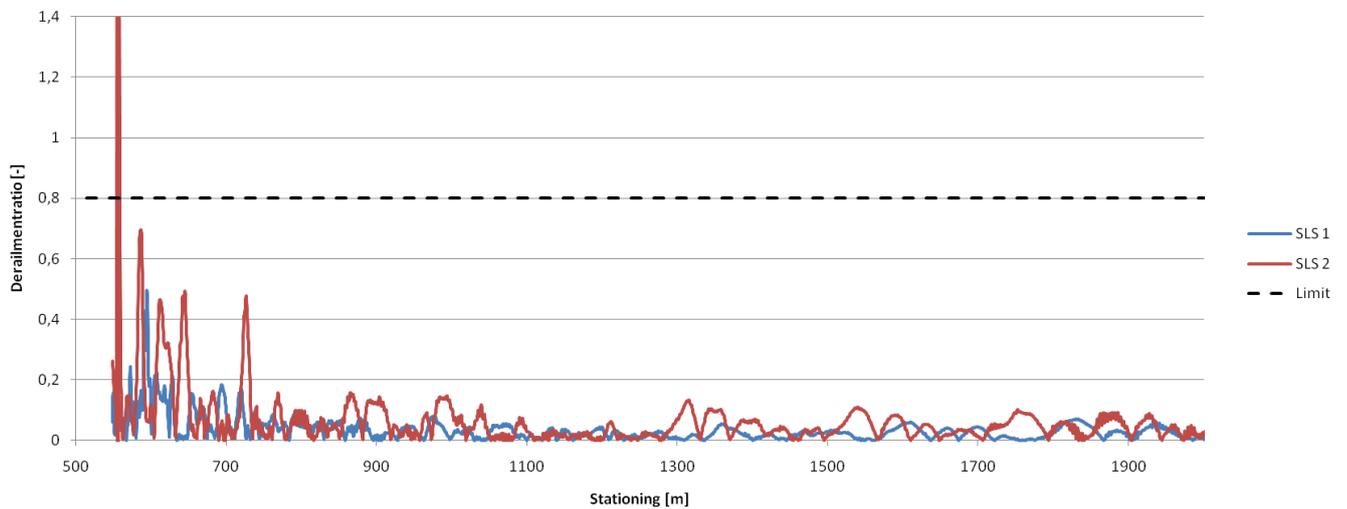
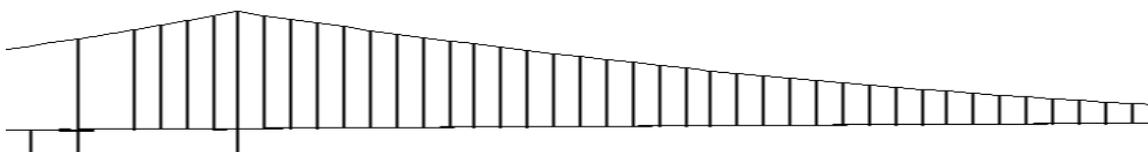


Figura 8-21 Rapporto di deragliamento RFI 3



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

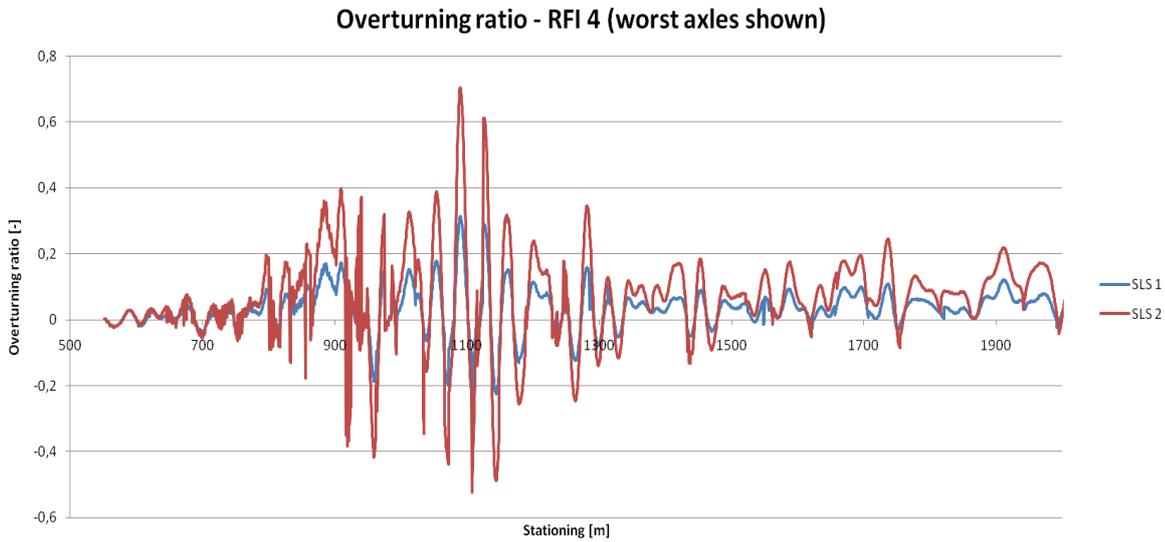


Figura 8-22 Rapporto di ribaltamento RFI 4

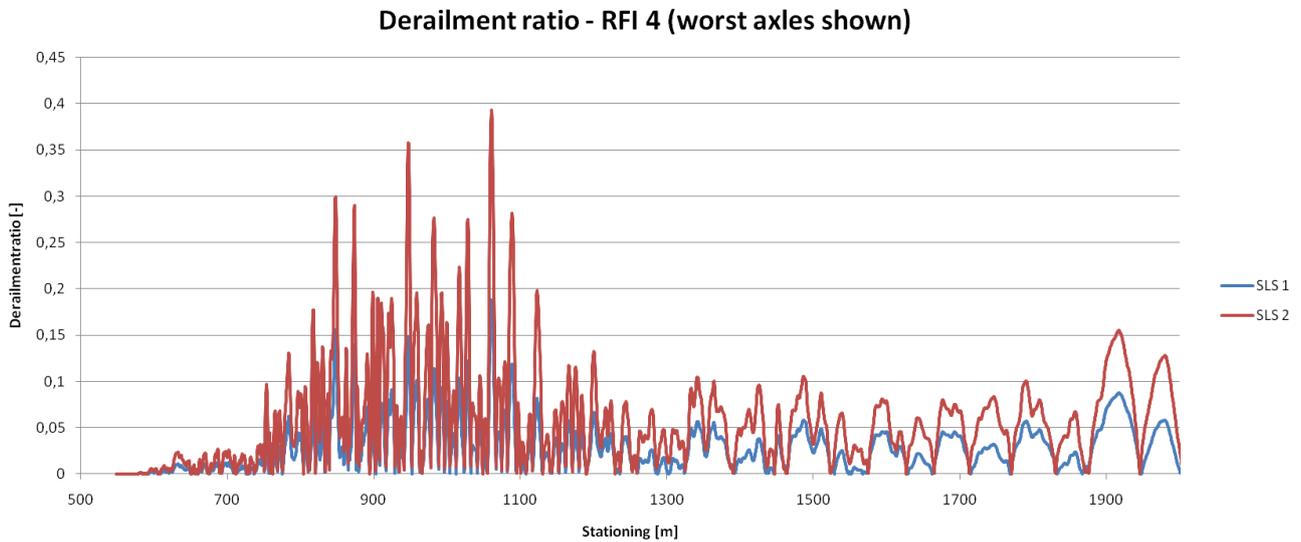
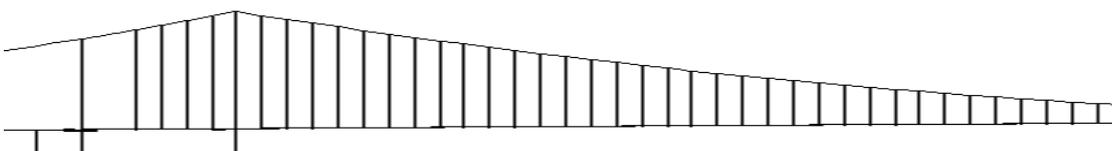


Figura 8-23 Rapporto di deragliamento RFI 4



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

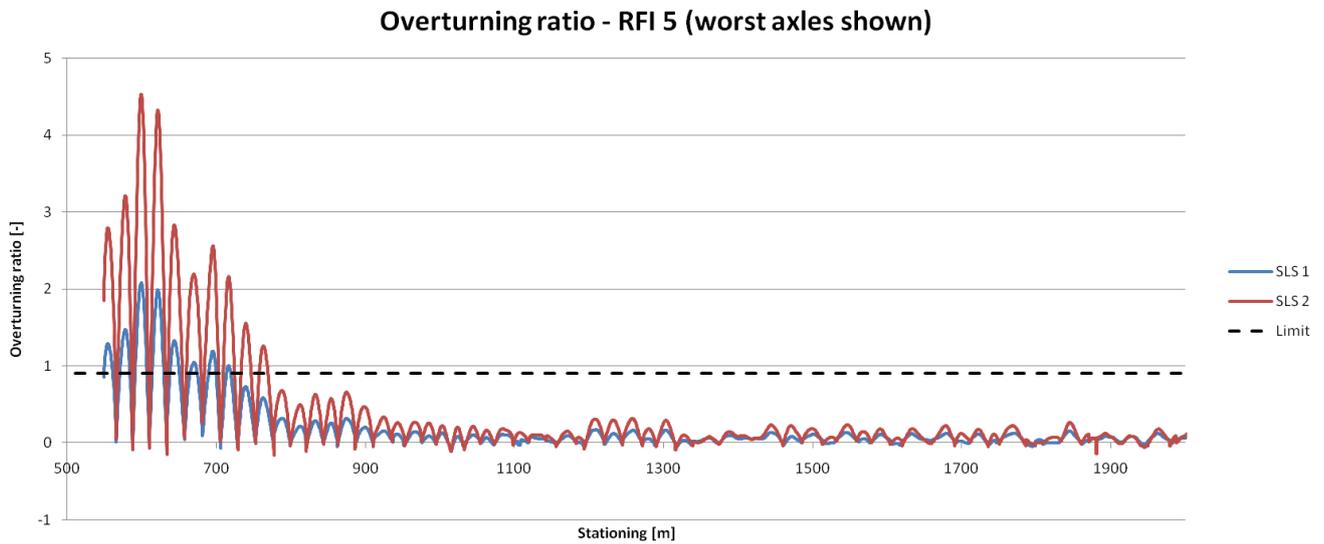


Figura 8-24 Rapporto di ribaltamento RFI 5

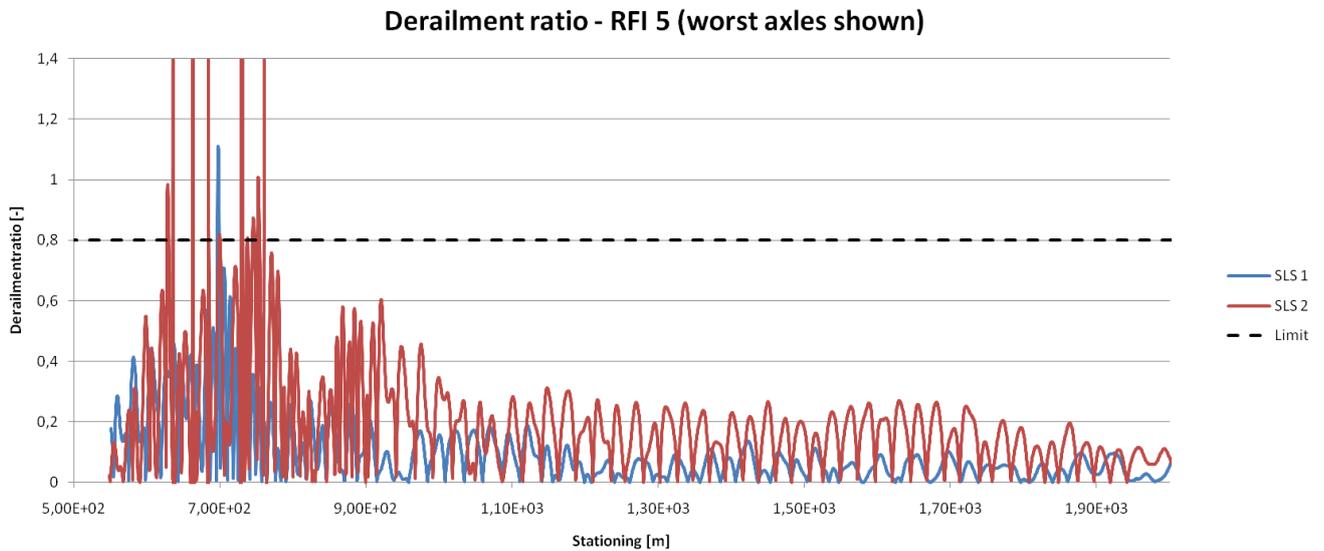
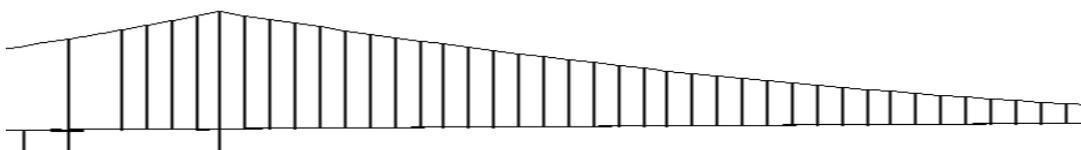


Figura 8-25 Rapporto di deragliamento RFI 5



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

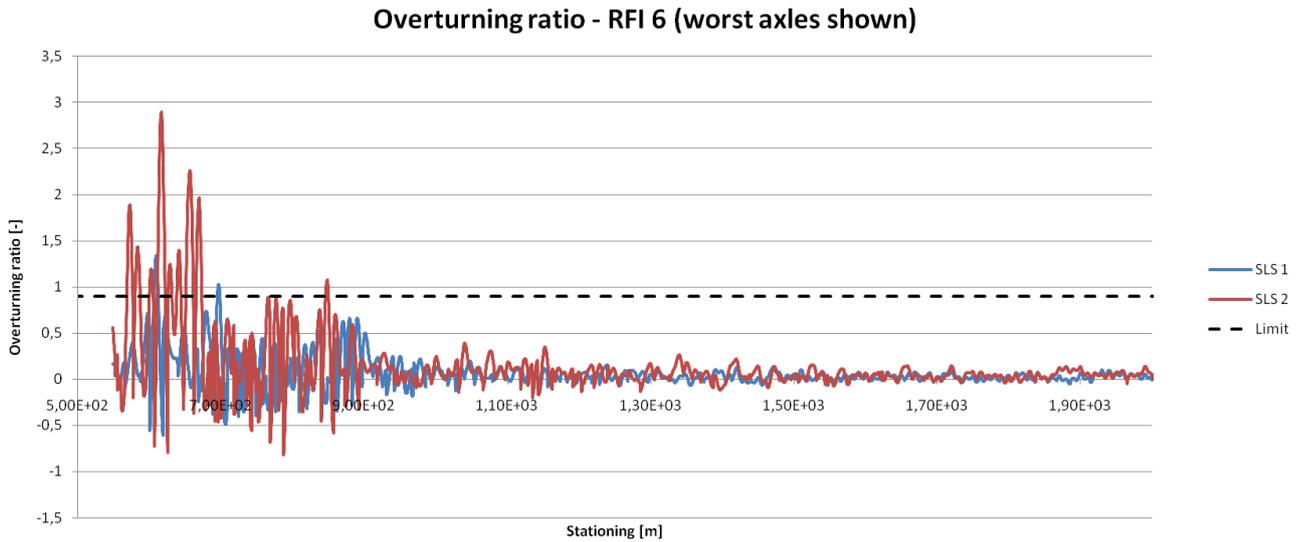


Figura 8-26 Rapporto di ribaltamento RFI 6

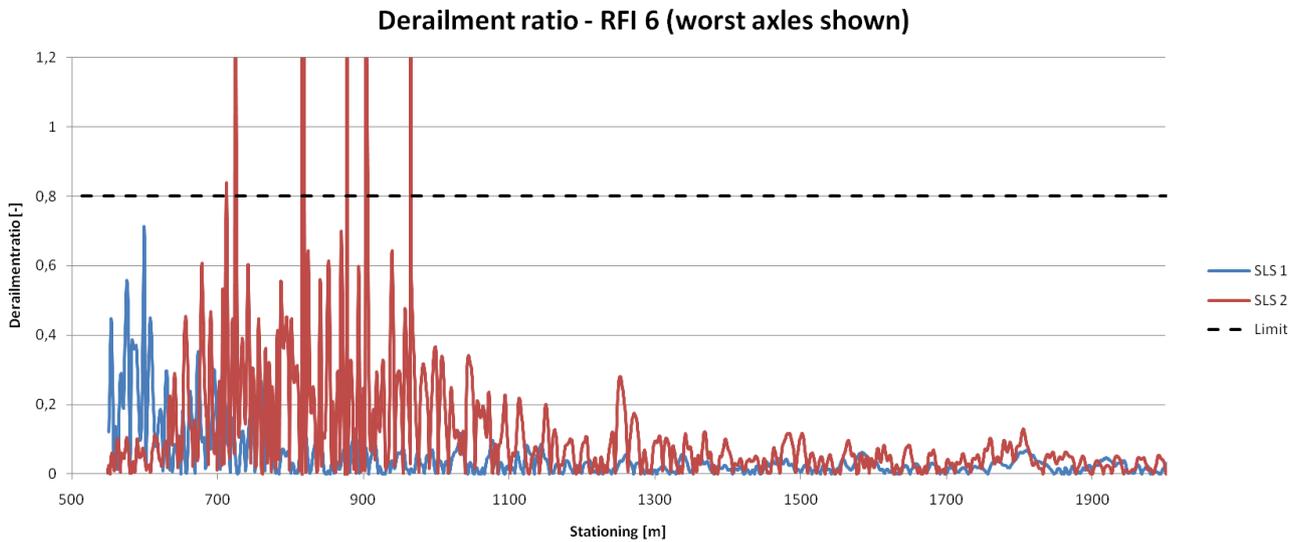
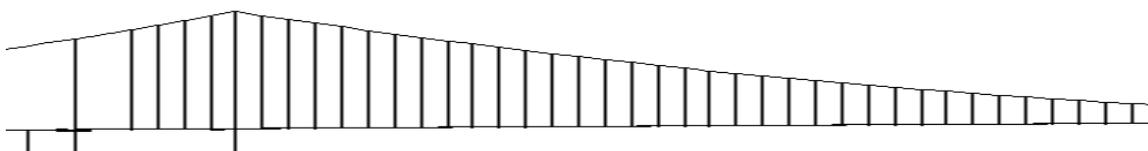
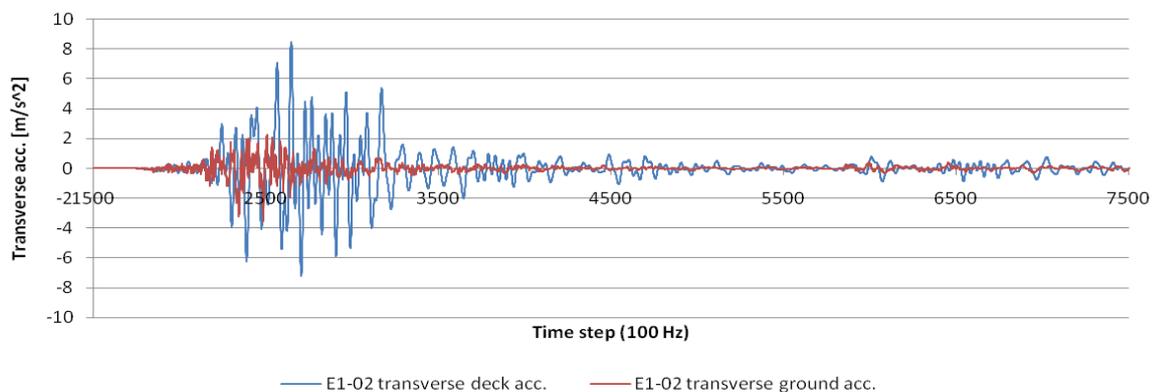
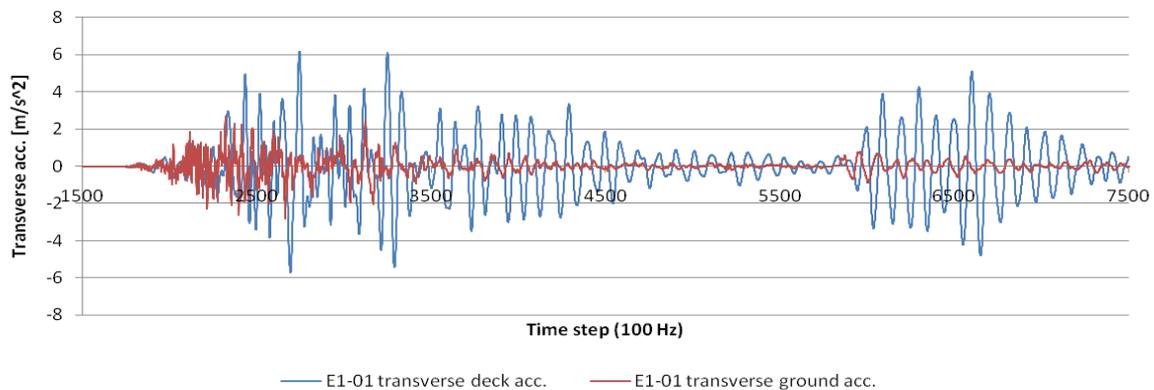


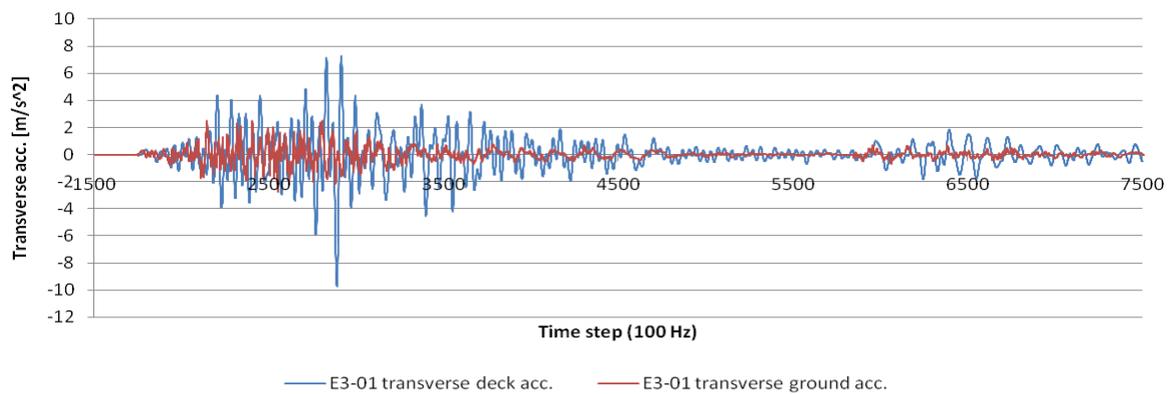
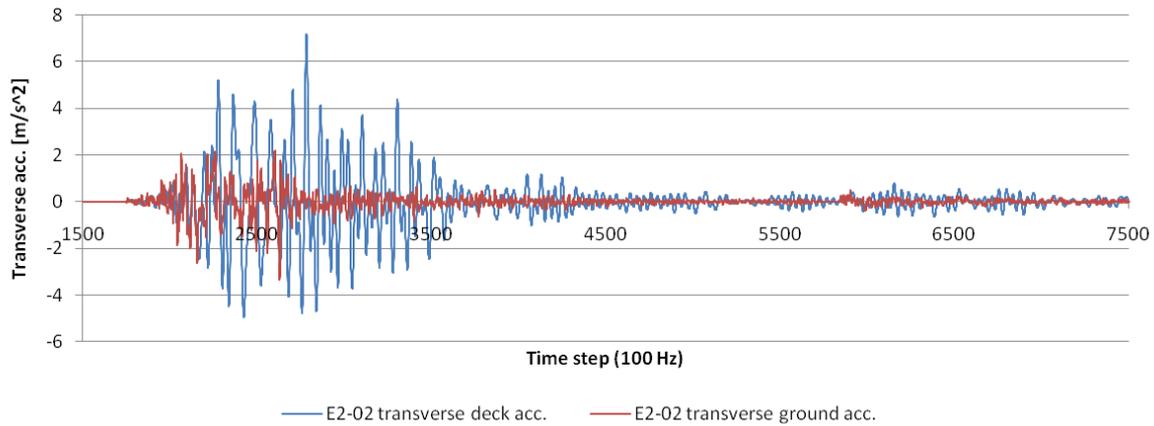
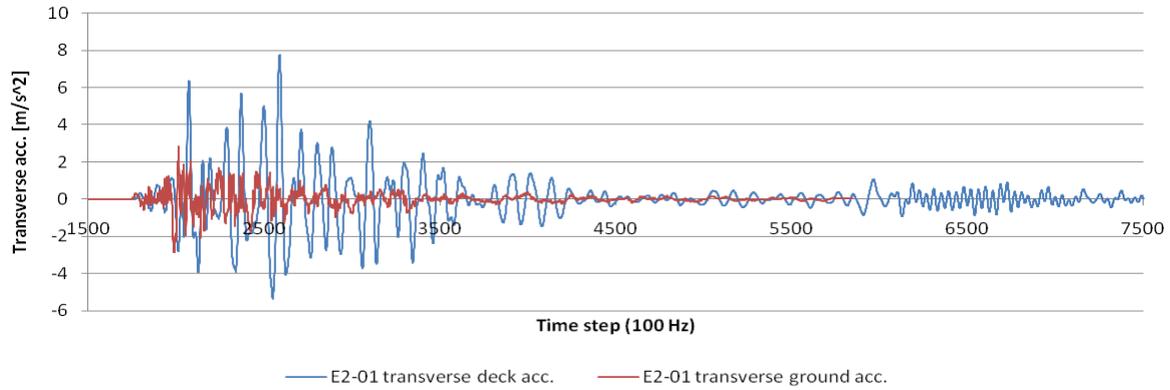
Figura 8-27 Rapporto di deragliamento RFI 6

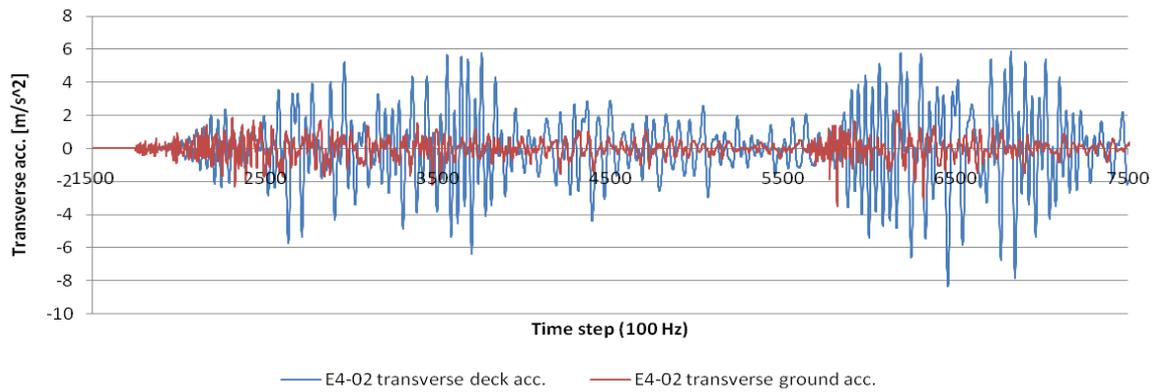
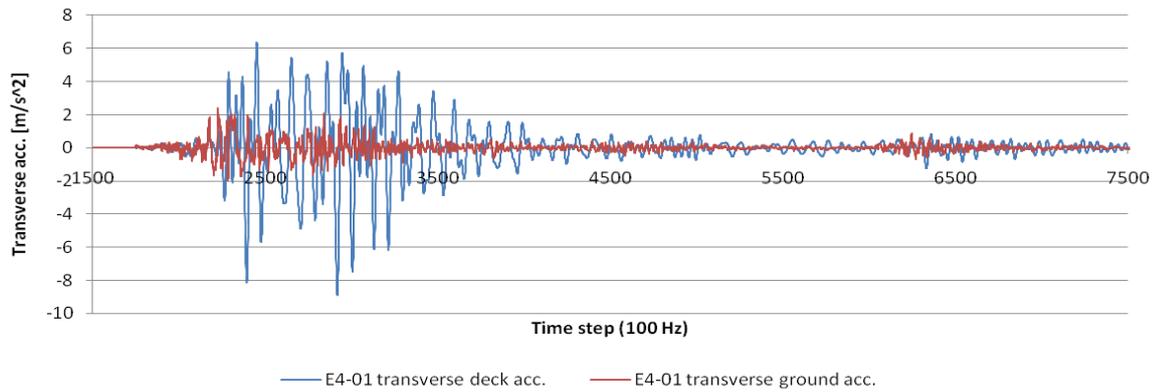
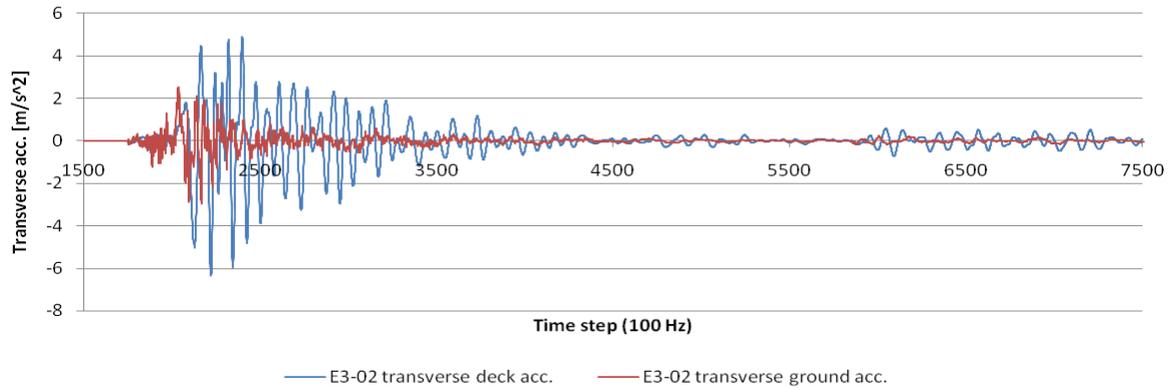


		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Per illustrare la causa delle violazioni dei criteri di ribaltamento e deragliamento, si riportano di seguito le accelerazioni trasversali del terreno per ciascuno degli 8 sismi applicati in SLS2. I grafici mostrano inoltre l'accelerazione trasversale risultante al cassone ferroviario al pilone lato Sicilia, cioè il punto raggiunto dal treno all'inizio dell'attività sismica. Come si può vedere, si raggiunge una notevole amplificazione. Il fattore di amplificazione è simile per SLS1. La seconda serie temporale, E1-02, è selezionata in quanto rappresentativa di un sisma medio utilizzato in SLS1.







		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

8.4 *Analisi della percorribilità stradale*

Nel quadro generale, la percorribilità stradale non è considerata tanto impegnativa quanto quella ferroviaria. Quindi per la fase attuale del progetto si ritiene sia adeguato mirare a un'analisi tramite il calcolo delle accelerazioni dell'impalcato stradale quando il ponte è soggetto a carichi di vento dinamico corrispondenti al carico del vento di tipo SLS1, cioè non è stato modellato alcun veicolo stradale dinamico come nel caso della percorribilità ferroviaria. A parte il fatto che la percorribilità stradale non sia realmente un'area di attenzione rilevante, nessuna proprietà dinamica è attualmente disponibile per automobili e autocarri.

Siccome l'analisi di percorribilità per il treno passeggeri leggero tipo RFI 3 e il treno merci a vuoto RFI 6 non mostra problemi riguardo al soddisfacimento dei criteri di percorribilità e riguardo all'interazione dinamica con il ponte, i.e., solo i carichi ambientali come gli effetti del vento o del sisma, la percorribilità e il comfort, si ritiene che, nella fase attuale del progetto, sia sicuro per tutti i veicoli più esposti (autobus e autocarri vuoti) attraversare il ponte. Si ritiene che la velocità massima di 120 km/h come per i treni sarà conservativa anche per autobus e autocarri.

La seguente tabella indica le accelerazioni a metà campata in direzione longitudinale (S), trasversale (Y) e verticale (Z). I valori rappresentano le accelerazioni massime indotte applicando il carico del vento in 8 direzioni diverse che si estendono su 180 gradi con un intervallo di 22.5 gradi.

Tabella 8-4: Accelerazioni stradali per carico del vento dinamico

	AS [m/s ²]	AY [m/s ²]	AZ [m/s ²]
Acc. effettiva	0.110	0.345	0.535
Acc. max. consentita	0.500	0.500	1.500

8.5 *Spostamento verticale massimo*

È stato eseguito uno studio speciale per esaminare lo spostamento verticale massimo del ponte dovuto al carico ferroviario. Il caso di carico più negativo in quest'ambito si verifica quando due treni merci carichi (RFI 5) sono presenti simultaneamente sul ponte. La figura seguente mostra lo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

spostamento verticale attraverso il ponte nell'istante in cui la campata intermedia subisce lo spostamento massimo.

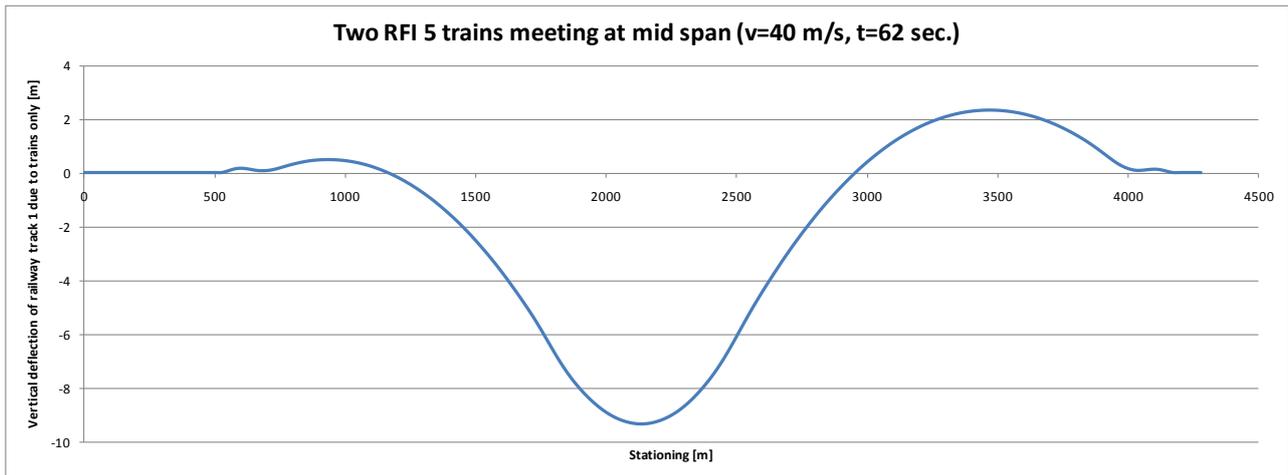


Figura 8-28: Spostamento verticale massimo causato dai treni.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

9 Analisi locale di percorribilità ruota/binario

In questo capitolo, è stata particolarmente approfondita l'interazione locale dinamica tra transito dei treni e risposta della struttura attraverso diaframmi e traversi. Per raggiungere l'obiettivo, è stato sviluppato, modellizzato e convalidato un modello locale dettagliato del cassone ferroviario. L'intero cassone ferroviario è separato dalle quattro travi a T situate sotto il binario ferroviario e modellizzate singolarmente. (da ampliare)

9.1 Modello di ponte ADTres

ADTres é un software interamente sviluppato e convalidato dal Dipartimento di Ingegneria Meccanica del Politecnico di Milano. È interamente dedicato alla modellizzazione matematica dell'interazione treno-binario-ponte e si basa su un modello multistruttura del veicolo ferroviario e sull'approccio dell'elemento finito per il ponte, che può comprendere anche il binario.

Due serie separate di equazioni differenziali determinanti sono integrate numericamente nel dominio temporale in un processo di co-simulazione. Sono espresse separatamente per i due sottosistemi composti da struttura (ponte e binario) e veicoli ferroviari, quindi risolte nel dominio temporale. Queste equazioni si accoppiano calcolando le forze di contatto ruota-binario che sono funzione delle coordinate generalizzate di veicolo e binario. La meccanica del contatto applicata al sistema ruota-binario si risolve utilizzando i modelli matematici descritti dalle teorie di Kalker [11] e Shen-Elkins [12]. Il primo è realizzato per la soluzione del problema del contatto normale. Il modello comprende il normale contatto di scorrimento plastico ed elastico di strutture formate da materiali identici. La seconda teoria è realizzata per modellizzare il problema della tangente della meccanica del contatto ruota-binario. Le forze di scorrimento svolgono un ruolo importante nella determinazione delle performance dinamiche laterali dei veicoli ferroviari. Stabilità laterale (pendolamento), qualità del percorso, deragliamenti per salita ruote e usura ruota-binario sono direttamente compromessi dalle forze di scorrimento che si verificano nell'impronta di contatto tra la ruota e il binario. Scopo di questi modelli matematici è prevedere le performance normali e laterali del veicolo ferroviario e ottenere una rappresentazione molto accurata delle forze normali e laterali che agiscono sull'interfaccia ruota-binario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Infine, la analisi di percorribilità si eseguono tramite una procedura numerica che corrisponde a un'interazione dinamica treno-ponte, in cui le forze di contatto sono in funzione del movimento di entrambi i sottosistemi [13,14].

9.1.1 Modello del veicolo ferroviario

Il modello del veicolo ferroviario si basa su un approccio multistruttura descritto al Capitolo 5.2.

La Figura 9-1 mostra lo schema del modello di veicolo multistruttura, formato da carrozzeria, carrelli e assi montati. I parametri di rigidità e smorzamento delle sospensioni primarie e secondarie sono definiti secondo le specifiche standard dei treni reali RFI [1, 12, 13, 14].

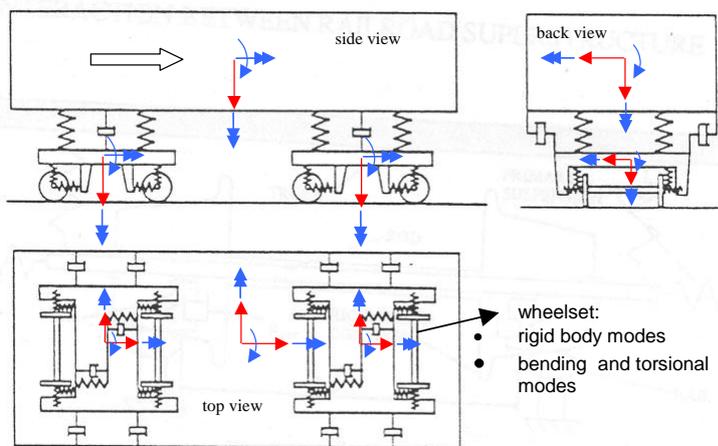


Figura 9-1 Schema del modello multistruttura del veicolo: sono indicati i gradi di libertà della carrozzeria e dei carrelli

9.2 Descrizione del modello di esecuzione a travi multiple

9.2.1 Proprietà del modello FE (elementi strutturali)

Dal punto di vista globale, il comportamento dinamico del cassone è approssimativamente tale per cui l'intero contributo di cassone, travi a T e rinforzi locali è considerato come un'unica proprietà

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

della sezione. La Figura 12-2 mostra un dettaglio dell'area della sezione trasversale del cassone ferroviario, comprendente tutti i rinforzi locali come le travi a T.

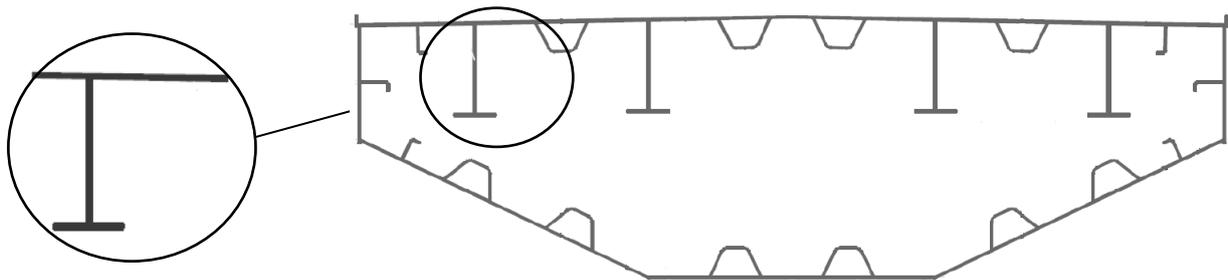


Figura 9-2 – Area della sezione trasversale del cassone ferroviario.

La vista frontale del modello schematico dell'elemento finito globale del cassone ferroviario è riportata in Figura 9-3. Le proprietà dell'intera area della sezione trasversale sono concentrate in una singola trave.

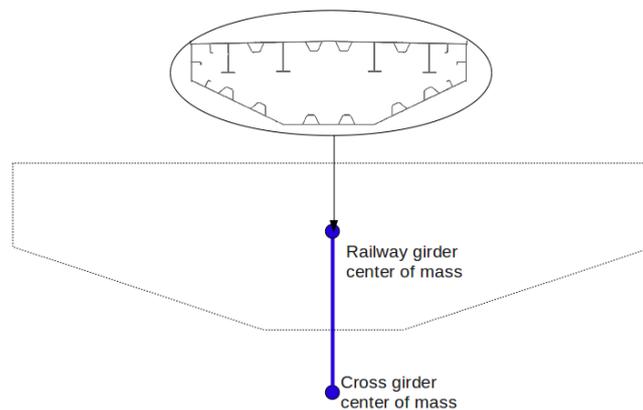


Figura 9-3 Nel modello globale del ponte, le proprietà dell'area della sezione trasversale del cassone ferroviario sono concentrate in una singola trave.

Nel modello locale definitivo, il cassone ferroviario è collegato a ogni trave a T attraverso vincoli cinematici di collegamenti rigidi. Gli schemi dell'area della sezione trasversale del cassone e delle travi a T utilizzate per il modello locale sono riportati rispettivamente in Figura 9-4 e 9-5.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C	Data 13-02-2011

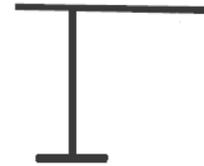
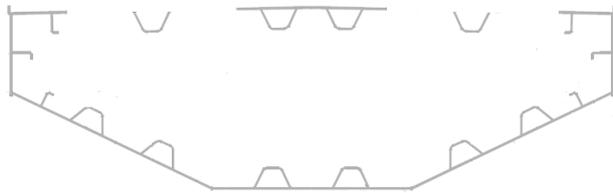


Figura 9-4 – Area della sezione trasversale del cassone ferroviario utilizzato nel modello locale a travi multiple.

Figura 9-5 – Area della sezione trasversale trave a T.

La Figura 9-6 mostra uno schema del modello a travi multiple. Ogni trave a T è inizialmente separata e quindi collegata rigidamente al cassone ferroviario. I collegamenti rigidi, qui evidenziati in blu, sono utilizzati per collegare il cassone ferroviario al trasverso e alle travi a T. Il cassone ferroviario è in realtà modellizzato come un modello di elementi finiti a cinque travi.

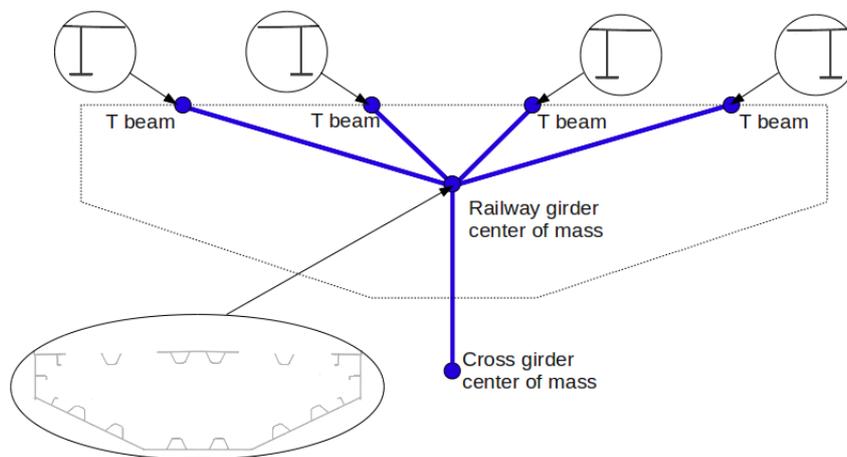


Figura 9-6 Vista frontale del modello locale del cassone ferroviario a travi multiple.

La Figura 9-7 mostra la vista frontale del modello locale di elementi finiti a travi multiple del cassone ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C	Data 13-02-2011

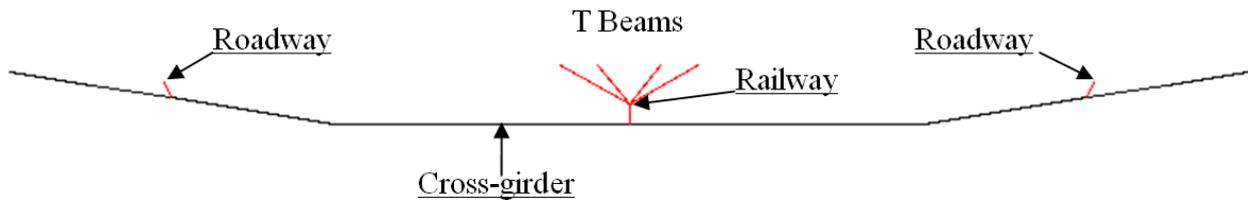


Figura 9-7 Vista frontale del modello a travi multiple. I collegamenti cinematici rigidi, qui indicati in rosso, sono utilizzati per collegare il cassone ferroviario al traverso e alle travi a T.

La schematizzazione degli elementi finiti a trave singola viene adottata per la modellizzazione dei cassoni stradali, in quanto non è necessario alcun dettaglio locale ai fini di tale attività. I collegamenti cinematici rigidi sono utilizzati per realizzare un vincolo con i traversi. Il modello di elementi finiti a cinque travi risultante è quindi collegato rigidamente al traverso.

La vista superiore e la vista isometrica del modello locale a travi multiple della campata di 300 m sono riportate in Figura 9-8 e 9-9.

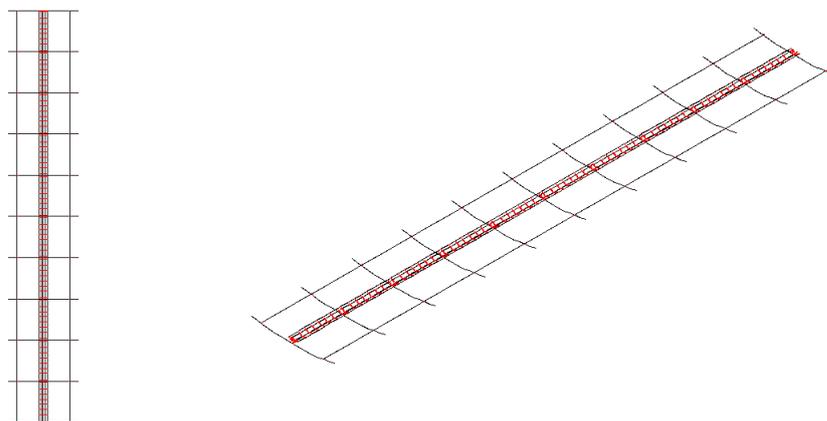


Figura 9-8 Vista superiore del modello a travi multiple.
 Figura 9-9 Vista isometrica del modello a travi multiple.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

La Figura 9-10 mostra il collegamento rigido di ogni trave a T alla trave del cassone ferroviario anche in ciascuna posizione del diaframma.

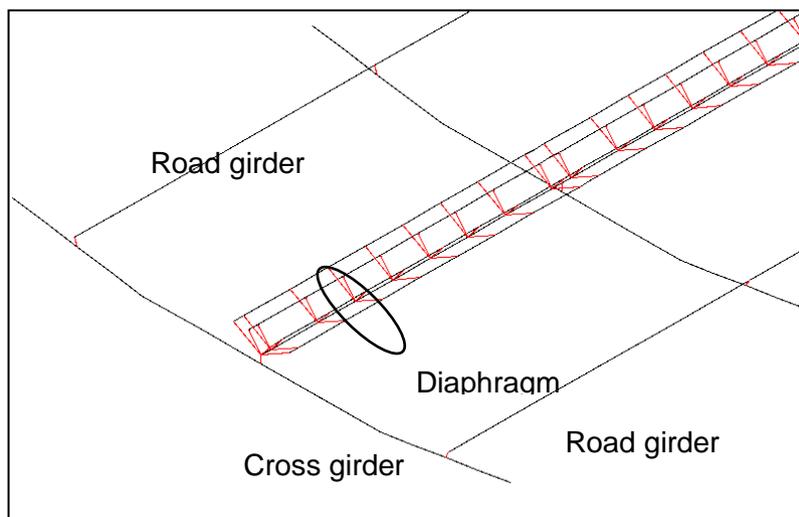


Figura 9-10 Le travi a T sono collegate rigidamente alla trave del cassone ferroviario in ogni posizione del diaframma.

La Figura 9-11 mostra i collegamenti rigidi, qui indicati in rosso, di ogni traverso alla trave del cassone ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

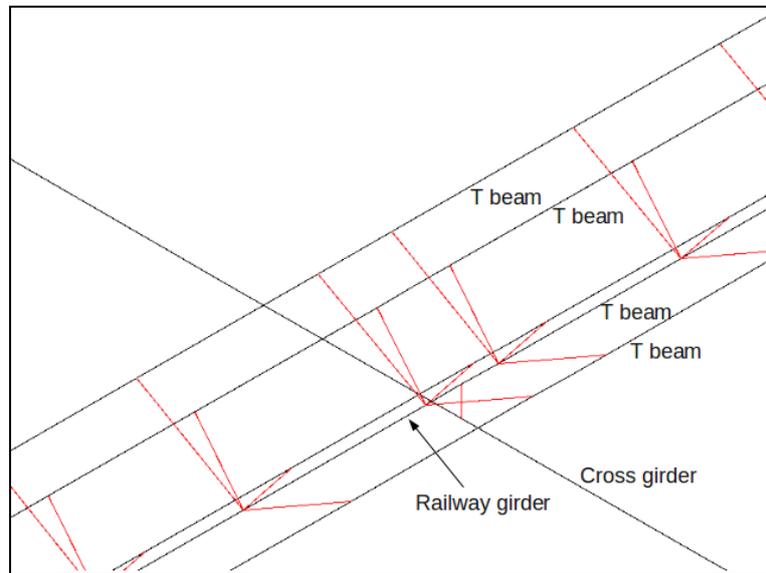


Figura 9-11 Ogni cassone ferroviario è collegato rigidamente alla trave del cassone ferroviario.

La Figura 9-13 mostra la vista laterale della struttura lunga 30 m in cui i traversi sono riportati alle estremità. La spaziatura tra diaframmi è 3.75 m, tranne i diaframmi situati sui traversi posizionati a 0.9375 m di distanza dal baricentro di ogni traverso.

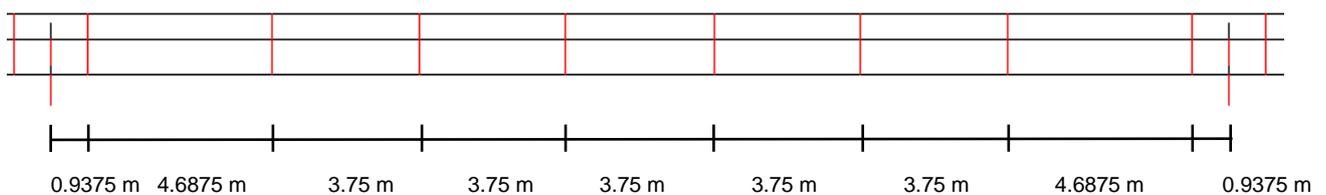


Figura 9-13 – Vista laterale del modello a travi multiple. Le travi a T sono collegate rigidamente alla trave ferroviaria in ogni posizione del diaframma.

La Tabella 9-1 riporta un sommario delle caratteristiche geometriche di ogni elemento finito per strada, ferrovia, traversi e travi a T, definite come segue:

- A = area della sezione trasversale dell'elemento della trave [m²]

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

- J_p = momento d'inerzia polare [m⁴]
- J_t = momento d'inerzia torsionale [m⁴]
- J_2 = momento d'inerzia in prossimità dei 2 assi locali [m⁴]
- J_3 = momento d'inerzia in prossimità dei 3 assi locali [m⁴]

	Sezione	A	J_p	J_t	J_2	J_3
Cassone stradale	1	0.5250	9.4450	0.9550	0.4100	9.0350
Cassone ferroviario	2	0.2215	2.0391	0.5070	0.2319	1.8072
Traverso 1	3	0.2380	0.4770	0.4770	0.0770	0.4000
Traverso 2	4	0.2810	0.8530	0.8530	0.3010	0.5520
Traverso 3	5	0.3120	1.2340	1.2340	0.5700	0.6640
Traverso 4	6	0.3530	1.9090	1.9090	1.0950	0.8140
Traverso 5	7	0.3670	2.1960	2.1960	1.3290	0.8670
Traverso 6	8	0.3660	2.1920	2.1920	1.3260	0.8660
Trave a T	9	0.0366	0.0092	0.0000014	0.0065	0.0027

Tabella 9-1 Proprietà della sezione degli elementi della trave.

9.2.2 Proprietà dei materiali

Le proprietà dei materiali sono definite come:

- $E = 210000$ MPa (Modulo di Young)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

- $\nu = 0.3$ (Rapporto di Poisson)
- $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ (Densità dell'acciaio)
- $\alpha = 0$ o $4.23903\text{E-}05$
- $\beta = 10^{-5}$ o 0.000207004

Le sensibilità α e β alla risposta del modello sono state verificate. I valori $\alpha = 0$ e $\beta = 10^{-5}$ non forniscono praticamente smorzamento associato allo struttura, mentre i coefficienti $\alpha = 4.23903\text{E-}05$ e $\beta = 0.000207004$ sono tali da avere un rapporto di smorzamento pari allo 0.28% per il primo modo del modello a travi multiple (4.3 Hz) e un rapporto di smorzamento dello 0.52 % per il 14° modo (8.0 Hz), cioè il modo flessionale mostrato sotto. Si riporta inoltre il grafico corrispondente dello smorzamento di Rayleigh.

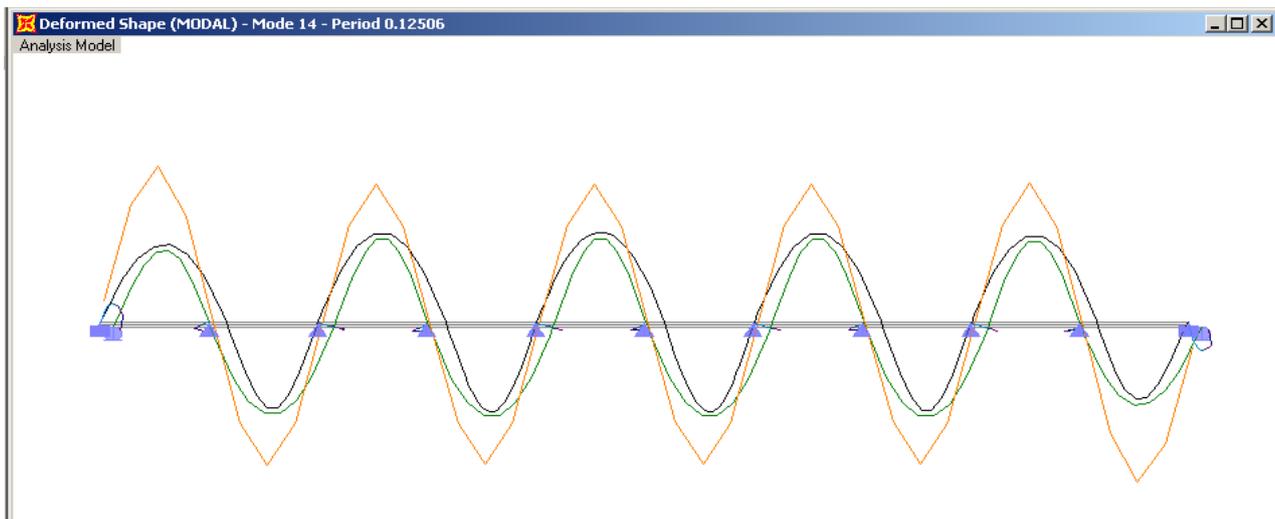


Figura 9-14 Forma del 14° modo del modello locale a travi multiple (8Hz).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

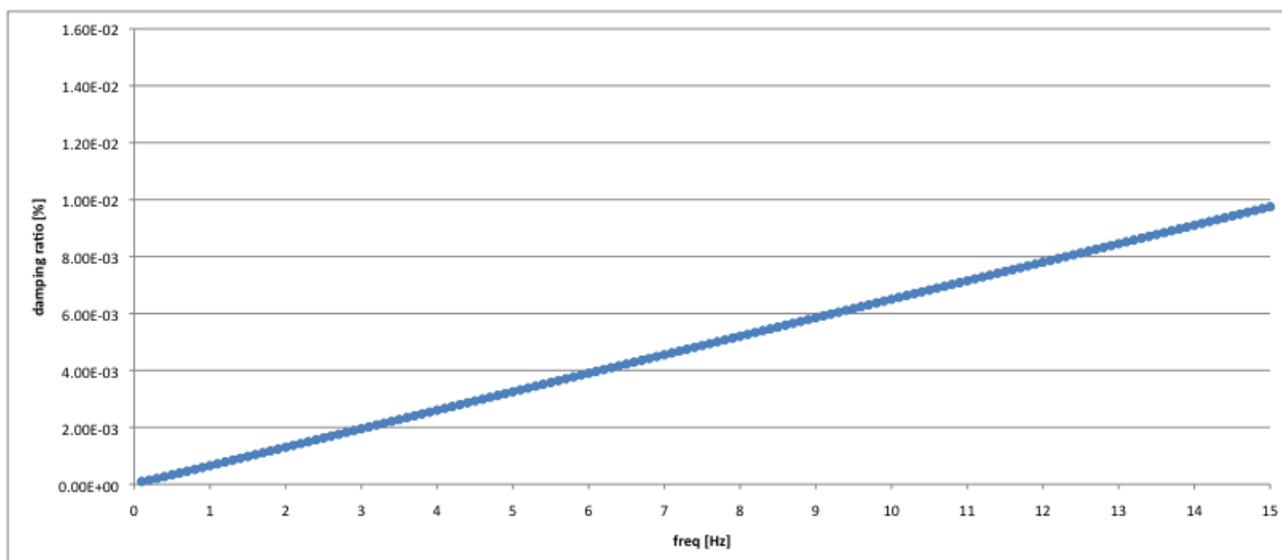


Figura 9-15 *Curva di smorzamento di Rayleigh con $\alpha = 4.23903E-05$ e $\beta = 0.000207004$*

9.2.3 Discretizzazione dei cassoni

I cassoni sono modellizzati con elementi finiti tipo travi. Ogni elemento ha un nodo a ogni estremità e la sua area della sezione trasversale è uniforme. Si tiene conto solo della deformabilità flessionale.

Il cassone ferroviario è discretizzato posizionando un nodo su ogni posizione del diaframma, per ottenere 8 elementi finiti tra i cassoni.

I traversi sono discretizzati in 12 elementi finiti corrispondenti all'area della sezione trasversale variabile, come in Figura 9-16.

I cassoni stradali sono discretizzati posizionando un nodo ogni 7.5 m, per ottenere 4 elementi finiti tra i due traversi.

Le travi a T sono discretizzate utilizzando una rete variabile a scopo di analisi locale. Le prima e l'ultima campata, di 90 m e 120 m rispettivamente, sono discretizzate con la stessa rete di elementi finiti del cassone ferroviario. La campata centrale di 90 m, situata tra 90 m e 180 m lungo la struttura, si definisce posizionando due nodi supplementari tra i due diaframmi ottenendo 21 elementi finiti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

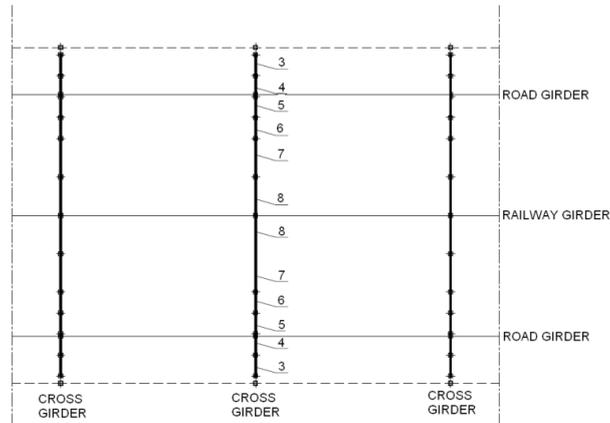


Figura 9-16 Vista superiore dei tre traversi. Schema delle aree della sezione trasversale variabile.

I primi 90 m e gli ultimi 120 m delle travi a T hanno la stessa rete del cassone ferroviario. La campata centrale di 90 m, tra 90 m e 180 m, si definisce posizionando due nodi tra i due diaframmi. La rete è riportata in Figura 9-17 e 9-18.

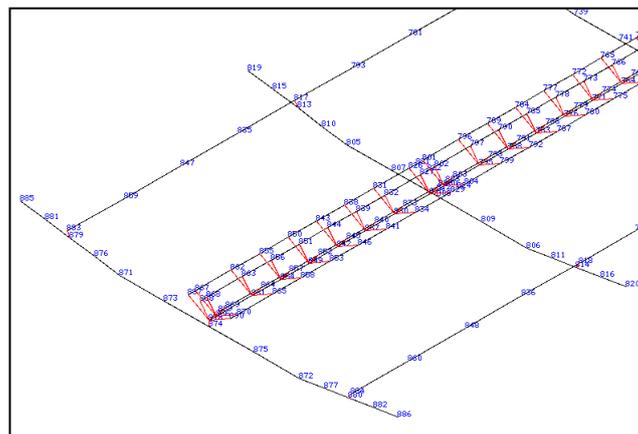


Figura 9-17 Schema di discretizzazione nodale per strada, ferrovia, traversi e travi a T.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

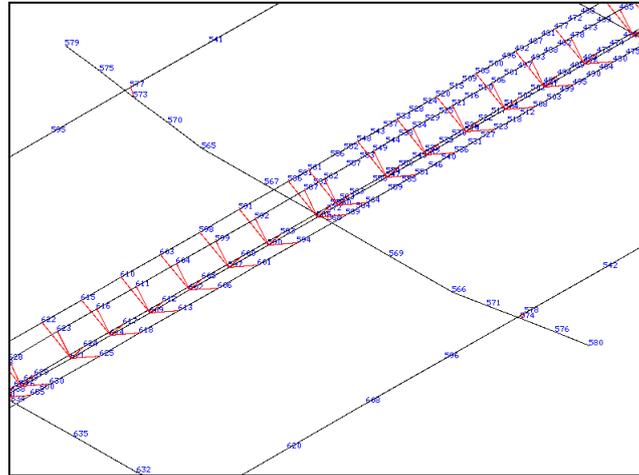


Figura 9-18 Le travi a T sono discretizzate utilizzando una rete più fitta nella parte centrale del modello.

La Figura 9-19 mostra la definizione del sistema di riferimento locale utilizzato nel modello travi multiple e nell'assegnazione delle proprietà della sezione.

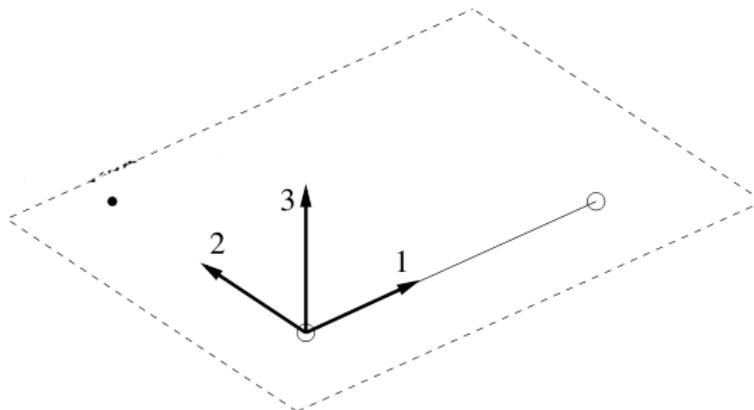


Figura 9-19 Definizione del sistema di riferimento locale utilizzato nel modello travi multiple e nell'assegnazione delle proprietà della sezione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

9.2.4 Convalida del modello strutturale

Si esegue l'analisi modale sulla struttura a travi multiple utilizzando ADTreS e SAP2000 L'obiettivo del secondo software commerciale di supporto si basa sugli obiettivi di convalida.

9.3 Analisi del modello ADTres

Si esegue l'analisi FRF del modello a travi multiple e i parametri modali estratti sono riportati in Tabella 9-2. La Figura 9-20 mostra lo schema FRF in cui i primi quattro picchi corrispondono ai primi quattro autovalori. Le Figure da 9-21 a 9-24 mostrano gli autovettori associati agli autovalori corrispondenti. Autovalori e autovettori rappresentano rispettivamente frequenze adeguate e forme dei modi.

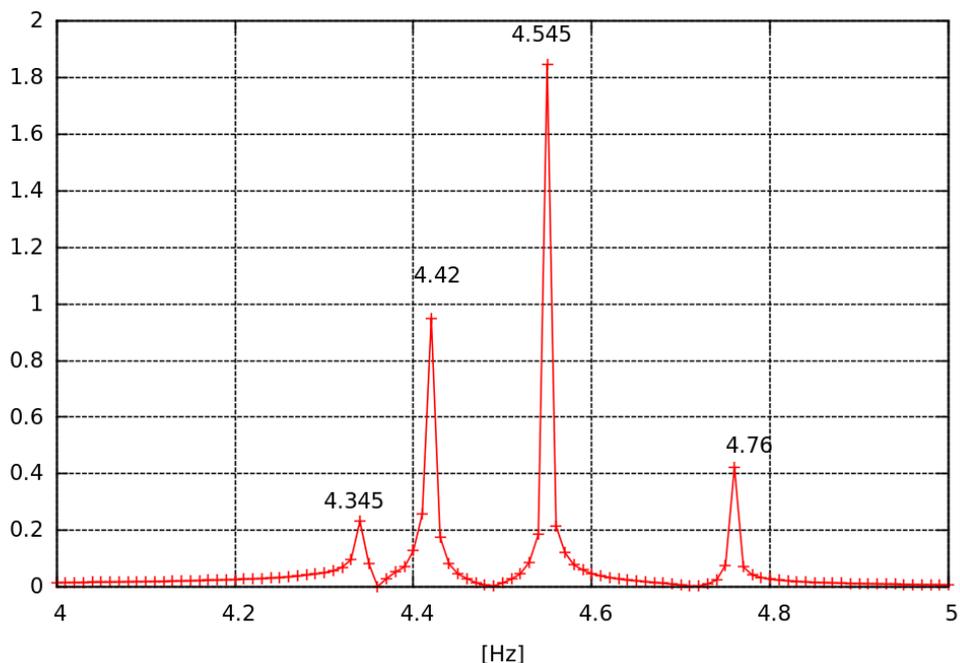


Figure 9-20 Schema FRF del modello a travi multiple.

Modo	Frequenza [Hz]
1	4.345

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Tabella

9-2

2	4.42
3	4.545
4	4.76

Frequenze modali.

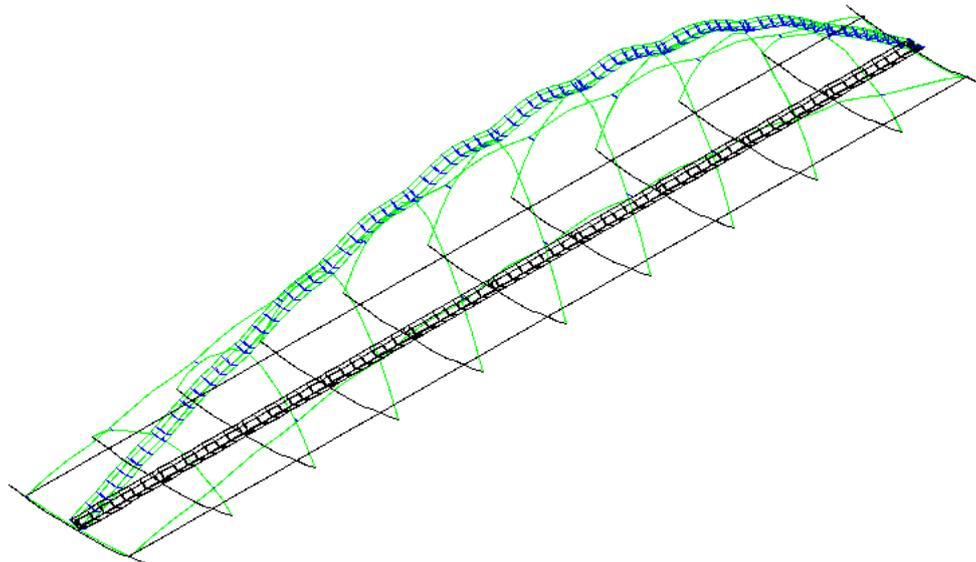


Figura 9-21 Forma del modo 1 associata a una frequenza uguale a 4.345 Hz.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C	Data 13-02-2011

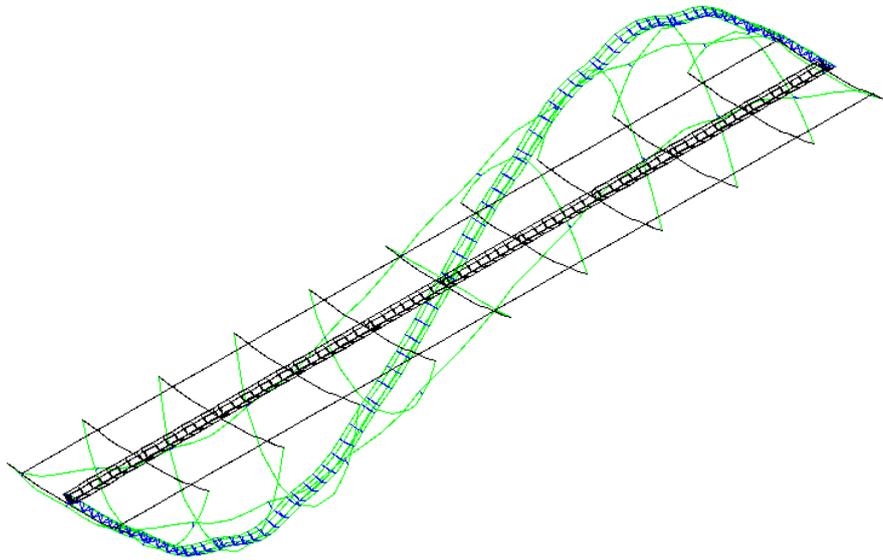


Figura 9-22 Forma del modo 2 associata a una frequenza uguale a 4.42 Hz.

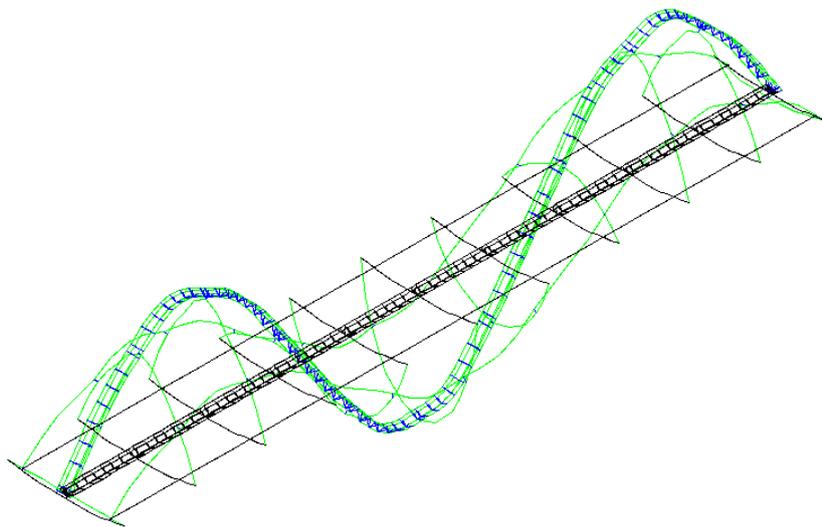


Figura 9-23 Forma del modo 3 associata a una frequenza uguale a 4.545 Hz.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

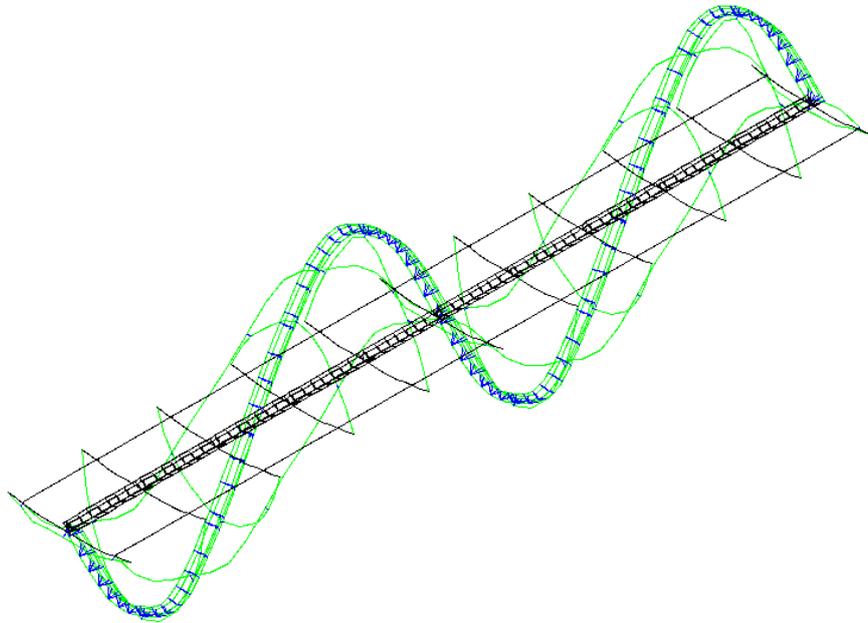


Figura 9-24 Forma del modo 4 associata a una frequenza uguale a 4.76 Hz.

9.4 Analisi modale SAP2000 e confronto

Il modello a travi multiple descritto nei capitoli precedenti è convalidato utilizzando il software commerciale SAP2000 v.14, attraverso la selezione della stessa serie di parametri e l'utilizzo della medesima rete di elementi finiti. Frequenze modali e autovettori sono quindi estratti ed elencati in Tabella 9-3.

Modo	Frequenza [Hz] - SAP2000	Frequenza [Hz] – ADTreS
1	4.364	4.345
2	4.433	4.42
3	4.560	4.545
4	4.760	4.76

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C	Data 13-02-2011

Tabella 9-3 Frequenze modali SAP2000 rispetto ad ADTreS.

Le Figure 9-25 – 9-28 mostrano la vista isometrica, superiore, laterale e frontale della forma del modo del modello secondo i calcoli di SAP2000.

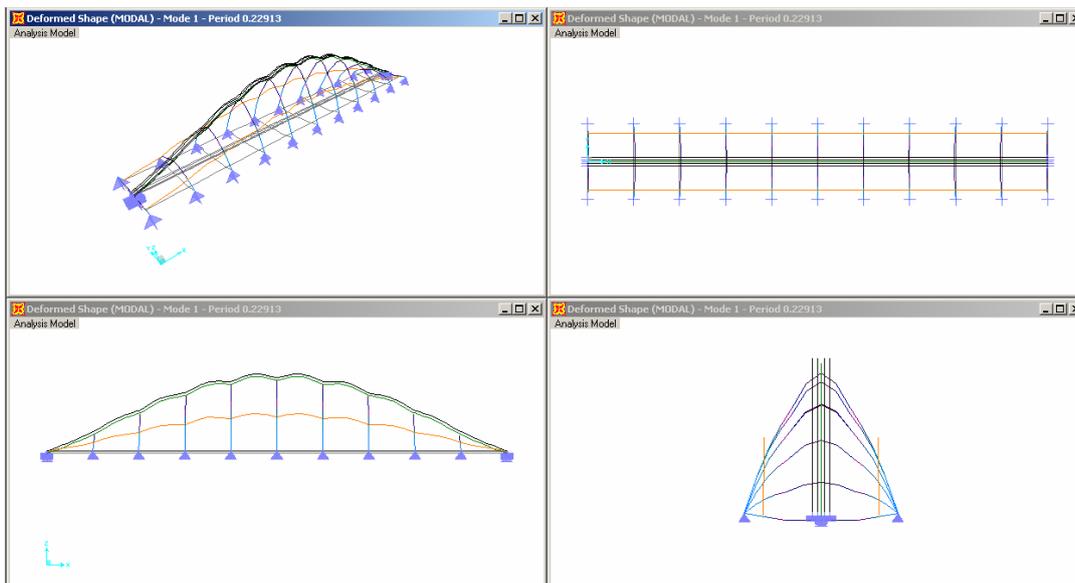
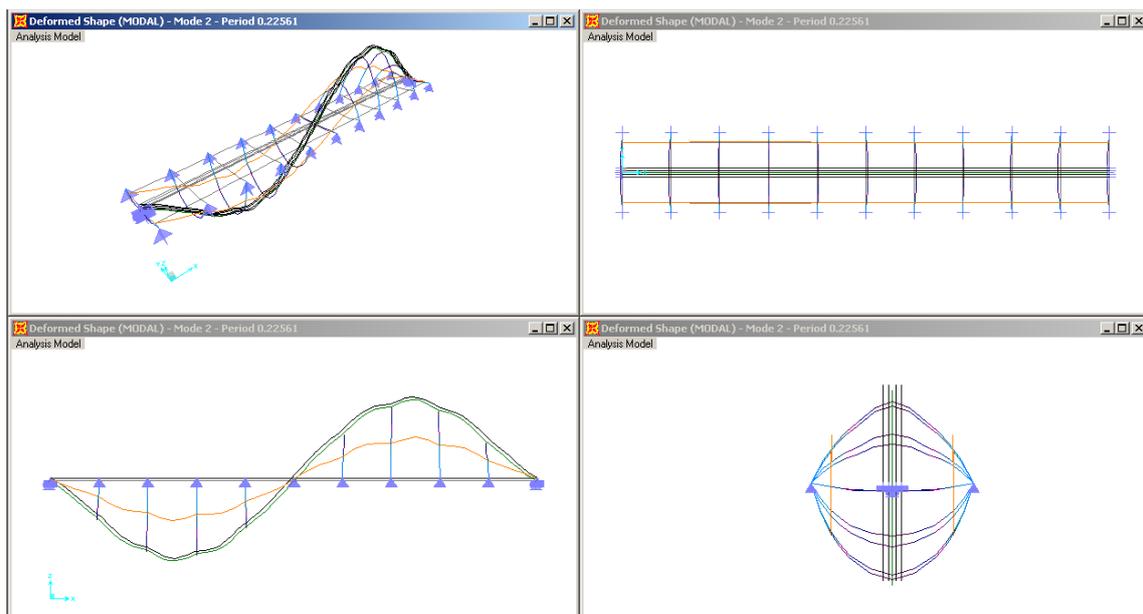


Figura 9-25 Forma del modo 1 associata a una frequenza uguale a 4.364 Hz.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C	Data 13-02-2011

Figura 9-26 Forma del modo 2 associata a una frequenza uguale a 4.433 Hz.

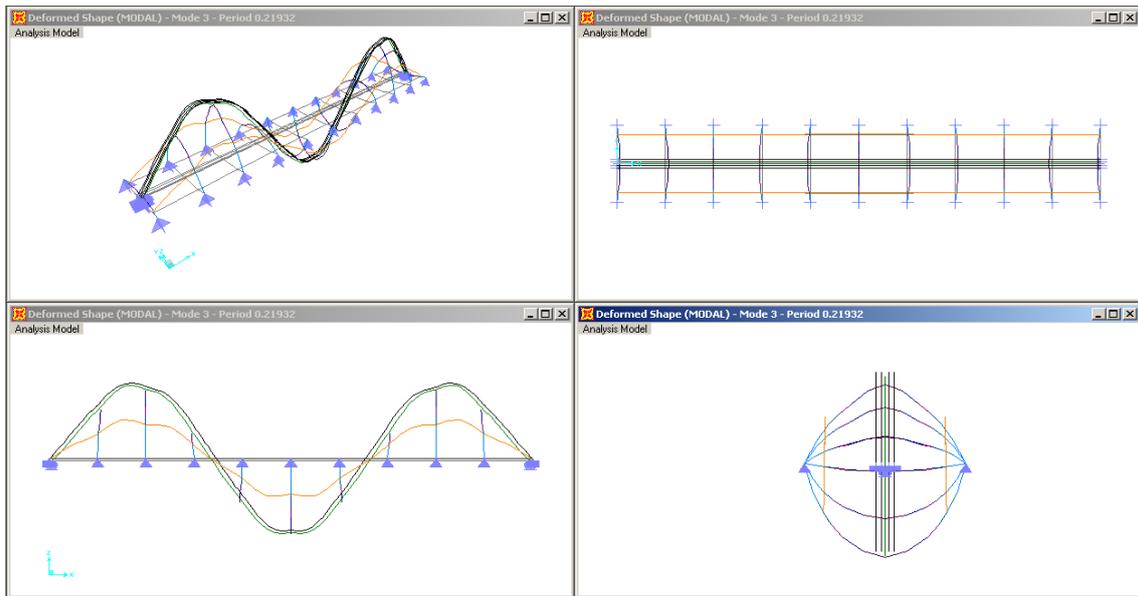
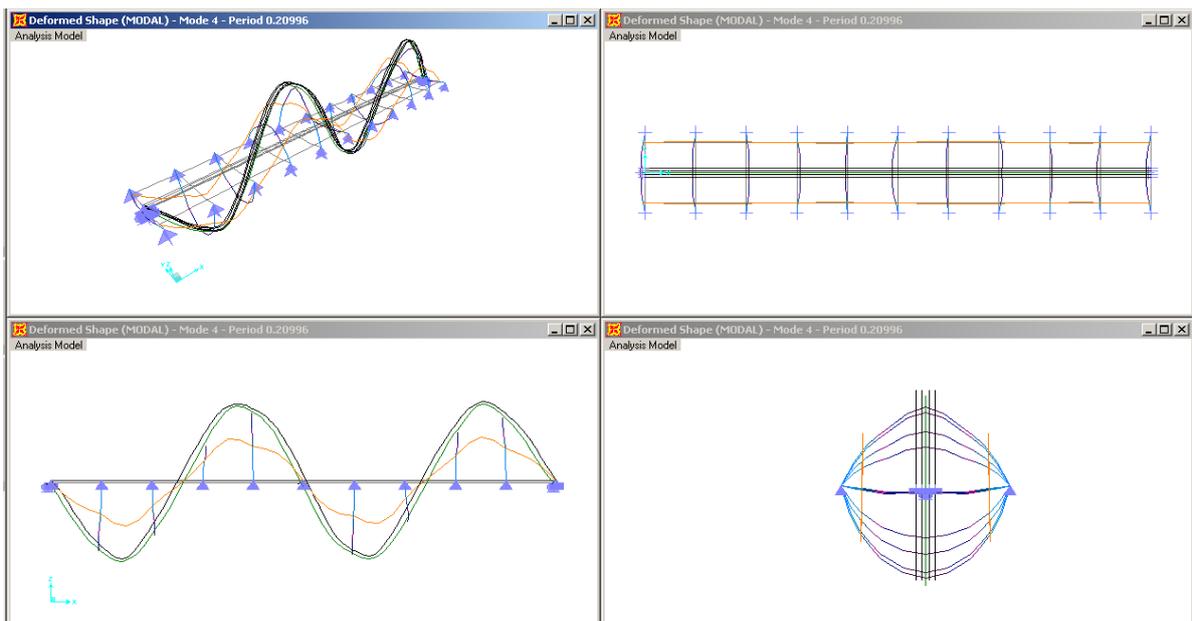


Figura 9-2 Forma del modo 3 associata a una frequenza uguale a 4.56 Hz.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Figura 9-28 Forma del modo 4 associata a una frequenza uguale a 4.76 Hz.

9.5 Modello di raccordi e binario ferroviario incorporato

Per migliorare la schematizzazione del modello locale strutturale si introduce un modello di binario ferroviario incorporato. Entrambi i binari sono posati su un strato continuo di elementi in gomma che si estende sull'intera lunghezza. Il modello matematico del binario incassato si sviluppa come segue:

- i binari sono modellizzati come elementi finiti tipo travi.
- i piani di posa in gomma sono modellizzati come uno strato continuo di elementi viscoelastici distribuiti uniformemente che uniscono il modello dell'elemento finito a travi multiple e il binario.

9.5.1 Raccordi del binario (tipo e proprietà della rete)

Una serie di elementi finiti viscoelastici viene distribuita uniformemente lungo il binario e posizionata sotto i binari. Le proprietà di rigidità e smorzamento sono indicate nella Tabella 9-4.

Rigidità verticale K_V del collegamento binario-struttura per area unitaria	1.48E+08 [N/m]/[m ²]
Rigidità laterale K_L del collegamento binario-struttura per area unitaria	0.846E+08 [N/m]/[m ²]
Rigidità torsionale $K_{\theta x}$ del collegamento binario-struttura per lunghezza unitaria	0.83590E+10 [Nm/rad]/[m]
Smorzamento verticale C_v del collegamento binario-struttura per area unitaria	1.2E+04 [Ns/m]/[m ²]
Smorzamento laterale C_L del collegamento binario-struttura per area unitaria	1.2E+04 [Ns/m]/[m ²]

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Lunghezza laterale (y) del piano di posa	0.3 [m]
--	---------

Tabella 9-4 Caratteristiche viscoelastiche del modello di elemento finito del binario ferroviario incorporato.

I valori dei parametri presentati in Tabella 9-4 sono selezionati in modo che lo spostamento verticale e laterale dei binari siano inferiore a 2 mm applicando rispettivamente un carico verticale di 20 tonnellate/asse e una forza laterale di 20000 N.

La Figura 9-29 mostra uno schema di interazione dei due sottosistemi: il modello multistruttura del veicolo ferroviario e i raccordi dei binari collegati alla struttura del ponte. Molle e smorzatori sono mostrati nella stessa figura [3,4].

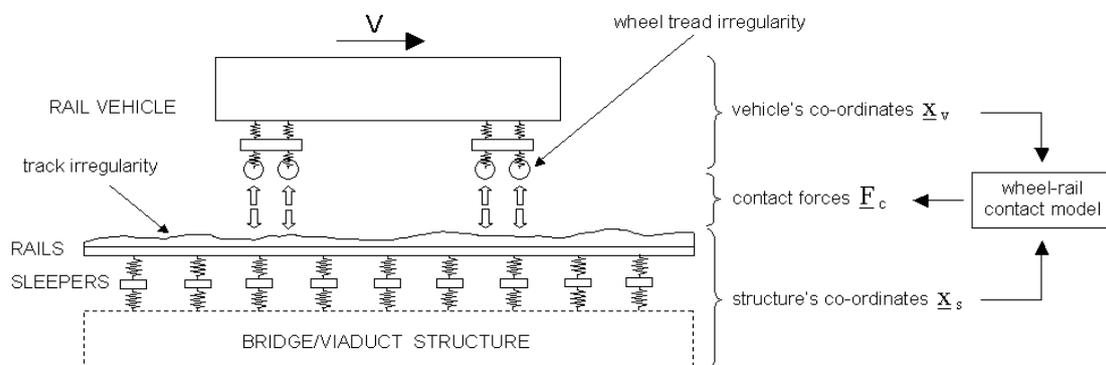


Figura 9-29 Il modello multistruttura del veicolo ferroviario è collegato al modello di elemento finito dei raccordi dei binari e alla struttura del ponte.

La Figura 9-30 mostra la vista isometrica del modello di elemento finito del binario ferroviario incorporato. I binari sono modellizzati come elementi finiti tipo travi e qui rappresentati in rosso. Lo strato continuo dei piani di posa in gomma, situato sotto i binari, è modellizzato come una serie di elementi finiti viscoelastici e rappresentato qui sotto forma di prismi quadrati con il bordo nero. Il modello prevede anche una serie distribuita di molle e smorzatori, non riportati in figura. L'intero modello del binario incassato è formato da 2002 nodi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>13-02-2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	C	13-02-2011
Rev	Data						
C	13-02-2011						

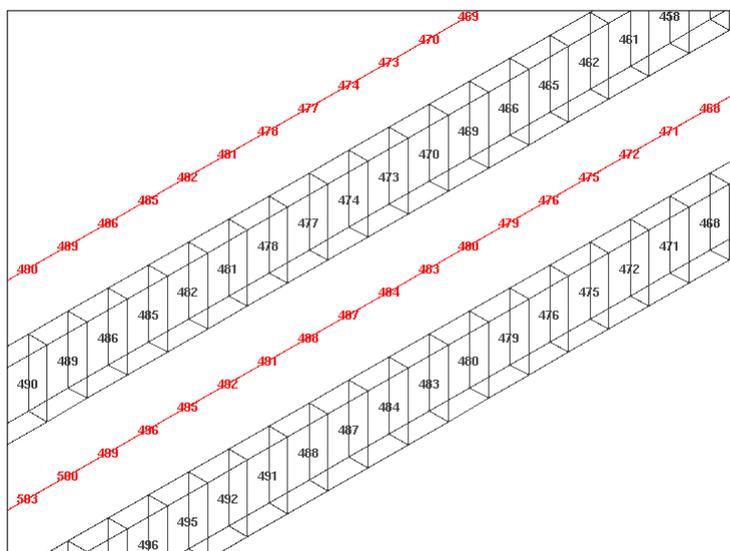


Figura 9-30 Schema degli elementi finiti del binario ferroviario incorporato utilizzato nelle simulazioni. Sia i binari, sia gli elementi viscoelastici sono riportati in figura rispettivamente con linee rosse e nere.

9.5.2 Irregolarità del binario (riferimento ai codici)

Le irregolarità del binario sono considerate secondo le funzioni degli spettri specificati dal Codice ORE B 176 Appendice 6.

9.6 Combinazioni di treni

Si esegue una serie dettagliata di simulazioni numeriche dell'interazione treno-struttura. La Tabella 9-5 mostra l'elenco completo delle simulazioni numeriche svolte per le analisi locali di percorribilità dei binari.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

			Velocità [km/ora]
RFI 1	ETR 500	Locomotiva	144
	ETR 500	Carrozza	144
RFI 2	ETR470	Locomotiva	144
	ETR470	Carrozza	144
RFI 3	E 402 B	Locomotiva	144
			120
			110
			100
			90
			80
			70
			60
	50		
	Semipilota MD	Carrozza	144
RFI 4	TAF	Locomotiva	144
	TAF	Carrozza	144
RFI 5	Merci	Carrozza	144
RFI 6	Merci	Carrozza	144

Tabella 9-5 Serie di simulazioni numeriche per le analisi locali di percorribilità dei binari.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

10 Risultati dell'analisi locale

10.1 Metodo di verifica

L'interazione locale tra treno e cassone ferroviario viene esaminata per una struttura con campata corta. Si sviluppa un modello locale di elemento finito lungo 300 m secondo le caratteristiche geometriche e fisiche del modello di elemento finito globale in scala reale. La Figura 10-1 mostra la selezione della posizione a metà campata per la modellizzazione locale e il suo utilizzo per simulazioni numeriche e analisi locali di interazione.

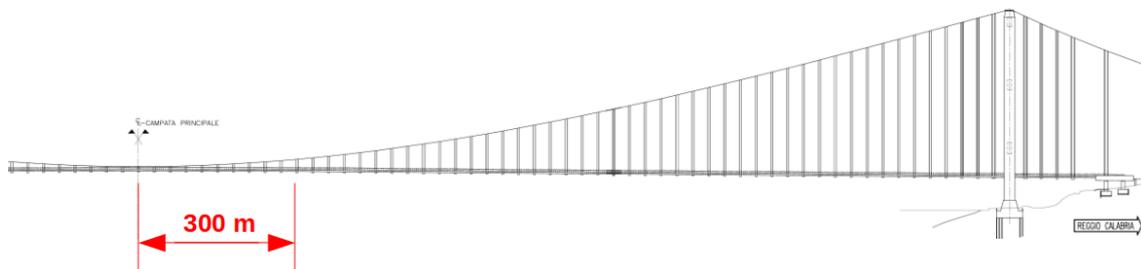


Figura 10-1 Le analisi di interazione locali sono eseguite su un sotto-modello del ponte lungo 300 m in posizione di metà campata.

Il ponte in scala reale utilizzato per le analisi globali è modellizzato secondo la schematizzazione degli elementi finiti a travi multiple. Le Figure 10-2 e 10-3 riportano uno schema del modello di impalcato di 300 m utilizzato per le analisi dell'interazione con vista superiore e isometrica.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C	Data 13-02-2011

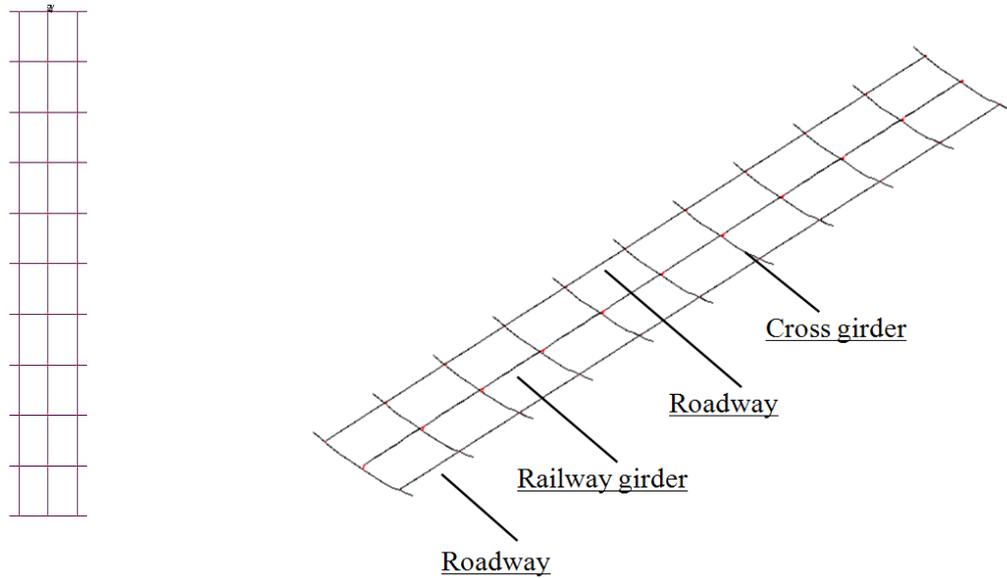


Figura 10-2 Vista superiore del modello dell'impalcato lungo 300 m.

Figura 10-3 Vista isometrica del modello dell'impalcato lungo 300 m.

Sono indicati cassoni stradali, ferroviari e trasversali.

La vista frontale del modello dell'impalcato è riportata in Figura 10-4. Mostra i cassoni stradali, ferroviari e trasversali modellizzati come modello di elementi finiti a trave singola e i vincoli cinematici sono definiti attraverso l'approccio a collegamenti rigidi, indicati in rosso.

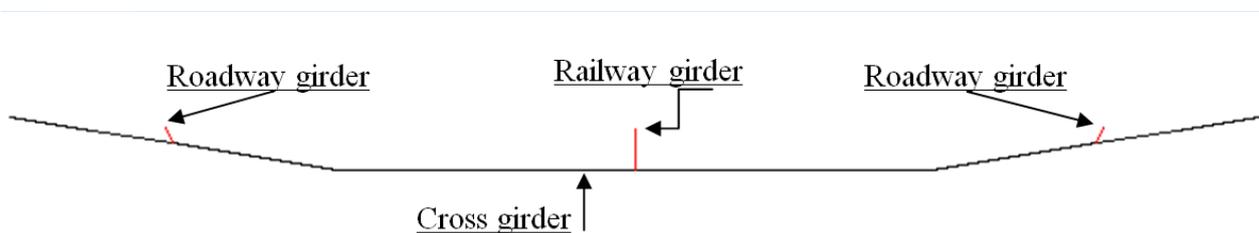


Figura 10-4 – Vista frontale del modello di impalcato. I cassoni stradali e ferroviari sono collegati al traverso attraverso vincoli cinematici con collegamenti rigidi, indicati in rosso.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

10.2 Posizioni risultanti

Si considerano quattro posizioni del modello a travi multiple per le analisi locali: traversi 5 e 6 e diaframmi 3 e 4 tra i traversi 5 e 6, come mostrato in Figura 10-5 e 10-6:

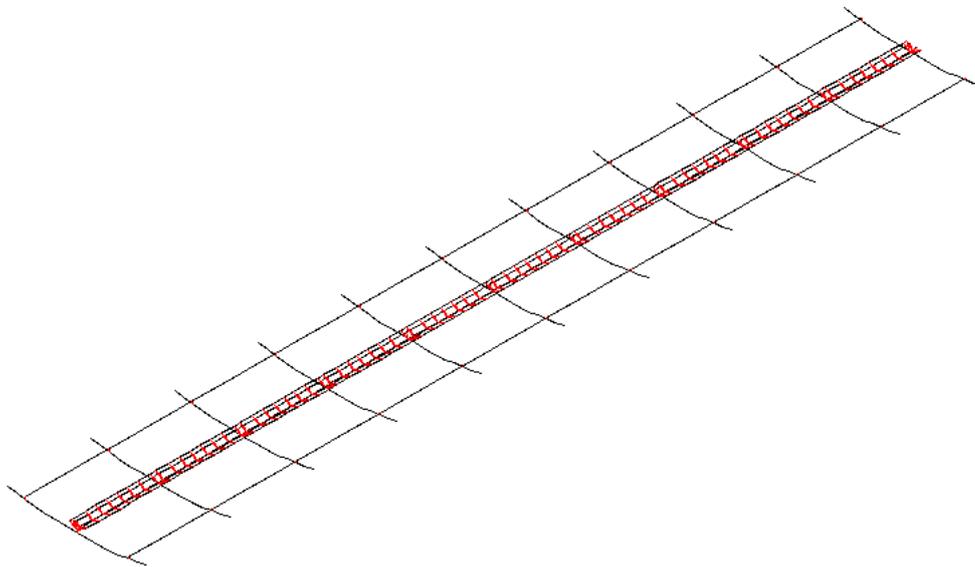


Figura 10-5 Posizioni risultanti del modello a travi multiple.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

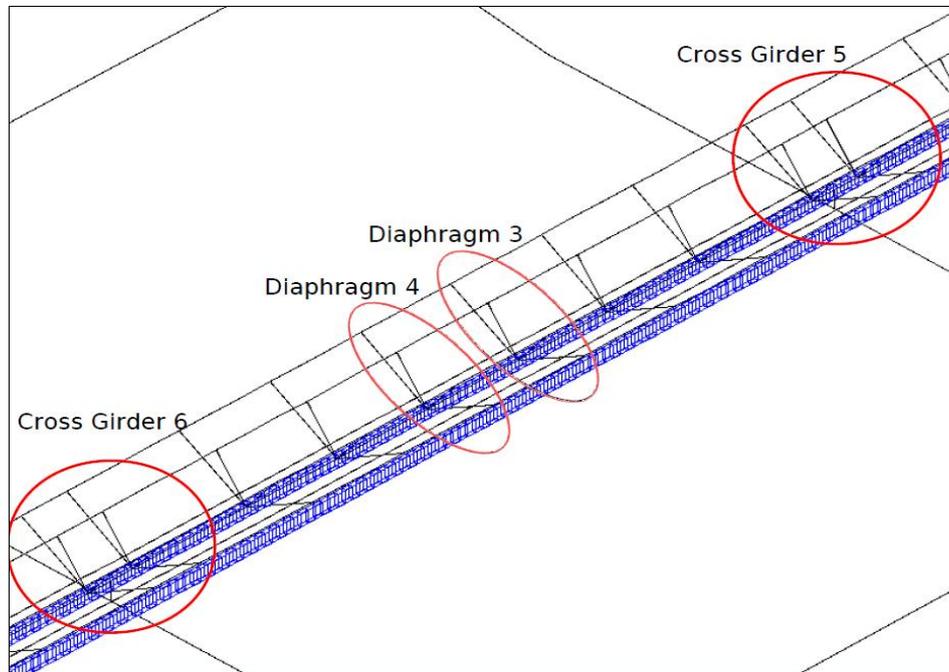


Figura 10-6 Le analisi locali sono state eseguite sul cassone ferroviario attraverso i traversi 5 e 6 e i diaframmi 3,4.

La Figura 10-7 mostra la vista superiore delle posizioni di esecuzione delle analisi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

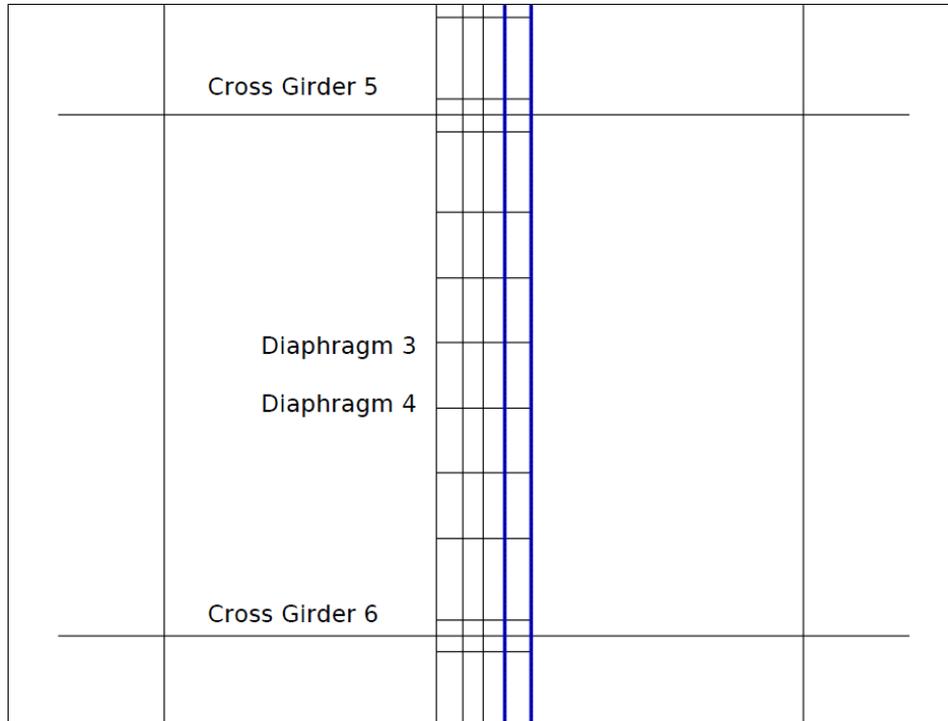


Figura 10-7 Vista superiore delle posizioni di esecuzione delle analisi.

La Figura 10-9 mostra la vista isometrica del dettaglio del cassone ferroviario situato sul traverso 5.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rev</th> <th>Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>13-02-2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	C	13-02-2011
Rev	Data						
C	13-02-2011						

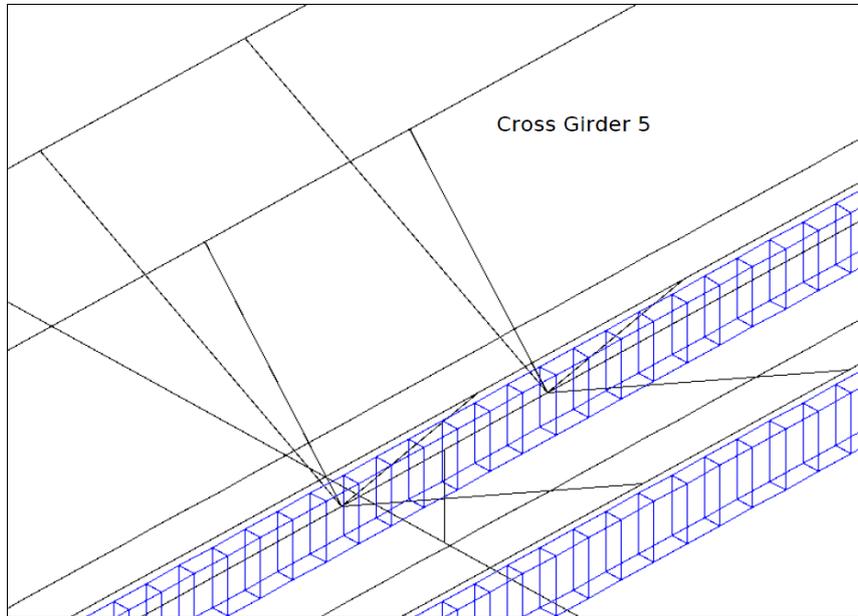


Figura 10-9 Vista isometrica del cassone ferroviario attraverso il traverso 5.

La Figura 10-10 mostra la discretizzazione nodale del cassone ferroviario al traverso 5.

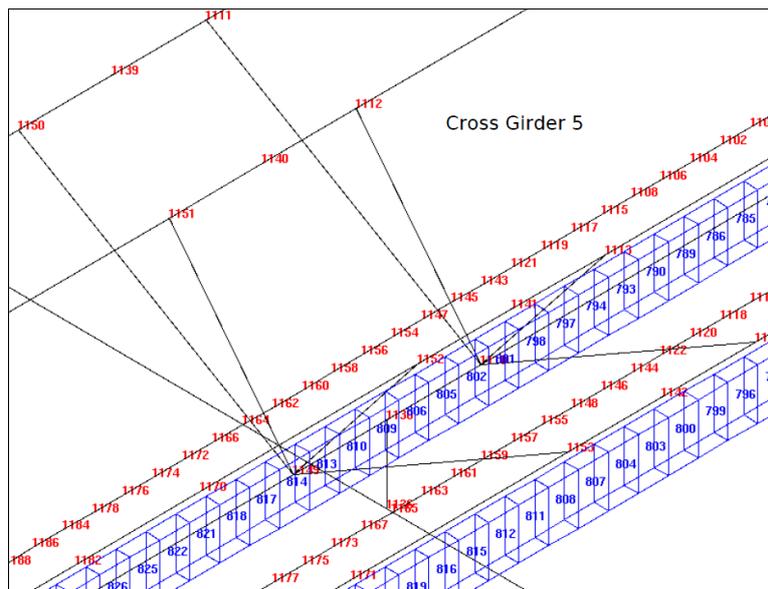


Figura 10-10 Vista isometrica del cassone ferroviario attraverso il traverso 5 e la discretizzazione nodale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

La Figura 10-11 mostra la vista superiore del cassone ferroviario situato sul traverso 5. Le analisi sono eseguite sui nodi indicati con il cerchio rosso.

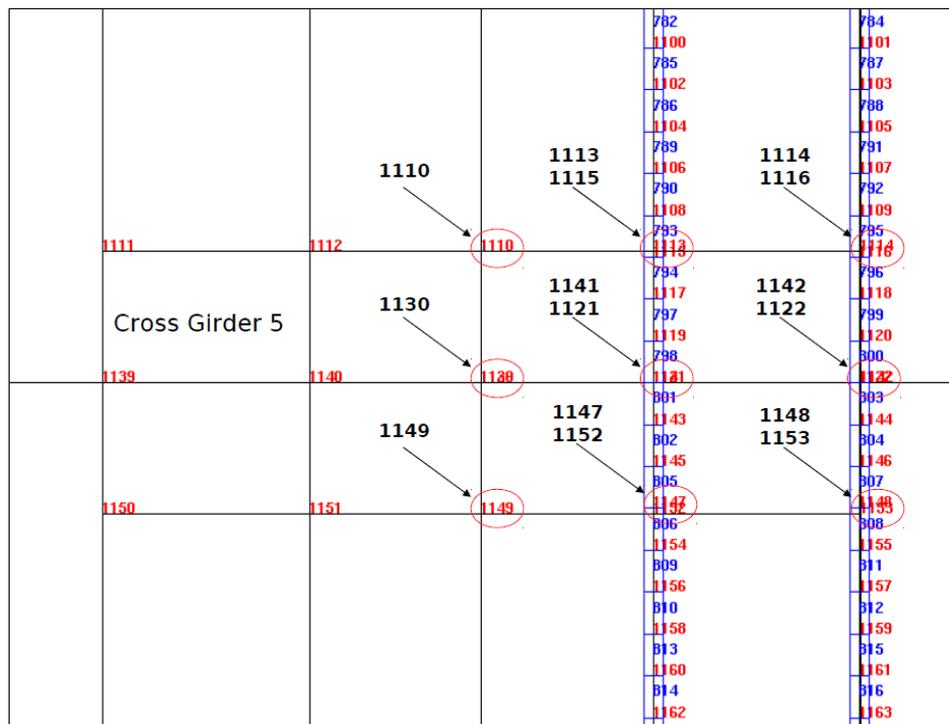


Figura 10-11 Vista superiore del cassone ferroviario attraverso il traverso 5 e la discretizzazione nodale.

La Figura 10-12 mostra la vista isometrica del dettaglio del cassone ferroviario situato sul traverso 5.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

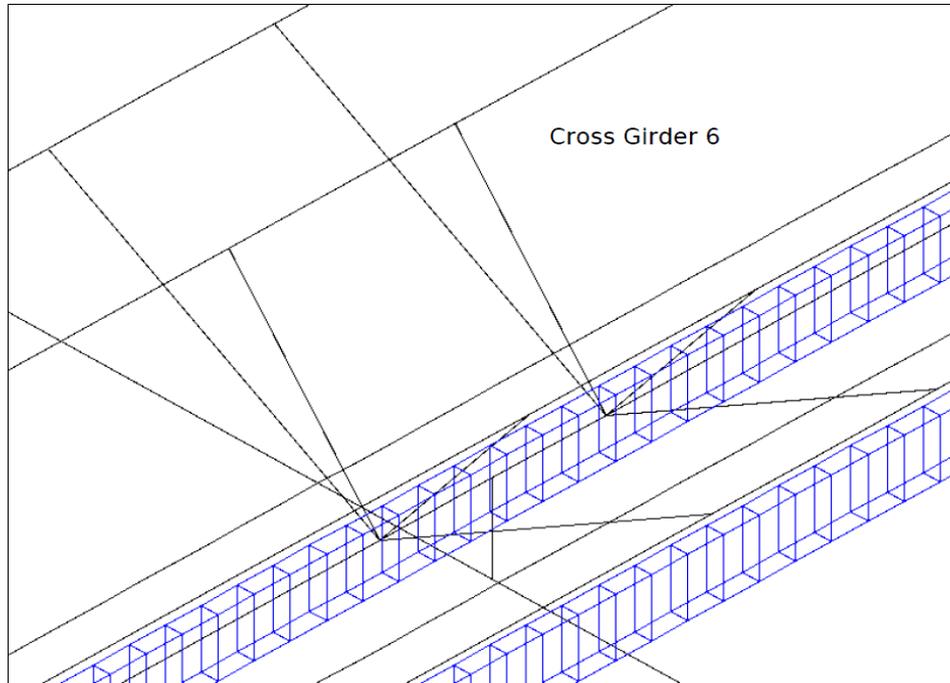


Figura 10-12 Vista isometrica del cassone ferroviario attraverso il traverso 6.

La Figura 10-13 mostra la discretizzazione nodale del cassone ferroviario al traverso 6.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

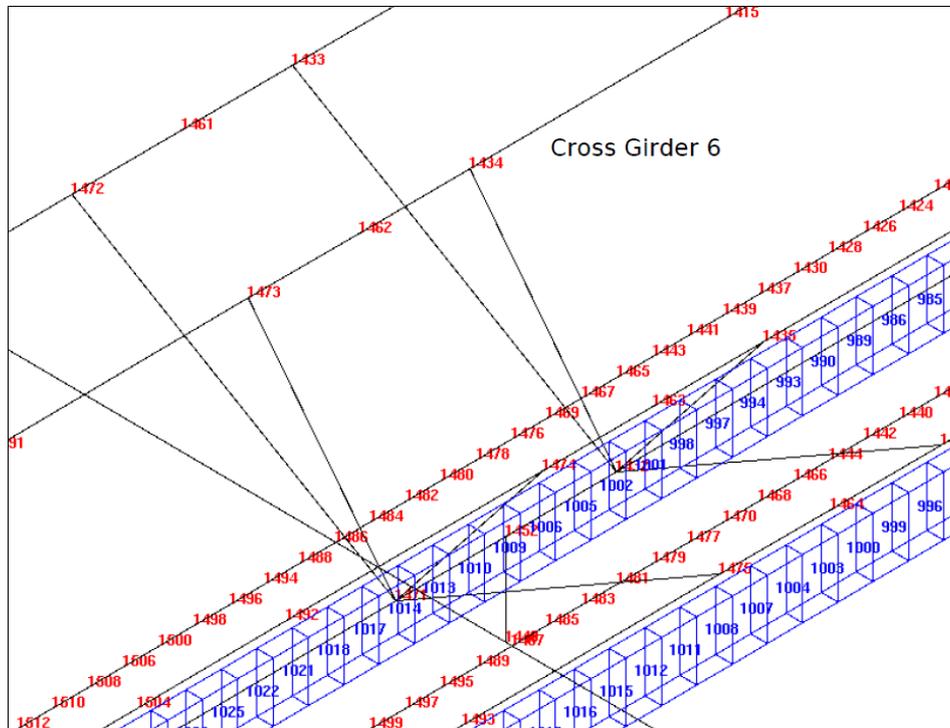


Figura 10-13 Vista isometrica del cassone ferroviario attraverso il traverso 6 e la discretizzazione nodale.

La Figura 10-14 mostra la vista superiore del cassone ferroviario situato sul traverso 6. Le analisi sono eseguite sui nodi indicati con il cerchio rosso.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

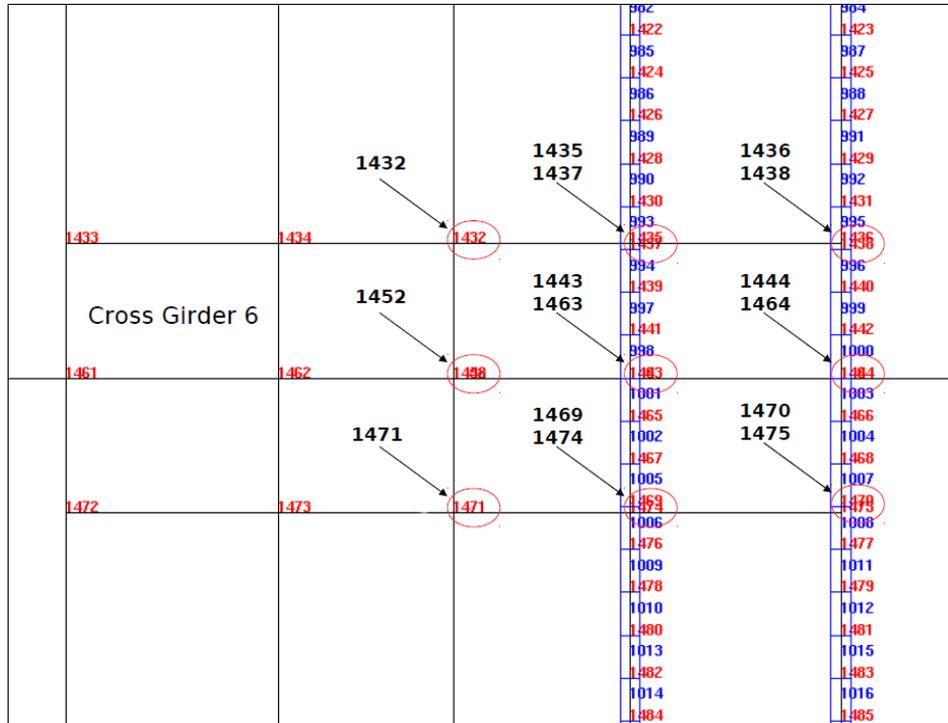


Figura 10-14 Vista superiore del cassone ferroviario attraverso il traverso 6 e la discretizzazione nodale.

La Figura 10-15 mostra la vista isometrica del dettaglio del cassone ferroviario tra i diaframmi 3 e 4 situati tra i traversi 5 e 6.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C	Data 13-02-2011

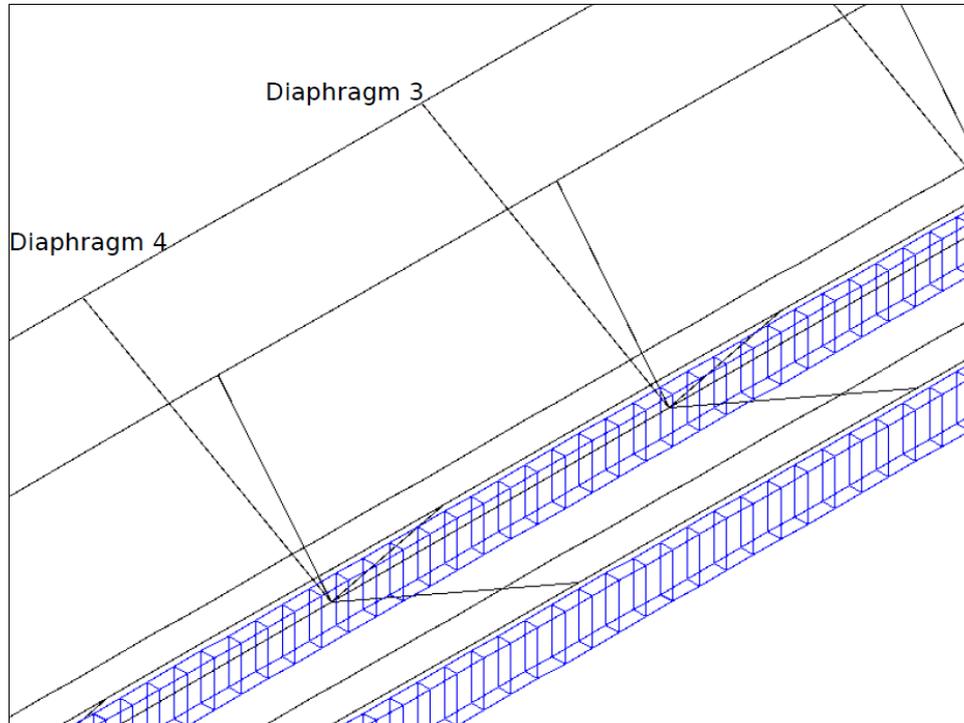


Figura 10-15 Vista isometrica del cassone ferroviario attraverso i diaframmi 3 e 4.

La Figura 10-16 mostra la discretizzazione nodale del cassone ferroviario tra i diaframmi 3 e 4.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

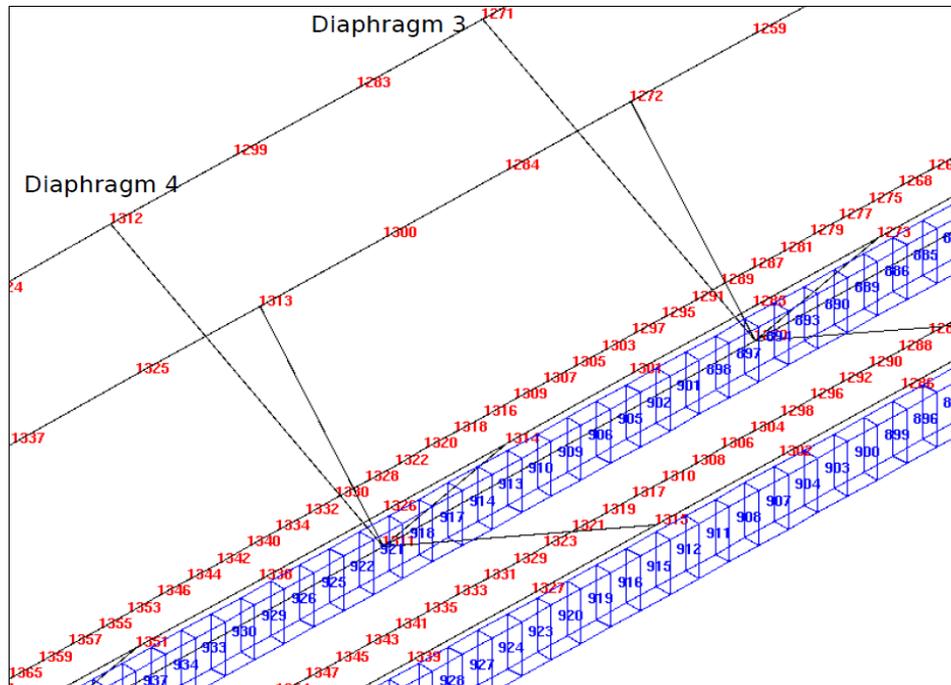


Figure 10-16 Vista isometrica del cassone ferroviario attraverso i diaframmi 3 e 4 e la discretizzazione nodale.

Le Figure 10-17 e 10-18 mostrano la vista superiore del dettaglio del cassone ferroviario situato tra i diaframmi 3 e 4. Le analisi sono eseguite sui nodi indicati con il cerchio rosso.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

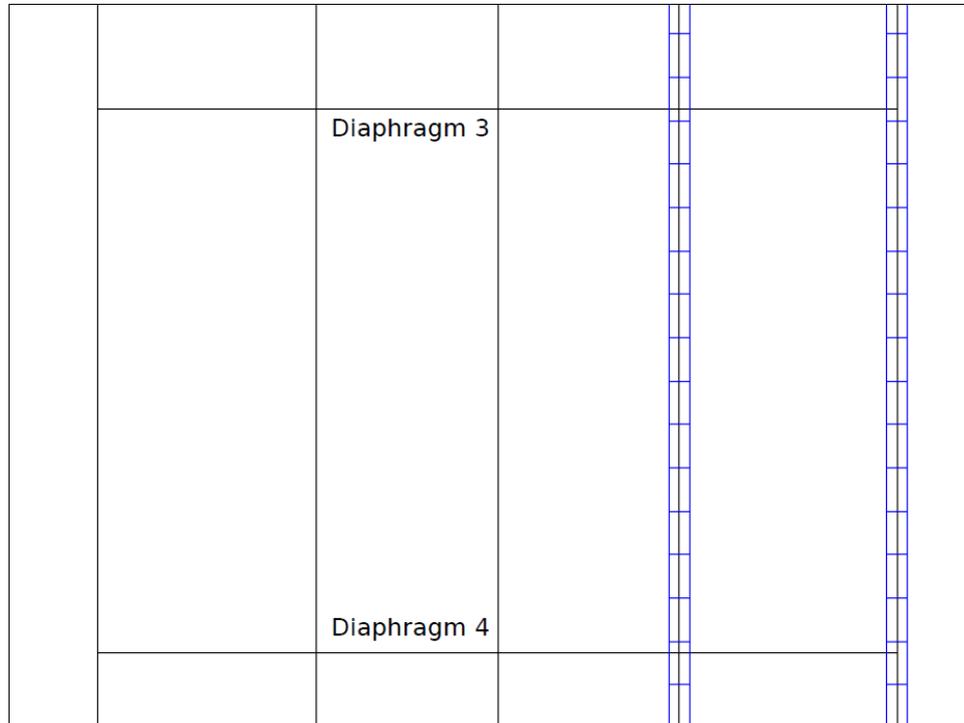


Figura 10-17 Vista superiore del cassone ferroviario attraverso i diaframmi 3 e 4.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rev</th> <th>Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>13-02-2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	C	13-02-2011
Rev	Data						
C	13-02-2011						

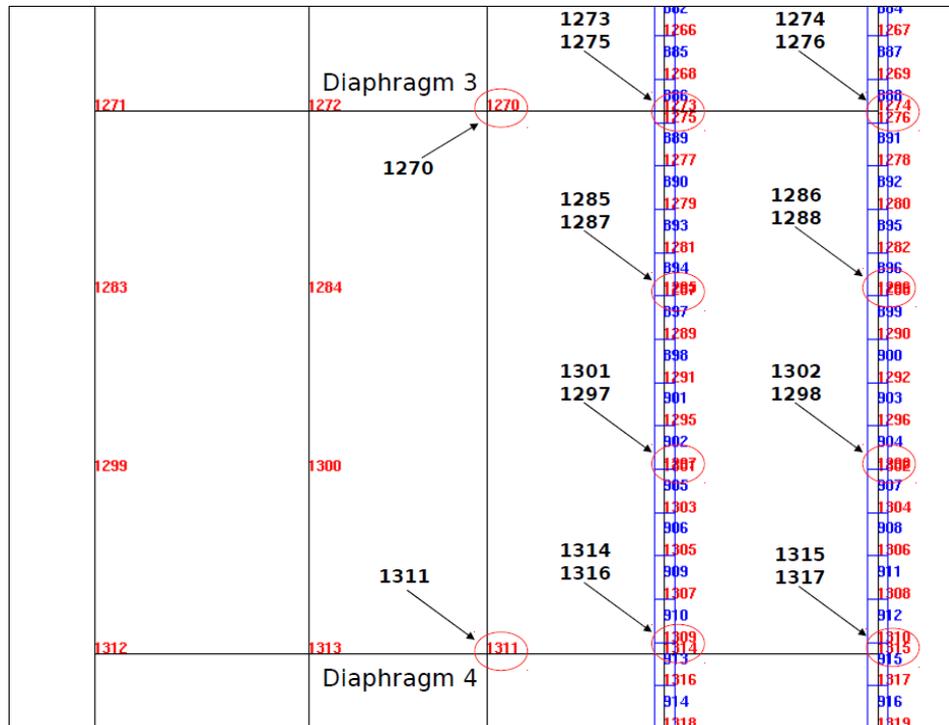


Figure 10-18 Vista isometrica del cassone ferroviario attraverso i diaframmi 3 e 4 e la discretizzazione nodale.

10.3 Quantità risultanti

Questo capitolo riporta la valutazione degli effetti dinamici del transito del treno sul modello locale strutturale del ponte. Il parametro generale che meglio sintetizza tali effetti è il fattore di amplificazione dinamica definito come rapporto tra valore dinamico massimo e valore statico massimo di una quantità Q , come flessione o sollecitazione. Da questo momento, il fattore sarà indicato come fattore di impatto: $IF = Q \text{ MAX dyn} / Q \text{ MAX st}$.

È stata eseguita una serie completa di simulazioni numeriche secondo l'elenco riportato in Tabella 9-5. Le simulazioni dinamiche di transito del treno sono confrontate con il transito statico dei carichi equivalenti sull'assale in prossimità di traversi e diaframmi nelle posizioni descritte al capitolo 10.2. I fattori di impatto sono calcolati dalle quantità Q che rappresentano le forze nodali e gli spostamenti, in particolare:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

- 1 la forza trasmessa ai piani di posta viscoelastici sul lato destro e sinistro dei raccordi del binario;
- 2 la forza verticale massima del contatto ruota-binario a diverse velocità del veicolo;
- 3 la differenza di spostamento verticale nodale tra binario e trave a T sul lato destro e sinistro del binario;
- 4 L'analisi degli effetti locali è eseguita anche calcolando i picchi di accelerazione di veicolo e binario:
- 5 picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T;
- 6 picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario;
- 7 picchi di accelerazione verticale della struttura del veicolo;
- 8 picchi di accelerazione non compensata della struttura del veicolo.

Le posizioni dei piani di posa viscoelastici sono state recuperate dall'Appendice 2 e mostrate in Figura 10-19, riepilogando i risultati per le suddette simulazioni in Tabella 10-1 e 10-2.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C

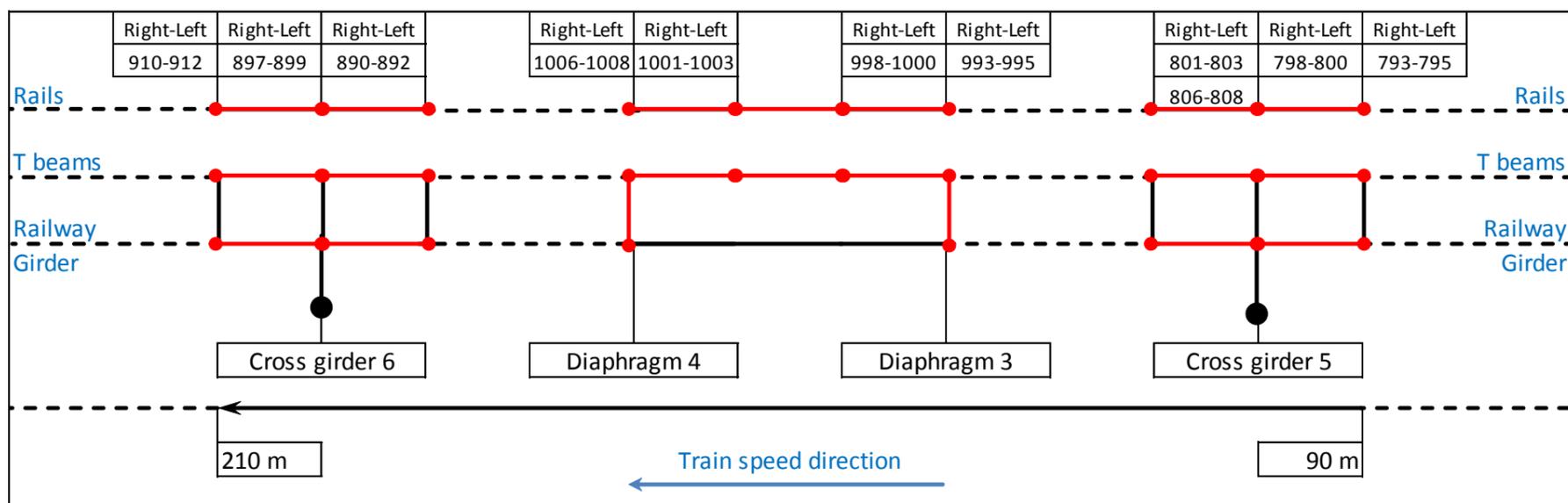


Figura 10-19 Posizioni dei piani di posa viscoelastici

Tipo RFI	Velocità [km/h]	Forza max sui piani di posa viscoelastici						Forza di contatto max. [N]	Spostamento verticale dinamico nodale max rotaia-trave a T SINISTRA				Spostamento verticale dinamico nodale max rotaia-trave a T DESTRA			
		Piano di posa n°	Piano di posa sinistro [N]	Fattore di impatto	Piano di posa n°	Piano di posa destro [N]	Fattore di impatto		Nodo ferroviario n°	Nodo trave a T n°	Spostamento [m]	Fattore di impatto	Nodo ferroviario n°	Nodo trave a T	Spostamento [m]	Fattore di impatto
1 - loco	144	795	13400	1,165	1006	15500	1,353	115000	1317	1315	-2,250E-03	1,216	1275	1273	-2,180E-03	1,172
1 - carrozza	144	795	7250	1,450	806	6889	1,378	58000	1116	1114	-1,079E-03	1,336	1275	1273	-1,152E-03	1,426
2 - loco	144	1000	11283	1,220	998	11260	1,217	88000	1470	1475	-1,790E-03	1,197	1297	1301	-1,794E-03	1,200
2 - carrozza	144	1000	9120	1,118	910	9670	1,184	80000	1148	1153	-1,540E-03	1,165	1275	1273	-1,554E-03	1,175
3 - loco	144	995	17730	1,182	890	17600	1,173	150000	1438	1436	-2,830E-03	1,167	1316	1314	-2,700E-03	1,111
	120	795	17500	1,167	998	17500	1,171	142000	1298	1302	-2,900E-03	1,208	1275	1273	-2,800E-03	1,155
	110	795	17800	1,187	910	16700	1,113	140000	1298	1302	-2,750E-03	1,132	1275	1273	-2,700E-03	1,111
	100	795	17000	1,133	890	17000	1,133	135000	1298	1302	-2,740E-03	1,132	1287	1285	-2,670E-03	1,094
	90	800	16900	1,134	890	17300	1,153	130000	1298	1302	-2,750E-03	1,136	1287	1285	-2,670E-03	1,103
	80	1008	16000	1,067	993	16500	1,100	131000	1116	1114	-2,650E-03	1,095	1437	1435	-2,655E-03	1,095
	70	795	16500	1,100	993	16500	1,100	127000	1116	1114	-2,650E-03	1,095	1437	1435	-2,600E-03	1,074
	60	795	16300	1,087	910	16100	1,073	128000	1122	1142	-2,620E-03	1,083	1316	1314	-2,580E-03	1,062
50	808	17000	1,133	910	16100	1,073	123000	1122	1142	-2,700E-03	1,116	1316	1314	-2,600E-03	1,083	
3 - carrozza	144	1000	8650	1,587	806	10300	1,597	82000	1148	1153	-1,550E-03	1,483	1147	1152	-1,658E-03	1,585
4 - loco	144	995	16000	1,185	1006	16000	1,185	125000	1444	1464	-2,500E-03	1,147	1437	1435	-2,635E-03	1,205
4 - carrozza	144	1008	12400	1,187	897	13000	1,238	110000	1317	1315	-2,050E-03	1,220	1275	1273	-2,100E-03	1,243
5 - merci	144	1000	18500	1,108	910	22600	1,353	148000	1470	1475	-2,985E-03	1,106	1287	1285	-3,220E-03	1,193
6 - merci	144	800	8600	1,504	890	9060	1,584	67900	1317	1315	-1,510E-03	1,641	1443	1463	-1,450E-03	1,576

Tabella 10-1 Risultati delle simulazioni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C	Data 13-02-2011

Tipo RFI	Velocità [km/h]	Accelerazione verticale nodale max Lato SINISTRO				Accelerazione verticale nodale max Lato DESTRO				Accelerazione verticale max cassone ferroviario		Accelerazione verticale struttura	Accelerazione non compensata
		Nodo ferroviario n°	Accelerazione [m/s ²]	Nodo trave a T n°	Accelerazione [m/s ²]	Nodo ferroviario n°	Accelerazione [m/s ²]	Nodo trave a T n°	Accelerazione [m/s ²]	Nodo n°	Accelerazione [m/s ²]	Accelerazione [m/s ²]	Accelerazione [m/s ²]
1 - loco	144	1122	53,237	1286	5,218	1438	41,492	1285	2,824	1311	2,277	0,222	0,098
1 - carrozza	144	1116	49,884	1302	5,322	1275	50,669	1314	2,625	1311	2,543	0,131	0,22
2 - loco	144	1276	41,683	1286	5,77	1297	42,402	1285	3,146	1311	2,931	0,162	0,091
2 - carrozza	144	1276	42,754	1302	5,54	1287	43,264	1301	2,508	1311	2,294	0,192	0,088
3 - loco	144	1122	47,706	1302	5,78	1438	49,891	1314	4,649	1311	4,076	0,259	0,217
	120	1437	34,167	1286	4,103	1121	37,032	1285	2,758	1311	2,171	0,248	0,179
	110	1317	26,732	1315	2,62	1444	36,419	1314	1,858	1311	1,757	0,222	0,174
	100	1122	22,254	1286	2,806	1297	23,76	1285	2,119	1270	1,744	0,219	0,18
	90	1148	15,96	1274	2,835	1297	20,95	1314	2,044	1311	1,823	0,257	0,169
	80	1469	18,814	1286	2,152	1115	12,464	1273	1,603	1270	1,221	0,329	0,138
	70	1122	12,551	1286	1,851	1121	11,893	1314	1,527	1311	1,324	0,315	0,16
	60	1148	9,877	1302	1,129	1275	9,266	1285	0,932	1311	0,815	0,209	0,167
50	1148	7,877	1302	0,929	1275	7,226	1285	0,722	1311	0,51	0,131	0,138	
3 - carrozza	144	1116	64,233	1302	5,987	1275	51,892	1314	3,387	1311	3,254	0,229	0,201
4 - loco	144	1122	57,426	1286	5,755	1297	41,913	1301	4,165	1270	3,511	0,207	0,115
4 - carrozza	144	1122	52,673	1286	6,324	1297	52,054	1314	3,841	1311	3,699	0,229	0,113
5 - merci	144	1122	47,672	1302	5,167	1297	45,751	1285	2,299	1311	1,713	0,385	0,316
6 - merci	144	1437	64,895	1315	2,332	1297	41,633	1314	1,718	1311	1,562	1,579	4,858

Tabella 10-2 Risultati delle simulazioni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

La serie completa dei risultati è riportata all'Appendice 2, Risultati della simulazione locale.

10.4 Analisi dell'accelerazione del veicolo

La Tabella 10-3 mostra picchi di accelerazione verticale e non compensata di tutti i veicoli RFI considerati.

			Velocità [km/h]	Accelerazione verticale struttura [m/s ²]	Accelerazione non compensata [m/s ²]
RFI 1	ETR 500	Locomotiva	144	0,222	0,098
	ETR 500	Carrozza	144	0,131	0,220
RFI 2	ETR470	Locomotiva	144	0,162	0,091
	ETR470	Carrozza	144	0,192	0,088
RFI 3	E 402 B	Locomotiva	144	0,259	0,217
			120	0,248	0,179
			110	0,222	0,174
			100	0,219	0,180
			90	0,257	0,169
			80	0,329	0,138
			70	0,315	0,160
			60	0,209	0,167
	50	0,131	0,138		
	Semipilota MD	Carrozza	144	0,229	0,201
RFI 4	TAF	Locomotiva	144	0,207	0,115
	TAF	Carrozza	144	0,229	0,113
RFI 5	Merci pieno carico	Carrozza	144	0,385	0,316
RFI 6	Merci vuoto	Carrozza	144	1,579	4,858

Tabella 10-3 Accelerazioni verticali e non compensate della struttura del veicolo.

10.5 Analisi del carico verticale delle ruote del veicolo

La Tabella 10-4 mostra i fattori di impatto del carico verticale delle ruote misurato sull'asse montato anteriore di ogni veicolo in movimento alla velocità di 144 km/h.

	144 km/h		Static Vertical Load [N]	Dynamic Vertical Load [N]	Impact Factor
RFI 1	ETR 500	Locomotive	8,50E+04	1,15E+05	1,3529
	ETR 500	Coach	3,80E+04	5,80E+04	1,5263
RFI 2	ETR470	Locomotive	6,80E+04	8,80E+04	1,2941
	ETR470	Coach	5,90E+04	8,00E+04	1,3559
RFI 3	E 402 B	Locomotive	1,14E+05	1,50E+05	1,3193
	Semipilota MD	Coach	4,70E+04	8,10E+04	1,7234
RFI 4	TAF	Locomotive	9,90E+04	1,35E+05	1,3636
	TAF	Coach	7,80E+04	1,10E+05	1,4103
RFI 5	Freight Full Load	Coach	1,20E+05	1,48E+05	1,2333
RFI 6	Freight Empty	Coach	3,50E+04	6,79E+04	1,9386

Tabella 10-4 Fattori di impatto del carico verticale delle ruote per l'asse montato anteriore di ogni veicolo ferroviario in movimento alla velocità di 144 km/h.

La Tabella 10-5 mostra i fattori di impatto del carico verticale delle ruote misurato sull'asse montato anteriore della locomotiva E402B per un range di velocità compreso tra 50 km/h e 144 km/h con step di 10 km/h.

E402B locomotive	Speed [km/h]	Static Vertical Load [N]	Dynamic Vertical Load [N]	Impact Factor
	144	1,137E+05	1,50E+005	1,31889618
	120	1,137E+05	1,42E+005	1,24855505
	110	1,137E+05	1,40E+005	1,230969768
	100	1,137E+05	1,35E+005	1,187006562
	90	1,137E+05	1,30E+005	1,143043356
	80	1,137E+05	1,31E+005	1,151835997
	70	1,137E+05	1,27E+005	1,112269112
	60	1,137E+05	1,28E+005	1,125458074
	50	1,137E+05	1,23E+005	1,081494868

Tabella 10-5 Fattori di impatto del carico verticale delle ruote per l'asse montato anteriore della locomotiva E402B per un range di velocità compreso tra 50 km/h e 144 km/h.

			Vehicle speed [km/h]	Vehicle Mass [kg]	Vehicle total length [m]	Max bed Impact Factor	Max vertical wheel load [N]
RFI 1	ETR 500	Locomotive	144	68200	21,5	1,35	1,15E+05
	ETR 500	Coach	144	29675	27,5	1,45	5,80E+04
RFI 2	ETR470	Locomotive	144	55049	26,5	1,22	8,80E+04
	ETR470	Coach	144	49442	26,5	1,19	8,00E+04
RFI 3	E 402 B	Locomotive	144	88968	20,4	1,2	1,50E+05
			120			1,16	1,42E+05
			110			1,18	1,40E+05
			100			1,13	1,35E+05
			90			1,15	1,30E+05
			80			1,09	1,31E+05
			70			1,1	1,27E+05
			60			1,08	1,28E+05
	50	1,13	1,23E+05				
	Semipilota MD	Coach	144	38440	27,5	1,76	8,10E+04
RFI 4	TAF	Locomotive	144	75090	27,4	1,18	1,25E+05
	TAF	Coach	144	62165	25,6	1,23	1,10E+05
RFI 5	Freight Full Load	Coach	144	99312	14	1,35	1,48E+05
RFI 6	Freight Empty	Coach	144	27125	23,2	1,58	6,79E+04

10.6 Confronto con carichi progettuali (Istruzioni da RFI)

In riferimento alla tabella 10-3, il carico dinamico verticale massimo per la locomotiva E402B si riscontra alla velocità di 144 km/h e il valore calcolato è $150 \text{ kN} \times 2 = 300 \text{ kN}$ per l'asse montato anteriore. Il valore si utilizza per il confronto con il carico peggiore nel caso statico.

Il carico peggiore utilizzato per la verifica locale nel caso statico è tratto dalla documentazione RFI intitolata "ISTRUZIONI PER LA PROGETTAZIONE E L'ESECUZIONE DEI PONTI FERROVIARI - RFIDTC-ICI-POSPINF001A". Il treno selezionato a tale scopo è il cosiddetto LM71, cioè un modello di treno teorico definito da forze distribuite illimitate e concentrate come in Figura 10-20. Il treno selezionato regola le verifiche locali statiche per lunghezze in cui la maggiore influenza è esercitata dalle forze concentrate anziché distribuite. Questo è il nostro caso, se la lunghezza utilizzata per le verifiche locali è la distanza tra due diaframmi trasversali, cioè 3.75 m.

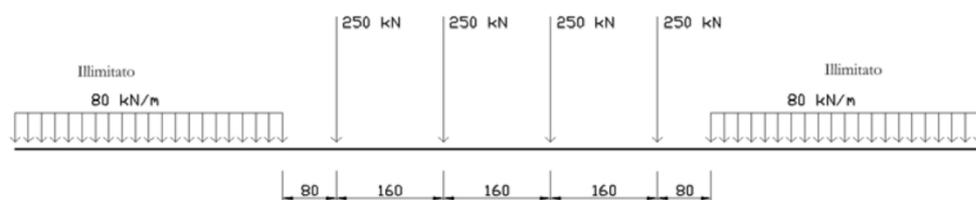


Figura 10-20 Figura a pagina 27 delle istruzioni RFIDTC-ICI-POSPINF001A

La verifica statica può essere effettuata considerando un carico concentrato o una distribuzione di carichi concentrati, con amplificazione tramite i due coefficienti. Il primo è denominato α e rappresenta un coefficiente di adattamento in funzione del tipo di ponte. Nel nostro caso, si deve considerare la categoria A e il coefficiente è $\alpha = 1.1$ come indicato nella Tabella 10-6.

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE " α "	
	CATEGORIA "A"	CATEGORIA "B"
LM71	1.1	0.83 ⁽¹⁾
SW/0	1.1	0.83 ⁽¹⁾
SW/2	1.0	0.83 ⁽¹⁾

Tabella 10-6 Tabella a pagina 27 delle istruzioni RFIDTC-ICI-POSPINF001A

Il secondo è un coefficiente di amplificazione dinamica e si calcola con la seguente formula (vedere pagina 37 delle istruzioni RFI):

$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\phi} - 0,2} + 0,82 \quad 1,00 \leq \Phi_2 \leq 1,67$$

Dove L_ϕ è la lunghezza caratteristica (in metri) definita per travi con supporto semplice ed estendibile ad altre categorie di strutture tramite fattori di scala idonei.

Nel nostro caso, la lunghezza determinante è la distanza tra i due diaframmi, 3.75 m, e la lunghezza caratteristica si ottiene moltiplicandola per 3, cioè il fattore utilizzato per le verifiche di tensione locale in caso di griglia in acciaio senza zavorra (vedere pagina 41 delle istruzioni RFI).

In questo caso $\Phi_2 = 1.277$.

Considerando lo schema di supporto semplice associato, lo scenario peggiore nel caso delle forze concentrate è rappresentato dallo schema in 10-21 (distanze misurate in metri).

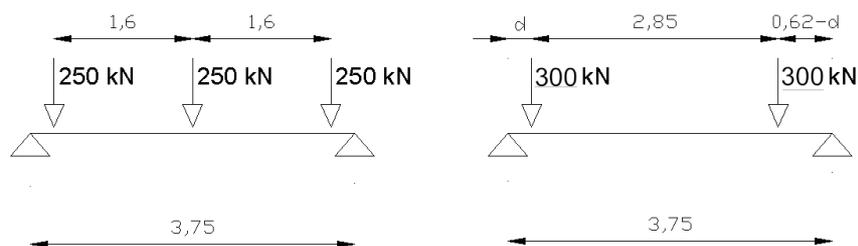


Figura 10-21 A sinistra) carichi statici (LM71); A destra) carichi dinamici (E402B da travi multiple)

Dalla Figura 10-21 appare evidente che le forze considerate nello schema a sinistra conferiscono effetti superiori alle forze nello schema a destra, indipendentemente dal valore “d”.

Per questo si riporta un confronto tra carichi semplificati e carichi nel caso peggiore, paragonando il carico dell’asse montato singolo:

carico statico: $250 \times 1.1 \times 1.277 = 351.175 \text{ kN} > 300 \text{ kN}$.

Per fornire un’immagine esaustiva del confronto, si calcola il modello di carico statico LM71 per la lunghezza caratteristica di 30 m (1) (cioè la lunghezza tra i due pendini) e l’intera lunghezza del modello locale pari a 300 m (2).

- 1 Considerando una lunghezza caratteristica di 30 m, si applica il modello di carico in Figura 9.x.x e il carico statico totale è dato dall’espressione: $250 \times 4 + 80 \times (30 - 6.4) = 2888 \text{ kN}$. Tale valore di carico è amplificato dal coefficiente di adattamento $\alpha = 1.1$ e dal fattore dinamico Φ_2 calcolato quadruplicando la lunghezza caratteristica di 30 m (vedere pagina 47 delle istruzioni RFI, paragrafo 5.7). In questo caso $\Phi_2 < 1$ quindi si pone $\Phi_2 = 1$. Il carico statico amplificato risultante è 3177 kN

Il carico dinamico si calcola considerando il carico dinamico totale dalla locomotiva e il carico dinamico dalla parte della carrozza richiesta per completare la lunghezza di 30 m.

In riferimento alla Tabella 10-3, la forza dinamica risultante è $150 \times 8 + 81 \times 8 \times (30 - 20.4) / 27.5 = 1426.2 \text{ kN} < 3177.0 \text{ kN}$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

- 2 Considerando una lunghezza caratteristica di 300 m, si applica nuovamente il modello di carico in Figura 10-20 e il carico statico totale è dato dall'espressione: $250 \times 4 + 80 \times (300 - 6.4) = 24.488 \text{ kN}$. Tale valore di carico è amplificato dal coefficiente di adattamento $\alpha = 1.1$ e dal fattore dinamico Φ_2 , ora calcolato moltiplicando per 1.5 la lunghezza caratteristica di 30 m (vedere pagina 47 delle istruzioni RFI, paragrafo 5.2), quando il modello esaminato è una trave continua con 10 campate di 30 m ciascuna. In questo caso $\Phi_2 = 1.04$. Il carico statico amplificato risultante è: 28.048 kN

Il carico dinamico si calcola considerando il carico dinamico totale dalla locomotiva e il carico dinamico dal numero di carrozze richiesto per completare la lunghezza di 300 m.

In riferimento alla Tabella 10-3, la forza dinamica risultante è $150 \times 8 + 81 \times 8 \times (300 - 20.4) / 27.5 = 7.789 \text{ kN} < 28.048 \text{ kN}$

Nel caso (2) il valore del carico dinamico maggiore si ottiene dalla simulazione di RFI4, che ha un'amplificazione maggiore dalla carrozza rispetto a RFI3 (cioè E402B). Per RFI4, la forza dinamica risultante è nuovamente inferiore al carico statico amplificato, cioè: $135 \times 8 + 110 \times 8 \times (300 - 27.4) / 25.6 = 10451 \text{ kN}$

Avendo aggiornato le proprietà del treno, il treno RFI5 sarà ora considerato il caso peggiore, quindi le forze dinamiche sono $150 \times 8 + 148 \times 8 \times (30 - 20.4) / 14 = 2012 \text{ kN}$ e $150 \times 8 + 148 \times 8 \times (300 - 20.4) / 14 = 24850 \text{ kN}$ per 30m / 300m rispettivamente.

Le analisi comparative hanno evidenziato che le forze dinamiche calcolate con ADTreS non superano i carichi statici RFI amplificati, neppure nei casi peggiori. Per questo non è richiesta alcuna ulteriore analisi.

3 Modello globale ADTRES e analisi

Questo capitolo riporta i risultati ADTRES relativi ai casi peggiori di percorribilità globale IBDAS. I risultati IBDAS sono riepilogati nella Tabella 11-1, riportata di seguito:

a. Modello globale FE

Come indicato in Fig. 11-1, è stata appositamente realizzata una versione del Modello Globale del ponte.

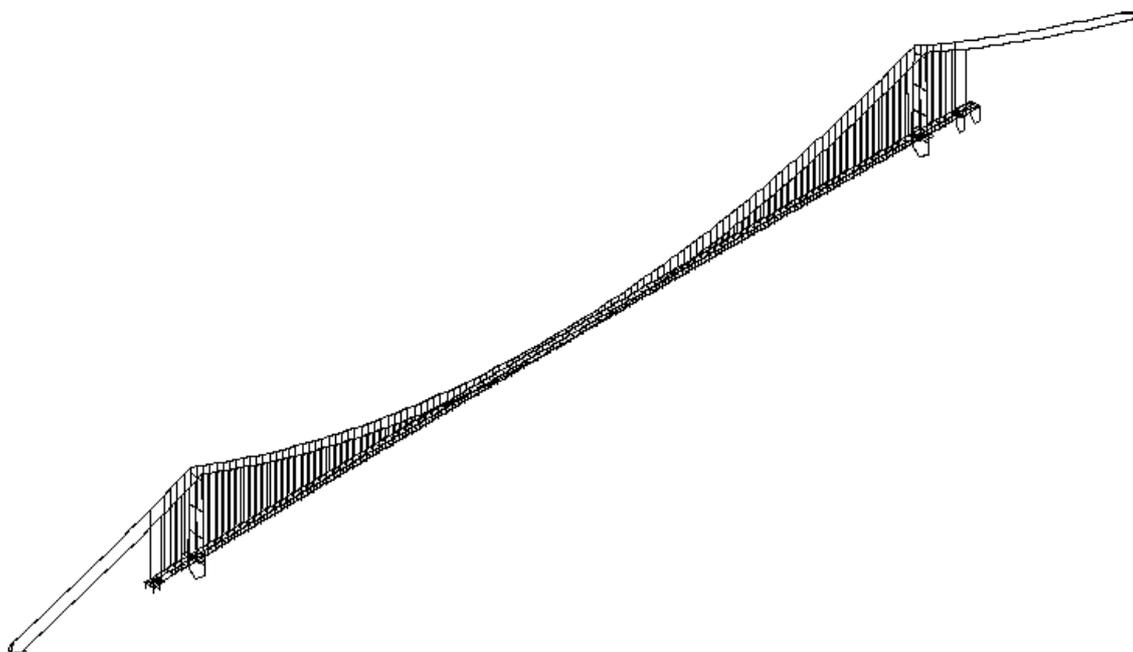


Fig. 11-1 – Modello Globale ADTRES

Il modello di elementi finiti è un modello a travi. Gli elementi finiti utilizzati sono travi 3D di formulazione Euler-Bernoulli, che considerano anche l'effetto della forza normale nella rigidità geometrica. L'implementazione ADTRES utilizza una rete ridotta rispetto al modello IBDAS, in

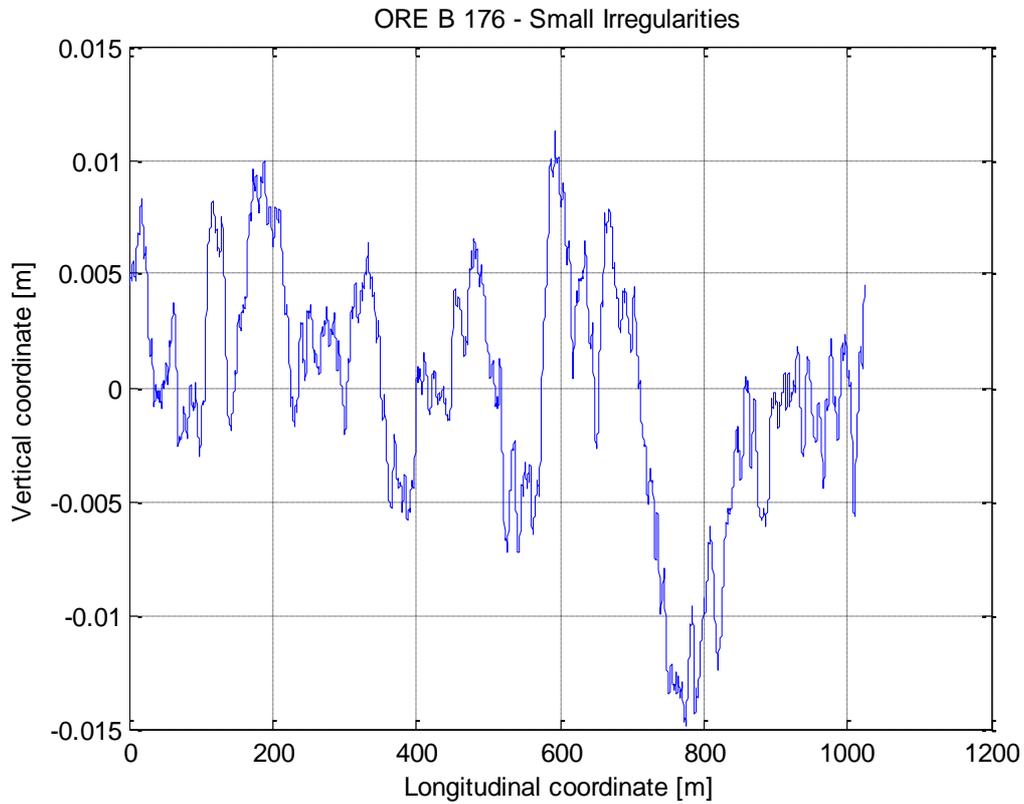
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

quanto le analisi complete di percorribilità potrebbero altrimenti risultare instabili, ma le caratteristiche del modello si adattano al modello IBDAS.

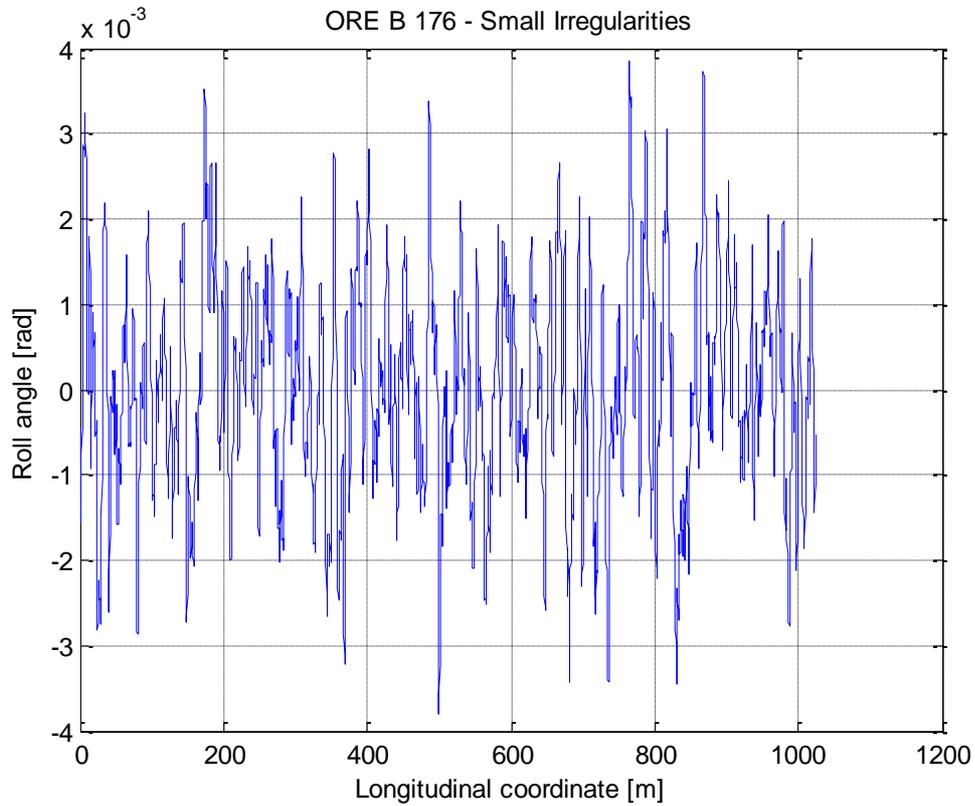
Il modello di treno è come descritto al Capitolo 9.1.1. Il binario incorporato non è espressamente modellizzato, ma si considera l'imperfezione del binario secondo "ORE B 176 Cahier des charges pour un bogie a caracteristiques amelioreses pour la circulation en courbe, Annex A. 6" con i seguenti parametri:

- piccole irregolarità
- numero di armoniche: 1024
- armonica fondamentale: 0.00614 Hz
- campionamento dx: 0.25 m
- lunghezza totale: 1.024 m

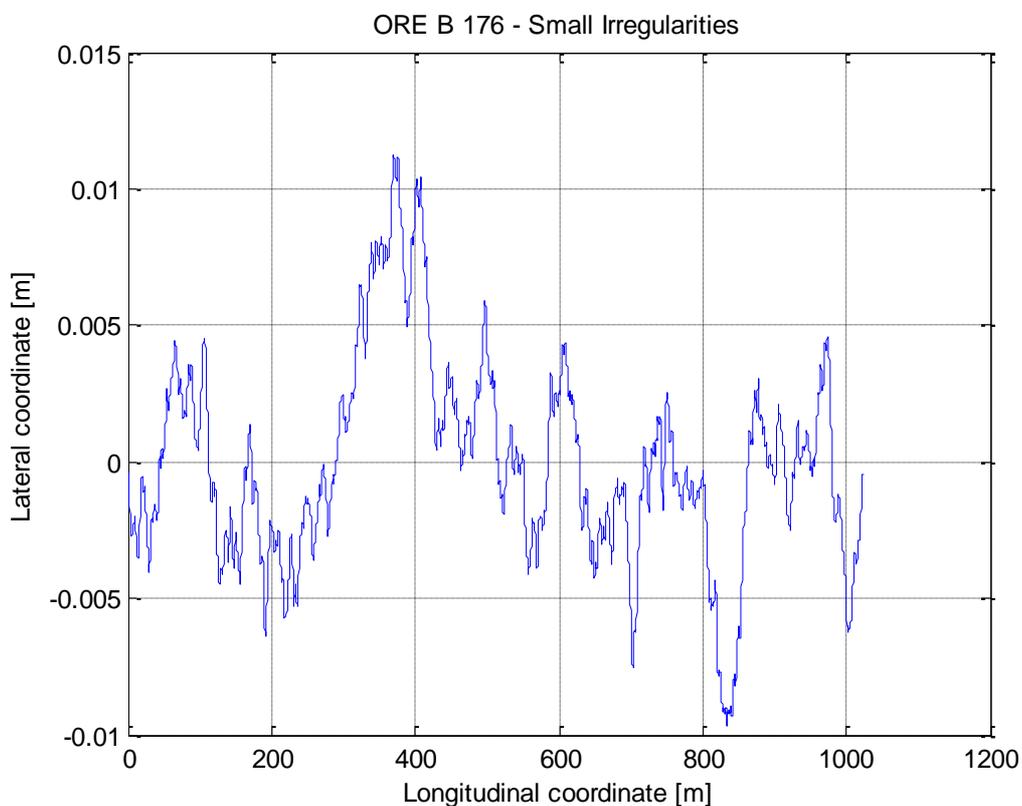
Le figure seguenti mostrano gli elementi di irregolarità del binario in direzione verticale, di rollio e laterale:



Irregolarità verticale del binario



Irregolarità angolo di rollio del binario



Irregolarità laterale del binario

Le analisi globali sono eseguite secondo la peggiore casistica di percorribilità, evidenziata alla Tabella 11-1. Il carico del vento statico si applica alla struttura (cassoni stradali e ferroviari, torri, cavi, pendini, utilizzando i parametri con cui sono descritti nei documenti “CG1000-P-RG-D-P-SV-00-00-00-00-00-01_A-01_IBDAS_App_G” e “CG1000-P-CL-D-P-SB-S3-00-00-00-00-03_A”. Al contrario, il carico di vento turbolento è applicato al treno.

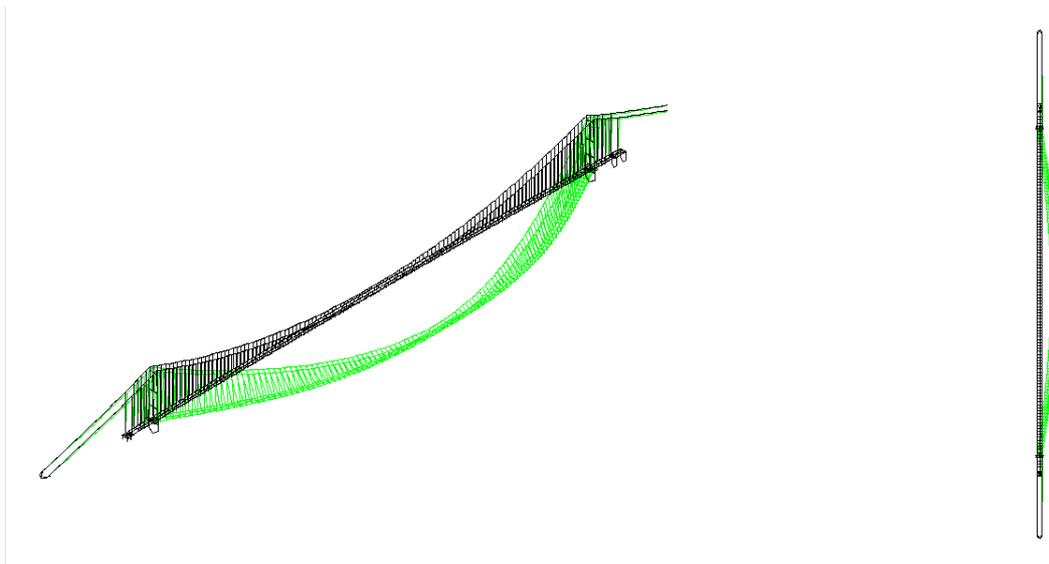
b. Analisi modale

Per verificare l'implementazione ADTRES e avere un confronto con il modello IBDAS, è stata condotta un'analisi modale. Le prime dieci frequenze calcolate sono elencate nella tabella seguente.

Modo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Frequenz	0.030	0.057	0.066	0.079	0.085	0.093	0.098	0.102	0.102	0.106
a	8	3	2	6	9	5	6	4	8	3

[Hz]										
Serie delle prime dieci frequenze										

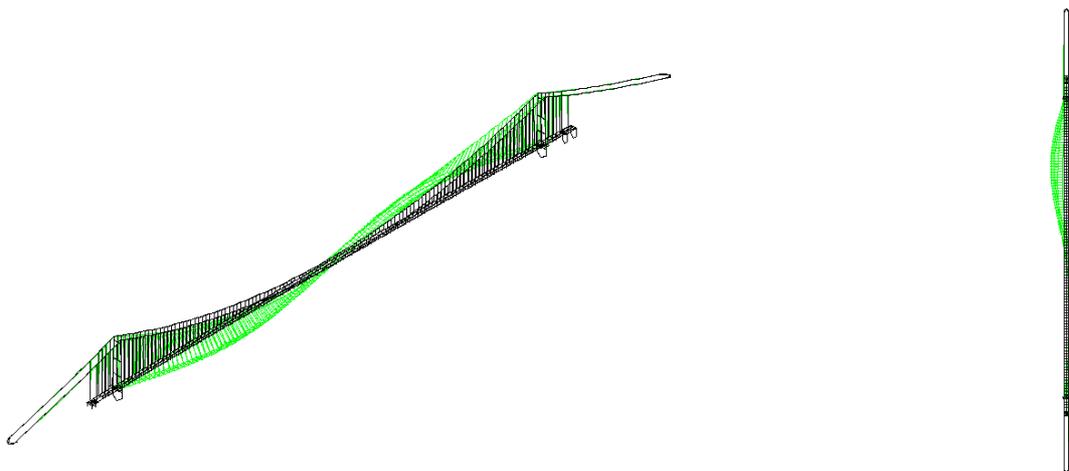
La figura seguente riporta la prima forma del modo:



Vista isometrica

Vista superiore

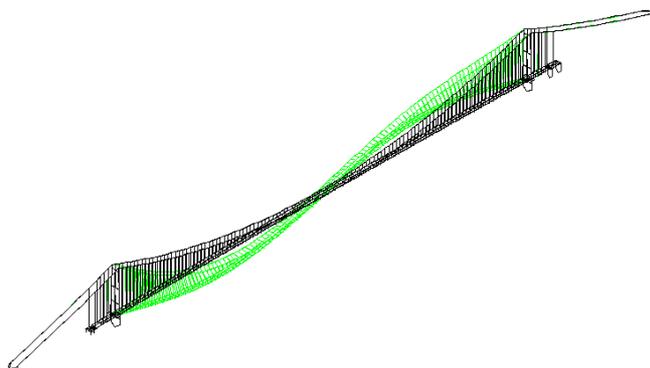
La figura seguente riporta la seconda forma del modo:



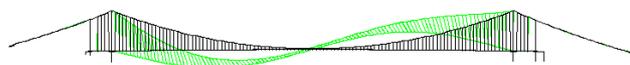
Vista isometrica

Vista superiore

La figura seguente riporta la terza forma del modo:



Vista isometrica



Vista laterale

c. Analisi globali di percorribilità ADTres: risultati dei casi critici

Le analisi globali di percorribilità ferroviaria si eseguono con il software ADTres. I presupposti applicati alle simulazioni numeriche sono i seguenti:

- Strutture terminali e viadotti di accesso non sono inseriti nel modello di elementi finiti del ponte
- Il treno di lunghezza totale in movimento sul ponte è indicato a velocità costanti, come riportato nella tabella seguenti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Tipo RFI	Velocità del treno [km/h]	Lunghezza del treno [m]
1	120	353
	144	
4	120	208
	144	

Tabella – Dati di input treno

- Il carico statico del vento si applica sulla struttura: cassoni stradali e ferroviari, torri, cavi, pendini. I coefficienti aerodinamici e le lunghezze caratteristiche sono impostati secondo il Documento n° A09055-NOT-3-027 intitolato “Wind input for IBIDAS”.
- Il carico statico del traffico stradale è impostato a 3.75 kN/m sulla prima metà del cassone stradale sottovento.
- Il carico di vento turbolento è applicato al treno; le specifiche di turbolenza sono riportate nella tabella seguente.

Intensità di turbolenza lu	Scalda di lunghezza integrale
14%	177

Tabella – Specifiche di vento turbolento

- È inserita anche l’irregolarità del binario denominate “Piccole lunghe”.

In particolare, sono eseguite due diverse serie di analisi globali:

- 1) Una serie preliminare di analisi globali
- 2) Una serie finale di analisi globali

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>	
<p align="center">Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort</p>	<p><i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc</p>	<p><i>Rev</i> C</p>	<p><i>Data</i> 13-02-2011</p>

La serie preliminare di analisi globali consiste nel vento statico della struttura (cassoni stradali e ferroviari, torri, cavi, pendini), utilizzando i parametri con cui sono descritti nei documenti “CG1000-P-RG-D-P-SV-00-00-00-00-00-01_A-01_IBDAS_App_G” e “CG1000-P-CL-D-P-SB-S3-00-00-00-00-03_A”, e la velocità del vento impostata è pari a 30 m/s. Il carico del vento turbolento si applica solo al primo veicolo (locomotiva) dell’intero treno simulato, in cui la velocità del vento è impostata a 18 m/s con fattore di riduzione del vento 0.6.

I risultati delle analisi globali preliminari sono indicati nelle seguenti tabelle:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

RFI 1						
Performance di percorribilità			CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)
Velocità del treno			120 km/h locomotiva	120 km/ora vagone ferroviario	144 km/ora locomotiva	144 km/ora vagone ferroviario
Performance di percorribilità e sicurezza del traffico	Variazione della sopraelevazione (Base corta: tra 1,3 e 4,5 m)	< 0,250% (0,065% per irregolarità del binario + 0,185% per azioni statiche e dinamiche sulla struttura)	2,167E-04	2,142E-04	2,434E-04	2,311E-04
	Variazione della sopraelevazione (Base lunga: tra 4,5 e 20 m)	< 0,250% (0,030% per irregolarità del binario + 0,170% per azioni statiche e dinamiche sulla struttura)	2,185E-04	2,056E-04	1,757E-04	2,009E-04
	Accelerazione laterale non	< 0,6 m/s ²	0,388	0,101	0,371	0,140

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C	Data 13-02-2011

	compensata					
	Velocità di rollio	< 0,033 rad/s	0,032	0,0149	0,0225	0,0197
	Jerk	< 0,25 m/s ²	0,17	0,1316	0,1885	0,1541
	Accelerazione verticale del ponte	< 0,70 m/s ²	0,114		0,21	
	Controllo di deragliament	< 0,8	0,249	0,096	0,269	0,113
	Controllo di ribaltamento	< 0,9	0,426	0,049	0,46	0,06

RFI 1						
Performance di comfort			CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)
Velocità del treno			120 km/h locomotiva	120 km/ora vagone ferroviario	144 km/ora locomotiva	144 km/ora vagone ferroviario
Performance di interazione struttura-veicolo e comfort	Indice di comfort Wz	< 2,2	0,756	0,722	0,838	0,762
	Picco di accelerazione verticale carrozzeria	<=2 m/s ²	0,242	0,209	0,276	0,201
	Accelerazione verticale RMS (treno passeggeri)	< 0,5 m/s ²	0,069	0,059	0,0891	0,061
	Accelerazione laterale RMS (treno passeggeri)	< 0,75 m/s ²	0,076	0,030	0,075	0,039

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

RFI 4						
Performance di percorribilità			CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)
Velocità del treno			120 km/h locomotiva	120 km/ora vagone ferroviario	144 km/ora locomotiva	144 km/ora vagone ferroviario
Performance di percorribilità e sicurezza del traffico	Variazione della sopraelevazione (Base corta: tra 1,3 e 4,5 m)	< 0,250% (0,065% per irregolarità del binario + 0,185% per azioni statiche e dinamiche sulla struttura)	2,612E-04	2,218E-04	2,713E-04	2,454E-04
	Variazione della sopraelevazione (Base lunga: tra 4,5 e 20 m)	< 0,250% (0,030% per irregolarità del binario + 0,170% per azioni statiche e dinamiche sulla struttura)	2,960E-04	2,204E-04	2,685E-04	2,444E-04

	Accelerazione laterale non compensata	< 0,6 m/s ²	0,578	0,141	0,704	0,218
	Velocità di rollio	< 0,033 rad/s	0,026	0,0164	0,041	0,018
	Jerk	< 0,25 m/s ²	0,268	0,133	0,300	0,192
	Accelerazione verticale del ponte	< 0,70 m/s ²	0,131		0,178	
	Controllo di deragliamento	a. < 0,8	b. 0,149	c. 0,086	d. 0,188	e. 0,093
	f. Controllo di ribaltamento	g. < 0,9	h. 0,401	i. 0,048	j. 0,424	k. 0,055
RFI 4						
Performance di comfort			CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)
Velocità del treno			120 km/h locomotiva	120 km/ora vagone ferroviario	144 km/ora locomotiva	144 km/ora vagone ferroviario
Performance di interazione struttura-veicolo e comfort	Indice di comfort Wz	< 2,2	0,767	0,799	0,79192	0,800
	Picco di accelerazione verticale carrozzeria	<=2 m/s ²	0,247	0,262	0,251	0,267
	Accelerazione verticale RMS (treno passeggeri)	< 0,5 m/s ²	0,0748	0,086	0,072	0,0733
	Accelerazione laterale RMS (treno passeggeri)	< 0,75 m/s ²	0,0684	0,0304	0,090	0,0425

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>	
<p align="center">Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort</p>	<p><i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc</p>	<p><i>Rev</i> C</p>	<p><i>Data</i> 13-02-2011</p>

Viene eseguita una seconda serie di analisi globali in cui la velocità del vento impostata equivale a 38 m/s sulla struttura (applicata come carico statico) e 24 m/s sia sul primo (locomotiva) sia sul secondo veicolo (carrozza passeggeri) applicando un fattore di riduzione del vento pari a 0.65.

I risultati di queste analisi globali sono indicati nelle seguenti tabelle:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

RFI 1						
Performance di percorribilità			CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)
Velocità del treno			120 km/h locomotiva	120 km/ora vagone ferroviario	144 km/ora locomotiva	144 km/ora vagone ferroviario
Performance di percorribilità e sicurezza del traffico	Variazione della sopraelevazione (Base corta: tra 1,3 e 4,5 m)	< 0,250% (0,065% per irregolarità del binario + 0,185% per azioni statiche e dinamiche sulla struttura)	3,592E-04	2,125E-04	1,304E-04	2,301E-04
	Variazione della sopraelevazione (Base lunga: tra 4,5 e 20 m)	< 0,250% (0,030% per irregolarità del binario + 0,170% per azioni statiche e dinamiche sulla struttura)	3,837E-04	2,047E-04	3,976E-04	2,259E-04
	Accelerazione laterale non compensata	< 0,6 m/s ²	0,617	0,128	0,668	0,188

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

	Velocità di rollio	< 0,033 rad/s	0,036	0,019	0,050	0,027
	Jerk	< 0,25 m/s ²	0,211	0,184	0,275	0,228
	Accelerazione verticale del ponte	< 0,70 m/s ²	0,12		0,21	
	Controllo di deragliamenti	< 0,8	0,369	0,266	0,371	0,270
	Controllo di ribaltamento	< 0,9	0,731	0,908	0,750	0,920

RFI 1						
Performance di comfort			CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)
Velocità del treno			120 km/h locomotiva	120 km/ora vagone ferroviario	144 km/ora locomotiva	144 km/ora vagone ferroviario
Performance di interazione struttura-veicolo e comfort	Indice di comfort Wz	< 2,2	0,775	0,722	0,860	0,760
	Picco di accelerazione verticale carrozzeria	<=2 m/s ²	0,296	0,209	0,290	0,199
	Accelerazione verticale RMS (treno passeggeri)	< 0,5 m/s ²	0,076	0,059	0,097	0,061
	Accelerazione laterale RMS (treno passeggeri)	< 0,75 m/s ²	0,131	0,034	0,154	0,047

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

RFI 4						
Performance di percorribilità			CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)
Velocità del treno			120 km/h locomotiva	120 km/ora vagone ferroviario	144 km/ora locomotiva	144 km/ora vagone ferroviario
Performance di percorribilità e sicurezza del traffico	Variazione della sopraelevazione (Base corta: tra 1,3 e 4,5 m)	< 0,250% (0,065% per irregolarità del binario + 0,185% per azioni statiche e dinamiche sulla struttura)	2,652E-04	2,172E-04	1,306E-04	2,421E-04
	Variazione della sopraelevazione (Base lunga: tra 4,5 e 20 m)	< 0,250% (0,030% per irregolarità del binario + 0,170% per azioni statiche e dinamiche sulla struttura)	2,645E-04	2,209E-04	3,204E-04	2,467E-04
	Accelerazione laterale non	< 0,6 m/s ²	0,928	0,194	1,070	0,293

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

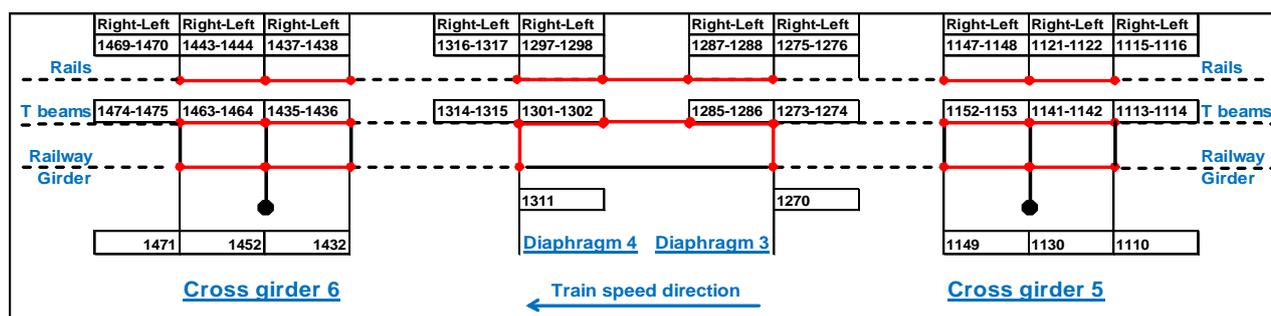
	compensata					
	Velocità di rollio	< 0,033 rad/s	0,070	0,019	0,094	0,022
	Jerk	< 0,25 m/s ²	0,272	0,191	0,558	0,273
	Accelerazione verticale del ponte	< 0,70 m/s ²	0,13		0,18	
	Controllo di deragliamento	< 0,8	0,238	0,231	0,258	0,217
	Controllo di ribaltamento	< 0,9	0,569	0,490	0,591	0,573

RFI 4						
Performance di comfort			CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)	CF (SLS1)
Velocità del treno			120 km/h	120 km/ora	144 km/ora	144 km/ora
			locomotiva	vagone ferroviario	locomotiva	vagone ferroviario
Performance di interazione struttura-veicolo e comfort	Indice di comfort Wz	< 2,2	0,766	0,800	0,794	0,800
	Picco di accelerazione verticale carrozzeria	<=2 m/s ²	0,234	0,261	0,262	0,268
	Accelerazione verticale RMS (treno passeggeri)	< 0,5 m/s ²	0,074	0,086	0,072	0,073
	Accelerazione laterale RMS (treno passeggeri)	< 0,75 m/s ²	0,117	0,035	0,15224	0,050

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort</p>		<p><i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc</p>	<p><i>Rev</i> C</p>	<p><i>Data</i> 13-02-2011</p>

Analisi locali con carico del vento sul veicolo: Locomotiva RFI3, 144 km/h

Le analisi locali si eseguono sul modello locale a travi multiple applicando un carico di vento turbolento sul lato destro del veicolo. Per le analisi è stata scelta la locomotiva RFI 3 in movimento a una velocità di 144 km/h.



Le tabelle seguenti mostrano il confronto nei casi con e senza vento.

BINARIO SINISTRO	Nodo ferroviario n°	Nodo trave a T	Spostamento statico [m]	VENTO		SENZA VENTO	
				Spostamento dinamico [m]	Fattore di impatto	Spostamento dinamico [m]	Fattore di impatto
Traverso n° 5	1116	1114	-2,42E-03	-3,00E-03	1,24E+00	-2,65E-03	1,10E+00
	1122	1142	-2,42E-03	-2,87E-03	1,19E+00	-2,53E-03	1,05E+00
	1148	1153	-2,42E-03	-2,75E-03	1,14E+00	-2,42E-03	1,00E+00
Diaframma 3 - 4	1276	1274	-2,42E-03	-2,90E-03	1,20E+00	-2,59E-03	1,07E+00
	1288	1286	-2,42E-03	-2,95E-03	1,22E+00	-2,62E-03	1,08E+00
	1298	1302	-2,41E-03	-2,76E-03	1,14E+00	-2,49E-03	1,03E+00
	1317	1315	-2,40E-03	-3,00E-03	1,25E+00	-2,69E-03	1,12E+00
Traverso n° 6	1438	1436	-2,43E-03	-3,14E-03	1,29E+00	-2,83E-03	1,17E+00
	1444	1464	-2,42E-03	-2,79E-03	1,15E+00	-2,42E-03	9,99E-01
	1470	1475	-2,42E-03	-2,93E-03	1,21E+00	-2,63E-03	1,09E+00

Tabella – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

BINARIO DESTRO	Nodo ferroviario n°	Nodo trave a T	Spostamento statico [m]	VENTO		SENZA VENTO	
				Spostamento dinamico [m]	Fattore di impatto	Spostamento dinamico [m]	Fattore di impatto
Traverso n° 5	1115	1113	-2,42E-03	-2,01E-03	8,30E-01	-2,50E-03	1,03E+00
	1121	1141	-2,42E-03	-1,87E-03	7,73E-01	-2,32E-03	9,59E-01
	1147	1152	-2,42E-03	-2,04E-03	8,43E-01	-2,40E-03	9,92E-01
Diaframma 3 - 4	1275	1273	-2,44E-03	-2,30E-03	9,43E-01	-2,68E-03	1,10E+00
	1287	1285	-2,42E-03	-2,24E-03	9,26E-01	-2,58E-03	1,06E+00
	1297	1301	-2,42E-03	-2,21E-03	9,15E-01	-2,54E-03	1,05E+00
Traverso n° 6	1316	1314	-2,43E-03	-2,39E-03	9,83E-01	-2,70E-03	1,11E+00
	1437	1435	-2,42E-03	-2,20E-03	9,07E-01	-2,66E-03	1,10E+00
	1443	1463	-2,42E-03	-2,14E-03	8,84E-01	-2,68E-03	1,11E+00
	1469	1474	-2,42E-03	-2,10E-03	8,68E-01	-2,52E-03	1,04E+00

Tabella – Valutazione del fattore di impatto dalla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

	Nodo n°	VENTO	SENZA VENTO
		Spostamento [m]	Spostamento [m]
Traverso n° 5	1110	-3,6E-03	-3,6E-03
	1130	-3,6E-03	-3,6E-03
	1149	-3,6E-03	-3,6E-03
Diaframma n° 3	1270	-4,6E-03	-4,6E-03
Diaframma n° 4	1311	-4,6E-03	-4,6E-03
Traverso n° 6	1432	-3,6E-03	-3,6E-03
	1452	-3,6E-03	-3,6E-03
	1471	-3,6E-03	-3,6E-03

Tabella – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario .

VENTO	SENZA VENTO
-------	-------------

BINARIO SINISTRO	Piano di posa n°	Forza statica [N]	Forza dinamica [N]	Fattore di impatto	Forza dinamica [N]	Fattore di impatto
	795	15000	18900	1,26E+00	16800	1,12E+00
	800	14950	17930	1,20E+00	15870	1,06E+00
	803	14950	17800	1,19E+00	15700	1,05E+00
	808	14950	16746	1,12E+00	14750	9,87E-01
	892	15000	15850	1,06E+00	13500	9,00E-01
	899	14950	18140	1,21E+00	16000	1,07E+00
	912	15000	16000	1,07E+00	14600	9,73E-01
	995	15000	19650	1,31E+00	17730	1,18E+00
	1000	14950	17120	1,15E+00	14800	9,90E-01
	1003	14950	17200	1,15E+00	14925	9,98E-01
	1008	14900	18150	1,22E+00	16300	1,09E+00

Tabella – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

BINARIO DESTRO	Piano di posa n°	Forza statica [N]	VENTO		SENZA VENTO	
			Forza dinamica [N]	Fattore di impatto	Forza dinamica [N]	Fattore di impatto
	793	15000	12550	8,37E-01	15750	1,05E+00
	798	14950	11154	7,46E-01	13690	9,16E-01
	801	14950	11878	7,95E-01	14970	1,00E+00
	806	14990	12710	8,48E-01	14930	9,96E-01
	890	15000	15280	1,02E+00	17600	1,17E+00
	897	14950	14000	9,36E-01	16100	1,08E+00
	910	15000	16000	1,07E+00	18000	1,20E+00
	993	14950	13870	9,28E-01	16670	1,12E+00
	998	14950	13235	8,85E-01	16500	1,10E+00
	1001	14940	13000	8,70E-01	16300	1,09E+00
	1006	15000	14000	9,33E-01	16800	1,12E+00

Tabella – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del

piano di posa situato sotto il binario destro.

SENZA VENTO								
	Nodo destro o trave a T n°	Picco di accelerazione e verticale [m/s ²]	Nodo sinistro o trave a T n°	Picco di accelerazione e verticale [m/s ²]	Nodo ferroviario o destro n°	Picco di accelerazione e verticale [m/s ²]	Nodo ferroviario o sinistro n°	Picco di accelerazione e verticale [m/s ²]
Traverso n° 5	1113	1,782	1114	2,257	1115	38,323	1116	34,945
	1141	1,814	1142	2,183	1121	33,843	1122	47,706
	1152	1,903	1153	2,185	1147	31,929	1148	42,309
Diaframmi n° 3 - 4	1273	3,655	1274	4,749	1275	28,901	1276	41,525
	1285	4,249	1286	5,666	1287	33,231	1288	43,647
	1301	4,604	1302	5,78	1297	32,066	1298	29,881
	1314	4,649	1315	5,395	1316	38,051	1317	38,994
Traverso n° 6	1435	2,238	1436	2,364	1438	49,891	1437	27,322
	1463	2,186	1464	2,304	1444	26,726	1443	35,381
	1474	2,173	1475	2,589	1470	27,419	1469	36,262
VENTO								
	Nodo destro o trave a T n°	Picco di accelerazione e verticale [m/s ²]	Nodo sinistro o trave a T n°	Picco di accelerazione e verticale [m/s ²]	Nodo ferroviario o destro n°	Picco di accelerazione e verticale [m/s ²]	Nodo ferroviario o sinistro n°	Picco di accelerazione e verticale [m/s ²]
Traverso n° 5	1113	1,749	1114	2,233	1115	37,118	1116	36,331
	1141	1,786	1142	2,162	1121	33,631	1122	53,795
	1152	1,874	1153	2,146	1147	27,858	1148	49,297
Diaframmi n° 3 - 4	1273	3,658	1274	4,738	1275	26,228	1276	40,547
	1285	4,231	1286	5,68	1287	37,049	1288	39,472
	1301	4,591	1302	5,754	1297	33,018	1298	32,033
	1314	4,656	1315	5,489	1316	38,135	1317	45,439
Traverso n° 6	1435	2,24	1436	2,442	1438	43,98	1437	27,131
	1463	2,179	1464	2,312	1444	30,604	1443	35,398
	1474	2,184	1475	2,593	1470	27,504	1469	37,396

Tabella – Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

		SENZA VENTO	VENTO
	Nodo cassone ferroviario n°	Picco di accelerazione verticale [m/s ²]	Picco di accelerazione verticale [m/s ²]
Traverso n° 5	1110	1,652	1,641
	1130	1,749	1,732
	1149	1,766	1,755
Diaframma n° 3	1270	3,279	3,308
Diaframma n° 4	1311	4,076	4,104
Traverso n° 6	1432	2,15	2,148
	1452	2,116	2,107
	1471	2,025	2,019

Tabella – Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

	Tipo RFI	Velocità [km/h]	Forza max sui piani di posa viscoelastici						Forza di contatto max. Forza [N]	Spostamento verticale dinamico nodale max rotaia-trave a T SINISTRA				Spostamento verticale dinamico nodale max rotaia-trave a T DESTRA			
			Piano di posa n°	Piano di posa sinistro [N]	I.F.	Piano di posa n°	Piano di posa destro [N]	I.F.		Nodo ferroviario n°	Nodo trave a T n°	Spostamento [m]	I.F.	Nodo ferroviario n°	Nodo trave a T n°	Spostamento [m]	I.F.
SENZA VENTO	3 - loco	144	995	17730	1,18	890	17600	1,17	1,50E+05	1438	1436	-2,83E-03	1,17	1316	1314	-2,70E-03	1,11
VENTO		144	995	19650	1,31	890	15280	1,02	1,68E+05	1438	1436	-3,14E-03	1,29	1316	1314	-2,39E-03	0,98

Tabella – Forze verticali massime dei piani di posa viscoelastici e spostamenti verticali massimi di longherine e binari nodali a tutte le velocità del veicolo simulate.

	Tipo RFI	Velocità [km/h]	Accelerazione verticale nodale max Lato SINISTRO				Accelerazione verticale nodale max Lato DESTRO				Accelerazione verticale max cassone ferroviario		Accelerazione verticale struttura [m/s^2]
			Nodo ferroviario n°	Accelerazione [m/s^2]	Nodo trave a T n°	Accelerazione [m/s^2]	Nodo ferroviario n°	Accelerazione [m/s^2]	Nodo trave a T n°	Accelerazione [m/s^2]	Nodo n°	Accelerazione [m/s^2]	
SENZA VENTO	3 - loco	144	1122	47,706	1302	5,78	1438	49,891	1314	4,649	1311	4,076	0,259
VENTO		144	1122	53,795	1302	5,754	1438	43,98	1314	4,656	1311	4,104	0,316

Tabella – Accelerazioni verticali massime di carrozzerie ferroviarie, longherine e binari nodali a tutte le velocità del veicolo simulate.

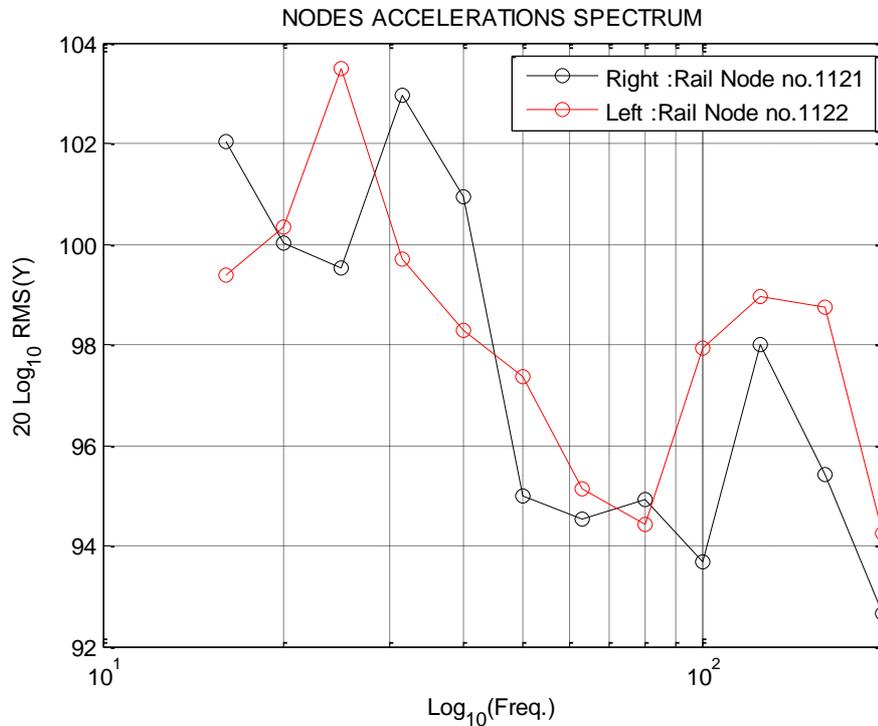
		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort</p>		<p><i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc</p>	<p><i>Rev</i> C</p>	<p><i>Data</i> 13-02-2011</p>

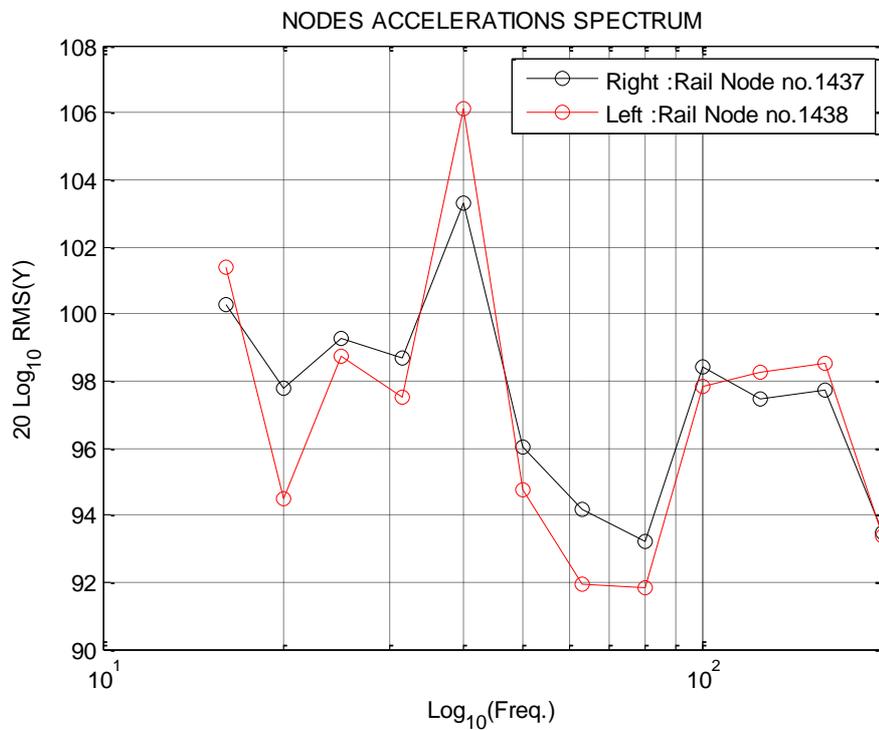
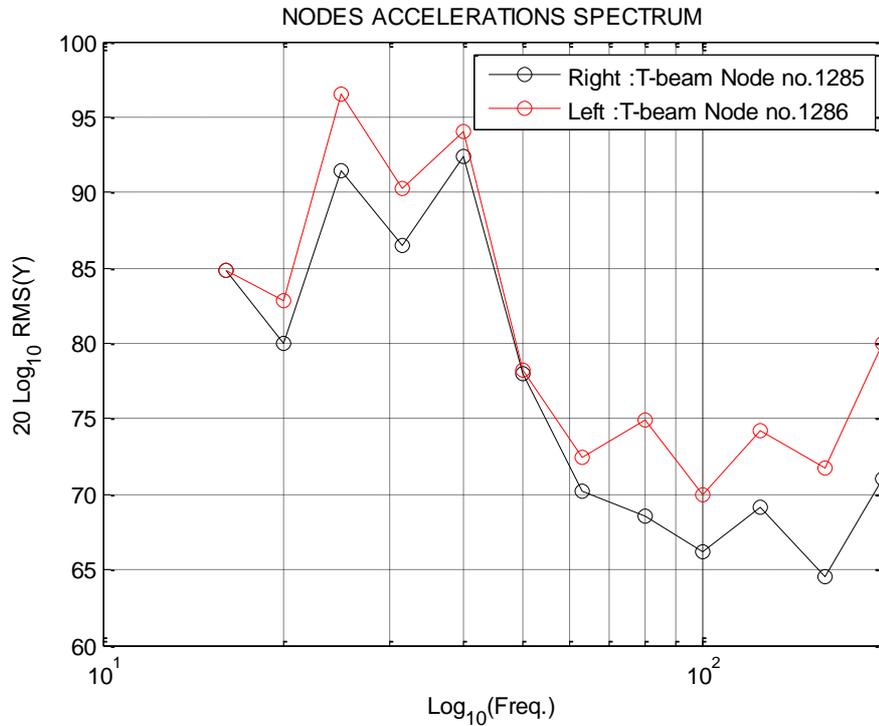
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

ANALISI DELLA FREQUENZA DELLE ACCELERAZIONI DI BINARI E TRAVI A T

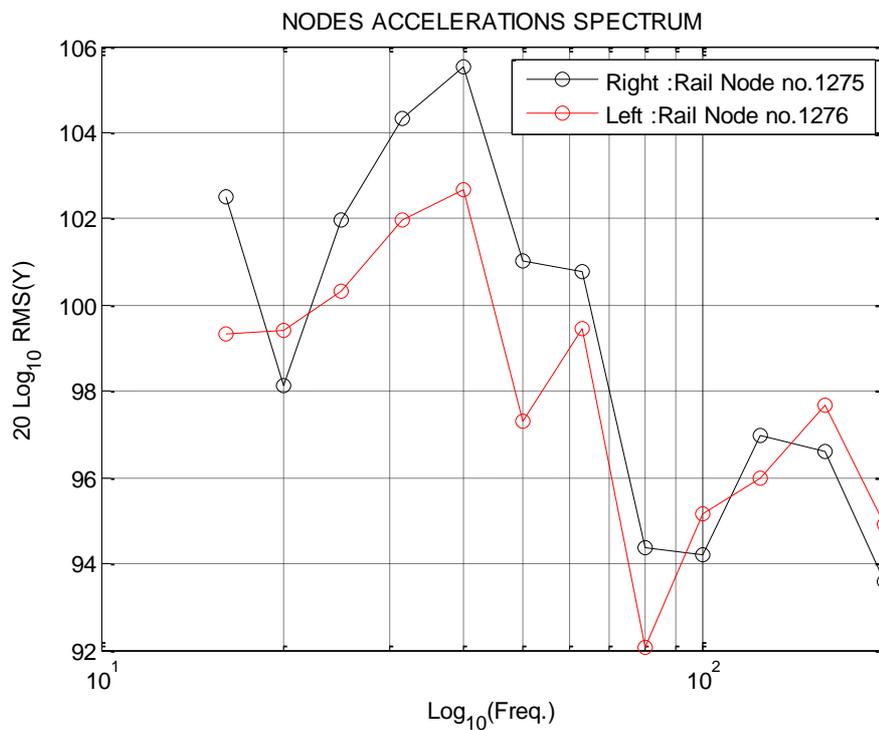
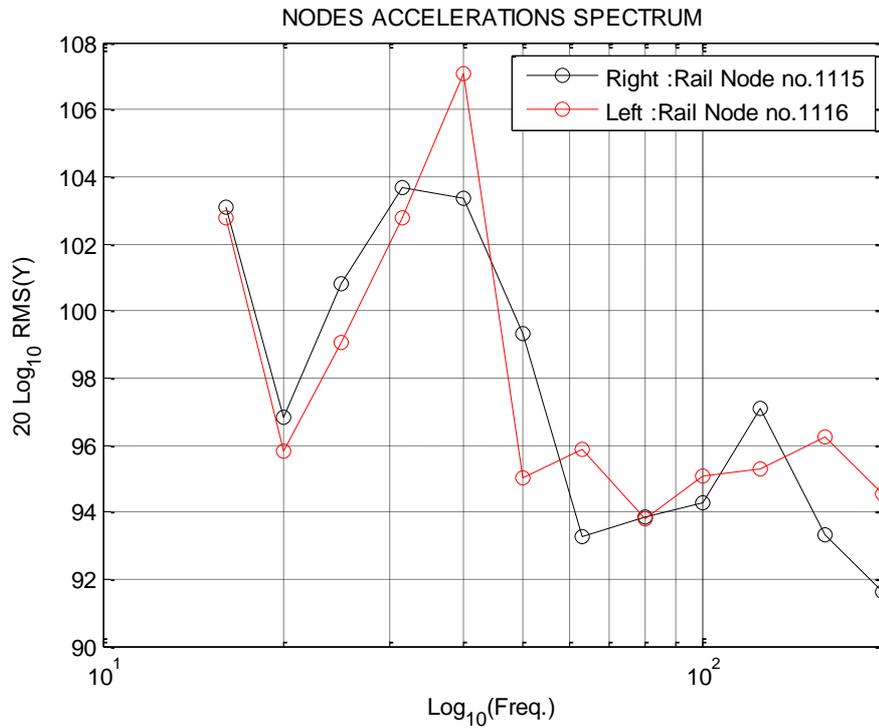
Si eseguono le analisi della frequenza delle accelerazioni verticali di binari e travi per verificare i risultati riportati in Tabella 10-2. In questa tabella, i valori massimi riportati delle cronologie delle accelerazioni verticali indicano forti discrepanze tra il lato destro e sinistro di binari e travi a T. Le analisi spettrali mostrano una ragionevole similitudine tra i livelli energetici dei due segnali (destro e sinistro, binari e travi a T).

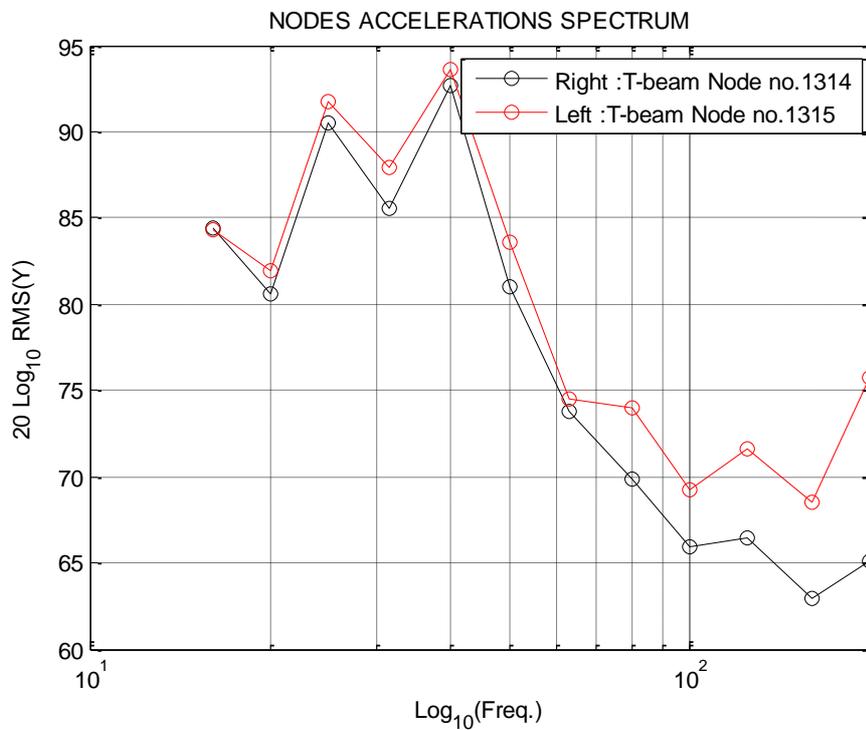
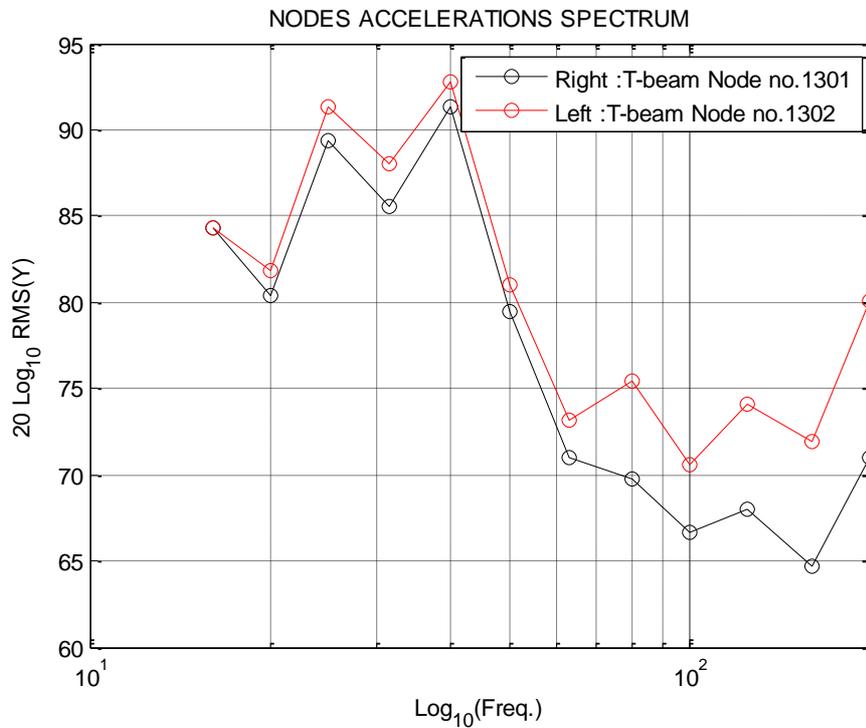
Locomotiva RFI 1:



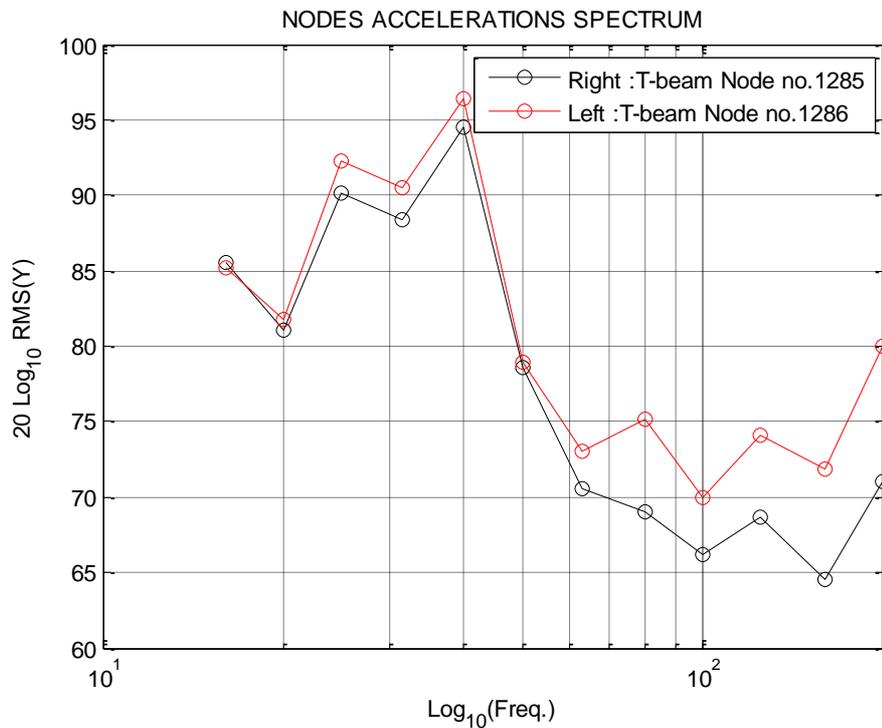
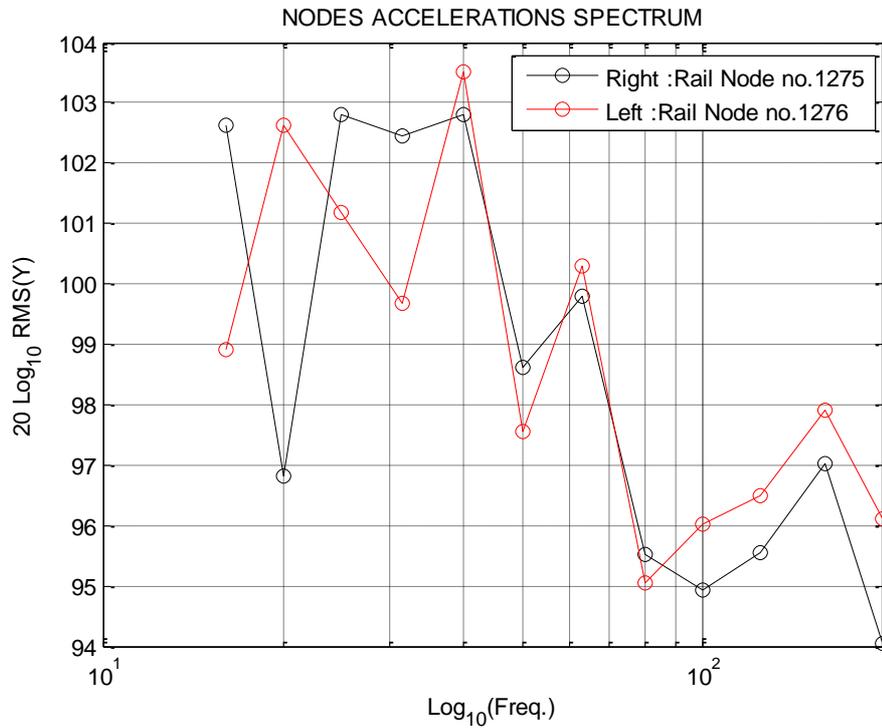


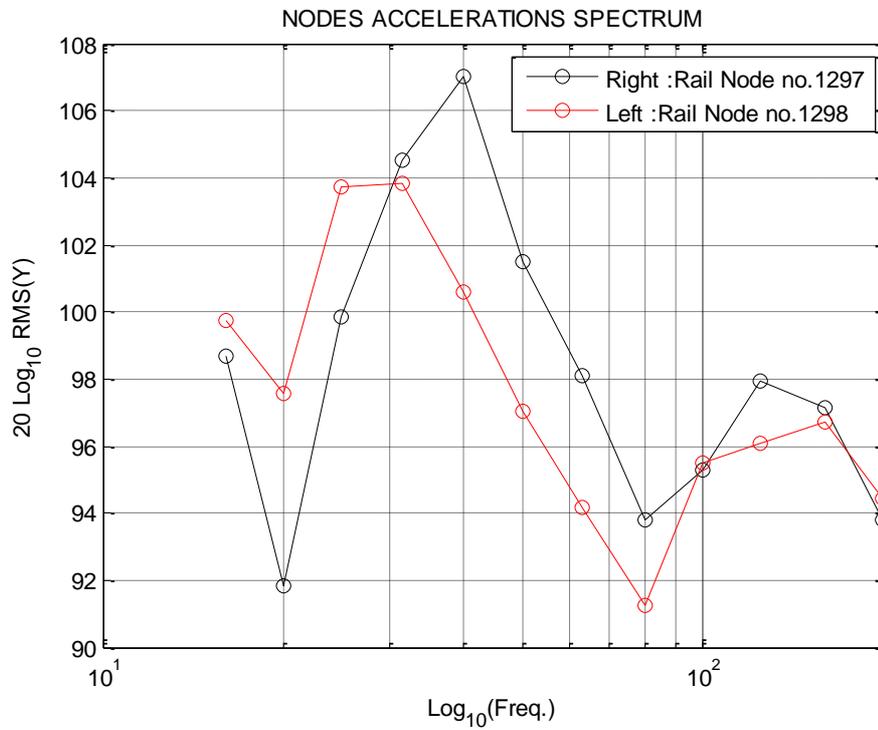
Carrozza RFI 1:



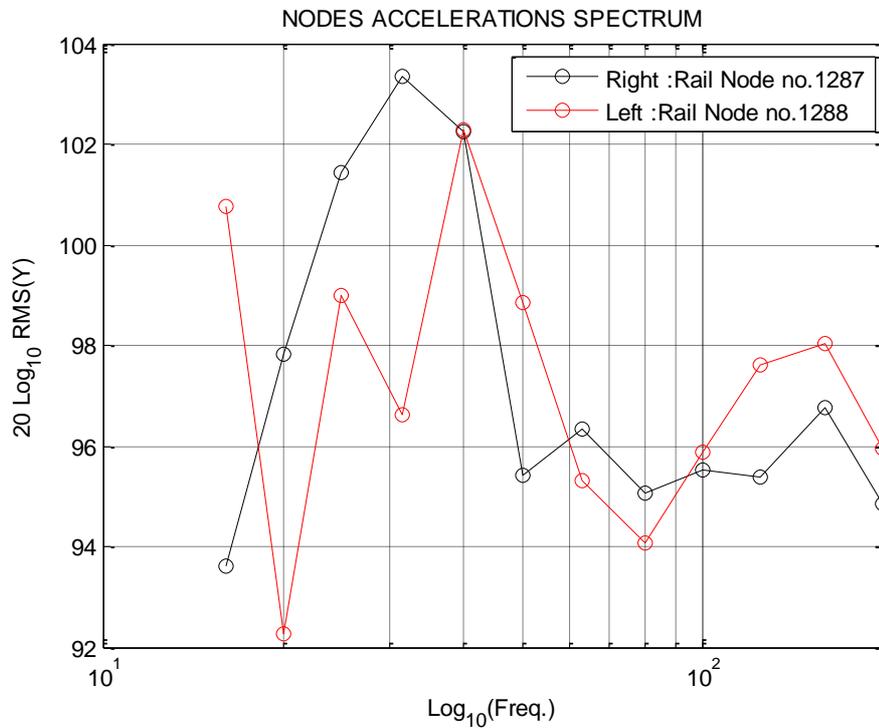
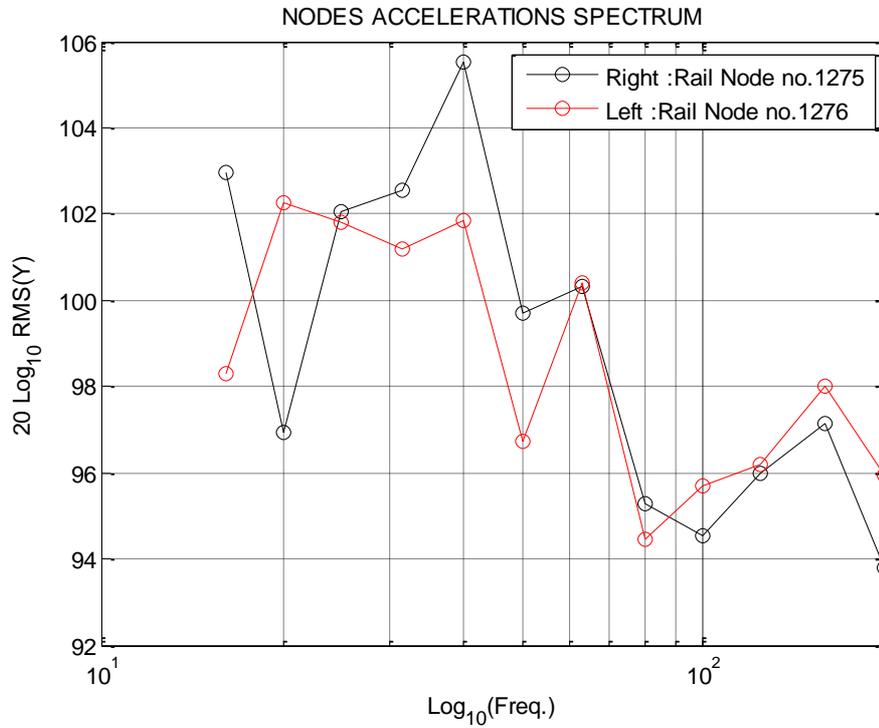


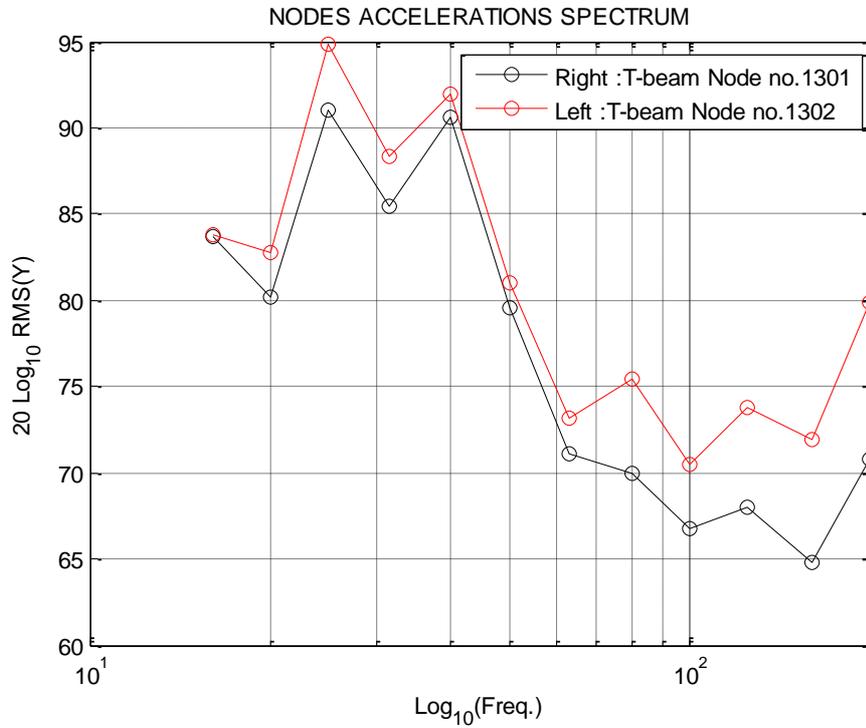
Locomotiva RFI 2:



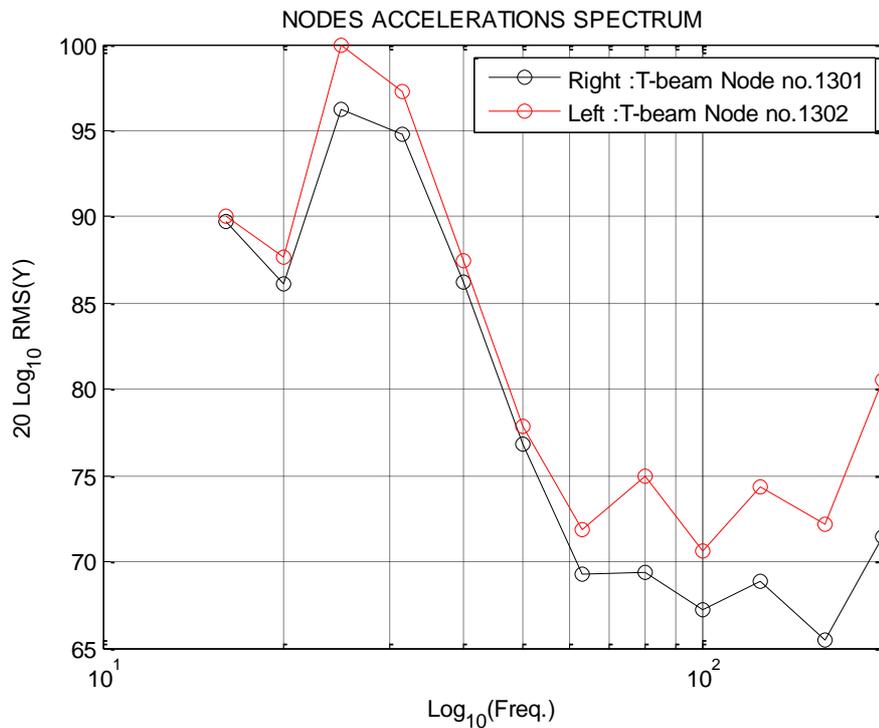
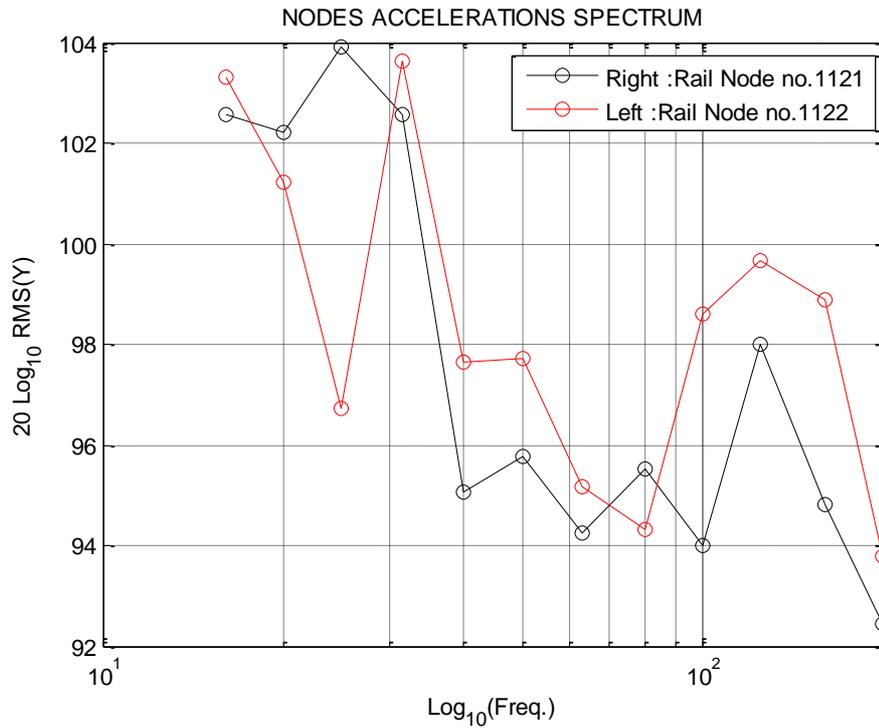


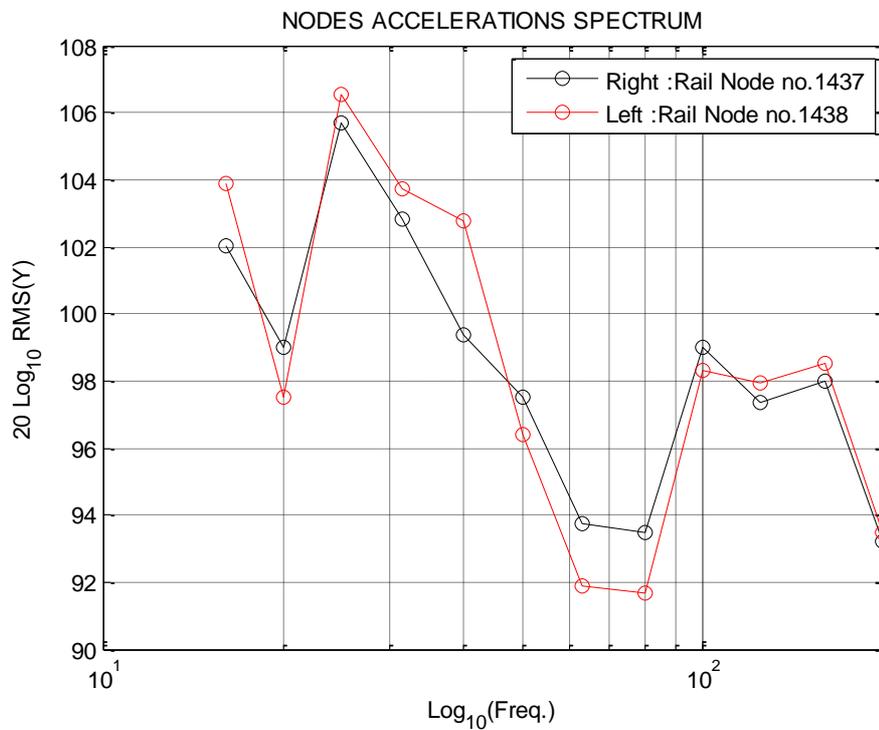
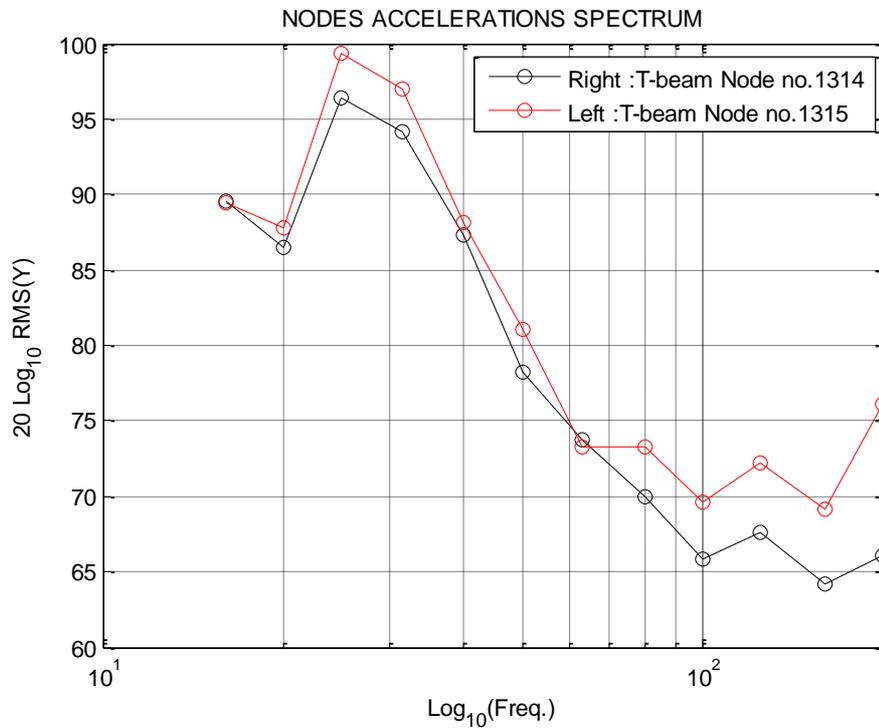
Carrozza RFI 2:





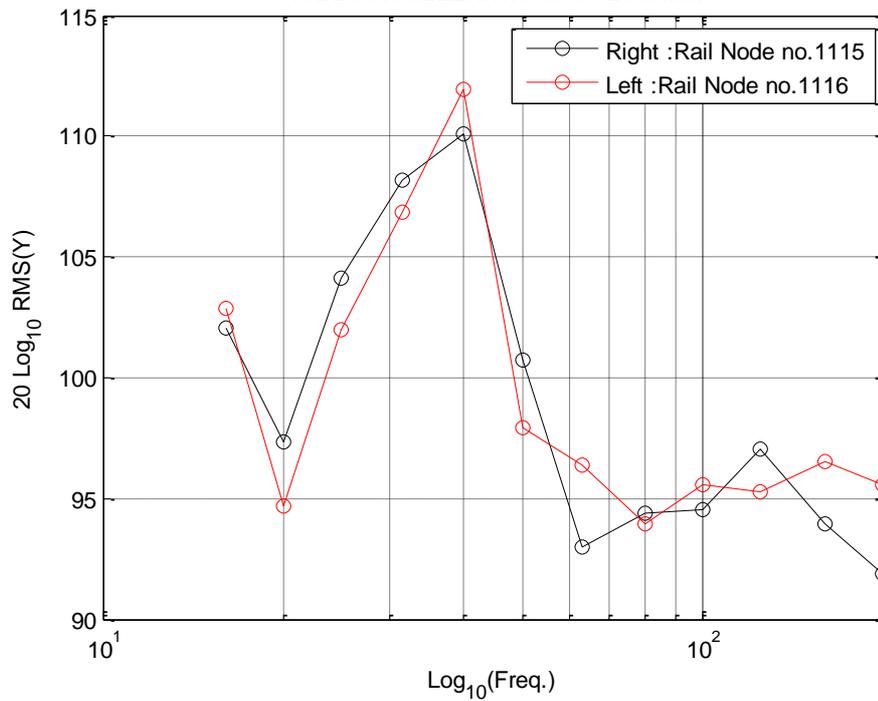
Locomotiva RFI 3 144 km/h:



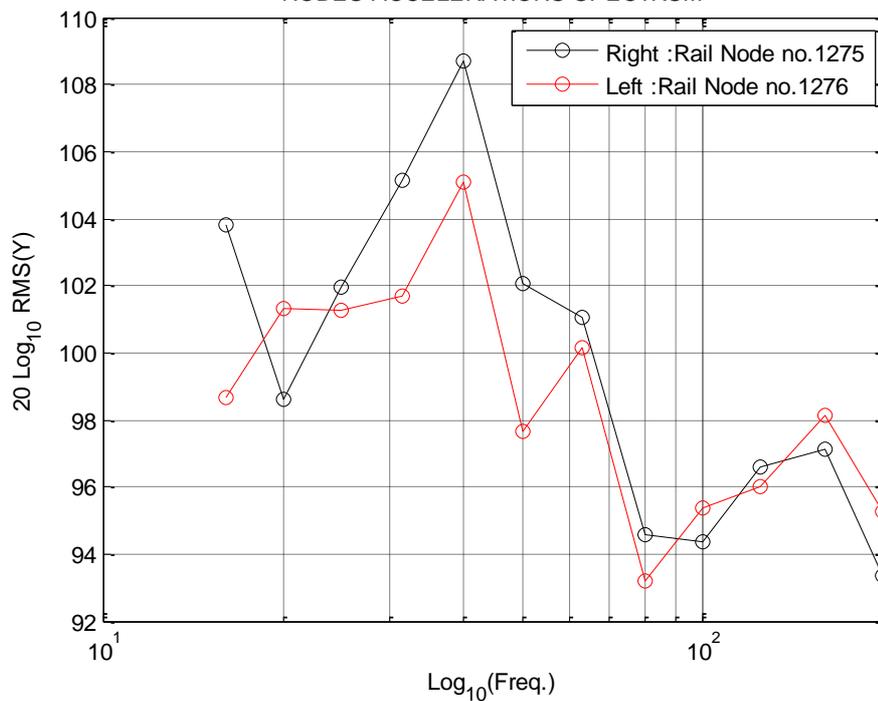


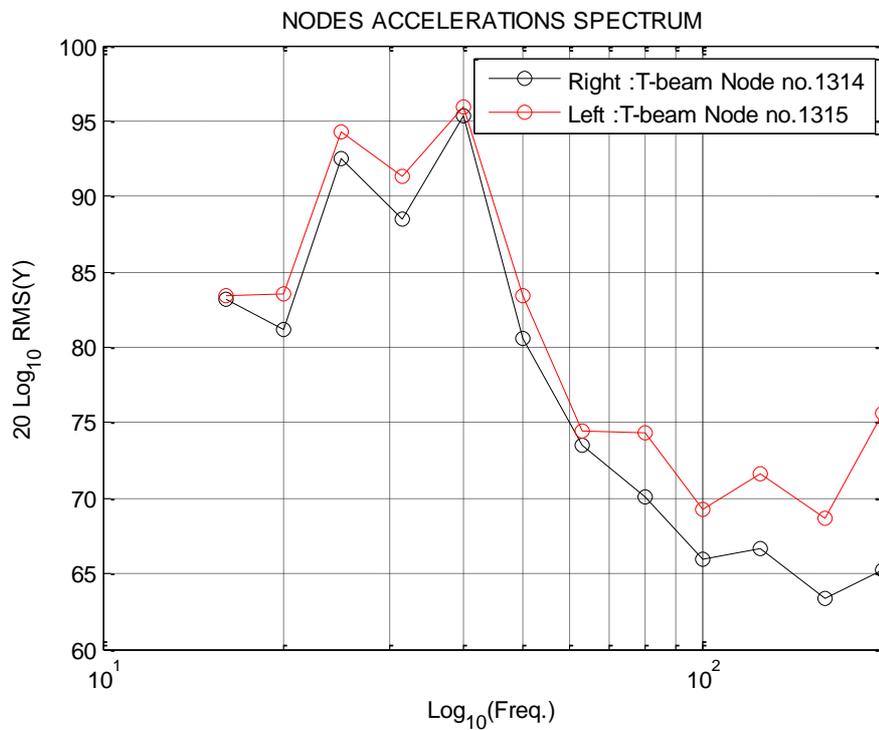
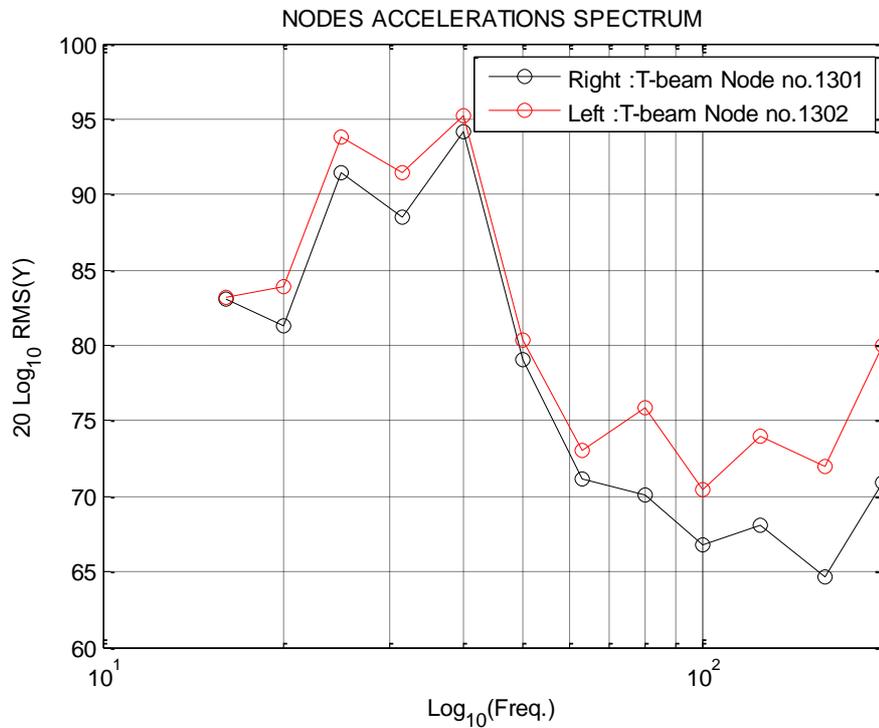
Carrozza MD RFI 3:

NODES ACCELERATIONS SPECTRUM

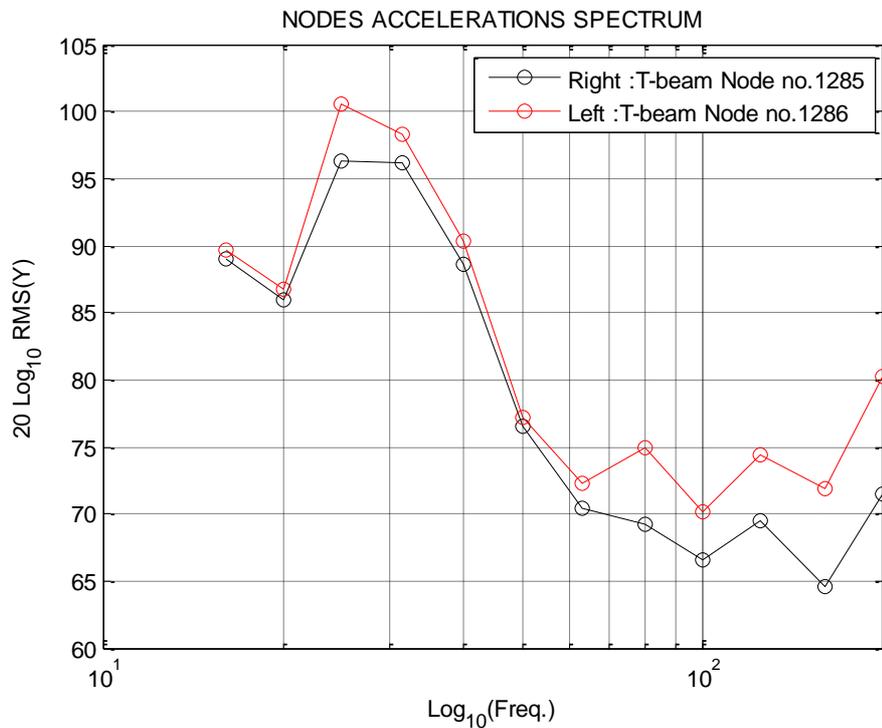
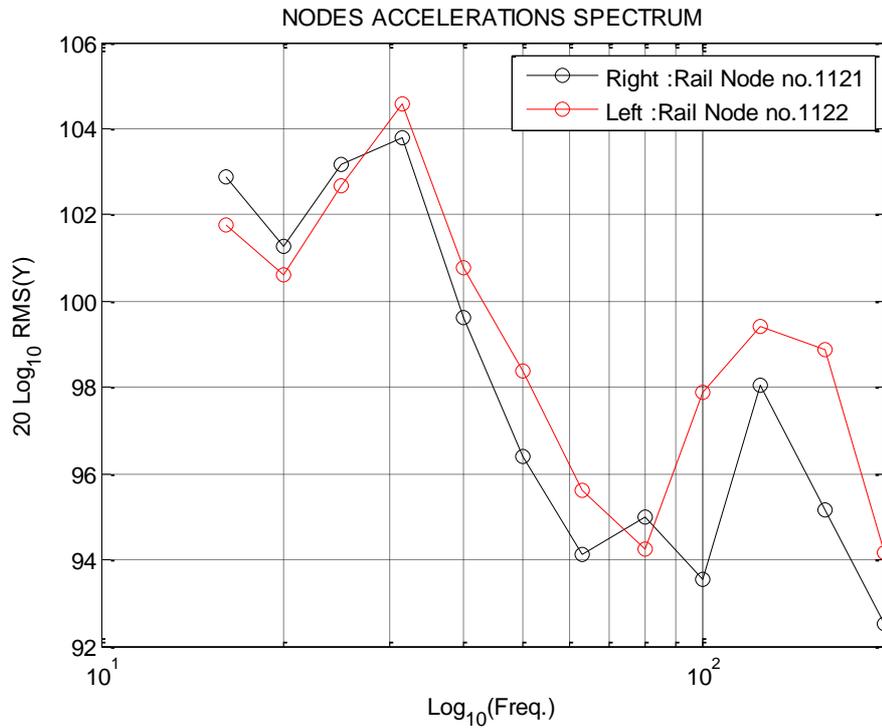


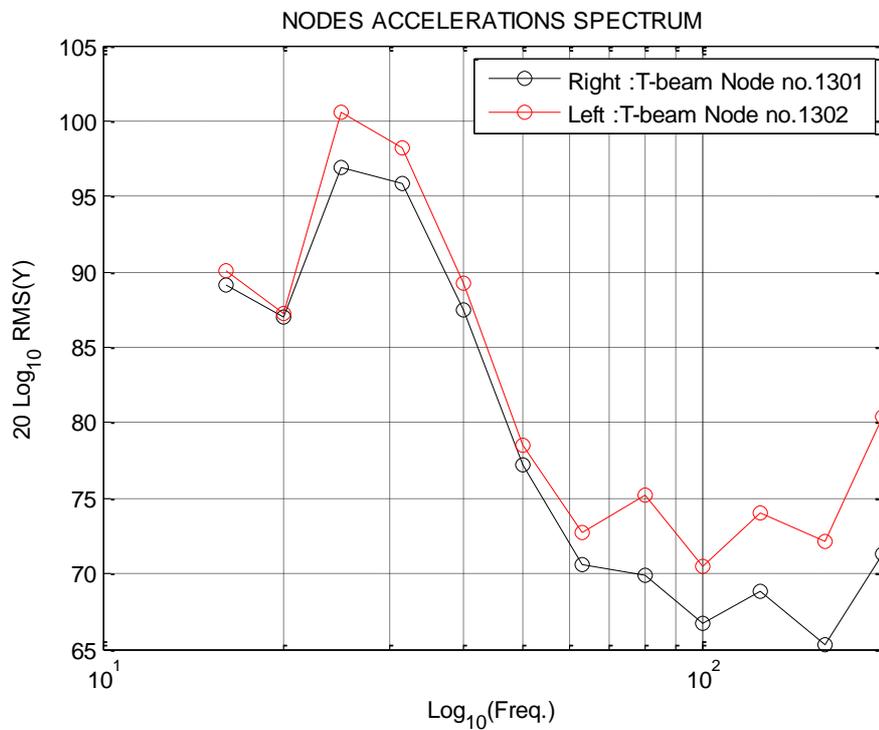
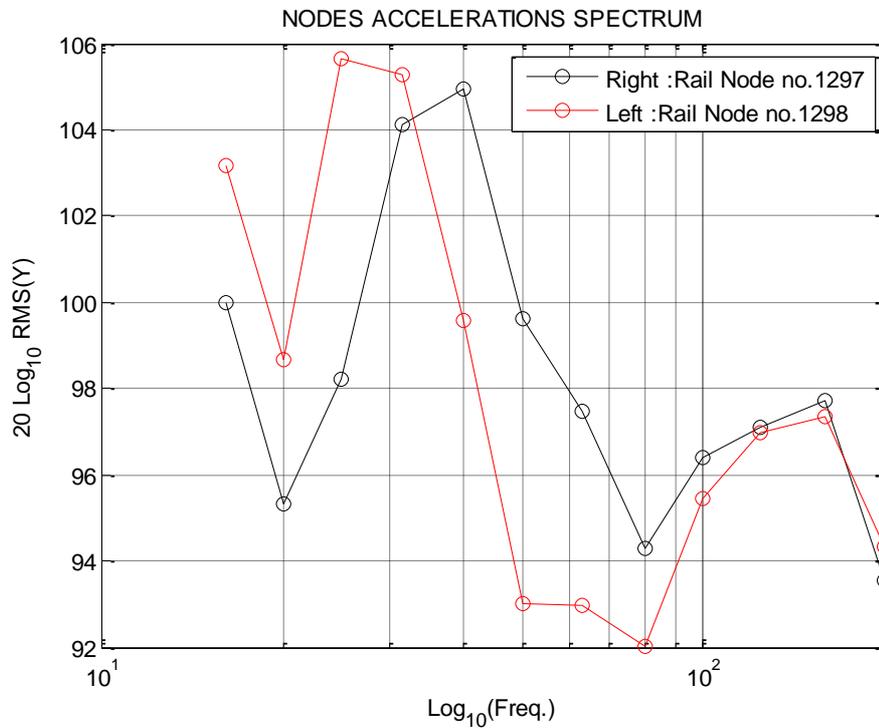
NODES ACCELERATIONS SPECTRUM



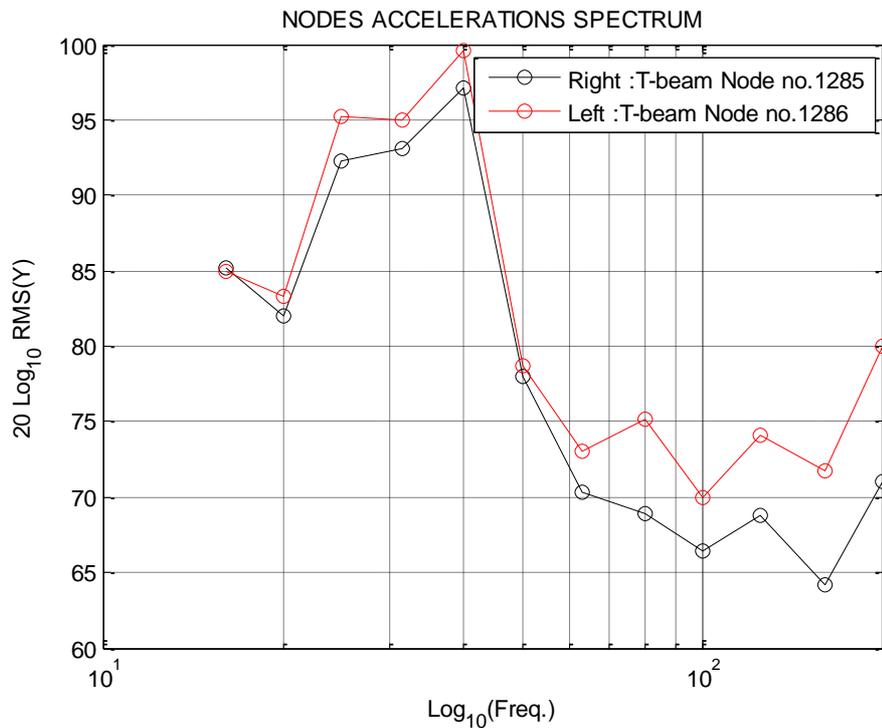
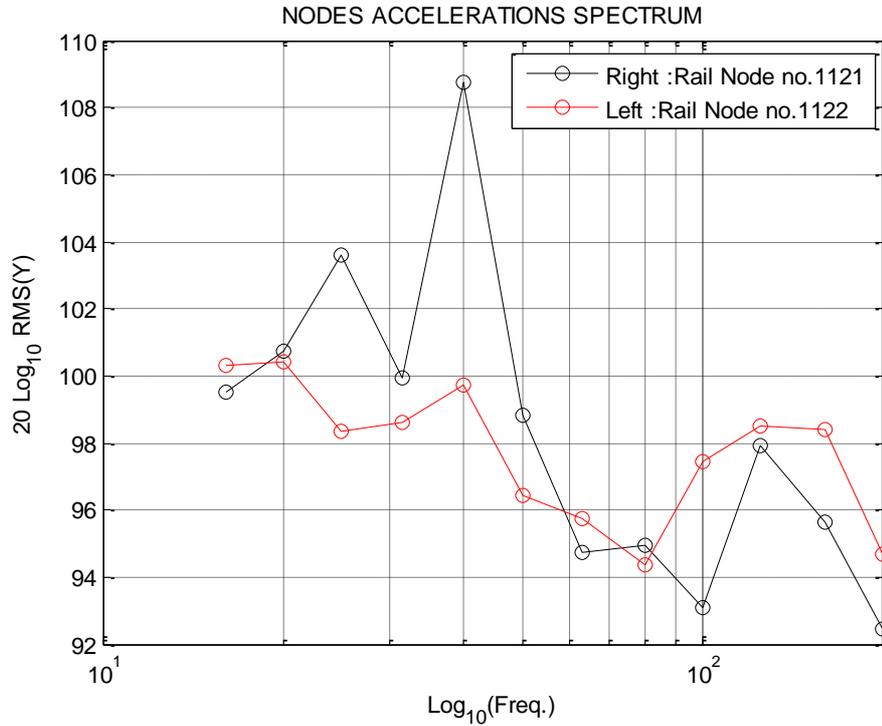


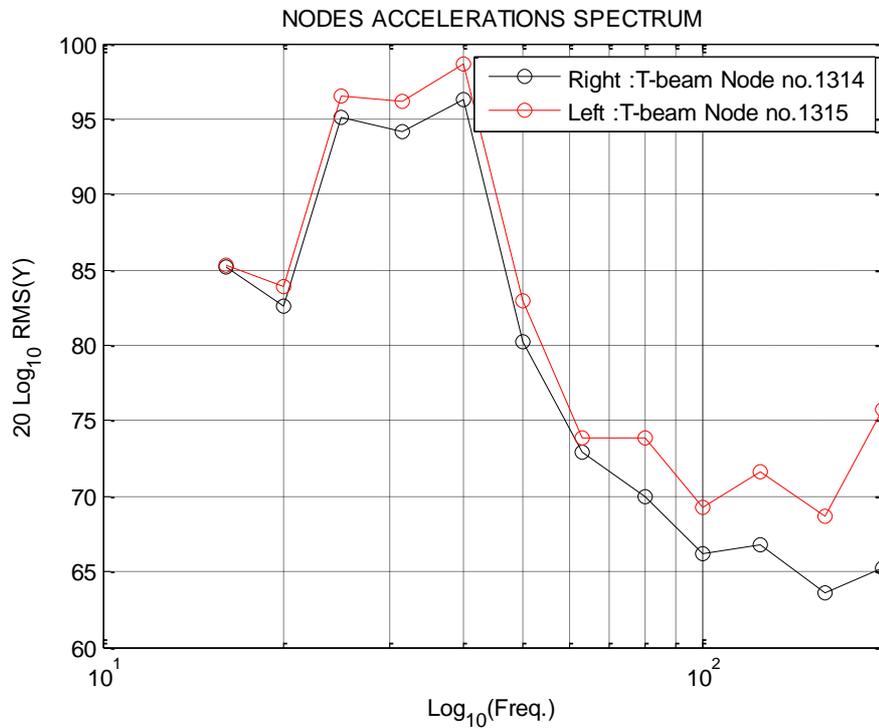
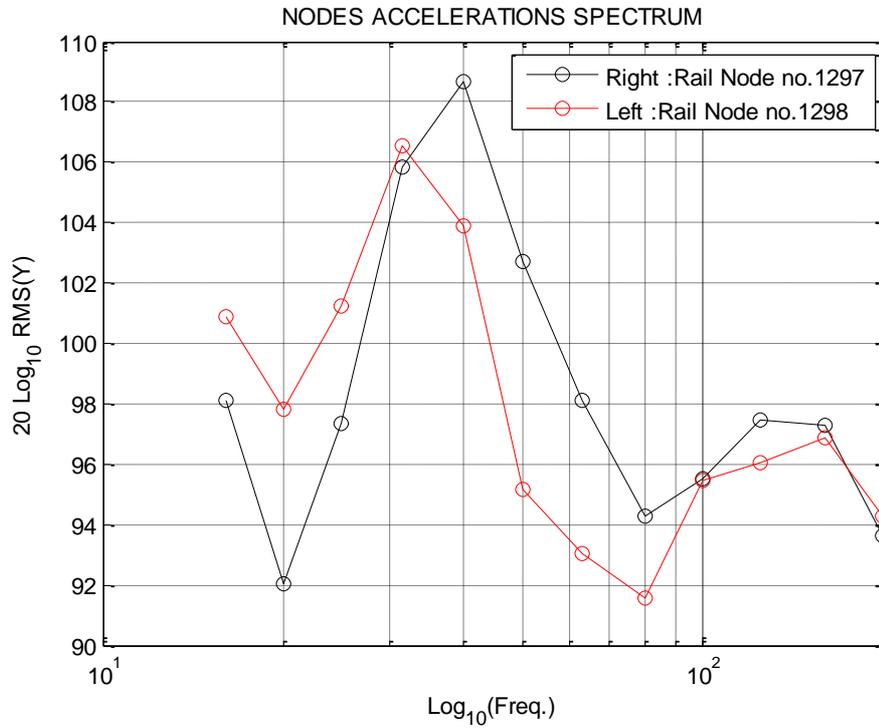
Locomotiva RFI 4:



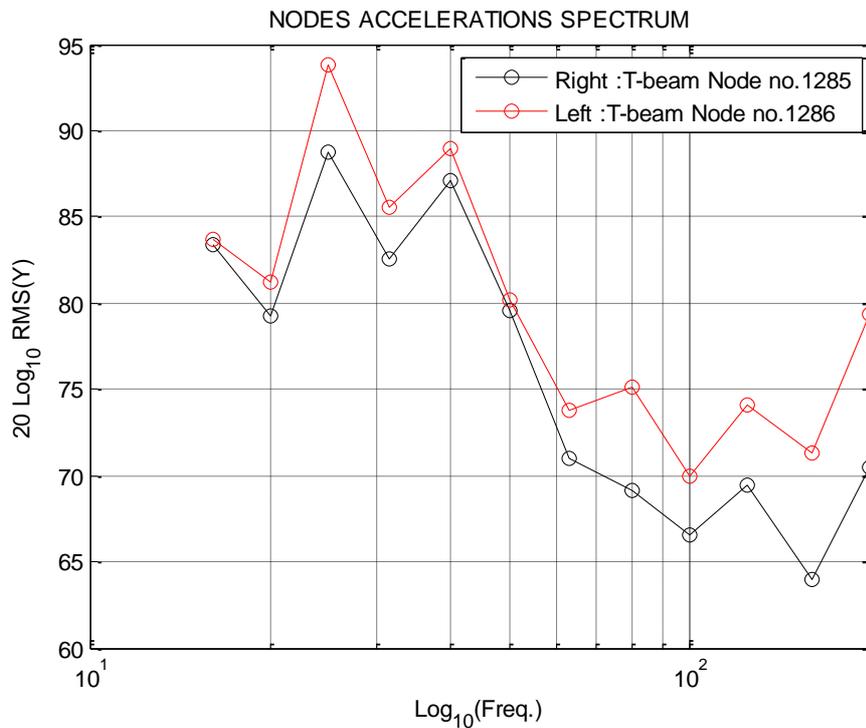
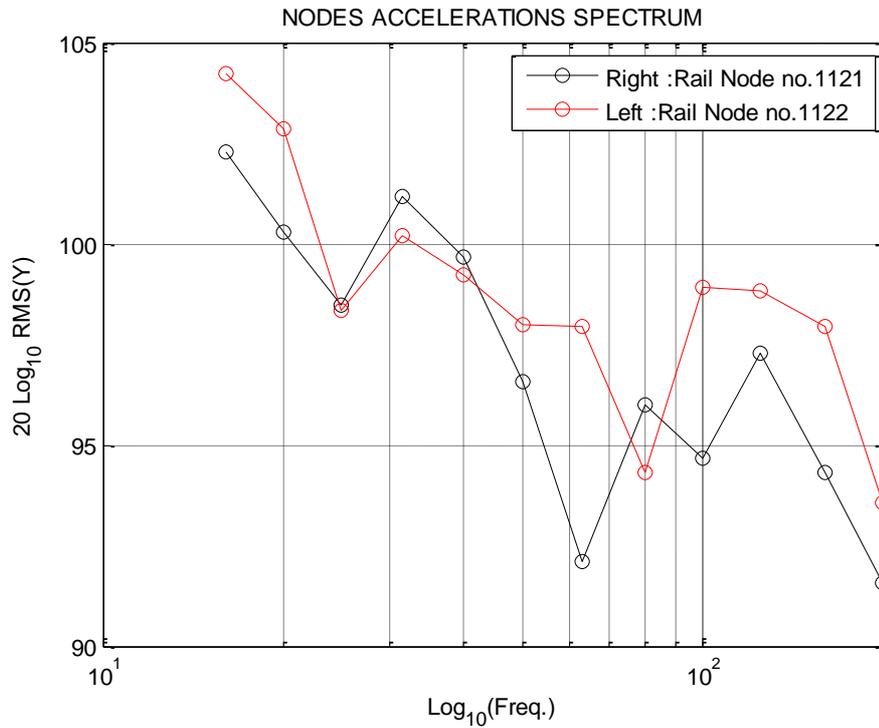


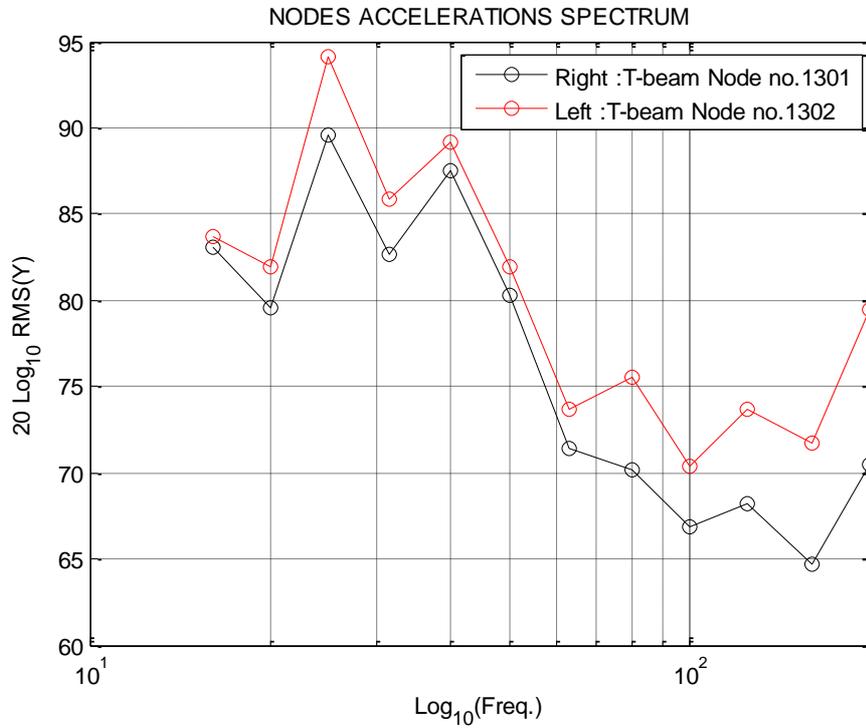
Carrozza RFI 4:



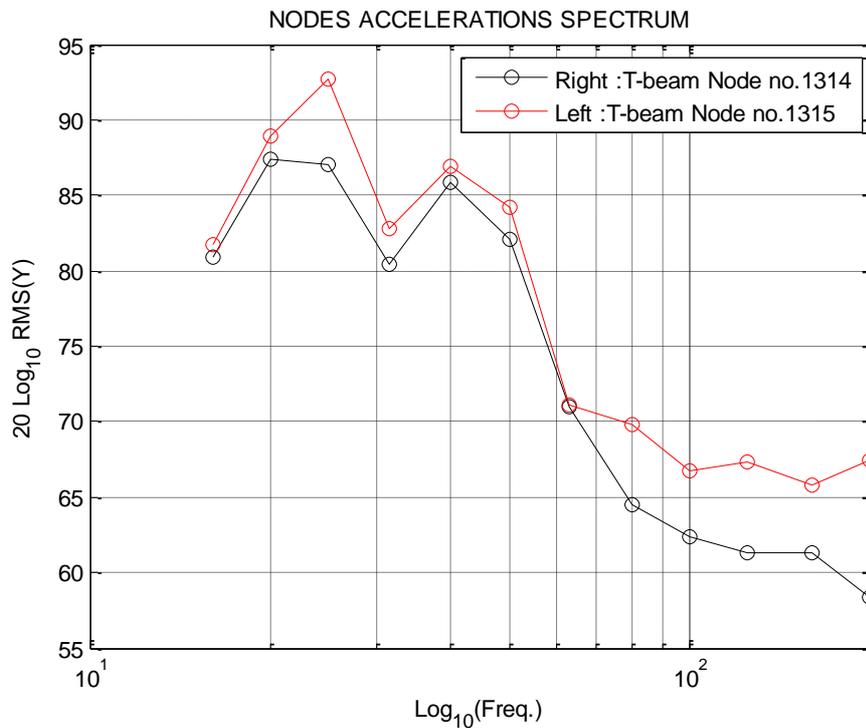
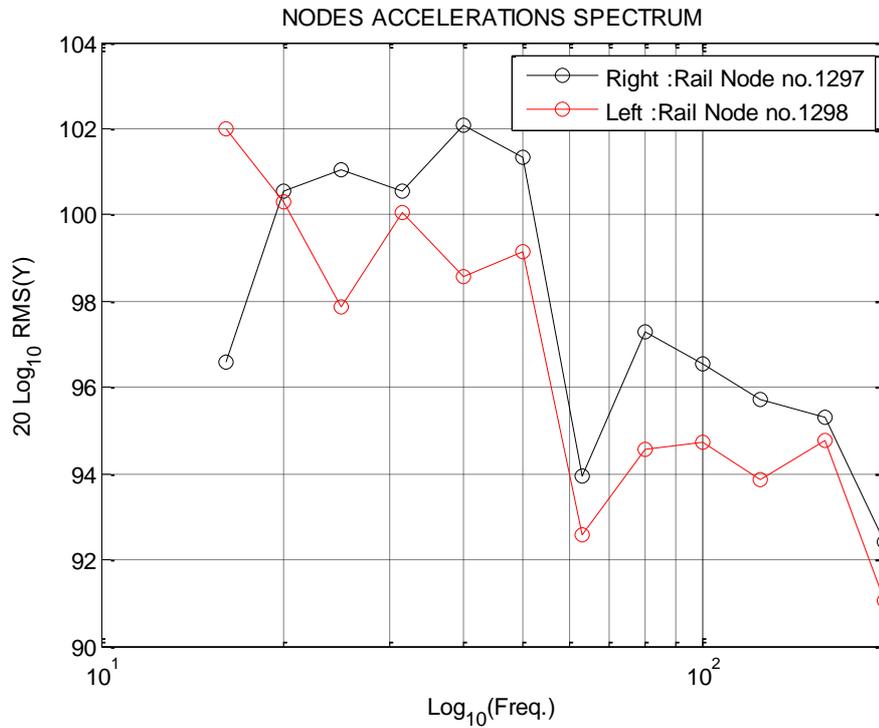


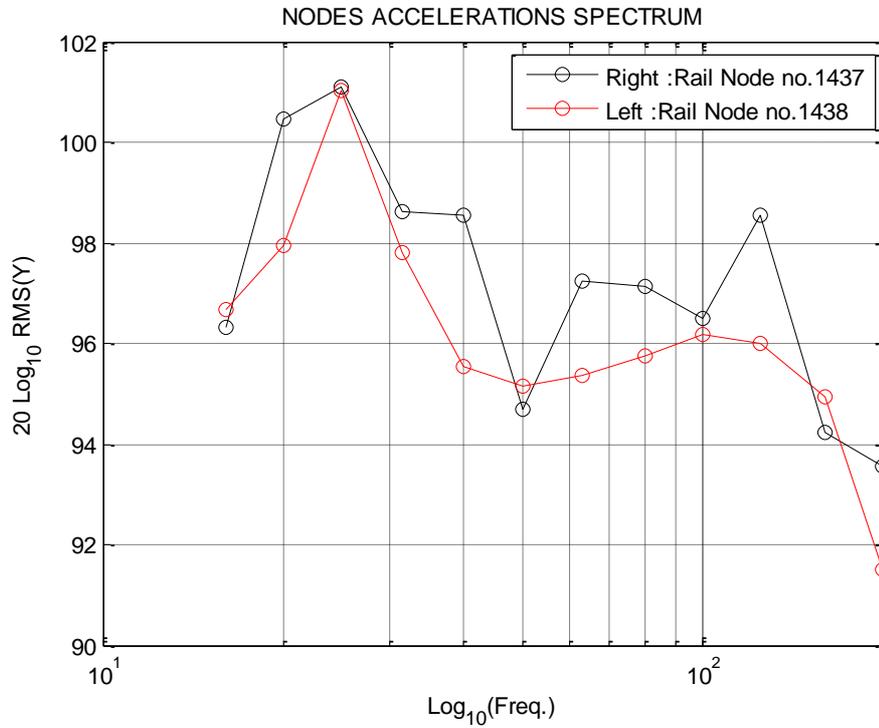
Vagone merci a pieno carico RFI 5:





Vagone merci vuoto RFI 6:





		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

4 Riferimenti

- 1 Stretto di Messina, DT.ISP.F.E.R3.001, "Treni "Reali" Di Riferimento RFI. Caratteristiche Dinamiche Per Le Simulazioni Numeriche"
- 2 Stretto di Messina, GCG.F.04.01 *Basis of Design and Expected Performance Levels for the Bridge.*
- 3 PG 2R B0-001 N03 p1 (GLOBAL MODEL)
- 4 ORE C 138 report 8: "Permissible maximum levels for the Y- and Q-forces and derailment criteria", Utrecht, September 1984
- 5 Esveld, Modern Railway Track, 1989, ISBN 90-800324-1-7.
- 6 Esveld, Interaction between Moving Vehicles and Railway Track at High Speed, REI / Edition 1998, no. 3, 1998.
- 7 Janin, Maintaining track geometry decision making for levelling and lining, French Railway Review, Vol. 1, No. 1, 1983.
- 8 TDC Report 59012B-DC-0201
- 9 Stretto di Messina, DT.ISP.A.E.R1.003, Approfondimento Del Comportamento Aerodinamico E Aeroelastico Del L'impalcato, III Fase, 30 Marzo 2004.
- 10 Esveld, Modern Railway Track 2nd Edition, ISBN 90-800324-3-3
- 11 J.J Kalker, "Computational contact mechanics of the wheel-rail system", Rail Quality and Maintenance for Modern Railway Operation, pp. 151-164
- 12 Shen, Z.Y., Hendrick J.K., Elkins J.A., (1983) "A comparison of alternative creep force models for rail vehicle dynamic analysis", 8th IAVSD Symposium Cambridge, MA
- 13 Diana G., Cheli F., Bruni S., Collina A., Viganò R., Di Bianco R., Traini G., A.D.Tre.S.: a software for bridge runnability analysis - World Congress on Railway Research WCRR'97, Firenze, Italy November 16-19 1997.
- 14 Diana G., Cheli F., Bruni S., Collina A., Modelli matematici per lo studio della interazione veicolo-struttura-armamento - Ingegneria Ferroviaria N. 12, Anno 1995.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00- 02_C_Runability_ITA.doc		<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

- 15** Giorgio Diana, Bruno Pizzigoni, Federico Cheli, Sulla Dinamica dei Veicoli Ferroviari: Carrozza Gran Comfort (Modello a 23 g.d.l.), Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Meccanica.

5 Appendice 1 (Risultati completi IBDAS)

a. Combinazione di carichi SLS1 2 - Assenza di carico termico

Limit	Unit/State	Load combination	Traffic combination case	RFI type	Meeting point	Train speed (km/h)	10 min mean wind speed (m/s)	gust wind speed (m/s)	Location for Basic wind peak ("Onshore part")	Thermal load	Seismic peak ground acc. (m/s ²)	Transverse slope (m)	Change of cam (m/m)	Non compensated lane & acc. (m/s ²)	Roll speed (rad/s)	De-alignment ratio	Overturning ratio incl. wind (1)	Overturning ratio excl. wind (1)	Springing ratio incl. wind (1)	Springing ratio excl. wind (1)	Peak vertical acc. (mm/weight) (1)	Peak vertical acc. (mm/weight) (2)	RM5 vertical acc. (mm/weight) (1)	RM5 vertical acc. (mm/weight) (2)	RM5 vertical acc. (mm/weight) (1)	RM5 vertical acc. (mm/weight) (2)	RM5 vertical acc. (mm/weight) (1)	RM5 vertical acc. (mm/weight) (2)	RM5 vertical acc. (mm/weight) (1)	RM5 vertical acc. (mm/weight) (2)	Vertical peak acc. (mm/weight) (m/s ²)				
SLS1 2	1	1	1			144	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192			0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.84						0.040	0.025		
SLS1 2	2	1	1			120	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192			0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.84						0.040	0.025		
SLS1 2	2	1	2			144	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.009	0.068	0.068	0.119			0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.34	0.84						0.038	0.018		
SLS1 2	2	1	2			120	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.009	0.068	0.068	0.119			0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.34	0.84						0.038	0.018		
SLS1 2	3	1	3			144	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.007	0.100	0.100	0.241			0.61	0.51	1.40	0.87	0.60	0.34	0.84						0.058	0.035		
SLS1 2	3	1	3			120	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.007	0.100	0.100	0.241			0.61	0.51	1.40	0.87	0.60	0.34	0.84						0.058	0.035		
SLS1 2	4	1	4			144	0	0	No	0.0	0.0094	0.0000	0.132	0.003	0.022	0.022	0.195			0.63	0.55	1.84	1.22	0.77	0.51	1.22						0.060	0.043		
SLS1 2	4	1	4			120	0	0	No	0.0	0.0094	0.0000	0.132	0.003	0.022	0.022	0.195			0.70	0.60	1.81	1.07	0.91	0.54	0.97						0.060	0.043		
SLS1 2	5	1	5			144	0	0	No	0.0	0.0201	0.0000	0.281	0.019	0.124	0.124	0.284															0.110	0.043		
SLS1 2	6	1	6			144	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.016	0.092	0.092	0.450														0.040	0.027			
SLS1 2	7	1	1	Middle of bridge		144	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192															0.042	0.026		
SLS1 2	7	1	1	Middle of bridge		120	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192															0.042	0.026		
SLS1 2	7	2	1	Middle of bridge		144	0	0	No	0.0	0.0080	0.0000	0.113	0.006	0.104	0.104	0.189															0.047	0.026		
SLS1 2	7	2	1	Middle of bridge		120	0	0	No	0.0	0.0080	0.0000	0.113	0.006	0.104	0.104	0.189															0.047	0.026		
SLS1 2	7	1	1	S+ tower		144	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192															0.047	0.026		
SLS1 2	7	1	1	S+ tower		120	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192															0.047	0.026		
SLS1 2	7	2	1	S+ tower		144	0	0	No	0.0	0.0064	0.0000	0.090	0.006	0.091	0.091	0.189															0.047	0.026		
SLS1 2	7	2	1	S+ tower		120	0	0	No	0.0	0.0064	0.0000	0.090	0.006	0.091	0.091	0.189															0.047	0.026		
SLS1 2	7	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192															0.047	0.026		
SLS1 2	7	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192															0.047	0.026		
SLS1 2	7	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	No	0.0	0.0064	0.0000	0.090	0.006	0.091	0.091	0.189															0.047	0.026		
SLS1 2	7	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	No	0.0	0.0064	0.0000	0.090	0.006	0.091	0.091	0.189															0.047	0.026		
SLS1 2	7	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	7	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	7	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	7	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	8	1	1	Middle of bridge		144	0	0	No	0.0	0.0098	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192															0.042	0.025		
SLS1 2	8	1	1	Middle of bridge		120	0	0	No	0.0	0.0098	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192															0.042	0.025		
SLS1 2	8	2	1	Middle of bridge		144	0	0	No	0.0	0.0078	0.0000	0.110	0.009	0.083	0.083	0.122															0.052	0.025		
SLS1 2	8	2	1	Middle of bridge		120	0	0	No	0.0	0.0078	0.0000	0.110	0.009	0.083	0.083	0.122															0.052	0.025		
SLS1 2	8	2	2	Middle of bridge		144	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192															0.047	0.025		
SLS1 2	8	2	2	Middle of bridge		120	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192															0.047	0.025		
SLS1 2	8	1	1	S+ tower		144	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192															0.047	0.025		
SLS1 2	8	1	1	S+ tower		120	0	0	No	0.0	0.0095	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192															0.047	0.025		
SLS1 2	8	2	2	S+ tower		144	0	0	No	0.0	0.0064	0.0000	0.087	0.009	0.084	0.084	0.122															0.047	0.025		
SLS1 2	8	2	2	S+ tower		120	0	0	No	0.0	0.0064	0.0000	0.087	0.009	0.084	0.084	0.122															0.047	0.025		
SLS1 2	8	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	8	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	8	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	8	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	8	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	8	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	8	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	8	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	8	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	8	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	8	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	8	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	No	0.0																									
SLS1 2	9	1	1	Middle of bridge		144	0	0	No	0.0	0.0098	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192															0.042	0.031		
SLS1 2	9	1	1	Middle of bridge		120	0	0	No	0.0	0.0098	0.0000	0.134	0.006	0.105	0.105	0.192															0.042	0.031		
SLS1 2	9	2	1	Middle of bridge		144	0	0	No	0.0	0.0080	0.0000	0.113	0.016	0.112	0.112	0.244															0.050	0.031		
SLS1 2	9	2	1	Middle of bridge		120	0	0	No	0.0	0.00																								

Limit	Load combination	Track no.	RPI type	Meeting point	Train speed limit (km/h)	1D min mean wind speed (m/s)	1D max mean wind speed (m/s)	Location for gust wind peak (Chinese bar)	Thermal load	Seismic peak ground acc. (m/s ²)	Transverse slope (‰)	Change of cant (‰/m)	Non-compliance lateral acc. (m/s ²)	Rolling speed (km/h)	Derailment rate acc. lateral acc. (m/s ²)	Derailment rate acc. wind (1)	Overturning rate acc. wind (1)	Spring ride index W1 (unweighted) (1)	Spring ride index W2 (weighted) (1)	Peak vertical acc. (unweighted) (m/s ²)	Peak vertical acc. (weighted) (1)	RMS vertical acc. (unweighted) (m/s ²)	RMS vertical acc. (weighted) (m/s ²)	Resol (base on 2.0 s) RMS coach acc. (m/s ²)	Vertical peak acc. trackbed (unweighted) (m/s ²)	Vertical peak acc. trackbed (weighted) (m/s ²)		
						0.08	0.0025	0.6	0.033	0.8	0.8	0.9	2.2	2.2	2.00	2.00	0.75	0.75	0.25	0.70	0.70							
SLS1	2	23	1	4	Middle of bridge	144	0	0	No	0.0	0.0125	0.0001	0.175	0.003	0.024	0.024	0.194								0.105	0.043		
SLS1	2	23	1	4	S+ tower	144	0	0	No	0.0	0.0011	0.0001	0.140	0.016	0.108	0.108	0.299									0.113	0.043	
SLS1	2	23	1	4	S+ expansion joint	144	0	0	No	0.0	0.0011	0.0001	0.105	0.015	0.107	0.107	0.299										0.108	0.043
SLS1	2	23	1	4	Middle of bridge	120	0	0	No	0.0								0.69	0.50	1.81	1.06	0.91	0.54	0.97				
SLS1	2	23	1	4	S+ expansion joint	120	0	0	No	0.0								0.64	0.55	1.81	1.06	0.91	0.54	0.97				
SLS1	2	24	1	4	Middle of bridge	144	0	0	No	0.0	0.0093	0.0000	0.130	0.003	0.022	0.022	0.194									0.060	0.043	
SLS1	2	24	1	4	S+ tower	144	0	0	No	0.0	0.0094	0.0000	0.132	0.003	0.023	0.023	0.195									0.060	0.043	
SLS1	2	24	1	4	S+ expansion joint	144	0	0	No	0.0	0.0065	0.0000	0.091	0.016	0.113	0.113	0.432									0.060	0.043	
SLS1	2	24	1	4	Middle of bridge	120	0	0	No	0.0								0.60	0.59	1.81	1.06	0.91	0.54	0.97				
SLS1	2	24	1	4	S+ tower	120	0	0	No	0.0								0.64	0.55	1.81	1.06	0.91	0.54	0.97				
SLS1	2	24	1	4	S+ expansion joint	120	0	0	No	0.0								0.64	0.55	1.81	1.06	0.91	0.54	0.97				
SLS1	2	25	1	5	Middle of bridge	144	0	0	No	0.0	0.0238	0.0001	0.333	0.018	0.138	0.138	0.284									0.132	0.050	
SLS1	2	25	1	5	S+ tower	144	0	0	No	0.0	0.0119	0.0001	0.166	0.015	0.102	0.102	0.299									0.109	0.043	
SLS1	2	25	1	5	S+ expansion joint	144	0	0	No	0.0	0.0201	0.0001	0.281	0.015	0.118	0.118	0.284									0.157	0.060	
SLS1	2	25	1	5	Middle of bridge	144	0	0	No	0.0	0.0063	0.0001	0.105	0.016	0.107	0.107	0.299									0.185	0.072	
SLS1	2	25	1	5	S+ tower	144	0	0	No	0.0	0.0045	0.0001	0.107	0.017	0.117	0.117	0.299									0.109	0.043	
SLS1	2	25	1	5	S+ expansion joint	144	0	0	No	0.0	0.0201	0.0001	0.281	0.015	0.118	0.118	0.284									0.116	0.048	
SLS1	2	26	1	5	Middle of bridge	144	0	0	No	0.0	0.0078	0.0001	0.109	0.016	0.113	0.113	0.432									0.112	0.046	
SLS1	2	26	1	5	S+ tower	144	0	0	No	0.0	0.0201	0.0001	0.281	0.015	0.118	0.118	0.284									0.112	0.046	
SLS1	2	26	1	5	S+ expansion joint	144	0	0	No	0.0	0.0065	0.0001	0.091	0.016	0.113	0.113	0.432									0.044	0.027	
SLS1	2	27	1	6	Middle of bridge	144	0	0	No	0.0	0.0085	0.0000	0.119	0.016	0.111	0.111	0.432									0.044	0.027	
SLS1	2	27	1	6	S+ tower	144	0	0	No	0.0	0.0099	0.0000	0.138	0.016	0.097	0.097	0.451									0.044	0.027	
SLS1	2	27	1	6	Middle of bridge	144	0	0	No	0.0	0.0065	0.0000	0.091	0.016	0.113	0.113	0.432									0.057	0.028	
SLS1	2	27	1	6	S+ tower	144	0	0	No	0.0	0.0099	0.0001	0.138	0.016	0.097	0.097	0.451									0.057	0.028	
SLS1	2	27	1	6	Middle of bridge	144	0	0	No	0.0	0.0046	0.0001	0.065	0.006	0.043	0.043	0.069											

b. Combinazione di carichi SLS1 2 - Carico termico

Limit	Unit state	Load combination	Train combination case	Track no.	RPI type	Meeting point	Train speed (km/h)	10 min mean wind speed (m/s)	Grd. wind speed (m/s)	Location for gust wind peak (Chiave km?)	Thermal load	Seasonal peak ground acc. (m/s ²)	Transverse slope (‰)	Change of cant (‰)	Non-combusted (area acc. (m ² /s ²))	Ballasted (m ² /s ²)	Derailment ratio incl. wind [1]	Derailment ratio excl. wind [1]	Overturning ratio incl. wind [1]	Springing ratio incl. wind [1]	Springing ratio incl. W1 (unweighted) [1]	Peak vertical acc. (unweighted) [m/s ²]	Peak vertical acc. (weighted) [m/s ²]	RMS vertical acc. (D-D*) (unweighted) [m/s ²]	RMS vertical acc. (D-D*) (weighted) [m/s ²]	Recoil (based on D*) - RMS coach acc. (unweighted) [m/s ²]	Recoil (based on D*) - RMS coach acc. (weighted) [m/s ²]	Vertical peak acc. (unweighted) [m/s ²]	Vertical peak acc. (weighted) [m/s ²]
SLS1	2	1	1	1			144	0	0	Yes	0.0	0.0095	0.0001	0.134	0.005	0.081	0.081	0.192	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.040	0.026		
SLS1	2	1	1	1			120	0	0	Yes	0.0	0.0095	0.0001	0.134	0.005	0.081	0.081	0.192	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.040	0.026		
SLS1	2	2	1	2			144	0	0	Yes	0.0	0.0098	0.0001	0.138	0.007	0.053	0.053	0.119	0.61	0.52	1.40	0.87	0.60	0.34	0.86	0.038	0.018		
SLS1	2	2	1	2			120	0	0	Yes	0.0	0.0098	0.0001	0.138	0.007	0.053	0.053	0.119	0.61	0.52	1.40	0.87	0.60	0.34	0.86	0.038	0.018		
SLS1	2	3	1	3			144	0	0	Yes	0.0	0.0099	0.0001	0.139	0.012	0.075	0.075	0.241	0.63	0.55	1.84	1.23	0.74	0.49	1.22	0.050	0.033		
SLS1	2	3	1	3			120	0	0	Yes	0.0	0.0099	0.0001	0.139	0.012	0.075	0.075	0.241	0.63	0.55	1.84	1.23	0.74	0.49	1.22	0.050	0.033		
SLS1	2	4	1	4			144	0	0	Yes	0.0	0.0094	0.0001	0.132	0.002	0.018	0.018	0.195	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.34	0.83	0.040	0.026		
SLS1	2	4	1	4			120	0	0	Yes	0.0	0.0094	0.0001	0.132	0.002	0.018	0.018	0.195	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.34	0.83	0.040	0.026		
SLS1	2	5	1	5			144	0	0	Yes	0.0	0.0201	0.0001	0.283	0.022	0.136	0.136	0.284	0.76	0.66	1.79	1.05	0.90	0.52	0.95	0.111	0.044		
SLS1	2	5	1	5			120	0	0	Yes	0.0	0.0201	0.0001	0.283	0.022	0.136	0.136	0.284	0.76	0.66	1.79	1.05	0.90	0.52	0.95	0.111	0.044		
SLS1	2	6	1	6			144	0	0	Yes	0.0	0.0099	0.0001	0.139	0.012	0.074	0.074	0.450	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.040	0.026		
SLS1	2	6	1	6			120	0	0	Yes	0.0	0.0099	0.0001	0.139	0.012	0.074	0.074	0.450	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.040	0.026		
SLS1	2	7	1	1	Middle of bridge		144	0	0	Yes	0.0	0.0095	0.0001	0.134	0.005	0.080	0.080	0.192	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.040	0.026		
SLS1	2	7	1	1	Middle of bridge		120	0	0	Yes	0.0	0.0095	0.0001	0.134	0.005	0.080	0.080	0.192	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.040	0.026		
SLS1	2	7	1	1	S+ tower		144	0	0	Yes	0.0	0.0095	0.0001	0.134	0.005	0.080	0.080	0.192	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.040	0.026		
SLS1	2	7	1	1	S+ tower		120	0	0	Yes	0.0	0.0095	0.0001	0.134	0.005	0.080	0.080	0.192	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.040	0.026		
SLS1	2	7	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	Yes	0.0	0.0095	0.0001	0.134	0.005	0.080	0.080	0.192	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.040	0.026		
SLS1	2	7	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	Yes	0.0	0.0095	0.0001	0.134	0.005	0.080	0.080	0.192	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.040	0.026		
SLS1	2	7	1	1	Middle of bridge		120	0	0	Yes	0.0	0.0064	0.0001	0.090	0.005	0.070	0.070	0.189	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.34	1.12	0.047	0.026		
SLS1	2	7	1	1	Middle of bridge		144	0	0	Yes	0.0	0.0064	0.0001	0.090	0.005	0.070	0.070	0.189	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.34	1.12	0.047	0.026		
SLS1	2	7	1	1	S+ tower		120	0	0	Yes	0.0	0.0064	0.0001	0.090	0.005	0.070	0.070	0.189	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.34	1.12	0.047	0.026		
SLS1	2	7	1	1	S+ tower		144	0	0	Yes	0.0	0.0064	0.0001	0.090	0.005	0.070	0.070	0.189	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.34	1.12	0.047	0.026		
SLS1	2	7	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	Yes	0.0	0.0064	0.0001	0.090	0.005	0.070	0.070	0.189	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.34	1.12	0.047	0.026		
SLS1	2	7	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	Yes	0.0	0.0064	0.0001	0.090	0.005	0.070	0.070	0.189	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.34	1.12	0.047	0.026		
SLS1	2	8	1	1	Middle of bridge		144	0	0	Yes	0.0	0.0096	0.0001	0.135	0.005	0.081	0.081	0.191	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.042	0.026		
SLS1	2	8	1	1	Middle of bridge		120	0	0	Yes	0.0	0.0096	0.0001	0.135	0.005	0.081	0.081	0.191	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.042	0.026		
SLS1	2	8	1	1	S+ tower		144	0	0	Yes	0.0	0.0096	0.0001	0.135	0.005	0.081	0.081	0.191	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.042	0.026		
SLS1	2	8	1	1	S+ tower		120	0	0	Yes	0.0	0.0096	0.0001	0.135	0.005	0.081	0.081	0.191	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.042	0.026		
SLS1	2	8	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	Yes	0.0	0.0096	0.0001	0.135	0.005	0.081	0.081	0.191	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.042	0.026		
SLS1	2	8	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	Yes	0.0	0.0096	0.0001	0.135	0.005	0.081	0.081	0.191	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.042	0.026		
SLS1	2	8	1	1	Middle of bridge		120	0	0	Yes	0.0	0.0062	0.0001	0.087	0.007	0.059	0.059	0.120	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.048	0.026		
SLS1	2	8	1	1	Middle of bridge		144	0	0	Yes	0.0	0.0062	0.0001	0.087	0.007	0.059	0.059	0.120	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.048	0.026		
SLS1	2	8	1	1	S+ tower		120	0	0	Yes	0.0	0.0062	0.0001	0.087	0.007	0.059	0.059	0.120	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.048	0.026		
SLS1	2	8	1	1	S+ tower		144	0	0	Yes	0.0	0.0062	0.0001	0.087	0.007	0.059	0.059	0.120	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.048	0.026		
SLS1	2	8	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	Yes	0.0	0.0062	0.0001	0.087	0.007	0.059	0.059	0.120	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.048	0.026		
SLS1	2	8	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	Yes	0.0	0.0062	0.0001	0.087	0.007	0.059	0.059	0.120	0.56	0.47	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.048	0.026		
SLS1	2	9	1	1	Middle of bridge		144	0	0	Yes	0.0	0.0096	0.0001	0.134	0.005	0.081	0.081	0.192	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.047	0.031		
SLS1	2	9	1	1	Middle of bridge		120	0	0	Yes	0.0	0.0096	0.0001	0.134	0.005	0.081	0.081	0.192	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.047	0.031		
SLS1	2	9	1	1	S+ tower		144	0	0	Yes	0.0	0.0096	0.0001	0.134	0.005	0.081	0.081	0.192	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.047	0.031		
SLS1	2	9	1	1	S+ tower		120	0	0	Yes	0.0	0.0096	0.0001	0.134	0.005	0.081	0.081	0.192	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.047	0.031		
SLS1	2	9	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	Yes	0.0	0.0096	0.0001	0.134	0.005	0.081	0.081	0.192	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.047	0.031		
SLS1	2	9	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	Yes	0.0	0.0096	0.0001	0.134	0.005	0.081	0.081	0.192	0.61	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.047	0.031		
SLS1	2	9	1	1	Middle of bridge		120	0	0	Yes	0.0	0.0064	0.0001	0.089	0.012	0.086	0.086	0.244	0.60	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.047	0.031		
SLS1	2	9	1	1	Middle of bridge		144	0	0	Yes	0.0	0.0064	0.0001	0.089	0.012	0.086	0.086	0.244	0.60	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.047	0.031		
SLS1	2	9	1	1	S+ tower		120	0	0	Yes	0.0	0.0064	0.0001	0.089	0.012	0.086	0.086	0.244	0.60	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.047	0.031		
SLS1	2	9	1	1	S+ tower		144	0	0	Yes	0.0	0.0064	0.0001	0.089	0.012	0.086	0.086	0.244	0.60	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.047	0.031		
SLS1	2	9	1	1	S+ expansion joint		120	0	0	Yes	0.0	0.0064	0.0001	0.089	0.012	0.086	0.086	0.244	0.60	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.047	0.031		
SLS1	2	9	1	1	S+ expansion joint		144	0	0	Yes	0.0	0.0064	0.0001	0.089	0.012	0.086	0.086	0.244	0.60	0.51	1.37	0.84	0.60	0.33	0.83	0.047	0.031		
SLS1	2	10	1	1	Middle of bridge		144	0	0	Yes	0.0	0.0095																	

Limit	Load combination	Train combination case	Track no.	RPI type	Meeting point	Train speed (km/h)	10 min mean wind speed (m/s)	Gust wind speed (10 min wind) (m/s)	Location for gust wind peak ("Choose 'bar'")	Thermal load	Seismic peak ground acc. (m/s ²)	Transverse slope (m/m)	Change of slope (m/m)	Non-compensated lateral acc. (m/s ²)	Roll speed (m/s)	Derailment rate acc. (m/s ²)	Derailment rate acc. wind (1)	Overturning rate acc. wind (1)	Spalling rate acc. wind (1)	Spalling rate acc. wind (2)	Peak vertical acc. (m/s ²)	Peak vertical acc. (m/s ²)	RMS vertical acc. (m/s ²)	RMS vertical acc. (m/s ²)	Roll (based on 2.0 s) (m/s ²)	Vertical peak acc. (m/s ²)	Vertical peak acc. (m/s ²)				
SLS1	2	14	1	2	Middle of bridge	144	0	0	Yes	0.0	0.0099	0.0001	0.139	0.007	0.050	0.050	0.121										0.051	0.031			
SLS1	2	14	2	3		144	0	0	Yes	0.0	0.0081	0.0000	0.117	0.012	0.086	0.086	0.244											0.049	0.031		
SLS1	2	14	1	2	S+ tower	144	0	0	Yes	0.0	0.0098	0.0001	0.138	0.007	0.051	0.051	0.121														
SLS1	2	14	2	3	S+ expansion joint	144	0	0	Yes	0.0	0.0098	0.0001	0.138	0.007	0.051	0.051	0.121											0.049	0.031		
SLS1	2	14	1	2	Middle of bridge	120	0	0	Yes	0.0	0.0064	0.0001	0.089	0.012	0.086	0.086	0.244														
SLS1	2	14	2	3	S+ tower	120	0	0	Yes	0.0												0.60	0.51	1.40	0.87	0.60	0.34	0.86			
SLS1	2	14	1	2	S+ expansion joint	120	0	0	Yes	0.0												0.63	0.55	1.83	1.23	0.74	0.49	2.11			
SLS1	2	14	2	3		120	0	0	Yes	0.0												0.56	0.47	1.40	0.87	0.60	0.34	0.86			
SLS1	2	14	1	2	S+ tower	120	0	0	Yes	0.0												0.58	0.51	1.82	1.23	0.74	0.49	2.11			
SLS1	2	14	2	3	S+ expansion joint	120	0	0	Yes	0.0												0.55	0.47	1.40	0.87	0.60	0.34	0.86			
SLS1	2	14	1	2	Middle of bridge	144	0	0	Yes	0.0	0.0099	0.0001	0.138	0.007	0.052	0.052	0.121				0.58	0.51	1.82	1.23	0.74	0.49	2.11				
SLS1	2	15	2	4	Middle of bridge	144	0	0	Yes	0.0	0.0084	0.0000	0.117	0.002	0.020	0.020	0.209											0.091	0.042		
SLS1	2	15	1	2	S+ tower	144	0	0	Yes	0.0	0.0098	0.0001	0.138	0.007	0.051	0.051	0.121											0.061	0.042		
SLS1	2	15	2	4	S+ expansion joint	144	0	0	Yes	0.0	0.0065	0.0001	0.091	0.002	0.020	0.020	0.209											0.064	0.042		
SLS1	2	15	1	2	Middle of bridge	120	0	0	Yes	0.0	0.0098	0.0001	0.138	0.007	0.051	0.051	0.121														
SLS1	2	15	2	4	S+ tower	120	0	0	Yes	0.0	0.0065	0.0001	0.091	0.002	0.020	0.020	0.209														
SLS1	2	15	1	2	S+ expansion joint	120	0	0	Yes	0.0												0.61	0.52	1.40	0.87	0.60	0.34	0.86			
SLS1	2	15	2	4		120	0	0	Yes	0.0												0.70	0.60	1.79	1.08	0.90	0.54	1.27			
SLS1	2	15	1	2	S+ tower	120	0	0	Yes	0.0												0.56	0.48	1.40	0.87	0.60	0.34	0.86			
SLS1	2	15	2	4	S+ expansion joint	120	0	0	Yes	0.0												0.64	0.55	1.79	1.08	0.90	0.54	1.27			
SLS1	2	15	1	2	Middle of bridge	144	0	0	Yes	0.0												0.56	0.47	1.40	0.87	0.60	0.34	0.86			
SLS1	2	15	2	4	S+ tower	144	0	0	Yes	0.0												0.64	0.55	1.79	1.08	0.90	0.54	1.27			
SLS1	2	16	1	2	Middle of bridge	144	0	0	Yes	0.0	0.0131	0.0001	0.184	0.009	0.053	0.053	0.119											0.107	0.041		
SLS1	2	16	2	5	S+ tower	144	0	0	Yes	0.0	0.0017	0.0001	0.112	0.013	0.083	0.083	0.300														
SLS1	2	16	1	2	S+ expansion joint	144	0	0	Yes	0.0	0.0098	0.0001	0.138	0.007	0.048	0.048	0.120												0.108	0.041	
SLS1	2	16	2	5		144	0	0	Yes	0.0	0.0013	0.0001	0.105	0.012	0.081	0.081	0.300														
SLS1	2	16	1	2	S+ expansion joint	144	0	0	Yes	0.0	0.0098	0.0001	0.138	0.007	0.048	0.048	0.120												0.118	0.044	
SLS1	2	16	2	5		144	0	0	Yes	0.0	0.0009	0.0001	0.105	0.012	0.081	0.081	0.300														
SLS1	2	16	1	2	Middle of bridge	120	0	0	Yes	0.0												0.60	0.51	1.40	0.87	0.60	0.34	0.86			
SLS1	2	16	2	5	S+ tower	120	0	0	Yes	0.0												0.55	0.47	1.40	0.87	0.60	0.34	0.86			
SLS1	2	17	1	2	Middle of bridge	144	0	0	Yes	0.0	0.0098	0.0001	0.138	0.007	0.051	0.051	0.119											0.041	0.024		
SLS1	2	17	2	6	S+ tower	144	0	0	Yes	0.0	0.0085	0.0000	0.119	0.012	0.087	0.087	0.432														
SLS1	2	17	1	2	S+ expansion joint	144	0	0	Yes	0.0	0.0098	0.0001	0.138	0.007	0.050	0.050	0.120												0.025	0.027	
SLS1	2	17	2	6		144	0	0	Yes	0.0	0.0065	0.0001	0.091	0.012	0.086	0.086	0.432														
SLS1	2	17	1	2	Middle of bridge	120	0	0	Yes	0.0	0.0065	0.0001	0.091	0.012	0.086	0.086	0.432														
SLS1	2	17	2	6	S+ tower	120	0	0	Yes	0.0												0.60	0.51	1.40	0.87	0.60	0.34	0.86			
SLS1	2	17	1	2	S+ expansion joint	120	0	0	Yes	0.0												0.55	0.47	1.40	0.87	0.60	0.34	0.86			
SLS1	2	18	1	3	Middle of bridge	144	0	0	Yes	0.0	0.0100	0.0001	0.141	0.013	0.076	0.076	0.241												0.059	0.033	
SLS1	2	18	2	7	S+ tower	144	0	0	Yes	0.0	0.0084	0.0000	0.118	0.012	0.087	0.087	0.244														
SLS1	2	18	1	3	S+ expansion joint	144	0	0	Yes	0.0	0.0099	0.0001	0.139	0.012	0.075	0.075	0.241													0.086	0.033
SLS1	2	18	2	7		144	0	0	Yes	0.0	0.0099	0.0001	0.139	0.012	0.075	0.075	0.241													0.053	0.033
SLS1	2	18	1	3	Middle of bridge	120	0	0	Yes	0.0	0.0063	0.0001	0.089	0.012	0.086	0.086	0.244														
SLS1	2	18	2	7	S+ tower	120	0	0	Yes	0.0												0.63	0.55	1.84	1.22	0.74	0.49	1.22			
SLS1	2	18	1	3	S+ expansion joint	120	0	0	Yes	0.0												0.63	0.55	1.82	1.23	0.74	0.49	2.11			
SLS1	2	18	2	7		120	0	0	Yes	0.0												0.58	0.51	1.84	1.22	0.74	0.49	1.22			
SLS1	2	18	1	3	S+ expansion joint	120	0	0	Yes	0.0												0.58	0.51	1.84	1.22	0.74	0.49	1.22			
SLS1	2	18	2	7		120	0	0	Yes	0.0												0.58	0.51	1.84	1.22	0.74	0.49	1.22			
SLS1	2	19	1	3	Middle of bridge	144	0	0	Yes	0.0	0.0100	0.0001	0.141	0.013	0.076	0.076	0.241												0.065	0.042	
SLS1	2	19	2	8	S+ tower	144	0	0	Yes	0.0	0.0081	0.0000	0.117	0.002	0.020	0.020	0.209														
SLS1	2	19	1	3	S+ expansion joint	144	0	0	Yes	0.0	0.0099	0.0001	0.139	0.012	0.075	0.075	0.241													0.083	0.045
SLS1	2	19	2	8		144	0	0	Yes	0.0	0.0065	0.0001	0.091	0.002	0.020	0.020	0.209														
SLS1	2	19	1	3	Middle of bridge	120	0	0	Yes	0.0	0.0099	0.0001	0.139	0.012	0.075	0.075	0.241													0.074	0.042
SLS1	2	19	2	8	S+ tower	120	0	0	Yes	0.0	0.0065	0.0001	0.091	0.002	0.020	0.020	0.209														
SLS1	2	19	1	3	S+ expansion joint	120	0	0	Yes	0.0												0.63	0.55	1.84	1.22	0.74	0.49	1.22			
SLS1	2	19	2	8		120	0	0	Yes	0.0												0.69	0.60	1.79	1.08	0.90	0.54	1.27			
SLS1	2	19	1	3	S+ expansion joint	120	0	0	Yes	0.0												0.59	0.51	1.84	1.22	0.74	0.49	1.22			
SLS1	2	19	2	8		120	0	0	Yes	0.0												0.64	0.55	1.79	1.08	0.90	0.54	1.27			
SLS1	2	19	1	3	S+ expansion joint	120	0	0	Yes	0.0</																					

Limit	Load combination	Track no.	RPI type	Meeting point	Train speed limit (km/h)	1D min mean wind speed (m/s)	1D max mean wind speed (m/s)	Location for gust wind peak (Chinese bar)	Thermal load	Seismic peak ground acc. (m/s ²)	Transverse slope (‰)	Change of cant (‰/m)	Non-compliance lateral acc. (m/s ²)	Rolling speed (km/h)	Derailment ratio incl. wind (1)	Overturning ratio incl. wind (1)	Spring ride index W1 (unweighted) (1)	Spring ride index W2 (weighted) (1)	Peak vertical acc. (unweighted) (m/s ²)	Peak vertical acc. (weighted) (m/s ²)	RMS vertical acc. (unweighted) (m/s ²)	RMS vertical acc. (2 to 5) (unweighted) (m/s ²)	RMS vertical acc. (2 to 5) RMS coach acc. (m/s ²)	Recoil (base on 2 to 5) (unweighted) (m/s ²)	Vertical peak acc. trackbed (unweighted) (m/s ²)	Vertical peak acc. trackbed (weighted) (m/s ²)		
SLS1	2	23	1	4	Middle of bridge	144	0	0	Yes	0.0	0.0125	0.0001	0.175	0.002	0.024	0.024	0.194	2.2	2.2	2.00	2.00	0.75	0.75	0.25	0.105	0.043		
SLS1	2	23	1	4	S+ tower	144	0	0	Yes	0.0	0.0011	0.0001	0.130	0.012	0.082	0.082	0.300									0.113	0.043	
SLS1	2	23	1	4	S+ expansion joint	144	0	0	Yes	0.0	0.0011	0.0001	0.105	0.012	0.081	0.081	0.300										0.109	0.044
SLS1	2	23	1	4	Middle of bridge	120	0	0	Yes	0.0	0.0094	0.0001	0.132	0.002	0.018	0.018	0.195											
SLS1	2	23	1	4	S+ tower	120	0	0	Yes	0.0	0.0094	0.0001	0.132	0.002	0.018	0.018	0.195											
SLS1	2	23	1	4	S+ expansion joint	120	0	0	Yes	0.0	0.0094	0.0001	0.132	0.002	0.018	0.018	0.195											
SLS1	2	24	1	4	Middle of bridge	144	0	0	Yes	0.0	0.0093	0.0001	0.130	0.002	0.018	0.018	0.194										0.060	0.043
SLS1	2	24	1	4	S+ tower	144	0	0	Yes	0.0	0.0094	0.0001	0.132	0.002	0.018	0.018	0.195										0.060	0.043
SLS1	2	24	1	4	S+ expansion joint	144	0	0	Yes	0.0	0.0094	0.0001	0.132	0.002	0.018	0.018	0.195										0.060	0.043
SLS1	2	24	1	4	Middle of bridge	120	0	0	Yes	0.0	0.0094	0.0001	0.132	0.002	0.018	0.018	0.195											
SLS1	2	24	1	4	S+ tower	120	0	0	Yes	0.0	0.0094	0.0001	0.132	0.002	0.018	0.018	0.195											
SLS1	2	24	1	4	S+ expansion joint	120	0	0	Yes	0.0	0.0094	0.0001	0.132	0.002	0.018	0.018	0.195											
SLS1	2	25	1	5	Middle of bridge	144	0	0	Yes	0.0	0.0238	0.0001	0.333	0.020	0.147	0.147	0.284										0.133	0.050
SLS1	2	25	1	5	S+ tower	144	0	0	Yes	0.0	0.0201	0.0001	0.281	0.017	0.127	0.127	0.284										0.158	0.050
SLS1	2	25	1	5	S+ expansion joint	144	0	0	Yes	0.0	0.0201	0.0001	0.281	0.017	0.127	0.127	0.284										0.185	0.072
SLS1	2	26	1	5	Middle of bridge	144	0	0	Yes	0.0	0.0119	0.0001	0.156	0.011	0.076	0.076	0.300										0.110	0.043
SLS1	2	26	1	5	S+ tower	144	0	0	Yes	0.0	0.0201	0.0001	0.281	0.017	0.127	0.127	0.284										0.115	0.048
SLS1	2	26	1	5	S+ expansion joint	144	0	0	Yes	0.0	0.0201	0.0001	0.281	0.017	0.127	0.127	0.284										0.112	0.046
SLS1	2	27	1	6	Middle of bridge	144	0	0	Yes	0.0	0.0095	0.0001	0.119	0.012	0.084	0.084	0.432										0.044	0.027
SLS1	2	27	1	6	S+ tower	144	0	0	Yes	0.0	0.0099	0.0001	0.130	0.012	0.074	0.074	0.451										0.044	0.027
SLS1	2	27	1	6	Middle of bridge	144	0	0	Yes	0.0	0.0095	0.0001	0.091	0.012	0.086	0.086	0.432										0.057	0.028
SLS1	2	27	1	6	S+ tower	144	0	0	Yes	0.0	0.0099	0.0001	0.130	0.012	0.074	0.074	0.451										0.057	0.028

c. Combinazione di carichi SLS1 4 - Assenza di carico termico

i. Velocità del vento media di 44 m/s per 10 minuti (tempo registrato per il vento SLS1) – Risultati di percorribilità e sicurezza

Limit	Load combination	Train combination	Case	Track no.	Rft type	Miscuing point	Train speed (km/h)	Wind load type	Mean wind speed (m/s)	Maximum gust wind speed (m/s)	Thermal load	Seismic peak ground acc. (m/s ²)	Transverse slope (m/m)	Change of cant (m/m)	Non-compensated lateral acc. (m/s ²)	Roll speed (rad/s)	Derailment ratio [-]	Overturning ratio [-]	Vertical peak acc. - trackbed (unweighted) (m/s ²)	Vertical peak acc. - trackbed (weighted) (m/s ²)
SLS1	4	1	1	1	One train only	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0161	0.0001	0.226	0.044	0.536	0.529	1.383	0.924	
SLS1	4	2	1	2	One train only	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0165	0.0001	0.231	0.085	0.655	0.538	8.777	2.357	
SLS1	4	3	1	3	One train only	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0181	0.0001	0.254	0.107	0.511	0.684	1.383	0.932	
SLS1	4	4	1	4	One train only	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0162	0.0001	0.227	0.034	0.208	0.471	1.359	0.881	
SLS1	4	5	1	5	One train only	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0282	0.0001	0.396	0.090	0.422	0.424	1.424	0.994	
SLS1	4	6	1	6	One train only	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0185	0.0001	0.260	0.093	0.517	1.029	1.383	0.941	
SLS1	4	7	1	1	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0161	0.0001	0.226	0.046	0.474	0.527	1.384	0.914	
		2	1									0.0137	0.0001	0.193	0.040	0.590	0.570			
SLS1	4	8	1	1	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0164	0.0001	0.230	0.046	0.471	0.528	8.592	2.307	
		2	2									0.0136	0.0001	0.191	0.049	0.541	0.466			
SLS1	4	9	1	1	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0165	0.0001	0.231	0.047	0.484	0.527	1.384	0.909	
		2	3									0.0139	0.0001	0.195	0.064	0.474	0.732			
SLS1	4	10	1	1	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0160	0.0001	0.224	0.045	0.485	0.532	1.384	0.920	
		2	4									0.0139	0.0001	0.196	0.047	0.222	0.504			
SLS1	4	11	1	1	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0213	0.0001	0.299	0.045	0.485	0.528	1.401	0.949	
		2	5									0.0089	0.0002	0.250	0.079	0.321	0.440			
SLS1	4	12	1	1	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0166	0.0001	0.232	0.046	0.485	0.527	1.384	0.914	
		2	6									0.0146	0.0001	0.204	0.062	0.520	1.047			
SLS1	4	13	1	2	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0169	0.0001	0.237	0.084	0.661	0.543	1.384	0.913	
		2	2									0.0137	0.0001	0.192	0.048	0.544	0.503			
SLS1	4	14	1	2	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0171	0.0001	0.240	0.078	0.680	0.561	1.384	0.908	
		2	3									0.0142	0.0001	0.199	0.058	0.475	0.733			
SLS1	4	15	1	2	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0165	0.0001	0.232	0.085	0.656	0.539	1.384	0.919	
		2	4									0.0141	0.0001	0.198	0.047	0.221	0.515			
SLS1	4	16	1	2	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0219	0.0001	0.308	0.078	0.682	0.562	1.452	0.951	
		2	5									0.0091	0.0002	0.251	0.079	0.319	0.441			
SLS1	4	17	1	2	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0172	0.0001	0.241	0.078	0.679	0.560	1.384	0.912	
		2	6									0.0148	0.0001	0.208	0.064	0.520	1.047			
SLS1	4	18	1	3	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0190	0.0001	0.286	0.106	0.355	0.834	1.384	0.913	
		2	3									0.0142	0.0001	0.200	0.062	0.475	0.733			
SLS1	4	19	1	3	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0185	0.0001	0.259	0.106	0.354	0.834	1.384	0.926	
		2	4									0.0140	0.0001	0.196	0.047	0.222	0.515			
SLS1	4	20	1	3	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0232	0.0001	0.325	0.106	0.348	0.833	1.456	0.953	
		2	5									0.0090	0.0002	0.252	0.079	0.320	0.440			
SLS1	4	21	1	3	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0191	0.0001	0.268	0.106	0.352	0.833	1.384	0.917	
		2	6									0.0147	0.0001	0.206	0.064	0.520	1.047			
SLS1	4	22	1	4	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0160	0.0001	0.225	0.034	0.207	0.471	1.372	0.883	
		2	4									0.0140	0.0001	0.196	0.047	0.222	0.515			
SLS1	4	23	1	4	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0196	0.0001	0.275	0.035	0.206	0.471	11.637	3.125	
		2	5									0.0091	0.0002	0.250	0.079	0.319	0.440			
SLS1	4	24	1	4	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0148	0.0001	0.207	0.034	0.208	0.471	1.384	0.909	
		2	6									0.0146	0.0001	0.205	0.065	0.520	1.047			
SLS1	4	25	1	5	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0333	0.0002	0.467	0.087	0.408	0.453	1.384	0.931	
		2	5									0.0175	0.0002	0.303	0.079	0.292	0.435			
SLS1	4	26	1	5	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0292	0.0001	0.409	0.091	0.428	0.454	1.384	0.965	
		2	6									0.0246	0.0001	0.344	0.062	0.520	1.045			
SLS1	4	27	1	6	Middle of bridge	144	Dynamic time series	44	58.5	No	0.0	0.0194	0.0001	0.272	0.093	0.517	1.033	1.384	0.929	
		2	6									0.0145	0.0001	0.203	0.065	0.523	1.046			

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc

ii. Velocità del vento media di 38 m/s per 10 minuti (tempo registrato per il vento SLS1 in scala) – Risultati di percorribilità e sicurezza

Limit	Load combination	Train combination case	Track no.	Rf1 type	Meeting point	Train speed [km/h]	Wind load type	Mean wind speed [m/s]	Maximum gust wind speed in time series [m/s]	Thermal load	Seismic peak ground acc. [m/s ²]	Transverse slope [m/m]	Change of cant [m/m]	Non-compensated lateral acc. [m/s ²]	Roll speed [rad/s]	Derailment ratio [-]	Overturning ratio [-]	Vertical peak acc. - trackbed [m/s ²]	Vertical peak acc. - trackbed [weighted] [m/s ²]
SLS1	4	1	1	1	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.0144	0.0001	0.202	0.034	0.388	0.418	1.036	0.713
SLS1	4	2	1	2	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.0151	0.0001	0.211	0.064	0.540	0.414	7.851	5.083
SLS1	4	3	1	3	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.0164	0.0001	0.229	0.082	0.405	0.675	1.027	0.718
SLS1	4	4	1	4	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.0141	0.0001	0.199	0.026	0.164	0.401	1.025	0.718
SLS1	4	5	1	5	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.0265	0.0001	0.371	0.069	0.338	0.412	1.088	0.710
SLS1	4	6	1	6	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.0166	0.0001	0.233	0.073	0.430	0.879	1.039	0.714

iii. Velocità del vento media di 38 m/s per 10 minuti (tempo registrato per il vento SLS1 in scala) – Risultati di comfort

Limit	Load combination	Train combination case	Track no.	Rf1 type	Meeting point	Train speed [km/h]	Wind load type	Mean wind speed [m/s]	Maximum gust wind speed in time series [m/s]	Thermal load	Seismic peak ground acc. [m/s ²]	Spring index Wz (unweighted) [-]	Spring index Wz (weighted) [-]	Peak vertical acc. (unweighted) [m/s ²]	Peak vertical acc. (weighted) [m/s ²]	RMS vertical acc. (2.0 s) (unweighted) [m/s ²]	RMS vertical acc. (2.0 s) (weighted) [m/s ²]	Recoll (based on 2.0 s. RMS cosch acc.) [m/s ²]
SLS1	4	1	1	1	One train only	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.68	0.55	1.44	0.74	0.78	0.41	1.11
SLS1	4	2	1	2	One train only	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.68	0.55	1.45	0.74	0.38	1.01	
SLS1	4	3	1	3	One train only	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.72	0.62	1.90	1.11	0.88	0.54	1.33
SLS1	4	4	1	4	One train only	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.75	0.62	1.89	1.04	1.07	0.59	1.24
SLS1	4	7	1	1	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.68	0.55	1.45	0.75	0.78	0.41	1.07
		2	1									0.68	0.55	1.53	0.69	0.72	0.36	1.16
SLS1	4	8	1	1	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.68	0.55	1.46	0.75	0.79	0.41	1.07
		2	2									0.68	0.55	1.47	0.70	0.67	0.36	1.20
SLS1	4	9	1	1	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.68	0.55	1.46	0.76	0.79	0.42	1.07
		2	3									0.71	0.60	1.96	1.22	0.88	0.55	2.21
SLS1	4	10	1	1	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.68	0.55	1.45	0.75	0.78	0.41	1.07
		2	4									0.76	0.63	1.85	0.95	1.05	0.58	1.26
SLS1	4	11	1	1	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.68	0.55	1.46	0.75	0.77	0.40	1.16
SLS1	4	12	1	1	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.68	0.55	1.46	0.75	0.79	0.42	1.08
SLS1	4	13	1	2	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.68	0.55	1.45	0.75	0.75	0.39	1.01
		2	2									0.68	0.55	1.47	0.70	0.67	0.36	1.20
SLS1	4	14	1	2	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.68	0.55	1.45	0.76	0.75	0.39	1.00
		2	3									0.71	0.60	1.96	1.22	0.89	0.55	2.21
SLS1	4	15	1	2	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.68	0.55	1.45	0.75	0.74	0.39	1.01
		2	4									0.76	0.63	1.85	0.95	1.06	0.58	1.26
SLS1	4	16	1	2	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.68	0.55	1.45	0.74	0.74	0.38	1.13
SLS1	4	17	1	2	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.68	0.55	1.45	0.75	0.75	0.39	0.99
SLS1	4	18	1	3	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.72	0.62	1.90	1.11	0.89	0.54	1.32
		2	3									0.71	0.60	1.96	1.22	0.89	0.55	2.21
SLS1	4	19	1	3	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.72	0.61	1.90	1.11	0.88	0.54	1.32
		2	4									0.76	0.63	1.85	0.95	1.06	0.58	1.26
SLS1	4	20	1	3	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.72	0.62	1.90	1.10	0.88	0.54	1.45
SLS1	4	21	1	3	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.72	0.61	1.90	1.11	0.90	0.54	1.32
SLS1	4	22	1	4	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.75	0.62	1.87	1.02	1.08	0.60	1.22
		2	4									0.76	0.63	1.85	0.95	1.05	0.57	1.26
SLS1	4	23	1	4	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.76	0.63	1.87	1.01	1.06	0.59	1.26
SLS1	4	24	1	4	Middle of bridge	120	Dynamic time series	38	50.5	No	0.0	0.75	0.62	1.89	1.03	1.09	0.60	1.25

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C

iv. Velocità del vento media di 47 m/s per 10 minuti (tempo registrato per il vento SLS2) – Risultati di percorribilità e sicurezza

Limit	Load combination	Train combination case	Track no.	RPI type	Meeting point	Train speed (km/h)	Wind load type	Mean wind speed (m/s)	Maximum gust wind speed in time series (m/s)	Thermal load	Seismic peak ground acc. (m/s ²)	Transverse slope (m/m)	Change of cant (m/m)	Non-compensated lateral acc. (m/s ²)	Roll speed (rad/s)	Derailment ratio [-]	Overturning ratio [-]	Vertical peak acc., trackbed (unweighted) (m/s ²)	Vertical peak acc., trackbed (weighted) (m/s ²)
SLS2	4	1	1	1	One train only	144	Dynamic time series	47	62.1	No	0.0	0.0195	0.0001	0.273	0.049	0.325	0.713	1.600	1.042
SLS2	4	2	1	2	One train only	144	Dynamic time series	47	62.1	No	0.0	0.0197	0.0001	0.277	0.034	0.302	0.586	1.600	1.042
SLS2	4	3	1	3	One train only	144	Dynamic time series	47	62.1	No	0.0	0.0198	0.0001	0.278	0.059	0.317	0.788	7.876	5.099
SLS2	4	4	1	4	One train only	144	Dynamic time series	47	62.1	No	0.0	0.0195	0.0001	0.273	0.042	0.255	0.604	1.610	1.040

d. Combinazione di carichi SLS1 4 - Carico termico

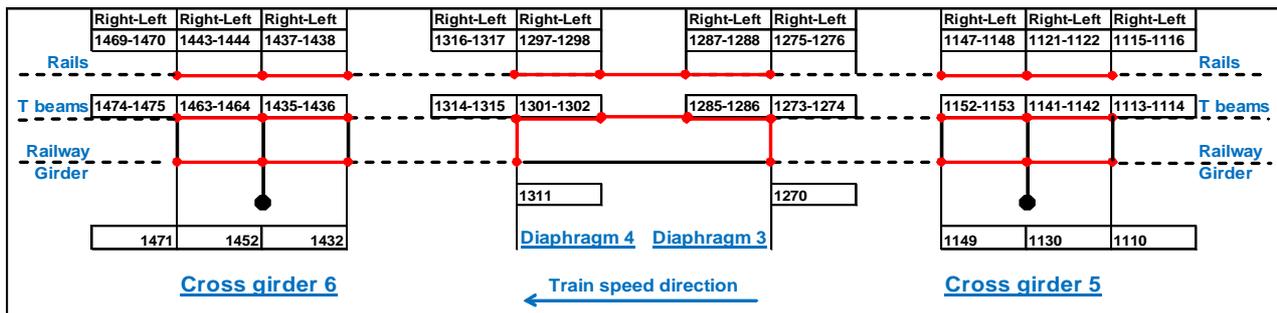
i. Velocità del vento media di 38 m/s per 10 minuti (tempo registrato per il vento SLS1 in scala) – Risultati di percorribilità e sicurezza

Limit	Load combination	Train combination case	Track no.	RPI type	Meeting point	Train speed (km/h)	Wind load type	Mean wind speed (m/s)	Maximum gust wind speed in time series (m/s)	Thermal load	Seismic peak ground acc. (m/s ²)	Transverse slope (m/m)	Change of cant (m/m)	Non-compensated lateral acc. (m/s ²)	Roll speed (rad/s)	Derailment ratio [-]	Overturning ratio [-]	Vertical peak acc., trackbed (unweighted) (m/s ²)	Vertical peak acc., trackbed (weighted) (m/s ²)
SLS1	4	1	1	1	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	Yes	0.0	0.0142	0.0001	0.199	0.029	0.213	0.377	0.993	0.683
SLS1	4	2	1	2	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	Yes	0.0	0.0149	0.0001	0.209	0.022	0.188	0.311	7.650	4.953
SLS1	4	3	1	3	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	Yes	0.0	0.0161	0.0001	0.226	0.039	0.210	0.451	0.986	0.688
SLS1	4	4	1	4	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	Yes	0.0	0.0139	0.0001	0.195	0.024	0.158	0.319	0.985	0.688
SLS1	4	5	1	5	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	Yes	0.0	0.0262	0.0001	0.368	0.048	0.123	0.210	1.047	0.680
SLS1	4	6	1	6	One train only	144	Dynamic time series	38	50.5	Yes	0.0	0.0163	0.0001	0.229	0.030	0.267	0.539	0.999	0.684

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C

e. Appendice 2: Risultati della simulazione del modello locale

i. Simulazione 1 - RFI 1: Locomotiva ETR500 (velocità 144 km/h)



Le Tabelle A2-6 e A2-7 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	11500	13400	1,165217391
	800	11400	12200	1,070175439
	803	11450	11150	0,973799127
	808	11490	12600	1,096605744
	892	11470	11680	1,018308631
	899	11435	12030	1,052033231
	912	11470	12320	1,074106364
	995	11480	11420	0,994773519
	1000	11450	13000	1,135371179
	1003	11468	11800	1,028950122
	1008	14500	13250	0,913793103

Tabella A2-6 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	11450	11620	1,014847162
	798	11400	12100	1,061403509
	801	11450	12620	1,102183406
	806	11490	11600	1,009573542
	890	11470	12350	1,076721883
	897	11440	12880	1,125874126
	910	11470	13650	1,190061029
	993	11500	11850	1,030434783
	998	11460	13060	1,139616056
	1001	11450	11770	1,027947598
	1006	11460	15500	1,352530541

Tabella A2-7 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

La Tabella A2-8 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-2,7700E-03
	1130	-2,7600E-03
	1149	-2,7800E-03
Diaphragm # 3	1270	-3,5000E-03
Diaphragm # 4	1311	-3,5000E-03
Cross Girder # 6	1432	-2,7900E-03
	1452	-2,7850E-03
	1471	-2,7800E-03

Tabella A2-8 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Le Tabelle A2-9 e A2-10 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-1,8600E-03	-2,1720E-03	1,167741935
	1122	1142	1,8550E-03	1,8950E-03	1,021563342
	1148	1153	1,8550E-03	2,1000E-03	1,132075472
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	1,8600E-03	2,0000E-03	1,075268817
	1288	1286	1,8550E-03	2,0120E-03	1,084636119
	1298	1302	1,8500E-03	2,1175E-03	1,144594595
	1317	1315	1,8500E-03	2,2500E-03	1,216216216
Cross Girder # 6	1438	1436	1,8550E-03	1,8300E-03	0,986522911
	1444	1464	1,8500E-03	2,0200E-03	1,091891892
	1470	1475	1,8600E-03	2,2000E-03	1,182795699

Tabella A2-9 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-0,001855	-0,0018345	0,988948787
	1121	1141	-0,00186	-0,00202	1,086021505
	1147	1152	1,8550E-03	1,8200E-03	0,981132075
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	1,8600E-03	2,1800E-03	1,172043011
	1287	1285	1,8550E-03	2,0360E-03	1,097574124
	1297	1301	1,8550E-03	1,9550E-03	1,053908356
	1316	1314	1,8600E-03	1,8850E-03	1,01344086
Cross Girder # 6	1437	1435	1,8550E-03	1,9500E-03	1,051212938
	1443	1463	1,8600E-03	2,0500E-03	1,102150538
	1469	1474	1,8500E-03	1,9100E-03	1,032432432

Tabella A2-10 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 2-11 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	1.760	1114	1.840	1115	29.600	1116	35.645
	1141	1.472	1142	1.616	1121	35.001	1122	53.237
	1152	1.673	1153	1.869	1147	28.045	1148	28.815
Diaphragms # 3 – 4	1273	2.483	1274	4.367	1275	31.673	1276	39.152
	1285	2.824	1286	5.218	1287	32.324	1288	31.877
	1301	2.790	1302	5.059	1297	36.233	1298	36.475
	1314	2.806	1315	3.949	1316	34.185	1317	33.578
Cross girder # 6	1435	1.244	1436	1.913	1438	41.492	1437	29.126
	1463	1.166	1464	1.533	1444	27.932	1443	33.770
	1474	1.264	1475	1.755	1470	37.235	1469	40.936

Tabella 2-11 - Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

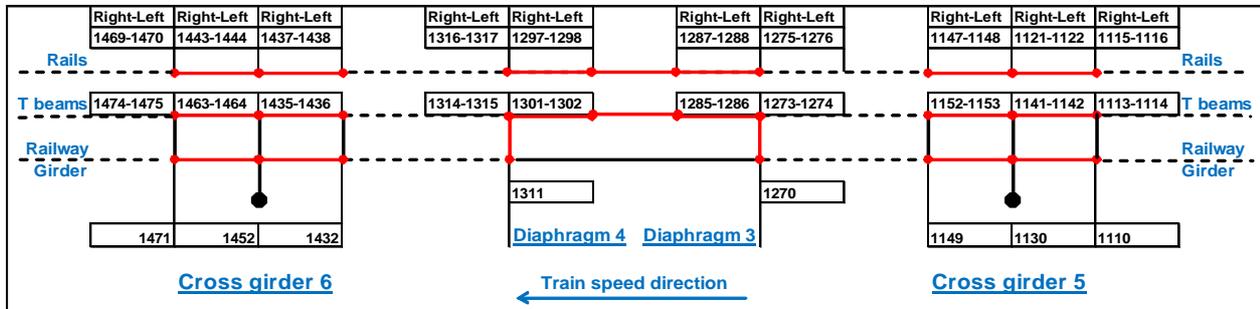
La Tabella A2-12 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	1.496
	1130	1.442
	1149	1.602
Diaphragm # 3	1270	2.217
Diaphragm # 4	1311	2.277
Cross girder # 6	1432	1.249
	1452	1.037
	1471	1.069

Tabella A2-12 - Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

ii. Simulazione 2 - RFI 1: Carrozza ETR500 (velocità 144 km/h)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011



Le Tabelle A2-13 e A2-14 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	5000	7250	1,4500E+00
	800	5000	6350	1,2700E+00
	803	5000	5762	1,1524E+00
	808	5000	6000	1,2000E+00
	892	5000	6370	1,2740E+00
	899	5000	5570	1,1140E+00
	912	5000	5980	1,1960E+00
	995	5000	5828	1,1656E+00
	1000	5000	5920	1,1840E+00
	1003	5000	6000	1,2000E+00
	1008	5000	5900	1,1800E+00

Tabella A2-13 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	5000	5800	1,1600E+00
	798	5000	6380	1,2760E+00
	801	5000	6084	1,2168E+00
	806	5000	6889	1,3778E+00
	890	5000	6165	1,2330E+00
	897	5000	6252	1,2504E+00
	910	5000	6290	1,2580E+00
	993	5000	6000	1,2000E+00
	998	5000	5800	1,1600E+00
	1001	5000	5400	1,0800E+00
	1006	5000	5800	1,1600E+00

Tabella A2-14 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

La Tabella A2-15 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-1,2100E-03
	1130	-1,2000E-03
	1149	-1,2200E-03
Diaphragm # 3	1270	-1,6000E-03
Diaphragm # 4	1311	-1,6000E-03
Cross Girder # 6	1432	-1,2200E-03
	1452	-1,2200E-03
	1471	-1,2300E-03

Tabella A2-15 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

Le Tabelle A2-16 e A2-17 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-8,0700E-04	-1,0785E-03	1,3364E+00
	1122	1142	-8,0740E-04	-9,8740E-04	1,2229E+00
	1148	1153	-8,0750E-04	-1,0100E-03	1,2508E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-8,0930E-04	-9,7000E-04	1,1986E+00
	1288	1286	-8,0525E-04	-9,6840E-04	1,2026E+00
	1298	1302	-8,0500E-04	-9,5000E-04	1,1801E+00
	1317	1315	-8,0265E-04	-1,0250E-03	1,2770E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-8,0850E-04	-1,0000E-03	1,2369E+00
	1444	1464	-8,0760E-04	-9,1200E-04	1,1293E+00
	1470	1475	-8,0700E-04	-1,0190E-03	1,2627E+00

Tabella A2-16 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-8,0700E-04	-8,7000E-04	1,0781E+00
	1121	1141	-8,0700E-04	-1,0200E-03	1,2639E+00
	1147	1152	-8,0800E-04	-1,1250E-03	1,3923E+00
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-8,0800E-04	-1,1524E-03	1,4262E+00
	1287	1285	-8,0640E-04	-9,8320E-04	1,2192E+00
	1297	1301	-8,0530E-04	-9,3000E-04	1,1548E+00
	1316	1314	-8,1000E-04	-8,5000E-04	1,0494E+00
Cross Girder # 6	1437	1435	-8,0800E-04	-1,0300E-03	1,2748E+00
	1443	1463	-8,0750E-04	-8,5000E-04	1,0526E+00
	1469	1474	-8,1000E-04	-8,8000E-04	1,0864E+00

Tabella A2-17 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 2-18 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	1.305	1114	1.712	1115	34.281	1116	49.884
	1141	1.424	1142	1.673	1121	28.367	1122	39.189
	1152	1.605	1153	1.893	1147	34.759	1148	37.310
Diaphragms # 3 – 4	1273	2.514	1274	3.262	1275	50.669	1276	38.472
	1285	2.371	1286	5.133	1287	27.708	1288	25.780
	1301	2.500	1302	5.322	1297	35.753	1298	33.656
	1314	2.625	1315	4.187	1316	27.977	1317	29.698
Cross girder # 6	1435	1.242	1436	1.557	1438	34.585	1437	27.183
	1463	1.090	1464	1.443	1444	28.050	1443	42.265
	1474	1.209	1475	1.641	1470	34.482	1469	38.205

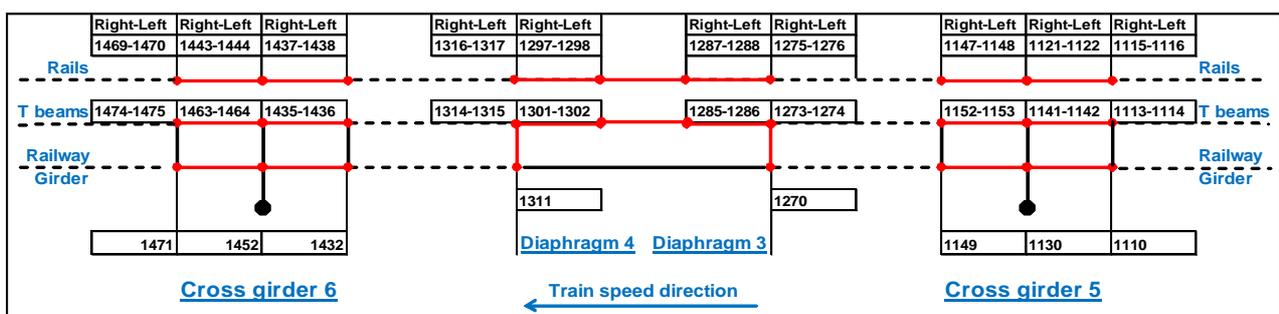
Tabella 2-18 - Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

La Tabella A2-19 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	1.439
	1130	1.432
	1149	1.669
Diaphragm # 3	1270	2.302
Diaphragm # 4	1311	2.543
Cross girder # 6	1432	1.107
	1452	0.897
	1471	1.004

Tabella A2-19 - Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

iii. Simulazione 3 - RFI 2: Locomotiva ETR470 (velocità 144 km/h)



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Le Tabelle A2-20 e A2-21 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	9250	10360	1,1200E+00
	800	9250	9353	1,0111E+00
	803	9258	9460	1,0218E+00
	808	9245	9250	1,0005E+00
	892	9259	10048	1,0852E+00
	899	9230	9900	1,0726E+00
	912	9265	10700	1,1549E+00
	995	9266	9820	1,0598E+00
	1000	9250	11283	1,2198E+00
	1003	9250	10000	1,0811E+00
	1008	9236	10820	1,1715E+00

Tabella A2-20 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	9246	10160	1,0989E+00
	798	9250	10080	1,0897E+00
	801	9255	10340	1,1172E+00
	806	9274	10200	1,0998E+00
	890	9255	10100	1,0913E+00
	897	9233	11140	1,2065E+00
	910	9240	11249	1,2174E+00
	993	9280	9865	1,0630E+00
	998	9250	11260	1,2173E+00
	1001	9250	10000	1,0811E+00
	1006	9242	10650	1,1523E+00

Tabella A2-21 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

La Tabella A2-22 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-2,2000E-03
	1130	-2,2500E-03
	1149	-2,2300E-03
Diaphragm # 3	1270	-2,9000E-03
Diaphragm # 4	1311	-2,9000E-03
Cross Girder # 6	1432	-2,2500E-03
	1452	-2,2500E-03
	1471	-2,2000E-03

Tabella A2-22 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

Le Tabelle A2-23 e A2-24 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-1,5000E-03	-1,6800E-03	1,1200E+00
	1122	1142	-1,4980E-03	-1,4885E-03	9,9366E-01
	1148	1153	-1,4960E-03	-1,5290E-03	1,0221E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-1,5000E-03	-1,7330E-03	1,1553E+00
	1288	1286	-1,4940E-03	-1,6625E-03	1,1128E+00
	1298	1302	-1,4940E-03	-1,7000E-03	1,1379E+00
	1317	1315	-1,4889E-03	-1,7685E-03	1,1878E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-1,5000E-03	-1,5900E-03	1,0600E+00
	1444	1464	-1,4980E-03	-1,7282E-03	1,1537E+00
	1470	1475	-1,4950E-03	-1,7900E-03	1,1973E+00

Tabella A2-23 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-1,5000E-03	-1,6380E-03	1,0920E+00
	1121	1141	-1,5000E-03	-1,6715E-03	1,1143E+00
	1147	1152	-1,4970E-03	-1,6300E-03	1,0888E+00
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-1,5000E-03	-1,7500E-03	1,1667E+00
	1287	1285	-1,4960E-03	-1,7750E-03	1,1865E+00
	1297	1301	-1,4950E-03	-1,7940E-03	1,2000E+00
	1316	1314	-1,4900E-03	-1,6230E-03	1,0893E+00
Cross Girder # 6	1437	1435	-1,5000E-03	-1,5650E-03	1,0433E+00
	1443	1463	-1,5000E-03	-1,7480E-03	1,1653E+00
	1469	1474	-1,4980E-03	-1,7689E-03	1,1808E+00

Tabella A2-24 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

La Tabella 2-25 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	1.705	1114	1.904	1115	30.348	1116	37.436
	1141	1.610	1142	1.705	1121	32.732	1122	47.720
	1152	1.836	1153	1.916	1147	27.125	1148	26.872
Diaphragms # 3 – 4	1273	2.800	1274	5.034	1275	32.188	1276	41.683
	1285	3.146	1286	5.770	1287	40.559	1288	30.840
	1301	3.036	1302	5.436	1297	42.402	1298	27.460
	1314	3.027	1315	4.321	1316	31.122	1317	31.285
Cross girder # 6	1435	1.348	1436	1.606	1438	40.332	1437	25.245
	1463	1.239	1464	1.633	1444	31.443	1443	32.744
	1474	1.282	1475	1.718	1470	36.188	1469	37.674

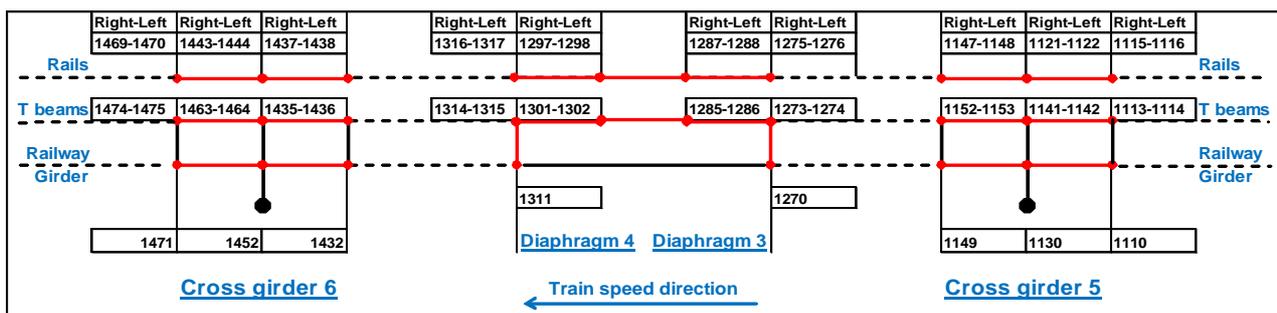
Tabella 2-25 - Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

La Tabella A2-26 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	1.890
	1130	1.606
	1149	1.846
Diaphragm # 3	1270	2.602
Diaphragm # 4	1311	2.931
Cross girder # 6	1432	1.293
	1452	1.135
	1471	1.165

Tabella A2-26 - Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

iv. Simulazione 4 - RFI 2: Carrozza ETR470 (velocità 144 km/h)



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Le Tabelle A2-27 e A2-28 si riferiscono ai binari destro e sinistro con calcoli basati sulle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	8170	9755	1,1940E+00
	800	8160	9600	1,1765E+00
	803	8165	8720	1,0680E+00
	808	8165	9140	1,1194E+00
	892	8167	9466	1,1591E+00
	899	8140	8240	1,0123E+00
	912	8170	8600	1,0526E+00
	995	8200	8600	1,0488E+00
	1000	8160	9120	1,1176E+00
	1003	8163	8638	1,0582E+00
	1008	8165	8913	1,0916E+00

Tabella A2-27 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	8155	8660	1,0619E+00
	798	8155	8891	1,0903E+00
	801	8165	8710	1,0667E+00
	806	8180	9200	1,1247E+00
	890	8163	9231	1,1308E+00
	897	8150	9375	1,1503E+00
	910	8166	9670	1,1842E+00
	993	8200	8800	1,0732E+00
	998	8160	8750	1,0723E+00
	1001	8160	8400	1,0294E+00
	1006	8150	8680	1,0650E+00

Tabella A2-28 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

La Tabella A2-29 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-1,9700E-03
	1130	-1,9700E-03
	1149	-1,9700E-03
Diaphragm # 3	1270	-2,5000E-03
Diaphragm # 4	1311	-2,5000E-03
Cross Girder # 6	1432	-1,9800E-03
	1452	-1,9800E-03
	1471	-1,9800E-03

Tabella A2-29 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

Le Tabelle A2-30 e A2-31 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-1,3208E-03	-1,4588E-03	1,1045E+00
	1122	1142	-1,3200E-03	-1,4950E-03	1,1326E+00
	1148	1153	-1,3214E-03	-1,5400E-03	1,1654E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-1,3243E-03	-1,4550E-03	1,0987E+00
	1288	1286	-1,3176E-03	-1,4276E-03	1,0835E+00
	1298	1302	-1,3174E-03	-1,4123E-03	1,0720E+00
	1317	1315	-1,3134E-03	-1,5000E-03	1,1421E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-1,3230E-03	-1,4650E-03	1,1073E+00
	1444	1464	-1,3213E-03	-1,4000E-03	1,0596E+00
	1470	1475	-1,3214E-03	-1,5000E-03	1,1352E+00

Tabella A2-30 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-1,3227E-03	-1,3565E-03	1,0256E+00
	1121	1141	-1,3200E-03	-1,4369E-03	1,0886E+00
	1147	1152	-1,3225E-03	-1,4900E-03	1,1267E+00
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-1,3227E-03	-1,5542E-03	1,1750E+00
	1287	1285	-1,3200E-03	-1,4712E+00	1,1145E+03
	1297	1301	-1,3196E-03	-1,4685E-03	1,1128E+00
	1316	1314	-1,3143E-03	-1,3440E-03	1,0226E+00
Cross Girder # 6	1437	1435	-1,3200E-03	-1,5000E-04	1,1364E-01
	1443	1463	-1,3210E-03	-1,3474E-03	1,0200E+00
	1469	1474	-1,3210E-03	-1,3700E-03	1,0371E+00

Tabella A2-31 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 2-32 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	1.316	1114	1.739	1115	27.574	1116	45.621
	1141	1.425	1142	1.657	1121	35.421	1122	55.469
	1152	1.593	1153	1.868	1147	26.602	1148	33.086
Diaphragms # 3 – 4	1273	2.240	1274	3.530	1275	36.484	1276	42.754
	1285	2.350	1286	5.417	1287	43.264	1288	28.755
	1301	2.508	1302	5.540	1297	39.204	1298	27.472
	1314	2.313	1315	4.484	1316	35.361	1317	30.478
Cross girder # 6	1435	1.227	1436	1.442	1438	29.735	1437	24.761
	1463	1.016	1464	1.389	1444	28.791	1443	34.908
	1474	1.206	1475	1.685	1470	31.483	1469	34.986

Tabella 2-32 - Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

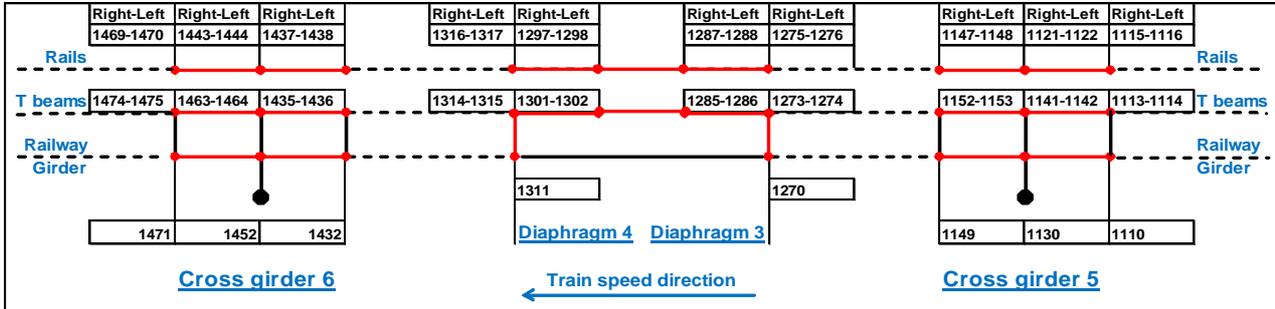
La Tabella A2-33 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	1.308
	1130	1.405
	1149	1.584
Diaphragm # 3	1270	1.925
Diaphragm # 4	1311	2.294
Cross girder # 6	1432	1.063
	1452	0.843
	1471	0.976

Tabella A2-33 - Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

v. Simulazione 5.1 - RFI 3: Locomotiva E402B (velocità 144 km/h)



Le Tabelle A2-34 e A2-35 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	15000	16800	1,1200E+00
	800	14950	15870	1,0615E+00
	803	14950	15700	1,0502E+00
	808	14950	14750	9,8662E-01
	892	15000	13500	9,0000E-01
	899	14950	16000	1,0702E+00
	912	15000	14600	9,7333E-01
	995	15000	17730	1,1820E+00
	1000	14950	14800	9,8997E-01
	1003	14950	14925	9,9833E-01
	1008	14900	16300	1,0940E+00

Tabella A2-34 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	15000	15750	1,0500E+00
	798	14950	13690	9,1572E-01
	801	14950	14970	1,0013E+00
	806	14990	14930	9,9600E-01
	890	15000	17600	1,1733E+00
	897	14950	16100	1,0769E+00
	910	15000	17000	1,1333E+00
	993	14950	16670	1,1151E+00
	998	14950	16500	1,1037E+00
	1001	14940	16300	1,0910E+00
	1006	15000	16800	1,1200E+00

Tabella A2-35 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

La Tabella A2-36 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-3,6000E-03
	1130	-3,6000E-03
	1149	-3,6000E-03
Diaphragm # 3	1270	-4,5500E-03
Diaphragm # 4	1311	-4,5500E-03
Cross Girder # 6	1432	-3,6000E-03
	1452	-3,6000E-03
	1471	-3,6000E-03

Tabella A2-36 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

Le Tabelle A2-37 e A2-38 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-2,4200E-03	-2,6500E-03	1,0950E+00
	1122	1142	-2,4200E-03	-2,5330E-03	1,0467E+00
	1148	1153	-2,4180E-03	-2,4220E-03	1,0017E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-2,4200E-03	-2,59E-03	1,0694E+00
	1288	1286	-2,4200E-03	-2,6150E-03	1,0806E+00
	1298	1302	-2,4140E-03	-2,4850E-03	1,0294E+00
	1317	1315	-2,4000E-03	-2,6900E-03	1,1208E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-2,4250E-03	-2,8300E-03	1,1670E+00
	1444	1464	-2,4210E-03	-2,4180E-03	9,9876E-01
	1470	1475	-2,42E-03	-2,6300E-03	1,0863E+00

Tabella A2-37 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-2,4220E-03	-2,5000E-03	1,0322E+00
	1121	1141	-2,4200E-03	-2,3200E-03	9,5868E-01
	1147	1152	-2,4200E-03	-2,4000E-03	9,9174E-01
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-2,4350E-03	-2,68E-03	1,1006E+00
	1287	1285	-2,4180E-03	-2,5750E-03	1,0649E+00
	1297	1301	-2,4150E-03	-2,5360E-03	1,0501E+00
	1316	1314	-2,4300E-03	-2,7000E-03	1,1111E+00
Cross Girder # 6	1437	1435	-2,4200E-03	-2,6550E-03	1,0971E+00
	1443	1463	-2,4200E-03	-2,6760E-03	1,1058E+00
	1469	1474	-2,42E-03	-2,5230E-03	1,0426E+00

Tabella A2-38 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 2-39 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	1.782	1114	2.257	1115	38.323	1116	34.945
	1141	1.814	1142	2.183	1121	33.843	1122	47.706
	1152	1.903	1153	2.185	1147	31.929	1148	42.309
Diaphragms # 3 – 4	1273	3.655	1274	4.749	1275	28.901	1276	41.525
	1285	4.249	1286	5.666	1287	33.231	1288	43.647
	1301	4.604	1302	5.780	1297	32.066	1298	29.881
	1314	4.649	1315	5.395	1316	38.051	1317	38.994
Cross girder # 6	1435	2.238	1436	2.364	1438	49.891	1437	27.322
	1463	2.186	1464	2.304	1444	26.726	1443	35.381
	1474	2.173	1475	2.589	1470	27.419	1469	36.262

Tabella 2-39 - Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

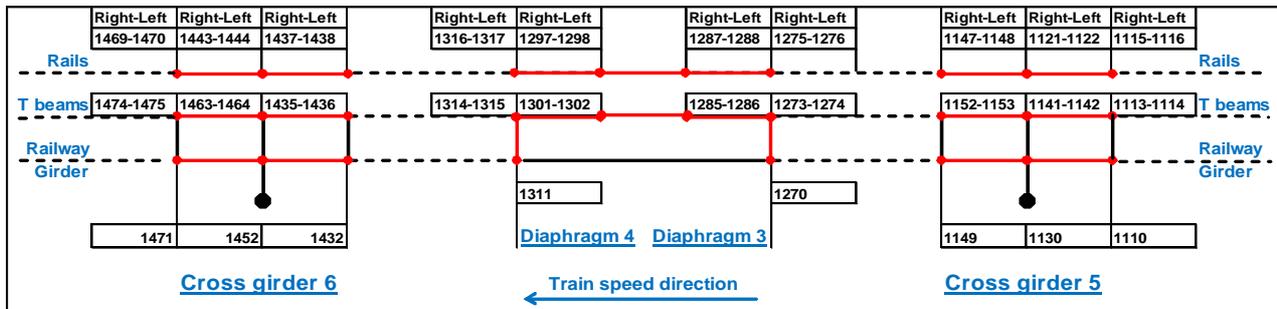
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

La Tabella A2-40 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	1.652
	1130	1.749
	1149	1.766
Diaphragm # 3	1270	3.279
Diaphragm # 4	1311	4.076
Cross girder # 6	1432	2.150
	1452	2.116
	1471	2.025

Tabella A2-40 - Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

vi. Simulazione 5.2 - RFI 3: Locomotiva E402B (velocità 120 km/h)



Le Tabelle A2-41 e A2-42 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	15000	17500	1,1667E+00
	800	15000	16000	1,0667E+00
	803	19500	15150	7,7692E-01
	808	15000	16300	1,0867E+00
	892	14950	14400	9,6321E-01
	899	14900	15150	1,0168E+00
	912	15000	16000	1,0667E+00
	995	14950	15150	1,0134E+00
	1000	14900	16400	1,1007E+00
	1003	14950	15350	1,0268E+00
	1008	15000	17400	1,1600E+00

Tabella A2-41 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	14950	15400	1,0301E+00
	798	14900	15600	1,0470E+00
	801	14900	16500	1,1074E+00
	806	15000	15300	1,0200E+00
	890	15000	16700	1,1133E+00
	897	14950	17400	1,1639E+00
	910	15000	17400	1,1600E+00
	993	14950	16000	1,0702E+00
	998	14950	17500	1,1706E+00
	1001	14900	15900	1,0671E+00
	1006	14950	15100	1,0100E+00

Tabella A2-42 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

La Tabella A2-43 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-3,5500E-03
	1130	-3,5500E-03
	1149	-3,5500E-03
Diaphragm # 3	1270	-4,5000E-03
Diaphragm # 4	1311	-4,5000E-03
Cross Girder # 6	1432	-3,5500E-03
	1452	-3,5500E-03
	1471	-3,6000E-03

Tabella A2-43 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

Le Tabelle A2-44 e A2-45 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-2,4200E-03	-2,8600E-03	1,1818E+00
	1122	1142	-2,4200E-03	-2,4800E-03	1,0248E+00
	1148	1153	-2,4250E-03	-2,7000E-03	1,1134E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-2,4270E-03	-2,44E-03	1,0033E+00
	1288	1286	-2,4150E-03	-2,5000E-03	1,0352E+00
	1298	1302	-2,4000E-03	-2,9000E-03	1,2083E+00
	1317	1315	-2,4500E-03	-2,9500E-03	1,2041E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	2,4250E-03	2,3400E-03	9,6495E-01
	1444	1464	-2,4200E-03	-2,5850E-03	1,0682E+00
	1470	1475	-2,42E-03	-2,8200E-03	1,1653E+00

Tabella A2-44 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-2,4200E-03	-2,4500E-03	1,0124E+00
	1121	1141	-2,4200E-03	-2,6250E-03	1,0847E+00
	1147	1152	-2,4200E-03	-2,3800E-03	9,8347E-01
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-2,4250E-03	-2,80E-03	1,1546E+00
	1287	1285	-2,4200E-03	-2,7200E-03	1,1240E+00
	1297	1301	-2,4100E-03	-2,5100E-03	1,0415E+00
	1316	1314	-2,4300E-03	-2,3900E-03	9,8354E-01
Cross Girder # 6	1437	1435	-2,4200E-03	-2,4700E-03	1,0207E+00
	1443	1463	-2,4200E-03	-2,7000E-03	1,1157E+00
	1469	1474	-2,42E-03	-2,5000E-03	1,0314E+00

Tabella A2-45 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 2-46 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	1.723	1114	1.866	1115	22.860	1116	36.380
	1141	1.666	1142	1.833	1121	37.032	1122	26.091
	1152	1.598	1153	1.809	1147	33.154	1148	24.453
Diaphragms # 3 - 4	1273	2.546	1274	3.874	1275	35.079	1276	26.970
	1285	2.758	1286	4.103	1287	30.595	1288	32.778
	1301	2.346	1302	3.698	1297	32.434	1298	28.211
	1314	2.227	1315	2.625	1316	26.457	1317	28.706
Cross girder # 6	1435	1.492	1436	1.734	1438	24.273	1437	34.167
	1463	1.528	1464	1.650	1444	24.060	1443	23.269
	1474	1.505	1475	1.655	1470	22.441	1469	23.230

Tabella 2-46 - Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

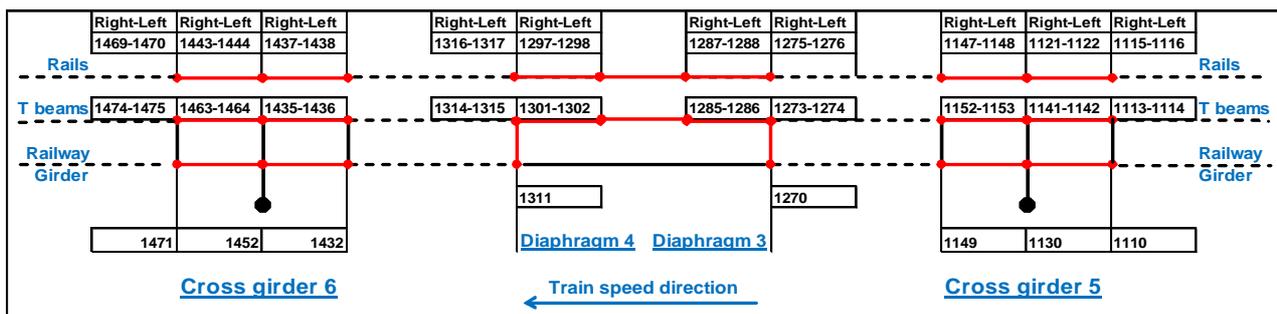
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

La Tabella A2-47 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	1.637
	1130	1.568
	1149	1.635
Diaphragm # 3	1270	2.147
Diaphragm # 4	1311	2.171
Cross girder # 6	1432	1.469
	1452	1.487
	1471	1.519

Tabella A2-47 - Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

vii. Simulazione 5.3 - RFI 3: Locomotiva E402B (velocità 110 km/h)



Le Tabelle A2-48 e A2-49 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	15000	17800	1,1867E+00
	800	14900	15800	1,0604E+00
	803	14900	15900	1,0671E+00
	808	14900	15700	1,0537E+00
	892	14950	14700	9,8328E-01
	899	14900	15050	1,0101E+00
	912	14900	15800	1,0604E+00
	995	14950	14650	9,7993E-01
	1000	14900	15700	1,0537E+00
	1003	14960	14950	9,9933E-01
	1008	15000	16500	1,1000E+00

Tabella A2-48 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	14900	15300	1,0268E+00
	798	14900	16100	1,0805E+00
	801	14900	15600	1,0470E+00
	806	15000	16400	1,0933E+00
	890	14900	16200	1,0872E+00
	897	14900	16400	1,1007E+00
	910	15000	16700	1,1133E+00
	993	15000	15600	1,0400E+00
	998	15000	16550	1,1033E+00
	1001	14950	15000	1,0033E+00
	1006	14950	15000	1,0033E+00

Tabella A2-49 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

La Tabella A2-50 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-3,6000E-03
	1130	-3,6000E-03
	1149	-3,6000E-03
Diaphragm # 3	1270	-4,5500E-03
Diaphragm # 4	1311	-4,5500E-03
Cross Girder # 6	1432	-3,6000E-03
	1452	-3,6000E-03
	1471	-3,6000E-03

Tabella A2-50 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

Le Tabelle A2-51 e A2-52 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-2,4200E-03	-2,8900E-03	1,1942E+00
	1122	1142	-2,4200E-03	-2,5500E-03	1,0537E+00
	1148	1153	-2,4300E-03	-2,6300E-03	1,0823E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-2,4200E-03	-2,37E-03	9,7934E-01
	1288	1286	2,4200E-03	-2,4900E-03	1,0289E+00
	1298	1302	-2,4300E-03	-2,7500E-03	1,1317E+00
	1317	1315	-2,4400E-03	-2,7000E-03	1,1066E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-2,4200E-03	-2,3700E-03	9,7934E-01
	1444	1464	-2,4200E-03	-2,4300E-03	1,0041E+00
	1470	1475	-2,43E-03	-2,7300E-03	1,1235E+00

Tabella A2-51 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-2,4200E-03	-2,3200E-03	9,5868E-01
	1121	1141	-2,4200E-03	-2,5700E-03	1,0620E+00
	1147	1152	-2,4200E-03	-2,6300E-03	1,0868E+00
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-2,4300E-03	-2,70E-03	1,1111E+00
	1287	1285	-2,4200E-03	-2,6500E-03	1,0950E+00
	1297	1301	-2,4200E-03	-2,5600E-03	1,0579E+00
	1316	1314	-2,4300E-03	-2,4200E-03	9,9588E-01
Cross Girder # 6	1437	1435	-2,4200E-03	-2,6800E-03	1,1074E+00
	1443	1463	-2,4200E-03	-2,5700E-03	1,0620E+00
	1469	1474	-2,42E-03	-2,4800E-03	1,0248E+00

Tabella A2-52 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 2-53 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	1.087	1114	1.499	1115	22.698	1116	24.890
	1141	1.191	1142	1.449	1121	26.125	1122	24.720
	1152	1.063	1153	1.389	1147	26.074	1148	27.910
Diaphragms # 3 – 4	1273	1.638	1274	2.149	1275	33.929	1276	21.343
	1285	1.628	1286	2.377	1287	32.009	1288	27.925
	1301	1.792	1302	2.474	1297	23.941	1298	26.737
	1314	1.858	1315	2.620	1316	29.711	1317	26.732
Cross girder # 6	1435	1.214	1436	1.345	1438	23.830	1437	22.201
	1463	1.189	1464	1.374	1444	36.419	1443	21.076
	1474	1.242	1475	1.473	1470	19.389	1469	19.362

Tabella 2-53 - Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

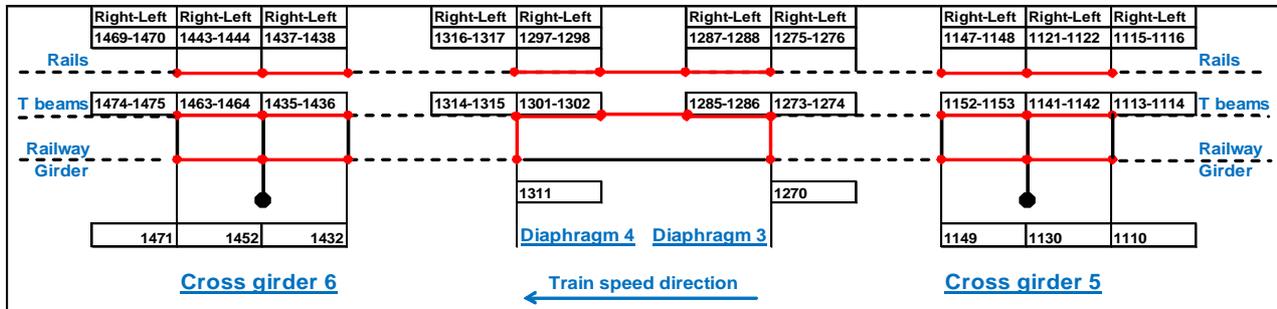
La Tabella A2-54 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	1.145
	1130	1.084
	1149	1.069
Diaphragm # 3	1270	1.634
Diaphragm # 4	1311	1.757
Cross girder # 6	1432	1.145
	1452	1.160
	1471	1.238

Tabella A2-54 - Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

viii. Simulazione 5.4 - RFI 3: Locomotiva E402B100 (velocità 100 km/h)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011



Le Tabelle A2-55 e A2-56 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	15000	17000	1,1333E+00
	800	15000	16700	1,1133E+00
	803	14950	15650	1,0468E+00
	808	14900	15900	1,0671E+00
	892	14960	14955	9,9967E-01
	899	14900	15250	1,0235E+00
	912	15000	15700	1,0467E+00
	995	14950	14800	9,8997E-01
	1000	15000	15800	1,0533E+00
	1003	15000	15200	1,0133E+00
	1008	15000	16100	1,0733E+00

Tabella A2-55 Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	14900	14100	9,4631E-01
	798	14950	15000	1,0033E+00
	801	14950	14900	9,9666E-01
	806	15000	16000	1,0667E+00
	890	15000	17000	1,1333E+00
	897	15000	17000	1,1333E+00
	910	15000	16250	1,0833E+00
	993	15000	15650	1,0433E+00
	998	15000	15850	1,0567E+00
	1001	14950	15200	1,0167E+00
	1006	14900	15700	1,0537E+00

Tabella A2-56 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

La Tabella A2-57 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-3,5800E-03
	1130	-3,5600E-03
	1149	-3,5800E-03
Diaphragm # 3	1270	-4,5000E-03
Diaphragm # 4	1311	-4,5000E-03
Cross Girder # 6	1432	-3,6000E-03
	1452	-3,6000E-03
	1471	-3,6000E-03

Tabella A2-57 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Le Tabelle A2-58 e A2-59 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-2,4200E-03	-2,7000E-03	1,1157E+00
	1122	1142	-2,4200E-03	-2,6250E-03	1,0847E+00
	1148	1153	-2,4400E-03	-2,6600E-03	1,0902E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-2,4400E-03	-2,49E-03	1,0205E+00
	1288	1286	-2,4100E-03	-2,4400E-03	1,0124E+00
	1298	1302	-2,4200E-03	-2,7400E-03	1,1322E+00
	1317	1315	-2,4500E-03	-2,6000E-03	1,0612E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-2,4200E-03	-2,3400E-03	9,6694E-01
	1444	1464	-2,4200E-03	-2,4450E-03	1,0103E+00
	1470	1475	-2,44E-03	-2,6700E-03	1,0943E+00

Tabella A2-58 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-2,4200E-03	-2,3000E-03	9,5041E-01
	1121	1141	-2,4200E-03	-2,4300E-03	1,0041E+00
	1147	1152	-2,4200E+00	-2,6200E-03	1,0826E-03
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-2,4400E-03	-2,60E-03	1,0656E+00
	1287	1285	-2,4400E-03	-2,6700E-03	1,0943E+00
	1297	1301	-2,4200E-03	-2,5400E-03	1,0496E+00
	1316	1314	-2,4000E-03	-2,5500E-03	1,0625E+00
Cross Girder # 6	1437	1435	-2,4400E-03	-2,6500E-03	1,0861E+00
	1443	1463	-2,4200E-03	-2,4700E-03	1,0207E+00
	1469	1474	-2,42E-03	-2,3600E-03	9,7521E-01

Tabella A2-59 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 2-60 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	1.555	1114	1.670	1115	20.303	1116	15.281
	1141	1.412	1142	1.477	1121	17.560	1122	22.254
	1152	1.314	1153	1.351	1147	23.124	1148	21.026
Diaphragms # 3 – 4	1273	2.092	1274	2.741	1275	22.165	1276	16.600
	1285	2.119	1286	2.806	1287	18.412	1288	13.824
	1301	2.095	1302	2.767	1297	23.760	1298	18.642
	1314	1.963	1315	2.701	1316	22.507	1317	17.619
Cross girder # 6	1435	1.012	1436	1.506	1438	14.648	1437	18.496
	1463	1.055	1464	1.462	1444	20.440	1443	15.081
	1474	0.958	1475	1.213	1470	15.083	1469	20.407

Tabella 2-60 - Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

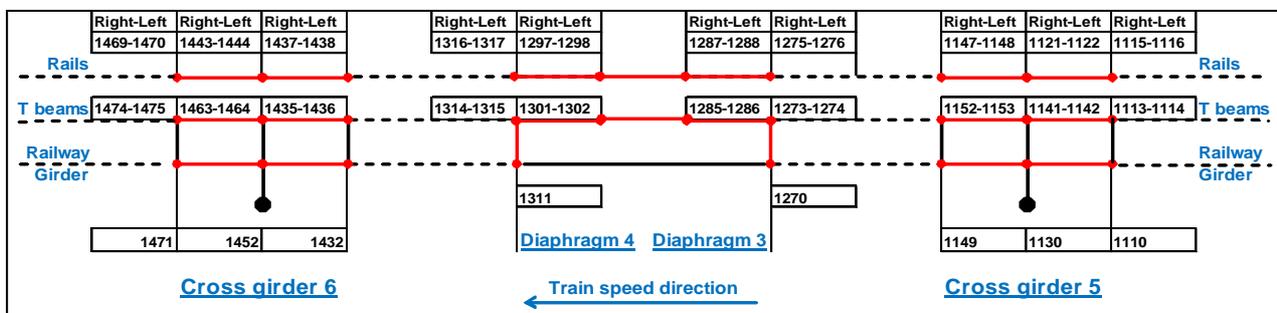
La Tabella A2-61 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	1.483
	1130	1.382
	1149	1.286
Diaphragm # 3	1270	1.744
Diaphragm # 4	1311	1.677
Cross girder # 6	1432	1.110
	1452	1.034
	1471	0.926

Tabella A2-61 - Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

ix. Simulazione 5.5 - RFI 3: Locomotiva E402B90 (velocità 90 km/h)



Le Tabelle A2-62 e A2-63 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	15000	16400	1,0933E+00
	800	14900	16900	1,1342E+00
	803	14950	15100	1,0100E+00
	808	14900	15700	1,0537E+00
	892	14950	15400	1,0301E+00
	899	14900	16000	1,0738E+00
	912	14950	15100	1,0100E+00
	995	15000	14500	9,6667E-01
	1000	14950	14640	9,7926E-01
	1003	14950	15200	1,0167E+00
	1008	15000	16000	1,0667E+00

Tabella A2-62 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	14900	15300	1,0268E+00
	798	14950	15100	1,0100E+00
	801	14950	15700	1,0502E+00
	806	15000	15900	1,0600E+00
	890	15000	17300	1,1533E+00
	897	14900	16800	1,1275E+00
	910	14950	15700	1,0502E+00
	993	15000	16200	1,0800E+00
	998	15000	16000	1,0667E+00
	1001	14900	15200	1,0201E+00
	1006	14900	15900	1,0671E+00

Tabella A2-63 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

La Tabella A2-64 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-3,6000E-03
	1130	-3,6000E-03
	1149	-3,6000E-03
Diaphragm # 3	1270	-4,5000E-03
Diaphragm # 4	1311	-4,5000E-03
Cross Girder # 6	1432	-3,5800E-03
	1452	-3,5800E-03
	1471	-3,6000E-03

Tabella A2-64 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

Le Tabelle A2-65 e A2-66 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-2,4200E-03	-2,6000E-03	1,0744E+00
	1122	1142	-2,4200E-03	-2,6000E-03	1,0744E+00
	1148	1153	-2,4300E-03	-2,6600E-03	1,0947E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-2,4400E-03	-2,53E-03	1,0369E+00
	1288	1286	-2,4200E-03	-2,5000E-03	1,0331E+00
	1298	1302	-2,4200E-03	-2,7500E-03	1,1364E+00
	1317	1315	-2,4400E-03	-2,7000E-03	1,1066E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-2,4200E-03	-2,4400E-03	1,0083E+00
	1444	1464	-2,4200E-03	-2,4300E-03	1,0041E+00
	1470	1475	-2,43E-03	-2,6300E-03	1,0823E+00

Tabella A2-65 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-2,4200E-03	-2,5000E-03	1,0331E+00
	1121	1141	-2,4200E-03	-2,5200E-03	1,0413E+00
	1147	1152	-2,4200E-03	-2,5600E-03	1,0579E+00
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-2,4200E-03	-2,60E-03	1,0744E+00
	1287	1285	-2,4200E-03	-2,6700E-03	1,1033E+00
	1297	1301	-2,4200E-03	-2,6000E-03	1,0744E+00
	1316	1314	-2,4000E-03	-2,5700E-03	1,0708E+00
Cross Girder # 6	1437	1435	-2,4200E-03	-2,6500E-03	1,0950E+00
	1443	1463	-2,4200E-03	-2,5000E-03	1,0331E+00
	1469	1474	-2,42E-03	-2,3400E-03	9,6694E-01

Tabella A2-66 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 2-67 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	1.365	1114	1.466	1115	10.779	1116	14.990
	1141	1.347	1142	1.437	1121	15.043	1122	15.746
	1152	1.346	1153	1.351	1147	15.741	1148	15.960
Diaphragms # 3 – 4	1273	1.879	1274	2.835	1275	18.915	1276	13.769
	1285	1.954	1286	2.512	1287	14.072	1288	13.843
	1301	1.955	1302	2.494	1297	20.950	1298	14.268
	1314	2.044	1315	2.376	1316	14.001	1317	16.219
Cross girder # 6	1435	1.293	1436	1.394	1438	16.329	1437	16.711
	1463	1.271	1464	1.332	1444	13.499	1443	13.703
	1474	1.341	1475	1.265	1470	14.585	1469	14.837

Tabella 2-67 - Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

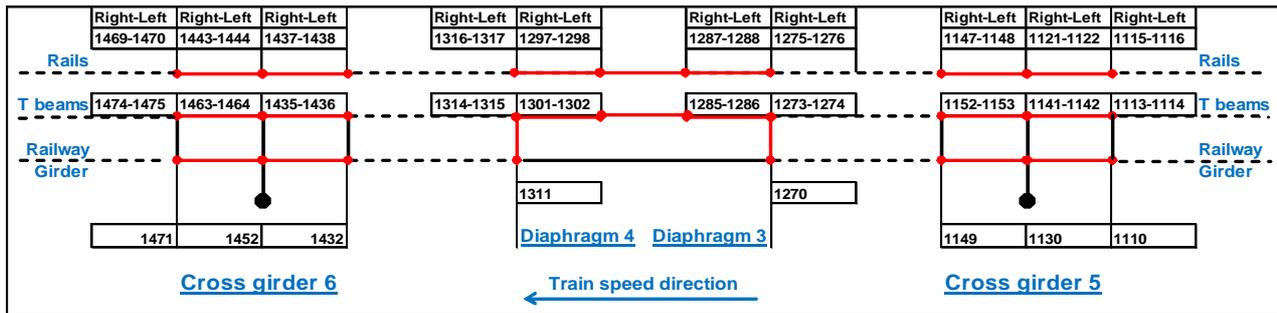
La Tabella A2-68 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	1.336
	1130	1.346
	1149	1.331
Diaphragm # 3	1270	1.692
Diaphragm # 4	1311	1.823
Cross girder # 6	1432	1.374
	1452	1.238
	1471	1.388

Tabella A2-69 - Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<table border="1"> <tr> <td><i>Rev</i></td> <td><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>13-02-2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	C	13-02-2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
C	13-02-2011						

x. Simulazione 5.6 - RFI 3: Locomotiva E402B80 (velocità 80 km/h)



Le Tabelle A2-70 e A2-71 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	15000	16350	1,0900E+00
	800	15000	16400	1,0933E+00
	803	14950	15200	1,0167E+00
	808	14950	15500	1,0368E+00
	892	14950	15150	1,0134E+00
	899	14900	15100	1,0134E-04
	912	14950	14900	9,9666E-01
	995	14950	14750	9,8662E-01
	1000	14950	15200	1,0167E+00
	1003	15000	15300	1,0200E+00
	1008	15000	16000	1,0667E+00

Tabella A2-70 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	14900	16250	1,0906E+00
	798	14950	15500	1,0368E+00
	801	14950	15100	1,0100E+00
	806	15000	16000	1,0667E+00
	890	15000	16300	1,0867E+00
	897	14900	16300	1,0940E+00
	910	15000	15800	1,0533E+00
	993	15000	16500	1,1000E+00
	998	14950	16100	1,0769E+00
	1001	14950	15250	1,0201E+00
	1006	14950	15500	1,0368E+00

Tabella A2-71 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

La Tabella A2-72 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-3,6000E-03
	1130	-3,6000E-03
	1149	-3,6000E-03
Diaphragm # 3	1270	-4,5000E-03
Diaphragm # 4	1311	-4,5000E-03
Cross Girder # 6	1432	-3,6000E-03
	1452	-3,6000E-03
	1471	-3,6000E-03

Tabella A2-72 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Le Tabelle A2-73 e A2-74 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-2,4200E-03	-2,6500E-03	1,0950E+00
	1122	1142	-2,4200E-03	-2,5500E-03	1,0537E+00
	1148	1153	-2,4250E-03	-2,5500E-03	1,0515E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-2,4400E-03	-2,54E-03	1,0410E+00
	1288	1286	-2,4200E-03	-2,4400E-03	1,0083E+00
	1298	1302	-2,4100E-03	-2,5500E-03	1,0581E+00
	1317	1315	-2,4250E-03	-2,6000E-03	1,0722E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-2,4200E-03	-2,4450E-03	1,0103E+00
	1444	1464	-2,4200E-03	-2,4600E-03	1,0165E+00
	1470	1475	-2,42E-03	-2,6120E-03	1,0793E+00

Tabella A2-73 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-2,4250E-03	-2,6000E-03	1,0722E+00
	1121	1141	-2,4200E-03	-2,5000E-03	1,0331E+00
	1147	1152	-2,4200E-03	-2,5800E-03	1,0661E+00
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-2,4200E-03	-2,60E-03	1,0744E+00
	1287	1285	-2,4150E-03	-2,6000E-03	1,0766E+00
	1297	1301	-2,4200E-03	-2,6000E-03	1,0744E+00
	1316	1314	-2,4280E-03	-2,4800E-03	1,0214E+00
Cross Girder # 6	1437	1435	-2,4250E-03	-2,6550E-03	1,0948E+00
	1443	1463	-2,4200E-03	-2,5600E-03	1,0579E+00
	1469	1474	-2,39E-03	-2,4260E-03	1,0151E+00

Tabella A2-74 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 2-75 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	0.956	1114	1.030	1115	12.464	1116	14.778
	1141	0.858	1142	0.988	1121	9.308	1122	14.496
	1152	0.944	1153	0.851	1147	8.370	1148	11.744
Diaphragms # 3 – 4	1273	1.603	1274	2.111	1275	12.008	1276	10.487
	1285	1.567	1286	2.152	1287	11.337	1288	7.930
	1301	1.558	1302	2.126	1297	11.530	1298	13.303
	1314	1.535	1315	2.039	1316	9.584	1317	10.961
Cross girder # 6	1435	0.934	1436	0.989	1438	13.614	1437	10.658
	1463	0.889	1464	1.068	1444	12.208	1443	13.616
	1474	0.968	1475	1.024	1470	11.368	1469	18.814

Tabella 2-75 - Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

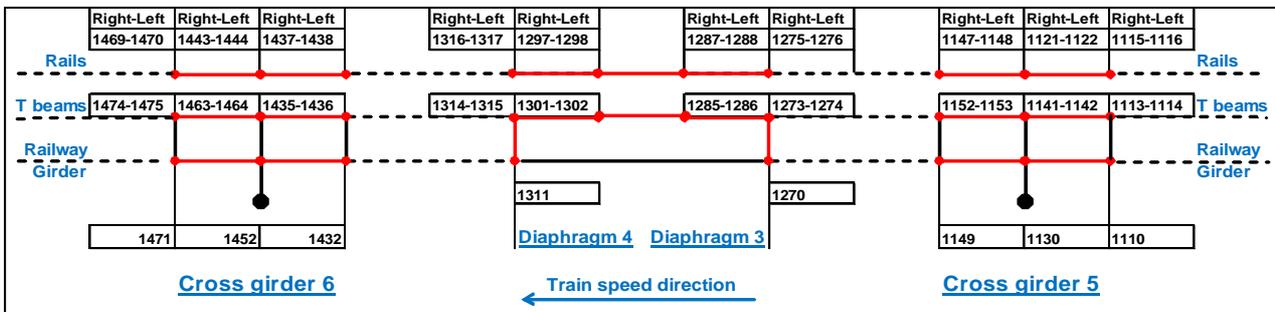
La Tabella A2-76 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	0.894
	1130	0.852
	1149	0.851
Diaphragm # 3	1270	1.221
Diaphragm # 4	1311	1.188
Cross girder # 6	1432	0.923
	1452	0.837
	1471	0.956

Tabella A2-76 - Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

xi. Simulazione 5.7 - RFI 3: Locomotiva E402B70 (velocità 70 km/h)



Le Tabelle A2-77 e A2-78 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	15000	16500	1,1000E+00
	800	15000	16400	1,0933E+00
	803	15000	16200	9,2593E-01
	808	15000	16200	1,0800E+00
	892	14950	15250	1,0201E+00
	899	14900	15200	1,0201E+00
	912	15000	15600	1,0400E+00
	995	14950	14650	9,7993E-01
	1000	14950	15100	1,0100E+00
	1003	15000	15800	1,0533E+00
	1008	15000	15800	1,0533E+00

Tabella A2-77 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	14940	15700	1,0509E+00
	798	15000	15500	1,0333E+00
	801	14950	15350	9,7394E-01
	806	15000	15250	1,0167E+00
	890	14950	15350	1,0268E+00
	897	14900	15800	1,0604E+00
	910	15000	15800	1,0533E+00
	993	15000	16500	1,1000E+00
	998	15000	15820	1,0547E+00
	1001	14950	15300	1,0234E+00
	1006	15000	15600	1,0400E+00

Tabella A2-78 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

La Tabella A2-79 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-3,6000E-03
	1130	-3,6000E-03
	1149	-3,6000E-03
Diaphragm # 3	1270	-4,5000E-03
Diaphragm # 4	1311	-4,5000E-03
Cross Girder # 6	1432	-3,6000E-03
	1452	-3,6000E-03
	1471	-3,6000E-03

Tabella A2-79 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

Le Tabelle A2-80 e A2-81 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-2,4200E-03	-2,6500E-03	1,0950E+00
	1122	1142	-2,4200E-03	-2,5500E-03	1,0537E+00
	1148	1153	-2,4200E-03	-2,5800E-03	1,0661E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-2,4400E-03	-2,58E-03	1,0574E+00
	1288	1286	-2,4200E-03	-2,4700E-03	1,0207E+00
	1298	1302	-2,4180E-03	-2,4220E-03	1,0017E+00
	1317	1315	-2,4250E-03	-2,4400E-03	1,0062E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-2,4220E-03	-2,3700E-03	9,7853E-01
	1444	1464	-2,4200E-03	-2,5000E-03	1,0331E+00
	1470	1475	-2,42E-03	-2,5600E-03	1,0579E+00

Tabella A2-80 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-2,4200E-03	-2,4900E-03	1,0289E+00
	1121	1141	-2,4200E-03	-2,4000E-03	9,9174E-01
	1147	1152	-2,4220E-03	-2,5000E-03	1,0322E+00
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-2,4200E-03	-2,55E-03	1,0537E+00
	1287	1285	-2,4200E-03	-2,5600E-03	1,0579E+00
	1297	1301	-2,4200E-03	-2,5800E-03	1,0661E+00
	1316	1314	-2,4400E-03	-2,5100E-03	1,0287E+00
Cross Girder # 6	1437	1435	-2,4200E-03	-2,6000E-03	1,0744E+00
	1443	1463	-2,4200E-03	-2,4500E-03	1,0124E+00
	1469	1474	-2,42E-03	-2,4350E-03	1,0062E+00

Tabella A2-81 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 2-82 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	0.846	1114	0.963	1115	10.433	1116	12.494
	1141	0.840	1142	0.981	1121	11.893	1122	12.551
	1152	1.056	1153	0.984	1147	8.472	1148	8.316
Diaphragms # 3 – 4	1273	1.402	1274	1.819	1275	9.852	1276	8.706
	1285	1.389	1286	1.851	1287	7.498	1288	9.984
	1301	1.408	1302	1.843	1297	10.175	1298	8.520
	1314	1.527	1315	1.821	1316	8.617	1317	10.493
Cross girder # 6	1435	0.910	1436	0.963	1438	9.011	1437	8.951
	1463	0.824	1464	0.914	1444	8.995	1443	9.205
	1474	0.758	1475	0.900	1470	8.710	1469	7.39

Tabella 2-82 - Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

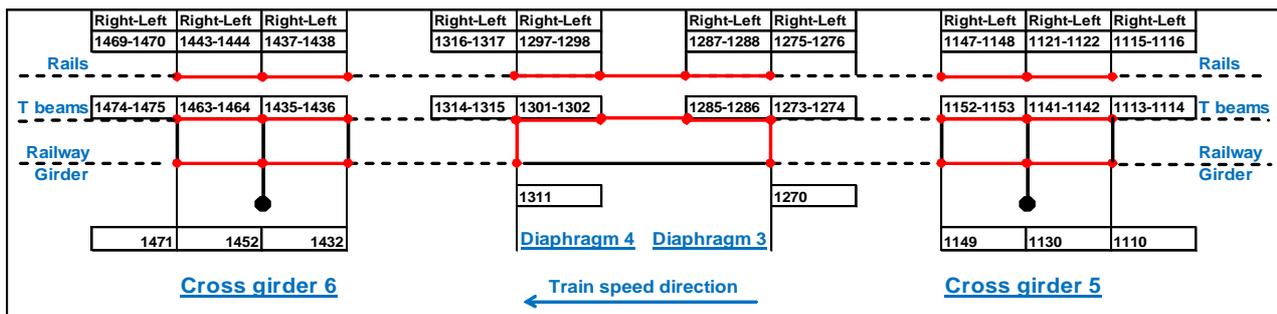
La Tabella A2-83 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	0.927
	1130	0.847
	1149	0.881
Diaphragm # 3	1270	1.179
Diaphragm # 4	1311	1.324
Cross girder # 6	1432	0.901
	1452	0.744
	1471	0.787

Tabella A2-83 - Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

xii. Simulazione 5.8 - RFI 3: Locomotiva E402B60 (velocità 60 km/h)



Le Tabelle A2-84 e A2-85 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	15000	16300	1,0867E+00
	800	15000	15700	1,0467E+00
	803	15000	16200	9,2593E-01
	808	15000	16300	1,0867E+00
	892	14950	15200	1,0167E+00
	899	14900	15500	1,0403E+00
	912	14600	15000	1,0274E+00
	995	15000	14500	9,6667E-01
	1000	14950	15250	1,0201E+00
	1003	15000	15600	1,0400E+00
	1008	15000	15600	1,0400E+00

Tabella A2-84 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	14950	15400	1,0301E+00
	798	14950	15300	1,0234E+00
	801	15000	15800	9,4937E-01
	806	14950	14900	9,9666E-01
	890	15000	15400	1,0267E+00
	897	14900	15500	1,0403E+00
	910	15000	16100	1,0733E+00
	993	15000	15300	1,0200E+00
	998	14950	15300	1,0234E+00
	1001	14950	15000	1,0033E+00
	1006	14950	15450	1,0334E+00

Tabella A2-85 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

La Tabella A2-86 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-3,6000E-03
	1130	-3,6000E-03
	1149	-3,6000E-03
Diaphragm # 3	1270	-4,5000E-03
Diaphragm # 4	1311	-4,5000E-03
Cross Girder # 6	1432	-3,6000E-03
	1452	-3,6000E-03
	1471	-3,6000E-03

Tabella A2-86 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Le Tabelle A2-87 e A2-88 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-2,4200E-03	-2,6000E-03	1,0744E+00
	1122	1142	-2,4200E-03	-2,6200E-03	1,0826E+00
	1148	1153	-2,4200E-03	-2,6000E-03	1,0744E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-2,4250E-03	-2,56E-03	1,0557E+00
	1288	1286	-2,4200E-03	-2,4800E-03	1,0248E+00
	1298	1302	-2,4170E-03	-2,4250E-03	1,0033E+00
	1317	1315	-2,4400E-03	-2,5300E-03	1,0369E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-2,4200E-03	-2,3900E-03	9,8760E-01
	1444	1464	-2,4200E-03	-2,5000E-03	1,0331E+00
	1470	1475	-2,42E-03	-2,5200E-03	1,0413E+00

Tabella A2-87 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-2,4200E-03	-2,3920E-03	9,8843E-01
	1121	1141	-2,4200E-03	-2,5600E-03	1,0579E+00
	1147	1152	-2,4200E-03	-2,5000E-03	1,0331E+00
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-2,4300E-03	-2,46E-03	1,0123E+00
	1287	1285	-2,4200E-03	-2,5600E-03	1,0579E+00
	1297	1301	-2,4200E-03	-2,5100E-03	1,0372E+00
	1316	1314	-2,4300E-03	-2,5800E-03	1,0617E+00
Cross Girder # 6	1437	1435	-2,4200E-03	-2,5400E-03	1,0496E+00
	1443	1463	-2,4200E-03	-2,4500E-03	1,0124E+00
	1469	1474	-2,42E-03	-2,4800E-03	1,0248E+00

Tabella A2-88 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 2-89 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	0.647	1114	0.631	1115	6.253	1116	9.358
	1141	0.640	1142	0.752	1121	7.137	1122	6.078
	1152	0.753	1153	0.660	1147	7.137	1148	9.877
Diaphragms # 3 – 4	1273	0.878	1274	1.072	1275	9.266	1276	7.246
	1285	0.932	1286	1.103	1287	5.587	1288	7.292
	1301	0.883	1302	1.129	1297	6.620	1298	9.185
	1314	0.789	1315	1.078	1316	5.526	1317	6.855
Cross girder # 6	1435	0.568	1436	0.598	1438	7.171	1437	6.099
	1463	0.627	1464	0.644	1444	5.632	1443	8.487
	1474	0.645	1475	0.717	1470	6.154	1469	6.845

Tabella 2-89 - Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

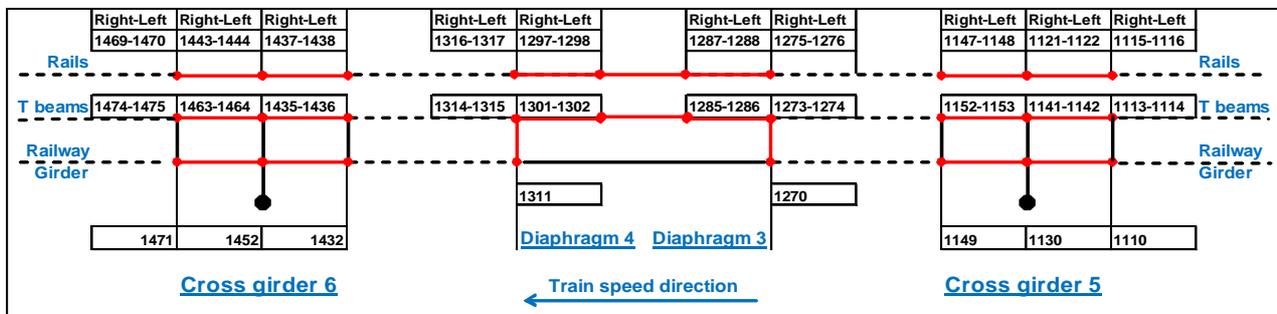
La Tabella A2-90 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	0.677
	1130	0.642
	1149	0.660
Diaphragm # 3	1270	0.746
Diaphragm # 4	1311	0.815
Cross girder # 6	1432	0.550
	1452	0.607
	1471	0.636

Tabella A2-90 - Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

xiii. Simulazione 5.9 - RFI 3: Locomotiva E402B50 (velocità 50 km/h)



Le Tabelle A2-91 e A2-92 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	15000	16400	1,0933E+00
	800	15000	16200	1,0800E+00
	803	15000	16500	1,1000E+00
	808	15000	17000	1,1333E+00
	892	14950	15300	1,0234E+00
	899	14900	15500	1,0403E+00
	912	15000	15100	1,0067E+00
	995	14980	15020	1,0027E+00
	1000	15000	15400	1,0267E+00
	1003	15000	16000	1,0667E+00
	1008	15000	15500	1,0333E+00

Tabella A2-91 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	14950	15750	1,0535E+00
	798	14950	15000	1,0033E+00
	801	14950	15100	1,0100E+00
	806	15000	14600	9,7333E-01
	890	15000	15300	1,0200E+00
	897	14900	15600	1,0470E+00
	910	15000	16100	1,0733E+00
	993	15000	15700	1,0467E+00
	998	15000	15800	1,0533E+00
	1001	15000	15500	1,0333E+00
	1006	15000	15300	1,0200E+00

Tabella A2-92 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

La Tabella A2-93 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-3,6000E-03
	1130	-3,6000E-03
	1149	-3,6000E-03
Diaphragm # 3	1270	-4,5000E-03
Diaphragm # 4	1311	-4,5000E-03
Cross Girder # 6	1432	-3,6000E-03
	1452	-3,6000E-03
	1471	-3,6000E-03

Tabella A2-93 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

Le Tabelle A2-94 e A2-95 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-2,4200E-03	-2,6500E-03	1,0950E+00
	1122	1142	-2,4200E-03	-2,7000E-03	1,1157E+00
	1148	1153	-2,4200E-03	-2,70E-03	9,7521E-01
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-2,4300E-03	-2,56E-03	1,0535E+00
	1288	1286	-2,4200E-03	-2,5600E-03	1,0579E+00
	1298	1302	-2,4200E-03	-2,4800E-03	1,0248E+00
	1317	1315	-2,4400E-03	-2,4850E-03	1,0184E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-2,4250E-03	-2,4900E-03	1,0268E+00
	1444	1464	-2,4200E-03	-2,5600E-03	1,0579E+00
	1470	1475	-2,42E-03	-2,6000E-03	1,0744E+00

Tabella A2-94 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-2,4200E-03	-2,5000E-03	1,0331E+00
	1121	1141	-2,4200E-03	-2,4700E-03	1,0207E+00
	1147	1152	-2,4200E-03	-2,36E-03	9,7521E-01
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-2,4300E-03	-2,46E-03	1,0103E+00
	1287	1285	-2,4200E-03	-2,5200E-03	1,0413E+00
	1297	1301	-2,4200E-03	-2,5000E-03	1,0331E+00
	1316	1314	-2,4000E-03	-2,6000E-03	1,0833E+00
Cross Girder # 6	1437	1435	-2,4200E-03	-2,5200E-03	1,0413E+00
	1443	1463	-2,4200E-03	-2,4700E-03	1,0207E+00
	1469	1474	-2,42E-03	-2,5500E-03	1,0537E+00

Tabella A2-95 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

xiv. Simulazione 5.10 - RFI 3: Locomotiva E402B (velocità 144 km/h)

La progettazione di binari, raccordi e cassone ferroviario viene realizzata secondo i carichi statici convenzionali indicati dal Codice RFI DTC-ICI-PO SP INF 001 A. Di conseguenza, è necessaria la distribuzione del carico dinamico dei piani di posa viscoelastici dovuta al transito dei veicoli, a scopo di confronto. Quest'analisi più dettagliata viene eseguita per la locomotiva E402B, che rappresenta il veicolo più critico alla velocità di 144 km/h. Le Tabelle A2-34 e A2-35 riportano il fattore di impatto massimo di 1.18 sul binario sinistro; quindi tale binario viene scelto per l'analisi dettagliata.

La Figura A2-46 mostra la distribuzione del carico totale sui piani di posa viscoelastici situati sotto il binario sinistro tra i traversi 5 e 6. Il carico massimo è 3.5×10^5 N e si verifica quando t_0 è uguale a 4.04 secondi.

Il carico di ogni piano di posa al tempo t_0 è quindi rappresentato graficamente attraverso la posizione longitudinale del piano di posa viscoelastico lungo il cassone ferroviario. Le Figure A2-47 e A2-48 mostrano rispettivamente la variazione del carico verticale su ogni piano di posa lungo il binario sinistro e il fattore di impatto del binario destro e sinistro rappresentato graficamente rispetto alla velocità del veicolo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

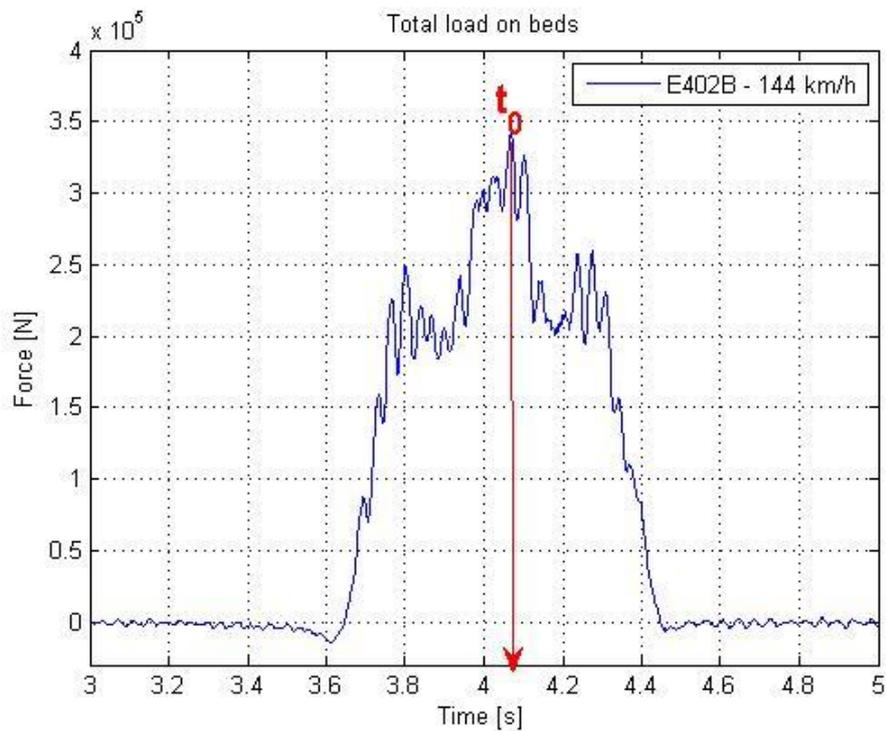


Figura A2-46 - Distribuzione del carico totale sui piani di posa viscoelastici situati sotto il binario sinistro tra i traversi 5 e 6. Il carico massimo è 3.5×10^5 N e si verifica quando t_0 è uguale a 4.04 secondi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C	Data 13-02-2011

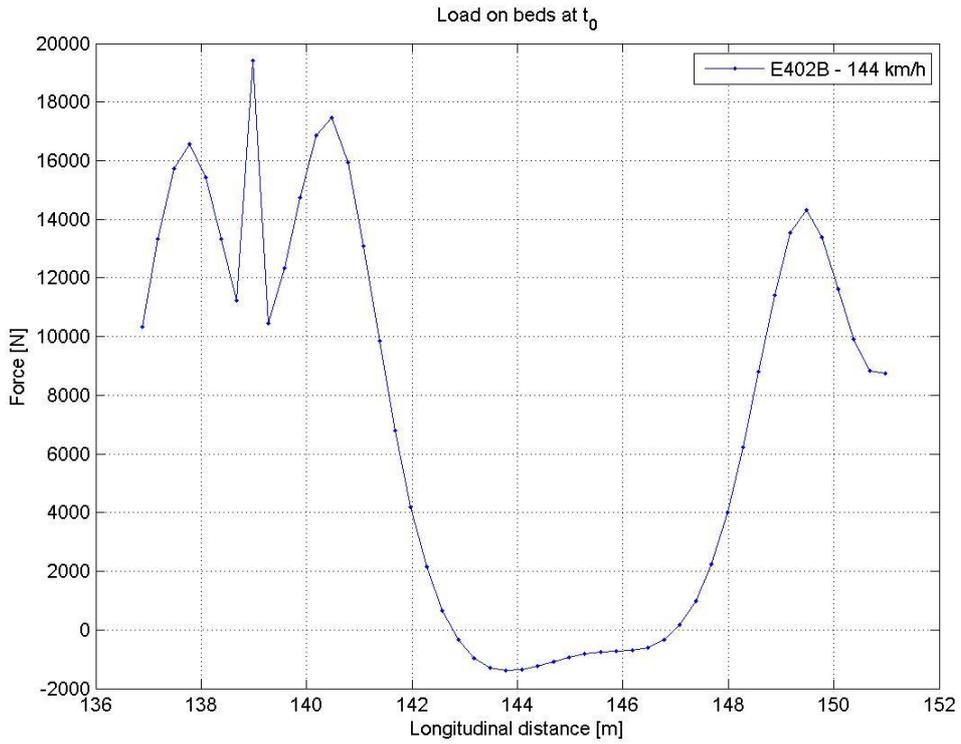


Figura A2-47 – Variazione del carico verticale su ogni piano di posa lungo il binario sinistro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

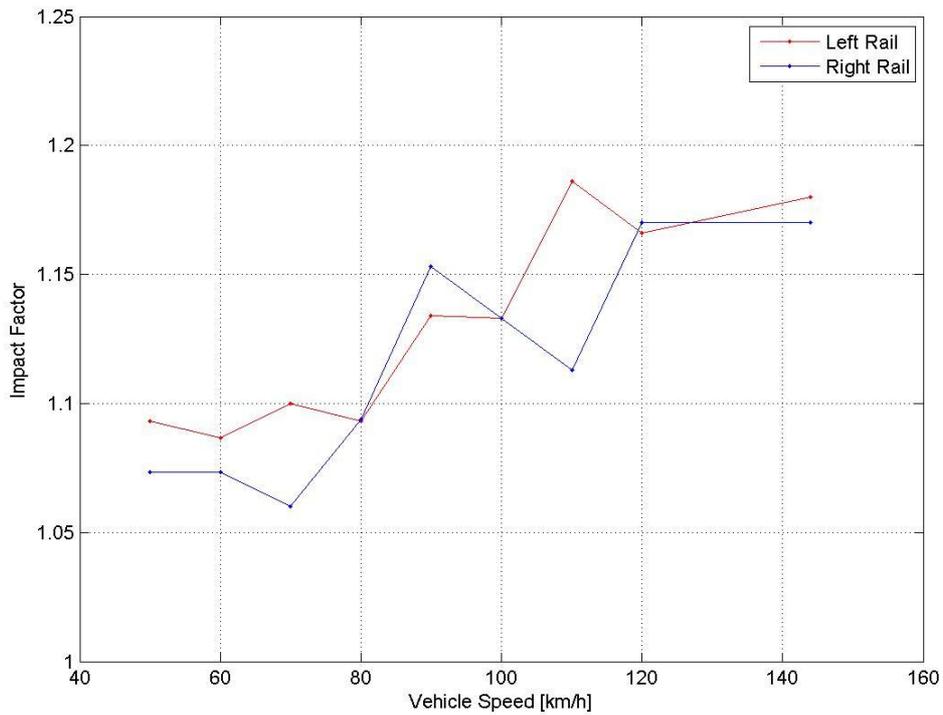
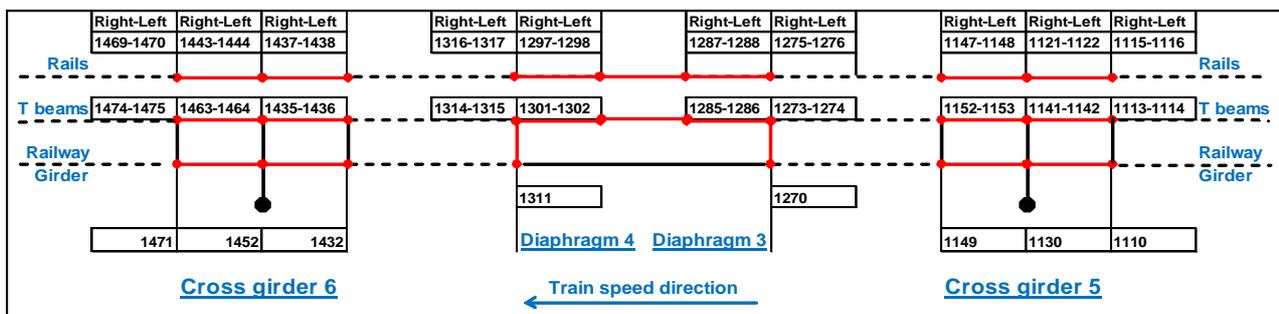


Figura A2-48 – Fattore di impatto del binario destro e sinistro rappresentato graficamente rispetto alla velocità del veicolo.

xv. Simulazione 6 - RFI 3: Semipilota MD (velocità 144 km/h)



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Le Tabelle A2-96 e A2-97 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	6468	9750	1,5074E+00
	800	6458	8970	1,3890E+00
	803	6465	9027	1,3963E+00
	808	6470	11415	1,7643E+00
	892	6460	9800	1,5170E+00
	899	6445	10300	1,5981E+00
	912	6444	6920	1,0739E+00
	995	6460	8867	1,3726E+00
	1000	6458	9120	1,4122E+00
	1003	6465	8730	1,3503E+00
	1008	6474	8930	1,3794E+00

Tabella A2-96 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	6457	9100	1,4093E+00
	798	6450	9400	1,4574E+00
	801	6460	8800	1,3622E+00
	806	6467	9265	1,4327E+00
	890	6462	9000	1,3928E+00
	897	6466	8000	1,2372E+00
	910	6460	8000	1,2384E+00
	993	6450	7650	1,1860E+00
	998	6455	7940	1,2301E+00
	1001	6465	7750	1,1988E+00
	1006	6460	8682	1,3440E+00

Tabella A2-97 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

La Tabella A2-98 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-1,5800E-03
	1130	-1,5800E-03
	1149	-1,5800E-03
Diaphragm # 3	1270	-2,0000E-03
Diaphragm # 4	1311	-2,0000E-03
Cross Girder # 6	1432	-1,5800E-03
	1452	-1,5700E-03
	1471	-1,5800E-03

Tabella A2-98 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

Le Tabelle A2-99 e A2-100 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-1,0455E-03	-1,5000E-03	1,4347E+00
	1122	1142	-1,0450E-03	-1,4000E-03	1,3397E+00
	1148	1153	-1,0500E-03	-1,8950E-03	1,8048E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-1,0500E-02	-1,19E-03	1,1333E-01
	1288	1286	-1,0430E-03	-1,2000E-03	1,1505E+00
	1298	1302	-1,0430E-03	-1,1820E-03	1,1333E+00
	1317	1315	-1,0545E-03	-1,4200E-03	1,3466E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-1,0480E-03	-1,5300E-03	1,4599E+00
	1444	1464	-1,0500E-03	-1,3618E-03	1,2970E+00
	1470	1475	-1,0500E-03	-1,5400E-03	1,4667E+00

Tabella A2-99 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-1,0470E-03	-1,4440E-03	1,3792E+00
	1121	1141	-1,0457E-03	-1,4800E-03	1,4153E+00
	1147	1152	-1,0500E-03	-1,5000E-03	1,4286E+00
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-1,0500E-02	-1,40E-03	1,3333E-01
	1287	1285	-1,0440E-03	-1,5880E-03	1,5211E+00
	1297	1301	-1,0430E-03	-1,5100E-03	1,4477E+00
	1316	1314	-1,0430E-03	-1,5000E-03	1,4382E+00
Cross Girder # 6	1437	1435	-1,0480E-03	-1,2848E-03	1,2260E+00
	1443	1463	-1,0460E-03	-1,3600E-03	1,3002E+00
	1469	1474	-1,0500E-03	-1,3216E-03	1,2587E+00

Tabella A2-100 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 2-101 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	1.723	1114	2.160	1115	72.058	1116	56.267
	1141	1.929	1142	2.084	1121	83.725	1122	47.964
	1152	2.130	1153	2.493	1147	43.277	1148	46.944
Diaphragms # 3 – 4	1273	2.969	1274	4.129	1275	55.776	1276	45.999
	1285	3.181	1286	5.272	1287	93.837	1288	60.183
	1301	3.394	1302	5.337	1297	41.679	1298	37.525
	1314	3.399	1315	4.374	1316	41.710	1317	58.089
Cross girder # 6	1435	1.634	1436	2.531	1438	40.827	1437	32.985
	1463	1.393	1464	2.004	1444	47.848	1443	63.862
	1474	1.449	1475	2.082	1470	35.337	1469	50.223

Tabella 2-101 - Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

La Tabella A2-102 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	1.725
	1130	1.861
	1149	2.065
Diaphragm # 3	1270	2.858
Diaphragm # 4	1311	3.427
Cross girder # 6	1432	1.517
	1452	1.278
	1471	1.379

Tabella A2-102 - Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

Si esegue un'analisi più dettagliata per la locomotive Semipilota MD in quanto i fattori di impatto si sono rilevati alquanto critici. Le Tabelle A2-96 e A2-97 mostrano che il fattore di impatto massimo è 1.76 sul binario sinistro; quindi tale binario viene scelto per l'analisi dettagliata.

La Figura A2-49 mostra la distribuzione del carico totale sui piani di posa viscoelastici situati sotto il binario sinistro tra i traversi 5 e 6. Il carico massimo è 17.5×10^4 N e si verifica quando t_0 è uguale a 3.63 secondi.

Il carico di ogni piano di posa al tempo t_0 è quindi rappresentato graficamente attraverso la posizione longitudinale del piano di posa viscoelastico lungo il cassone ferroviario. La Figura A2-50 mostra la variazione del carico verticale su ogni piano di posa lungo il binario sinistro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

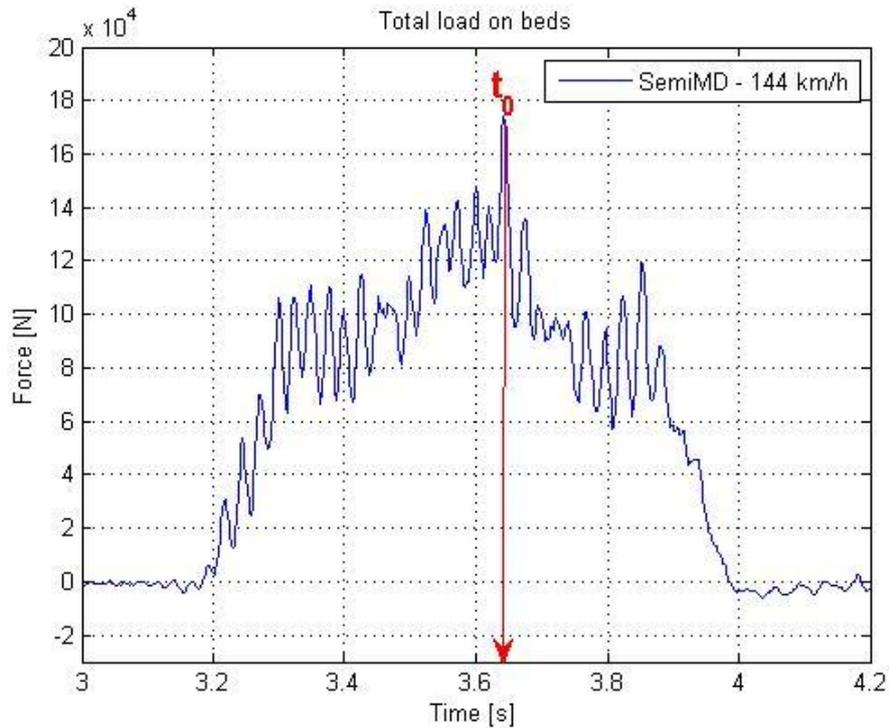


Figura A2-49 - Distribuzione del carico totale sui piani di posa viscoelastici situati sotto il binario sinistro tra i traversi 5 e 6. Il carico massimo è 17.5×10^4 N e si verifica quando t_0 è uguale a 3.63 secondi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

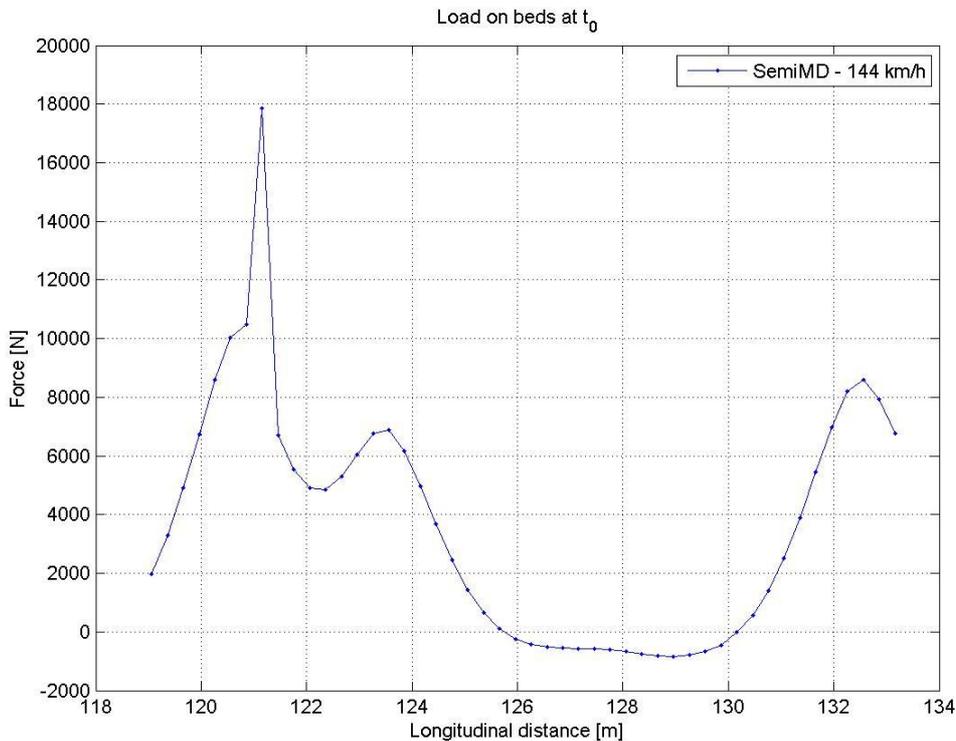
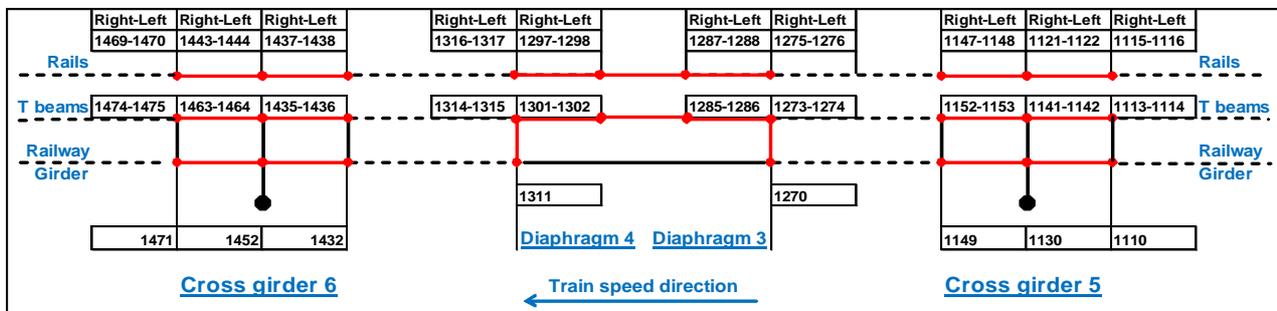


Figura A2-50 – Variazione del carico verticale su ogni piano di posa lungo il binario sinistro.

xvi. Simulazione 7 - RFI 4: Locomotiva TAF (velocità 144 km/h)



Le Tabelle A2-103 e A2-104 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	13500	15600	1,1556E+00
	800	13480	13520	1,0030E+00
	803	13500	13900	1,0296E+00
	808	13500	14100	1,0444E+00
	892	13500	14200	1,0519E+00
	899	13450	13700	1,0186E+00
	912	13500	13580	1,0059E+00
	995	13500	16000	1,1852E+00
	1000	13500	15200	1,1259E+00
	1003	13500	15200	1,1259E+00
	1008	13500	15100	1,1185E+00

Tabella A2-103 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	13470	15290	1,1351E+00
	798	13500	14200	1,0519E+00
	801	13480	14840	1,1009E+00
	806	13500	12900	9,5556E-01
	890	13500	14700	1,0889E+00
	897	13400	15400	1,1493E+00
	910	13500	14600	1,0815E+00
	993	13500	17000	1,2593E+00
	998	13500	15200	1,1259E+00
	1001	13500	15500	1,1481E+00
	1006	13500	16000	1,1852E+00

Tabella A2-104 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

La Tabella A2-105 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-3,3000E-03
	1130	-3,3000E-03
	1149	-3,3000E-03
Diaphragm # 3	1270	-4,1600E-03
Diaphragm # 4	1311	-4,1800E-03
Cross Girder # 6	1432	3,2800E-03
	1452	3,2500E-03
	1471	3,2500E-03

Tabella A2-105 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011	

Le Tabelle A2-106 e A2-107 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-2,1850E-03	-2,5000E-03	1,1442E+00
	1122	1142	-2,1900E-03	-2,1000E-03	9,5890E-01
	1148	1153	-2,1800E-03	-2,4000E-03	1,1009E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-2,1860E-03	-2,43E-03	1,1116E+00
	1288	1286	-2,1787E-03	-2,2670E-03	1,0405E+00
	1298	1302	-2,1750E-03	-2,3000E-03	1,0575E+00
	1317	1315	-2,1700E-03	-2,3200E-03	1,0691E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-2,1870E-03	-2,5000E-03	1,1431E+00
	1444	1464	-2,1800E-03	-2,5000E-03	1,1468E+00
	1470	1475	-2,1780E-03	-2,4500E-03	1,1249E+00

Tabella A2-106 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-2,1850E-03	-2,5000E-03	1,1442E+00
	1121	1141	-2,1817E-03	-2,3700E-03	1,0863E+00
	1147	1152	-2,1800E-03	-1,9200E-03	8,8073E-01
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-2,1900E-03	-2,30E-03	1,0502E+00
	1287	1285	-2,1760E-03	-2,3700E-03	1,0892E+00
	1297	1301	-2,1768E-03	-2,3135E-03	1,0628E+00
	1316	1314	-2,1900E-03	-2,3000E-03	1,0502E+00
Cross Girder # 6	1437	1435	-2,1870E-03	-2,6350E-03	1,2048E+00
	1443	1463	-2,1870E-03	-2,5000E-03	1,1431E+00
	1469	1474	-2,1800E-03	-2,4100E-03	1,1055E+00

Tabella A2-107 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 2-108 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	2.280	1114	2.482	1115	38.073	1116	38.442
	1141	2.191	1142	2.487	1121	35.077	1122	57.426
	1152	2.298	1153	2.649	1147	31.335	1148	31.217
Diaphragms # 3 – 4	1273	4.006	1274	5.333	1275	28.090	1276	40.059
	1285	3.869	1286	5.755	1287	36.980	1288	38.839
	1301	4.165	1302	5.394	1297	41.913	1298	28.903
	1314	4.062	1315	5.361	1316	37.193	1317	27.949
Cross girder # 6	1435	2.035	1436	2.226	1438	56.166	1437	37.647
	1463	1.803	1464	2.079	1444	25.683	1443	34.503
	1474	2.039	1475	2.356	1470	30.811	1469	38.698

Tabella 2-108 - Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

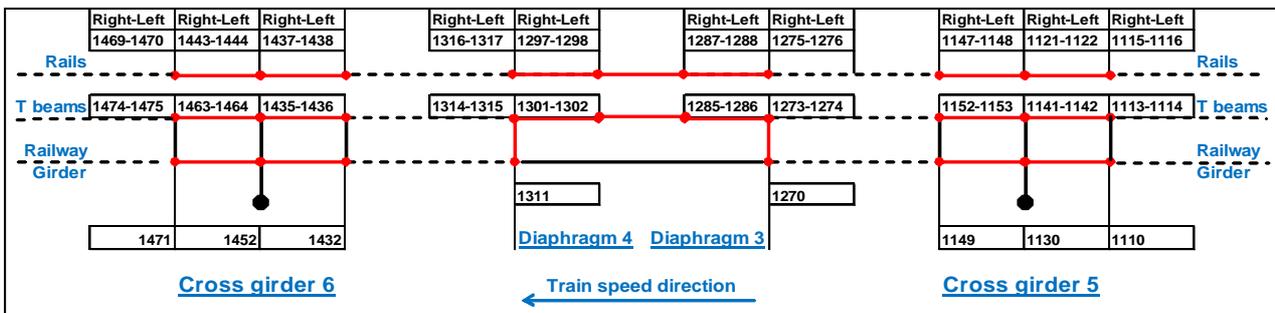
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

La Tabella A2-109 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	2.251
	1130	2.019
	1149	2.082
Diaphragm # 3	1270	3.511
Diaphragm # 4	1311	3.380
Cross girder # 6	1432	2.010
	1452	1.819
	1471	2.017

Tabella A2-109 - Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

xvii. Simulazione 8 - RFI 4: Carrozza TAF (velocità 144 km/h)



Le Tabelle A2-110 e A2-111 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	10400	12100	1,1635E+00
	800	10450	12200	1,1675E+00
	803	10400	10800	1,0385E+00
	808	10400	12000	1,1538E+00
	892	10450	10800	1,0335E+00
	899	10400	11800	1,1346E+00
	912	10500	11800	1,1238E+00
	995	10460	11000	1,0516E+00
	1000	10460	12400	1,1855E+00
	1003	10450	11100	1,0622E+00
	1008	10450	12400	1,1866E+00

Tabella A2-110 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	10500	12200	1,1619E+00
	798	10400	12200	1,1731E+00
	801	10450	11800	1,1292E+00
	806	10400	12200	1,1731E+00
	890	10450	12500	1,1962E+00
	897	10500	13000	1,2381E+00
	910	10500	12200	1,1619E+00
	993	10480	11000	1,0496E+00
	998	10460	12500	1,1950E+00
	1001	10440	11300	1,0824E+00
	1006	10500	12000	1,1429E+00

Tabella A2-111 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

La Tabella A2-112 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	2,5500E-03
	1130	2,5500E-03
	1149	2,5500E-03
Diaphragm # 3	1270	-3,2000E-03
Diaphragm # 4	1311	-3,2000E-03
Cross Girder # 6	1432	-2,5000E-03
	1452	-2,5000E-03
	1471	-2,5000E-03

Tabella A2-112 – Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario.

Le Tabelle A2-113 e A2-114 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-1,6900E+03	-1,8200E-03	1,0769E-06
	1122	1142	-1,6900E-03	-1,8200E-03	1,0769E+00
	1148	1153	-1,6800E-03	-1,8700E-03	1,1131E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-1,7000E-03	-1,98E-03	1,1647E+00
	1288	1286	-1,6900E-03	-1,8500E-03	1,0947E+00
	1298	1302	-1,6900E-03	-1,9300E-03	1,1420E+00
	1317	1315	-1,6800E-03	-2,0500E-03	1,2202E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-1,6900E-03	-1,7500E-03	1,0355E+00
	1444	1464	-1,6900E-03	-1,9000E-03	1,1243E+00
	1470	1475	-1,69E-03	-2,0500E-03	1,2130E+00

Tabella A2-113 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-1,7000E-03	-1,9000E-03	1,1176E+00
	1121	1141	-1,7000E-03	-1,9500E-03	1,1471E+00
	1147	1152	-1,7000E-03	-1,9500E-03	1,1471E+00
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-1,6900E-03	-2,10E-03	1,2426E+00
	1287	1285	-1,6800E-03	-2,0500E-03	1,2202E+00
	1297	1301	-1,6900E-03	-2,0500E-03	1,2130E+00
	1316	1314	-1,6900E-03	-2,0000E-03	1,1834E+00
Cross Girder # 6	1437	1435	-1,7000E-03	-1,7500E-03	1,0294E+00
	1443	1463	-1,6900E-03	-1,9400E-03	1,1479E+00
	1469	1474	-1,68E-03	-1,9500E-03	1,1607E+00

Tabella A2-114 – Valutazione del fattore di impatto in base alla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 2-115 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	2.146	1114	2.427	1115	32.287	1116	39.234
	1141	2.146	1142	2.268	1121	38.823	1122	52.673
	1152	2.293	1153	2.505	1147	32.017	1148	30.898
Diaphragms # 3 – 4	1273	3.610	1274	5.684	1275	31.233	1276	40.362
	1285	3.591	1286	6.324	1287	45.362	1288	36.802
	1301	3.699	1302	5.798	1297	52.054	1298	33.004
	1314	3.841	1315	4.877	1316	34.588	1317	30.273
Cross girder # 6	1435	1.599	1436	2.213	1438	46.059	1437	24.406
	1463	1.648	1464	2.019	1444	31.052	1443	36.158
	1474	1.868	1475	2.241	1470	36.976	1469	41.568

Tabella 2-115 - Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

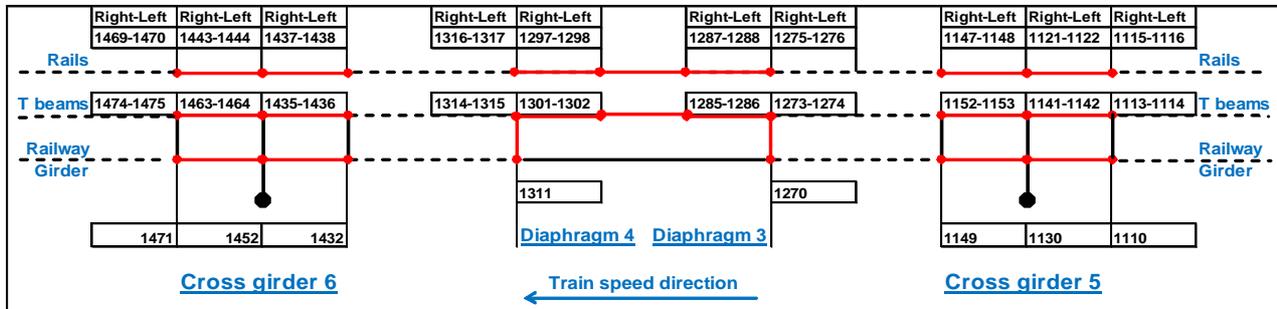
La Tabella A2-116 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	2.143
	1130	2.165
	1149	2.085
Diaphragm # 3	1270	2.956
Diaphragm # 4	1311	3.699
Cross girder # 6	1432	1.583
	1452	1.489
	1471	1.706

Tabella A2-116 - Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

Simulazione 9 - RFI 5: Vagone merci - Pieno carico (velocità 144 km/h)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<table border="1"> <tr> <td><i>Rev</i></td> <td><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>13-02-2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	C	13-02-2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
C	13-02-2011						



Le Tabelle 1 e 2 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	1,6700E+04	1,7600E+04	1,0539E+00
	800	1,6700E+04	1,7160E+04	1,0275E+00
	803	1,6700E+04	1,7450E+04	1,0449E+00
	808	1,6700E+04	1,7230E+04	1,0317E+00
	892	1,6700E+04	1,7660E+04	1,0575E+00
	899	1,6700E+04	1,7240E+04	1,0323E+00
	912	1,6700E+04	1,7140E+04	1,0263E+00
	995	1,6700E+04	1,7950E+04	1,0749E+00
	1000	1,6700E+04	1,8500E+04	1,1078E+00
	1003	1,6700E+04	1,7690E+04	1,0593E+00
	1008	1,6700E+04	1,8100E+04	1,0838E+00

Tabella 1 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	1,6700E+04	1,6030E+04	9,5988E-01
	798	1,6700E+04	1,5320E+04	9,1737E-01
	801	1,6700E+04	1,5260E+04	9,1377E-01
	806	1,6700E+04	1,5650E+04	9,3713E-01
	890	1,6700E+04	2,0070E+04	1,2018E+00
	897	1,6700E+04	2,0200E+04	1,2096E+00
	910	1,6700E+04	2,2600E+04	1,3533E+00
	993	1,6700E+04	1,5565E+04	9,3204E-01
	998	1,6700E+04	1,6150E+04	9,6707E-01
	1001	1,6700E+04	1,5350E+04	9,1916E-01
	1006	1,6700E+04	1,6000E+04	9,5808E-01

Tabella 2 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

La Tabella 3 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-3,9500E-03
	1130	-3,9500E-03
	1149	-3,9500E-03
Diaphragm # 3	1270	-5,1000E-03
Diaphragm # 4	1311	-5,1000E-03
Cross Girder # 6	1432	-3,9500E-03
	1452	-3,9500E-03
	1471	-4,0000E-03

Tabella 3 - Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario .

Le Tabelle 4 e 5 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-2,7000E-03	-2,8650E-03	1,0611E+00
	1122	1142	-2,7000E-03	-2,7950E-03	1,0352E+00
	1148	1153	-2,7000E-03	-2,8200E-03	1,0444E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-2,7000E-03	-2,8000E-03	1,0370E+00
	1288	1286	-2,7000E-03	-2,7100E-03	1,0037E+00
	1298	1302	-2,7000E-03	-2,8380E-03	1,0511E+00
	1317	1315	-2,7000E-03	-2,8175E-03	1,0435E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-2,7000E-03	-2,9800E-03	1,1037E+00
	1444	1464	-2,7000E-03	-2,8700E-03	1,0630E+00
	1470	1475	-2,7000E-03	-2,9850E-03	1,1056E+00

Tabella 4 – Valutazione del fattore di impatto dalla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-2,7000E-03	-2,5500E-03	9,4444E-01
	1121	1141	-2,7000E-03	-2,4950E-03	9,2407E-01
	1147	1152	-2,7000E-03	-2,5500E-03	9,4444E-01
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-2,7000E-03	-3,0800E-03	1,1407E+00
	1287	1285	-2,7000E-03	-3,2200E-03	1,1926E+00
	1297	1301	-2,7000E-03	-3,1700E-03	1,1741E+00
	1316	1314	-2,7000E-03	-3,1360E-03	1,1615E+00
Cross Girder # 6	1437	1435	-2,7000E-03	-2,5900E-03	9,5926E-01
	1443	1463	-2,7000E-03	-2,5350E-03	9,3889E-01
	1469	1474	-2,7000E-03	-2,4920E-03	9,2296E-01

Tabella 5 – Valutazione del fattore di impatto dalla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 6 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort	<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C

	T beam Right Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	1,328	1114	1,667	1115	33,121	1116	33,152
	1141	1,362	1142	1,644	1121	29,602	1122	47,672
	1152	1,479	1153	1,707	1147	37,757	1148	43,043
Diaphragms # 3 – 4	1273	1,978	1274	3,675	1275	30,303	1276	38,631
	1285	2,299	1286	4,857	1287	30,85	1288	37,102
	1301	2,216	1302	5,167	1297	45,751	1298	31,766
	1314	2,18	1315	4,274	1316	43,484	1317	34,636
Cross girder # 6	1435	1,031	1436	1,348	1438	27,753	1437	30,555
	1463	0,977	1464	1,574	1444	28,707	1443	34,096
	1474	1,092	1475	1,715	1470	24,393	1469	38,305

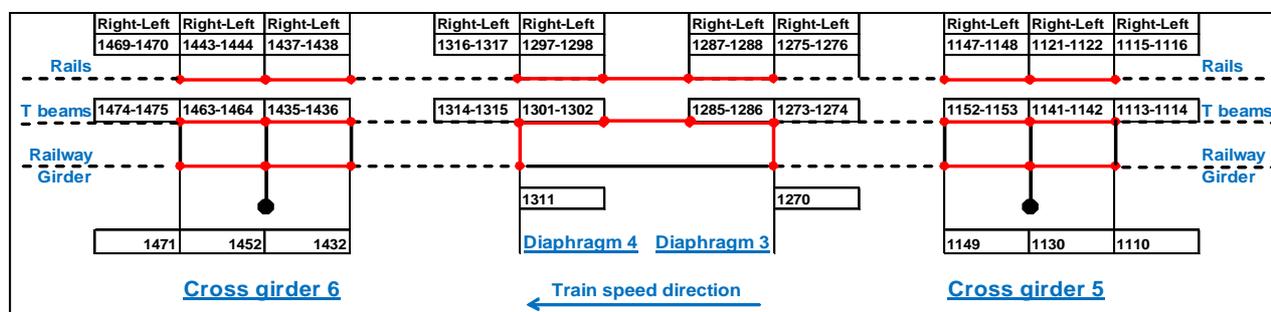
Tabella 6 – Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

La Tabella 7 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	1,105
	1130	1,239
	1149	1,351
Diaphragm # 3	1270	1,512
Diaphragm # 4	1311	1,713
Cross girder # 6	1432	0,812
	1452	0,793
	1471	0,898

Tabella 7 – Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

Simulazione 10 - RFI 6: Vagone merci – Vuoto (velocità 144 km/h)



Le Tabelle 8 e 9 presentano la forza verticale massima trasmessa ai piani di posa viscoelastici indicati, situati sotto i binari destro e sinistro, e calcolati in base alle simulazioni statiche e dinamiche. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

LEFT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	795	5,7200E+03	8,7600E+03	1,5315E+00
	800	5,7200E+03	8,6000E+03	1,5035E+00
	803	5,7200E+03	8,7600E+03	1,5315E+00
	808	5,7200E+03	7,2000E+03	1,2587E+00
	892	5,7200E+03	8,2000E+03	1,4336E+00
	899	5,7200E+03	8,0000E+03	1,3986E+00
	912	5,7200E+03	8,4000E+03	1,4685E+00
	995	5,7200E+03	5,9300E+03	1,0367E+00
	1000	5,7200E+03	5,0400E+03	8,8112E-01
	1003	5,7200E+03	4,9000E+03	8,5664E-01
	1008	5,7200E+03	4,9200E+03	8,6014E-01

Tabella 8 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario sinistro.

RIGHT RAIL	Bed #	Static Force [N]	Dynamic Force [N]	Impact Factor
	793	5,7200E+03	5,6000E+03	9,7902E-01
	798	5,7200E+03	5,5200E+03	9,6503E-01
	801	5,7200E+03	5,7700E+03	1,0087E+00
	806	5,7200E+03	6,1500E+03	1,0752E+00
	890	5,7200E+03	9,0600E+03	1,5839E+00
	897	5,7200E+03	8,9100E+03	1,5577E+00
	910	5,7200E+03	5,8500E+03	1,0227E+00
	993	5,7200E+03	7,9700E+03	1,3934E+00
	998	5,7200E+03	8,9400E+03	1,5629E+00
	1001	5,7200E+03	8,9700E+03	1,5682E+00
	1006	5,7200E+03	8,5200E+03	1,4895E+00

Tabella 9 – Valutazione del fattore di impatto in base ai carichi statici e dinamici in posizioni specifiche del piano di posa situato sotto il binario destro.

La Tabella 10 mostra gli spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario selezionati situati sui traversi 5 e 6 e i diaframmi 3 e 4.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		<i>Codice documento</i> CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	<i>Rev</i> C	<i>Data</i> 13-02-2011

	Node #	Displacement [m]
Cross Girder # 5	1110	-1,15E-03
	1130	-1,15E-03
	1149	-1,15E-03
Diaphragm # 3	1270	-1,30E-03
Diaphragm # 4	1311	-1,30E-03
Cross Girder # 6	1432	-1,15E-03
	1452	-1,15E-03
	1471	-1,15E-03

Tabella 10 - Spostamenti verticali dei nodi del cassone ferroviario .

Le Tabelle 11 e 12 mostrano la differenza di spostamento verticale tra binari e travi a T indicata in base alle simulazioni statiche e dinamiche sul lato destro e sinistro del binario. I fattori di impatto sono riportati nelle stesse tabelle.

LEFT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1116	1114	-9,2000E-04	-1,3950E-03	1,5163E+00
	1122	1142	-9,2000E-04	-1,3970E-03	1,5185E+00
	1148	1153	-9,2000E-04	-1,2570E-03	1,3663E+00
Diaphragm 3 - 4	1276	1274	-9,2000E-04	-1,3550E-03	1,4728E+00
	1288	1286	-9,2000E-04	-1,3080E-03	1,4217E+00
	1298	1302	-9,2000E-04	-1,3350E-03	1,4511E+00
	1317	1315	-9,2000E-04	-1,5100E-03	1,6413E+00
Cross Girder # 6	1438	1436	-9,2000E-04	-9,4000E-04	1,0217E+00
	1444	1464	-9,2000E-04	-7,8000E-04	8,4783E-01
	1470	1475	-9,2000E-04	-7,7400E-04	8,4130E-01

Tabella 11 – Valutazione del fattore di impatto dalla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato sinistro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort		Codice documento CG1000-P-RX-D-P-SB-A2-00-00-00-02_C_Runability_ITA.doc	Rev C	Data 13-02-2011

RIGHT RAIL	Rail	T Beam	Static	Dynamic	Impact
	Node #	Node #	Displacement [m]	Displacement [m]	Factor
Cross Girder # 5	1115	1113	-9,2000E-04	-9,1900E-04	9,9891E-01
	1121	1141	-9,2000E-04	-8,9400E-04	9,7174E-01
	1147	1152	-9,2000E-04	-9,8250E-04	1,0679E+00
Diaphragm 3 - 4	1275	1273	-9,2000E-04	-1,5200E-03	1,6522E+00
	1287	1285	-9,2000E-04	-1,4450E-03	1,5707E+00
	1297	1301	-9,2000E-04	-1,1000E-03	1,1957E+00
	1316	1314	-9,2000E-04	-8,8500E-04	9,6196E-01
Cross Girder # 6	1437	1435	-9,2000E-04	-1,2800E-03	1,3913E+00
	1443	1463	-9,2000E-04	-1,4500E-03	1,5761E+00
	1469	1474	-9,2000E-04	-1,3630E-03	1,4815E+00

Tabella 12 – Valutazione del fattore di impatto dalla differenza di spostamento verticale nodale tra binari e travi a T sul lato destro del binario. Si riportano inoltre i fattori di impatto in base al rapporto tra quantità statiche e dinamiche.

La Tabella 13 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

	T beam Right	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	T beam Left Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Right Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]	Left Rail Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1113	1,185	1114	1,28	1115	21,116	1116	33,887
	1141	1,296	1142	1,442	1121	26,934	1122	32,086
	1152	1,326	1153	1,544	1147	28,149	1148	28,87
Diaphragms # 3 – 4	1273	1,578	1274	2,249	1275	30,45	1276	31,281
	1285	1,696	1286	2,178	1287	23,544	1288	31,624
	1301	1,574	1302	2,223	1297	41,633	1298	29,218
	1314	1,718	1315	2,332	1316	29,588	1317	52,239
Cross girder # 6	1435	1,126	1436	1,953	1438	37,953	1437	64,895
	1463	1,129	1464	1,603	1444	24,025	1443	37,603
	1474	1,196	1475	1,908	1470	28,172	1469	28,658

Tabella 13 – Picchi di accelerazione verticale nodale di binario destro e sinistro e travi a T.

La Tabella 14 mostra i picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.

	Railway Girder Node #	Vertical Acceleration Peak [m/s ²]
Cross girder # 5	1110	1,107
	1130	1,174
	1149	1,223
Diaphragm # 3	1270	1,359
Diaphragm # 4	1311	1,562
Cross girder # 6	1432	1,086
	1452	1,038
	1471	1,024

Tabella 14 – Picchi di accelerazione verticale nodale del cassone ferroviario.