

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 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> OPERA DI ATTRAVERSAMENTO <i>Tipo di sistema</i> SOVRASTRUTTURE <i>Raggruppamento di opere/attività</i> IMPALCATO <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> Impalcato <i>Titolo del documento</i> Relazione tecnica specialistica</p>	<p>PS0075_F0</p>
---	-------------------------

CODICE	C G 1 0 0 0 P R X D P S V I 3 I M 0 0 0 0 0 0 0 1 F0
--------	--

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20-06-2011	EMISSIONE FINALE	JESO,HEAE,AMOL PGSC,MLSA	HPO	HPO/LSJ

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

INDICE

INDICE	3
1 Relazione di Sintesi	7
1.1 Introduzione	7
1.2 Scopo	7
1.3 Materiali	8
1.4 Analisi Strutturale	8
1.5 Verifica - Acciaio Longitudinale	8
1.5.1 Cassoni longitudinali	9
1.5.2 Traversi	12
1.6 Verifica - Acciaio longitudinale con le tensioni trasversali	15
1.7 Verifica - Acciaio Trasversale	15
1.8 Verifica utilizzando i Modelli Locali agli Elementi Finiti	16
1.8.1 Modello locale FEM dell'impalcato del ponte	18
1.8.2 Modello locale FEM stradale e ferroviario	19
1.8.3 Modello locale agli elementi finiti dell'ancoraggio del pendino	20
1.9 Fatica	21
2 Introduzione	23
2.1 Scopo del lavoro	23
2.2 Prospetto del ponte, pianta e sezione trasversale dell'impalcato sospeso	24
2.3 Specifiche di progetto	25
2.3.1 Norme di progetto	25
2.3.2 Specifiche dei materiali	26
2.3.3 Disegni	27
2.3.4 Relazioni sull'impalcato sospeso	29
2.4 Nomenclatura	30
3 Modifiche di progetto	31
3.1 Cassone stradale	31
3.2 Cassone ferroviario	33
3.3 Traverso	35
3.3.1 Intersezioni con i cassoni stradale e ferroviario	37
4 Stati limite	39

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

5	Materiali	39
5.1	Armatura strutturale	40
5.2	Bulloni ad alta resistenza.....	40
5.3	Consumabili per saldature	40
6	Articolazione	40
6.1	Sistema statico complessivo	40
6.2	Collegamento tra gli elementi dell'impalcato sospeso.....	41
7	Analisi strutturale globale agli elementi finiti	41
7.1	Modello globale di trave IBDAS.....	41
7.2	Imperfezioni ed effetti di secondo ordine.....	42
8	Verifica - armatura longitudinale	42
8.1	Cassone stradale - Verifica	45
8.2	Cassone ferroviario - verifica.....	49
8.3	Traverso - verifica.....	64
8.4	Verifica- Tensioni trasversali	72
9	Verifica - armatura trasversale.....	75
9.1	Metodo.....	75
10	Verifica utilizzando i modelli Locali agli elementi finiti	78
10.1	Introduzione.....	78
10.2	Modello locale agli elementi finiti dell'impalcato sospeso.....	81
10.3	Modelli locali agli elementi finiti del cassone stradale e ferroviario.....	92
10.4	Modello locale agli elementi finiti dell'ancoraggio del pendino	100
11	Verifica- accertamenti della resistenza alla fatica	102
11.1	Carichi non generati dall'uomo	103
11.2	Modelli di carico da fatica	104
11.2.1	Carichi da fatica per il traffico ferroviario	104
11.2.2	Carichi da fatica per il traffico stradale	106
11.2.3	Verifica dell'impalcato del cassone stradale- Effetti locali	107
11.3	Fattore di concentrazione della sollecitazione (SCF)	110
11.3.1	Punti oggetto della ricerca.....	110
11.3.2	Determinazione del range delle sollecitazioni e risultati SCF.....	113
11.3.3	Determinazione degli spessori dei rinforzi- modello ROBOT	122
11.3.4	Conclusioni.....	127

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica	<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

11.4	Categorie di dettaglio da fatica	128
11.4.1	Dettagli della piattabanda inferiore, stradale e ferroviaria	128
11.4.2	Dettagli dell'impalcato stradale.....	129
11.4.3	Dettagli dell'impalcato ferroviario	133
11.4.4	Dettagli del traverso	135
11.4.5	Miglioramento della saldatura	135
11.4.6	Traverso- verifica.....	136
11.4.7	Cassone ferroviario - Verifica	137
11.4.8	Cassone stradale - Verifica	138
11.4.9	Verifica dell'ancoraggio dei pendini.....	139
11.4.10	Sistema delle articolazioni: Struttura X.....	141
12	Speciali ricerche di progetto.....	142
12.1	Sostituzione del pendino	143
12.2	Rottura del pendino	145

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

1 Relazione di Sintesi

1.1 Introduzione

La presente relazione descrive la progettazione dei seguenti elementi strutturali dell'impalcato sospeso:

- Cassoni stradali: consistono in sezioni d'acciaio irrigidite da nervature longitudinali e diaframmi trasversali. Comprendono singoli cassoni connessi ai traversi di supporto. I cassoni sono completati da alettoni aerodinamici.
- Cassone ferroviario: formato da sezioni in acciaio irrigidite da elementi di rinforzo longitudinali e diaframmi trasversali; in particolare elementi strutturali sono disposti al disotto di ogni binario. Le sezioni del cassone ferroviario sono connesse ai traversi di supporto.
- Traversi: disposti a interasse di 30 m e supportati dai pendini, sono la struttura di supporto dei cassoni stradali e ferroviari; sono costituiti da cassoni chiusi di altezza variabile.

Il progetto è basato sul Progetto di gara. I calcoli strutturali sono basati sul modello di calcolo globale IBIDAS versione 3.3.

1.2 Scopo

Questa relazione descrive la progettazione degli elementi strutturali in acciaio dell'impalcato sospeso, compresi tra la struttura terminale lato Sicilia (alla progressiva 88,49) e la struttura terminale lato Calabria (alla progressiva 3.273,99). L'impalcato sospeso è largo 60 m e completamente realizzato in acciaio. Come sopra descritto, è costituito da tre cassoni longitudinali indipendenti, due per le carreggiate stradali e uno per i binari ferroviari. I cassoni sono collegati da traversi posti a interasse di 30 m.

I dettagli di progetto degli elementi non strutturali dell'impalcato sospeso, come ad esempio il sistema di accesso e manutenzione e le installazioni meccaniche ed elettriche, sono descritti in relazioni specifiche.

In generale il Progetto Definitivo dell'impalcato sospeso è basato sul Progetto di Gara. Il Progetto Definitivo definisce gli aspetti progettuali più importanti e altri argomenti tecnici considerati rilevanti

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

e/o soluzioni specifiche per le esigenze del progetto. Per alcune parti delle strutture dell'impalcato sospeso è stato ritenuto vantaggioso introdurre alcuni cambiamenti, che sono descritti nella presente relazione.

La Relazione Tecnica Specialistica è incentrata su una sintesi della progettazione strutturale, inclusa l'identificazione delle combinazioni di carico che governano la progettazione dei componenti strutturali ed i risultati delle verifiche degli stessi componenti.

1.3 Materiali

Le piastre dei componenti strutturali sono fabbricate in acciaio strutturale di classe S355ML, S420ML e S460ML. Il fornitore dell'acciaio ha confermato che le caratteristiche meccaniche dell'acciaio non cambieranno al variare dello spessore delle lamiere per spessori inferiori a 100 mm, com'è tipico per prodotti in acciaio.

1.4 Analisi Strutturale

Il Ponte sullo Stretto di Messina è stato modellizzato ed analizzato utilizzando il programma proprietario IBDAS (Integrated Bridge Design and Analysis System) di modellizzazione strutturale della COWI. La progettazione dell'impalcato sospeso descritta nella presente relazione è basata sul Modello 3.3.

Il modello dell'analisi globale è stato integrato da modelli locali di analisi più dettagliati agli elementi finiti dei seguenti componenti:

- Sezione del ponte, comprendente un trasverso e i cassoni longitudinali su ambo i lati;
- Diaframmi;
- Ancoraggio dei Pendini.

1.5 Verifica - Acciaio Longitudinale

Per verificare l'acciaio longitudinale dell'impalcato sospeso (cassone stradale, cassone ferroviario e trasverso), si è fatto ricorso ad un foglio di calcolo basato sugli Eurocodici. La verifica globale è condotta sulla base delle forze della sezione ottenute dal modello globale IBDAS agli elementi finiti. La verifica riguardante l'analisi tensionale e d'instabilità delle sezioni selezionate è stata

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

svolta in accordo alle specifiche contenute in “Basi per la Progettazione” e agli Eurocodici (EC). Il foglio di calcolo è stato elaborato per una sezione chiusa a cassone in acciaio, quali che ne siano la geometria esterna e la posizione degli elementi di rinforzo longitudinali. Il foglio di calcolo determina le proprietà della sezione lorda e netta definiti per un certo numero di parametri, inclusi la geometria della sezione, lo spessore delle lamiere, il tipo e l'interasse degli irrigidimenti, l'interasse tra i diaframmi e la lunghezza del diagramma dei momenti.

Le proprietà della sezione netta sono calcolate utilizzando il metodo della “larghezza ridotta” che prende in considerazione l'effetto dello shear-leg e dell'instabilità delle piastre. Il comportamento dell'instabilità “a colonna” è valutato prendendo in considerazione la flessione locale derivante dal carico del traffico.

Le combinazioni generali di carico agli SLU utilizzate per la verifica degli elementi longitudinali in acciaio comprendono il carico statico, il carico dinamico del vento e l'azione sismica (time history). In generale il caso di carico dominante per le verifiche dell'acciaio longitudinale è quello del carico dinamico del vento. Comunque, per alcuni cassoni ferroviari nella campata laterale, la combinazione di carico sismico è quella predominante.

I coefficienti di utilizzo (UR) mostrati nel paragrafo 1.5 sono relativi alle tensioni di “von Mises” comparati alla tensione di snervamento di progetto e i coefficienti di utilizzo per l'instabilità globale della piastra, sono riferiti all'interazione tra l'instabilità “a colonna” e a “piastra” come prescritto dal paragrafo 4.5 dell'EN 1993-1-5. La tensione critica $\sigma_{Ed, Cr}$ di ciascuna piastra è determinata considerando la piastra e gli irrigidimenti come una piastra ortotropa equivalente in accordo all'Allegato 1 della EN 1003-1-6 del 2006.

1.5.1 Cassoni longitudinali

Il progetto dei cassoni stradali e dei cassoni ferroviari è descritto sotto, assieme alle modifiche apportate dal progetto di gara. Vengono inoltre descritti il metodo di verifica dei cassoni stradali e del cassone ferroviario in riferimento alle combinazioni di carico allo SLU ed alla fatica.

Modifiche di progetto

In confronto alle sezioni trasversali del progetto di gara, la direzione del traffico è stata invertita unitamente all'inclinazione del 2.0% verso l'esterno della piastra dell'impalcato. Gli irrigidimenti ad L al disotto della piastra di estremità sono stati sostituiti con irrigiditori piani per conformarsi alla ottimizzazione della fabbricazione. La prima nervatura al disotto dello spartitraffico sulla corsia di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

emergenza è stato sostituito da due irrigidimenti piani e l'irrigidimento al disotto del corridoio di ispezione è stato anch'esso sostituito da due irrigidimenti piani rispettare i requisiti per la categoria di pezzi ad elevata resistenza alla fatica. Gli alettoni per gli irrigidimenti a canale del fondo sono stati rimossi e sostituiti dall'attacco diretto degli irrigidimenti al diaframma. Per rispettare i requisiti della fatica sui giunti degli irrigidimenti, gli irrigidimenti al disotto dell'impalcato stradale sono aumentati localmente ad una larghezza di 7,3 m. Le parti terminali di irrigidimenti e diaframmi sono stati in genere migliorati mediante l'aggiunta di piastre terminali con un raggio minimo di 150 mm. La categoria di resistenza alla fatica dei pezzi quindi può essere migliorata rispettando i requisiti di fatica

Rispetto al progetto di gara, la geometria globale del cassone ferroviario è stata modificata. L'angolo delle anime inclinate è stato cambiato da 44 gradi a 63 gradi. I profili angolari che supportavano l'impalcato del ponte, le anime e le anime inclinate nel progetto di gara sono stati sostituiti per conformarsi all'ottimizzazione della fabbricazione. Gli irrigidimenti al disotto dell'impalcato stradale sono inoltre stati sostituiti da irrigidimenti piani per conformarsi ai requisiti per categorie di pezzi ad elevata resistenza alla fatica. L'acciaio extra dentro agli irrigidimenti piani è quasi bilanciato mediante la riduzione dello spessore dell'impalcato da 16 mm a 15 mm. Per rispettare i requisiti di fatica, la piastra di fondo è aumentata localmente da 10 mm a 15 mm sui giunti di montaggio (ogni 60 m). A causa della concentrazione delle sollecitazioni, la piattabanda inferiore è ulteriormente rinforzata localmente ai quattro diaframmi centrali presso i cassoni in prossimità delle torri.

Metodo di verifica

La resistenza degli irrigidimenti è verificata utilizzando ADVERS, mentre la distribuzione locale delle sollecitazioni è verificata in un modello locale agli elementi finiti. Tutte le verifiche delle sollecitazioni sono state condotte tenendo conto delle proprietà delle sezioni globali e locali per le proprietà effettive della sezione trasversale.

E' stato sviluppato un modello locale agli elementi finiti per verificare i profili a T sotto ai binari per posizioni dei treni critiche per la verifica a fatica. Inoltre, i profili a T sono stati verificati per l'instabilità torsionale e l'instabilità delle piastre in ADVERS.

Per il cassone stradale è stato sviluppato un modello agli elementi finiti simile a quello per la ferrovia per prendere in considerazione gli effetti locali del carico per ruota su dettagli specifici, a seconda della geometria caratteristica.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

I coefficienti di utilizzo per la combinazione di carico dimensionante allo SLU sono mostrati alla Figura 1-1 e alla Figura 1-2 rispettivamente per il cassone stradale e il cassone ferroviario.

I coefficienti di utilizzo mostrati nelle seguenti figure sono tensioni di von Mises in relazione alla resistenza allo snervamento di progetto. Sono inoltre mostrati i coefficienti di utilizzo per l'instabilità globale della piastra con riferimento all'interazione tra l'instabilità "a colonna" e a "piastra" secondo la EN 1993-1-5 sez. 4.5.

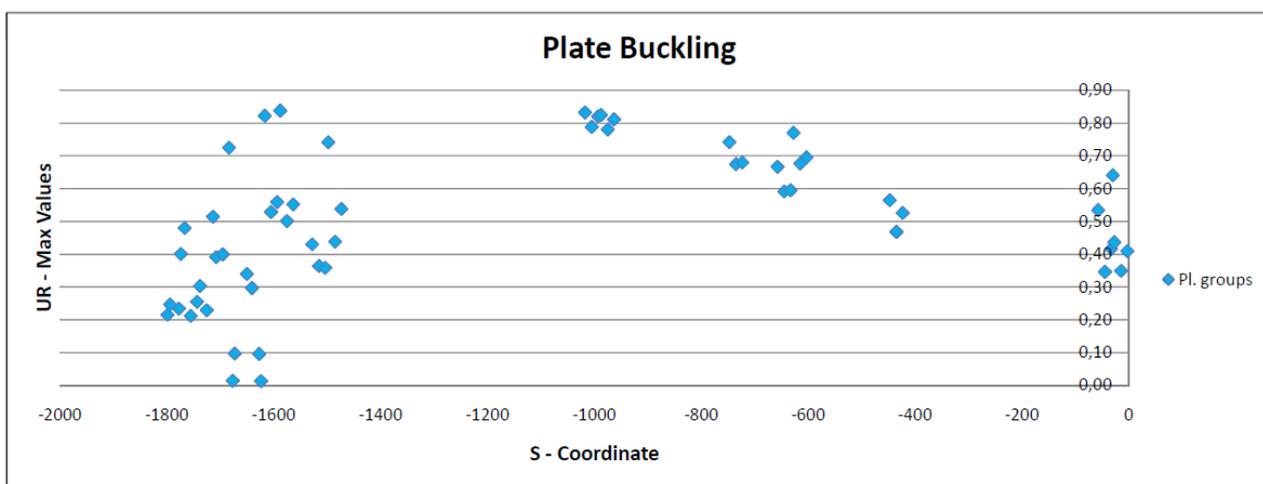
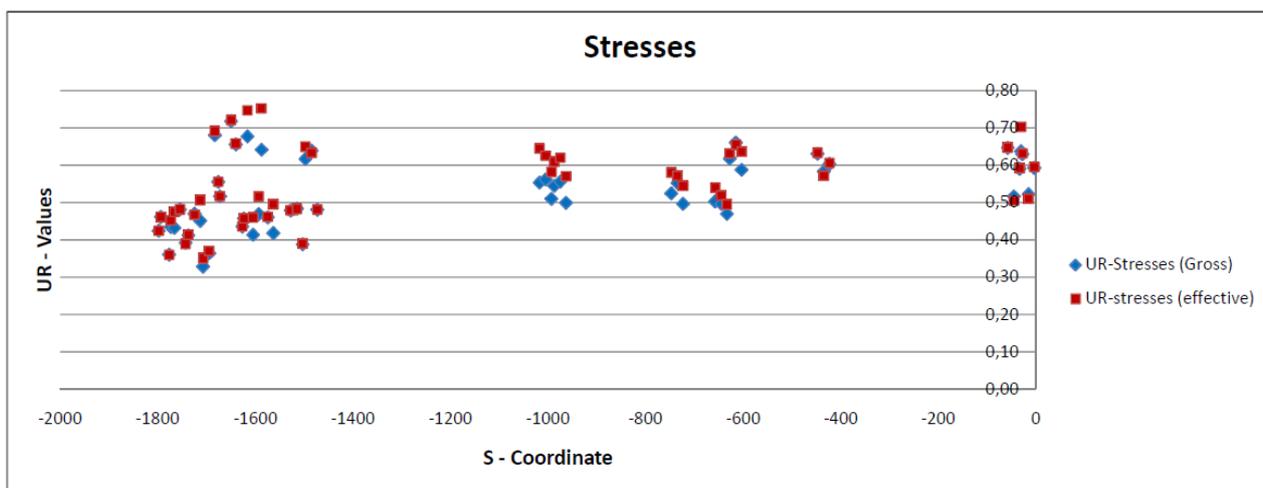


Figura 1-1 Coefficienti di utilizzo del cassone ferroviario per la combinazione di carico allo stato limite ultimo vento dinamico, sollecitazioni e instabilità della piastra

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	Rev F0	Data 20-06-2011

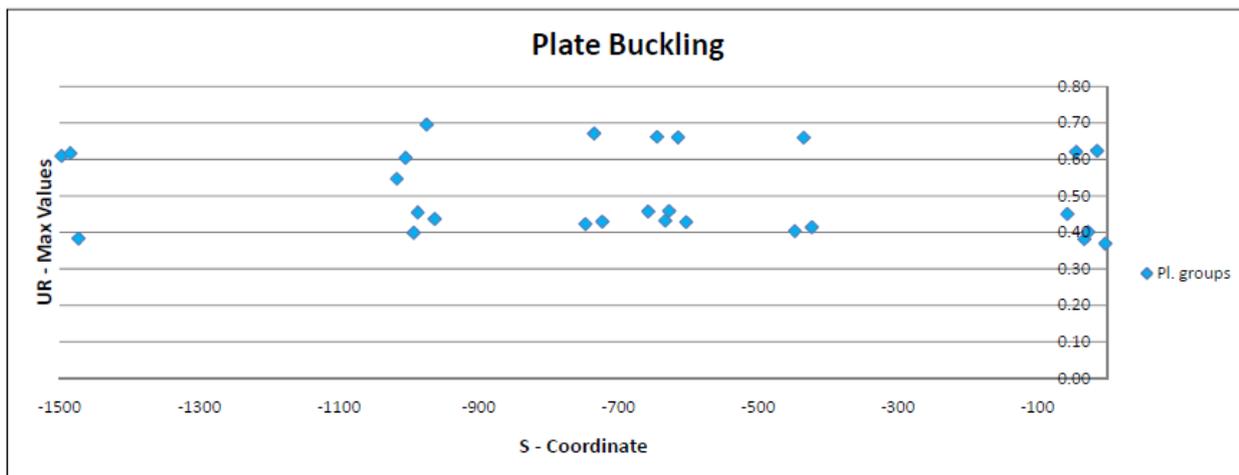
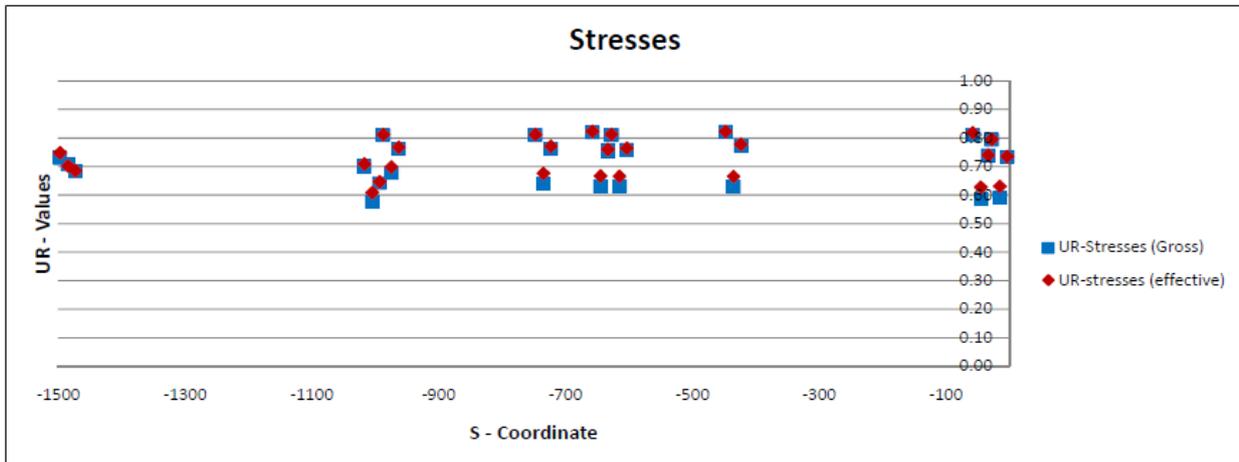


Figura 1-2 Coefficienti di utilizzo del cassone ferroviario per le sollecitazioni e l'instabilità della piastra nel tipo CF1 e CF2 per la combinazione di carico allo stato limite ultimo vento dinamico

I cassoni longitudinali sono stati verificati anche con riferimento al carico sismico mediante un'analisi time history. I coefficienti di utilizzo sono risultati inferiori a 1,0 per tutte le sezioni trasversali.

1.5.2 Traversi

Insieme alle modifiche apportate al progetto di gara, nel seguito del documento viene fornita la descrizione della progettazione complessiva del traverso.

Modifiche di progetto

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Rispetto al progetto di gara, la direzione del traffico stradale è stata invertita. Ciò ha portato ad una pendenza continua verso l'esterno del 2.0 % della piastra superiore per l'intera lunghezza di tutti i traversi. Gli irrigidimenti a T sulle anime e le lamiere di fondo sono stati sostituiti da irrigidimenti piani per meglio conformarsi all'ottimizzazione della costruzione.

Lo spessore centrale di 4,4 mm della piastra di fondo è stato aumentato allo spessore di 8 mm, mentre le due piastre vicine (2 X 4,05 m) sono state aumentate di 3 mm. La piastra superiore nelle prossimità del corrente ferroviario è anch'essa aumentata, quanto a spessore, di 3-4 mm. Tutte le modifiche sono state effettuate per rispettare i requisiti di fatica.

Sono stati fatti dei cambiamenti anche al trasverso T7 in corrispondenza della struttura terminale. La richiesta di alta resistenza a torsione dovuta alle campate adiacenti ha comportato l'allargamento della sezione trasversale da 1700 mm a 2700 mm.

La soluzione del progetto di gara presentava dei diaframmi posti vicino al cassone ferroviario con un interasse di 2,5 m. Tale configurazione è stata rinforzata mediante l'introduzione di un irrigiditore trasversale aggiuntivo allo scopo di dimezzare la lunghezza libera d'inflessione irrigidimenti della piastra.

Le posizioni degli irrigidimenti nel traverso sono tali che tutti gli irrigidimenti del cassone stradale e di quello ferroviario passano all'interno del traverso. Tutto ciò, allo scopo di creare una interconnessione più favorevole fra le sezioni del cassone stradale e di quello ferroviario e di migliorare la resistenza alla fatica. Inoltre, grazie alla rigidità uniforme dell'impalcato, questa soluzione assicura un elevato comfort di guida quando si passa sul traverso. Nella restante parte del traverso, in direzione longitudinale del traverso stesso, all'impalcato sono fissati irrigidimenti longitudinali a T.

Le modifiche apportate negli elementi longitudinali in acciaio comprendono la sostituzione degli irrigidimenti a L con piatti di irrigidimento nelle anime e nelle piattabande inferiori di tutti i tipi di trasversi ad eccezione dei trasversi T4a, T4b e T6. La resistenza degli irrigidimenti è verificata utilizzando il foglio di calcolo ADVERS.

Sono state apportate alcune modifiche anche in corrispondenza dell'intersezione degli impalcati stradali e ferroviari con le anime del trasverso. La soluzione mostrata nel progetto di gara prevedeva delle nervature poste tra le anime del trasverso. Tale dettaglio è modificato ulteriormente migliorato in riferimento alla fatica prevedendo delle nervature continue passanti

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

attraverso le anime del trasverso. Un'eccezione è costituita dalla nervatura vicino all'ancoraggio del pendino, in corrispondenza del quale l'assenza di carichi stradali diretti unitamente all'alta resistenza a taglio richiesta, comportano la scelta di un diaframma pieno con le nervature adattate tra le anime.

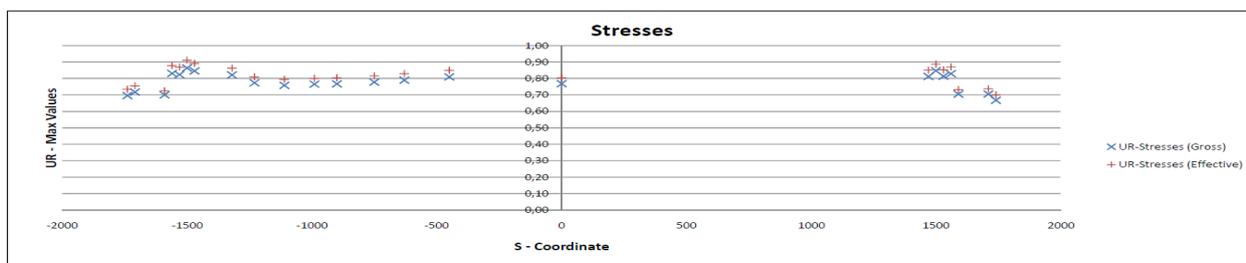
Le anime e le nervature inferiori sono interrotte all'anima del traverso ma sono state introdotte nervature corte che rendono possibile la saldatura a completa penetrazione da ambo i lati. Si evitano quindi aperture nell'anima in direzione dell'ancoraggio del pendino pur mantenendo il requisito per una elevata categoria di dettaglio di resistenza alla fatica.

La geometria dell'ancoraggio del pendino è stata cambiata per ottimizzare il progetto ottenendo una distribuzione del carico dalla piastra dell'ancoraggio principale direttamente all'anima del trasverso.

Metodo di verifica

L'acciaio longitudinale del trasverso è stato verificato utilizzando ADVERS sulla base delle forze della sezione derivanti dal modello IBDAS agli elementi finiti. La progettazione è stata sviluppata in conformità con le specifiche di base del progetto e con gli Eurocodici (EC) di riferimento.

Sono presentati i coefficienti di utilizzo dei relativi trasversi con una distribuzione più concentrata intorno alle torri, dove erano attesi i valori più alti degli stessi coefficienti. In totale sono stati verificati 31 trasversi lungo l'intera lunghezza del ponte, incluse entrambe le estremità, al fine di prendere in considerazione le possibili variazioni delle sollecitazioni più critiche. Si è appurato che la combinazione di carico allo SLU dominate è quella basata sul vento dinamico con i maggiori coefficienti di utilizzo vicino al cassone ferroviario sui trasversi T1 e T3. I coefficienti di utilizzo sono illustrati alla Figura 1-3.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione tecnica specialistica		Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	<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: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20-06-2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20-06-2011
Rev	Data						
F0	20-06-2011						

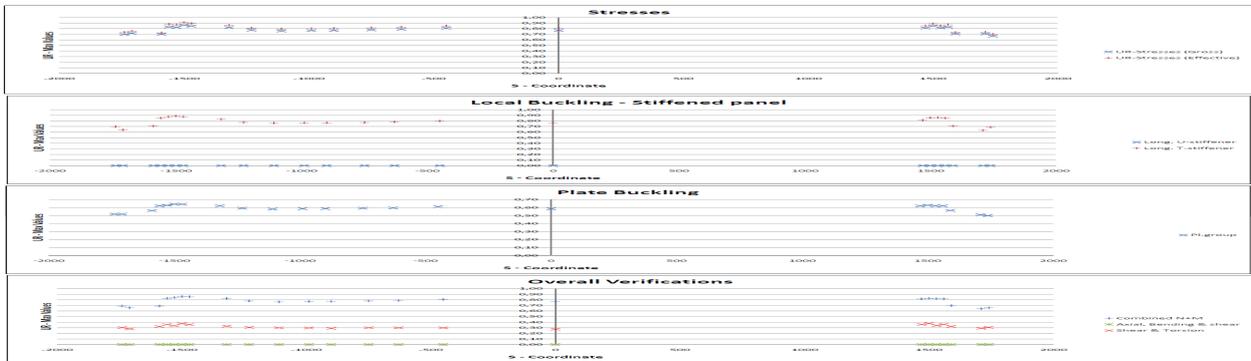


Figura 1-3 Coefficienti di utilizzo per i traversi T1 e T3 – Sezione 2 – Combinazione di carico con vento dinamico

1.6 Verifica - Acciaio longitudinale con le tensioni trasversali

Poiché il metodo della “larghezza equivalente” così come utilizzato in ADVERS non è direttamente applicabile al caso in cui si verificano tensioni trasversali uniformi contemporaneamente a tensioni longitudinali, si adotta il metodo delle “tensioni ridotte”. Questo tipo di analisi tensionale è basata sulle caratteristiche della sezione lorda e successiva verifica di instabilità delle piastre. Da un programma di verifica d’instabilità elastica sono state calcolate le tensioni critiche dei pannelli di piastra sottoposti a sollecitazioni di compressione nelle due direzioni. Tali tensioni sono state utilizzate e corrispondono ai limiti tensionali richiesti per la verifica secondo il metodo delle “tensioni ridotte” quale descritto al capitolo 10 della norma EN 1993-1-5:2005. Tale metodo è stato utilizzato per determinare i coefficienti di utilizzo delle piastre esaminate. Oltre alla suddetta verifica, è stato calcolato anche il modo critico d’instabilità al fine di individuare le aree critiche del pannello, così come illustrato nella Figura 1-4.

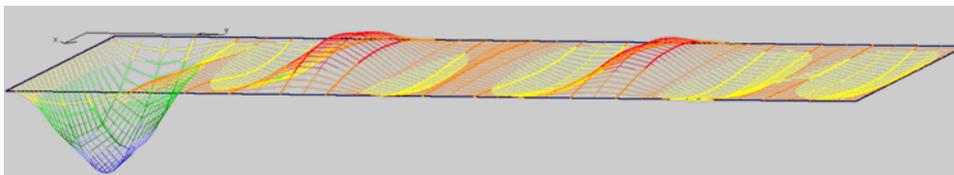


Figura 1-4 Illustrazione del modo critico di instabilità per la determinazione delle tensioni critiche

1.7 Verifica - Acciaio Trasversale

Il foglio di calcolo ADVERS non prende in considerazione la verifica dei diaframmi trasversali in

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

acciaio. Per la verifica dei vari pannelli secondari dei diaframmi è stato quindi sviluppato un foglio di calcolo dedicato.

Il diaframma è suddiviso in pannelli secondari da irrigidimenti verticali distribuiti. E' stato verificato che tali irrigidimenti verticali abbiano una resistenza sufficiente a supportare sufficientemente i pannelli del diaframma. Ciascun pannello secondario del diaframma è soggetto ad una distribuzione di tensioni dovuta sia al carico globale del traffico sia al carico locale in corrispondenza di specifiche zone per la verifica di instabilità. Sono state calcolate le tensioni critiche del pannello utilizzando il modello locali agli elementi finiti dell'impalcato del ponte. Queste tensioni sono state applicate ai pannelli utilizzando un programma per il calcolo dell'instabilità elastica al fine di calcolare il rapporto di tensione critica ϕ_{cr} . Il fattore critico delle tensioni è simile ad α_{cr} ed è stato utilizzato come tale nel metodo delle tensioni ridotte della norma EN 1993-1-5:2006, sezione 10, per verificare i pannelli presi in esame.

1.8 Verifica utilizzando i Modelli Locali agli Elementi Finiti

I modelli locali agli elementi finiti sono stati sviluppati con il programma "Robot Structural Analysis", un programma grafico integrato usato per la modellizzazione, l'analisi e la progettazione di strutture di vario tipo. Lo scopo generale dei modelli locali è stato quello di verificare la soluzione proposta per l'elemento esaminato e di documentare che il flusso delle tensioni sia accettabile in relazione alle combinazioni di carico allo SLU. Le condizioni al contorno unitamente alla disposizione dei carichi sono state determinate dal modello globale IBAS del ponte.

In totale sono stati sviluppati quattro differenti modelli locali:

- Un modello locale FEM dell'impalcato del ponte riguardante il trasverso e i cassoni longitudinali stradali e ferroviario che determinano il regime tensionale negli elementi piastra con particolare riferimento alle sollecitazioni: nelle piastre esterne del trasverso, nei diaframmi e all'intersezione tra i cassoni.
- Un modello locale FEM del cassone stradale che descrive il livello tensionale nel diaframma del cassone stradale riguardo la concentrazione della tensione in corrispondenza dei nervature, dei fori per le nervature, degli irrigidimenti del diaframma, delle aperture e di altri elementi, per stabilire le tensioni di von Mises nelle piastre del mantello incluso l'effetto locale di carico derivante dai carichi locali per ruota. Le tensioni longitudinali sono il risultato delle nervature stradali che si trovano fra i diaframmi trasversali. Siccome le nervature sono

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

continue, nella determinazione delle tensioni locali si debbono considerare sia il momento negativo che quello positivo. Quindi, nel calcolo delle tensioni sulla piastra superiore e nelle nervature della piastra superiore, sono presi in considerazione sia la sollecitazione minima che quella massima.

- Un modello locale FEM del cassone ferroviario che descrive il livello di tensione del cassone ferroviario nei confronti della concentrazione di tensione in corrispondenza delle nervature, dei fori per le nervature, degli irrigidimenti del diaframma, delle aperture ed altro per stabilire le tensioni di von Mises nelle piastre del mantello e nelle piastre superiori di irrigidimento incluso l'effetto locale di carico derivante dai carichi locali per ruota. Nel calcolo delle tensioni sulla piastra superiore e nelle nervature della piastra superiore, sono presi in considerazione sia la sollecitazione minima che quella massima.
- Un modello locale FEM dell'ancoraggio del pendino che descriva il livello della tensione nelle piastre correlate agli ancoraggi dei pendini. Lo scopo generale dei modelli locali è quello di verificare le soluzioni degli elementi proposti e documentare che il flusso tensionale sia accettabile rispetto alla combinazione di carico allo stato limite ultimo SLU

Scopo dei modelli locali è verificare il progetto locale, ed anche che il flusso di tensione sia accettabile nei riguardi della combinazione di carico allo SLU.

All'interno del modello di analisi globale è stato inoltre sviluppato un modello IBIDAS semi-locale , che consente una modellizzazione più dettagliata con elementi lastra-piastra e diaframmi da utilizzare per specifiche parti scelte. Solamente una parte locale della campata principale è modellizzata mediante elementi lastra-piastra, mentre il resto dell'impalcato sospeso è modellizzato con elementi trave.

Una descrizione dettagliata del modello è data nella relazione "Modello semi-locale IBIDAS, Impalcato sospeso".

Come verifica dei modelli locali agli elementi finiti, i valori di tensione assiale nei tracciati tensionali ottenuti dai modelli locali agli elementi finiti vengono confrontati con i risultati derivanti dal modello IBIDAS semi locale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

1.8.1 Modello locale FEM dell'impalcato del ponte

Le aperture di accesso nelle anime del traverso sono posti a interasse di 120 m e, siccome il modello agli elementi finiti rappresenta un traverso tipico, le aperture di accesso in queste posizioni non sono state modellizzate. In seguito si troverà un'illustrazione delle tensioni longitudinali (sXX) agenti per la combinazione di carico che massimizza il momento flettente nel traverso. Alla Figura 1-5 è illustrato il modello locale ROBOT dell'impalcato del ponte, seguito alla Figura 1-6 dal modello IBDAS semi-locale.

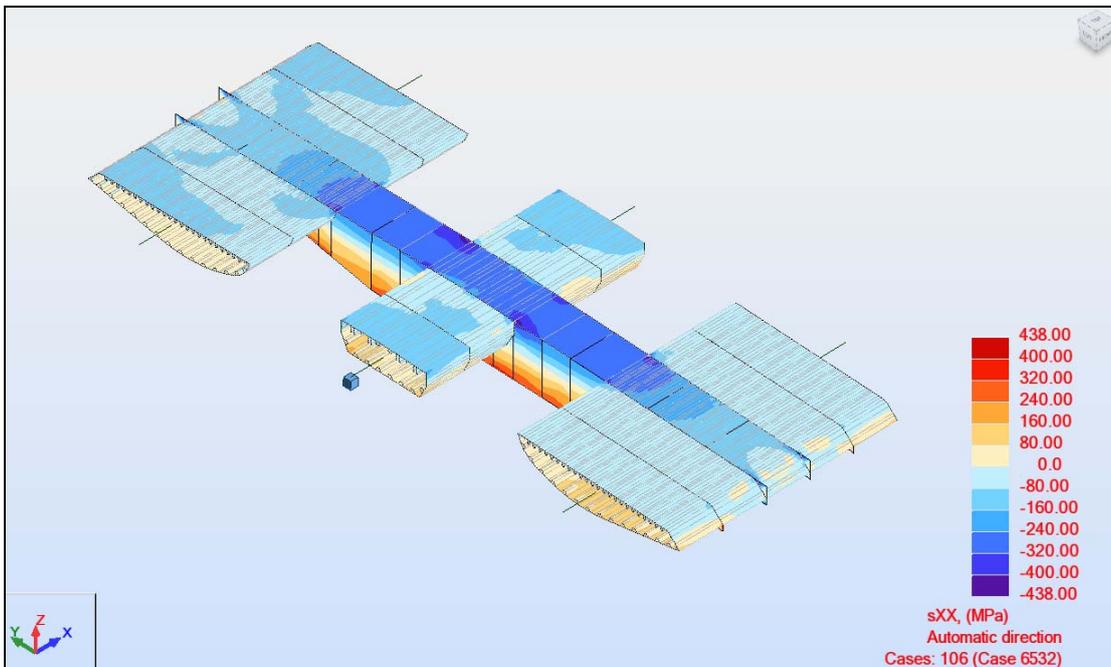


Figura 1-5 Tensioni in direzione longitudinale (sXX) del traverso – Modello locale agli elementi finiti ROBOT dell'impalcato sospeso

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione tecnica specialistica		Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20-06-2011</td> </tr> </table>	Rev	Data	F0	20-06-2011
Rev	Data						
F0	20-06-2011						

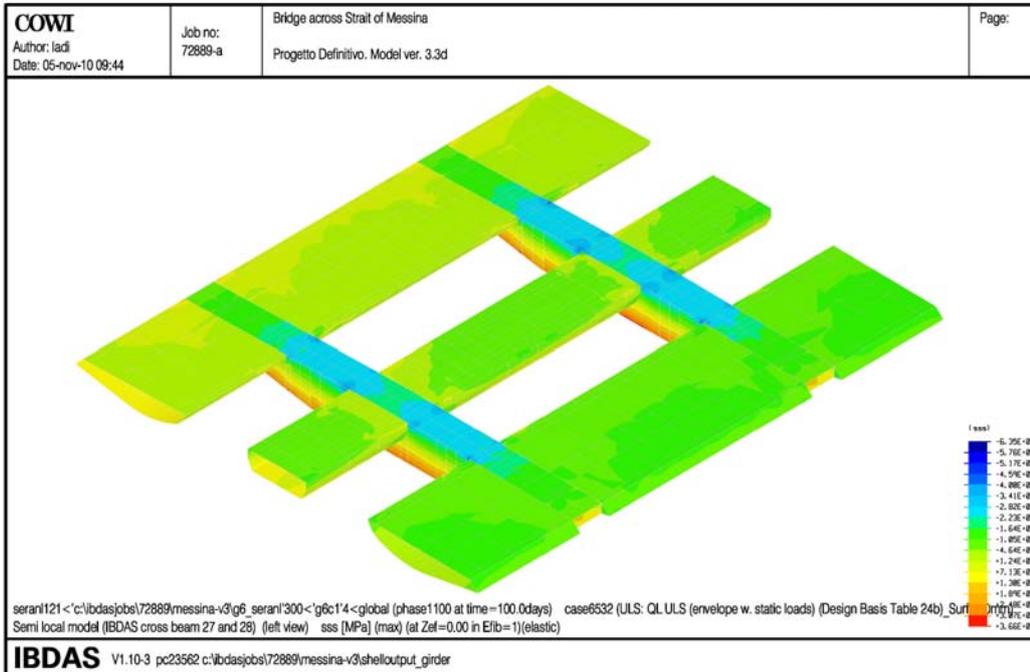


Figura 1-6 Tensioni in direzione longitudinale (s_{XX}) dei cassoni – Modello IBDAS semi-locale

1.8.2 Modello locale FEM stradale e ferroviario

L'acciaio trasversale comprende i diaframmi posti ad interasse di 3,75 m. Sono stati sviluppati dei modelli locali agli elementi finiti relativi al cassone stradale e ferroviario al fine di verificare i diaframmi. Alla Figura 1-7 è illustrato un tracciato delle tensioni derivante dal modello locale agli elementi finiti del diaframma del cassone stradale per il caso del carico con carico di traffico stabilito per il massimo My.

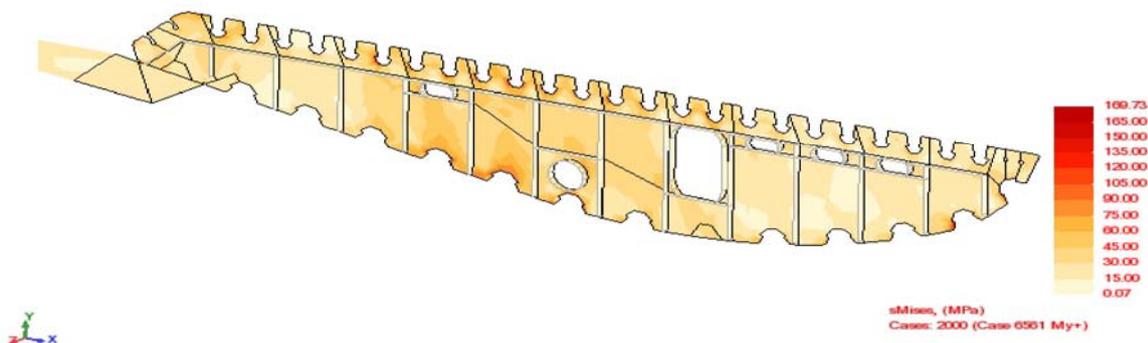


Figura 1-7 Tensioni di “von Mises” – diaframma caso 2000 (My+)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Un tracciato delle tensioni estratte del modello locale agli elementi finiti del diaframma del cassone ferroviario è illustrato alla Figura 1-1 per il caso di carico con peso permanente e carico del traffico fissato per il My massimo. Si è notato che il livello complessivo di tensioni è accettabile per acciaio di classe S355.

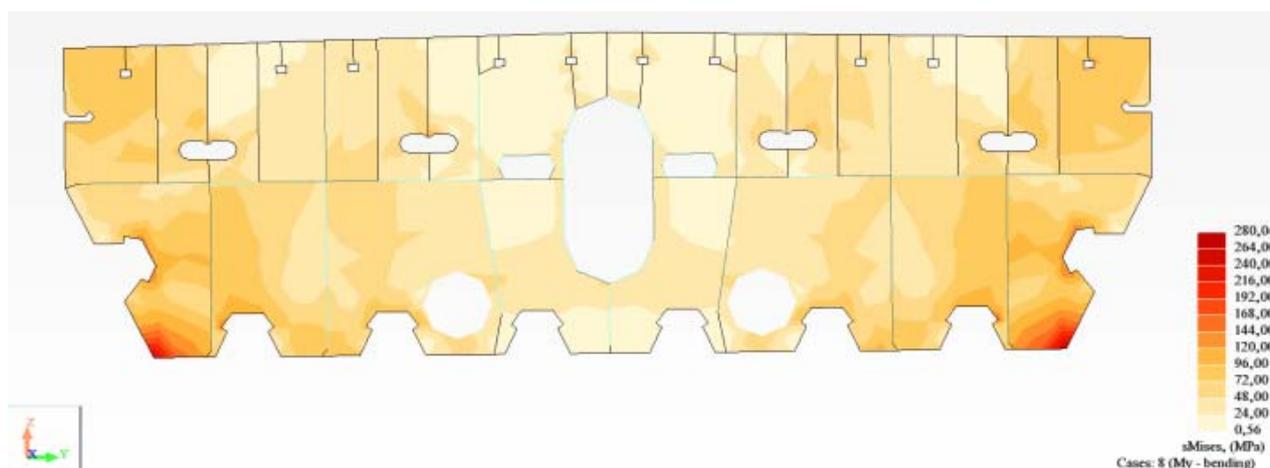


Figura 1-1 Tensioni di “von Mises” – diaframma, caso 12 (My+)

1.8.3 Modello locale agli elementi finiti dell’ancoraggio del pendino

La verifica dell’ancoraggio del pendino viene condotta con riferimento alle forze agenti allo SLU sul pendino e alle rotazioni allo SLU estratte dal modello IBIDAS. Le rotazioni sembrano dovute agli spostamenti relativi tra i cavi e l’impalcato sospeso. La lunghezza complessiva del modello è di 30 m tra le campate centrali del cassone stradale ed una lunghezza di 26 m che comprende metà del traverso. La dimensione relativamente grande del modello garantirà le corrette condizioni al contorno e la distribuzione di tensioni nelle piastre che si riferiscono all’ancoraggio del pendino.

Sono stati modellizzati i seguenti tipi d’ancoraggio del pendino: AP1 con appoggi sferici, AP1 senza appoggi sferici, AP2 e AP3, che rappresentano gli ancoraggi del pendino dal traverso numero 9 al 111.

Le rotazioni massime sono entrambe rappresentate nel traverso 60 che si trova esattamente al centro della campata principale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011	

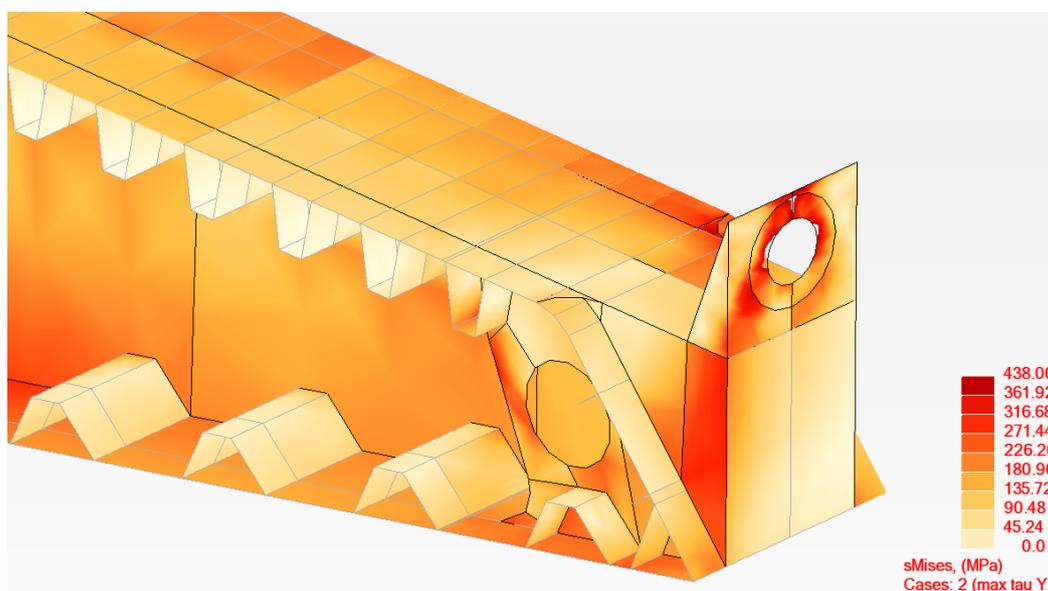


Figura 1-8 Diagramma delle tensioni di “von Mises” del modello AP1 sul trasverso 60 con rotazione θ_y massima

La *Figura 1-9* mostra gli ancoraggi del pendino in corrispondenza dei traversi dal numero 52 al 68, nei quali è stato necessario aggiungere un irrigidimento addizionale a causa della rotazione del pendino relativamente grande in quest’area.

1.9 Fatica

Conformemente alle Basi della Progettazione, il carico a fatica della ferrovia è stato basato su un mix di traffico standard, la composizione del quale è indicata alla Tabella D.1 della norma EN 1991-2; questa comprende 67 transiti di treni previsti ogni giorno per binario, con un volume di traffico di 24,95 milioni di tonnellate all’anno. Il carico stradale da fatica comprende 2 milioni di transiti di veicoli pesanti per ogni direzione, conformi alla categoria 1 di traffico stabilita nella norma EN 1991-2 4.6.1 Durante i 200 anni di durata di vita di progetto del ponte, la quantità totale dei transiti per il cassone ferroviario diventa quindi pari a 4,89 milioni per ogni binario e 400 milioni per il cassone stradale in ogni direzione (corsia lenta).

Per la valutazione della fatica dei principali elementi strutturali soggetti a fatica da carichi direttamente generati dall’uomo sono stati adottati sia il metodo della “vita utile illimitata” (unlimited life method) che il “metodo dell’accumulo del danno” (sommatoria del danno di Palmgren-Miners). Inoltre, è presa in considerazione la degradazione indotta dalla fatica da vento nel metodo di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

accumulo del danno, per un danno di 0,05; ciò implica che la condizione di verifica sarà rispettata solamente quando il carico da fatica dovuto al traffico è inferiore a 0,95.

Per i carichi a fatica sono state fatte le seguenti ipotesi:

- Traffico ferroviario: 67 treni al giorno per un totale di 4,89 milioni in 200 anni per binario
- Traffico stradale: 2 milioni di veicoli pesanti all'anno, vale a dire 400 milioni nei 200 anni della vita di progetto
- Velocità dei treni: velocità massima dei treni
- I fattori dinamici sono stati calcolati nel rispetto del Eurocodice EN 1991-2 Allegato D "Basi per la verifica di fatica delle strutture ferroviarie".
- La probabilità di occorrenza dell'incontro di due treni su un punto qualsiasi del ponte durante l'attraversamento è pari al 12%

Secondo il Metodo della Vita Utile a Fatica (Safe Life Method) di cui alla norma EN1993-1-9 sezione 3 e le raccomandazioni incluse nel RFI44/F, sono stati utilizzati i seguenti fattori parziali il fattore $\gamma_m = 1.15$ è stato applicato a dettagli locali della piastra ortotropa dell'impalcato stradale, mentre un fattore di $\gamma_m = 1.35$ è stato applicato a tutti gli altri dettagli.

Mediante le analisi agli elementi finiti del cassone scatolare ferroviario, si è rilevato inoltre quali fattori di concentrazione delle sollecitazioni debbano essere applicati alle sollecitazioni per la verifica della fatica, che si basa sul modello trave IBDAS.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

2 Introduzione

2.1 Scopo del lavoro

Questo capitolo della relazione descrive la progettazione degli elementi strutturali in acciaio dell'impalcato sospeso, dalle strutture terminali in Sicilia (progressiva 88,49) alla struttura terminale in Calabria (progressiva 3.723,99). L'impalcato sospeso ha una larghezza di 60 m ed è realizzato interamente in acciaio. È formato da tre cassoni longitudinali indipendenti: due laterali per la strada e uno centrale per la ferrovia. I cassoni sono collegati da traversi ad intervalli di 30 metri.

I particolari della progettazione dei componenti non strutturali per l'impalcato sospeso, come i sistemi di manutenzione/accesso e le installazioni meccaniche/elettriche, saranno forniti in relazioni specifiche.

In generale il Progetto Definitivo dell'impalcato sospeso si basa sulla Progettazione di Gara. Il Progetto Definitivo specifica gli aspetti progettuali più importanti e altri argomenti tecnici considerati importanti e/o speciali soluzioni per le esigenze progettuali. Per alcune parti delle strutture dell'impalcato sospeso si è ritenuto vantaggioso apportare modifiche alla progettazione; tali modifiche saranno descritte nella presente relazione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20-06-2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20-06-2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20-06-2011						

2.2 Prospetto del ponte, pianta e sezione trasversale dell'impalcato sospeso

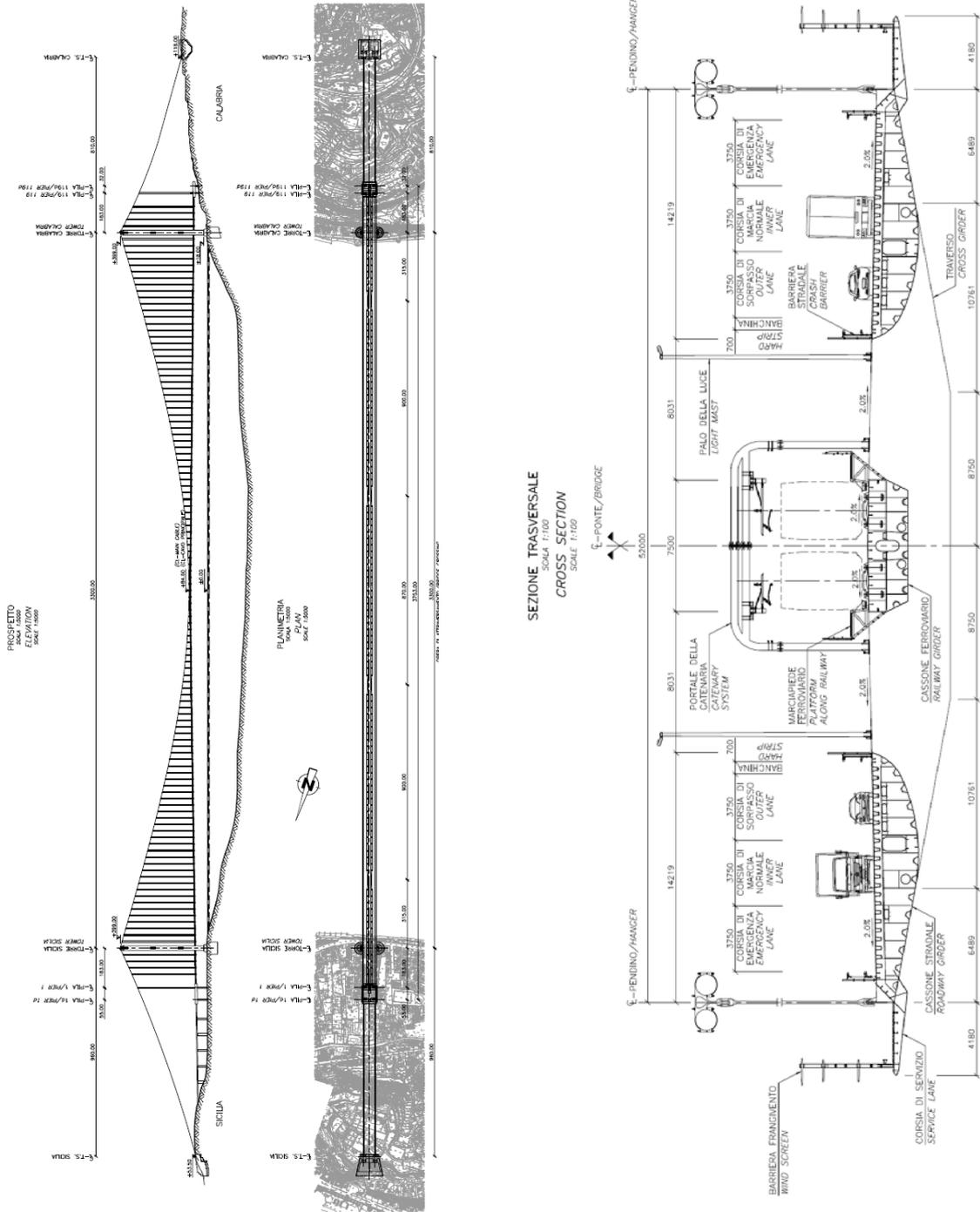


Figura 2-1 Prospetto del ponte, pianta e sezione trasversale dell'impalcato sospeso

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

2.3 Specifiche di progetto

GCG.F.04.01 “Ingegneria – Progetto Definitivo e di Dettaglio: Base di progettazione e Livelli di Prestazione attesi”, Stretto di Messina, 27 Ottobre 2004.

GCG.F.05.03 “Sviluppo del progetto – Prescrizioni e linee guida,” Stretto di Messina, 22 Ottobre 2004.

GCG.G.03.02 “Carpenteria metallica strutturale e rivestimento protettivo,” Stretto di Messina, 30 Luglio 2004.

CG.10.00-P-RG-D-P-GE-00-00-00-00-02-A - “Principi Base, Strutturale, Allegato”

2.3.1 Norme di progetto

“Norme tecniche per le costruzioni,” 2008 (NTC08).

EN 1991 Eurocodice 1: Azioni sulle strutture - Parte 2: Carichi di traffico sui ponti

EN 1993 Eurocodice 3: Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

EN 1993 Eurocodice 3: Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra

EN 1993 Eurocodice 3: Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti

EN 1993 Eurocodice 3: Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-9: Fatica

EN 1993 Eurocodice 3: Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-10: Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore

EN 1993 Eurocodice 3: Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 2: Ponti di acciaio

Rete Ferroviaria Italia - Istruzione No. 44F “Verifiche a fatica dei ponti ferroviari”

Raccomandazione per la progettazione di resistenza alla fatica dei giunti saldati e dei componenti, Istituto internazionale delle saldature (IIW), doc. XIII-2151-07/XV-1254-07, Maggio 2007

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Raccomandazioni sulla resistenza alla fatica post saldatura. Miglioramento del ciclo di vita delle strutture in acciaio e in alluminio, istituto internazionale delle saldature, (IIW), doc. XIII-2200r7-07, 06 luglio 2010

Convenzione europea per le carpenterie metalliche strutturali (ECCS), Eurocodice, Manuale di progettazione, 1-9CL_Pics-v40, Settembre 2010

2.3.2 Specifiche dei materiali

EN 10025-1:2004 Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali– Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura

EN 10025-2:2004 Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali– Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura per armature strutturali non legate

EN 10025-3:2004 Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali– Parte 3: Condizioni tecniche fornitura di acciai per impieghi strutturali normalizzati saldabili a grana fine

EN 10025-4:2004 Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali– Parte 4: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali saldabili a grano fine ottenuti mediante laminazione termo meccanica .

EN 10164:2004 Acciai da costruzione con caratteristiche di deformabilità migliorate perpendicolari alla superficie del prodotto – Condizioni tecniche di fornitura.

EN ISO 898-1:2009 Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio al carbonio e acciaio legato– Parte 1: Bulloni, viti e prigionieri.

EN ISO 3506-1:2009 Proprietà meccaniche degli elementi di fissaggio in acciaio inox resistenti alla corrosione - Parte 1: Bulloni, viti e prigionieri

EN ISO 3506-2:2009 Proprietà meccaniche degli elementi di fissaggio in acciaio inox resistenti alla corrosione - Parte 2: Dadi

EN 20898-2:1994 Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio – Parte 2: Dadi con carichi di prova determinati- filettatura a passo grosso (ISO 898-2:1992).

UNI EN 14399:2005-3 Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato- Parte 3: Sistema HR – Montaggi bullone esagonale e dado

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

EN ISO 14555:1998 Saldatura ad arco di prigionieri su materiali metallici . Maggio 1995

EN ISO 13918:1998 Saldatura-Prigionieri per saldatura ad arco-Gennaio 1997.

2.3.3 Disegni

Nella Tabella 2-1 sono elencati i disegni di progettazione dell'impalcato sospeso che corredano la presente relazione.

Tabella 2-1 Disegni dell'impalcato sospeso che corredano la presente relazione

Titolo del disegno	Numero del disegno
Schema generale, Prospetto	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-01_0
Pianta generale, Sicilia	CG.10.00-P-PX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-01_0
Pianta generale, Calabria	CG.10.00-P-PX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-04_0
Campata principale, pianta e sezioni	CG.10.00-P-PX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-02_0
Posizione della torre, pianta	CG.10.00-P-PX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-03_0
Posizione della torre, sezioni	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-01_0
Campata laterale, pianta e sezioni	CG.10.00-P-LX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-01_0
Parte terminale del ponte Sicilia, pianta e sezione	CG.10.00-P-LX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-02_0
Parte terminale del ponte Sicilia, sezioni	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-02_0
Parte terminale del ponte Calabria, pianta e sezione	CG.10.00-P-LX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-03_0
Parte terminale del ponte Calabria, sezioni	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-03_0
Piano stradale - Campata centrale e laterale - Sezione	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-CS-00-00-00-01_0
Piano stradale - Campata centrale e laterale - Diaframma	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-CS-00-D0-00-01_0
Piano stradale - Campata centrale e laterale - Dettagli 1	CG.10.00-P-BX-D-P-SV-I3-CS-00-00-00-01_0
Piano stradale - Campata centrale e laterale - Dettagli 2	CG.10.00-P-BX-D-P-SV-I3-CS-00-00-00-02_0
Piano stradale - Posizione torre - Sezione ed elevazione	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-CS-00-00-00-01_0
Piano stradale - Posizione torre - Diaframmi	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-CS-00-0D-00-02_0
Piano stradale - Posizione torre - Dettagli	CG.10.00-P-BX-D-P-SV-I3-CS-00-00-00-03_0
Piano stradale – parte terminale del ponte - Sezione	CG.10.00-P-LX-D-P-SV-I3-CS-00-00-00-01_0
Piano stradale – Parte terminale del ponte - Diaframmi	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-CS-00-D0-00-03_0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Linea ferroviaria - Campata centrale - Sezione	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-CF-00-00-00-01_0
Linea ferroviaria - Campata centrale - Diaframmi	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-CF-00-D0-00-01_0
Linea ferroviaria - Campata centrale - Dettagli 1	CG.10.00-P-BX-D-P-SV-I3-CF-00-00-00-01_0
Linea ferroviaria - Campata centrale - Dettagli 2	CG.10.00-P-BX-D-P-SV-I3-CF-00-00-00-02_0
Linea ferroviaria - Posizione torre - Sezione	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-CF-00-00-00-02_0
Linea ferroviaria - Posizione torre - Diaframmi	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-CF-00-D0-00-02_0
Linea ferroviaria - Posizione torre - Dettagli	CG.10.00-P-BX-D-P-SV-I3-CF-00-00-00-03_0
Linea ferroviaria - Campata laterale - Sezione	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-CF-00-00-00-03_0
Linea ferroviaria - Campata laterale - Diaframmi	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-CF-00-D0-00-03_0
Linea ferroviaria - Parte terminale del ponte - Sezione	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-CF-00-00-00-04_0
Linea ferroviaria - Parte terminale del ponte - Diaframmi	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-CF-00-D0-00-04_0
Linea ferroviaria - Parte terminale del ponte - Prospetto	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-CF-00-00-00-01_0
Linea ferroviaria - Parte terminale del ponte - Intersezione	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-CF-00-00-00-02_0
Traversi - Campata centrale - Sezione 1	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-TP-00-00-00-01_0
Traversi - Campata centrale - Sezione 2	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-TP-00-00-00-02_0
Traversi - Campata centrale - Diaframmi 1	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-TP-00-D0-00-01_0
Traversi - Campata centrale - Diaframmi 2	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-TP-00-D0-00-06_0
Traversi - Campata centrale - Dettagli 1	CG.10.00-P-BX-D-P-SV-I3-TP-00-00-00-01_0
Traversi - Campata centrale - Dettagli 2	CG.10.00-P-BX-D-P-SV-I3-TP-00-00-00-02_0
Traversi - Posizione torre - Sezione 1	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-TP-00-00-00-03_0
Traversi - Posizione torre - Sezione 2	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-TP-00-00-00-07_0
Traversi - Posizione torre - Sezione 3	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-TP-00-00-00-04_0
Traversi - Posizione torre - Diaframma 1	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-TP-00-D0-00-02_0
Traversi - Posizione torre - Diaframma 2	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-TP-00-D0-00-03_0
Traversi - Posizione torre - Diaframma 3	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-TP-00-D0-00-07_0
Traversi - Posizione torre - Diaframma 4	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-TP-00-D0-00-08_0
Traversi - Campata laterale - Sezione 1	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-TP-00-00-00-05_0
Traversi - Campata laterale - Sezione 2	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-TP-00-00-00-08_0
Traversi - Campata laterale - Diaframma 1	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-TP-00-D0-00-04_0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20-06-2011</i>

Traversi - Campata laterale – Diaframma 2	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-TP-00-D0-00-09_0
Traversi – Parte terminale del ponte – Sezione 1	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-TP-00-00-00-06_0
Traversi – Parte terminale del ponte – Sezione 2	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-TP-00-00-00-09_0
Traversi – Parte terminale del ponte - Diaframmi	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-TP-00-D0-00-05_0
Traversi - Ancoraggi pendini 1	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-TP-00-00-00-03_0
Traversi - Ancoraggi pendini 2	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-TP-00-00-00-04_0
Traversi - Ancoraggi pendini 3	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-TP-00-00-00-05_0
Traversi - Ancoraggi pendini 4	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-TP-00-00-00-06_0
Incrocio - Pianta e sezioni	CG.10.00-P-WX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-04_0
Incrocio- Dettaglio 1	CG.10.00-P-BX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-01_0
Incrocio- Dettaglio 2	CG.10.00-P-BX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-02_0
Incrocio- Console	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-06_0
Portale per segnali stradali- Console	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-07_0
Piastre di base	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-05_0
Accessi 1	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-02_0
Accessi 2	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-03_0
Accessi 3	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-04_0
Deumidificazione- Layout generale	CG.10.00-P-PX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-05_0
Deumidificazione- Traverso- layout 1	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-08_0
Deumidificazione- Traverso- layout 2	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-09_0
Deumidificazione- Traverso- layout 3	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-10_0
Passerelle e passaggi cavi- layout traverso	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-11_0
Passerelle e passaggi cavi- layout cassone ferroviario	CG.10.00-P-AX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-12_0
Passerelle e passaggi cavi- dettagli	CG.10.00-P-BX-D-P-SV-I3-00-00-00-00-03_0

2.3.4 Relazioni sull'impalcato sospeso

Le relazioni di progetto dell'impalcato sospeso elencate alla **Errore. L'autoriferimento non è valido per un segnalibro.** forniscono tutte le informazioni riguardo i principi della progettazione dell'impalcato sospeso e le verifiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Tabella 2-1 Relazioni di progetto impalcato sospeso

Titolo della relazione	Numero relazione
Rapporto del progetto tecnico specialistico., Impalcato sospeso	CG.10.00-P-RX-D-P-SV-I3-IM-00-00-00-01_C
Principi generali di progettazione per impalcato sospeso	CG.10.00-P-RG-D-P-SV-I3-IM-00-00-00-01_C
Relazione di progetto- cassoni stradali, ferroviario, e traversi	CG.10.00-P-CL-D-P-SV-I3-00-00-00-00-01_C
Relazione di progetto - Strutture di supporto	CG.10.00-P-CL-D-P-SV-I3-00-00-00-00-02_B
Relazione di progetto - Modello FE locale di impalcato sospeso	CG.10.00-P-CL-D-P-SV-I3-00-00-00-00-03_C
Relazione di progetto - Valutazione della fatica per l'impalcato sospeso	CG.10.00-P-CL-D-P-SV-I3-00-00-00-00-04_C
Relazione di progetto- ricerche particolari di progetto	CG.10.00-P-CL-D-P-SV-I3-00-00-00-00-05_A

2.4 Nomenclatura

Il capitolo fornisce le descrizioni dei termini comunemente usati nella relazione per vari componenti dell'impalcato sospeso:

Cassone stradale - cassone ortotropo in acciaio per il traffico stradale, collegato dai trasversi.

Cassone ferroviario - cassone ortotropo in acciaio per il traffico ferroviario, collegato dai trasversi.

Traverso - le travi trasversali che collegano il cassone ferroviario e i cassoni stradali ogni 30 m.

Irrigidimenti longitudinali - gli elementi longitudinali di lamiera che vengono utilizzati per rinforzare la lamiera verticale dell'impalcato sospeso, le anime e le piattabande inferiori nonché le anime e le piattabande inferiori dei traversi.

Diaframmi trasversali - diaframmi realizzati sui cassoni stradali, su quello ferroviario e sui traversi.

Ancoraggio pendini - il collegamento dei cavi dei pendini ai traversi.

Sistema di fissaggio della ferrovia - il collegamento dei binari ferroviari al cassone ferroviario.

Trave a T - Travi longitudinali a T collocate al di sotto delle quattro rotaie per sostenere i carichi locali dei treni.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Campata drop-in - la campata della travata stradale da 60 metri presso le torri

3 Modifiche di progetto

3.1 Cassone stradale

1. Rispetto alla sezione trasversale della documentazione di gara, la modifica principale è costituita dall'inclinazione del 2,0% verso l'esterno della piastra superiore che in precedenza era inclinata verso l'interno. Conseguentemente a questa modifica, la grondaia di drenaggio della pavimentazione viene spostata sul bordo esterno dell'impalcato, e la posizione dello spartitraffico viene leggermente modificata a seguito del posizionamento del canale longitudinale dell'acqua sul bordo esterno dell'impalcato.
2. Oltre alla modifica principale della sezione trasversale, è stata invertita la direzione del traffico stradale, cosa che influisce sullo spessore della piastra dell'impalcato per la configurazione delle corsie.
3. A seguito dell'ottimizzazione della sezione trasversale generale, sono stati semplificati l'ancoraggio dei pendini e i dettagli di fissaggio alla corsia di servizio ed è stata ridotta la larghezza complessiva del cassone stradale. La piastra del bordo esterno del cassone stradale è diventata più inclinata per facilitarne la connessione agli ancoraggi dei pendini, e il raggio che forma la connessione fra la piastra dell'impalcato stradale e la piastra del bordo esterno è stata modificata per dare più spazio al canale longitudinale dell'acqua. La larghezza teorica orizzontale del cassone stradale diventa ora 14,227 m.
4. I due elementi di irrigidimento ad L al disotto della lamiera del bordo sono stati sostituiti con elementi di irrigidimento piani, per conformarsi all'ottimizzazione della costruzione. La prima nervatura dell'impalcato al disotto dello spartitraffico sulla corsia di emergenza è stato sostituito da due irrigidimenti piani e la nervatura al disotto del corridoio di ispezione è stata anch'essa sostituita da due irrigidimenti piani al fine di rispettare i requisiti per la categoria di pezzi ad elevata resistenza alla fatica. Per conformarsi ai requisiti di resistenza alla fatica, la piastra dentata di supporto alle nervature presso i diaframmi è stata aumentata da 10 mm a 15 mm nelle corsie lenta e veloce, con una forma modificata delle forature.
5. Le verifiche vengono effettuate presumendo che lo spessore della pavimentazione potrebbe essere portato da 12 mm a 40 mm; lo spessore di 12 mm viene utilizzato per la verifica della

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

concentrazione delle tensioni nell'impalcato ortotropo e lo spessore di 40 mm sarà utilizzato per il carico fisso globale.

6. Eseguita la preparazione per 3 attraversamenti aggiuntivi per una implementazione futura.
7. Dato l'aumento dello spessore delle piastre, i fattori di sicurezza per la resistenza alla fatica sono stati aumentati. L'impalcato stradale nelle due corsie di traffico è passato da 16 mm a 17 mm, e le nervature sottostanti sono, in genere, passate da 7 mm a 9 mm.
8. Per rispettare i requisiti dei giunti delle nervature, la larghezza delle nervature sottostanti l'impalcato stradale è aumentata localmente a 7,3 m. The thickness is increased from 9 mm to 10 mm and 14 mm at the cross girder joints from 9 mm to 11 mm and 13 mm at the erection joints.
9. Per rispettare i requisiti di fatica presso i giunti della piattabanda inferiore, lo spessore è in genere aumentato localmente da 8 mm a 13 mm presso i giunti dei traversi e presso i giunti di montaggio (ogni 60m).
10. Le alette per le nervature inferiori sono state rimosse e sostituite da attacco diretto delle nervature al diaframma I fori delle nervature sono stati mantenuti sulla flangia della nervatura.
11. Le piastre di base per gli spartitraffico stradali sono state modificate; si è passati da una soluzione saldata ad una imbullonata per rispettare i requisiti di pezzi di elevata resistenza alla fatica.
12. Per rispettare i requisiti di fatica, il fissaggio delle grondaie è stato modificato da una soluzione saldata ad una imbullonata, con due cordoni di sigillante.
13. Il numero dei tubi di drenaggio all'interno del cassone stradale è stato ridotto da 3 ad 1 e i fori per i cavi nei diaframmi stradali sono stati spostati.
14. Il passo d'uomo all'interno del cassone stradale è stato modificato in uno di dimensioni 1300x800 mm a causa degli sforzi di taglio nel diaframma.
15. Le parti terminali di irrigidimenti e diaframmi sono stati in genere migliorati mediante l'aggiunta di piastre terminali con un raggio minimo di 150 mm. La categoria di resistenza alla fatica dei pezzi quindi può essere migliorata rispettando i requisiti di fatica.
16. Per rispettare i requisiti di fatica, si sono introdotte ulteriori migliorie alle saldature mediante il livellamento di tutti e 6 i giunti diaframma/piastra di fondo fra i traversi

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

Le modifiche sopraelencate hanno cambiato la geometria complessiva della sezione trasversale, come indicato alla Figura 3-1 Sezione trasversale modificata per il cassone stradale (la corsia di servizio non è raffigurata)

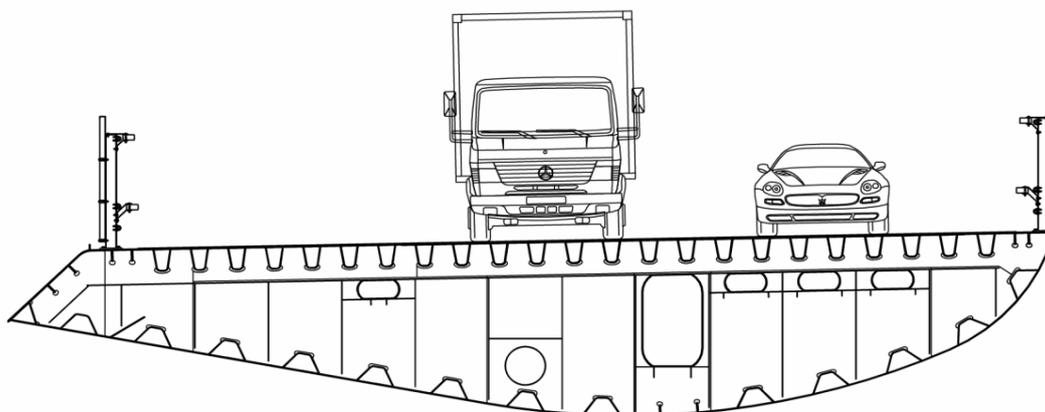


Figura 3-1 Sezione trasversale modificata per il cassone stradale (la corsia di servizio non è raffigurata)

3.2 Cassone ferroviario

1. Dal progetto di gara, sono state introdotte modifiche alla forma generale del cassone in acciaio. L'angolo dell'anima inclinata è cambiato da 44 gradi a 63 gradi mentre l'anima verticale rimane invariata. Lo spessore della piattabanda inferiore è diminuito da 12 mm a 10 mm per mantenere le proprietà della sezione trasversale praticamente invariate.
2. Gli angolari previsti nella progettazione di gara per irrigidire la lamiera dell'impalcato, la piattabanda inferiore inclinata e le anime sono sostituiti da irrigidimenti piani che consentono di conformarsi all'ottimizzazione della fabbricazione.
3. Le nervature al disotto dell'impalcato stradale sono inoltre state sostituite da irrigidimenti piani per conformarsi ai requisiti per categorie di pezzi ad elevata resistenza alla fatica. L'acciaio extra dentro agli irrigidimenti piani è quasi bilanciato mediante la riduzione dello spessore dell'impalcato da 16 mm a 15 mm.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

4. Le travi a T, le nervature e gli irrigidimenti e piani sono continui per tutti i diaframmi, in modo da eliminare i problemi di fatica per interruzione. I diaframmi presso il supporto degli irrigidimenti a T è localmente rinforzato da 10mm a 15 mm
5. Dati i requisiti per piastre di maggior spessore, i fattori di sicurezza per la resistenza alla fatica sono stati aumentati.
6. Il sistema di fissaggio delle rotaie è stato modificato rispetto al progetto di gara, passando ad una soluzione completamente saldata con irrigidimento ulteriore per 1250 mm. I profilati ad L della sovrastruttura dei binari permetteranno un ulteriore drenaggio dell'acqua per 10 m.
7. La distanza fra gli irrigidimenti intermedi che sostengono la sovrastruttura ferroviaria è passato da 1875 mm a 1250 mm. Ciò implica il raddoppio del numero degli irrigidimenti.
8. Per rispettare i requisiti di fatica, la piastra di fondo è aumentata localmente da 10 mm a 15 mm sui giunti di montaggio (ogni 60 m). La piattabanda inferiore è ulteriormente rinforzata localmente in tutte le campate sui 4 diaframmi centrali vicino alle anime inclinate Per le campate in prossimità delle torri, è richiesto un ulteriore parziale incremento della piattabanda inferiore lungo il traverso.
9. Gli spartitraffico ferroviari sono stati implementanti nel marciapiede lungo la ferrovia e le loro piastre di base sono state modificate passando da una soluzione saldata ad una imbullonata per rispettare i requisiti per categorie di pezzi ad alta resistenza alla fatica. Lo stesso concetto è applicato al fissaggio delle grondaie, che è cambiato da saldatura a giunzione bullonata con due cordoni di sigillante.
10. Le parti terminali di irrigidimenti e diaframmi sono stati in genere migliorati mediante l'aggiunta di piastre terminali con un raggio minimo di 150 mm. La categoria di resistenza alla fatica dei pezzi quindi può essere migliorata rispettando i requisiti di fatica.
11. Sono state effettuate modifiche al diaframma nei punti in cui sono stati modificati il layout degli irrigidimenti e delle saldature. I fori per i cavi nei diaframmi ferroviari sono stati spostati, e i cavi alta tensione sono stati eliminati dal cassone ferroviario. Il numero dei tubi di drenaggio all'interno del cassone ferroviario è stato ulteriormente ridotto da quattro a due tubi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

12. Per rispettare i requisiti di fatica, sono state inoltre introdotte migliorie alle saldature, in genere mediante il livellamento dei due giunti centrali del diaframma. Tali due diaframmi, oltre ad altri due, sono completamente saldati mediante saldature a K

Le modifiche sopraelencate hanno cambiato la geometria complessiva della sezione trasversale, come indicato alla Figura 3-2 Sezione trasversale modificata per il cassone ferroviario incluso il marciapiede lungo la ferrovia

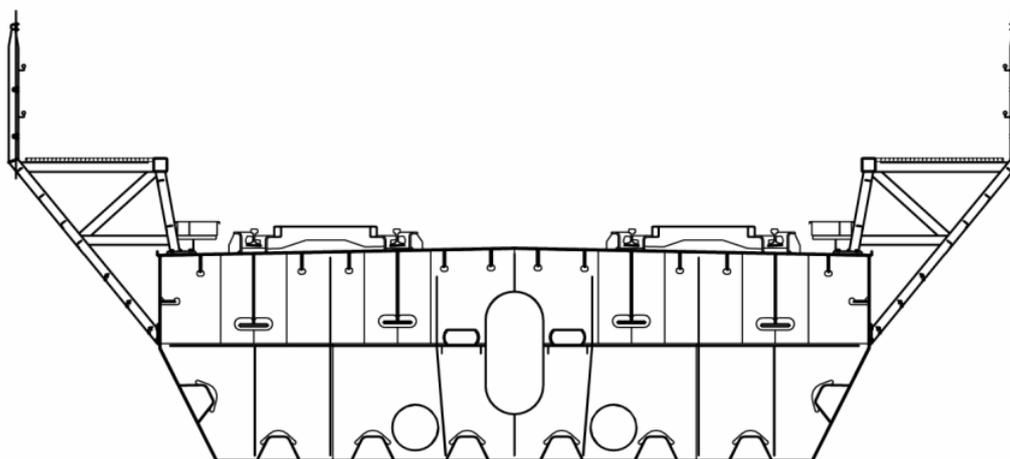


Figura 3-2 Sezione trasversale modificata per il cassone ferroviario incluso il marciapiede lungo la ferrovia

3.3 Traverso

Dal progetto della gara di appalto, è stata invertita la direzione del traffico stradale. Questa modifica ha portato ad una pendenza continua verso l'esterno del 2,0 % della piattabanda superiore per tutta la lunghezza del traverso, si veda la Figura 3-3 Pendenza continua del traverso verso l'esterno

1. (viene mostrato il tipo T1-T3)

La soluzione del progetto di gara presentava i diaframmi accanto al cassone ferroviario con un interasse di 2,5 m. Tale configurazione è stata rinforzata mediante un irrigidimento trasversale aggiuntivo dimezzando con ciò l'instabilità sulla lunghezza della piattabanda, come illustrato alla Figura 3-3 Pendenza continua del traverso verso l'esterno

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

2.

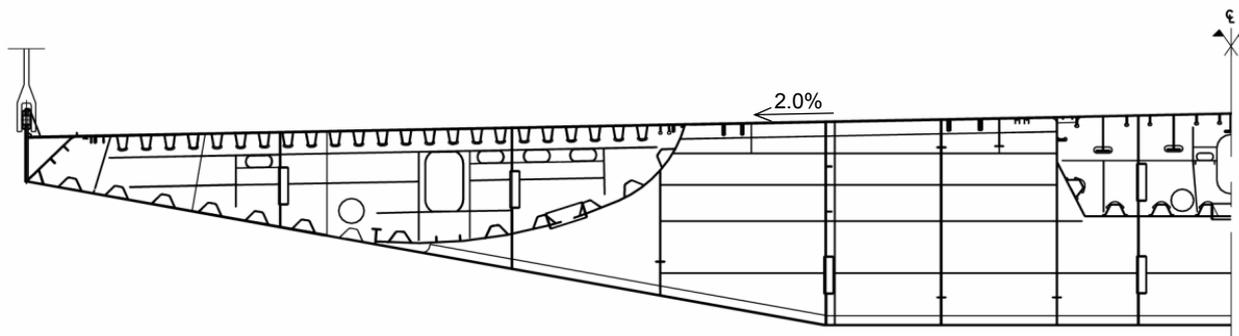


Figura 3-3 Pendenza continua del traverso verso l'esterno

Gli irrigidimenti a T sulle anime e le piattabande inferiori sono stati sostituiti da irrigidimenti piani per conformarsi meglio all'ottimizzazione della costruzione, si veda la Figura 3-3 Pendenza continua del traverso verso l'esterno

3. . Gli irrigidimenti a T e gli irrigidimenti piani sono preferibili come irrigidimenti nei traversi, in quanto sono più facilmente realizzabili nella geometria complessa.
4. Lo spessore centrale di 4,4 mm della piattabanda inferiore è stato aumentato allo spessore di 8 mm, mentre le due piastre vicine (2 X 4,05 m) sono state aumentate di 3 mm. La piastra superiore nelle prossimità del cassone ferroviario è anch'essa aumentata, quanto a spessore, di 3-4 mm. Tutte le modifiche sono state effettuate per rispettare i requisiti di fatica.
5. La geometria dell'ancoraggio dei pendini è, in genere, stata modificata per ottimizzare il progetto mediante l'ottenimento di una distribuzione del carico dalla piastra principale di ancoraggio direttamente nell'anima del traverso.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

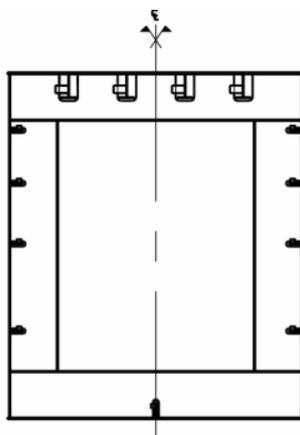


Figura 3-4 irrigidimenti piani sulle anime dei traversi e sulla piattabanda inferiore

6. Per rispettare i requisiti di fatica, sono state inoltre introdotte migliorie alle saldature, in genere mediante il livellamento di tutti i diaframmi posti presso la piattabanda inferiore orizzontale. Sia la piattabanda inferiore che quella superiore e 500 mm delle relative anime sono trattate.
7. Le parti terminali di irrigidimenti e diaframmi sono stati in genere migliorati mediante l'aggiunta di piastre terminali con un raggio minimo di 150 mm. La categoria di resistenza alla fatica dei pezzi quindi può essere migliorata rispettando i requisiti di fatica.
8. Sono anche state effettuate modifiche al traverso T7 presso la struttura terminale. L'alto requisito di capacità torsionale dovuta alle campate aggiunte ha portato ad allargare la sezione trasversale dal 1700 a 270 mm. La larghezza è stata anche stabilita per consentire il movimento del giunto di dilatazione.

3.3.1 Intersezioni con i cassoni stradale e ferroviario

1. Le sistemazioni degli irrigidimenti nel traverso sono tali che tutti gli irrigidimenti dell'impalcato stradale e di quello ferroviario passano attraverso l'interno del traverso. Ciò viene fatto per dare una interconnessione più favorevole alle sezioni del cassone stradale e di quello ferroviario e per migliorare la resistenza alla fatica. Inoltre questa soluzione, grazie alla rigidità uniforme dell'impalcato, assicura un elevato comfort di guida quando si passa sul traverso. Nella restante parte del traverso, in direzione longitudinale del traverso stesso, all'impalcato sono fissati irrigidimenti longitudinali a T.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

2. Le anime e le nervature inferiori sul cassone ferroviario sono interrotte presso l'anima del traverso, ma, ad entrambi i lati dell'anima saldata, sono state introdotte sezioni di nervature extra corte saldate all'anima mediante saldature a doppio lato a piena penetrazione. Con ciò si evitano forature nell'anima in direzione dell'ancoraggio dei pendini e viene mantenuto il requisito di pezzi di alta categoria di resistenza alla fatica.
3. Per rispettare i requisiti di resistenza alla fatica, la piastra dentata di supporto alle nervature presso i diaframmi è stata aumentata da 16 mm a 25 mm nelle corsie lenta e veloce, con una forma modificata delle forature.
4. La piattabanda inferiore, le anime inclinate e le nervature corrispondenti passano attraverso l'anima del traverso, mentre le piastre verticali delle anime sono interrotte.

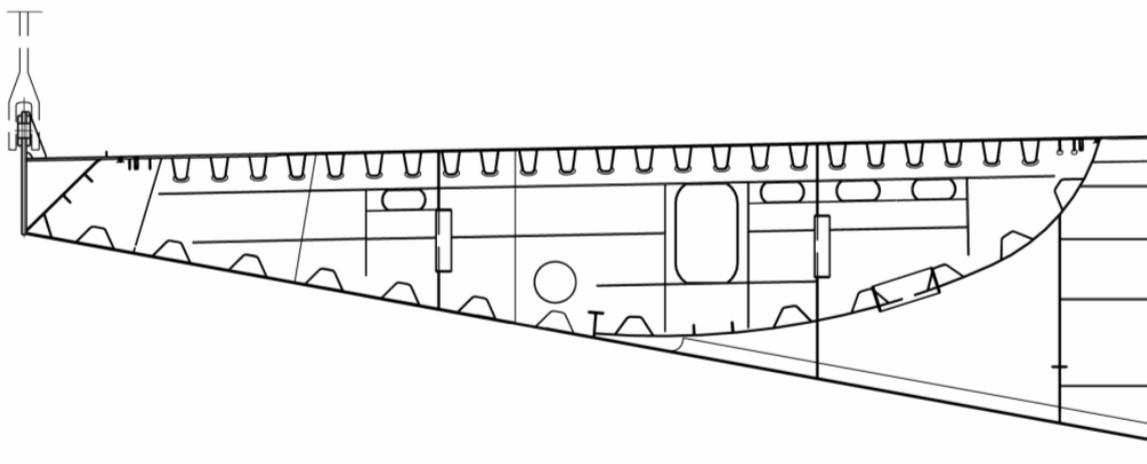


Figura 3-5 nervature stradali- dettaglio dell'intersezione con l'anima del traverso

*Per l'intersezione del traverso con i cassoni ferroviario e stradale si vedano le Figura 3-5
 nervature stradali- dettaglio dell'intersezione con l'anima del traverso*

e la Figura 3-6 Nervature ferroviarie -Dettaglio dell'intersezione con l'anima del traverso

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

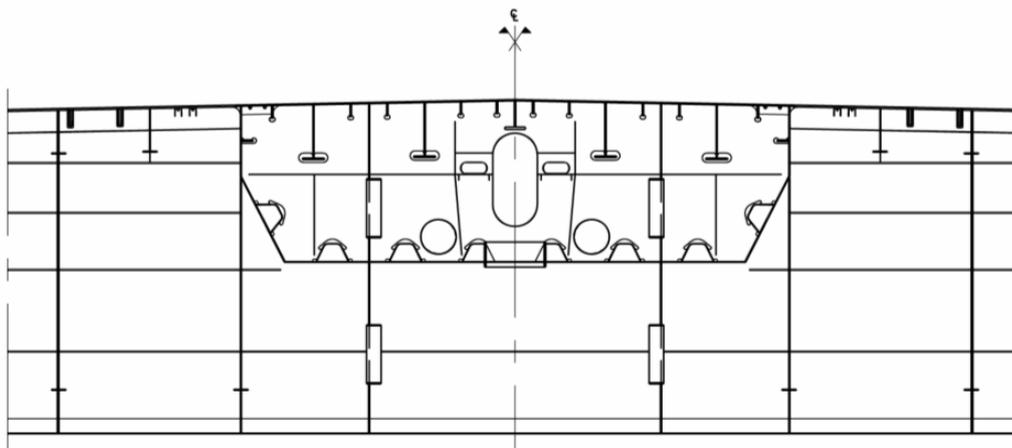


Figura 3-6 *Nervature ferroviarie -Dettaglio dell'intersezione con l'anima del traverso*

4 Stati limite

Questa sezione descrive gli stati limite e i corrispondenti requisiti prestazionali che regolano il proporzionamento dei componenti dell'impalcato sospeso secondo i principi base del progetto GCG.F.04.01 e NTC08.

I componenti strutturali dell'impalcato sospeso sono verificati agli stati limite di servizio (SLS1 ed SLS 2), agli stati ultimi di fatica e agli stati limite di fatica secondo le basi di progettazione GCG.F.04.01 e NTC08. Una descrizione dettagliata degli stati limite presi in considerazione nel progetto dell'impalcato sospeso è fornita in CG.10.00-P-RG-D-P-SV-I3-00-00-00-01 "Principi generali di progettazione per l'impalcato sospeso."

5 Materiali

Il presente capitolo riassume i materiali da costruzione utilizzati nei componenti strutturali dell'impalcato sospeso. Una descrizione dettagliata delle proprietà dei materiali e dei fattori

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

parziali presi in considerazione nel progetto dell'impalcato sospeso è fornita in CG.10.00-P-RG-D-P-SV-I3-00-00-00-01 "Principi generali di progettazione per l'impalcato sospeso."

5.1 Armatura strutturale

I componenti strutturali dell'impalcato sospeso sono costruiti in acciaio strutturale classe S355ML, S420ML e classe S460 ML, prodotti nel rispetto della norma EN 10025-4. Il fabbricante dell'acciaio ha confermato che le proprietà meccaniche non cambieranno con il variare dello spessore del materiale per spessori inferiori a 100 mm, come tipico per i prodotti in acciaio laminato.

5.2 Bulloni ad alta resistenza

Per tutte le giunzioni bullonate si usano bulloni strutturali ad alta resistenza di classe 8.8 o 10.9, prodotti in conformità con EN ISO 898. Dove necessario, per il fissaggio della struttura ausiliaria all'esterno dell'impalcato sospeso sono stati utilizzati bulloni in acciaio inox di classe A4-70 o A4-80.

5.3 Consumabili per saldature

I consumabili per saldatura dovranno essere conformi ai requisiti di EN 1993-1-8, Sezione 4.2.

6 Articolazione

6.1 Sistema statico complessivo

In generale per l'impalcato sospeso è stato adottato il sistema statico della Progettazione di Gara.

- I cassoni stradali sono continui tra le strutture terminali, salvo che in corrispondenza dei due giunti di dilatazione situati a +/- 30 m da ciascuna delle torri.
- Il cassone ferroviario è continuo tra una struttura terminale e l'altra. Presso le strutture terminali sono sistemati appoggi in due punti, in modo garantire il rispetto dei requisiti di allineamento sia verticale che orizzontale del cassone ferroviario.

Tra i due traversi nella zona della torre è installata una struttura speciale formata da due triangoli

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

interconnessi e da un collegamento di ammortizzazione con le gambe delle torri. La struttura garantisce che le flessioni trasversali non vengano in alcun modo trasferite dalla campata principale e, attraverso il dispositivo, alla campata laterale. La struttura a X è sostenuta verticalmente da un collegamento a perni con il cassone ferroviario. La struttura a X è progettata e verificata dal gruppo che si occupa delle articolazioni. La verifica di fatica, comunque, è effettuata nel documento Rapporto di Progetto – Accertamento di fatica dell’impalcato sospeso, CG.10.00-P-CL-D-P-SV-I3-00-00-00-03.

- I cassoni stradale e ferroviario sono collegati tramite cassoni trasversali chiusi.

6.2 Collegamento tra gli elementi dell’impalcato sospeso

I cassoni trasversali chiusi in acciaio hanno una grande rigidità torsionale. Il collegamento con i cassoni longitudinali è realizzato con diaframmi chiusi, in modo che sia possibile il trasferimento dei momenti in tutte e 3 le direzioni. Questo vale per le analisi effettuate e anche per la progettazione dei giunti illustrata nei disegni. In questo modo i carichi mobili sui cassoni vengono distribuiti il più possibile su tutte le strutture dell’impalcato, riducendo al minimo le frecce di inflessione contrarie.

7 Analisi strutturale globale agli elementi finiti

Il ponte sullo Stretto di Messina è modellizzato e analizzato nel programma di analisi IBDAS (Sistema Integrato per l’Analisi e la Progettazione del Ponte) sviluppato da COWI. Questo capitolo descrive l’approccio adottato per particolari aspetti dell’analisi strutturale che influiscono sulla progettazione dell’impalcato sospeso. Il modello del ponte e l’analisi strutturale, in generale, sono descritti in "Modello IBDAS, Descrizione".

7.1 Modello globale di trave IBDAS

Nel modello globale IBDAS agli elementi finiti, la struttura dell’impalcato sospeso è generalmente modellizzata con elementi “trave” (o beam). Questo modello viene utilizzato per la verifica complessiva degli elementi della struttura sospesa. Inoltre verrà sviluppato e introdotto nel modello globale agli elementi finiti con elementi “trave” un modello agli elementi finiti semilocale IBDAS ad

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

elementi “lastra-piastra” (shell). Sarà quindi possibile studiare più dettagliatamente il flusso di tensioni all’interno della struttura dell’impalcato sospeso, con il vantaggio di ricavare automaticamente le condizioni del contorno dal modello globale ad elementi “trave”.

7.2 Imperfezioni ed effetti di secondo ordine

Tutti i calcoli eseguiti con il peso proprio strutturale (PP) incluso il peso proprio degli elementi non strutturali (PN) sono basati sulla teoria dell’elasticità e dell’analisi degli effetti di second’ordine (analisi geometrica non lineare). I momenti flettenti addizionali dovuti ad effetti globali di secondo ordine derivati dalle azioni di progetto di PP e PN sono quindi inclusi direttamente nei risultati derivanti dal modello di analisi globale IBDAS.

Al momento, le imperfezioni degli elementi del ponte sospeso sono anticipati per rispettare i requisiti specificati negli Eurocodici. Quindi, nella verifica dell’impalcato sospeso e dei suoi elementi non viene considerata nessuna imperfezione supplementare.

8 Verifica - armatura longitudinale

Per strutturare e generalizzare i calcoli relativi all’armatura longitudinale dei cassoni stradale e ferroviario e dei traversi del Ponte sullo Stretto di Messina è stato sviluppato un Foglio Elettronico di Verifica Avanzata dell’Armatura (ADVERS - **A**dvanced **S**teel **V**erification **S**preadsheet) basato sugli Eurocodici. La verifica dei cassoni longitudinali in acciaio utilizzando ADVERS è basata sulle analisi computerizzate (IBDAS), sul dimensionamento degli elementi, sulla verifica delle sezioni, sul controllo delle tensioni e dell’instabilità. La progettazione è effettuata in conformità con i Principi Base specifici del progetto e con gli Eurocodici (EC).

La verifica complessiva dell’impalcato sospeso viene effettuata sulla base delle forze derivate della sezione ricavate dal modello globale IBDAS FE.

Le combinazioni generali dei carichi allo stato limite ultimo SLU utilizzate per la verifica dell’armatura longitudinale sono illustrate alla **Errore. L'autoriferimento non è valido per un segnalibro..**

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Tabella 8-1 Combinazioni dei carichi pertinenti per la verifica dell'armatura longitudinale

Combinazione dei carichi	Descrizione
Carico statico	Comprende il carico permanente, il carico locale del traffico, la temperatura differenziale distribuita, la temperatura uniforme, il vento statico (cioè vento medio moltiplicato per un fattore raffiche) per un modello in cui gli ammortizzatori longitudinali sulle torri sono in modalità fissa. Nel caso di carico a temperatura uniforme un fattore di correzione tiene conto della modalità fissa sulle torri.
Vento dinamico	Comprende il carico permanente, il carico locale del traffico, la temperatura differenziale e la temperatura uniforme distribuita, il vento dinamico dove le otto direzioni del vento vengono combinate ed applicate come valori di involuppo, per un modello in cui gli ammortizzatori longitudinali sulle torri si trovano in modalità fissa.
Sismico (storico)	carico permanente, carico locale del traffico, temperatura differenziale e temperatura uniforme distribuita, vento statico per un modello in cui gli ammortizzatori longitudinali sulle torri sono in modalità fissa. Tali carichi sono combinati con i carichi sismici basati sulle analisi degli storici, in cui gli ammortizzatori sono in funzione per tutto il tempo.

I coefficienti di utilizzo presentati ai capitoli seguenti sono le sollecitazioni di von Mises in rapporto all'elasticità convenzionale di progetto. Vengono illustrate inoltre i coefficienti di utilizzo per l'instabilità globale della piastra in relazione all'interazione fra instabilità della piastra e instabilità della colonna secondo EN 1993-1-5 sez. 4.5. La tensione critica $\sigma_{Ed,Cr}$ viene stabilita per ogni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

piastra considerando le lamiere e gli irrigidimenti come una piastra ortotropica equivalente secondo EN 1993-1-5:2006 Allegato A1.

E' da notare come alcuni componenti dell'impalcato sospeso siano soggetti ad un danno sismico considerevole; tali sezioni si trovano tipicamente vicino alle torri e fra le torri e le strutture terminali. I periodi di vibrazione che influenzano maggiormente i requisiti sismici su tali componenti saranno simili a quelli che influenzano la risposta della torre, e quindi i coefficienti di smorzamento di Rayleigh selezionati daranno luogo a livelli adeguati di smorzamento per i modi corrispondenti dell'impalcato sospeso. Le più importanti auto frequenze per la combinazione dei carichi sismici che sono state studiate ulteriormente per l'impalcato sospeso, si sono rivelate essere comprese in un range di 0.7-2.4 Hz. Ciò fornisce uno smorzamento nel range di 1.7 - 3 %, (vedi la Figura 8-1 Rapporti di smorzamento di Reyleigh quali sono utilizzati nel modello globale IBDAS (Best fit)

), che si è trovato essere accettabile.

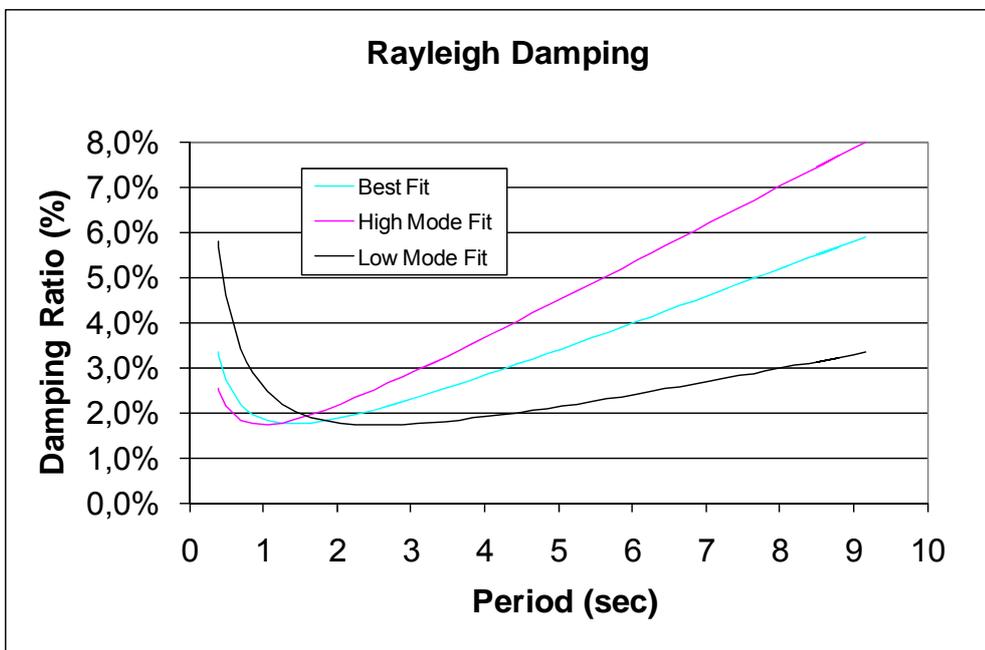


Figura 8-1 Rapporti di smorzamento di Reyleigh quali sono utilizzati nel modello globale IBDAS (Best fit)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

8.1 Cassone stradale - Verifica

Le armature longitudinali nei due cassoni stradali sono continue da una struttura terminale all'altra, interrotte solo al traverso T4a e T4b presso i supporti per la campata drop-in di 60m presso le torri.

Le forze della sezione e i coefficienti di utilizzo sono illustrati alle figure sottostanti. La distribuzione delle forze della sezione N_s , M_y e V_z sono importate dal modello IBDAS –FE. Dalla Figura 8-2

Forza massima normale (N_{s+}) nei cassoni stradali, combinazione allo stato limite ultimo con carico di vento dinamico

alla Figura 8-4 Forza massima di taglio (V_{z+}) nei cassoni stradali, combinazione allo stato limite ultimo con carico di vento dinamico

sono presentate le forze della sezione per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo con vento dinamico.

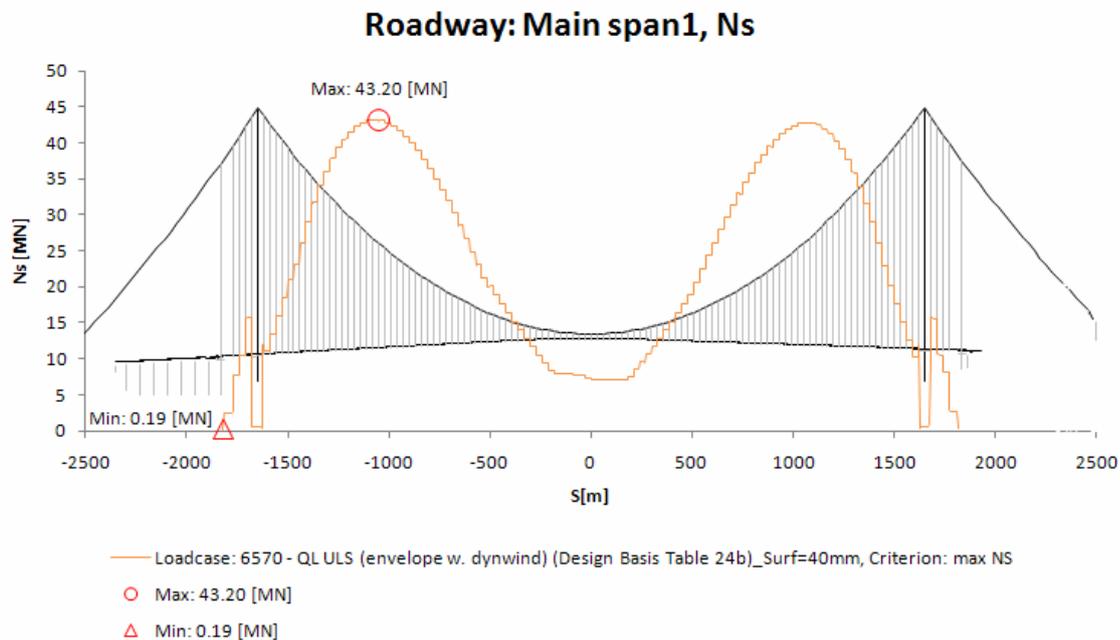


Figura 8-2 Forza massima normale (N_{s+}) nei cassoni stradali, combinazione allo stato limite ultimo con carico di vento dinamico

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	Rev F0	Data 20-06-2011

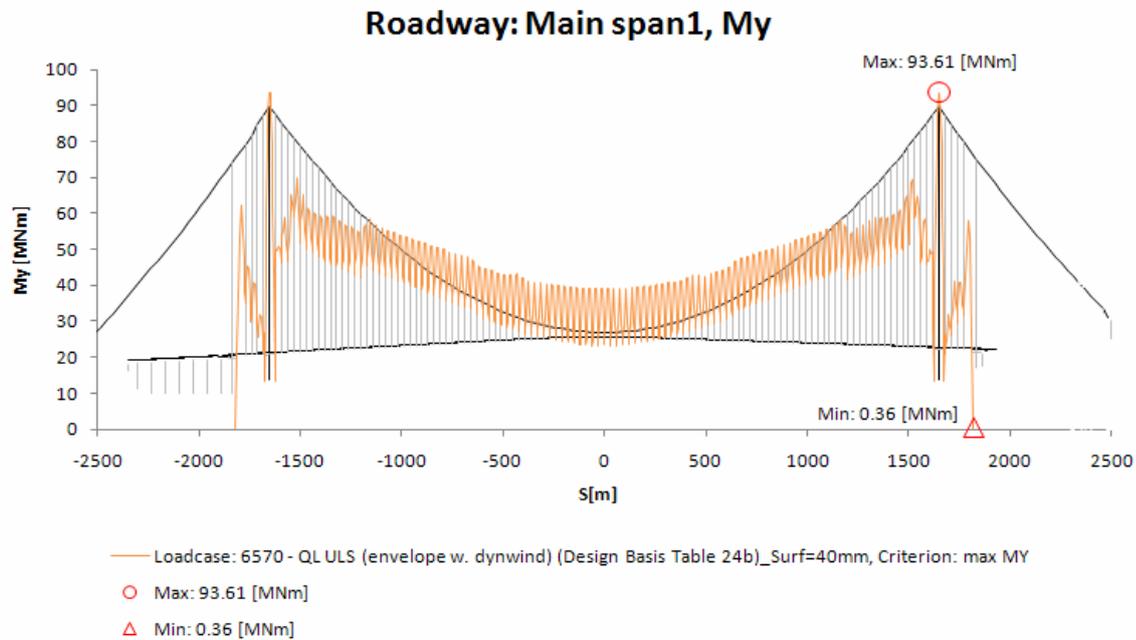


Figura 8-3 Momento flettente massimo (M_{y+}) nei cassoni stradali, combinazione allo stato limite ultimo con carico di vento dinamico

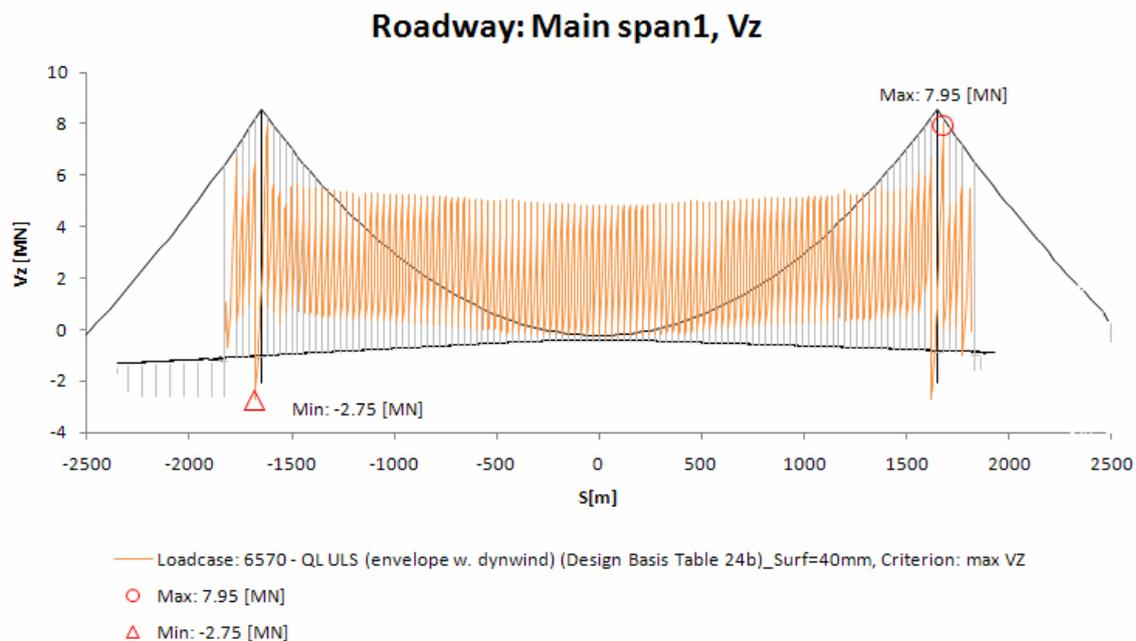


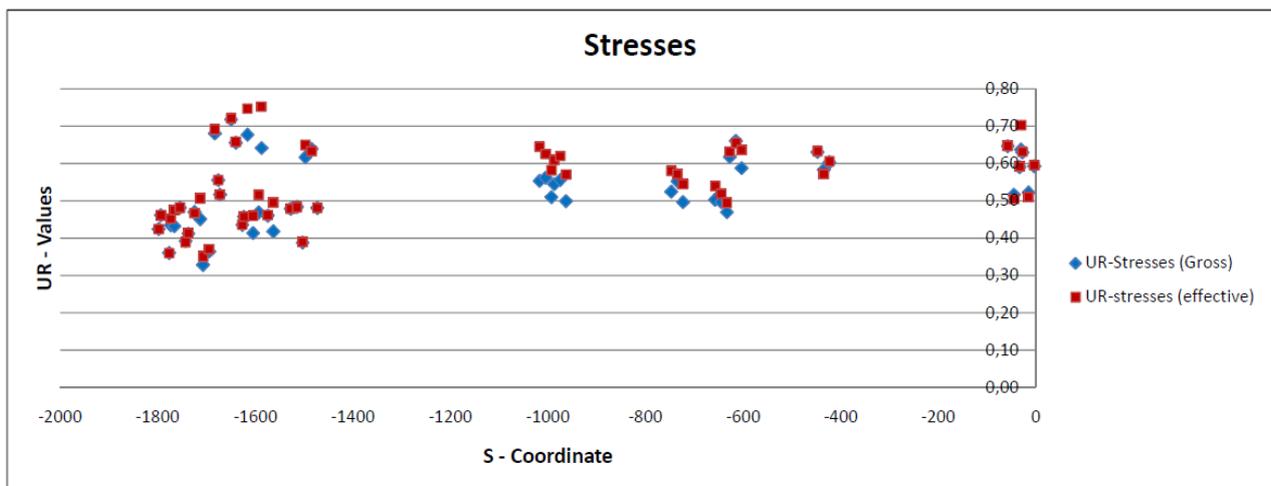
Figura 8-4 Forza massima di taglio (V_{z+}) nei cassoni stradali, combinazione allo stato limite ultimo con carico di vento dinamico

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

I coefficienti di utilizzo sono presentati nelle coordinate selezionate s, che si trovano nella posizione dei carichi prevalenti, modifica nella geometria, spessori delle piastre e nei punti strutturali chiave come il centro della campata principale, le connessioni al traverso e nella drop-in di 60m, ecc. La combinazione dei carichi prevalenti allo stato limite ultimo è rappresentata dal vento dinamico; i coefficienti di utilizzo per questa combinazione sono illustrati alla Figura 8-5

Cassone stradale – coefficienti di utilizzo per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo , vento dinamico, sollecitazioni e instabilità della piastra.

Le figure indicano il peggior coefficiente di utilizzo (UR), cioè la richiesta/capacità per una moltitudine di punti di tensione analizzati per ogni sezione trasversale. Gli UR sono mostrati per le tensioni e l'instabilità dei pannelli della piastra.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	Rev F0	Data 20-06-2011

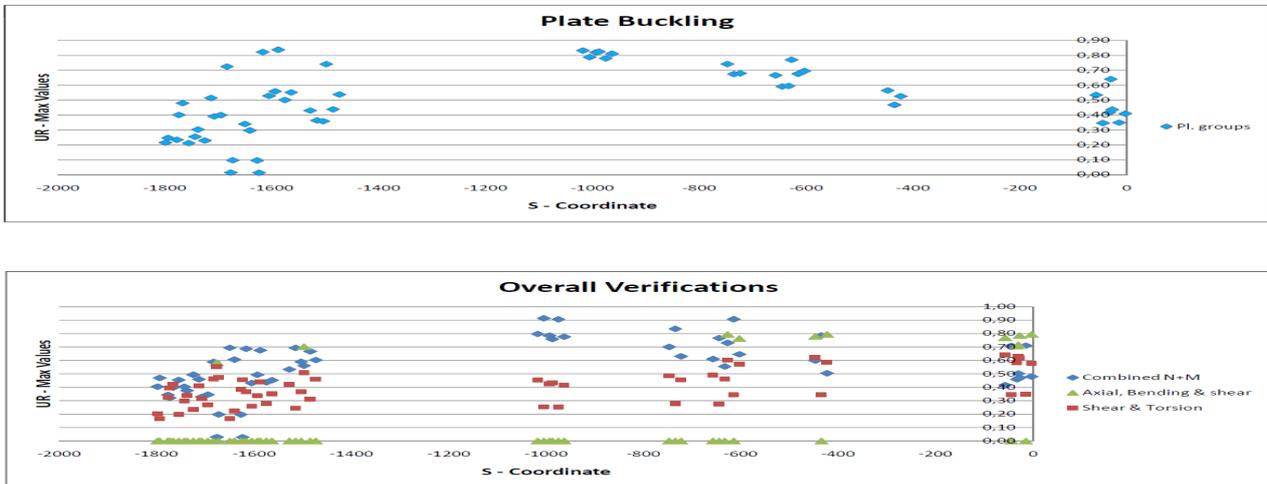
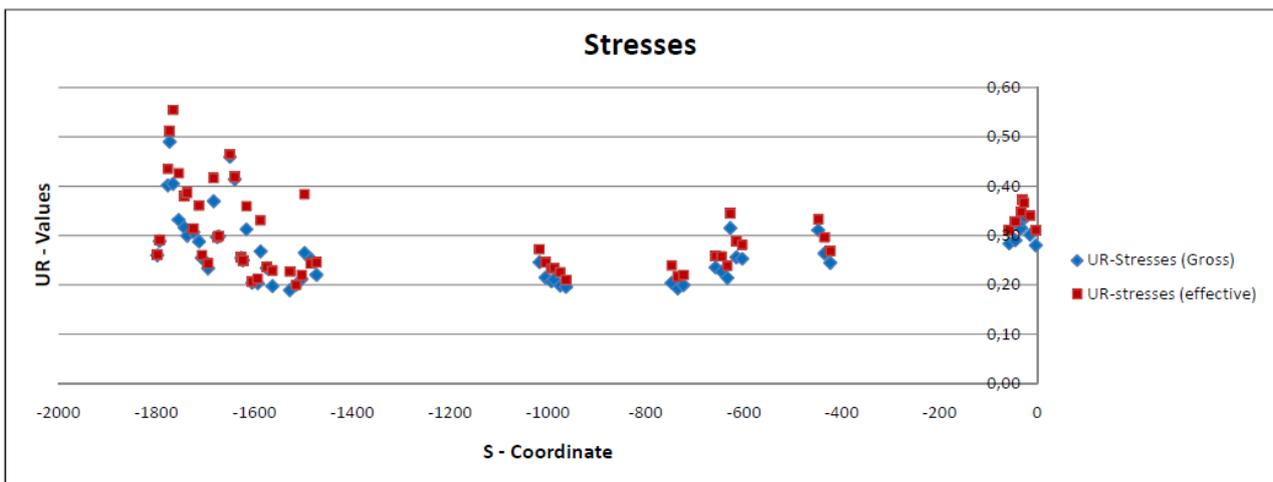


Figura 8-5 Cassone stradale – coefficienti di utilizzo per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo , vento dinamico, sollecitazioni e instabilità della piastra.

Il cassone stradale è stato anche verificato per i carichi sismici calcolati mediante un'analisi storica. I coefficienti di utilizzo per la combinazione di carichi allo stato limite ultimo dello storico sismico sono indicate alla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Le coordinate s selezionate per la verifica sismica sono state determinate sulla base di una ricerca preliminare, utilizzando un'analisi dello spettro di risposta.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

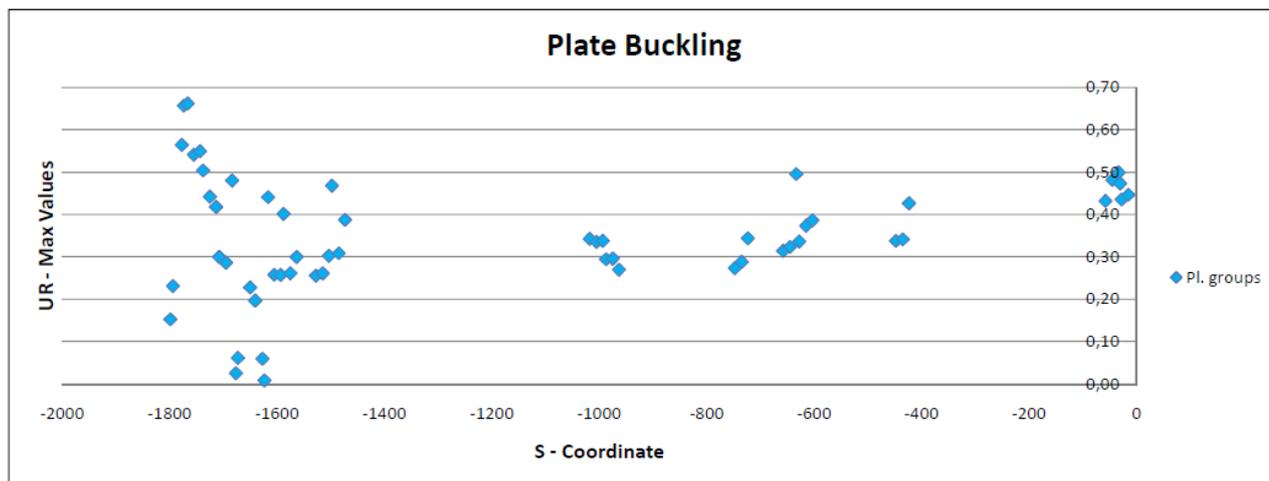


Figura 8-6 Cassone stradale – coefficienti di utilizzo per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo sismico (storico) tensioni e instabilità della piastra.

8.2 Cassone ferroviario - verifica

La capacità dell'armatura longitudinale è stata verificata mediante ADVERS. La distribuzione delle forze della sezione, N_s , M_y e V_z , importate da IBDAS sono presentate dalla Figura 8-7 Forza massima normale (N_s+) nel cassone ferroviario, combinazione di carico allo stato limite ultimo con vento dinamico

alla Figura 8-9 Forza massima di taglio (V_z+) nel cassone ferroviario, combinazione di carico allo stato limite ultimo con vento dinamico

. Le forze sono presentate per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo con vento dinamico. Il cassone stradale è continuo da una struttura terminale all'altra, ed è quindi soggetto a forze di vincolo nella campata della torre; la torre si trova a -1650 m e la linea mediana della campata principale a 0m.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	Rev F0	Data 20-06-2011

Railway: Main span, Ns

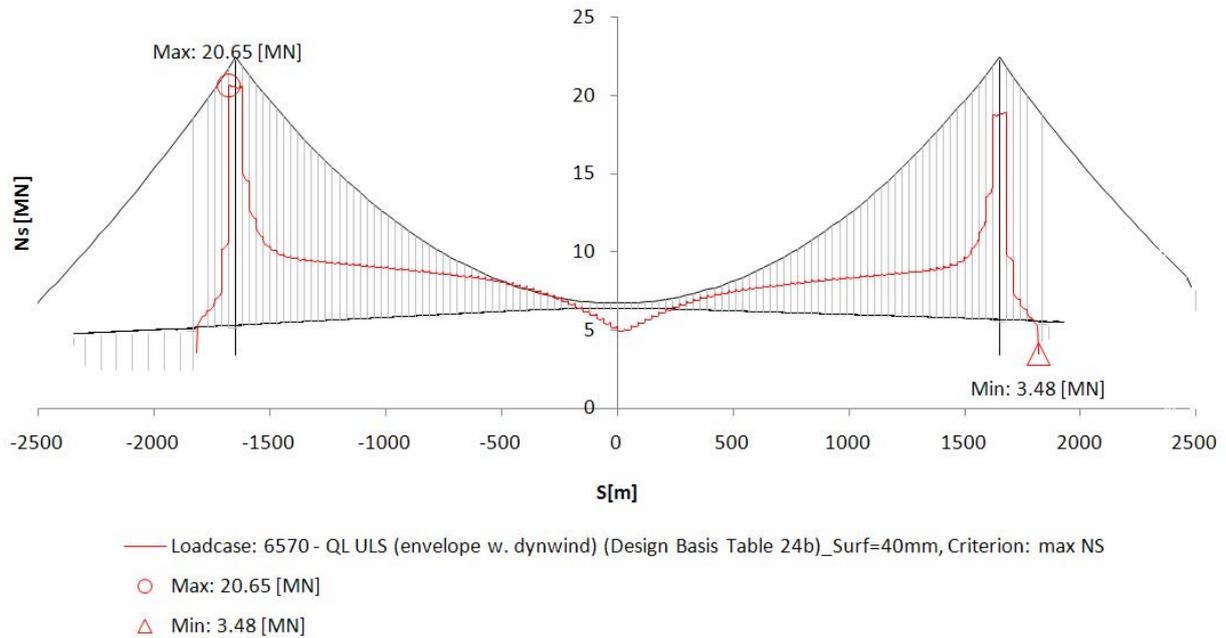


Figura 8-7 Forza massima normale (N_s+) nel cassone ferroviario, combinazione di carico allo stato limite ultimo con vento dinamico

Railway: Main span, My

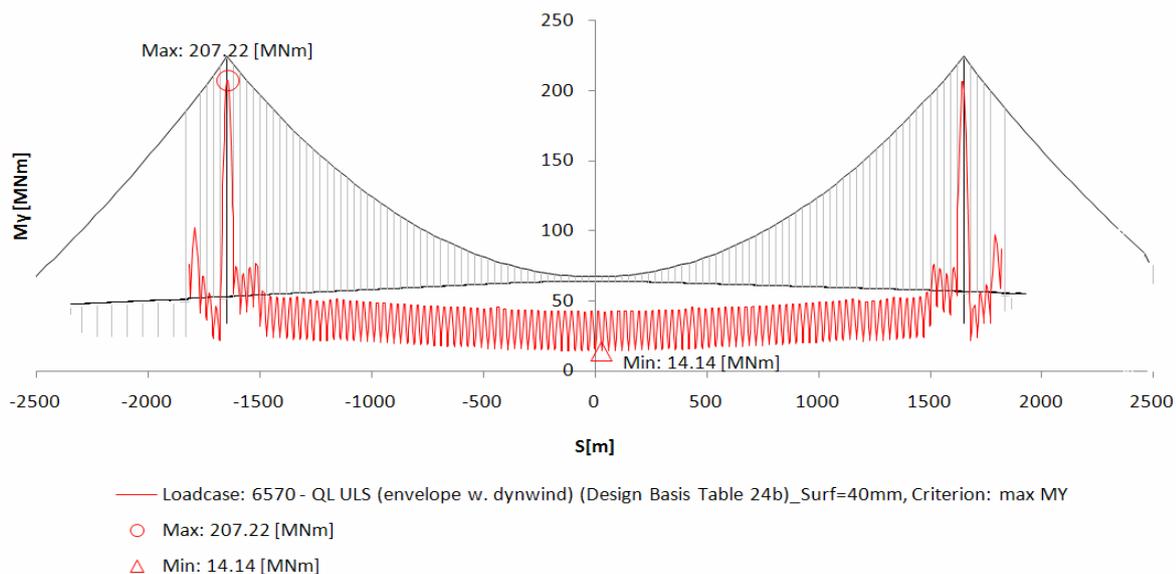


Figura 8-8 Momento flettente massimo (M_y+) nei cassoni stradali, combinazione di carico allo stato limite ultimo con carico di vento dinamico

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione tecnica specialistica		Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Rev</td> <td style="text-align: center;">Data</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20-06-2011</td> </tr> </table>	Rev	Data	F0	20-06-2011
Rev	Data						
F0	20-06-2011						

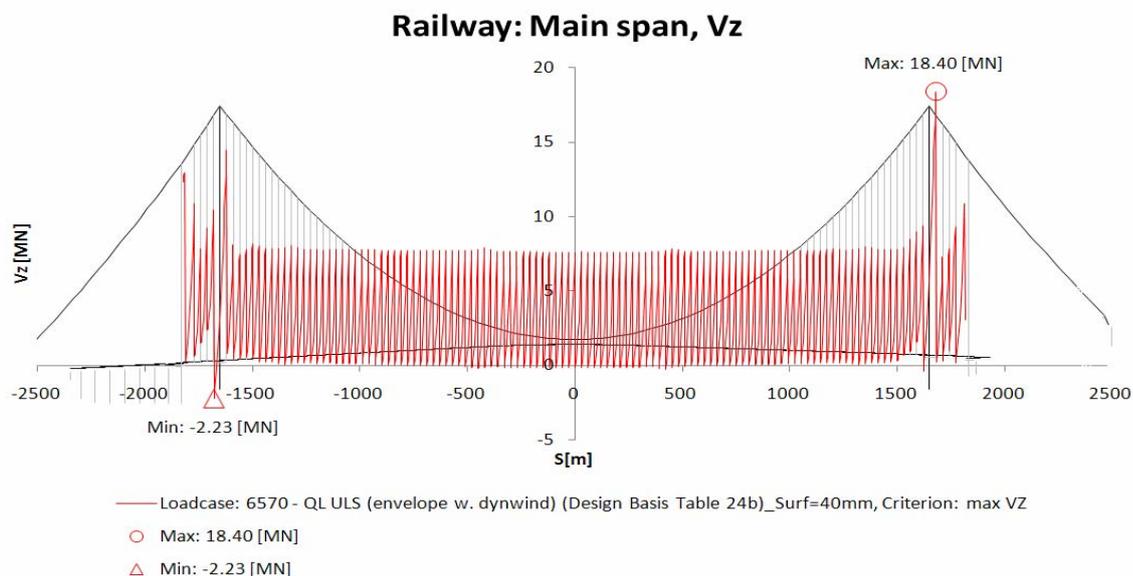


Figura 8-9 Forza massima di taglio (V_z) nel cassone ferroviario, combinazione di carico allo stato limite ultimo con vento dinamico

I coefficienti di utilizzo sono presentati nelle coordinate s selezionate che si trovano nella posizione dei carichi predominanti, modifiche nella geometria, agli spessori della piastra e nei punti chiave strutturali.

Gli irrigidimenti sono stati controllati sia per la stabilità individuale che per quella globale nella condizione generale di tensione. Inoltre è stata verificata la stabilità dell'interazione tra piastra e irrigidimenti. Infine è stato verificato che non vi fosse instabilità elastica allo stato limite di servizio, nota come "plate breathing" ("respirazione della piastra") Tutte le suddette verifiche delle sollecitazioni sono state effettuate considerando le proprietà globali e locali della sezione per le proprietà reali della sezione trasversale nella sezione di classe 4.

La verifica delle tensioni e dell'instabilità globale della piastra è mostrata dalla Figura 8-10

Cassone ferroviario – coefficienti di utilizzo per le sollecitazioni e l'instabilità della piastra nei tipi CF1 e CF2 per la combinazione di carico allo stato limite ultimo con vento dinamico.

alla Figura 8-21 Cassone ferroviario – coefficienti di utilizzo per le tensioni e l'instabilità della piastra nei tipi CF9b per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo sismico (storico)

per tutte le sezioni trasversali basate sulle forze della sezione, provenienti dal caso del carico predominante allo stato limite ultimo con vento dinamico e da un caso di carico sismico utilizzando l'analisi dello storico. I casi dei carichi sono stati verificati per i punti selezionati. Per la descrizione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

dei casi di carico, si faccia riferimento alla Le combinazioni generali dei carichi allo stato limite ultimo SLU utilizzate per la verifica dell'armatura longitudinale sono illustrate alla **Errore. L'autoriferimento non è valido per un segnalibro..**

. I coefficienti di utilizzo sono stati tratti direttamente da ADVERS e sono tutti al di sotto di 1,0.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

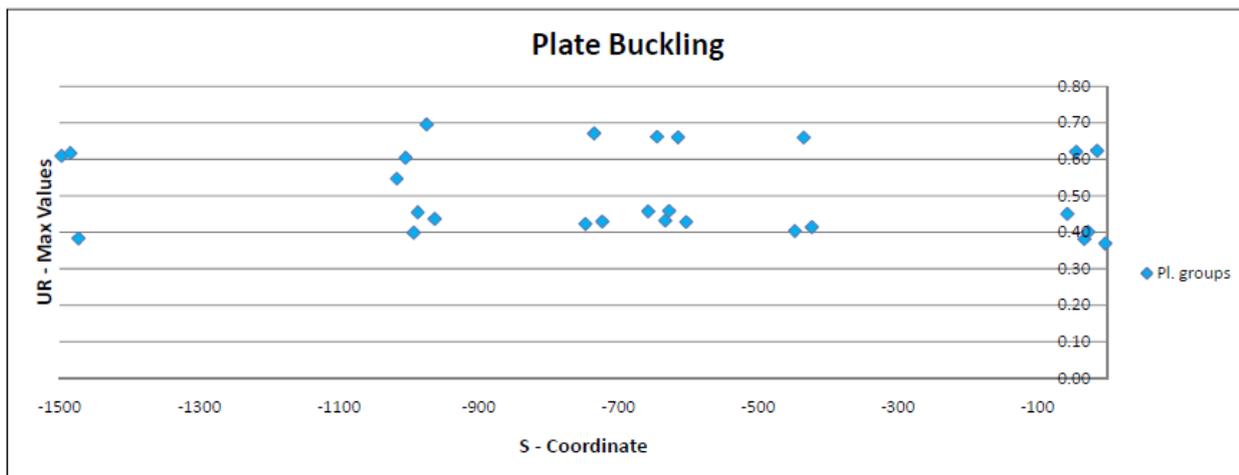
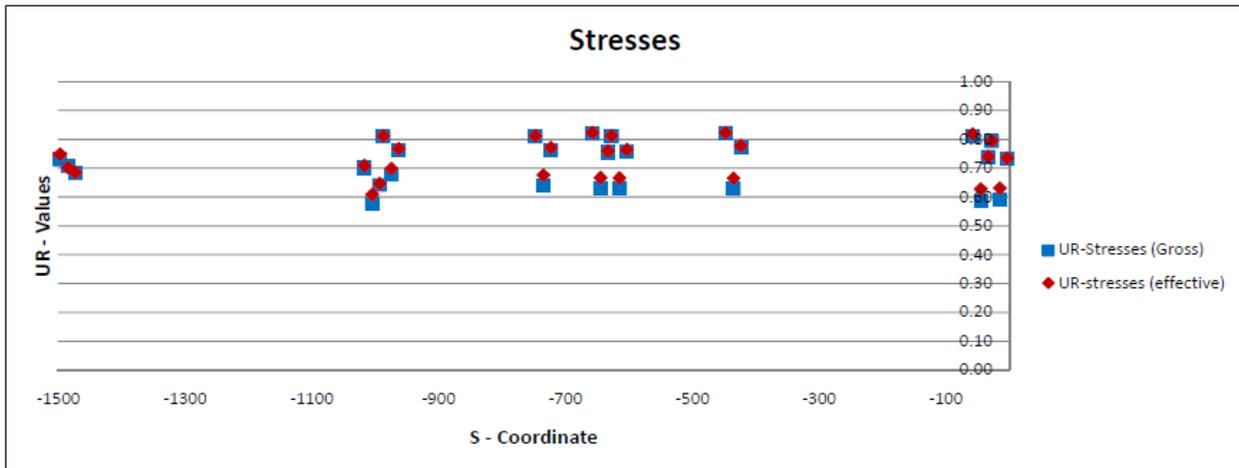


Figura 8-10 Cassone ferroviario – coefficienti di utilizzo per le sollecitazioni e l'instabilità della piastra nei tipi CF1 e CF2 per la combinazione di carico allo stato limite ultimo con vento dinamico.

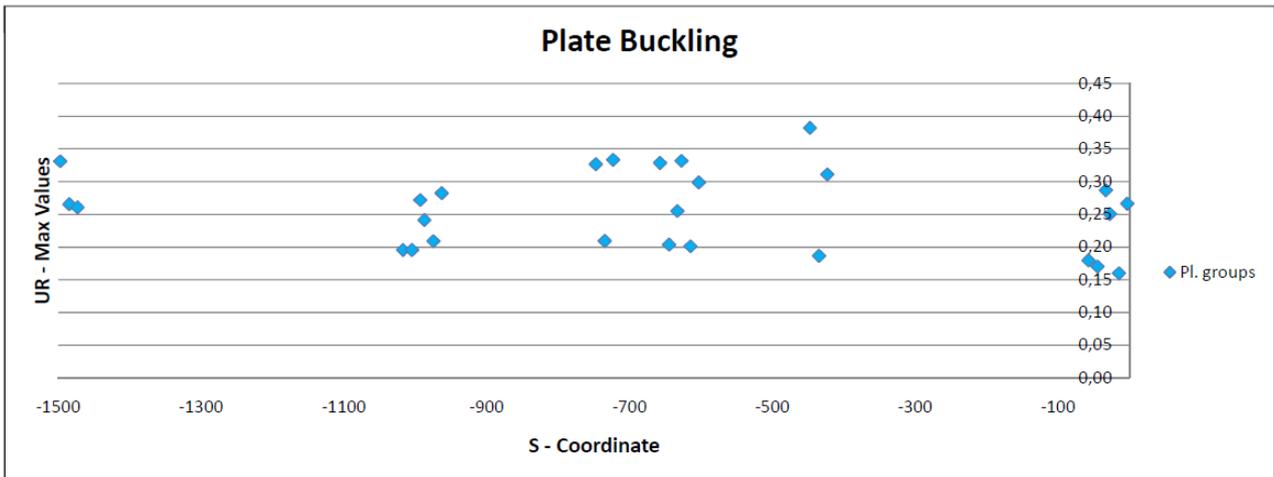
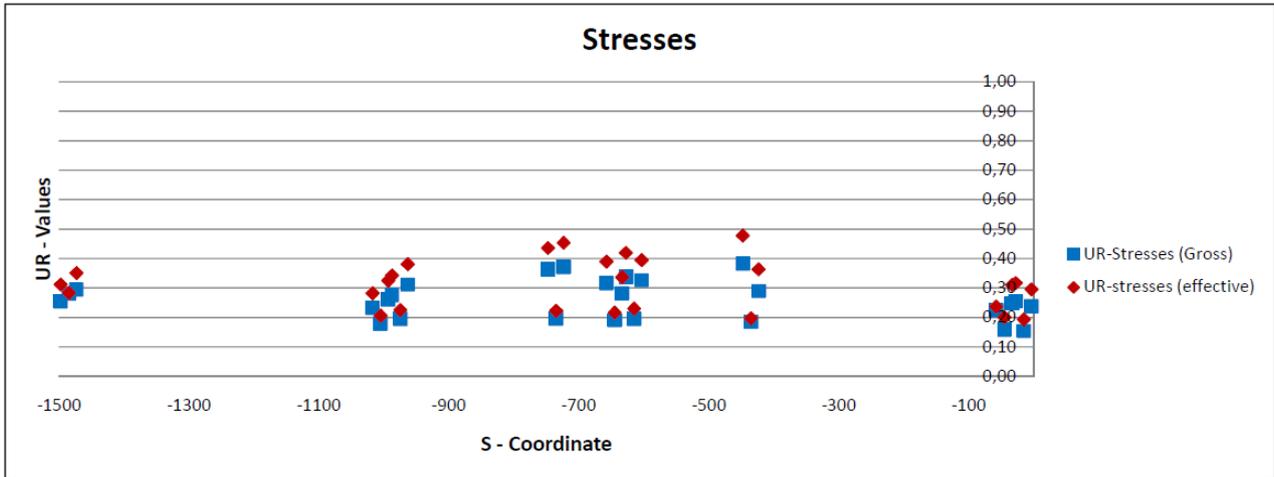


Figura 8-11 Cassone ferroviario – coefficienti di utilizzo per le sollecitazioni e l'instabilità della piastra nei tipi CF1 e CF2 per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo sismico (storico)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

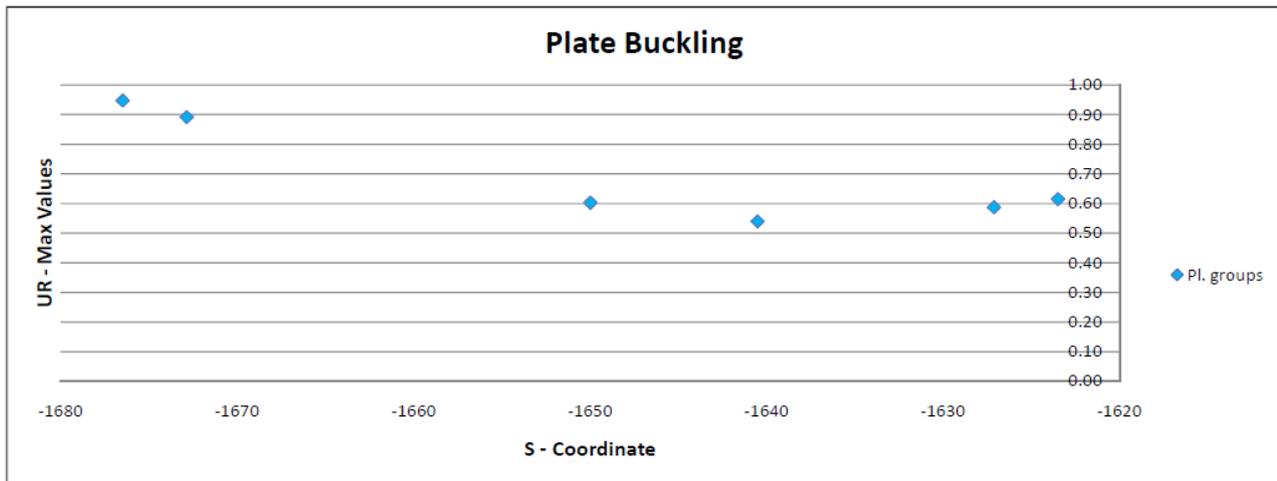
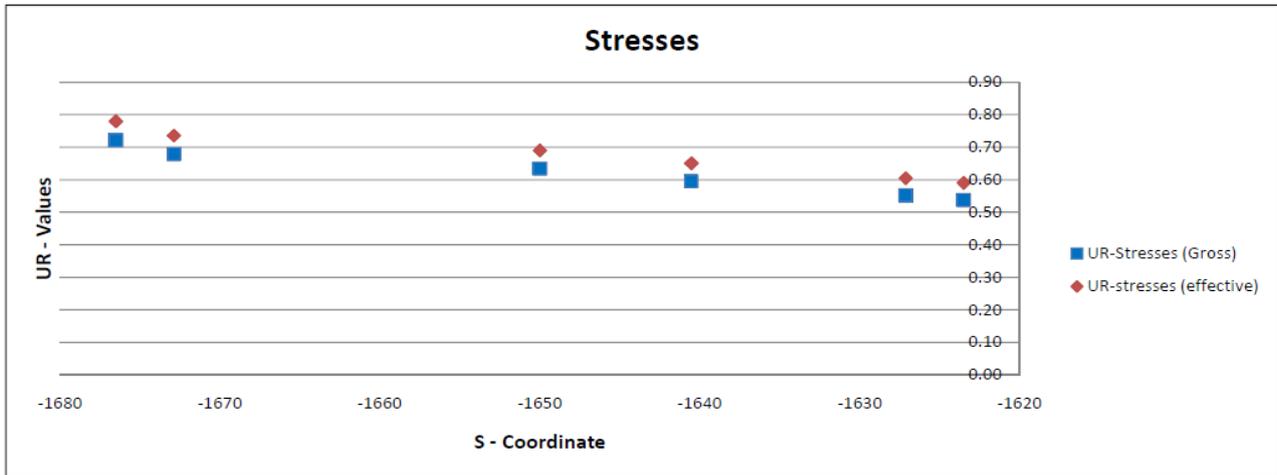


Figura 8-12 Corrente ferroviario – coefficienti di utilizzo per le tensioni e l'instabilità della piastra nei tipi CF4 per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo con vento dinamico

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	Rev F0	Data 20-06-2011

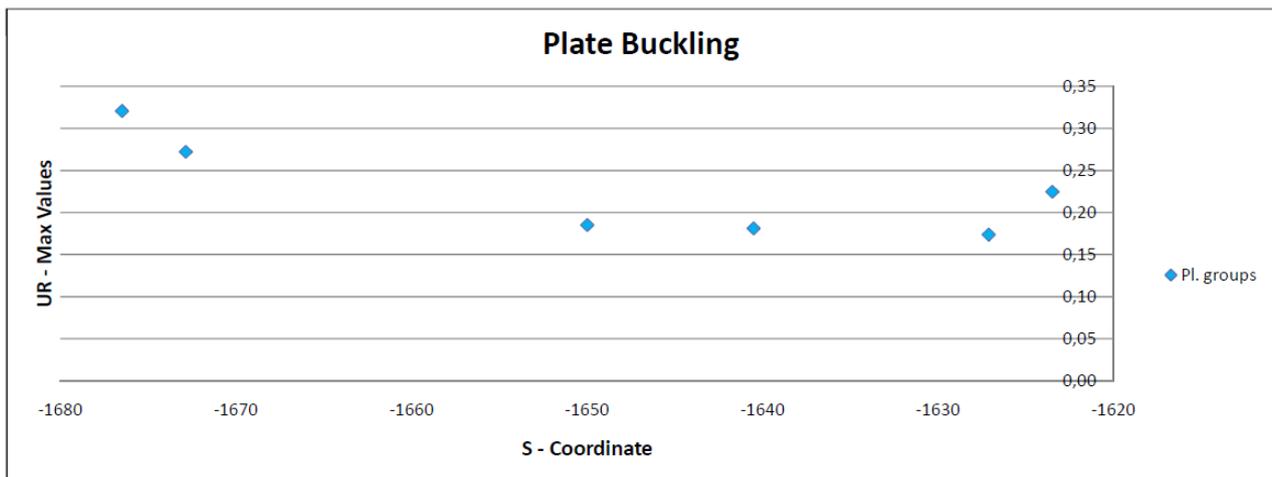
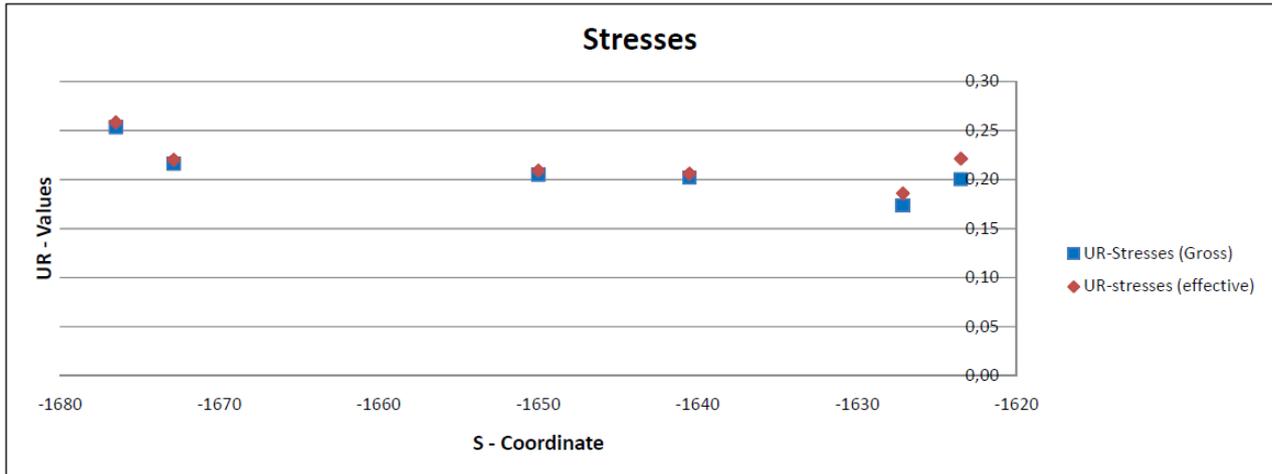


Figura 8-13 Cassone ferroviario – coefficienti di utilizzo per le tensioni e l'instabilità della piastra nei tipi CF4 per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo, sismico (storico)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	Rev F0	Data 20-06-2011

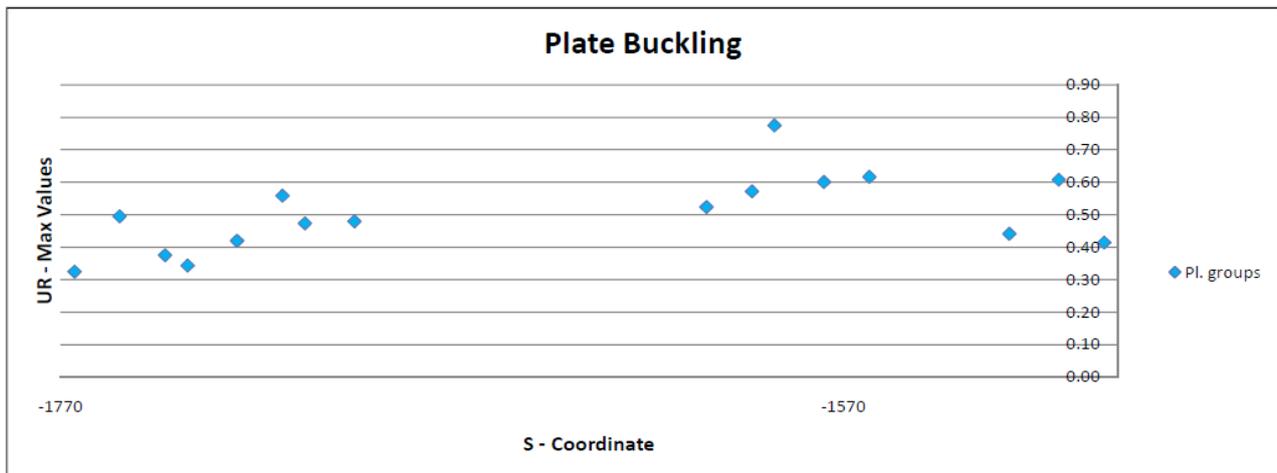
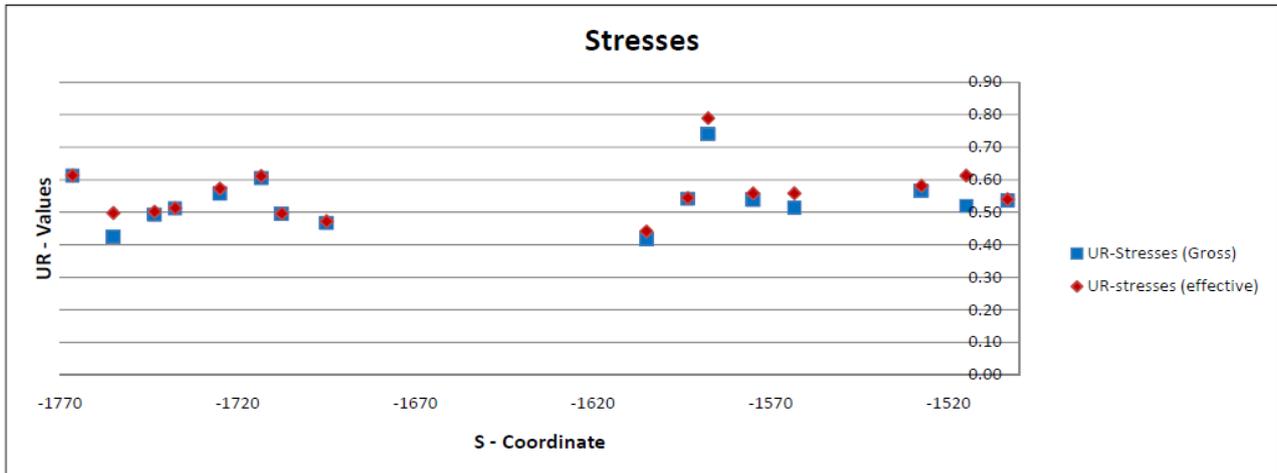


Figura 8-14 Cassone ferroviario – coefficienti di utilizzo per le sollecitazioni e l'instabilità della piastra nei tipi CF3, CF5 e CF6 per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo con vento dinamico

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

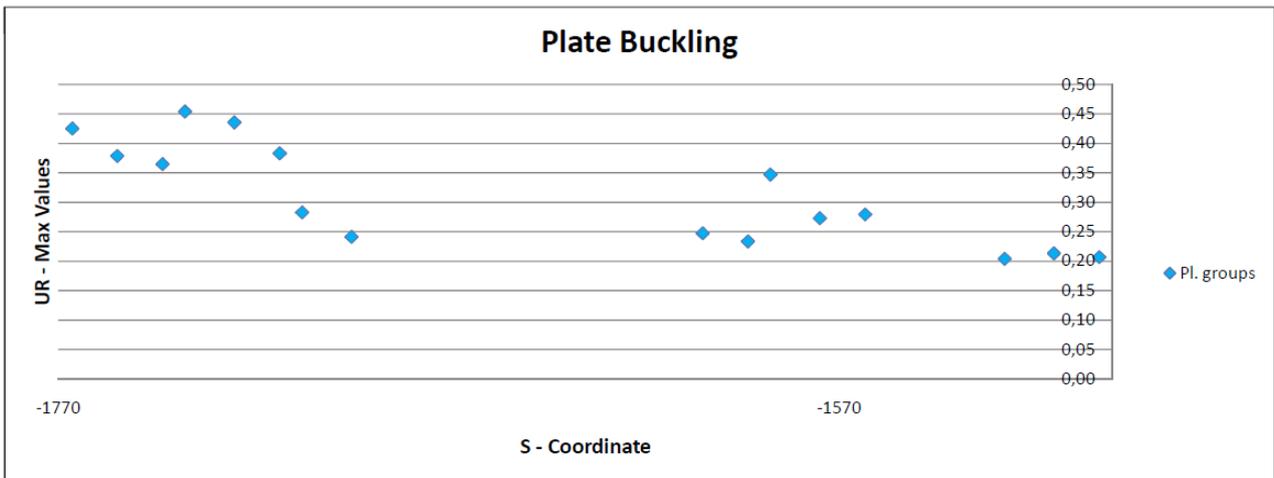
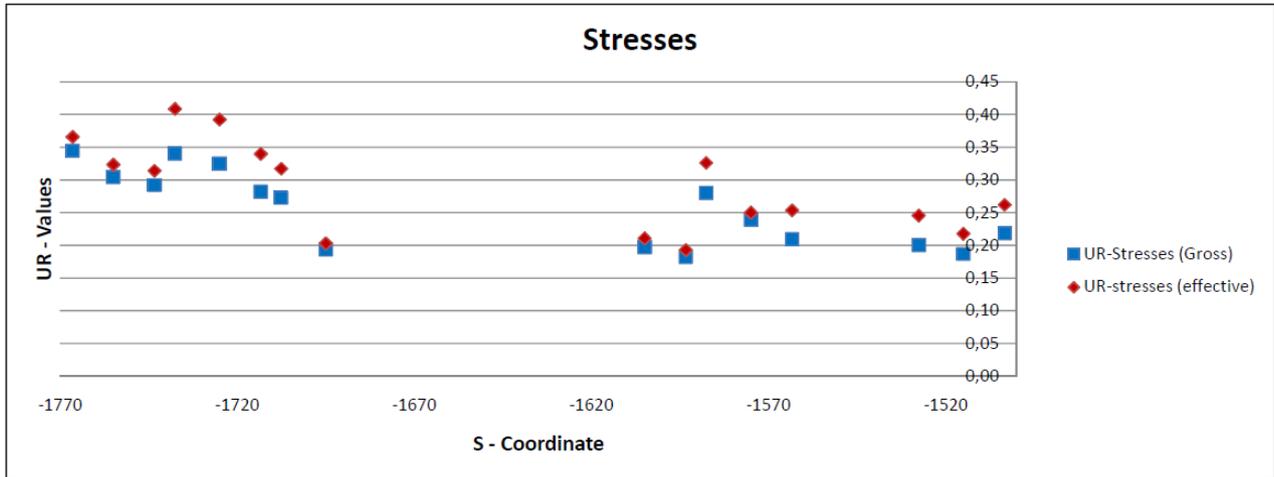


Figura 8-15 Cassone ferroviario – coefficienti di utilizzo per le sollecitazioni e l'instabilità della piastra nei tipi CF3, CF5 e CF6 per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo sismico (storico)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

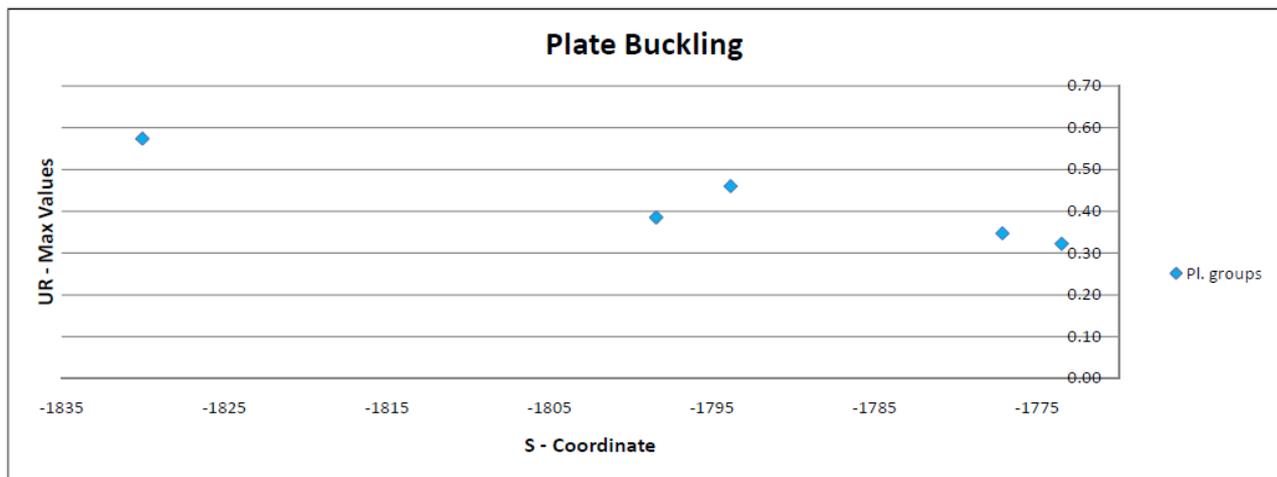
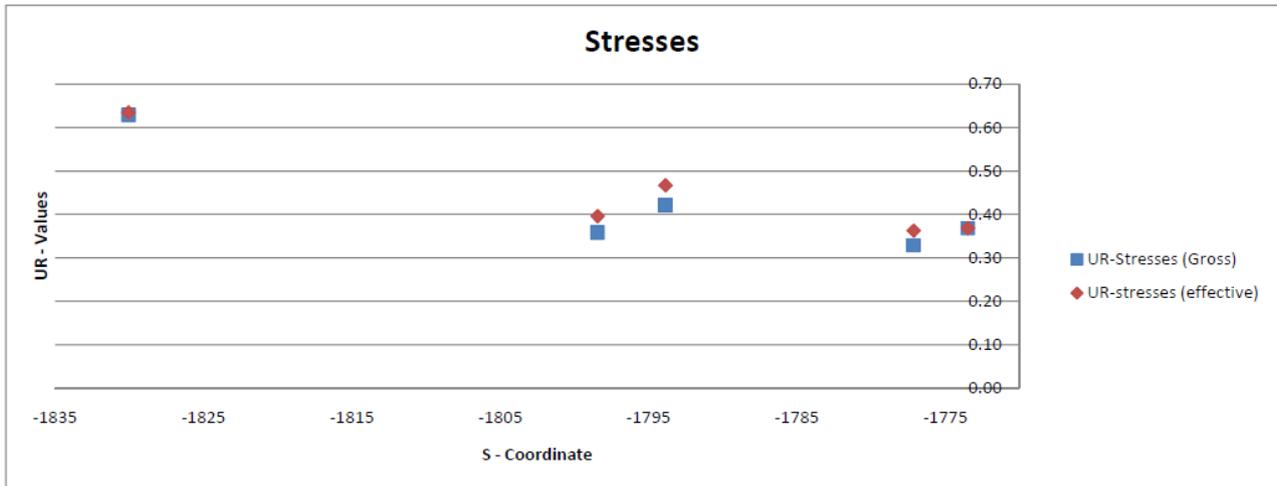


Figura 8-16 Cassone ferroviario – coefficienti di utilizzo per le sollecitazioni e l'instabilità della piastra nei tipi CF7 e CF8 Per la combinazione di carico allo stato limite ultimo con vento dinamico.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

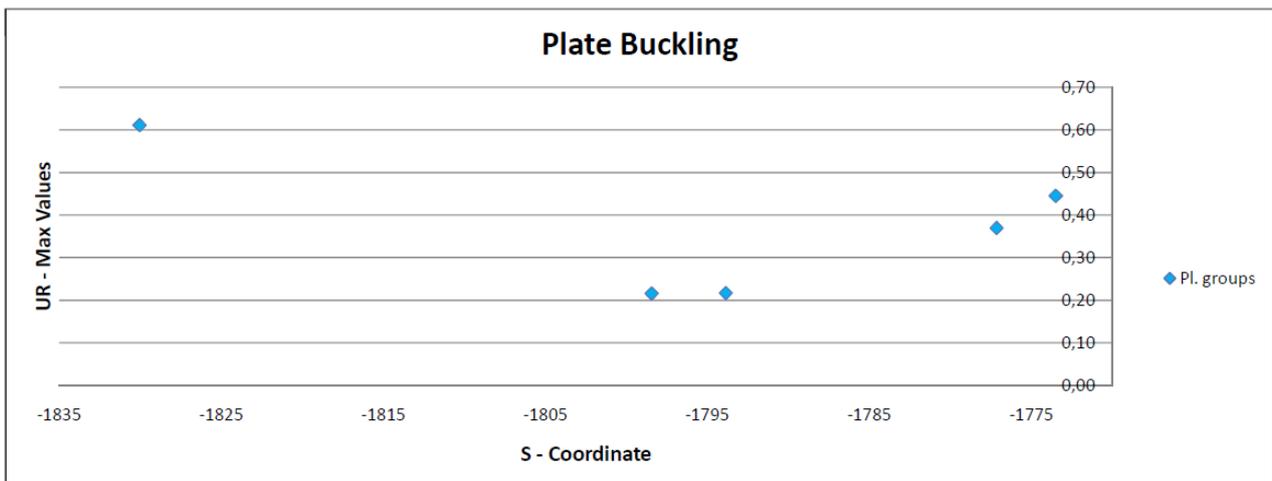
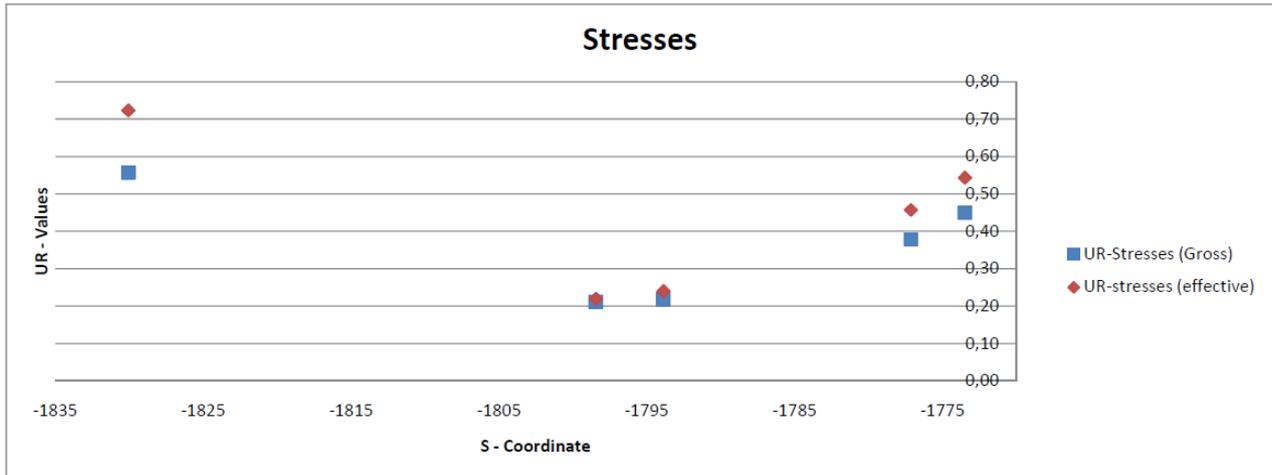


Figura 8-17 Cassone ferroviario – coefficienti di utilizzo per le tensioni e l'instabilità della piastra nei tipi CF7 e CF8 per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo sismico (storico)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

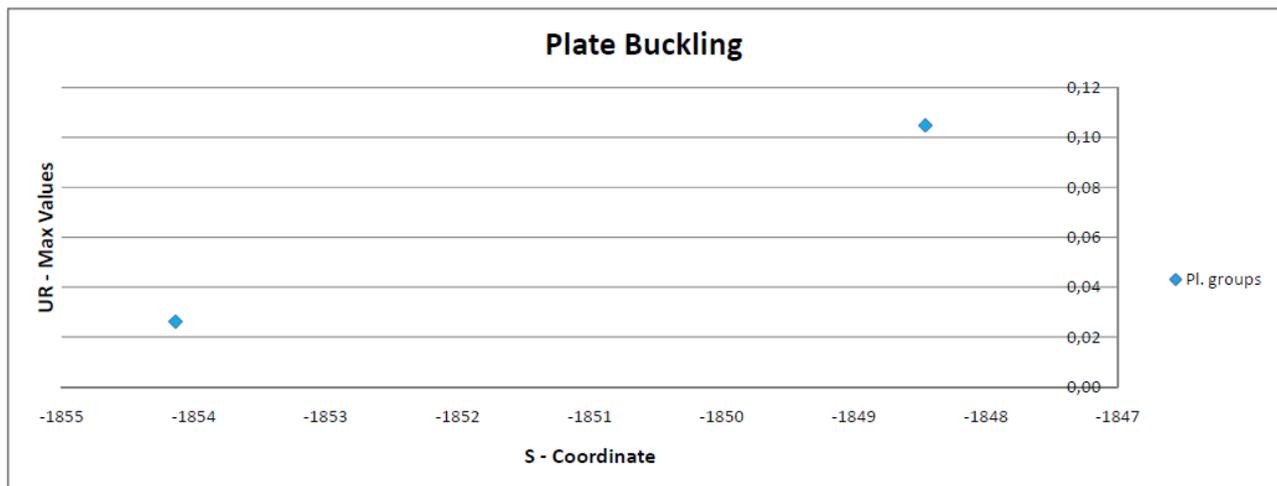
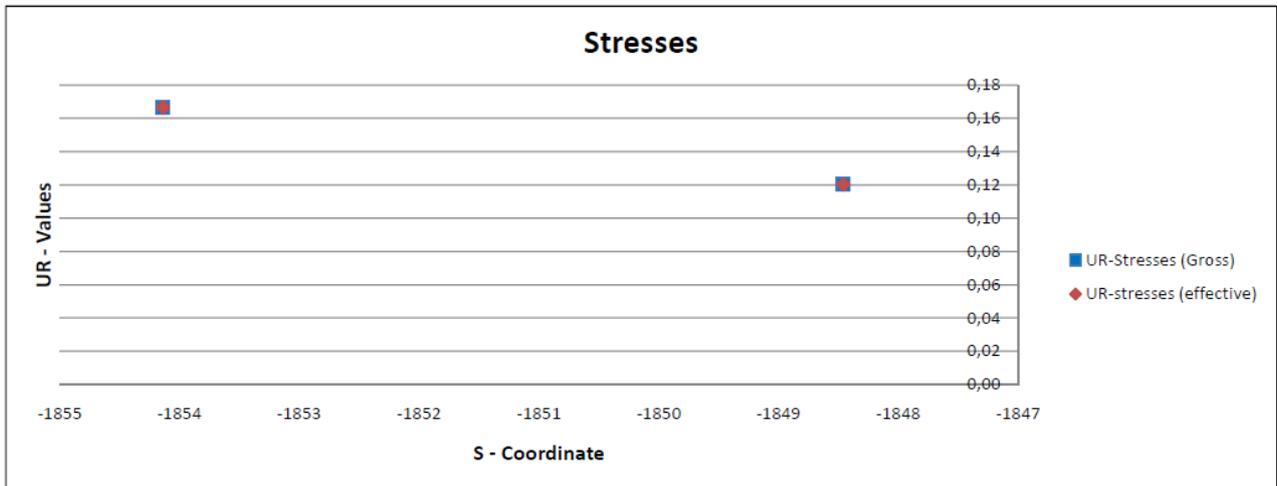


Figura 8-18 Cassone ferroviario – coefficienti di utilizzo per le tensioni e l'instabilità della piastra nei tipi CF9b per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo con vento dinamico

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

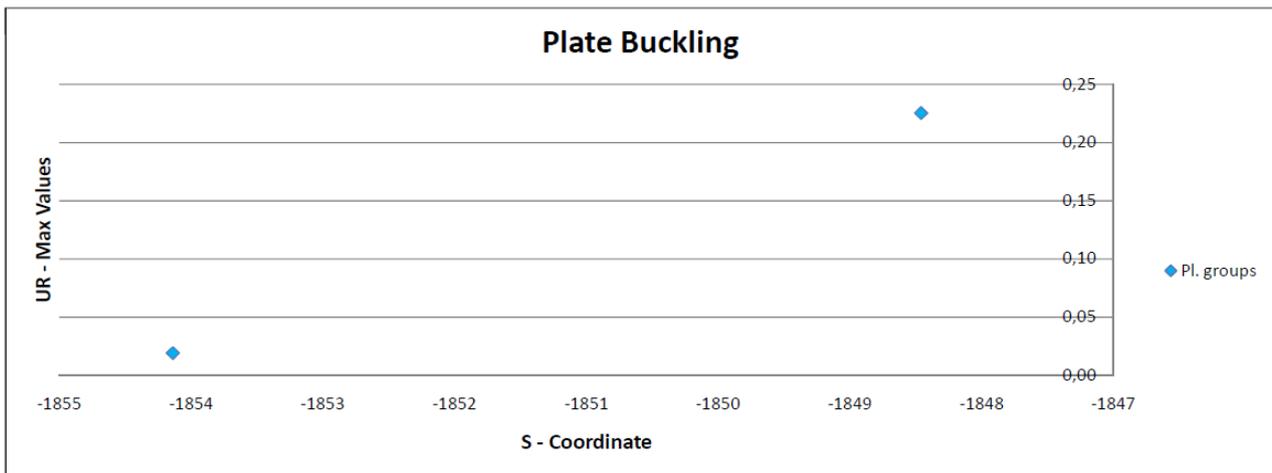
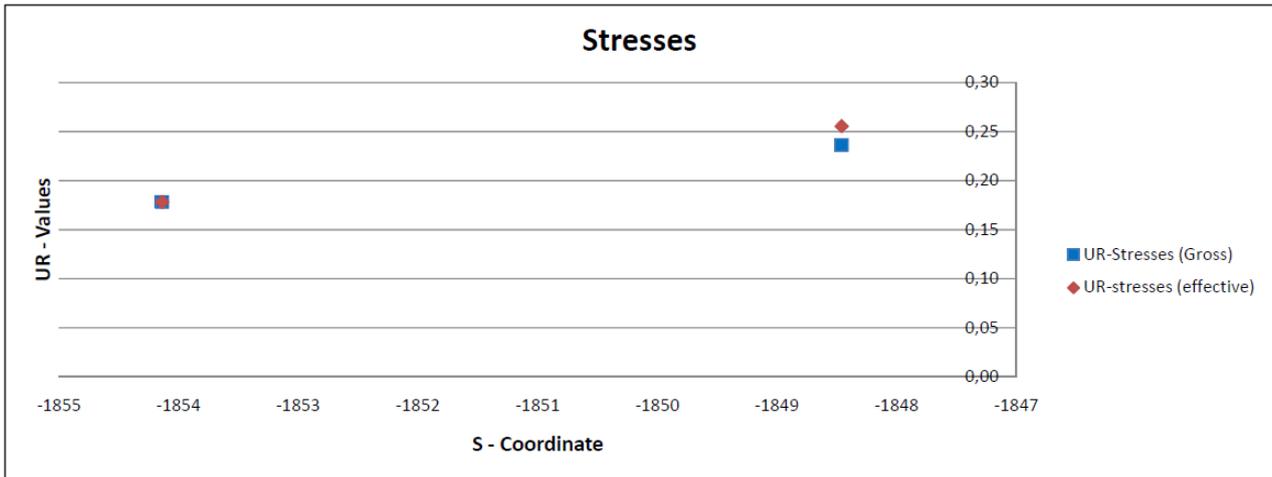


Figura 8-19 Cassone ferroviario – coefficienti di utilizzo per le tensioni e l'instabilità della piastra nei tipi CF9b per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo sismico (storico)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011	

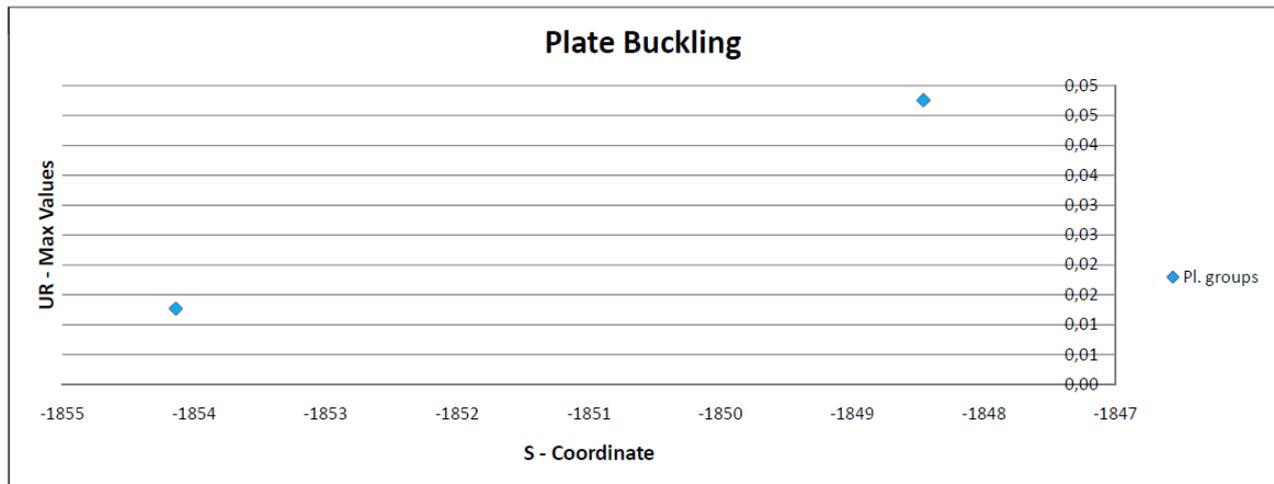
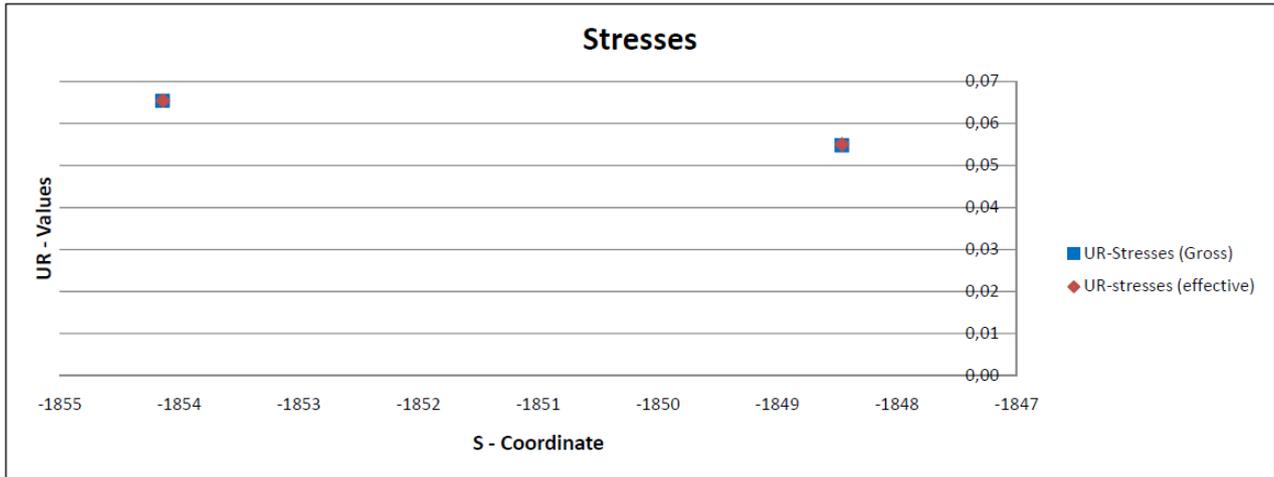


Figura 8-20 Cassone ferroviario – coefficienti di utilizzo per le tensioni e l'instabilità della piastra nei tipi CF9b per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo con vento dinamico

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	Rev F0	Data 20-06-2011

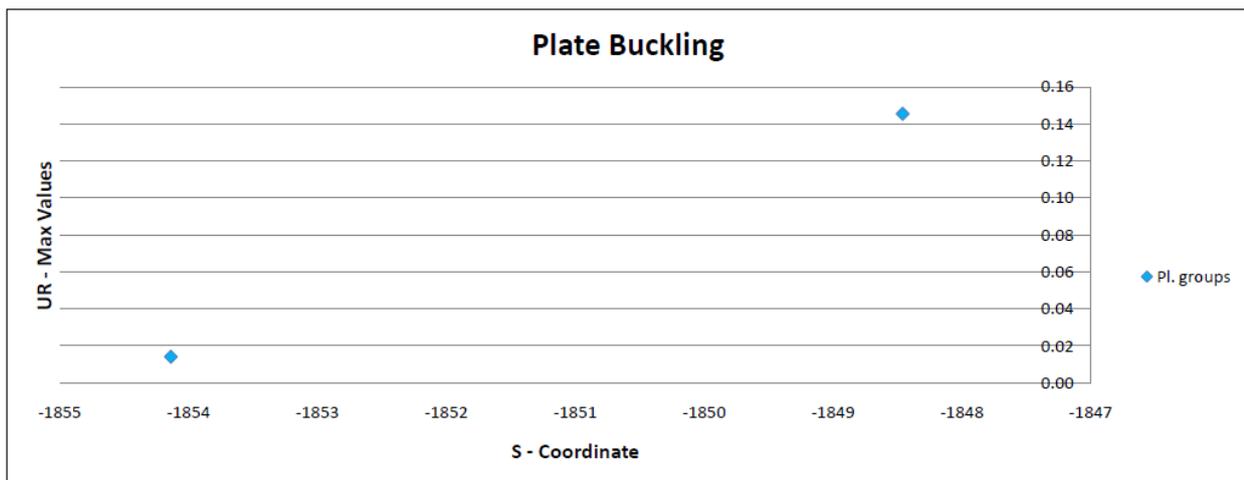
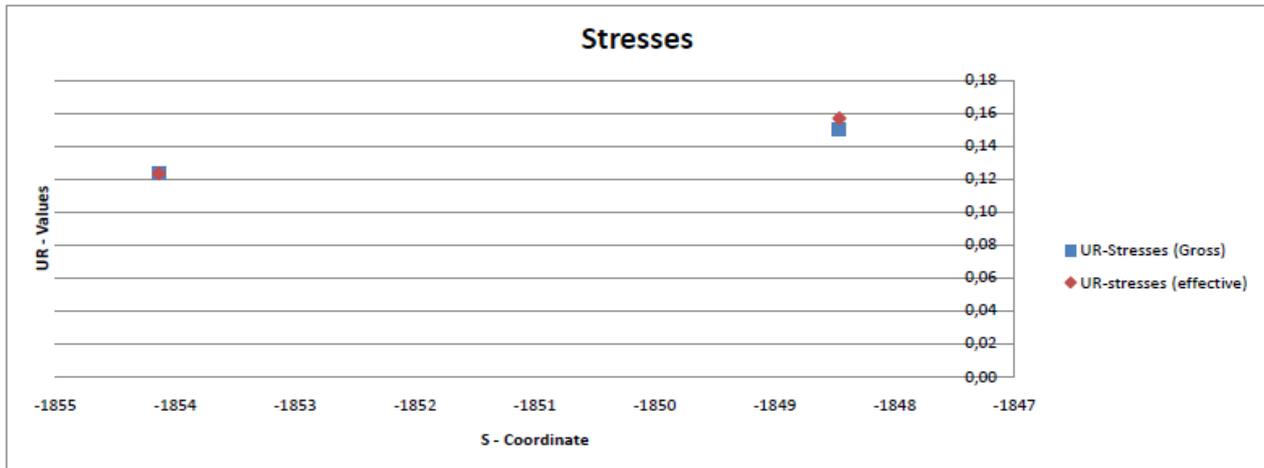


Figura 8-21 Cassone ferroviario – coefficienti di utilizzo per le tensioni e l'instabilità della piastra nei tipi CF9b per la combinazione dei carichi allo stato limite ultimo sismico (storico)

8.3 Traverso - verifica

Le armature longitudinali dei traversi sospesi fra i pendini sono state verificate utilizzando ADVERS, determinando i coefficienti di utilizzo per il controllo del codice corrispondente. I coefficienti di utilizzo sono presentati per i traversi pertinenti con una distribuzione più fitta attorno alle posizioni della torre dove ci si attendono i maggiori coefficienti di utilizzo. Sono stati inclusi tutti i tipi di traverso, e sono stati verificati in totale 31 correnti trasversali per l'intera lunghezza del

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica	<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

ponete, incluse entrambe le estremità al fine di considerare la possibile variazione delle sollecitazioni più critiche.

Ogni traverso è stato verificato in tre sezioni caratteristiche fra i cassoni longitudinali, come si può vedere alla Figura 8-22 Traverso – sezioni di verifica

La combinazione di carico allo stato limite ultimo con vento dinamico è quella predominante per il progetto allo stato limite ultimo. I casi di carico sono definiti nel rapporto IBIDAS “Descrizione del modello globale IBIDAS” Le forze di sezione per la combinazione di carico LC6570 utilizzata nella verifica dei traversi sono illustrati dalla Figura 8-23 Momento flettente M_y nel traverso per lo stato limite ultimo con vento dinamico

alla Figura 8-25 Momento torcente M_t nel traverso per lo stato limite ultimo con vento dinamico

per la sezione a $y=4,15m$.

Cross Girder: $y=4.15m$, Max M_y

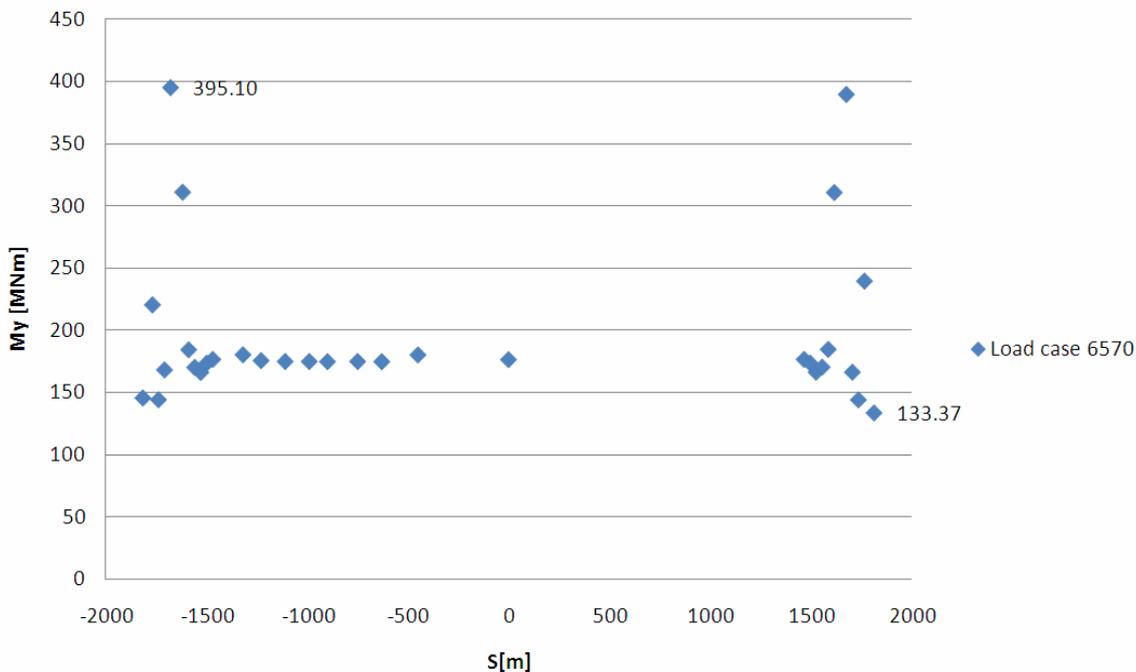


Figura 8-23 Momento flettente M_y nel traverso per lo stato limite ultimo con vento dinamico

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	Rev F0	Data 20-06-2011

Cross Girder: y=4.15m, Max Vz

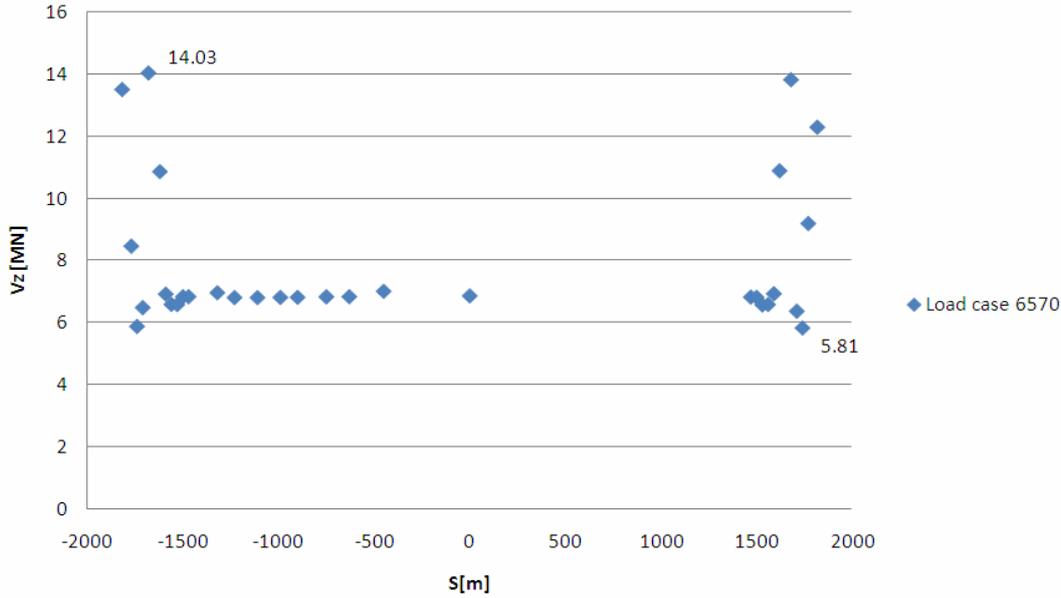


Figura 8-24 Forza di taglio Vz nel traverso per lo stato limite ultimo con vento dinamico

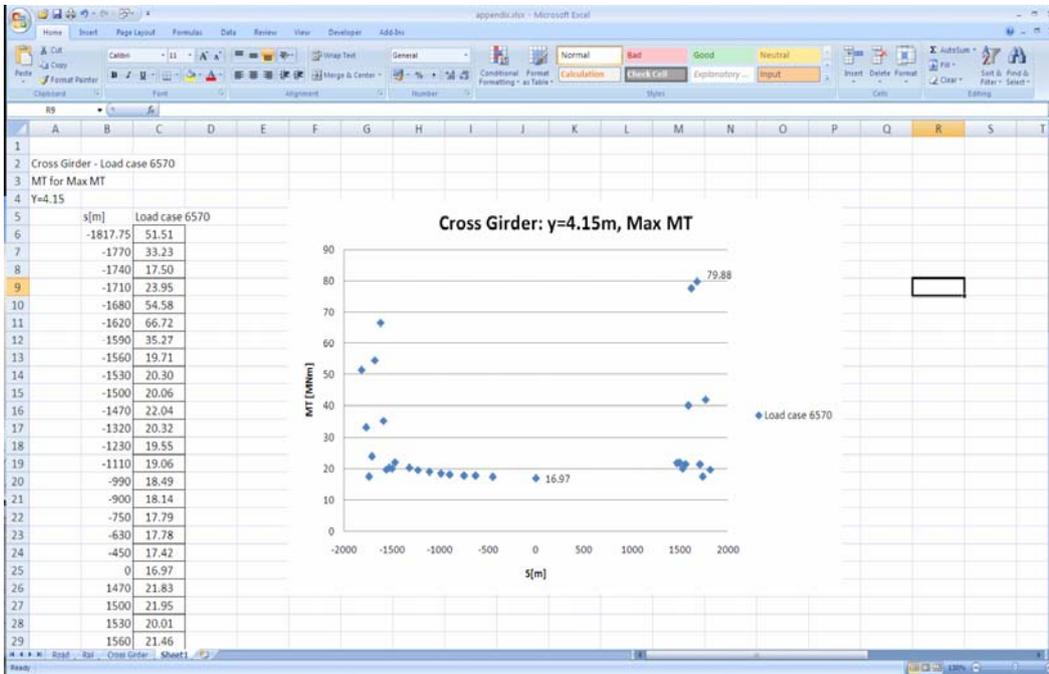


Figura 8-25 Momento torcente Mt nel traverso per lo stato limite ultimo con vento dinamico

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica	<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

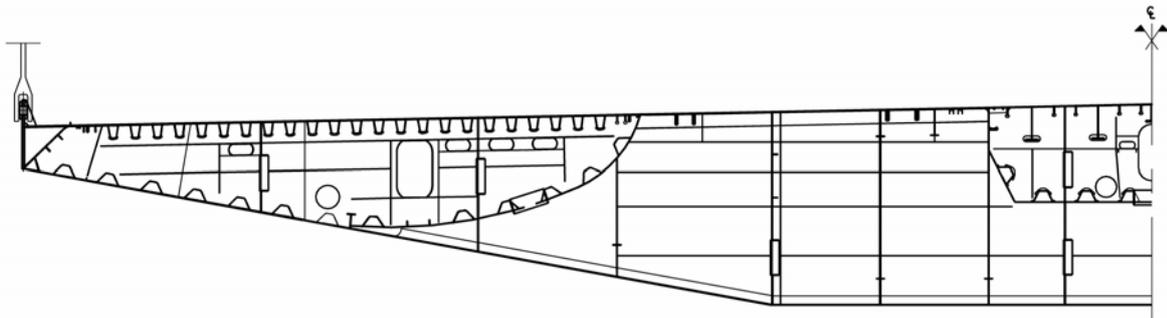


Figura 8-22 Traverso – sezioni di verifica

La combinazione di carico allo stato limite ultimo con vento dinamico è quella predominante per il progetto allo stato limite ultimo. I casi di carico sono definiti nel rapporto IBIDAS “Descrizione del modello globale IBIDAS” Le forze di sezione per la combinazione di carico LC6570 utilizzata nella verifica dei traversi sono illustrati dalla Figura 8-23 Momento flettente M_y nel traverso per lo stato limite ultimo con vento dinamico

alla Figura 8-25 Momento torcente M_t nel traverso per lo stato limite ultimo con vento dinamico

per la sezione a $y=4,15m$.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Cross Girder: $y=4.15\text{m}$, Max M_y

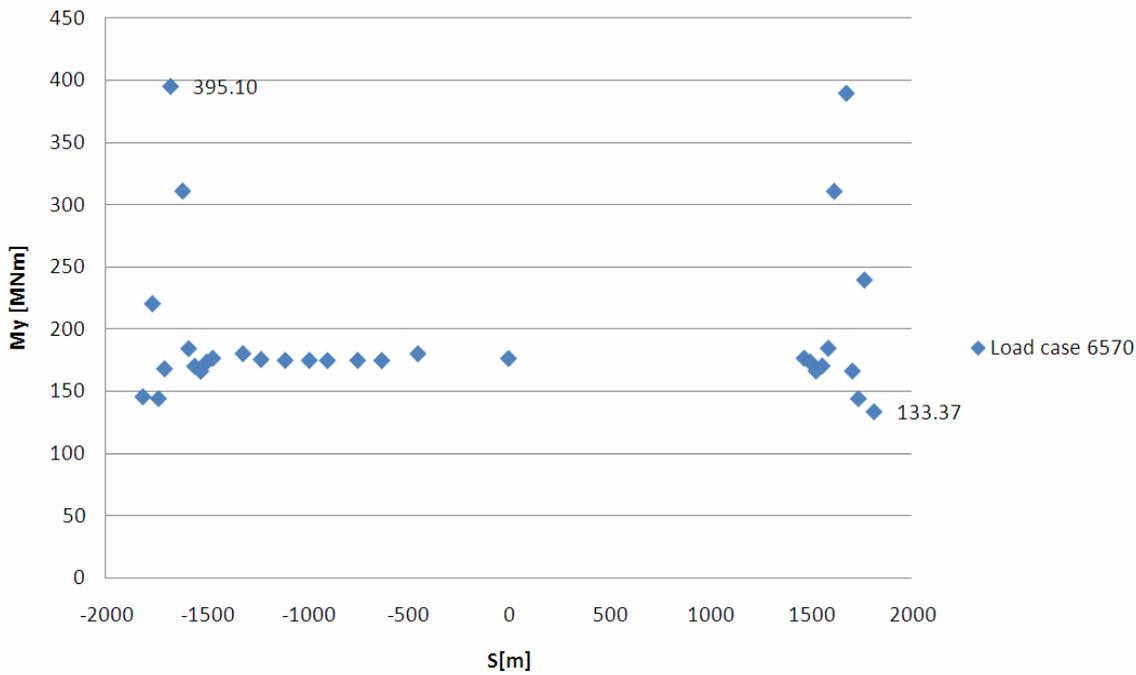


Figura 8-23 Momento flettente M_y nel traverso per lo stato limite ultimo con vento dinamico

Cross Girder: $y=4.15\text{m}$, Max V_z

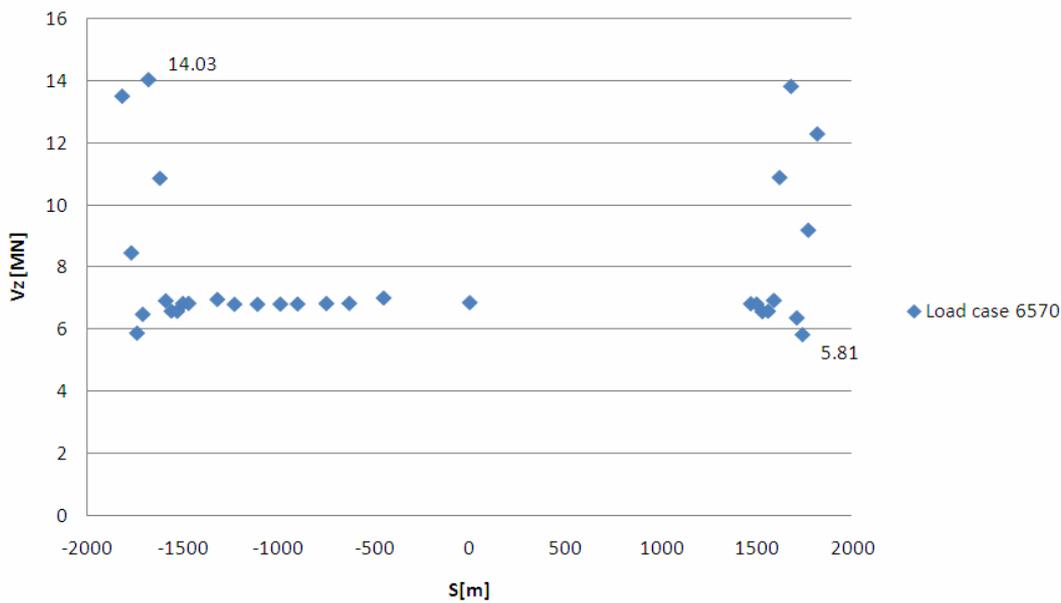


Figura 8-24 Forza di taglio V_z nel traverso per lo stato limite ultimo con vento dinamico

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica		Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev <i>F0</i> Data <i>20-06-2011</i>

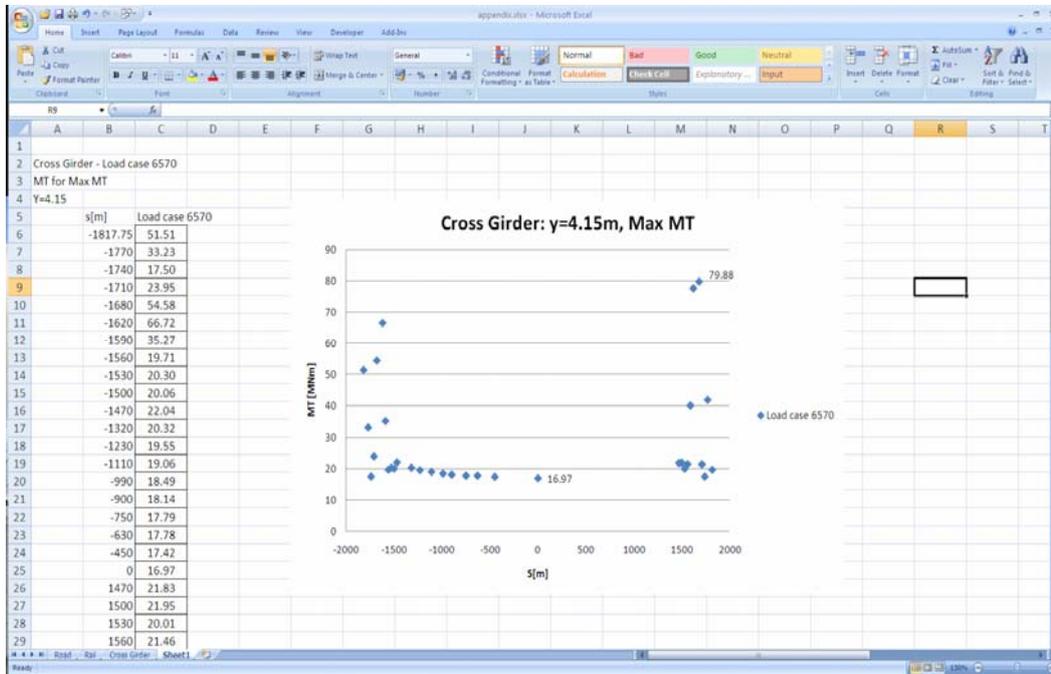


Figura 8-25 Momento torcente M_t nel traverso per lo stato limite ultimo con vento dinamico

La combinazione predominante dei carichi allo stato limite ultimo si è rivelata essere il vento dinamico; la sezione 2 del traverso T1 si è dimostrata essere la più critica. Si possono trovare i risultati di questa sezione alla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e alla Figura 8-27 Traversi – coefficienti di utilizzo T1 e T3 - sezione 2 –combinazione dei carichi allo stato limite ultimo sismico (storico)

, che riguardano rispettivamente il caso di carico di vento dinamico e l'analisi dello storico sismico. Per l'intero set di risultati di tutte le sezioni in tutti i correnti trasversali si faccia riferimento al documento "Relazione di progetto- Sede stradale, linea ferroviaria e traversi"

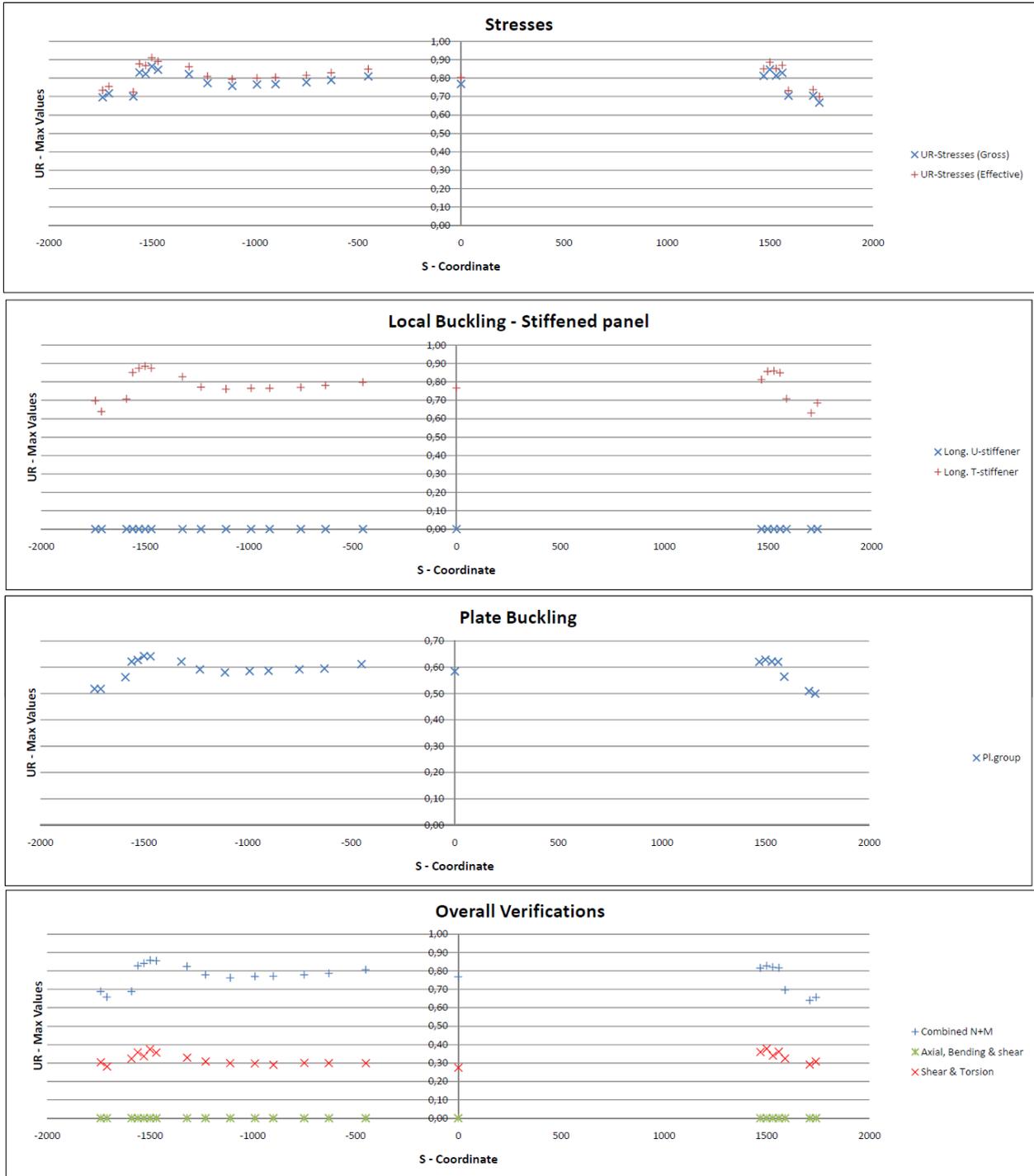


Figura 8-26 Traversi – coefficienti T1 e T3 - sezione 2 –combinazione dei carichi allo stato limite ultimo con vento dinamico

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione tecnica specialistica		Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Rev</td> <td style="text-align: center;">Data</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20-06-2011</td> </tr> </table>	Rev	Data	F0	20-06-2011
Rev	Data						
F0	20-06-2011						

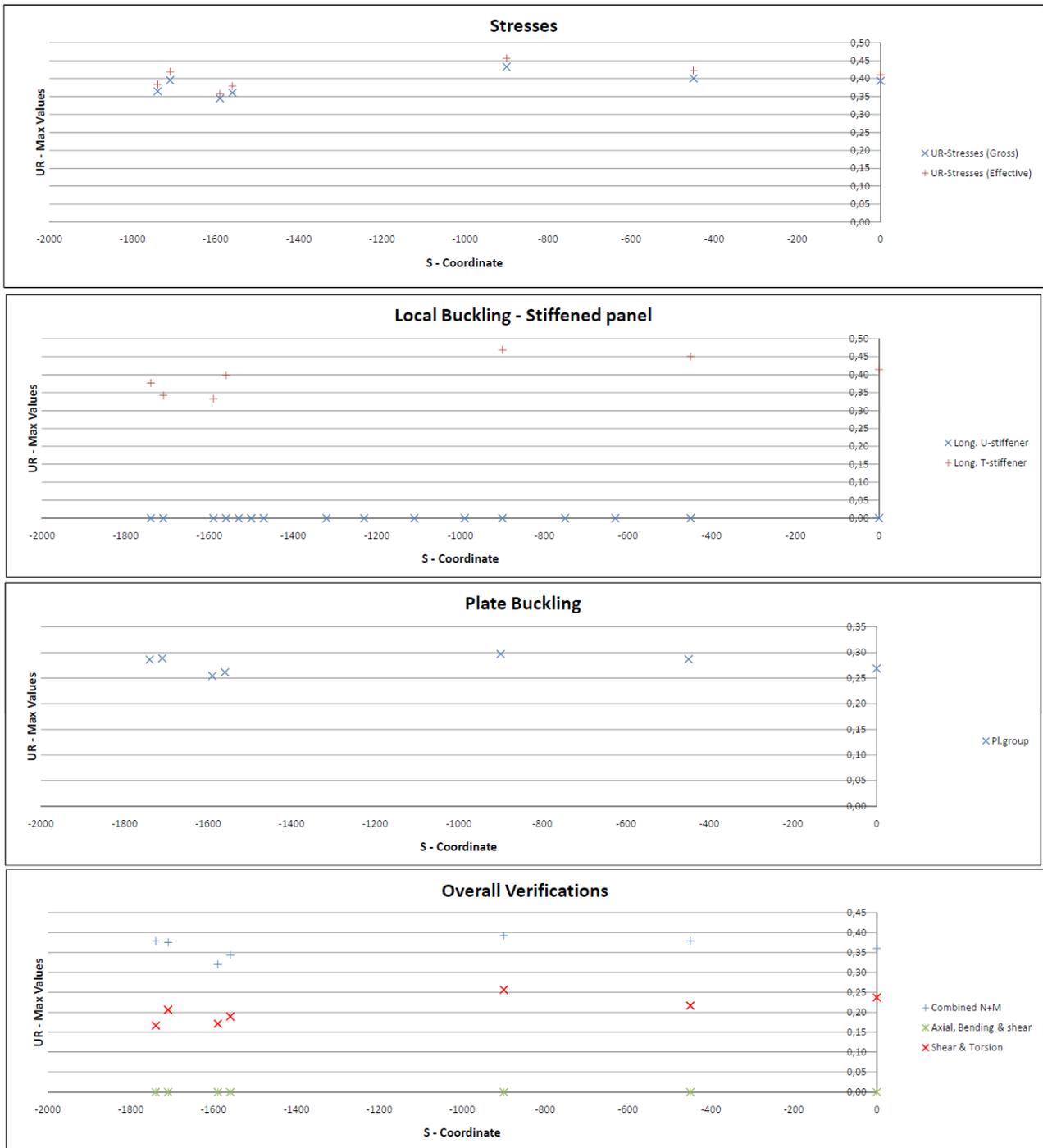


Figura 8-27 Traversi – coefficienti di utilizzo T1 e T3 - sezione 2 –combinazione dei carichi allo stato limite ultimo sismico (storico)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

8.4 Verifica- Tensioni trasversali

8.5 All'intersezione fra il traverso e il cassone stradale e quello ferroviario, la piattabanda superiore è soggetta a tensioni di compressione in due direzioni. A tali intersezioni, per studiare la stabilità dei diversi pannelli della piastra sono stati utilizzati un foglio di calcolo ed un programma di calcolo per l'instabilità elastica delle piastre. Le sollecitazioni di compressione sono state calcolate in ADVERS ed in un modello di ponte locale agli elementi finiti nella posizione all'esterno delle piastre in esame. Si sono confrontate tali tensioni, e sono state usate le tensioni ottenute del modello locale per la verifica della stabilità della piastra, vedi Verifica-Tensioni trasversali

Tabella 8-2 Tensioni prevalenti di compressione nelle lamiere di intersezione – campata principale, piastra 1

Intersezione	Sede stradale		Linea ferroviaria	
Posizione della sollecitazione	Sede stradale	Traverso	Linea ferroviaria	Traverso
$\sigma_{1,comp.}$ [MPa]	190	276	200	298

Le tensioni calcolate in ADVERS sono state confrontate con quelle di un modello locale agli elementi finiti per lo stesso carico, come applicato in IBDAS, ed è stata trovata solo una minima differenza. Le sollecitazioni utilizzate da ADVERS sono sul lato conservativo.

I pannelli della piastra sono modellizzati in un programma di instabilità elastica, vedi Figura 8-29

Illustrazione di un pannello di lamiera del cassone ferroviario incluse le dimensioni

Per il cassone ferroviario la piattabanda superiore è suddivisa in tre pannelli separati dai diaframmi del traverso. La piastra in direzione del cassone ferroviario è denominata "Piastra 1", vedi Figura 8-28 Campi di piastra nel corrente stradale

. Per il cassone ferroviario viene considerata solamente una piastra.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

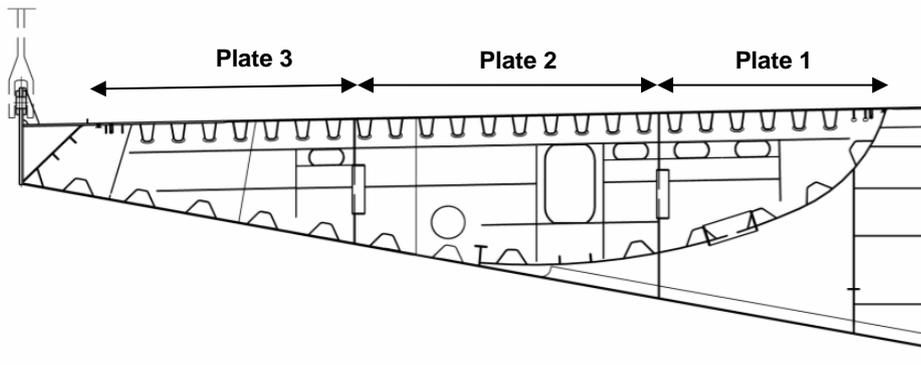


Figura 8-28 Campi di piastra nel corrente stradale

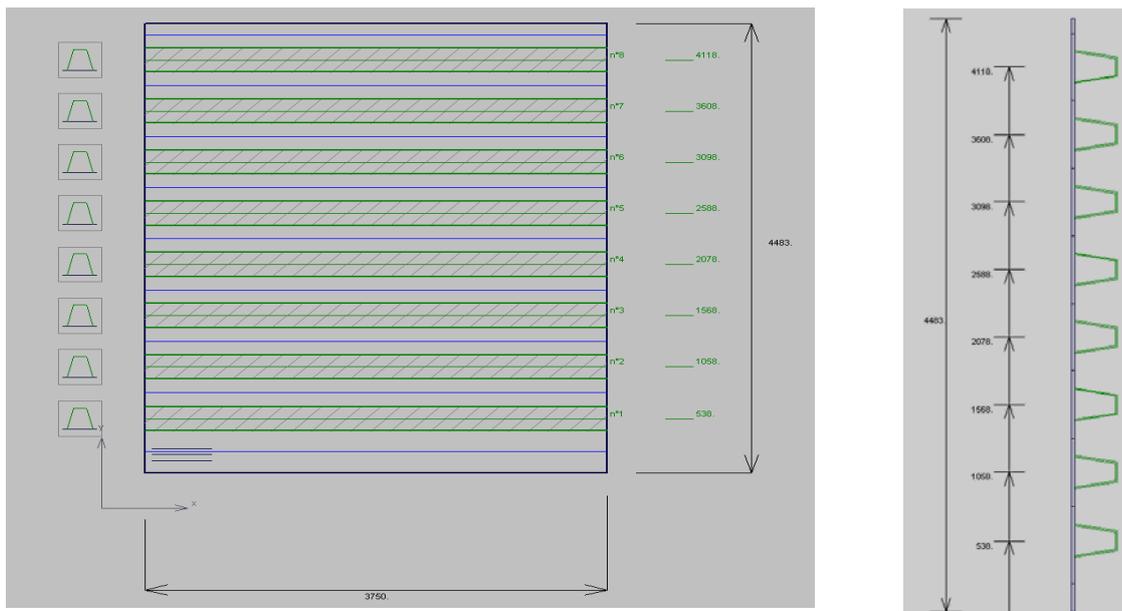


Figura 8-29 Illustrazione di un pannello di lamiera del cassone ferroviario incluse le dimensioni

Sono anche stati calcolati i modelli di instabilità critica; quello preponderante per la lamiera illustrata è dato alla Figura 8-30 Illustrazione della modalità di instabilità critica per determinare le tensioni critiche

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

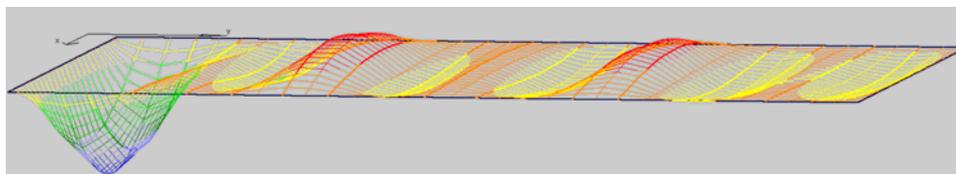


Figura 8-30 Illustrazione della modalità di instabilità critica per determinare le tensioni critiche

A partire dal programma di instabilità elastica vengono calcolate le tensioni critiche considerando la lamiera come un piano ortotropico. Le tensioni critiche che sono state calcolate corrispondono ai limiti di sollecitazione utilizzati nel “metodo delle sollecitazioni ridotte” della norma EN 1993-1-5:2005 sezione 10. Tale metodo è stato utilizzato per determinare i coefficienti di utilizzo delle lamiere considerate, si veda la Tabella 8-3 Coefficienti di utilizzo per le lamiere preponderanti, campata principale dell'impalcato stradale.

Tabella 8-3 Coefficienti di utilizzo per le lamiere preponderanti, campata principale dell'impalcato stradale

UR	Sede stradale	Linea ferroviaria
Lamiera 1	1.89*	0.97
Lamiera 2	0.66	-
Lamiera 3	0.50	-

Si noti che la Lamiera 1 ha un UR >1,0 sulla base dei calcoli eseguiti come sopra illustrato. Ciò è dovuto alla disposizione con due irrigidimenti piani all'estremità di questo pannello di lamiera, che lo rende quindi meno rigido alle sollecitazioni trasversali quando si consideri l'instabilità. Tali irrigidimenti piani, tuttavia, sono sorretti per 1250 mm da piastre trasversali utilizzate per sorreggere gli spartitraffico e che forniscono una grande rigidità del pannello secondario, vedi Figura 8-31 Supporti per gli spartitraffico

Non è possibile modellizzare tali supporti locali intermedi nel programma di instabilità elastica, ma, sostituendo gli irrigidimenti piani con una normale nervatura, è stato ottenuto un coefficiente di utilizzo (UR) <1,0. Quindi si può concludere che non esistono problemi di instabilità globale della lamiera dovuti alle sollecitazioni trasversali in questa posizione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

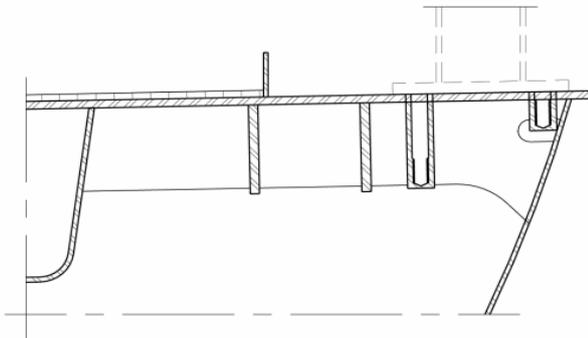


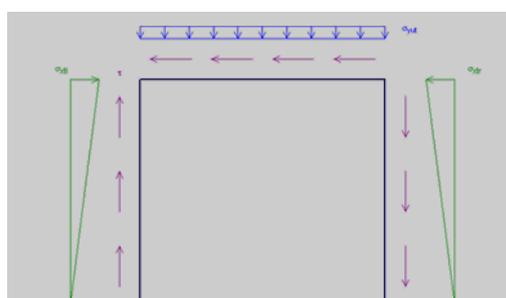
Figura 8-31 Supporti per gli spartitraffico

9 Verifica - armatura trasversale

9.1 Metodo

Le armature longitudinali dei cassoni stradale e ferroviario e dei traversi in genere vengono verificate utilizzando ADVERS. Il foglio di calcolo non considera tuttavia i diaframmi trasversali. La verifica dei diaframmi viene eseguita in due fasi. Primariamente, utilizzando i modelli locali agli elementi finiti eseguiti in ROBOT delle varie sezioni del ponte, vedi capitolo 10. Questi modelli forniranno le diverse concentrazioni delle tensioni nel diaframma e studieranno il comportamento attorno alle aperture di servizio. Secondariamente, si utilizzeranno un foglio di calcolo basato su EN 1993-1-5:2006 sezione 10, ed un programma di calcolo per l'instabilità elastica delle lamiere per studiare la stabilità dei vari pannelli secondari dei diaframmi.

Il diaframma è suddiviso in pannelli secondari mediante elementi di irrigidimento verticali distribuiti. E' stato verificato che tali irrigidimenti abbiano la capacità sufficiente a sostenere i pannelli dei diaframmi in modo adeguato. La capacità di questi irrigidimenti è stata verificata secondo EN 1993-1-1:2005 sezione 6.3. Ogni pannello secondario del diaframma è soggetto alla distribuzione delle tensioni prodotte dal carico del traffico, sia globale che locale, nella sua posizione specifica, come illustrato nella Figura 9-1. In base a questa distribuzione delle tensioni è possibile calcolare un fattore di tensione critica ϕ_{cr} che indica l'aumento di tensione ammissibile prima che il pannello diventi instabile. Il metodo utilizzato tiene conto anche degli effetti stabilizzanti, come gli eventuali vincoli alle estremità, se presenti.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Figura 9-1 Distribuzione delle tensioni sul pannello del diaframma per lo studio dell'instabilità

Essendo noto che le sollecitazioni di flessione (es. sollecitazioni di tensione) avranno un effetto stabilizzante sul pannello, sono state studiate diverse situazioni di carico per determinare la situazione di carico più critica per i pannelli.

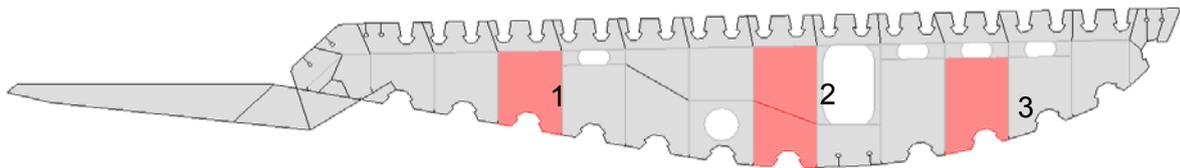


Figura 9-1 pannelli critici scelti per la verifica della stabilità, diaframma del cassone stradale

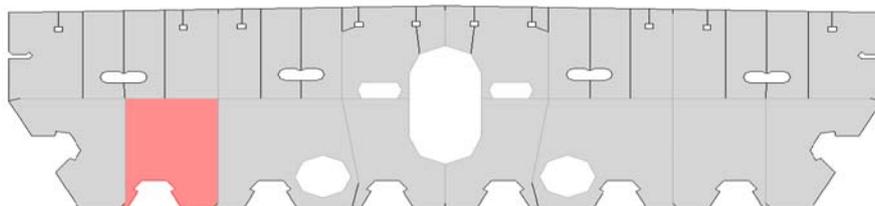


Figura 9-2 pannello critico scelto per la verifica, diaframma del cassone stradale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

I tipi di pannello scelti studiati sono illustrati alla Figura 9-1 pannelli critici scelti per la verifica della stabilità, diaframma del cassone stradale

e alla Figura 9-2 pannello critico scelto per la verifica, diaframma del cassone stradale

. Per questi pannelli, la distribuzione delle tensioni è stata calcolata nei modelli locali agli elementi finiti calcolando il fattore di tensione critica ϕ_{cr} mediante l'utilizzo del programma per l'instabilità elastica delle lamiere, vedi

Tabella 9-1 Sollecitazioni critiche di taglio per i pannelli selezionati, valori illustrati per il diaframma CS1 e CF1. Dalla condizione di tensione applicata, è stato calcolato coefficiente critico di tensione ϕ_{cr} , il quale indica la percentuale alla quale le sollecitazioni possono essere aumentate prima che si verifichi l'instabilità elastica del pannello. Tale fattore critico, che è stato calcolato utilizzando un programma di instabilità elastica, è simile al valore α_{cr} utilizzato nel metodo delle tensioni ridotte della EN 1993-1-5:2006 sezione 10. La stabilità, ove si considerino sia il comportamento di instabilità delle lamiere che quello delle colonne, è stata verificata. I pannelli prevalenti sono stati scelti rispetto all'insellamento e al taglio in combinazione con la massima altezza del pannello.

Tabella 9-1 Sollecitazioni critiche di taglio per i pannelli selezionati, valori illustrati per il diaframma CS1 e CF1

Posizione/N° del pannello	Fattore critico ϕ_{cr}	Utilizzo UR
Tipo 1, carreggiata stradale	1.01	0.14
Tipo 2, carreggiata stradale	1.03	0.19
Tipo 3, carreggiata stradale	3.00	0.02
Tipo 3, ferrovia	1.35	0.17

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

10 Verifica utilizzando i modelli Locali agli elementi finiti

10.1 Introduzione

I modelli locali agli elementi finiti per l'impalcato sospeso sono realizzati con il programma software Robot Millennium 2010, un programma grafico integrato usato per la modellizzazione, l'analisi e la progettazione di vari tipi di strutture. Per una descrizione dettagliata dei modelli locali agli elementi finiti vedi relazione "Principi generali di progettazione per l'impalcato sospeso", che include sia le condizioni di contorno, i sistemi di coordinate globali - locali, la geometria, i supporti, i carichi e le combinazioni dei carichi. Le condizioni di contorno applicate nei modelli locali FE sono ottenute dal modello globale IBDAS. I casi più critici utilizzati nei modelli locali ROBOT FE sono determinati basandosi sui tracciati delle linee di influenza ottenuti dal modello globale IBDAS.

In totale, per la verifica dell'impalcato sospeso sono stati sviluppati quattro diversi modelli:

Modello locale agli elementi finiti dell'impalcato sospeso: *Descrive il traverso e i cassoni longitudinali stradale e ferroviario, stabilendo il livello di tensione negli elementi piastra con particolare riguardo alle tensioni nelle lamiere esterne del traverso, nei diaframmi nelle intersezioni fra i cassoni. Alla Figure 10-1 Geometria complessiva del modello FE dell'impalcato del ponte*

- è illustrato un tracciato del modello locale FE dell'impalcato del ponte



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	Rev F0	Data 20-06-2011

Figure 10-1 Geometria complessiva del modello FE dell'impalcato del ponte

Modello locale agli elementi finiti della carreggiata stradale: Descrive il livello di tensioni nel diaframma del cassone stradale con attinenza alla concentrazione di tensioni sulle nervature, sui fori delle nervature, sugli irrigidimenti dei diaframmi, sulle aperture ed altro per determinare le sollecitazioni di von Mises nelle lamiere del manto inclusi gli effetti locali di carico derivanti dai carichi locali per ruota. Le tensioni locali longitudinali sono il risultato delle nervature stradali che si trovano fra i diaframmi trasversali. Siccome le nervature sono continue, nella determinazione delle tensioni locali si debbono considerare sia il momento negativo che quello positivo. Quindi, nel calcolo delle tensioni sulla piattabanda superiore e negli irrigidimenti della piattabanda superiore, sono presi in considerazione sia la sollecitazione minima che quella massima. Alla Figura 10-2 Geometria complessiva del modello FE del corrente stradale

- è illustrato un tracciato del modello locale FE dell'impalcato del ponte

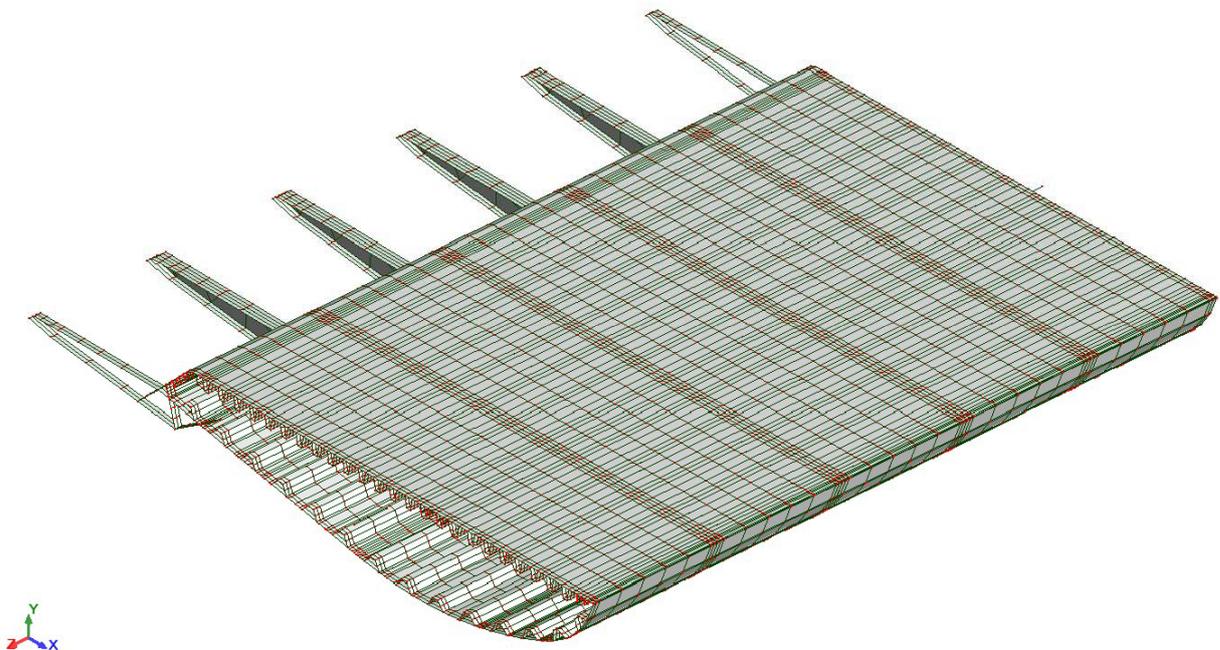


Figura 10-2 Geometria complessiva del modello FE del corrente stradale

Modello locale agli elementi finiti della linea ferroviaria: Descrive il livello di tensioni nel diaframma del cassone ferroviario con attinenza alla concentrazione di tensioni sulle nervature, sui

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

fori delle nervature, sugli irrigidimenti dei diaframmi, sulle aperture ed altro per stabilire le tensioni di von Mises nelle lamiere del manto inclusi gli effetti locali di carico derivanti dai carichi locali per ruota. Nel calcolo delle tensioni sulla piattabanda superiore e negli irrigidimenti della piattabanda superiore, sono presi in considerazione sia la sollecitazione minima che quella massima. Alla Figura 10-3 Geometria complessiva del modello FE del cassone ferroviario

- è illustrato un tracciato del modello locale FE dell'impalcato del ponte

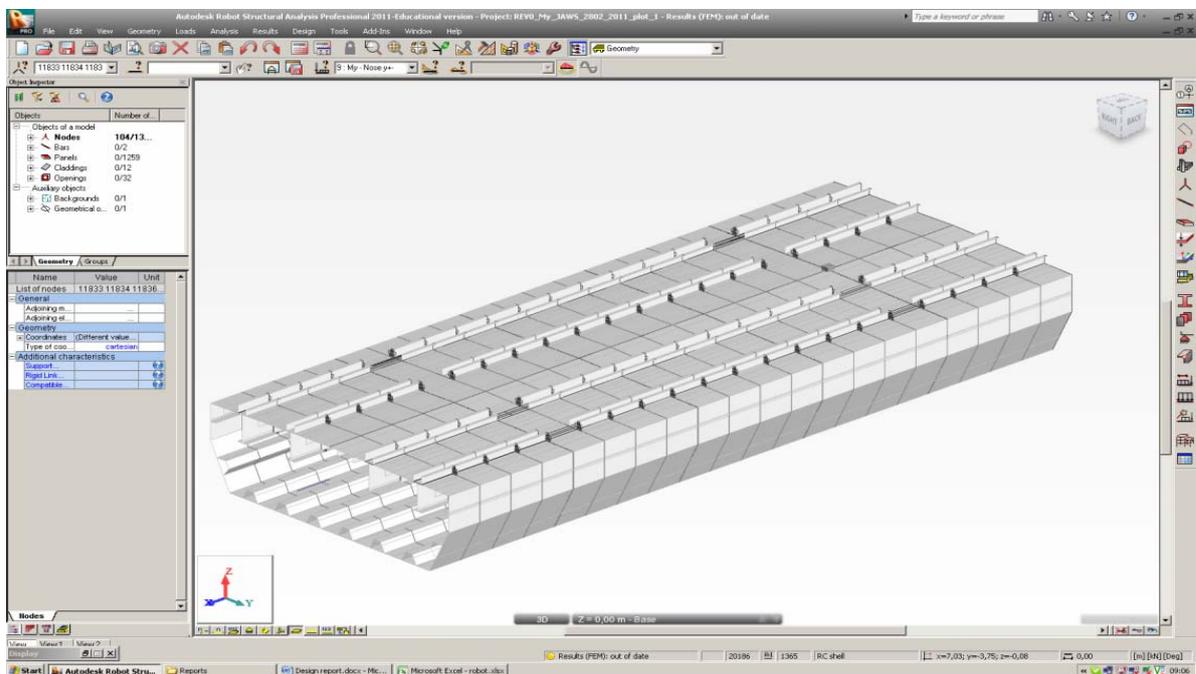


Figura 10-3 Geometria complessiva del modello FE del cassone ferroviario

Modello locale agli elementi finiti dell'ancoraggio dei pendini: Descrive il livello di tensioni sulle lamiere connesse con gli ancoraggi dei pendini. Alla Figura 10-4 Geometria complessiva del modello FE degli ancoraggi dei pendini

- è illustrato un tracciato del modello locale FE dell'impalcato del ponte

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

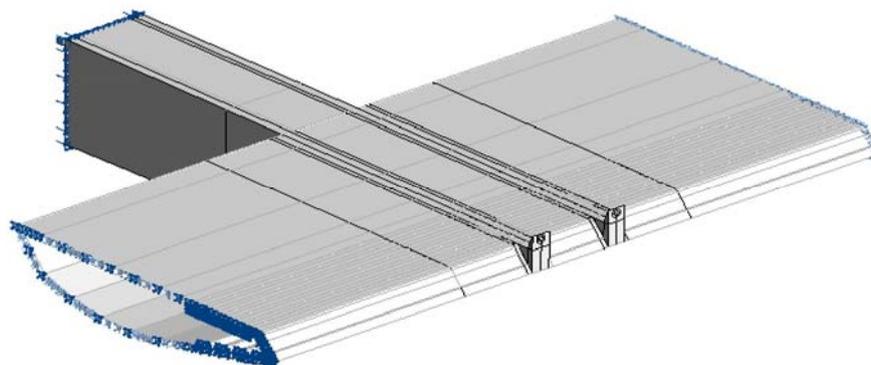


Figura 10-4 Geometria complessiva del modello FE degli ancoraggi dei pendini

Lo scopo dei modelli locali agli elementi finiti è quello di verificare la progettazione locale e di verificare che il livello di tensioni sia accettabile per le combinazioni dei carichi applicati dello stato limite ultimo. Come illustrato ai capitoli seguenti, questo criterio è rispettato con alcune aree locali in cui le tensioni restano entro un range accettabile di elasticità convenzionale. In questi casi è stato verificato che le aree di elasticità convenzionale e di sollecitazioni di cresta sono accettabili.

Inoltre è stato sviluppato un modello semi-locale IBIDAS Fe all'interno del modello di analisi globale, che permette una modellizzazione più dettagliata con elementi lastra-piastra e diaframmi da utilizzare per le parti selezionate. Solamente una parte locale della campata principale è modellizzata con elementi lastra-piastra, mentre il resto dell'impalcato sospeso è modellizzato con elementi trave.

Per una descrizione più dettagliata del modello, si veda la relazione "Modello IBIDAS semi-locale, impalcato sospeso".

Come verifica dei modelli locali FE, i valori di tensione assiale nei tracciati di tensione provenienti dai modelli locali FE vengono confrontati con i risultati derivanti dal modello IBIDAS semi locale.

10.2 Modello locale agli elementi finiti dell'impalcato sospeso

Sarà realizzato un modello locale agli elementi finiti del traverso e dei cassoni stradale e ferroviario attigui per determinare il regime e la concentrazione delle tensioni negli elementi piastra tramite il programma software agli elementi finiti ROBOT. Le dimensioni complessive del modello coprono

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

l'intera larghezza dell'impalcato del ponte e si estendono per 5 moduli di 3,75 m ciascuno, più due elementi trave a lato, per una dimensione piana complessiva di circa 24,5 m x 52 m come illustrato alla Figura 10-5 Geometria complessiva del modello locale FE dell'impalcato sospeso

. Ciò include sia il cassone stradale che quello ferroviario, e permette di determinare la concentrazione delle sollecitazioni degli ultimi elementi presso le intersezioni con il traverso, nonché di accertare in dettaglio il regime di tensione nelle lamiere esterne e nei diaframmi del traverso.

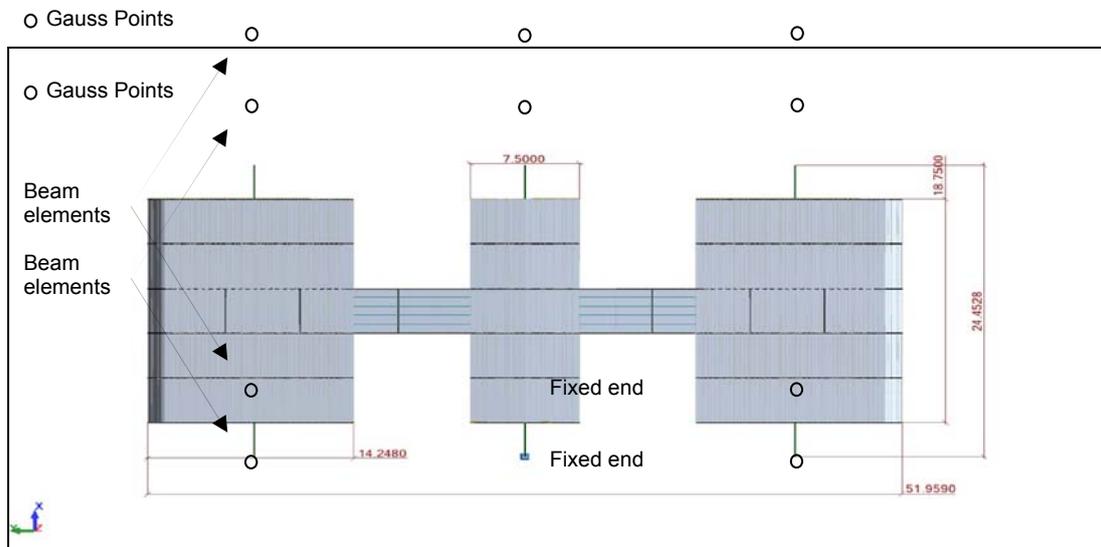


Figura 10-5 Geometria complessiva del modello locale FE dell'impalcato sospeso

Il modello è composto da elementi lastra-piastra per tutti i cassoni longitudinali, mentre gli irrigidimenti nonché gli elementi di irrigidimento trasversali sono modellizzati mediante elementi trave legati alle piastre; questo presupposto ha lo scopo di ridurre in modo significativo la complessità ed il tempo di calcolo senza influenzare la precisione dell'analisi.

Per eseguire l'analisi per specifiche combinazioni di carico, nel modello sono stati implementati i carichi elencati alla Tabella 10-1 Lista dei carichi implementati nel modello FE

Tabella 10-1 Lista dei carichi implementati nel modello FE

Caso	Nome del caso	Natura	Tipo di analisi
------	---------------	--------	-----------------

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20-06-2011</i>

Caso	Nome del caso	Natura	Tipo di analisi
1	PP ALL	permanente	Statica- lineare
7	Pavimentazione di 40mm	permanente	Statica- lineare
8	PN delle corsie di servizio	permanente	Statica- lineare
9	PN della ferrovia	permanente	Statica- lineare
10	PN strada	permanente	Statica- lineare
11	Reazione IBDAS	permanente	Statica- lineare
13	PN elementi trave	permanente	Statica- lineare
14	Carico di compensazione	permanente	Statica- lineare
15	acqua	permanente	Statica- lineare
22	Per casi di carico PP+ PN + Compensazione	permanente	Combinazione lineare
31	Strada LM1 - TS 6542	dinamico	Statica- lineare
32	Strada LM1 - UDL 6542	dinamico	Statica- lineare
33	L71 - Assi 6542	dinamico	Statica- lineare
34	LM 71 - UDL 6542	dinamico	Statica- lineare
35	LM71 - Frenatura/accelerazione 6542/6532	dinamico	Statica- lineare
36	Forza di serpeggio 6542/6532	dinamico	Statica- lineare
39	Reazioni IBDAS Caso 6542	permanente	Statica- lineare
41	Strada LM1 - TS 6532	dinamico	Statica- lineare

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Caso	Nome del caso	Natura	Tipo di analisi
42	Strada LM1 - UDL 6532	dinamico	Statica- lineare
43	L71 - Assi 6532	dinamico	Statica- lineare
44	LM 71 - UDL 6532	dinamico	Statica- lineare
45	SW2 - 6532	dinamico	Statica- lineare
48	Vento 6532	permanente	Statica- lineare
49	Reazioni IBDAS Caso 6532	permanente	Statica- lineare
51	Strada LM1 - TS 6532	permanente	Statica- lineare
52	Strada LM1 - UDL 6542	permanente	Statica- lineare
53	L71 - Assi 6542	permanente	Statica- lineare
54	LM 71 - UDL 6532	permanente	Statica- lineare
55	SW2 - 6532	permanente	Statica- lineare
56	LM71 - Frenatura/accelerazione 6542/6532	permanente	Statica- lineare
57	Forza di serpeggio 6542/6532	permanente	Statica- lineare
58	Vento 6532	permanente	Statica- lineare
59	Reazioni IBDAS Caso 6532	permanente	Statica- lineare

Le tre combinazioni di carico analizzate sono descritte alla Tabella 10-2 Lista delle combinazioni di carico considerate nel modello FE e i coefficienti parziali dei carichi sono in linea con il documento "Base di progettazione, strutturale". Inoltre, il caso con carichi permanenti che corrisponde alla condizione di riferimento del ponte è stato riscontrato essere essenziale per la taratura del modello.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Tabella 10-2 Lista delle combinazioni di carico considerate nel modello FE

Combinazione	Nome (IBDAS numero caso)	Descrizione	Natura
21 (C)	Taratura PP+ PN	Taratura dei pesi propri strutturali (PP) e dei pesi permanenti sovrapposti (PN) Corrisponde alla condizione di riferimento	Stato limite di servizio
105 (C)	Caso 6542	Reazione massima del pendino in y+	Stato limite ultimo
106 (C)	Caso 6532	Massimo momento positivo della campata centrale del traverso	Stato limite ultimo
107 (C)	Caso 6524	Massimo momento torcente nel corrente ferroviario nella sezione vicino al traverso.	Stato limite ultimo

Di seguito, una breve documentazione delle sollecitazioni di von Mises. La soglia delle sollecitazioni è stata limitata alla sollecitazione di elasticità convenzionale di progetto f_{yk}/γ_{m0} la quale corrisponde a $460/1,05=438$ MPa (la classe dell'acciaio di tutti gli elementi in acciaio nella posizione del modello FE corrisponde a S460). Per semplificare, il raccordo nelle piattabande superiori all'intersezione fra il corrente longitudinale e quello trasversale non è stato modellizzato, con la conseguenza di una alta concentrazione di sollecitazioni attorno agli angoli, come risulta dalla Figura 10-6 tensioni di von Mises, piattabande superiori, combinazione 106 (Massimo momento positivo trasverso)

e dalla Figura 10-7 tensioni di von Mises, piattabande superiori, combinazione 105 (Massima tensione nel pendino)

Le zone in cui il limite delle sollecitazioni è superato sono mostrate come trasparenti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

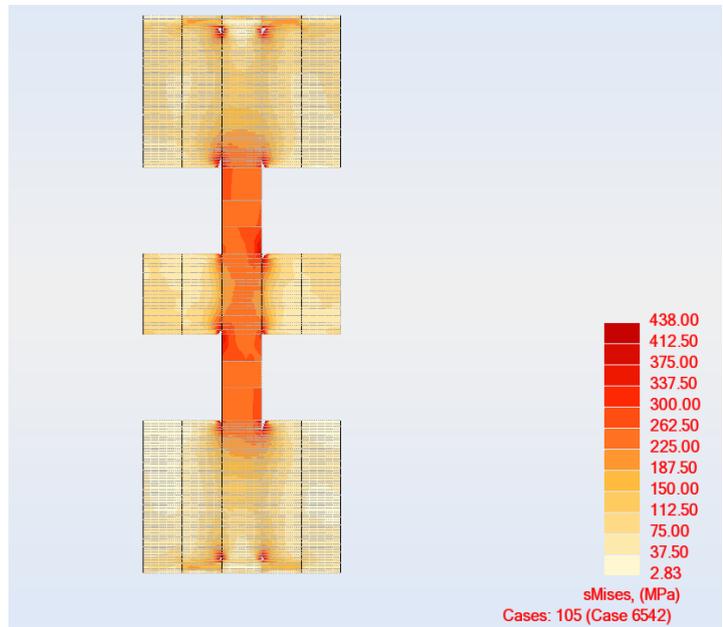


Figura 10-6 tensioni di von Mises, piattabande superiori, combinazione 106 (Massimo momento positivo trasverso)

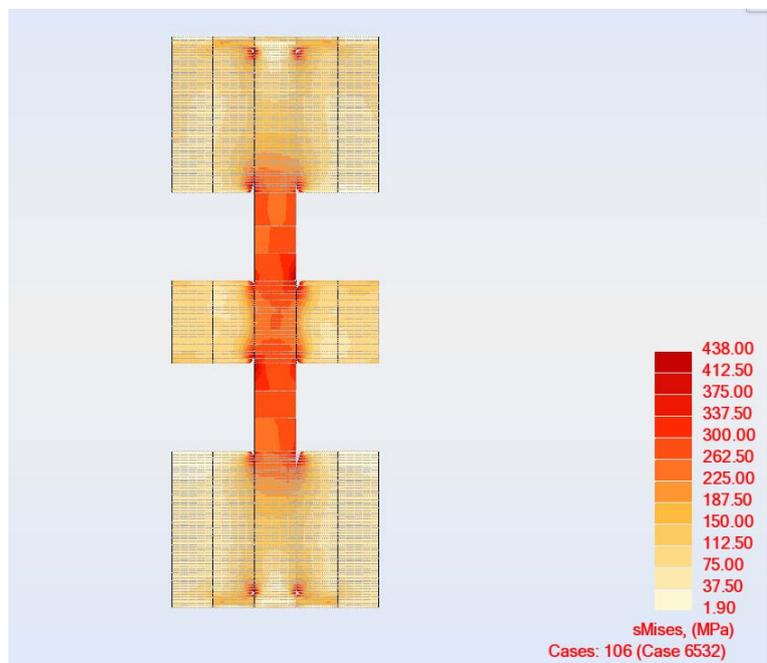


Figura 10-7 tensioni di von Mises, piattabande superiori, combinazione 105 (Massima tensione nel pendino)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011	

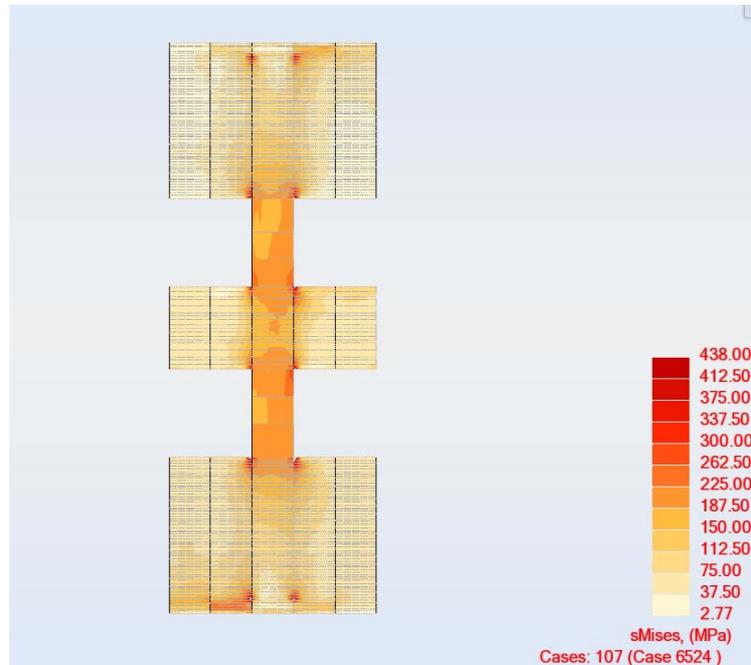


Figura 10-8 tensioni di von Mises, piattabande superiori, combinazione 107 (Massima torsione nel cassone ferroviario)

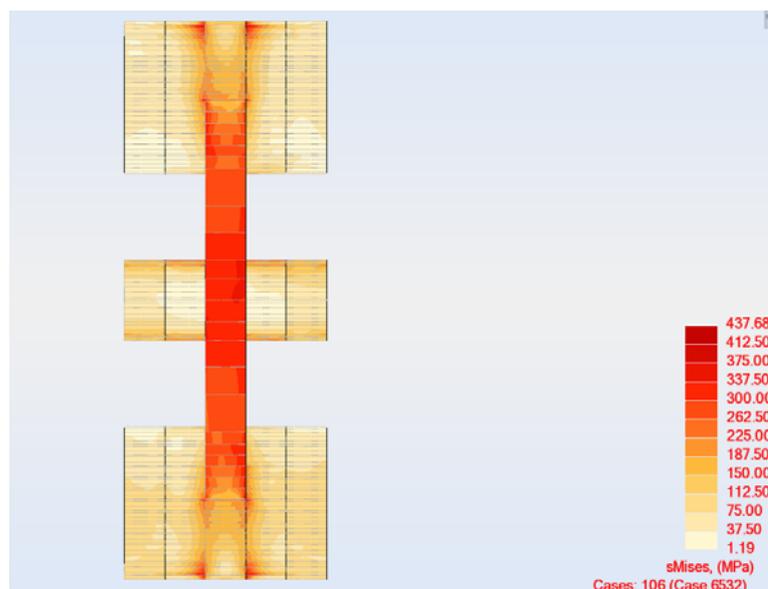


Figura 10-9 tensioni di von Mises, piattabande inferiori, combinazione 105 (Massimo momento positivo traverso)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

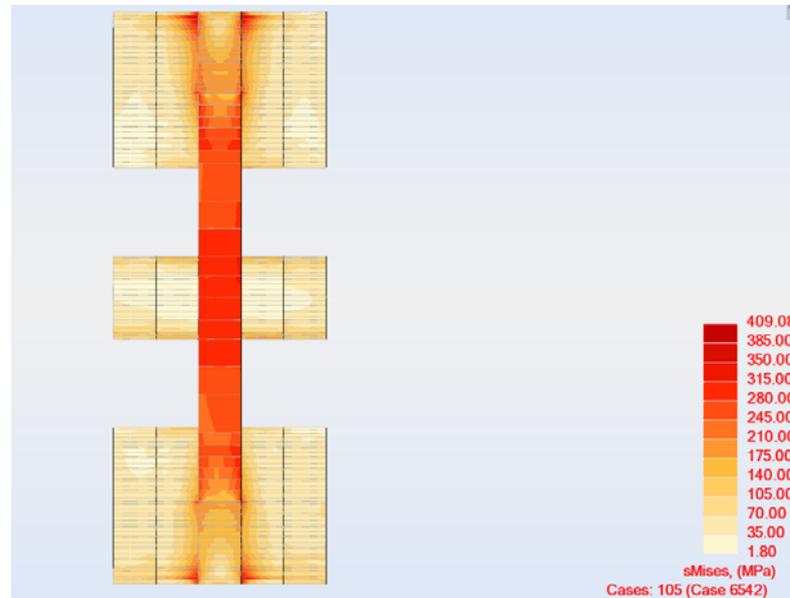


Figura 10-10 tensioni di von Mises, piattabande inferiori, combinazione 105 (Massima tensione nel pendino)

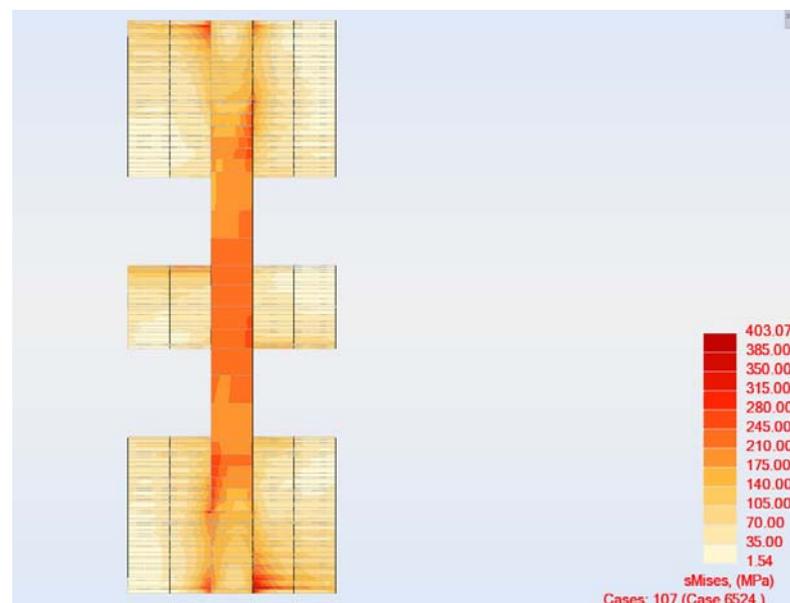


Figura 10-11 tensioni di von Mises, piattabande inferiori, combinazione 107 (Massima torsione nel cassone ferroviario)

Le concentrazioni di tensione summenzionate sono semplicemente un risultato del livello di dettaglio del modello su questi punti e non saranno reali; non rappresentano un problema per la progettazione generale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011	

Si possono anche notare concentrazioni di tensione attorno al passo d'uomo del traverso nella posizione della linea ferroviaria. Dalle Figure 10-12 Tensioni di von Mises, anima del traverso presso l'intersezione con la linea ferroviaria, combinazione 106 (massimo momento positivo del trasverso)

fino alle Figura 10-14 tensioni di von Mises, anima del traverso all'intersezione con la linea ferroviaria ferrovia, combinazione 107 (Massima tensione nel cassone ferroviario)

si può notare che questo dettaglio è inferiore all'elasticità convenzionale in quanto la geometria corretta degli irrigidimenti toroidali è stata implementata per mezzo di elementi trave attorno al passo d'uomo.

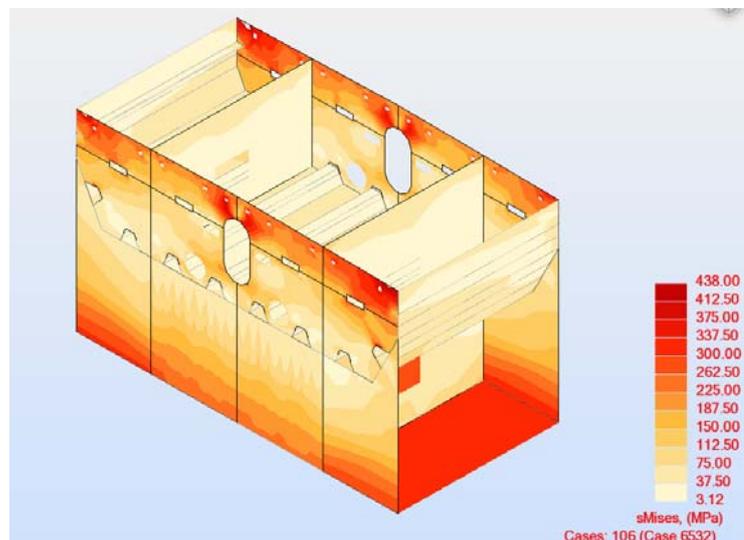


Figure 10-12 Tensioni di von Mises, anima del traverso presso l'intersezione con la linea ferroviaria, combinazione 106 (massimo momento positivo del trasverso)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

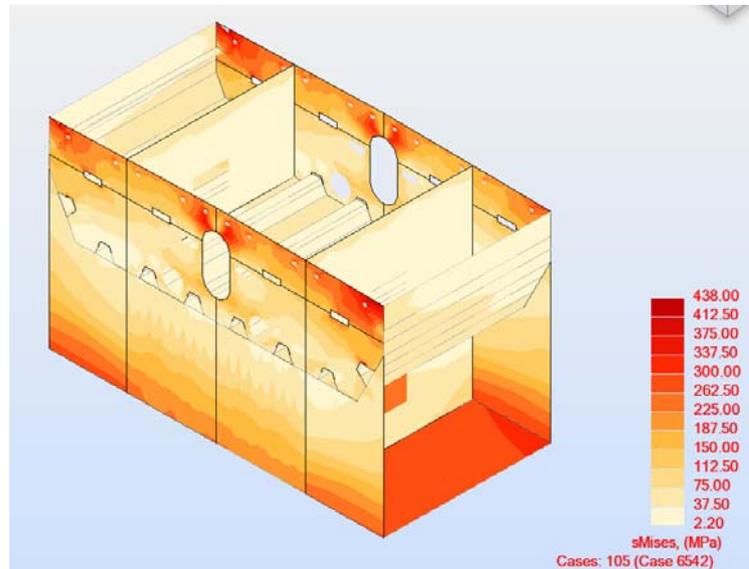


Figura 10-13 tensioni di von Mises, anima del traverso all'intersezione con la linea ferroviaria, combinazione 105 (Massima tensione nel pendino)

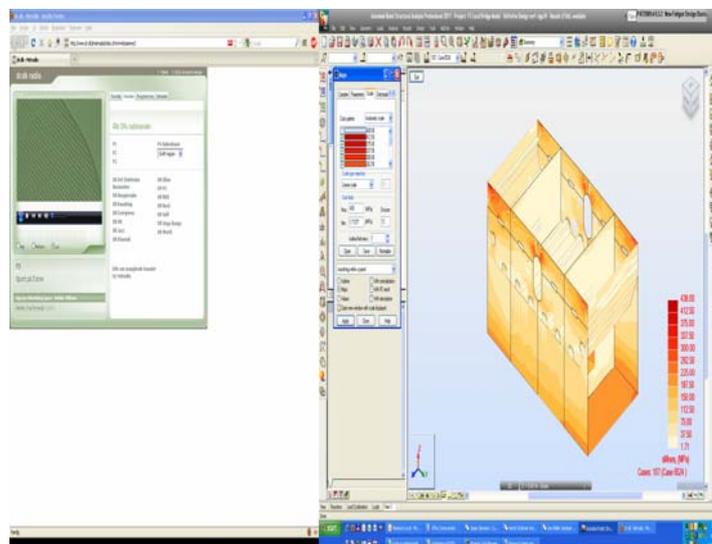


Figura 10-14 tensioni di von Mises, anima del traverso all'intersezione con la linea ferroviaria, combinazione 107 (Massima tensione nel cassone ferroviario)

Le aree in cui l'elasticità convenzionale di progetto viene superata si trovano tipicamente nell'ancoraggio del pendino, dove la forza reale del pendino è stata applicata direttamente all'estremità dell'anima come carico concentrato, vedi Figure 10-15 Tensioni di von Mises,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica	<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

anima del traverso presso l'intersezione con la carreggiata stradale, combinazione 105 (massimo momento positivo del traverso)

fino alla Figura 10-17 sollecitazioni di von Mises, anima del traverso all'intersezione con la carreggiata stradale, combinazione 107 (Massima tensione nel cassone ferroviario)

. Tale eccesso è un risultato del livello di dettaglio in questa posizione, e quindi non viene preso in considerazione nella verifica. Per un modello locale più dettagliato dell'ancoraggio del pendino si veda il capitolo 10.4

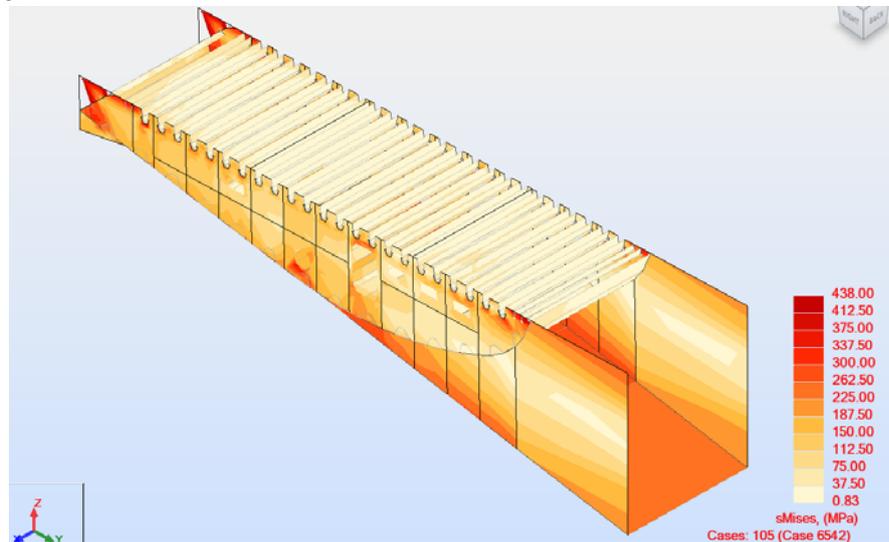
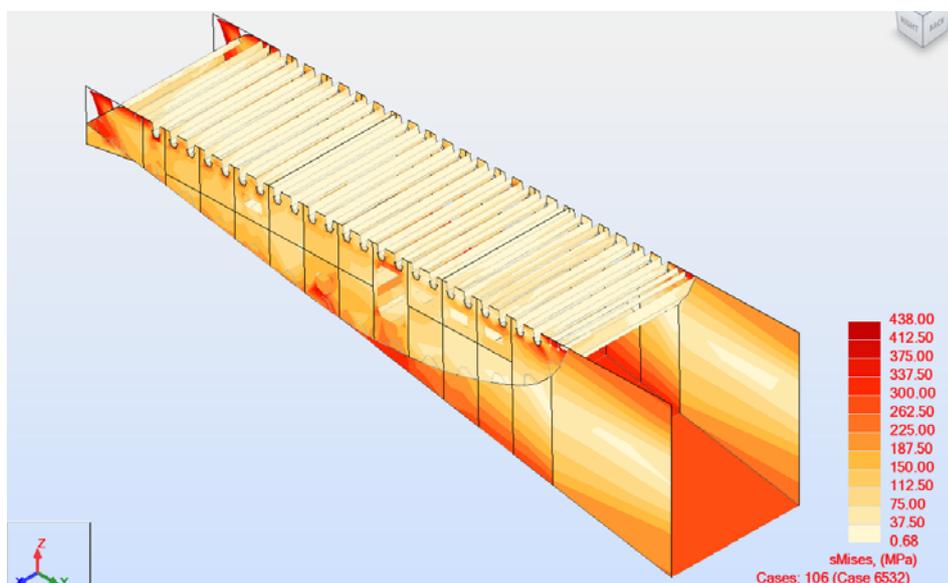


Figure 10-15 Tensioni di von Mises, anima del traverso presso l'intersezione con la carreggiata stradale, combinazione 105 (massimo momento positivo del traverso)



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Figura 10-16 tensioni di von Mises, anima del traverso all'intersezione con la carreggiata stradale, combinazione 106 (Massima tensione nel pendino)

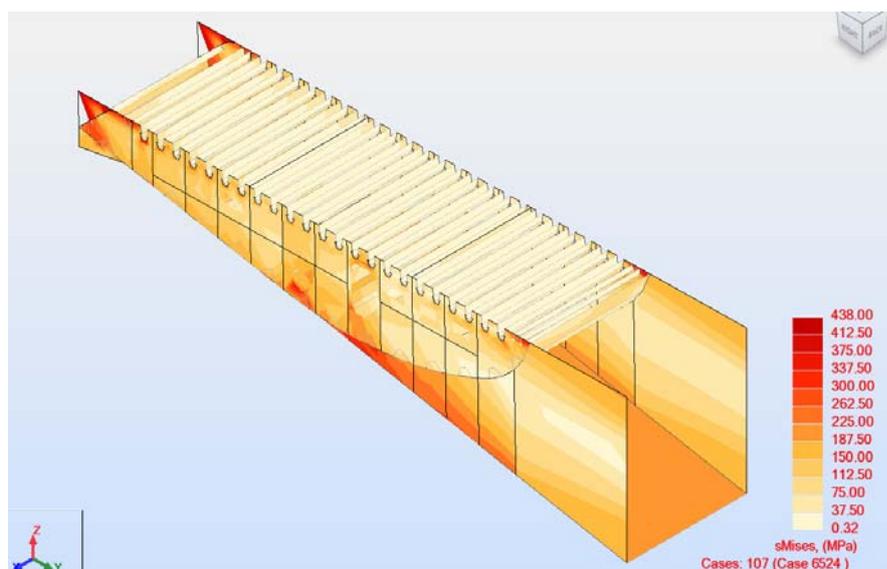


Figura 10-17 sollecitazioni di von Mises, anima del traverso all'intersezione con la carreggiata stradale, combinazione 107 (Massima tensione nel cassone ferroviario)

10.3 Modelli locali agli elementi finiti del cassone stradale e ferroviario

Sono stati creati due modelli locali FE lineari lastra-piastra dei cassoni stradale e ferroviario, allo scopo di stabilire quale siano il regime di sollecitazione e le concentrazioni di tensione nell'armatura longitudinale nonché la distribuzione locale delle tensioni dei diaframmi. Ogni modello ha una lunghezza totale di 20,7m posizionata fra due traversi. L'estensione relativamente grande del modello garantirà condizioni di contorno corrette e corrette distribuzioni delle sollecitazioni per le piastre. La

Figura 10-18 Prospetto del modello per il diaframma stradale e ferroviario

illustra uno schema dei modelli locali composto da cinque sezioni di 3,75m inclusi quattro diaframmi ed un elemento trave ad ogni estremità del modello.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

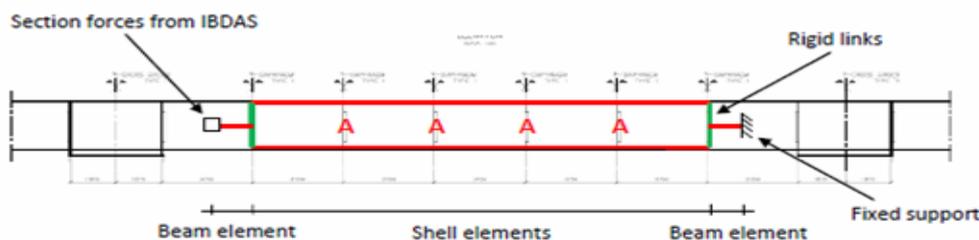


Figura 10-18 Prospetto del modello per il diaframma stradale e ferroviario

Entrambi i modelli sono posizionati nella campata fra il traverso 27 e il 28 con un supporto fisso e forze di sezione IBDAS che corrispondono alle coordinate s , rispettivamente $-964,65$ e $-985,35$. Il carico del traffico è fissato per massimizzare le forze di sezione M_y e M_z nel centro della campata per la carreggiata stradale, e M_y , M_t e M_z nel centro della campata per il corrente ferroviario. I carichi sono stati applicati ai modelli secondo i tracciati delle linee di influenza IBDAS dei casi di carico predominanti dei carichi del traffico.

Per eseguire l'analisi per specifiche combinazioni di carico, nei modelli sono stati implementati i carichi elencati dalla **Errore. L'autoriferimento non è valido per un segnalibro.** alla Le combinazioni di carico analizzate sono descritte alla Tabella 10-4 Lista delle combinazioni di carico considerate nel modello FE della carreggiata stradale e alla **Errore. L'autoriferimento non è valido per un segnalibro.** e i coefficienti parziali dei carichi sono concordi con la Base di progettazione. Inoltre, un caso di carico con carichi permanenti è stato il riferimento per la taratura del modello.

Tabella 10-3 Lista dei carichi implementati nel modello FE della carreggiata stradale

Caso	Nome del caso	Natura	Tipo di analisi
1	PP ALL	permanente	Statica- lineare
5	PN parapetti, frangivento, illuminazione, segnali stradali	permanente	Statica- lineare
6	Cavi PN	permanente	Statica- lineare

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Caso	Nome del caso	Natura	Tipo di analisi
7	PN della corsia di servizio	permanente	Statica- lineare
8	PN passerelle, interno	permanente	Statica- lineare
9	PN drenaggio	permanente	Statica- lineare
10	PN TOTALE	permanente	Combinazioni lineari
20	Reazioni IBDAS (PP+PN)	permanente	Statica- lineare
30	Caso di carico del traffico UDL 6561	dinamico	Statica- lineare
40	Caso di carico del traffico UDL 6566	dinamico	Statica- lineare

Tabella 10-4 Lista delle combinazioni di carico considerate nel modello FE della carreggiata stradale

Combinazione	Nome (IBDAS numero caso)	Descrizione	Natura	Definizione
100 (C)	Taratura PP+ PN	Taratura dei pesi propri strutturali (PP) e dei pesi permanenti sovrapposti (PN)	Stato limite di servizio	$(1+10+20)*1.00$
200 (C)	Caso 6561	Momento massimo + My	Stato limite ultimo	$1*1,35+10*1,5+20*1,0+30*1,35$
210 (C)	Caso 6566	Massimo taglio +Vz	Stato limite ultimo	$1*1,35+10*1,5+20*1,0+40*1,35$

Tabella 10-5 Lista dei carichi implementati nel modello FE della ferrovia

Caso	Nome del caso	Natura	Tipo di analisi
1	PP ALL	permanente	Statica- lineare

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20-06-2011</i>

Caso	Nome del caso	Natura	Tipo di analisi
2	PN cassone ferroviario	permanente	Statica- lineare
3	Reazioni IBDAS (PP+PN)	permanente	Statica- lineare
4	PN elementi trave	permanente	Statica- lineare
5	LM 71 - caso 6571	dinamico	Statica- lineare
6	LM71 - Frenatura/accelerazione 6571	dinamico	Statica- lineare
7	Forza di serpeggio caso 6571	dinamico	Statica- lineare
8	Reazioni IBDAS Caso 6571	permanente	Statica- lineare
9	SW2 - caso 6571	dinamico	Statica- lineare
10	SW2 - Frenatura/accelerazione 6571	dinamico	Statica- lineare
11	LM 71 - caso 6575	dinamico	Statica- lineare
12	LM71 - Frenatura/accelerazione 6575	dinamico	Statica- lineare
13	Forza di serpeggio caso 6575	dinamico	Statica- lineare
14	Reazioni IBDAS Caso 6575	permanente	Statica- lineare
15	SW2 - caso 6575	dinamico	Statica- lineare
16	SW2 - Frenatura/accelerazione 6575	dinamico	Statica- lineare
17	LM 71 - caso 6577	dinamico	Statica- lineare
18	LM71 - Frenatura/accelerazione 6577	dinamico	Statica- lineare
19	Forza di serpeggio caso 6577	dinamico	Statica- lineare

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Caso	Nome del caso	Natura	Tipo di analisi
20	Reazioni IBDAS Caso 6577	permanente	Statica- lineare
21	SW2 - caso 6577	dinamico	Statica- lineare
22	SW2 - Frenatura/accelerazione 6577	dinamico	Statica- lineare

Le combinazioni di carico analizzate sono descritte alla Tabella 10-4 Lista delle combinazioni di carico considerate nel modello FE della carreggiata stradale e alla **Errore. L'autoriferimento non è valido per un segnalibro.** e i coefficienti parziali dei carichi sono concordi con la Base di progettazione. Inoltre, un caso di carico con carichi permanenti è stato il riferimento per la taratura del modello.

Tabella 10-6 Lista delle combinazioni di carico considerate nel modello FE della ferrovia

Combinazione	Nome (IBDAS numero caso)	Descrizione	Natura	Definizione
4 (C)	Taratura PP+ PN	Taratura dei pesi propri strutturali (PP) e dei pesi permanenti sovrapposti (PN)	Stato limite di servizio	$(1+2+3+4)*1.00$
12 (C)	Caso 6571	Momento massimo + My	Stato limite ultimo	$(1+4)*1.35+2*1.5+(5+6+9+10)*1.45+8*1.0+7*0.73$
15 (C)	Caso 6575	Massima torsione + Mt	Stato limite ultimo	$(1+4)*1.35+2*1.5+(11+12+15+16)*1.45+14*1.0+13*0.73$

Nelle figure seguenti sono presentate le tensioni di von Mises per il cassone stradale per il momento massimo di flessione My. Per l'armatura longitudinale, l'elasticità convenzionale, f_{yk}/γ_{m0} , corrisponde a $460/1,05=438\text{MPa}$ e per i diaframmi l'elasticità convenzionale corrisponde a $355/1,05=338\text{MPa}$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011	

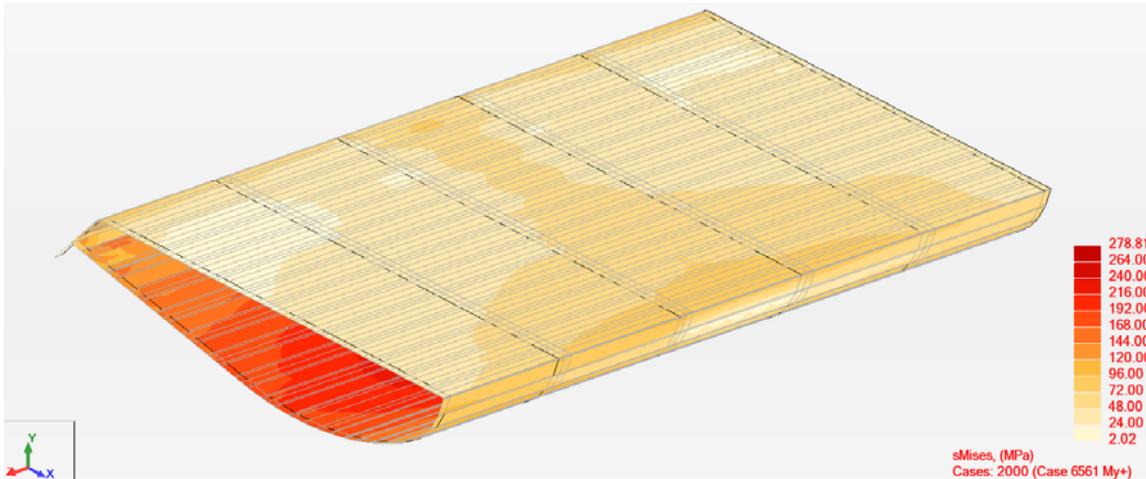


Figure 10-19 tensioni di von Mises, impalcato del corrente stradale e anima inclinata, caso 2000 (My+) case 2000 (My+)

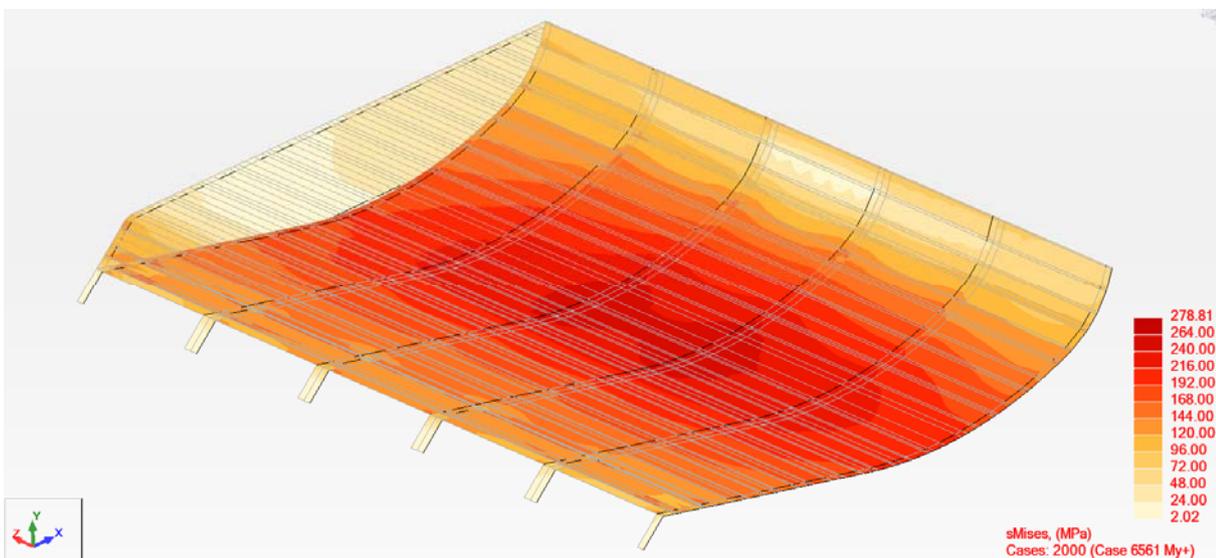


Figure 10-20 tensioni di von Mises, piattabanda inferiore del cassone stradale e anima inclinata, caso 2000 (My+)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

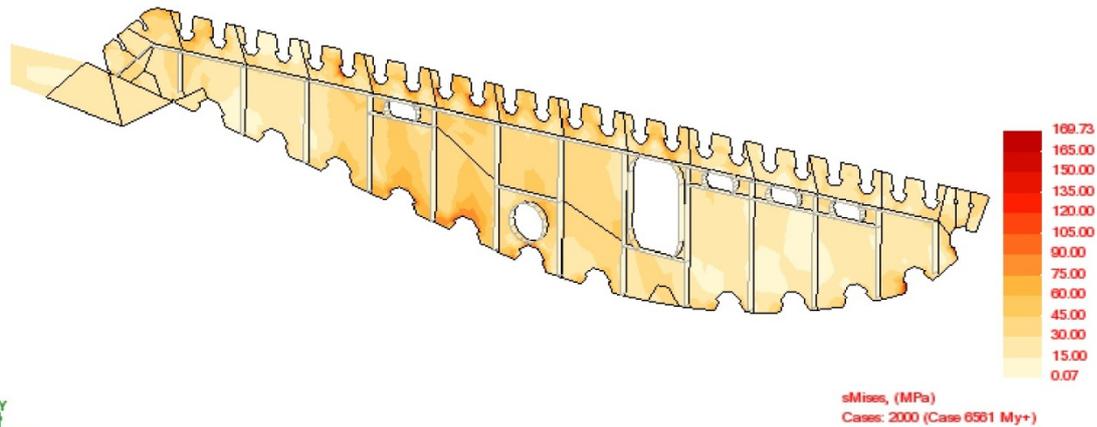


Figura 10-21 tensioni di von Mises, diaframma del cassone stradale, caso 2000 (My+)

Come si può vedere dalle figure, il livello di tensioni di von Mises è accettabile con l'uso di acciaio S460 per l'armatura longitudinale e di S355 per i diaframmi.

Di seguito, una breve documentazione delle sollecitazioni di von Mises per il cassone ferroviario. La classe di tutti gli elementi in acciaio sulla posizione del modello FE è S355.

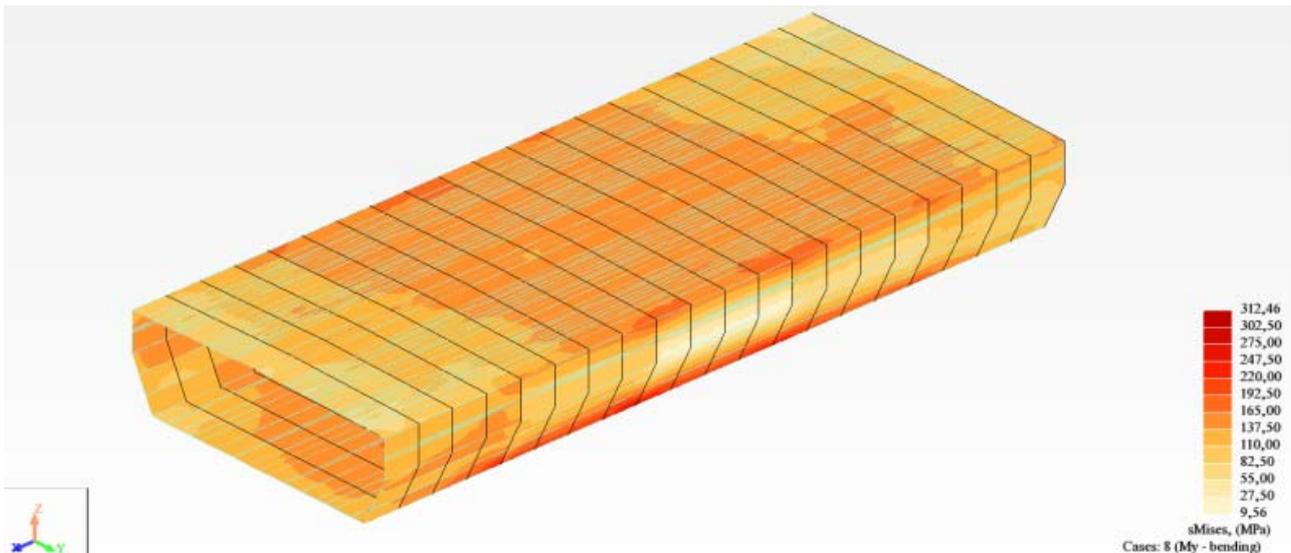


Figura 10-22 tensioni di von Mises, impalcato del cassone ferroviario, caso 12 (My+)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

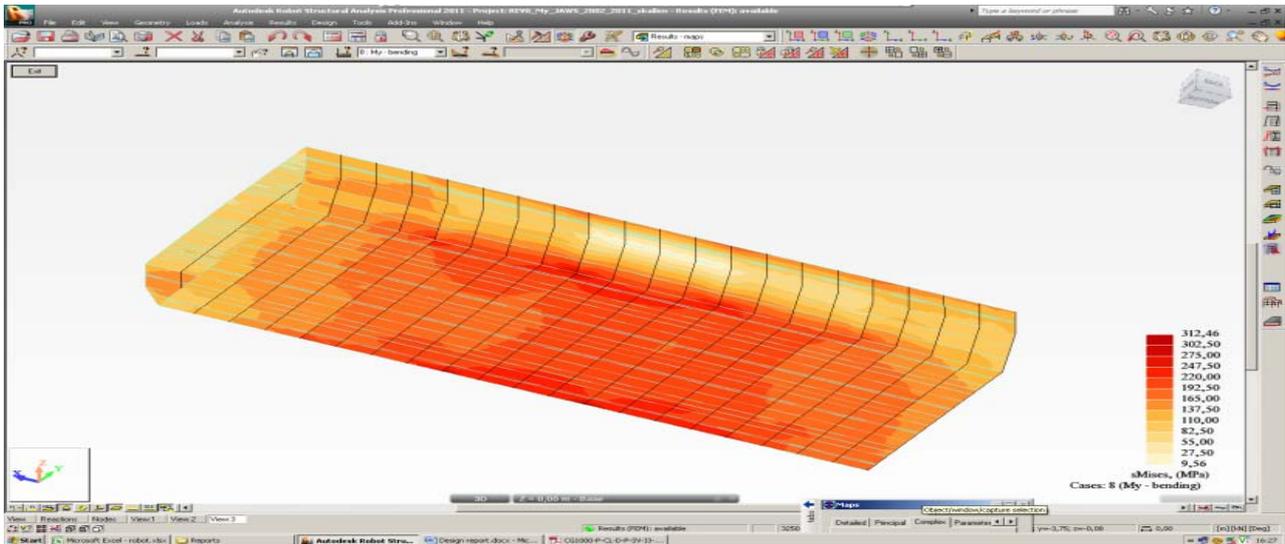


Figure 10-23 tensioni di von Mises, piattabanda inferiore del cassone stradale e anima inclinata, caso 12 (MY+)

Alla Figure 10-23 tensioni di von Mises, piattabanda inferiore del cassone stradale e anima inclinata, caso 12 (MY+)

le tensioni medie di von Mises sono comprese nel range di 165MPa a 250MPa sulla parte principale dell'area della lamiera; la tensione massima nella piattabanda inferiore è di 313MPa che è accettabile utilizzando acciaio S355. Nella Figura 10-24 tensioni di von Mises, diaframma del cassone stradale, caso 12 (My+)

I tracciati delle tensioni di von Mises sono illustrati per i diaframmi più vicini alla campata centrale del modello FE per il caso di carico massimo My.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

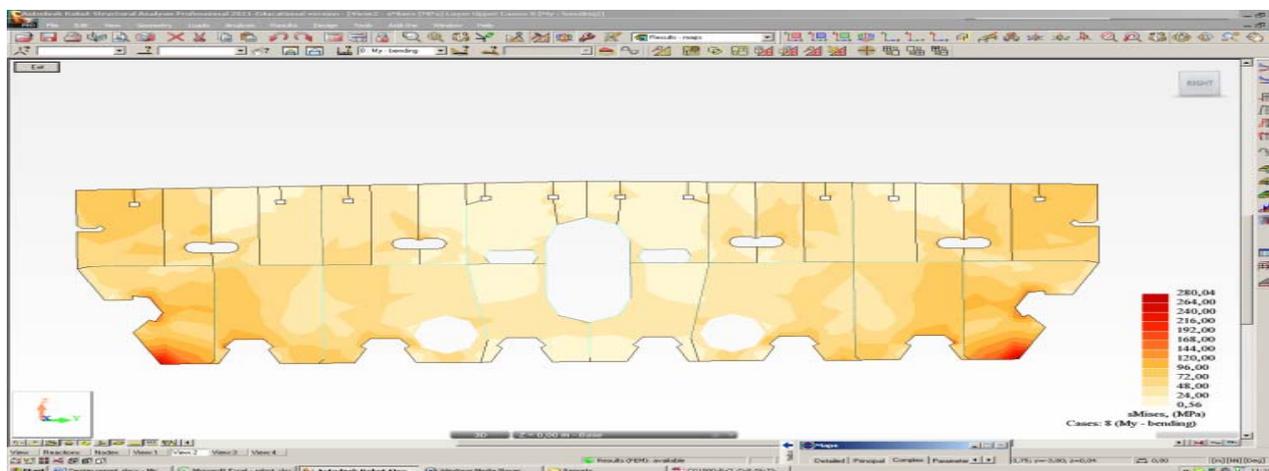


Figura 10-24 tensioni di von Mises, diaframma del cassone stradale, caso 12 (My+)

Dalla Figura 10-24 tensioni di von Mises, diaframma del cassone stradale, caso 12 (My+)

si nota che il livello complessivo di sollecitazioni è accettabile per acciaio S355. Il limite di tensione è superato in zone molto piccole lungo il bordo dell'apertura per le nervature presso le anime inclinate, dove le tensioni raggiungono un valore massimo di 280 Mpa. Questo superamento, tuttavia, non rappresenta un vero problema, e, considerata la dimensione dell'area del superamento del limite delle sollecitazioni, viene considerato accettabile.

10.4 Modello locale agli elementi finiti dell'ancoraggio del pendino

E' stato creato un modello locale FE lastra piastra dell'ancoraggio del pendino per la verifica della distribuzione delle tensioni locali per lo stesso ancoraggio. Il modello ha una lunghezza complessiva di 30 m tra i centri-campata del corrente stradale longitudinale e una larghezza di 26 m compreso un mezzo trasverso. La campata relativamente lunga del modello assicurerà una condizione corretta dei confini e quindi la distribuzione delle tensioni per le lamiere interessate all'ancoraggio del pendino.

Tale modello indipendente è stato creato utilizzando il software FE ROBOT; le forze globali applicate del pendino sono state stabilite invece nel modello globale IBDAS. Le forze globali del pendino che agiscono nel centro del foro sono applicate come una approssimazione della distribuzione delle sollecitazioni di hertz mediante carichi su tre punti. Il modello è appoggiato a ciascuna estremità della travata stradale da 30 m in direzione longitudinale mentre il trasverso è

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

appoggiato sulla linea mediana dell'impalcato del ponte. Per la conformità con la distribuzione verticale di taglio in direzione longitudinale, è stata applicata una forza esterna.

Sono stati modellizzati i seguenti modelli di ancoraggio di pendino: AP1 con supporti sferici, AP1 senza supporti sferici, AP2 e AP3, che in totale rappresentano gli ancoraggi dei pendini dal traverso numero 9 al 111.

Il carico del pendino è stato applicato sotto una rotazione allo stato limite ultimo di 13,9 gradi massimo per la rotazione attorno all'asse y e di 11,2 gradi per la rotazione allo stato limite ultimo attorno all'asse s. La convenzione dei segni per le rotazioni è illustrata alla Figura 10-25

Convenzione dei segni per l'ancoraggio del pendino

Le rotazioni massime sono entrambe rappresentate nel traverso 60, che si trova al centro della campata principale.

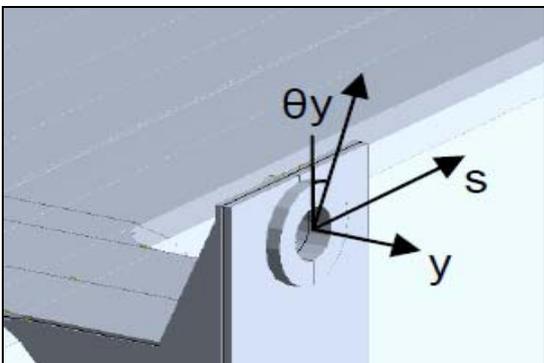


Figura 10-25 Convenzione dei segni per l'ancoraggio del pendino

I tracciati delle sollecitazioni di von Mises utilizzate per la verifica delle tensioni sono indicati alla Figura 10-26 tracciato delle tensioni di von Mises di AP1 sul traverso 60 con rotazione massima θ_y

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

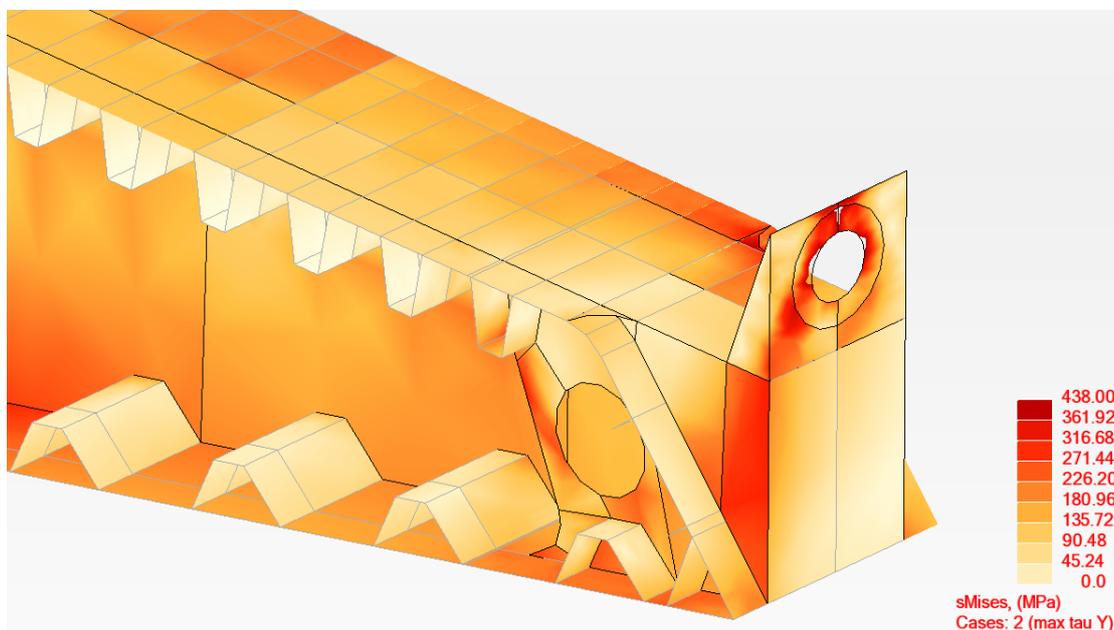


Figura 10-26 tracciato delle tensioni di von Mises di AP1 sul traverso 60 con rotazione massima θ_y

Come indicato alla Figura 10-26 tracciato delle tensioni di von Mises di AP1 sul traverso 60 con rotazione massima θ_y

, per gli ancoraggi dei pendini al numero di traverso da 52 a 68, è stato necessario aggiungere un ulteriore irrigidimento a causa della rotazione del pendino relativamente ampia in questa area.

11 Verifica- accertamenti della resistenza alla fatica

Secondo le basi di progetto, per la verifica della fatica sono stati presunti un numero di transiti di 67 treni al giorno per binario e 2.0×10^6 N_{obs} all'anno di veicoli pesanti per ogni direzione. Durante i 200 anni di durata di vita di progetto del ponte, il numero totale dei transiti sul corrente ferroviario diventa $4,89 \times 10^6$ per ogni binario e $4,0 \times 10^8$ sul corrente stradale in ogni corsia lenta.

Per controllare la capacità di resistenza alla fatica dei principali componenti strutturali soggetti ai carichi generati direttamente dall'uomo, sono state utilizzate sia la durata illimitata di vita che il metodo di accumulo dei danni (somma dei danni di Palmgren-Miners).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica	<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Per i traversi, il cassone ferroviario e il cassone stradale in generale, è stato applicato un fattore di sicurezza di $\gamma_m=1,35$ in base al "Metodo di durata di vita sicura", mentre per lo studio locale dell'impalcato ortotropico è stato assunto un fattore di sicurezza $\gamma_m=1,15$.

11.1 Carichi non generati dall'uomo

I carichi non generati dall'uomo presi in considerazione sono la temperatura, nonché il carico del vento e il carico sismico. Sono stati considerati:

- Il vento durante la durata di vita di progetto di 200 anni.
- Una variazione giornaliera uniforme di +/- 10°C durante la durata di vita di progetto di 200 anni.
- Stato limite di servizio 1, terremoto per 4 volte, 5 minuti per evento (cioè un totale di 20 minuti).

Gli effetti della temperatura e dei carichi sismici sono stati considerati isolati, come è stato considerato che i loro effetti non diano alcun contributo, o diano solamente un minimo contributo ai danni da fatica; quindi, in base alle necessità delle basi di progettazione, non sono da tenere in considerazione per l'accertamento della fatica in combinazione con i carichi generati dall'uomo.

Il vento, tuttavia, dà un notevole contributo al danno da fatica calcolato. La risposta dovuta al vento sulla struttura può essere suddivisa in: risposta causata da vento medio (contributo statico) e risposta dovuta allo scuotimento (risposta dinamica). A causa di un numero di cicli abbastanza basso (periodi di ritorno del maltempo), il contributo dovuto al vento medio è molto limitato, e può essere trascurato nei calcoli di fatica. La risposta dinamica del vento, tuttavia (scuotimento) produce un gran numero di cicli di sollecitazione del ponte e contribuisce al danno per fatica su una scala notevole.

Per stimare gli effetti dello scuotimento del vento sul danno totale, il danno accumulato viene calcolato per le seguenti combinazioni:

Cassone stradale:

- Veicolo LM3 (effetti globali e locali di carico) + 1 treno (EN5) senza incontro di treni
- Veicolo LM3 (effetti globali e locali di carico) + 1 treno (EN5) senza incontro di treni+ vento

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Cassone ferroviario:

- 1 treno (EN5) su entrambi i binari (carichi globali e locali, senza incontro di treni)
- 1 treno (EN5) su entrambi i binari (carichi globali e locali, senza incontro di treni)+ vento

Per accertare l'effetto del vento sono utilizzate le serie temporali del vento. Nelle analisi vengono tenute in considerazione serie di diversi intervalli di velocità di vento (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 39 m/s) ponderati sulla base della ricorrenza e della distribuzione dei componenti perpendicolari al corrente del ponte, in modo da trovare il danno accumulato in combinazione con i carichi generati dall'uomo.

Si è trovato che l'effetto aggiuntivo dovuto al vento è minore di 5%; l'accertamento del danno quindi, è eseguito di conseguenza, seguendo la formula di Palmgren-Miner, controllando di ottenere il seguente risultato

$$D = \sum_i \frac{n_i(\text{rail} + \text{road})}{N_i} \leq 1.0 - 0.05 = 0.95$$

11.2 Modelli di carico da fatica

I tracciati storici delle tensioni necessari per la verifica della fatica sono stati analizzati per vari elementi lungo il ponte, utilizzando il modello globale IBDAS che include la campata principale, la posizione della torre e le campate laterali. I risultati sono stati presi al centro e all'estremità della piattabanda inferiore per la ferrovia e per i cassoni ferroviari, e sulle piattabande superiori ed inferiori del traverso.

11.2.1 Carichi da fatica per il traffico ferroviario

Secondo il mix standard di treni di cui all' Allegato D dell' Eurocodice 1991-2:2003, i carichi da fatica per il traffico ferroviario includono in totale 0 diversi treni di fatica.

Esempi dei treni di fatica (EN5) che attraversano il ponte sono indicati alle Figura 11-1 Tracciato storico delle sollecitazioni della piattabanda inferiore del cassone ferroviario per treni EN5 che attraversano il ponte

alla Figura 11-2 Tracciato storico delle tensioni della piattabanda inferiore del traverso per treni EN5 che attraversano il ponte

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione tecnica specialistica		Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	<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: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20-06-2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20-06-2011
Rev	Data						
F0	20-06-2011						

e 11-3

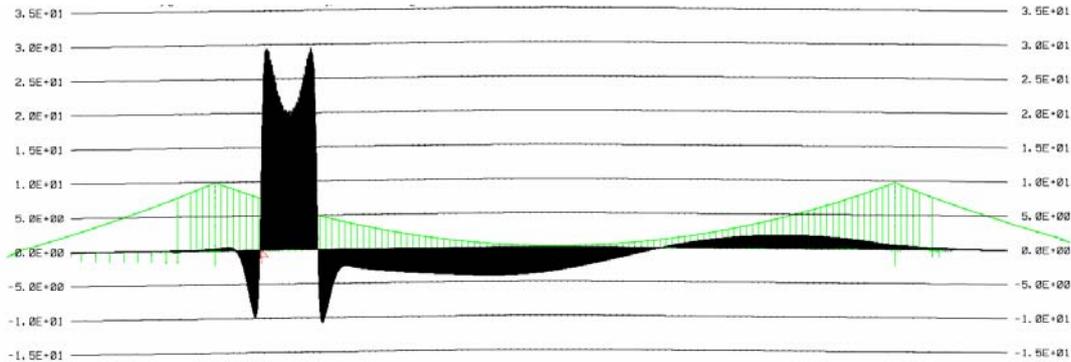


Figura 11-1 Tracciato storico delle sollecitazioni della piattabanda inferiore del cassone ferroviario per treni EN5 che attraversano il ponte

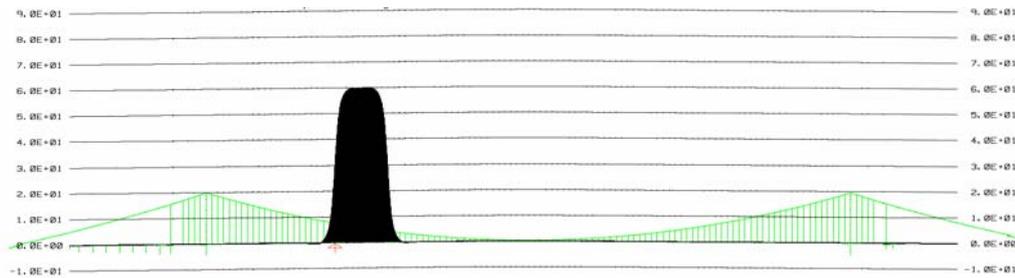


Figura 11-2 Tracciato storico delle tensioni della piattabanda inferiore del traverso per treni EN5 che attraversano il ponte

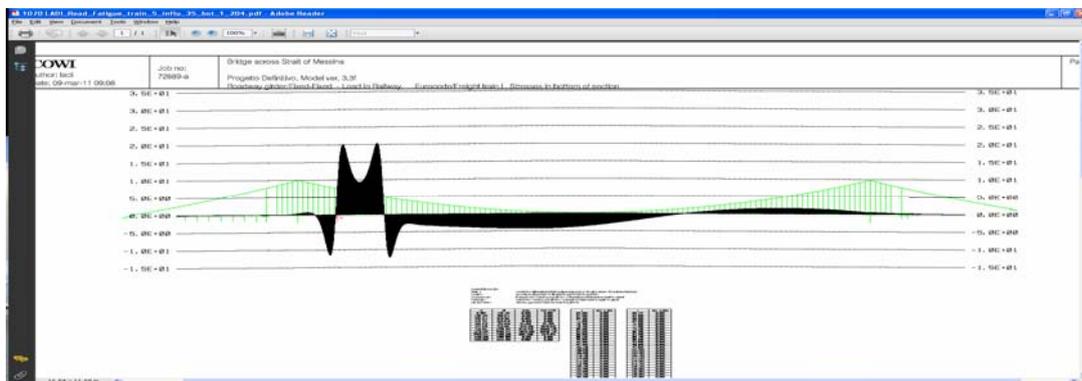


Figura 11-3 Tracciato storico delle tensioni della lamiera inferiore del cassone stradale per treni EN5 che attraversano il ponte

Il numero dei treni per binario al giorno, la quantità degli incroci dei treni e I fattori dinamici illustrati

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

alla Tabella 11-1 Fattori dinamici per treni reali

sono conformi con l' Eurocodice.

Tabella 11-1 Fattori dinamici per treni reali

		speed	local effects	global effects
Fatigue trains EN 1991-2: 2003	EN 1	200	1.300	1.165
	EN 2	160	1.230	1.125
	EN 3	250	1.400	1.224
	EN 4	250	1.400	1.224
	EN 5	80	1.181	1.056
	EN 6	100	1.190	1.071
	EN 7	120	1.200	1.088
	EN 8	100	1.190	1.071

11.2.2 Carichi da fatica per il traffico stradale

Il modello di carico 2 di fatica stradale è stato utilizzato per il metodo di durata di vita illimitata, mentre il modello di carico 3 è stato utilizzato per il metodo di accumulo del danno (somma del danno di Palmgren-Miners)

Alla Figura 11-4 Tracciato storico delle tensioni della lamiera inferiore del cassone stradale per treni EN5 che attraversano il ponte

, un esempio del modello di carico 3 di fatica stradale che attraversa il ponte.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011	

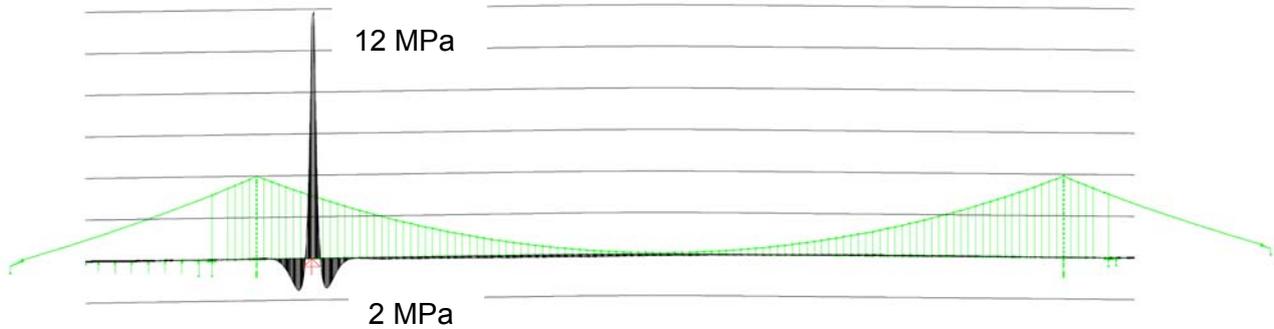


Figura 11-4 Tracciato storico delle tensioni della lamiera inferiore del cassone stradale per treni EN5 che attraversano il ponte

11.2.3 Verifica dell'impalcato del cassone stradale- Effetti locali

Per l'impalcato ortotropico stradale è stato sviluppato un modello locale IBDAS per ricercare gli effetti derivanti dalle ruote- modelli di carichi di fatica LM2 e LM3 nella EN 1991-2:2003 (E)

Errore. L'autoriferimento non è valido per un segnalibro. Mostra i parametri geometrici chiave utilizzati nel modello locale e visualizza la geometria del modello che è stato generato come un modello lastra-piastra completo.

Tabella 11-2 modello locale agli elementi finiti dimensioni geometriche

Outer dimensions	Width	0.51 m x 7 = 3.57 m
	Length	3.75 m x 7 = 26.25 m
Other dimensions	Deck thickness	0.017 m
	Trough thickness	0.009 m
	Trough height (bottom steel deck to bottom trough)	0.309 m
	Trough width at steel deck (centre-centre)	0.239 m
	Trough width at bottom (centre-centre)	0.139 m
	Roadway surfacing thickness	0.012 m
	Diaphragm thickness	0.015 m

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

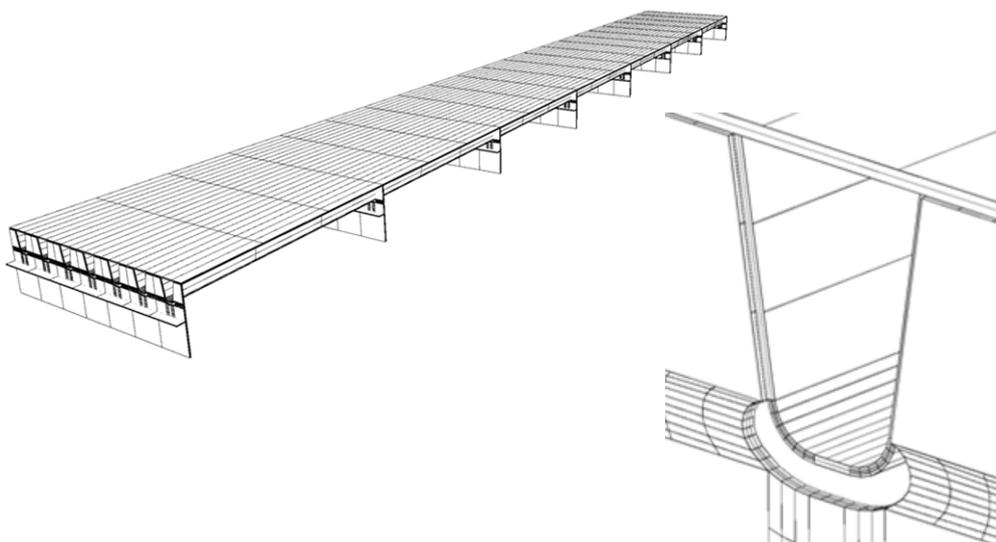


Figura 11-5 Geometria del modello locale IBDAS dell'impalcato metallico

Siccome le condizioni dei confini in un modello locale sono improprie per natura, come base per i risultati delle analisi sono stati utilizzati solamente l'irrigidimento mediano con l'area della lamiera dell'impalcato corrispondente longitudinalmente nella sezione mediana.

I diaframmi sono stati modellizzati direttamente nel modello agli elementi finiti, con l'inclusione completa delle aperture attorno alla parte inferiore delle nervature. I diaframmi sono modellizzati ad 1 m dall'impalcato metallico in modo da non introdurre gli effetti dei confini nelle prossimità delle regioni di interesse.

Tutti i veicoli specificati in LM2 ed LM3 sono automaticamente posizionati nelle posizioni più avverse sul modello, utilizzando le superfici di influenza. In direzione longitudinale, IBDAS può muovere i veicoli in modo completamente continuo per la determinazione dei peggiori casi di carico, mentre la posizione trasversale è studiata in sette intervalli di 10cm ad iniziare da un posizionamento simmetricamente al disopra della nervatura mediana.

Per la verifica di fatica illustrata sotto, sono stati definiti sei punti di tensione (da A ad F).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

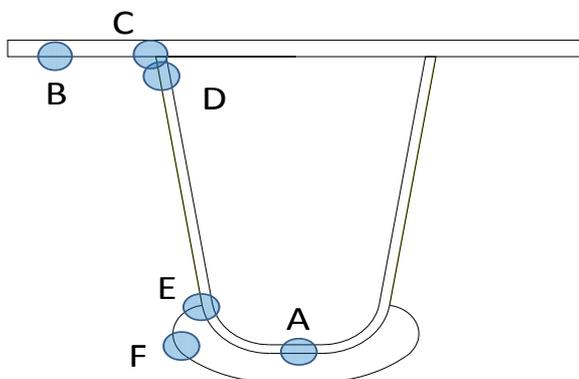


Figura 11-6 Dettagli dell'impalcato ortotropico

Di seguito viene presentata una serie di tracciati di linea di influenza per le tensioni longitudinali e trasversali, per i punti A, B e D sul diaframma. I carichi applicati comprendono:

Tabella 11-3 Carichi applicati per la generazione delle linee di influenza

Modello di carico	Veicolo	Posizione trasversale
LM2	La più critica fra i cinque camion specificati	La più critica fra sette "tracce" da simmetricamente sopra la nervatura fino a 60 cm di eccentricità rispetto centro della nervatura.
LM3	Solo un veicolo	

Alla Figura 11-7 Punto di tensione A sul diaframma, tensione longitudinale, Camion 3 in LM2, 0 cm di eccentricità

la tensione longitudinale illustrata per il camion 3 di LM2 sul fondo della nervatura (punto A) per 0 cm di eccentricità. La Figura 11-8 Punto di tensione A sul diaframma, tensione trasversale, Camion 3 in LM2, 20 cm di eccentricità

illustra piccole tensioni trasversali sul punto A per uno sfalsamento di 20 cm del carico rispetto alla nervatura centrale. Il punto di tensione A è importante anche rispetto alla posizione del giunto della nervatura nella direzione longitudinale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

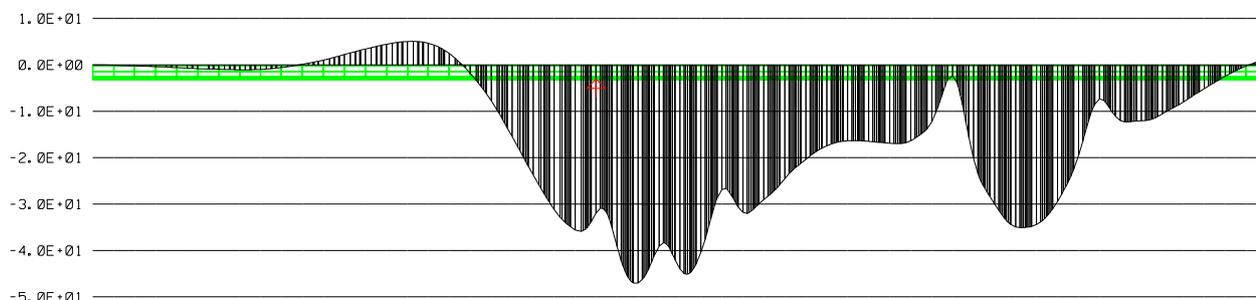


Figura 11-7 Punto di tensione A sul diaframma, tensione longitudinale, Camion 3 in LM2, 0 cm di eccentricità

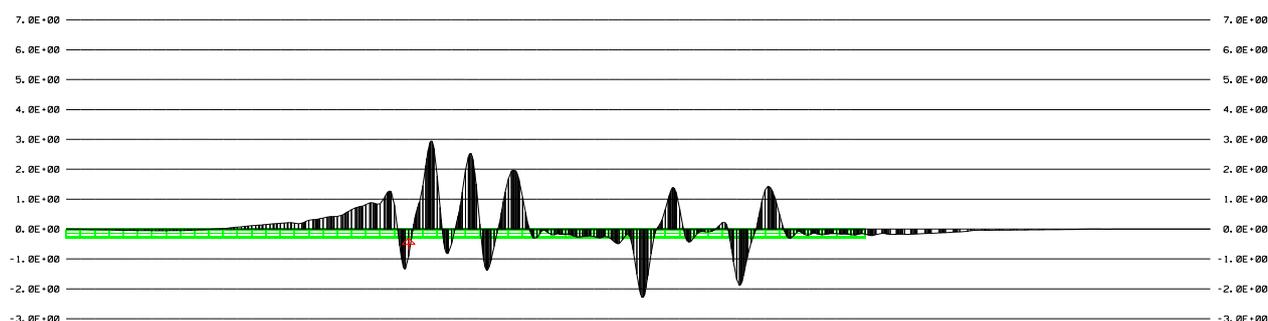


Figura 11-8 Punto di tensione A sul diaframma, tensione trasversale, Camion 3 in LM2, 20 cm di eccentricità

I summenzionati punti di tensione delle nervature da A ad F sono stati verificati per il carico di traffico locale da fatica utilizzando il modello locale 2 (LM2) in combinazione con il “Metodo di durata di vita illimitato”. Nella verifica, i giunti delle nervature sono stati posizionati a 200 mm e a 600 mm dal diaframma.

11.3 Fattore di concentrazione della sollecitazione (SCF)

11.3.1 Punti oggetto della ricerca

Il calcolo dei range di sollecitazione utilizzati per la verifica alla fatica si basa sul modello trave IBDAS. Inoltre, è stato sviluppato un modello locale lastra-piastra in IBDAS, per verificare il flusso delle sollecitazioni sulla campata, e quindi valutare la concentrazione di sollecitazione che si verifica sui bordi delle piastre in corrispondenza dei diaframmi e gli effetti dello sforzo di taglio

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

sull'anima del traverso. In questa sezione viene indicata la differenza nei range di sollecitazione utilizzando il modello lastra-piastra semi locale e il modello globale trave IBDAS, e viene presentato il fattore di concentrazione delle sollecitazioni da aggiungere alla sollecitazione di fatica. La ricerca coinvolge la campata 12, la quale è stata scelta come rappresentativa di tutte le campate principali. Questi risultati sono stati anche adottati per tutte le campate laterali in cui gli effetti globali (dati dai treni che si trovano molto lontano dalla sezione oggetto della ricerca) possono portare a concentrazioni di sollecitazioni minori.

I range delle sollecitazioni presi in considerazione per i punti seguenti dei due modelli, vedi Figura 11-9 Piattabanda inferiore della campata 12 – Posizione dei punti selezionati per la verifica

. Due punti, rispettivamente a 165m dal bordo della piastra nel lato caricato e a 165mm dall'asse della piastra sono distribuiti sulla piattabanda inferiore nelle posizioni seguenti lungo la campata ferroviaria 12: Nella campata centrale ($s=-1425.0$ m), al terzo diaframma dal traverso 13 ($s=-1423.13$ m) I secondo diaframma dal traverso 13 ($s=-1419.38$ m), ad 1 m dall'anima del traverso ($s=-1412.88$ m), a 0.4 m dall'anima del traverso ($s=-1412.28$ m), a 0.2 m dall'anima del traverso ($s=-1412.08$ m) e a destra in corrispondenza dell'anima del traverso ($s=-141.88$ m). Il punto a 0.2 m è già stato studiato nella posizione trasversale del giunto della nervatura all'incirca a 0.4 m dal bordo della piattabanda inferiore.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

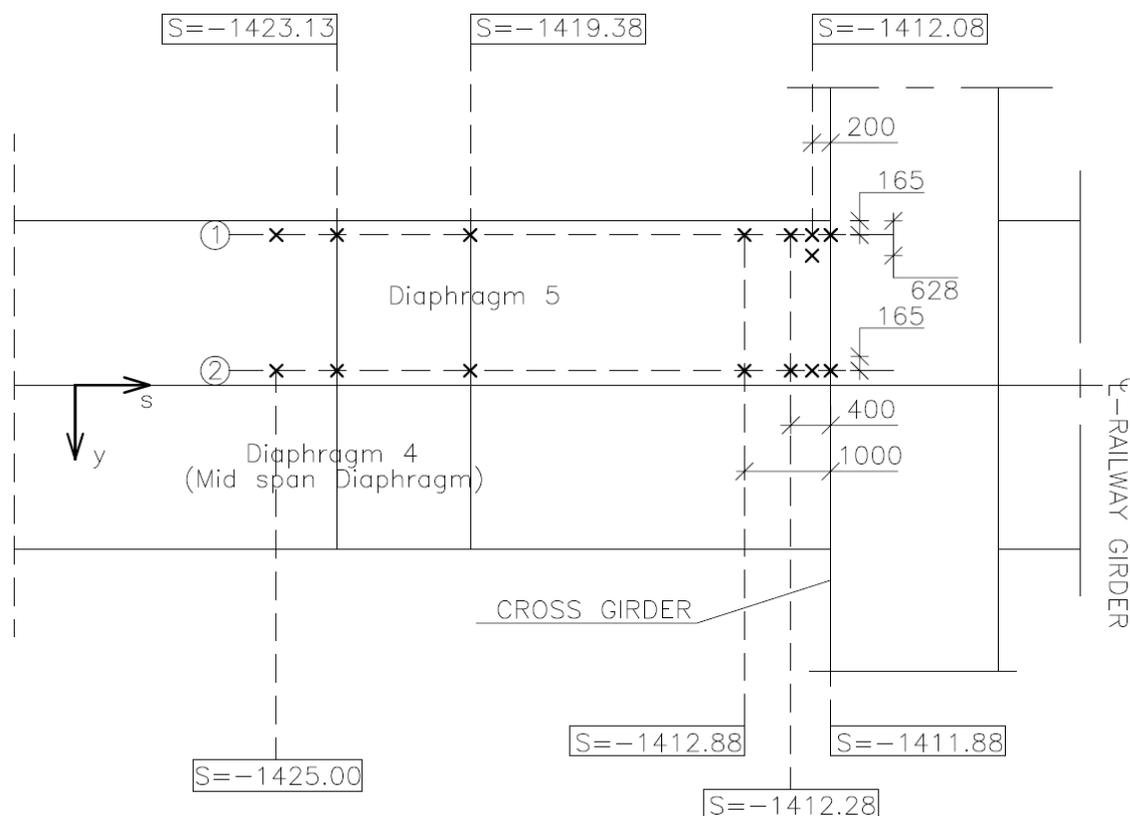


Figura 11-9 Piattabanda inferiore della campata 12 – Posizione dei punti selezionati per la verifica

Alla Figura 11-10 Geometria dell'elemento maglia

sono illustrate le posizioni del punto di Gauss e le dimensioni di un tipico elemento lastra-piastra. I valori in flusso verso il diaframma sono stati estrapolati lungo i punti di Gauss, e quindi a 165mm dal bordo della piastra. Il tipo degli elementi lastra-piastra è parabolico; per ulteriori informazioni si veda il documento "Modello IBDAS semi-locale, Impalcato Sospeso".

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev <i>F0</i>	Data <i>20-06-2011</i>

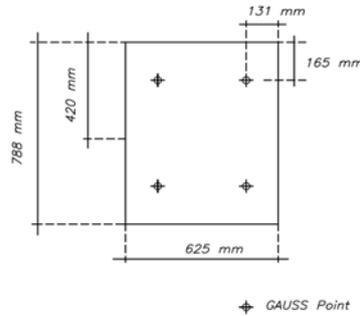


Figura 11-10 Geometria dell'elemento maglia

11.3.2 Determinazione del range delle sollecitazioni e risultati SCF

I range delle sollecitazioni sono calcolati per il treno EN5 in transito sul binario che si trova nella parte negativa dell'asse y, precisamente lungo la linea 1 della Figura 11-9 Piattabanda inferiore della campata 12 – Posizione dei punti selezionati per la verifica

. Inoltre sono stati studiati ed aggiunti gli effetti del veicolo 3 del LM2 in transito sul cassone stradale che si trova nella y negativa.

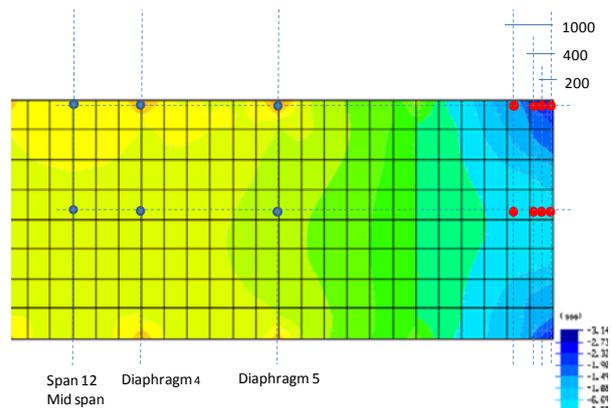
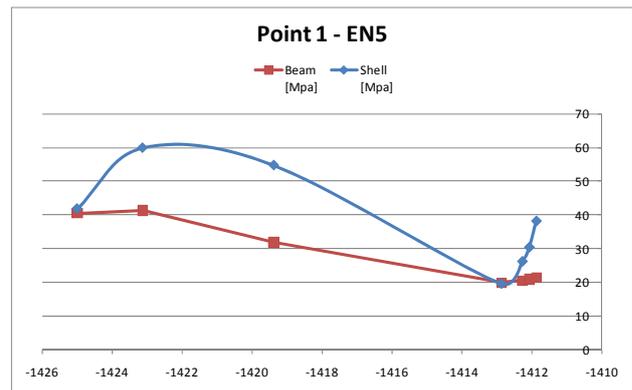
I range di sollecitazioni ottenuti facendo correre il treno EN5 lungo il ponte utilizzando il modello globale trave IBDAS e il modello semi-locale lastra-piastra sono presentati alla **Errore. L'autoriferimento non è valido per un segnalibro.** I range di sollecitazione sono calcolati per ognuno dei punti considerati in entrambi i modelli. Nella tabella, è presentato il confronto fra i risultati dei due modelli, ed è calcolata la differenza nel range di sollecitazione. Si può notare che, per la campata centrale, i range di sollecitazione sono paragonabili, mentre sulle posizioni dei diaframmi si verificano grandi variazioni dei range di sollecitazione dovuti ad una combinazione di sforzo di taglio dettagliato e di torsione dovute alla condizione di carico non simmetrica. Siccome non si sono esperite concentrazioni di sollecitazione utilizzando il modello trave, è stato applicato un fattore di concentrazione di sollecitazione per ogni posizione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0

Tabella 11-4 Range di sollecitazioni calcolate per il treno EN5, il mo dello globale trave IBDAS e il modello locale lastra-piastra

Type	EN5		
	Shell [Mpa]	Beam [Mpa]	Deviation [%]
Location	s=-1425		
Point 1	41.9	40.5	3.44%
Point 2	39.4	40.4	-2.55%
Location	s=-1423.13		
Point 1	59.9	41.3	45.05%
Point 2	38.4	41.2	-6.79%
Location	s=-1419.38		
Point 1	54.7	31.9	71.52%
Point 2	33.8	31.8	6.27%
Location	s=-1412.88		
Point 1	19.7	20.0	-1.43%
Point 2	18.0	19.9	-9.26%
Location	s=-1412.28		
Point 1	26.3	20.6	27.50%
Point 2	16.8	20.5	-18.05%
Location	s=-1412.08		
Point 1	30.5	21.0	45.37%
Point 2	16.5	20.9	-20.98%
Location	s=-1411.88		
Point 1	38.2	21.3	78.92%
Point 2	16.3	21.2	-23.45%

Location	s=-1412.08		
Extra point	25.9	21.0	23.38%



Ad esempio, il tracciato delle sollecitazioni storico del punto lungo la linea 1 in corrispondenza del diaframma 4 nel modello locale lastra-piastra è dato alla Figura 11-11 Grafico dello storico delle sollecitazioni per il punto lungo la linea 1 sul diaframma 4 – treno EN5

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

, ed è illustrato un range di sollecitazione di circa 60 MPa

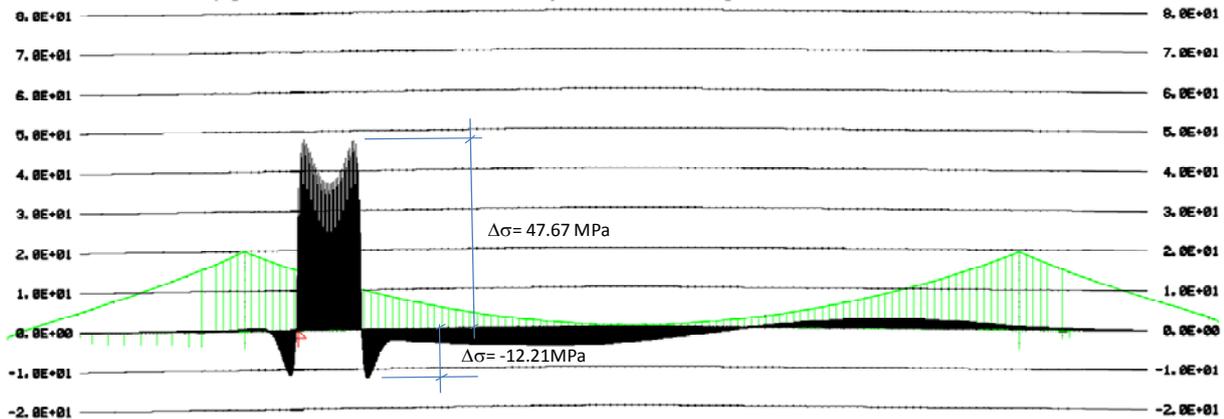
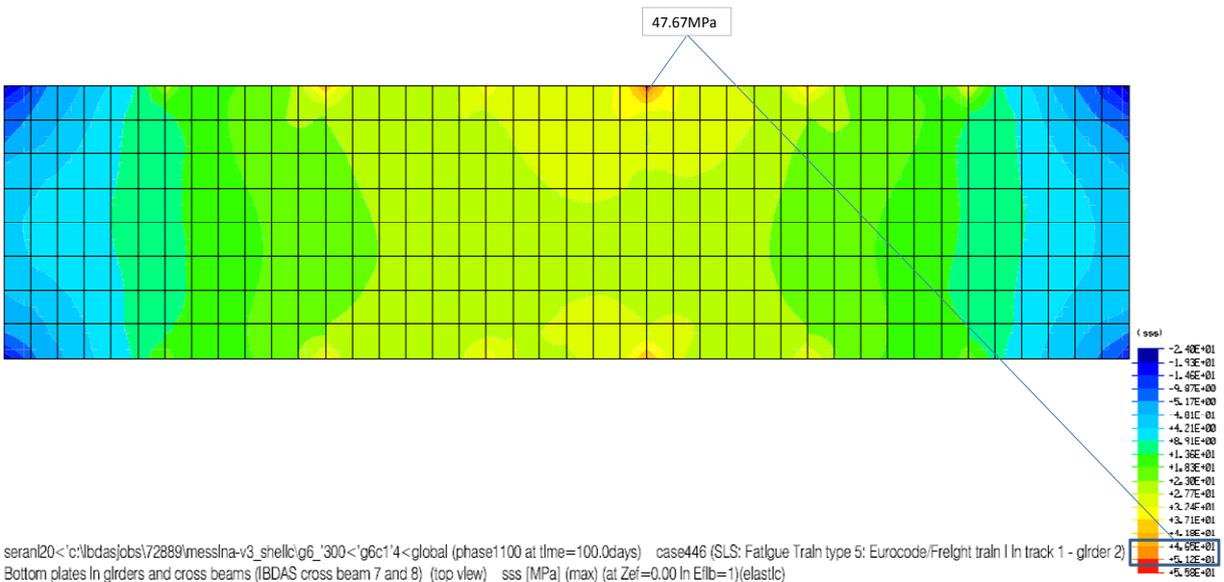


Figura 11-11 Grafico dello storico delle sollecitazioni per il punto lungo la linea 1 sul diaframma 4 – treno EN5

Come esempio del flusso di sollecitazioni, alla Figura 11-12 Flusso di sollecitazioni (sss) nelle piattabande inferiori del modello semi-locale IBIDAS

si può vedere la piattabanda inferiore del modello lastra-piastra per la configurazione di carico che massimizza la sollecitazione positiva in corrispondenza del diaframma 4.



IBIDAS V1.10-4 pc34001 c:\ibidas\jobs\72889\messina-v3_shell\shelloutput_girder

Figura 11-12 Flusso di sollecitazioni (sss) nelle piattabande inferiori del modello semi-locale

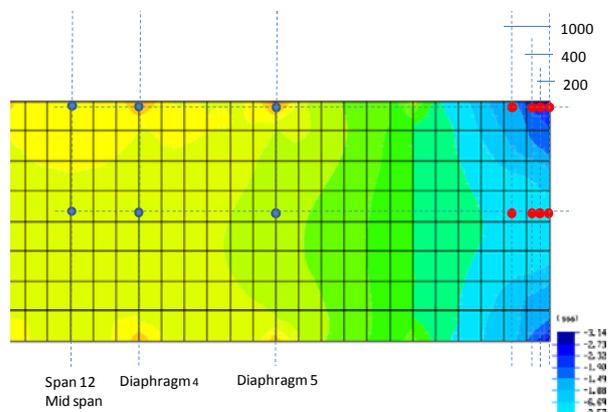
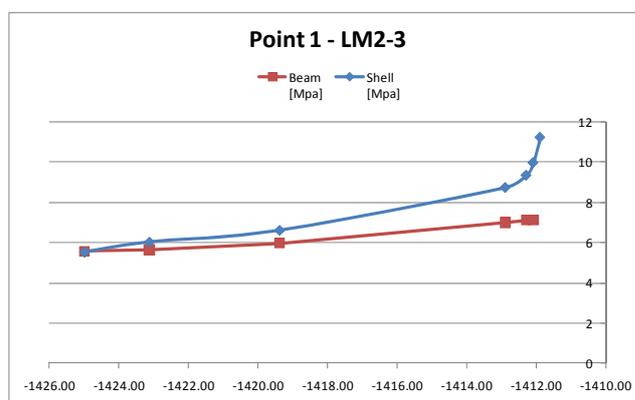
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica	<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

IBDAS

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	Rev F0	Data 20-06-2011

Tabella 11-5 Confronto dei range di sollecitazione fra il modello trave e il modello lastra-piastra con transito LM2 veicolo 3. Viene considerata la piattabanda inferiore del cassone ferroviario

Type	LM2		
	Shell [Mpa]	Beam [Mpa]	Deviation [%]
Location	s=-1425		
Point 1	5.5	5.6	-0.87%
Point 2	5.7	5.4	6.29%
Location	s=-1423.13		
Point 1	6.0	5.6	6.87%
Point 2	5.8	5.4	5.72%
Location	s=-1419.38		
Point 1	6.6	6.0	10.65%
Point 2	6.3	5.8	9.19%
Location	s=-1412.88		
Point 1	8.7	7.0	24.68%
Point 2	7.0	6.9	1.37%
Location	s=-1412.28		
Point 1	9.3	7.1	31.11%
Point 2	6.8	7.0	-2.86%
Location	s=-1412.08		
Point 1	10.0	7.2	39.01%
Point 2	6.8	7.1	-4.08%
Location	s=-1411.88		
Point 1	11.2	7.2	55.72%
Point 2	6.8	7.1	-4.23%



Location	s=-1412.08		
Point 1	9.2	7.2	27.89%

Sono stati sommati i range di sollecitazione per le due situazioni di carico ed è stata trovata la seguente deviazione totale, vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		Relazione tecnica specialistica	Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	Rev F0

Tabella 11-6: Errore. Non è stato specificato un nome stile. Errore. Non è stata specificata alcuna sequenza. Confronto dei range di sollecitazione fra il modello trave e il modello lastra-piastra con transito LM2 veicolo 3. Viene considerata la piattabanda inferiore del cassone ferroviario

Type	EN5 + LM2		
	Shell [Mpa]	Beam [Mpa]	Deviation [%]
Location	s=-1425		
Point 1	47.4	46.1	2.92%
Point 2	45.1	45.8	-1.51%
Location	s=-1423.13		
Point 1	65.9	46.9	40.47%
Point 2	44.1	46.6	-5.33%
Location	s=-1419.38		
Point 1	61.3	37.9	61.93%
Point 2	40.1	37.6	6.72%
Location	s=-1412.88		
Point 1	28.4	27.0	5.35%
Point 2	25.0	26.8	-6.52%
Location	s=-1412.28		
Point 1	35.6	27.7	28.43%
Point 2	23.6	27.5	-14.16%
Location	s=-1412.08		
Point 1	40.4	28.1	43.75%
Point 2	23.3	27.9	-16.69%
Location	s=-1411.88		
Point 1	49.4	28.6	73.06%
Point 2	23.0	28.3	-18.65%

Location	s=-1412.08		
Point 1	35.0	28.1	24.53%

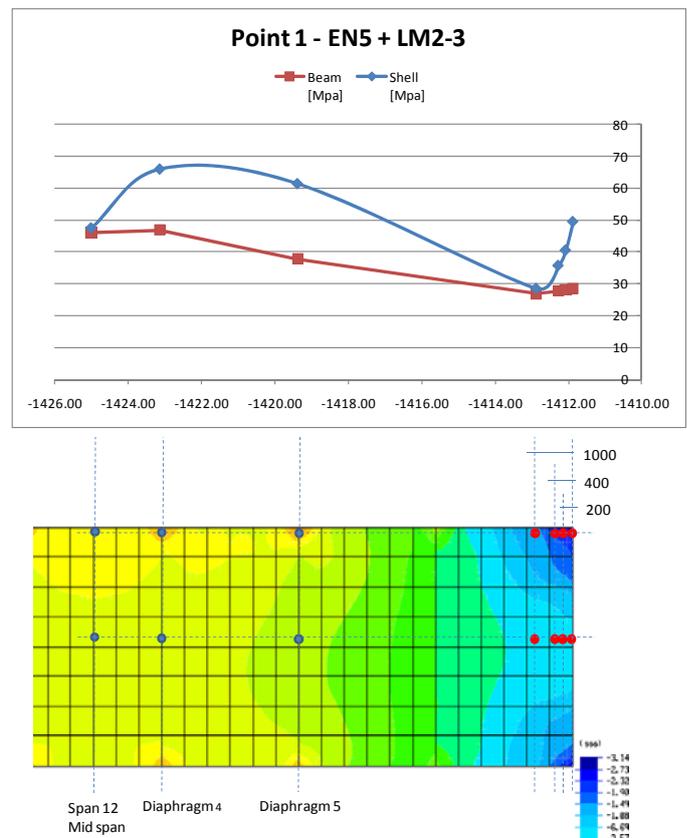


Tabella 11-7: Errore. Non è stato specificato un nome stile. Errore. Non è stata specificata

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

alcuna sequenza. Confronto dei range di sollecitazione fra il modello trave e il modello lastra-piastra con transito LM2 veicolo 3. Viene considerata la piattabanda inferiore del cassone ferroviario

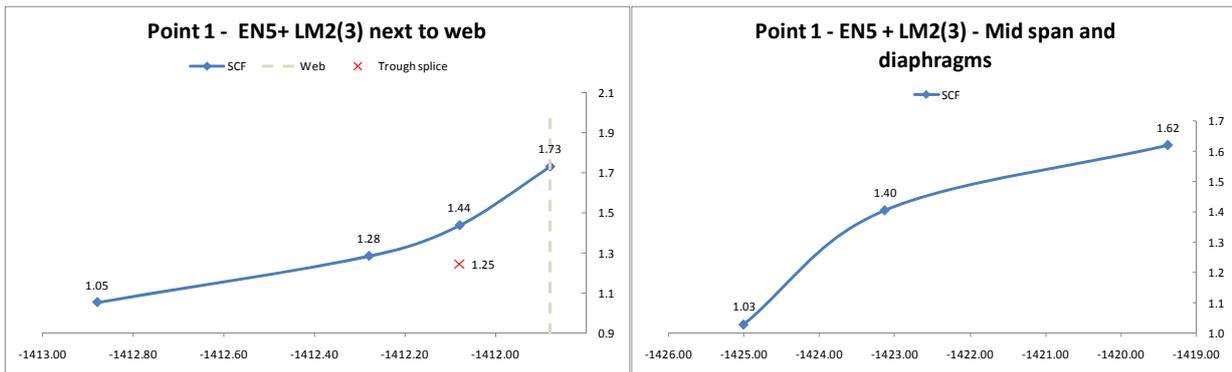


Figura 11-13 Fattori di concentrazione delle sollecitazioni (SCF)

Dai grafici sopra illustrati, si può notare che il dettaglio del giunto della nervatura ha un SCF= 1,25. Questo è stato risolto come una media fra i risultati nel punto superiore di gauss e quello inferiore, per far coincidere la posizione del giunto della nervatura. Nella figura seguente si possono vedere il dettaglio della posizione del giunto della nervatura in relazione agli elementi della maglia, così come la dimensione della maglia.

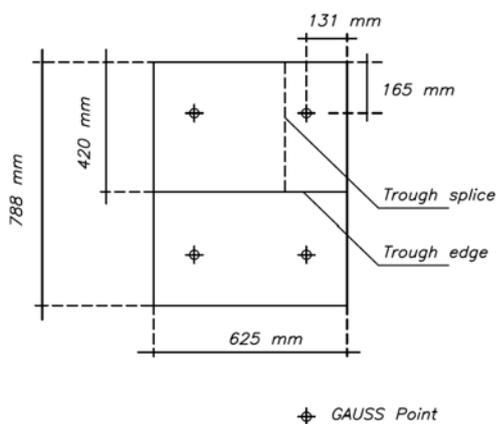


Figura 11-14 Elementi lastra-piastra, posizione del punto di Gauss e posizione degli stessi relativa al giunto della nervatura

Sono stati eseguiti ulteriori aggiustamenti al SCF per tener conto della posizione in cui le sollecitazioni da fatica sono estrapolate nel modello globale trave. La verifica di fatica delle diverse

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

campate è stata eseguita utilizzando le sollecitazioni nella campata mediana e a 0,4m dall'anima del traverso. Ciò implica che le sollecitazioni del modello lastra-piastra debbono essere ridimensionate nei confronti delle sollecitazioni della trave suddette posizioni Inoltre i dettagli nei quali si verificano le concentrazioni di sollecitazione sono quelli in corrispondenza dei diaframmi vicino alla campata mediana e all'anima del traverso. I dettagli strutturali in cui è stato preso in considerazione il fattore di concentrazione delle sollecitazioni sono elencati sotto:

- Piattabanda inferiore verso la saldatura del diaframma alla sezione in corrispondenza del diaframma accanto alla campata mediana del cassone.
- Piattabanda inferiore verso la saldatura del diaframma alla sezione presso l'anima del traverso.
- Giunto della nervatura accanto alla estremità della piastra al giunto di montaggio.

Alla Figura 11-15 Fattori di concentrazione di sollecitazioni (SCF) sulla posizione della verifica di fatica

è illustrato l' SCF ridimensionato confronto alle sollecitazioni globali trave utilizzate nella verifica di fatica (sulla posizione corrispondente).

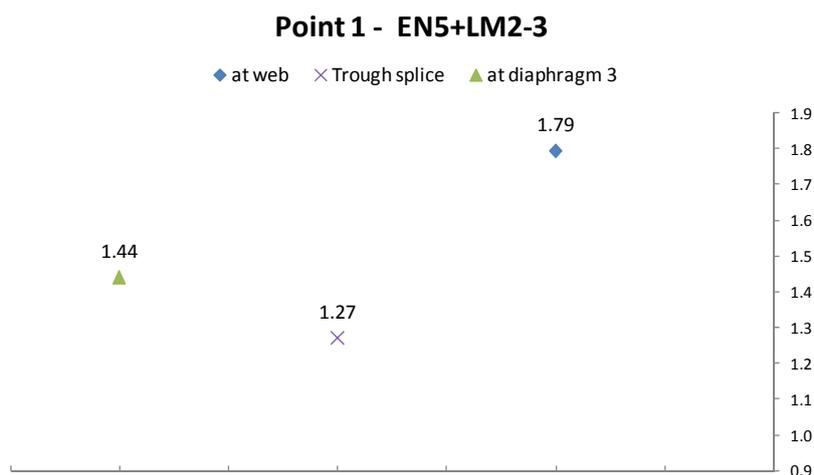


Figura 11-15 Fattori di concentrazione di sollecitazioni (SCF) sulla posizione della verifica di fatica

Inoltre, gli SCF illustrato sopra saranno ridotti dall'introduzione di un rinforzo locale all'ingobbatura fra la piattabanda inferiore e l'anima inclinata.

Per quei cassoni in cui il rinforzo al traverso non è necessario, il dettaglio del giunto della nervatura

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

presenta rapporti di utilizzo che sono sempre inferiori a quelli del dettaglio della piattabanda inferiore per tutto il ponte, in quanto l'ultimo dettaglio è stato mantenuto senza miglioramento della saldatura, e quindi come classe 80 Mpa. Come si può notare dalle Figura 11-21 Fattore di concentrazione delle sollecitazioni SCF utilizzato per i cassoni CF1 e CF2.

e Figura 11-23 Fattore di concentrazione delle sollecitazioni SCF utilizzato per il cassone CF6 del capitolo 0, inoltre, dove è richiesto il rinforzo, l'SCF sul giunto della nervatura è inferiore ad uno. Nel capitolo relativo alla verifica della ferrovia, quindi, i dettagli del giunto della nervatura sono omessi. Si è visto che le campate in cui non è necessario un rinforzo locale sono quelle da 4 a 6, tutte quelle fra 12 e 107 inclusa, la 113, 114 e la 115. Per queste campate, la verifica di fatica è stata eseguita aumentando i valori di sollecitazione di 1.79 nell'anima del traverso, e 1,27 sul giunto della nervatura.

All'appendice D, i grafici degli storici delle sollecitazioni e i grafici dei contorni delle piattabanda delle sollecitazioni longitudinali per la condizione di carico che massimizza e minimizza le sollecitazioni nei punti considerati. I risultati vengono presentati per quelle posizioni che influenzano la verifica di fatica del cassone ferroviario, come indicato alla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

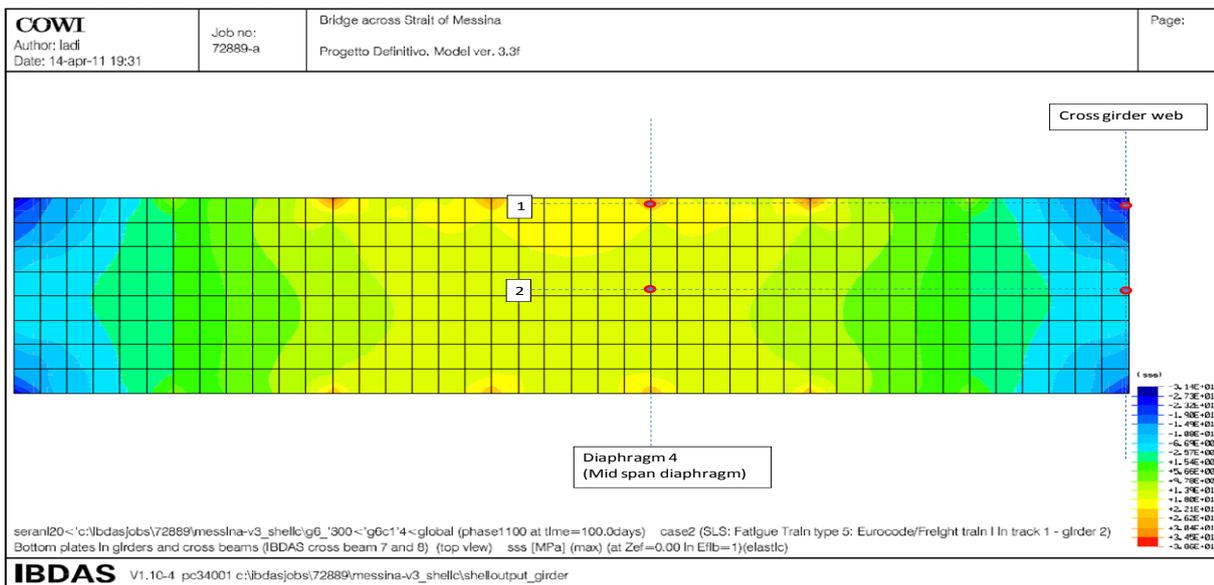


Figura 11-16 Posizioni in cui i grafici storici delle sollecitazioni e il contorno delle sollecitazioni sono presentate all'Appendice D

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

11.3.3 Determinazione degli spessori dei rinforzi- modello ROBOT

Per compiere la verifica di fatica includendo la concentrazione di sollecitazioni, è stato implementato, nella geometria del cassone, un rinforzo locale. Questo comprende, su ciascun lato del diaframma, un maggiore spessore (80 mm) di una parte della piattabanda inferiore e dell'anima inclinata in direzione longitudinale. Il rinforzo si fa in corrispondenza dei diaframmi della campata mediana, così come sull'anima del traverso. Lo spessoramento considerato varia fra i traversi della campata centrale e quelli della campata laterale; in genere, è stato applicato uno spessoramento di 5mm per le piattabande inferiori di 10 mm (che includono i traversi di tipo C1 e CF2) e di 6 mm per le piattabande inferiori di 20 mm. L'influenza nel livello delle sollecitazioni dovuta all'introduzione del rinforzo locale è stata tenuta in considerazione per un fattore di dettaglio che è stato determinato mediante un modello ROBOT, come illustrato alla Figura 11-17 Modello Robot della campata 12 – la figura a destra illustra le posizioni dei rinforzi

. Il modello comprende 4 diaframmi e tiene conto degli effetti globali con condizioni al contorno applicate agli elementi trave posizionati ai lati degli elementi lastra-piastra e collegati agli stessi da connessioni rigide. Il modello, che è rappresentativo della campata 12, è stato sviluppato per confrontare le concentrazioni delle sollecitazioni per una situazione di carico in cui la locomotiva del treno EN5 è posta a $s=-1300$. Scopo del modello è determinare la variazione di sollecitazioni dalla sezione trasversale non rinforzata a quella rinforzata mediante un modello dettagliato con maglia fine. Come per il modello semi-locale lastra-piastra, anche per il modello ROBOT i punti di sollecitazione sono stati posizionati a destra del diaframma/anima e a 165 mm dall'estremità della piastra nel lato carico.

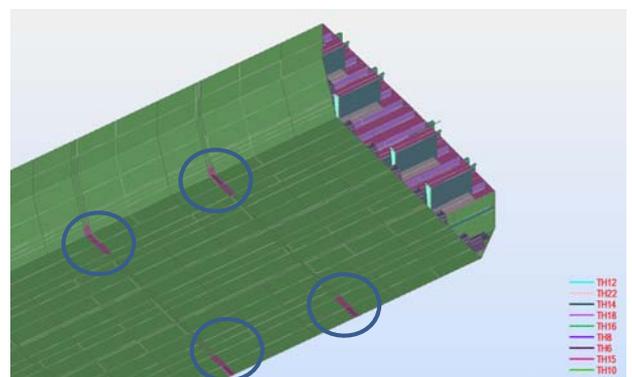
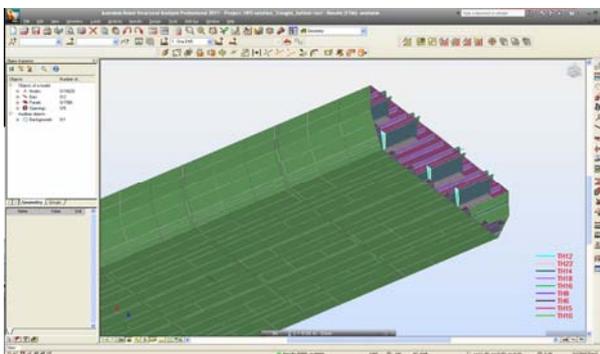


Figura 11-17 Modello Robot della campata 12 – la figura a destra illustra le posizioni dei rinforzi

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

La distribuzione delle sollecitazioni longitudinali utilizzate per determinare la concentrazione delle sollecitazioni con il rinforzo è stata ottenuta mediante taglio dei pannelli, come illustrato alla Figura 11-18 Distribuzione delle sollecitazioni entro i rinforzi nella piattabanda inferiore – geometria rinforzata



Figura 11-18 Distribuzione delle sollecitazioni entro i rinforzi nella piattabanda inferiore – geometria rinforzata

Come si può vedere nella figura di cui sopra, le sollecitazioni a 165 mm dall'estremità è $\sigma_{\text{reinf}} = 18,02\text{Mpa}$. Le sollecitazioni sono illustrate per lo strato dell'elemento centrale, e sono presentate come smussate all'interno del pannello. Per determinare il fattore di dettaglio per questo rinforzo, si trovano le sollecitazioni sulle stesse posizioni per la geometria non rinforzata. La distribuzione delle sollecitazioni longitudinali utilizzate per determinare la concentrazione delle sollecitazioni nella condizione di riferimento è illustrata alla figura seguente.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	Rev F0	Data 20-06-2011

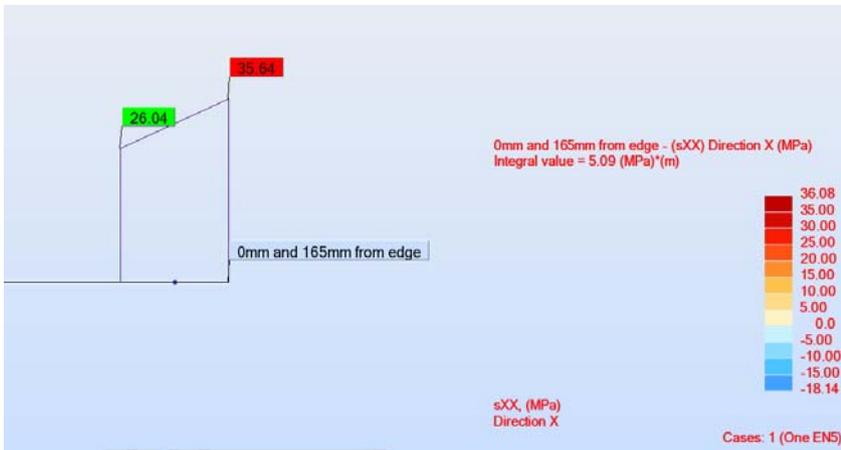
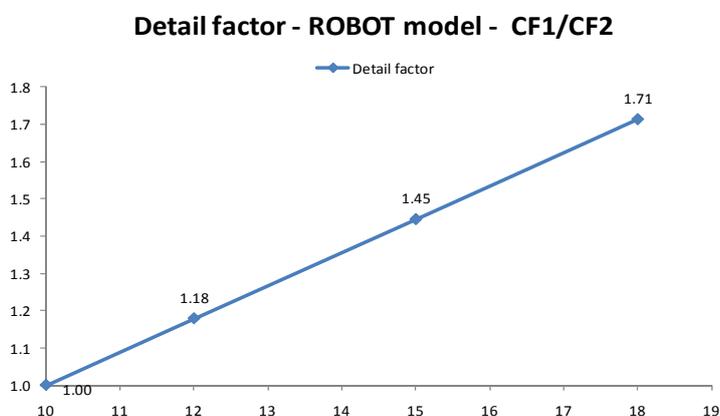


Figura 11-19 Distribuzione delle sollecitazioni entro i rinforzi nella piattabanda inferiore – geometria di riferimento

Come si può vedere nella figura di cui sopra, le sollecitazioni a 165 mm dall'estremità è $\sigma_{ref} = 26,04\text{Mpa}$. Il fattore del dettaglio quindi, è determinato a:

$$DF = \frac{\sigma_{ref}}{\sigma_{refinf}} = \frac{26.04}{18.02} = 1.45$$

Allo stesso modo, è stato effettuato l'accertamento anche per altri spessoramenti, precisamente per i 2mm e gli 8 mm. Per i risultati si veda la Figure 11-20 Fattore del dettaglio per la relazione di spessoramento. La condizione di riferimento è una piattabanda inferiore 10 mm come per CF1/CF2



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica	<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Figure 11-20 Fattore del dettaglio per la relazione di spessoramento. La condizione di riferimento è una piattabanda inferiore 10 mm come per CF1/CF2

Adottando uno spessoramento di 5 mm di una piattabanda inferiore di 10 mm, sono stati derivati i seguenti SCF, prendendo i valori SCF dalla Figura 11-15 Fattori di concentrazione di sollecitazioni (SCF) sulla posizione della verifica di fatica

divisi per il fattore del dettaglio illustrato alla Figure 11-20 Fattore del dettaglio per la relazione di spessoramento. La condizione di riferimento è una piattabanda inferiore 10 mm come per CF1/CF2

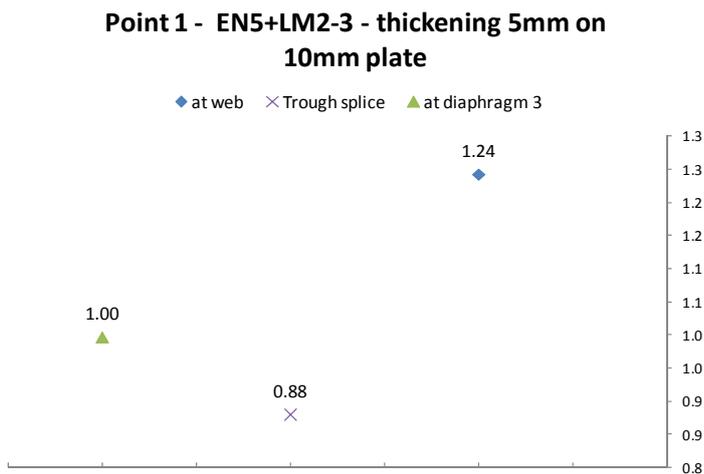


Figura 11-21 Fattore di concentrazione delle sollecitazioni SCF utilizzato per i cassoni CF1 e CF2.

La stessa valutazione è stata effettuata in modo analogo per la piattabanda inferiore di 20 mm, rappresentativa del cassone ferroviario di tipo CF6, che aveva il più alto rapporto di utilizzo nella campata laterale. Per la relazione fra lo spessoramento e il fattore del dettaglio, vedi figura seguente.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Detail factor - ROBOT model CF6

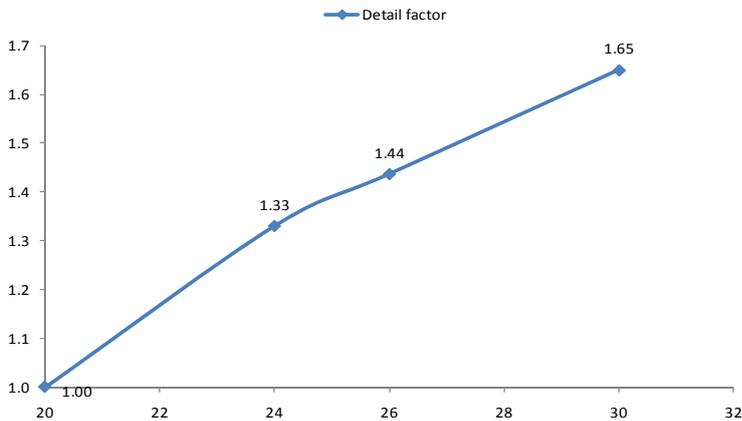


Figura 11-22 Fattore del dettaglio alla relazione di spessoramento. La condizione di riferimento è una piattabanda inferiore di 10 mm Come per CF6

Adottando uno spessoramento di 6 mm di una piattabanda inferiore di 20 mm, sono stati derivati i seguenti SCF, prendendo i valori SCF dalla Figura 11-15 Fattori di concentrazione di sollecitazioni (SCF) sulla posizione della verifica di fatica

divisi per il fattore del dettaglio illustrato alla Figura 11-22 Fattore del dettaglio alla relazione di spessoramento. La condizione di riferimento è una piattabanda inferiore di 10 mm Come per CF6

Point 1 - EN5+LM2-3 - thickening 6mm on 20mm plate

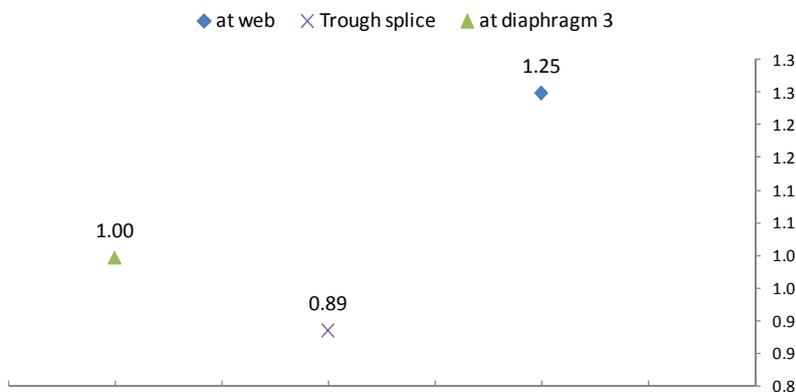


Figura 11-23 Fattore di concentrazione delle sollecitazioni SCF utilizzato per il cassone CF6

Nelle campate dove è necessario il rinforzo locale, la verifica di fatica è stata eseguita aumentando

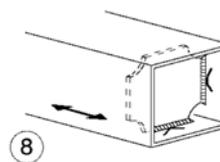
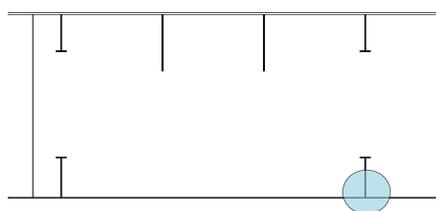
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica	<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

i valori delle sollecitazioni di 1,25 solamente nella connessione dell'anima del traverso alla piattabanda inferiore in quanto gli altri dettagli hanno SCF inferiore o uguale ad uno. Nessun fattore è stato applicato alle campate di 60m, in quanto l'SCF diminuisce con l'aumentare dello spessore della piastra; la sicurezza è garantita dall'elevato margine dei rapporti di utilizzo: Sul giunto di montaggio è uguale a 0,61 con classe aumentata a 100 Mpa, che dà una tolleranza per un $SCF=1/0.61=1.63$, e, in modo analogo, sul diaframma della campata centrale la tolleranza diventa $1/0,67=1.49$ considerando anche il miglioramento della saldatura.

11.3.4 Conclusioni

Mediante le analisi agli elementi finiti del cassone scatolare ferroviario, si è rilevato quali fattori di concentrazione delle sollecitazioni debbano essere applicati alle sollecitazioni per la verifica della fatica, che si basa sul modello trave BDAS. Di seguito, una descrizione dei dettagli interessati dal SCF.

DALLA PIATTABANDA INFERIORE ALLA SALDATURA DEL DIAFRAMMA- POSIZIONE 2

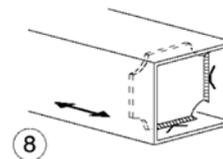
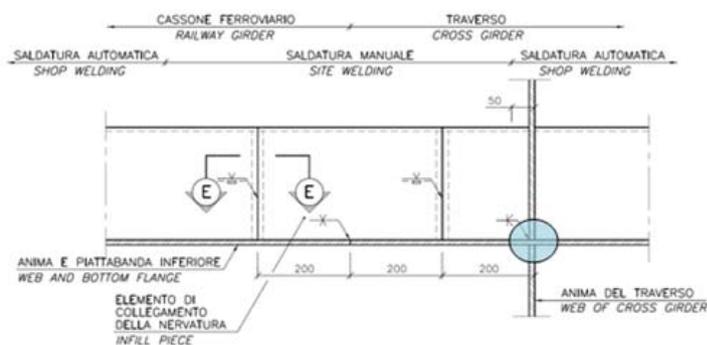


$\Delta\sigma_c$	$\Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_L$
80.0	58.9	32.4

$\Delta\sigma_{cwl}$	$\Delta\sigma_{Dwl}$	$\Delta\sigma_{Lwl}$
100.0	73.7	40.5

GIUNTO DI MONTAGGIO- DALL'ANIMA DEL TRAVERSO ALLA SALDATURA DELLA PIATTABANDA INFERIORE - POSIZIONE 3.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



$\Delta\sigma_c$	$\Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_L$
80.0	58.9	32.4

$\Delta\sigma_{CWI}$	$\Delta\sigma_{DWI}$	$\Delta\sigma_{LWI}$
100.0	73.7	40.5

L'SCF per il primo dettaglio "Dalla piattabanda inferiore alla saldatura del diaframma – posizione 2" uguale a 1,44 ha portato ad uno spessoramento locale di 5-6 mm lungo l'intero ponte, ad eccezione delle campate di 60 m. Come conseguenza, l'SCF dello stesso dettaglio è stato abbassato a 1,00.

Il secondo e il terzo dettaglio, con un SCF rispettivamente di 1,27 e 1,79 non richiedono nessun miglioramento nella campata centrale (da 12 a 107 incluso) e nemmeno nell'area della torre (campate 4, 5, 6, 113, 114 e 115).

Per tutte le altre campate, è stato sviluppato un miglioramento locale che porta ad una riduzione del SCF a 0,89- 1,00 per il dettaglio del giunto della nervatura e 1,24-1,25 per l'anima del traverso fino alla saldatura della piattabanda inferiore.

11.4 Categorie di dettaglio da fatica

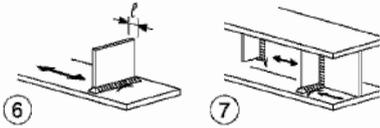
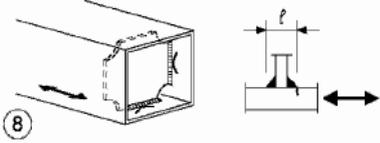
Ogni parte saldata è stata classificata conformemente ad EN 1993-1-9:2005 e EN 1993-2:2006.

11.4.1 Dettagli della piattabanda inferiore, stradale e ferroviaria

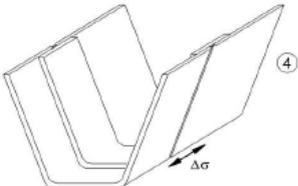
Nei calcoli sono stati considerati solamente i più onerosi per la verifica di fatica, e cioè:

1. La connessione del diaframma alla piattabanda inferiore. La saldatura corrisponde alla categoria di dettaglio 80, (EN1993-1-9 Tabella 8.4, dettaglio no.8).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

80	$t \leq 50\text{mm}$	
71	$50 < t \leq 80\text{mm}$	

2. La piattabanda inferiore fra i giunti in corrispondenza del giunto di montaggio e del giunto di fabbricazione (EN1993-1-9 Tabella 8.8, dettaglio no.4).

71	
----	--

11.4.2 Dettagli dell'impalcato stradale

Le analisi di fatica delle azioni locali nei punti A, B, C, D, E, F sono state eseguite utilizzando un modello locale IBDAS dell'impalcato ortotropico del ponte; per ulteriori informazioni, far riferimento al documento Principi generali di progettazione per l'impalcato sospeso, capitolo 10.9.2.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

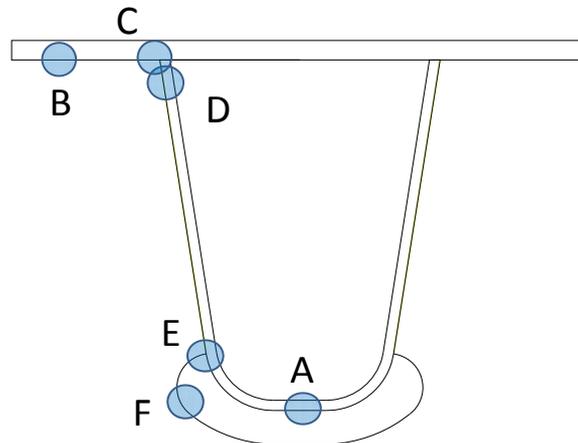


Figura 11-24 Dettagli dell'impalcato ortotropico stradale

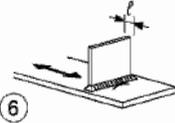
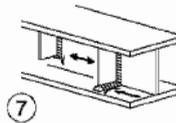
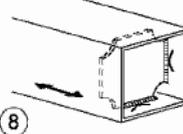
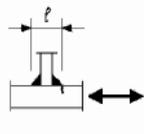
Gli accertamenti quanto alla fatica riguardano i seguenti dettagli:

1. Il Punto A rappresenta il cordone di saldatura a piena penetrazione con contro piastra. La saldatura corrisponde alla categoria di dettaglio 71, vedi EN1993-1-9 Tabella 8.8, dettaglio no.4.

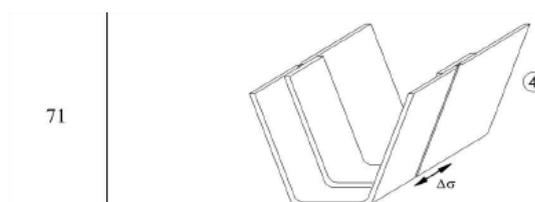


2. Il punto B rappresenta l'impalcato connesso al diaframma. La saldatura corrisponde alla categoria di dettaglio 80, vedi EN1993-1-9 Tabella 8.4, dettaglio no.8.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

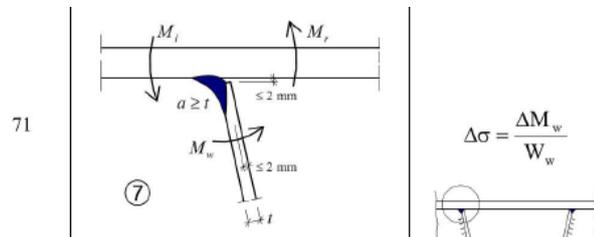
80	$t \leq 50\text{mm}$	 
71	$50 < t \leq 80\text{mm}$	 

3. Il punto C rappresenta la continuazione, nella piastra, della limitazione dovuta al giunto della nervatura; ciò avviene quindi solamente sui giunti strutturali (di montaggio e di fabbricazione). La categoria di dettaglio deve quindi rispettare la stessa limitazione del punto A. All'esterno del giunto strutturale rappresenta anche le sezioni in cui la saldatura mediante sovrapposizione delle nervature interseca un cordone di saldatura a piena penetrazione dell'impalcato, e viene prescritto un dettaglio di fatica di categoria 80, vedi EN1993-1-9 Tabella 8.3, dettaglio no.9 Nell'ultima configurazione, che è una saldatura di fabbricazione, la categoria deve essere aumentata a 112 MPa; siccome diventa quindi meno critica rispetto al dettaglio B, non è mai stata considerata.

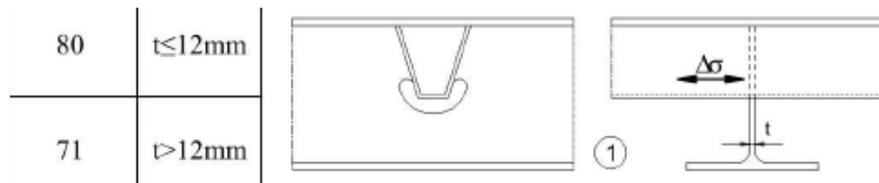


4. Il punto D rappresenta la saldatura che collega l'impalcato all'anima della nervatura. Essendo una saldatura a parziale penetrazione, è presente un momento flettente parassita addizionale, dovuto alla compressione nell'anima della nervatura e all'eccentricità della saldatura. Questo dettaglio è soggetto solamente ad effetti locali. La saldatura corrisponde alla categoria di dettaglio 71, vedi EN1993-1-9 Tabella 8.8, dettaglio no.7.

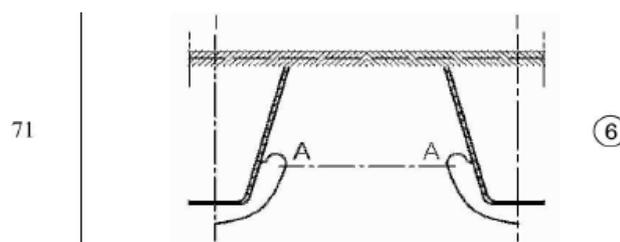
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011



5. Il punto E rappresenta la connessione fra la nervatura e l'apertura nel diaframma. Siccome lo spessore del diaframma è di 15 mm, la saldatura corrisponde alla categoria di dettaglio 71, vedi EN1993-1-9 Tabella 8.8, dettaglio no.1.



Il punto F rappresenta una estremità della sezione critica nel diaframma dovuta alle aperture. La lamiera dentata sul diaframma è soggetta solamente alle sollecitazioni dovute ai carichi stradali locali, e non è influenzata da altri effetti globali quali il carico del corrente stradale. Viene quindi verificata solamente sulla base del metodo di durata di vita illimitata. Lo stesso particolare è stato anche verificato presso l'anima del traverso; la verifica ha incluso anche gli effetti combinati del carico locale delle ruote e il carico globale della ferrovia.



I punti A e D sono stati controllati su punti specifici fra due diaframmi in quanto i risultati sul punto A sono stati utilizzati per ottimizzare la posizione dei giunti delle nervature, mentre il punto D deve essere rispettato in qualunque posizione fra i diaframmi; per ulteriori informazioni, vedi il modello locale FE stradale nel documento Principi generali di progettazione per l'impalcato sospeso, capitolo 10.9.2. I punti B, E ed F sono stato verificati solamente nelle posizioni dei diaframmi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

11.4.3 Dettagli dell'impalcato ferroviario

Le analisi di fatica delle azioni locali dei punti WA e WB sono state eseguite mediante un modello locale IBDAS dell'irrigidimento a T, inclusa la lamiera efficace superiore: far riferimento al documento Principi generali di progettazione per l'impalcato sospeso, capitolo 10.9.4.

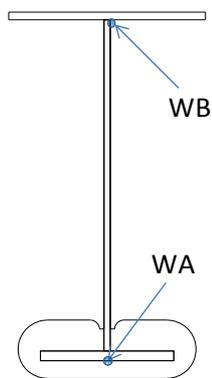


Figura 11-25 Dettagli dell'impalcato ortotropico ferroviario

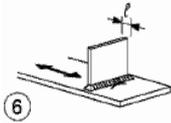
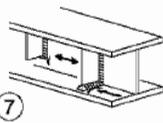
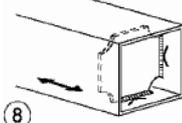
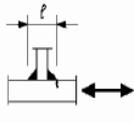
L'accertamento per la fatica riguarda i seguenti dettagli nelle vicinanze dei giunti strutturali:

1. Il punto WA rappresenta la saldatura longitudinale a sovrapposizione con un'altezza di foro delle nervature non superiore a 60 mm. La saldatura corrisponde alla categoria di dettaglio 71, vedi EN1993-1-9 Tabella 8.2, dettaglio no.9.



2. Il punto Wb rappresenta la sommità dell'anima dell'irrigidimento connessa sia ai diaframmi principali che ai diaframmi intermedi. Categoria di dettaglio 80, vedi EN1993-1-9 Tabella 8.4, dettaglio no.8.

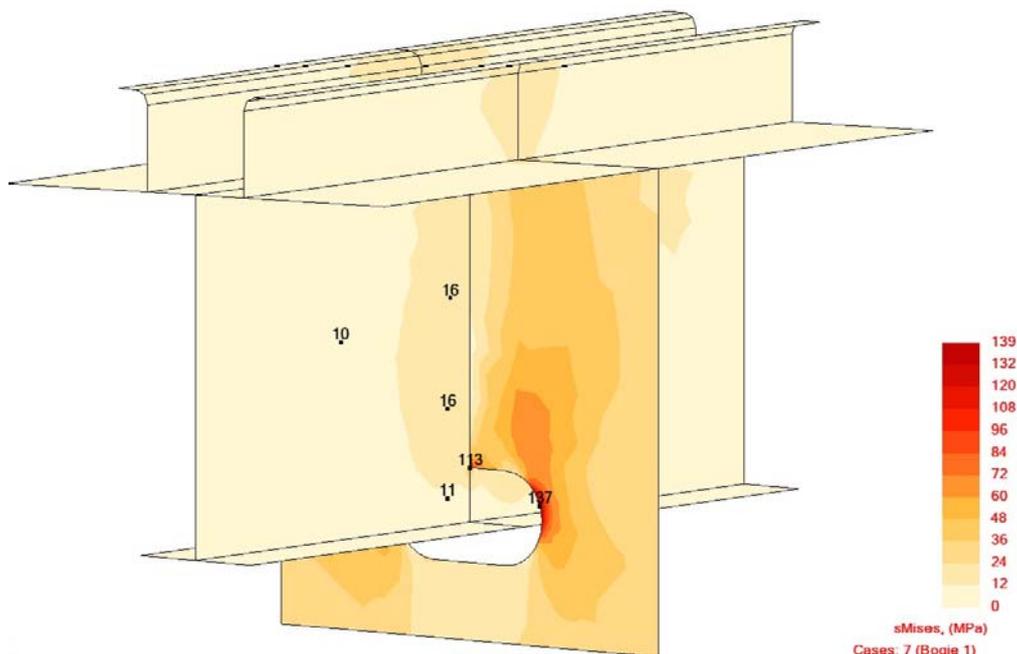
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

80	$t \leq 50\text{mm}$	 
71	$50 < t \leq 80\text{mm}$	 

MODELLO FE LOCALE DEL SUPPORTO DELLE TRAVI A T

E' stato costruito un modello locale FE allo scopo di verificare le sollecitazioni da fatica nel supporto delle travi a T nel cassone ferroviario. Il modello consiste di una trave a T assieme ad una parte dell'impalcato del ponte e del diaframma. Il peso applicato è un carico del carrello dal treno EN5 con una distanza di 1,8m fra gli assi Il carico del carrello viene posizionato in tre diverse posizioni ricercando il massimo livello delle sollecitazioni nel diaframma 1 mm. Il massimo livello delle sollecitazioni nel diaframma viene ottenuto applicando un asse direttamente sul diaframma centrale, e due assi in modo simmetrico da ciascun lato.

Alla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** è illustrato un grafico delle sollecitazioni di von Mises per il caso di carico descritto sopra.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica	<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Figura 11-26 Grafico delle sollecitazioni di von Mises per il diaframma e la trave a T

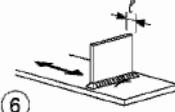
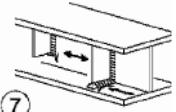
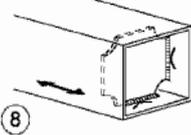
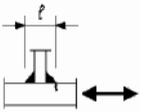
Nella connessione fra l'anima della trave a T e il diaframma, le sollecitazioni di Von Mises raggiungono un livello di picco di 113 Mpa. A causa della geometria, una vera concentrazione locale delle sollecitazioni si verifica con il valore di cresta per la sollecitazione normale in direzione trasversale, dove il diaframma è connesso all'anima della trave a T. Il layout del dettaglio sarà ulteriormente studiato nel Progetto Esecutivo, in cui per il dettaglio verranno eseguiti anche i test di fatica.

Il raccordo nell'apertura del diaframma ha una massima sollecitazione di Von Mises di 137 Mpa, e corrisponde alla categoria di dettaglio 125. La sollecitazione di compressione nel punto può essere ridotta per il dettaglio non saldato in base alla norma EN 1993-1-9, clausola 7.2, e il livello di sollecitazione è accettabile rispetto alla fatica.

11.4.4 Dettagli del traverso

Nei calcoli seguenti sono stati considerati solamente i più onerosi per la verifica di fatica, e cioè:

1. Le connessioni saldate dei diaframmi del traverso alla piattabanda superiore, a quella inferiore o all'anima. La saldatura corrisponde alla categoria di dettaglio 80, vedi EN1993-1-9 Tabella 8,4, dettaglio no.8.

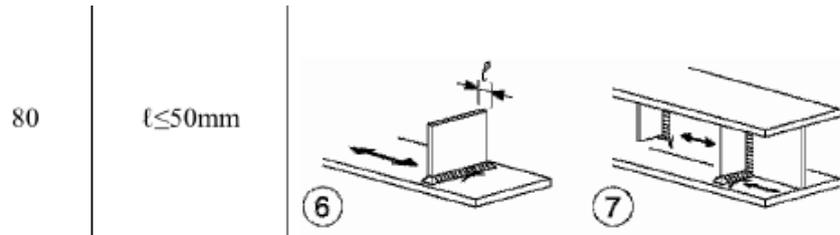
80	$t \leq 50\text{mm}$	 
71	$50 < t \leq 80\text{mm}$	 

11.4.5 Miglioramento della saldatura

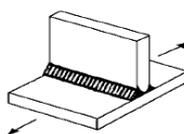
Le verifiche dei cassoni stradale, ferroviario e del traverso richiede il miglioramento di alcune delle connessioni saldate mediante smerigliatura del piede per renderlo liscio. Le connessioni del

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

diaframma del traverso alla piattabanda superiore, a quella inferiore e all'anima corrispondono alla categoria di dettaglio 80 secondo la EN1993-1-9 Tabella 8.4, dettaglio no.8



Questa saldatura può comunque essere migliorata mediante smerigliatura a piano del piede, ottenendo quindi una categoria di dettaglio 100 secondo le “Raccomandazioni per la progettazione riguardo la fatica dei giunti saldati e dei componenti”, istituto internazionale delle saldature, doc. XIII-2151-07/XV-1254-07, Maggio 2007.

511		Transverse non-load-carrying attachment, not thicker than main plate K-butt weld, toe ground Two sided fillets, toe ground Fillet weld(s), as welded thicker than main plate	100 100- 80 71
-----	---	--	-------------------------

11.4.6 Traverso- verifica

Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. Illustra i più alti rapporti di utilizzo nella piattabanda superiore ed inferiore per ogni traverso e il danno associato secondo la somma di Miner.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	Rev F0	Data 20-06-2011

Tabella 11-8 Riassunto delle verifiche da fatica, cassone ferroviario

Section	s-coord (IBDAS)	Type	Method	Bottom plate	Top plate
27	-990	T1	U.L.: $\Delta\sigma \cdot \gamma_{MF} / \Delta\sigma_D$	0.998	0.971
			Miner: $\sum n_i / N_i + 0.05$	0.322	0.258
8	-1560	T1	U.L.: $\Delta\sigma \cdot \gamma_{MF} / \Delta\sigma_D$	0.990	0.978
			Miner: $\sum n_i / N_i + 0.05$	0.299	0.262
7	-1590	T3	U.L.: $\Delta\sigma \cdot \gamma_{MF} / \Delta\sigma_D$	0.888	0.852
			Miner: $\sum n_i / N_i + 0.05$	0.188	0.154
6	-1620	T4b	U.L.: $\Delta\sigma \cdot \gamma_{MF} / \Delta\sigma_D$	0.789	0.708
			Miner: $\sum n_i / N_i + 0.05$	0.119	0.093
5	-1680	T4a	U.L.: $\Delta\sigma \cdot \gamma_{MF} / \Delta\sigma_D$	0.766	0.610
			Miner: $\sum n_i / N_i + 0.05$	0.113	0.067
4	-1710	T3	U.L.: $\Delta\sigma \cdot \gamma_{MF} / \Delta\sigma_D$	0.870	0.757
			Miner: $\sum n_i / N_i + 0.05$	0.172	0.110
3	-1740	T1	U.L.: $\Delta\sigma \cdot \gamma_{MF} / \Delta\sigma_D$	0.860	0.742
			Miner: $\sum n_i / N_i + 0.05$	0.168	0.105
2	-1770	T6	U.L.: $\Delta\sigma \cdot \gamma_{MF} / \Delta\sigma_D$	0.585	0.694
			Miner: $\sum n_i / N_i + 0.05$	0.066	0.082
1	-1817.75	T7	U.L.: $\Delta\sigma \cdot \gamma_{MF} / \Delta\sigma_D$	0.995	0.962
			Miner: $\sum n_i / N_i + 0.05$	0.289	0.252

11.4.7 Cassone ferroviario - Verifica

Alla Alla **Errore. L'autoriferimento non è valido per un segnalibro.** è indicato il riassunto dei risultati più onerosi per ciascun elemento. Ciò riassume tutte le campate analizzate sulla campata principale, sulla posizione della torre e sulle campate laterali, e considera i dettagli costruttivi con il più alto coefficiente di utilizzo basandosi sul metodo della durata di vita illimitata.

è indicato il riassunto dei risultati più onerosi per ciascun elemento. Ciò riassume tutte le campate analizzate sulla campata principale, sulla posizione della torre e sulle campate laterali, e considera

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

i dettagli costruttivi con il più alto coefficiente di utilizzo basandosi sul metodo della durata di vita illimitata.

Tabella 11-9 Riassunto delle verifiche da fatica, cassone ferroviario

	detail	Bottom plate			Top Plate		
		Erection joint	At diaphragm	Shop joint	At diaphragm	Between diaphragm	Bottom of T beam
Main - spans 39, 28, 19, 12, 11, 10, 9, 8, 7 and 6	location	1	2	3	1 or 2	1 & 2	1
	span / ref	09/8.7.1.1	19/8.3.1.2	09/8.7.1.3	06/8.10.2.1	06/8.10.2.2	06/8.10.2.3
	$\Delta\sigma^*\gamma_{MF}/\Delta\sigma_D$	0.991	0.962	0.987	0.980	0.996	0.868
	$\Sigma n_i/N_i + 0.05$	0.579	0.671	0.542	0.370	0.357	0.245
Tower - span 5	location	1	2	3	3	3	1
	ref	05/8.11.1.1	05/8.11.1.2	05/8.11.1.3	05/8.11.2.4	05/8.11.2.5	05/8.11.2.3
	$\Delta\sigma^*\gamma_{MF}/\Delta\sigma_D$	0.761	0.840	0.765	0.838	0.877	0.710
	$\Sigma n_i/N_i + 0.05$	0.150	0.230	0.137	0.167	0.183	0.112
Side - spans 0, 1, 2, 3 and 4	location	1	2	3	1 or 2	3	3
	span / ref	02/8.14.1.1	03/8.13.1.1	02/8.14.1.3	01/8.15.2.1	00/8.16.2.4	00/8.16.2.5
	$\Delta\sigma^*\gamma_{MF}/\Delta\sigma_D$	0.988	0.959	0.880	0.991	0.995	0.909
	$\Sigma n_i/N_i + 0.05$	0.454	0.390	0.277	0.395	0.335	0.261

11.4.8 Cassone stradale - Verifica

Alla **Errore. L'autoriferimento non è valido per un segnalibro.** è indicato il riassunto dei risultati più onerosi per ciascun elemento. Ciò riassume tutte le campate analizzate sulla campata principale, sulla posizione della torre e sulle campate laterali, e considera i dettagli costruttivi con il più alto coefficiente di utilizzo basandosi sul metodo della durata di vita illimitata.

Tabella 11-10 Riassunto delle verifiche da fatica, cassone stradale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	<i>Rev</i> <i>F0</i>	<i>Data</i> <i>20-06-2011</i>

	detail	Bottom plate			Top plate		
		Erection joint	At diaphragm	Shop joint	Point C	Point A	Point E
Main - spans 39, 28, 19, 12, 11, 10, 9, 8, 7 and 6	location	1	2	3	1 & 2	3	1 & 2
	span / ref	11/7.5.1.1	12/7.4.1.2	12/7.4.1.3	09/7.7.2.2	09/7.7.2.11	09/7.7.2.6
	$\Delta\sigma^*\gamma_{MF}/\Delta\sigma_D$	0.986	0.970	0.994	0.777	0.772	0.826
	$\Sigma n_i/N_i + 0.05$	0.420	0.417	0.526	0.065	0.188	0.096
tower - span 5	location	NA	2	NA	NA	NA	NA
	ref		7.11				
	$\Delta\sigma^*\gamma_{MF}/\Delta\sigma_D$		0.572				
	$\Sigma n_i/N_i + 0.05$		0.050				
side - spans 1, 2, 3 and 4	location	1	2	3	3	3	3
	span / ref	02/7.14.1.1	04/7.12.1.2	02/7.14.1.3	02/7.14.2.8	01\7.15.2.11	01/7.15.2.12
	$\Delta\sigma^*\gamma_{MF}/\Delta\sigma_D$	0.974	0.959	0.998	0.812	0.792	0.841
	$\Sigma n_i/N_i + 0.05$	0.342	0.317	0.403	0.073	0.194	0.100

11.4.9 Verifica dell'ancoraggio dei pendini

Il modello locale FE dell'ancoraggio dei pendini illustrato alla Figura 11-27 Posizione dei punti di sollecitazione per la valutazione della fatica dell'ancoraggio del pendino

viene utilizzato per determinare le sollecitazioni locali della fatica nell'ancoraggio del pendino. Il range della forza applicata dalla reazione del pendino e il range di rotazione sono ottenuti dal modello globale IBDAS. Il range della forza del pendino è applicato al foro del perno in tre punti, come un'applicazione simultanea di carico stradale e ferroviario. Il contributo al carico della ferrovia viene determinato come il passaggio di un treno EN5 sul binario più vicino all'ancoraggio del pendino considerato e il contributo del traffico stradale preso come un modello di carico 2, veicolo 3. Per le sollecitazioni da fatica sono controllati quattro punti differenti, come illustrato alla Figura 11-27 Posizione dei punti di sollecitazione per la valutazione della fatica dell'ancoraggio del pendino

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

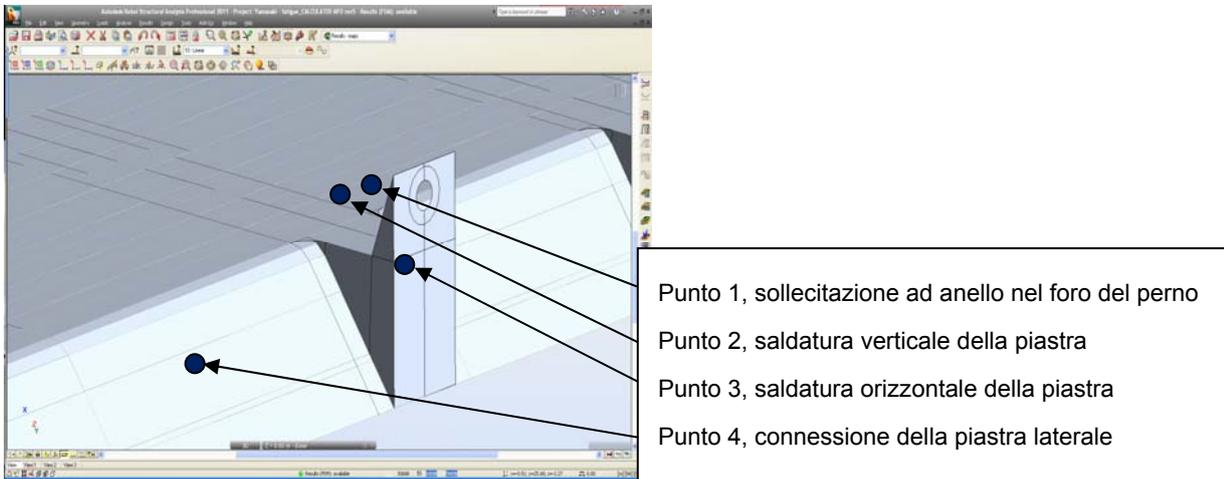


Figura 11-27 Posizione dei punti di sollecitazione per la valutazione della fatica dell'ancoraggio del pendino

Per valutare le sollecitazioni nei punti da 1 a 3, un grafico delle sollecitazioni di von Mises nel pendino è illustrato alla Figura 11-28 Sollecitazioni di von Mises per fatica nella piastra di ancoraggio

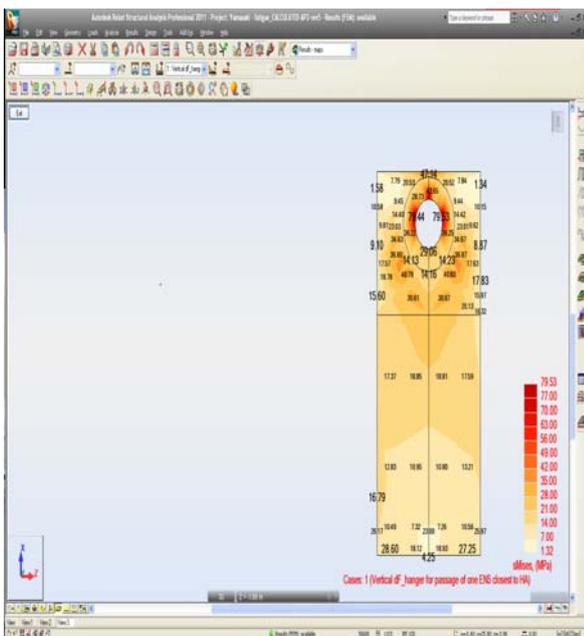


Figura 11-28 Sollecitazioni di von Mises per fatica nella piastra di ancoraggio

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Per valutare le sollecitazioni nel punto 4, un grafico delle sollecitazioni di von Mises nella piastra laterale è illustrato alla Figura 11-29 Sollecitazioni di Von Mises per la fatica nella piastra laterale

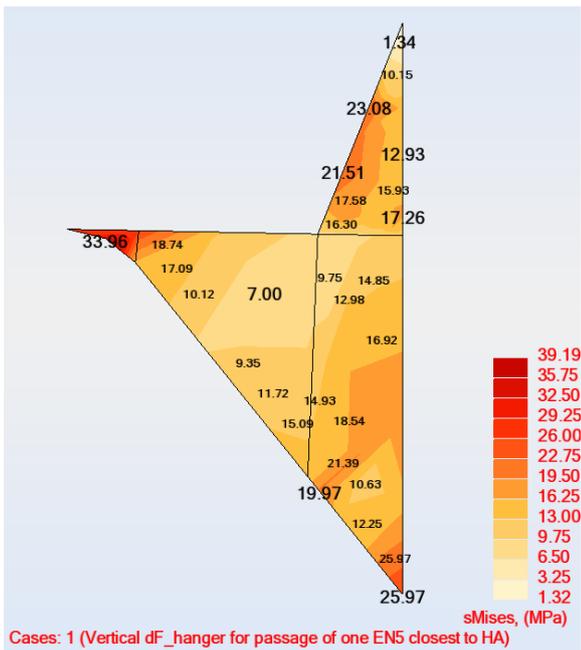


Figura 11-29 Sollecitazioni di Von Mises per la fatica nella piastra laterale

11.4.10 Sistema delle articolazioni: Struttura X

Sono state verificate varie sezioni della struttura X: Comprendono tutte le colonne/I collegamenti che formano la disposizione del supporto sulla torre come illustrato nella figura seguente. Scopo principale della struttura, è limitare la grande deformazione longitudinale e trasversale del ponte dovuta principalmente ad azioni non antropiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	Rev F0	Data 20-06-2011

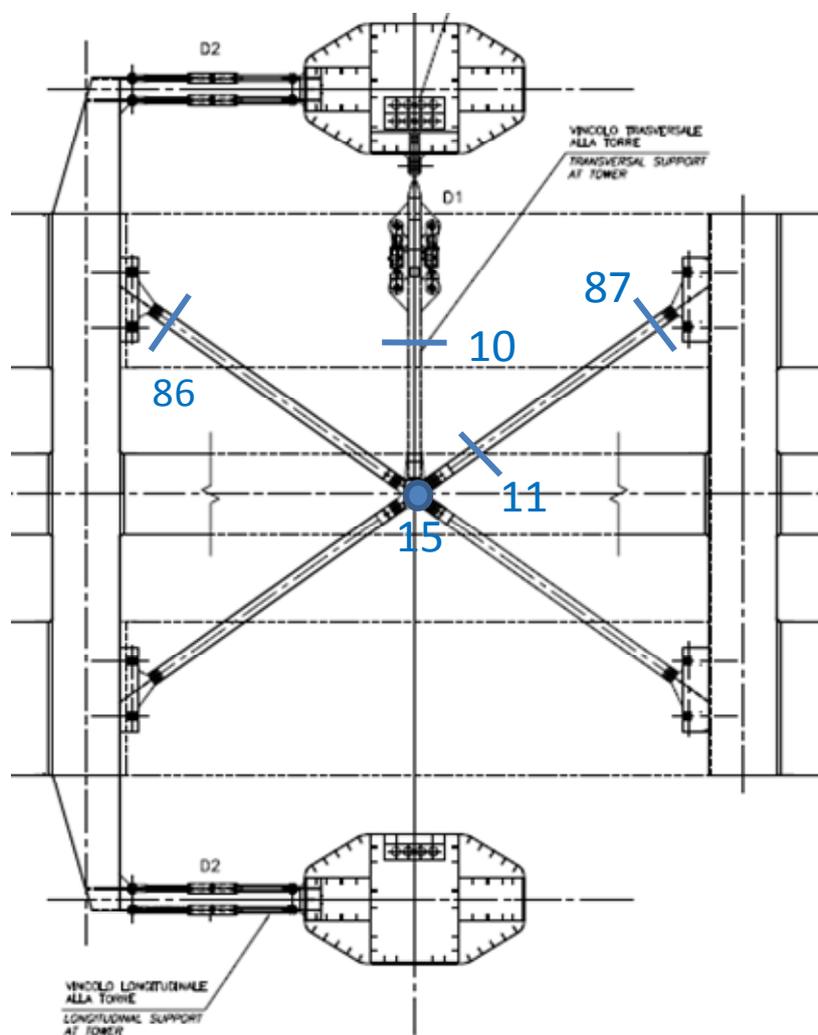


Figura 11-30 Sezioni da verificare nella struttura X-

Sono stati studiati sia la somma del danno di Miner che gli effetti indotti dal vento; tutti i punti erano accettabili e al disotto di un rapporto di utilizzo di 1.

12 Speciali ricerche di progetto

Come ricerche speciali di progetto sono state considerate le seguenti situazioni di carico allo stato limite ultimo (ULS)

- Sostituzione del pendino

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

- Rottura del pendino (ALS nelle combinazioni dei carichi allo stato limite ultimo ULS)

Tutti i risultati presentati nella relazione sono una ricerca preliminare condotta basandosi sul modello trave globale IBDAS versione 3.3.

12.1 Sostituzione del pendino

L'operazione di sostituzione dei pendini è stata verificata utilizzando ADVERS in poche posizioni del ponte. Un'operazione di sostituzione dei pendini senza l'uso di pendini temporanei e senza influenzare la struttura dell'impalcato e causare danni strutturali si è dimostrata essere fattibile solamente in posizioni della campata principale. Il risultato della sostituzione del pendino 5 sulla campata drop-in è fornito alla Figura 12-1 risultati ADVERS per il cassone stradale – sostituzione del pendino 5

, che mostra seri problemi nel corrente stradale. Dal momento che anche una tale strategia di sostituzione causerebbe un effetto di carico avverso nei pendini adiacenti, si è concluso che sarebbe più fattibile una strategia di sostituzione che utilizzasse pendini temporanei, e sarà adottata per il ponte sullo stretto di Messina.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		Codice documento PS0075_F0_ITA.docx	Rev F0	Data 20-06-2011

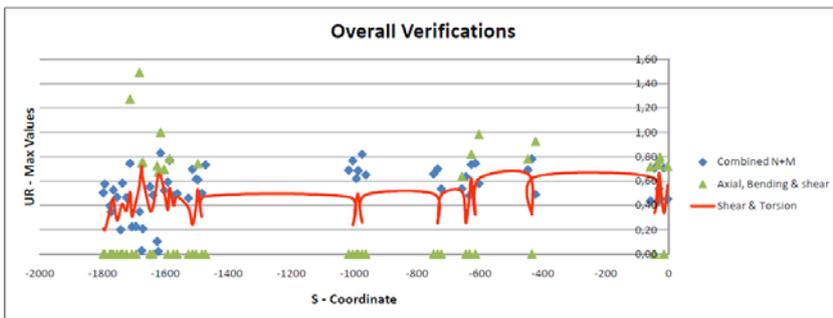
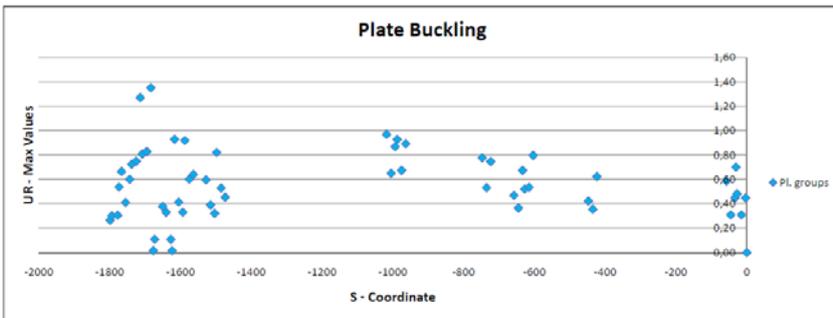
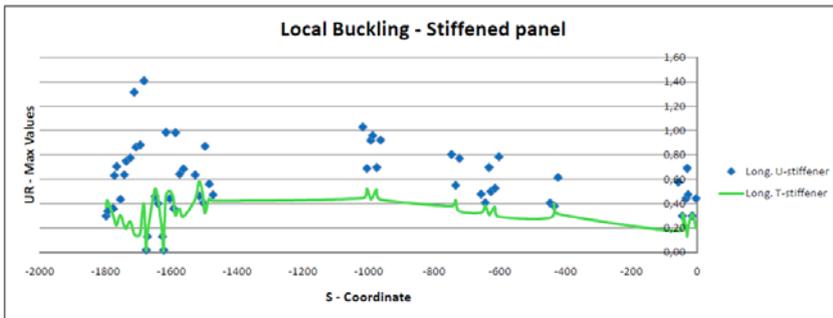
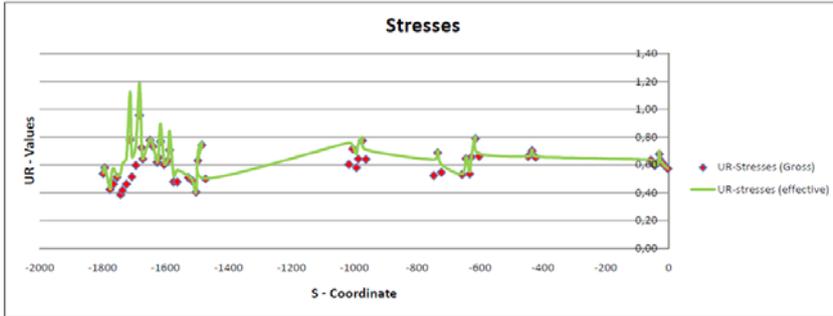


Figura 12-1 risultati ADVERS per il cassone stradale – sostituzione del pendino 5

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
Relazione tecnica specialistica	Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	Rev F0	Data 20-06-2011

12.2 Rottura del pendino

Le analisi in IBDAS sono state condotte nella regione dinamica, presupponendo una rottura istantanea e simultanea di entrambi i pendini. L'effetto di tutto ciò sull'impalcato sospeso è stato verificato utilizzando il foglio di calcolo ADVERS e le forze di sezione calcolate nel modello globale IBDAS.

Per la verifica della struttura dell'impalcato sospeso durante la rottura dei pendini, sono state selezionate alcune varie posizioni nella campata laterale e attorno alle torri, vedi Figura 12-2
Posizione dei pendini considerati per la rottura

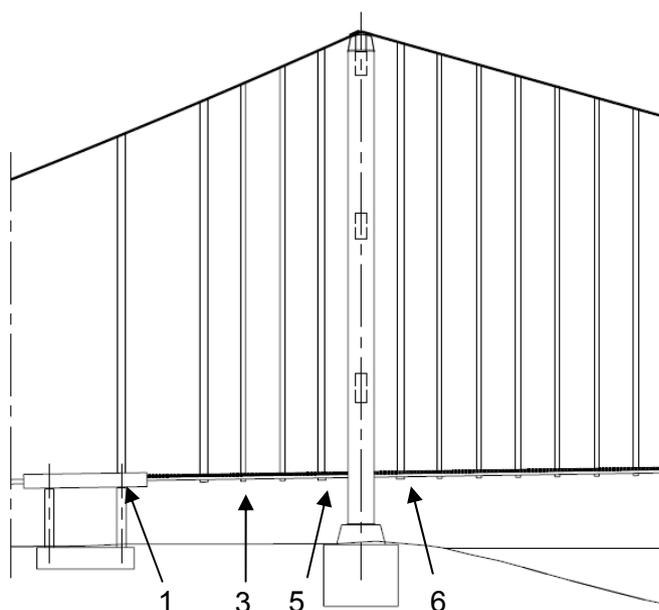


Figura 12-2 Posizione dei pendini considerati per la rottura

Tale posizione è stata scelta a causa del fatto che i maggiori effetti dinamici si verificano proprio in questa posizione. Le parti più critiche sono il pendino tie-down e i pendini attorno alla campata drop-in di 60 m, in quanto la campata del corrente aumenterebbe in modo significativo dopo la rottura. La rottura del pendino è più grave per il cassone stradale: il risultato per il pendino 1 è dato alla Figura 12-3 risultati ADVERS per il cassone stradale – rottura del pendino 1

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">Relazione tecnica specialistica</p>		<p><i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20-06-2011</p>

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione tecnica specialistica		Codice documento <i>PS0075_F0_ITA.docx</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Rev</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Data</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20-06-2011</td> </tr> </table>	Rev	Data	F0	20-06-2011
Rev	Data						
F0	20-06-2011						

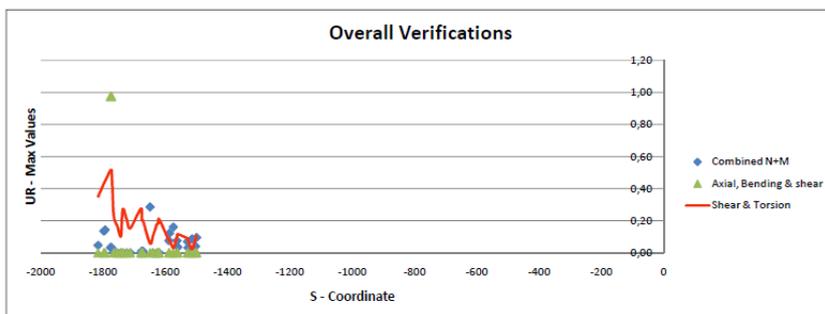
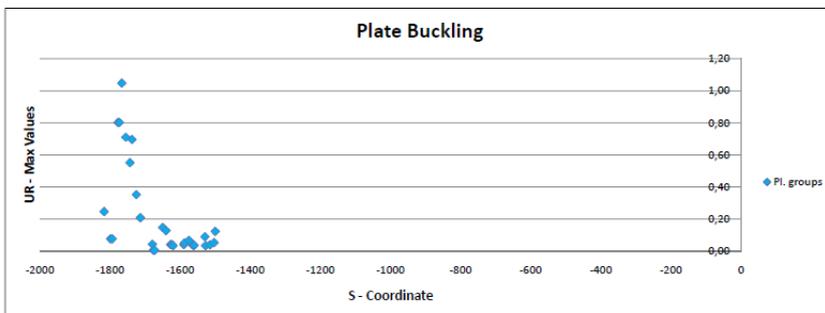
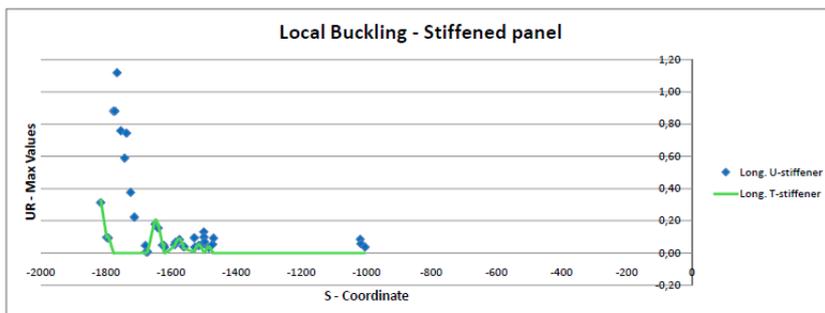
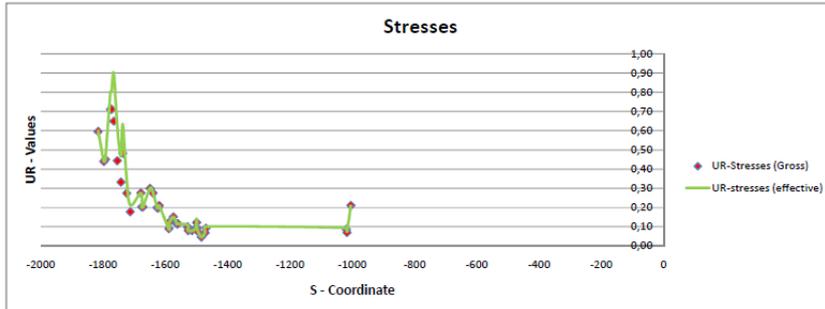


Figura 12-3 risultati ADVERS per il cassone stradale – rottura del pendino 1

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica specialistica		<i>Codice documento</i> PS0075_F0_ITA.docx	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Per la rottura del pendino 1 è stato calcolato un fattore di utilizzo $UR > 1,00$ per l'instabilità locale degli irrigidimenti. Questo calcolo tuttavia è per una posizione accanto all'anima nel traverso, nella quale l'instabilità non deve essere considerata; nel punto adiacente, non si verificano problemi di instabilità: il che indica che non esistono problemi.