

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 Dott. Ing. F. Colla Ordine Ingegneri Milano n° 20355 Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p> 	<p>IL CONTRAENTE GENERALE</p> <p>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>
--	--	---	--

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI SICILIA	PA0107_F0
<i>Tipo di sistema</i>	VIADOTTO PANTANO – INFRASTRUTTURA STRADALE/FERROVIARIA	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	OPERE CIVILI STRADALI/FERROVIARI	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	VIADOTTO	
<i>Titolo del documento</i>	Relazione di calcolo impalcato ferroviario	

CODICE	C	G	0	7	0	0	P	C	L	D	S	V	P	C	I	V	I	0	0	0	0	0	2	F0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	CONTARDI	SCIUTO	COLLA

NOME DEL FILE: PA0107_F0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

INDICE

INDICE.....	i
1 Introduzione	1
1.1 Scopo	1
1.2 Elaborati grafici di riferimento.....	1
1.3 Relazioni complementari	2
2 Viadotto Pantano: impalcato ferroviario.....	3
3 Normativa di riferimento.....	6
4 Caratteristiche dei materiali	7
5 Analisi dei carichi	10
5.1 Pesi propri degli elementi.....	10
5.1.1 Valutazione del coefficiente amplificativo del peso proprio	11
5.2 Pesi permanenti	12
5.3 Sovraccarichi variabili da traffico ferroviario e relativi coefficienti dinamici	13
5.3.1 LM 71	14
5.3.2 SW/2.....	16
5.3.3 Treno scarico.....	18
5.3.4 Coefficiente dinamico Φ	18
5.4 Vento.....	19
5.5 Avviamento.....	21
5.6 Frenatura.....	22
5.7 Centrifuga.....	23
5.8 Serpeggio.....	27
5.9 Viscosità del calcestruzzo	28
5.10 Ritiro del calcestruzzo	29
5.11 Variazioni termiche.....	29
5.12 Combinazione delle azioni	30
6 Impalcato: effetti globali	44
6.1 Modello di calcolo.....	44
6.2 Verifiche	45
6.2.1 Metodologia di verifica.....	46
6.2.2 Proprietà delle sezioni e distribuzione delle sollecitazioni sui pannelli.....	48

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

6.2.3	Tabelle riepilogative dei coefficienti d'uso per verifiche allo SLU fasi costruttive.....	53
6.2.4	Tabelle riepilogative dei coefficienti d'uso per verifiche allo SLU a lungo termine.....	57
6.2.5	Verifica dei pannelli più sollecitati allo SLU a lungo termine.....	62
6.2.5.1	Pannello A1 (anime).....	62
6.2.5.2	Pannello B1 (anime).....	69
6.2.5.3	Pannello A (anime).....	76
6.2.5.4	Pannello B (anime).....	83
6.2.5.5	Pannello D (piattabanda inferiore).....	90
6.2.5.6	Pannello G (piattabanda superiore).....	95
6.2.6	Compressione nella soletta.....	98
6.3	Verifica dei connettori.....	99
6.4	Verifica dei trasversi.....	104
6.5	Verifica di instabilità laterale.....	112
6.6	Verifica d'inflessione nel piano verticale dell'impalcato.....	116
6.7	Deformazioni torsionali e inflessione nel piano orizzontale dell'impalcato.....	117
7	Impalcato: effetti locali.....	121
7.1	Predalle.....	122
7.1.1	Analisi delle sollecitazioni in fase di getto.....	122
7.1.2	Predalle: soletta $H_{tot}=0.42$ m.....	123
7.1.3	Verifiche di resistenza.....	123
7.2	Soletta in cemento armato.....	125
7.2.1	Analisi delle sollecitazioni in fase di esercizio.....	125
7.2.1.1	Modello di calcolo.....	125
7.2.2	Pesi propri e sovraccarichi permanenti.....	126
7.2.2.1	Sovraccarichi accidentali ferroviari e relativi incrementi dinamici.....	127
7.2.2.2	Serpeggio.....	136
7.2.2.3	Deragliamenti.....	141
7.2.2.4	Variazioni termiche.....	147
7.2.2.5	Vento.....	149
7.3	Combinazione delle azioni.....	155
7.3.1	Verifiche di resistenza della soletta.....	159
7.3.1.1	Sezione M^+	159
7.3.1.2	Sezione M^-	163

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

8	Verifiche a fatica	169
8.1	Identificazione e classificazione dei dettagli.....	170
8.1.1	Aste reticolari.....	170
8.1.2	Saldatura fra i vari conci (piattabanda inferiore).....	171
8.1.3	Attacchi in corrispondenza dei trasversi (piattabanda inferiore).....	171
8.2	Carichi da fatica.....	173
8.2.1	Carichi accidentali	173
8.2.2	Coefficiente dinamico reale	Errore. Il segnalibro non è definito.
8.2.2.1	Calcolo del coefficiente dinamico per gli effetti locali.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
8.2.2.2	Calcolo del coefficiente dinamico per gli effetti globali.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
8.2.3	Influenza del doppio binario	Errore. Il segnalibro non è definito.
8.3	Determinazione delle sollecitazioni sulle aste reticolari.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
8.3.1.1	Carichi accidentali ferroviari da fatica e relativi incrementi dinamici.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
8.3.2	Verifica a fatica del diagonale	173
8.4	Determinazione delle sollecitazioni sulle saldature fra i conci e in corrispondenza dei trasversi.....	176
9	Escursione dei giunti.....	178
10	Effetti d'interazione statica treno-binario-struttura.....	181
10.1	Metodologia di valutazione degli effetti d'interazione treno-binario-struttura	182
10.2	Caso test	185
10.3	Modello del viadotto Pantano	187

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

1 Introduzione

La presente relazione descrive i principi di progettazione, le analisi e le verifiche svolte nel progetto dell'impalcato ferroviario del viadotto Pantano.

Per tutti gli elementi sono state condotte verifiche sia allo stato limite ultimo che allo stato limite d'esercizio, per gli elementi di acciaio sono state effettuate anche le verifiche a fatica a vita illimitata.

1.1 Scopo

Lo scopo del presente documento è di fornire una descrizione dell'opera e dei materiali con cui è stata concepita, di riportare le normative impiegate nella progettazione e di descrivere tutte le analisi effettuate e le azioni impiegate per svolgere le verifiche richieste dalla norma applicata.

1.2 Elaborati grafici di riferimento

Tavole generali	
CG0700-P-P8-D-S-VP-CI-VI-000000-01	Planimetria individuazione dell'opera
Sottostrutture e opere provvisionali	
CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-02	Carpenteria spalla 2/3
CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-05	Opere provvisionali spalla
CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-06	Carpenteria Pila 1 tav. 1/2
CG0700-P-BA-D-S-VP-CI-VI-000000-10	Opere provvisionali pila 1
Sovrastrutture	
CG0700-P-P9-D-S-VP-CI-VI-000000-01	Pianta impalcato stradale dir. ME e dir. RC 1/3
CG0700-P-P9-D-S-VP-CI-VI-000000-04	Prospetti longitudinali impalcato stradale dir. ME e dir. RC 1/3
CG0700-P-P9-D-S-VP-CI-VI-000000-07	Pianta impalcato e prospetto longitudinale impalcato ferroviario 1/3

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

CG0700-P-WA-D-S-VP-CI-VI-000000-01	Sezioni trasversali sugli appoggi 1/3
------------------------------------	---------------------------------------

1.3 Relazioni complementari

CG0700-P-RG-D-S-VP-CI-VI-000000-01	Relazione descrittiva
CG0700-P-CL-D-S-VP-CI-VI-000000-01	Relazione di calcolo impalcato stradale
CG0700-P-CL-D-S-VP-CI-VI-000000-03	Relazione di calcolo sottostrutture
CG0700-P-RB-D-S-VP-CI-VI-000000-01	Relazione geotecnica
CG0700-P-RX-D-S-VP-CI-VI-000000-01	Relazione sismica

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

2 Viadotto Pantano: impalcato ferroviario

L'impalcato ferroviario del Viadotto Pantano si sviluppa su 5 campate con interasse pile dalla struttura terminale alla spalla lato Messina misurati sul binario pari di: 68.50-78.50-78.50-78.50-75.0 per una lunghezza complessiva di circa 460 m.

L'impalcato ospita la linea ferroviaria a doppio binario in uscita dall'Opera di attraversamento lato Sicilia. L'armamento previsto è su ballast con traversine in calcestruzzo poste ad interasse di 0.60 m.

E' stata adottata per questo impalcato una sezione mista acciaio-calcestruzzo con una soletta superiore di altezza massima pari a 0.45 m gettata in opera su predalles di spessore pari a 0.05 m (spessore medio del calcestruzzo gettato in opera pari a 0.40 m).

La larghezza superiore del cassone è di 12.60 m. mentre quella della piattabanda inferiore è di 11.13 m.

Il cassone presenta un'altezza minima di 3.35 m. in corrispondenza degli appoggi per poi alzarsi subito dopo (4.10 m. dall'asse appoggi) fino a raggiungere un'altezza massima di 6.50 m.

Il cassone ha una struttura bicellulare con anime piene e trasversi reticolari disposti ad interasse di 5700 mm. Solo in corrispondenza degli appoggi sulle pile i trasversi sono pieni. Al livello delle piattabande superiori è presente un piano di controventamento per assorbire le azioni trasversali nella fase in cui la soletta non è reagente.

Il trasferimento delle azioni fra i due materiali, acciaio e calcestruzzo, è assicurato da connettori a taglio duttili tipo pioli Nelson. I pioli, in accordo alle istruzioni ferroviarie, sono disposti anche sul trasverso di testata.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

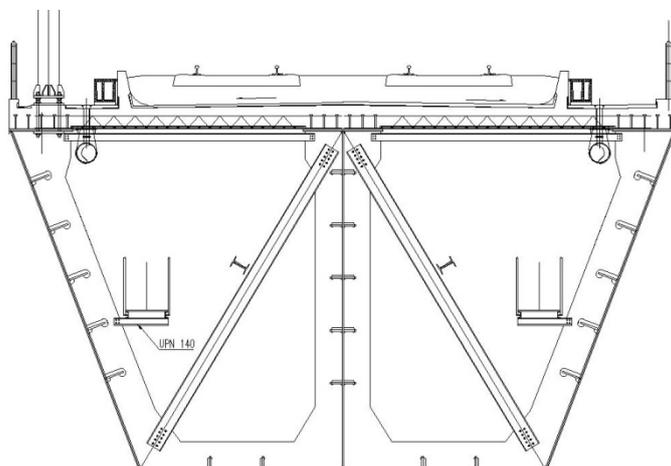


Figura 1: sezione trasversale dell'impalcato ferroviario

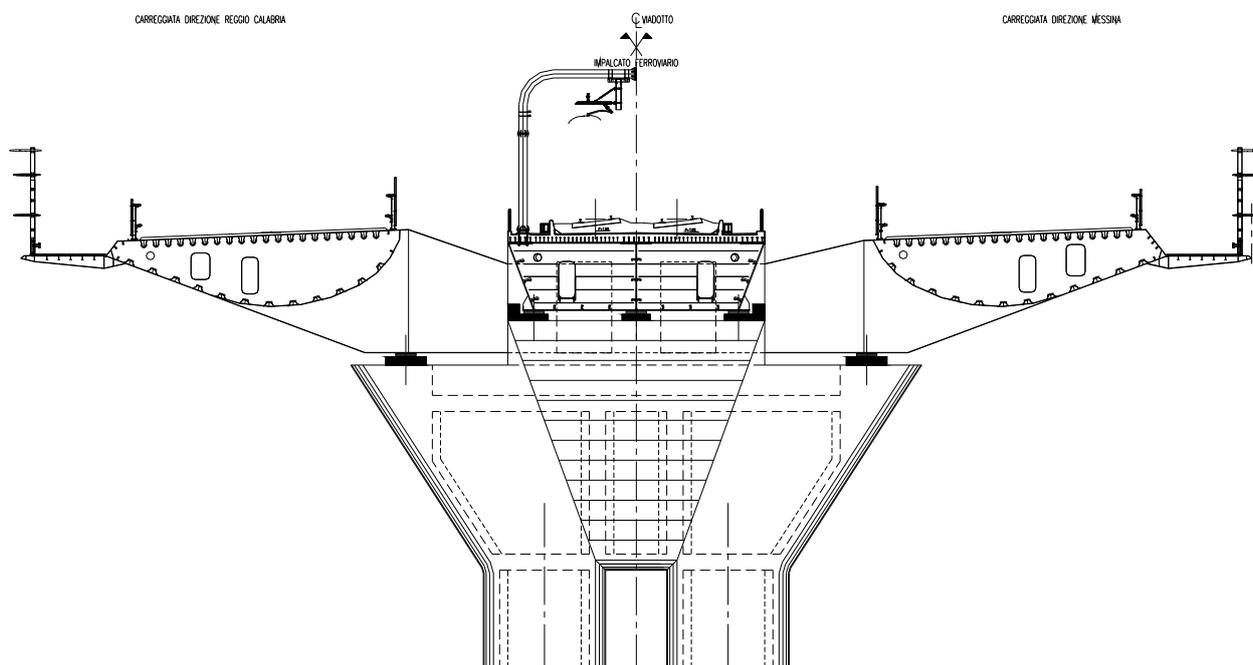


Figura 2: sezione trasversale dell'impalcato ferroviario e stradale in corrispondenza della pila

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

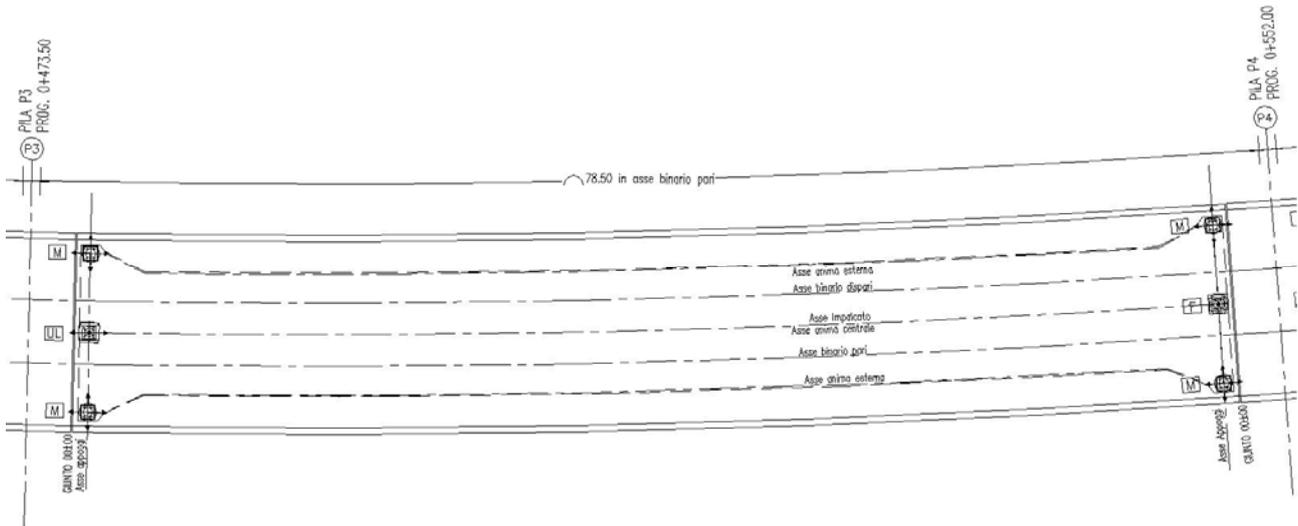


Figura 3: schema vincolare campata ferroviaria

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

3 Normativa di riferimento

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le prescrizioni contenute nelle seguenti normative:

Decreto Ministeriale 14.01.2008	"Norme tecniche per le costruzioni" 2008 (NTC08).
Circ. Min. 02.02.2009 n. 617	Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (NTC08)
EN 1993 - Eurocodice 3: Parte 1-1	Progettazione delle strutture di acciaio: Regole generali per gli edifici
EN 1993 - Eurocodice 3: Parte 1-5	Progettazione delle strutture di acciaio: Elementi strutturali a lastra
EN 1993 - Eurocodice 3: Parte 1-8	Progettazione delle strutture di acciaio: Progettazione dei collegamenti
EN 1993 - Eurocodice 3: Parte 1-9	Progettazione delle strutture di acciaio: Fatica
EN 1993 - Eurocodice 3: Parte 1-10	Progettazione delle strutture di acciaio: Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore
EN 1993 - Eurocodice 3: Parte 2	Ponti di acciaio
EN 1998 - Eurocodice 8	Progettazione delle strutture per la resistenza sismica
RFI-DTC-ICI-PO-SP-INF-001-A	Istruzione per la progettazione dei ponti ferroviari
Rete Ferroviaria Italia - Istruzione N. 44 F	"Verifiche a fatica dei ponti ferroviari"
Rete Ferroviaria Italia - Istruzione N. 44 B	"Istruzioni per la progettazione dei manufatti sotto binario da costruire in zona sismica"

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

4 Caratteristiche dei materiali

In questo capitolo sono elencate le caratteristiche di resistenza e le specifiche tecniche per i materiali impiegati per la struttura.

CALCESTRUZZO PER SOLETTA E CORDOLI IMPALCATO FERROVIARIO, MURI PARABALLAST E LASTRE TRALICCIATE

Classe C35/45			
$R_{ck} =$	45.00	Mpa	resistenza caratteristica a compressione cubica
$f_{ck} =$	35.00	Mpa	resistenza caratteristica a compressione cilindrica
$f_{cm} =$	43	Mpa	resistenza caratteristica a compressione media
$f_{ctk} =$	2.24	Mpa	resistenza caratteristica a trazione
$f_{tcm} =$	3.2	Mpa	resistenza media a trazione semplice
E_{cm}	34077	Mpa	modulo elastico istantaneo
$\gamma_M =$	1.5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{cd} =$	20	Mpa	resistenza di progetto
A/C_{max}	0.45	-	massimo rapporto A/C
$D =$	20	mm	dimensione massima aggregato
	XS1 – XF4	-	Classe di esposizione (UNI 11104 e UNI 206-1)

ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE

B 450 C			
$f_{yk} =$	450.0	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} =$	540	MPa	tensione caratteristica a rottura
$\gamma_M =$	1.15	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU elastico
$f_{yd} =$	391.3	MPa	resistenza di progetto
$E_s =$	206000	MPa	modulo elastico
$\epsilon_{uk} =$	7.5	%	deformazione caratteristica al carico massimo
$\epsilon_{ud} =$	6.75	%	deformazione di progetto

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA IMPALCATO (elementi saldati $s \leq 40$ mm)

S 355J2G3 UNI EN 10025			
$f_{yk} =$	355	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_u =$	510	MPa	tensione caratteristica a rottura
$\gamma_M =$	1.05	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU elastico
$f_{vd} =$	338	MPa	resistenza di progetto
$E_s =$	210000	MPa	modulo elastico
$\epsilon_{uk} =$	21	%	Allungamento minimo

ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA IMPALCATO (elementi saldati $s > 40$ mm)

S 355K2G3 (ex 510 DD) UNI EN 10025			
$f_{yk} =$	335	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_u =$	470	MPa	tensione caratteristica a rottura
$\gamma_M =$	1.05	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU elastico
$f_{vd} =$	319	MPa	resistenza di progetto
$E_s =$	210000	MPa	modulo elastico
$\epsilon_{uk} =$	21	%	Allungamento minimo

ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA IMPALCATO (elementi non saldati)

S 355J0 (ex 510 C) UNI EN 10025			
$f_{yk} =$	355	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_u =$	510	MPa	tensione caratteristica a rottura
$\gamma_M =$	1.05	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU elastico
$f_{vd} =$	338	MPa	resistenza di progetto
$E_s =$	210000	MPa	modulo elastico
$\epsilon_{uk} =$	21	%	Allungamento minimo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

ACCIAIO PIOLI NELSON

Acciaio ST 37-3K (S235J2G3 + C450) UNI EN ISO 13918			
$f_{yk} \geq$	350	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_u \geq$	450	MPa	tensione caratteristica a rottura
$\gamma_M =$	1.05	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU elastico
$f_{vd} =$	333	MPa	resistenza di progetto
$E_s =$	210000	MPa	modulo elastico
$A \geq$	15	%	allungamento
$Z \geq$	50	%	strizione

ACCIAIO BULLONI E DADI

Acciaio ad alta resistenza secondo UNI 3740 e 20898 parte I e II

Vite: classe 10.9 (UNI 5712)

Dado: classe 10 (UNI 5713)

Rosette: acciaio C50 EN10083 (HRC 32-40) (UNI 5714)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

5 Analisi dei carichi

I carichi agenti sul viadotto sono qui sotto elencati.

- Pesi propri degli elementi
- Pesi permanenti
- Sovraccarichi variabili da traffico ferroviario e relativi coefficienti dinamici
- Avviamento
- Frenatura
- Centrifuga
- Serpeggio
- Vento
- Ritiro
- Temperatura

L'azione del sisma, dei cedimenti e della neve sono state valutate ma non sono state inserite tra le azioni di calcolo in quanto non dimensionanti in nessuna delle combinazioni esaminate.

5.1 Pesi propri degli elementi

Il peso proprio degli elementi strutturali (travi longitudinali, controventi, trasversi e soletta) è computato considerando un peso specifico pari a $\gamma_s=78.5 \text{ KN/m}^3$ per l'acciaio e $\gamma_{cis}=25.0 \text{ KN/m}^3$ per il calcestruzzo. Il peso proprio dell'impalcato metallico è stato determinato applicando un coefficiente amplificativo $f=1.60$ al peso effettivo delle travi principali per tenere conto degli elementi strutturali secondari (traversi, irrigidimenti trasversali, irrigidimenti longitudinali).

In particolare il peso proprio dell'impalcato metallico è stato inserito nel modello di calcolo considerando un carico distribuito che varia a secondo dell'area di acciaio complessiva di ciascun concio:

nome carico: CASSONE

	AREA [m ²]	PESO [kN/m]	PESO x 1.6 [kN/m]
CONCIO 0 inizio	0,4943	38,80	62,08

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

CONCIO 0 fine	0,6547	51,40	82,24
CONCIO 1	0,6547	51,40	82,24
CONCIO 2	0,6141	48,21	77,14
CONCIO 3	0,5910	46,39	74,23
CONCIO 4	0,6490	50,95	81,52

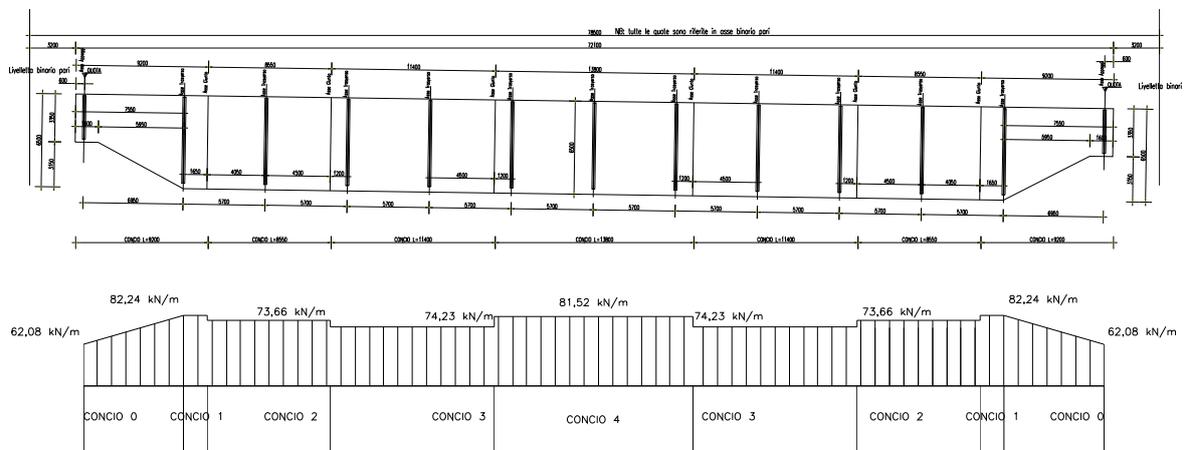


Figura 4: peso proprio del cassone in acciaio

Il peso proprio della soletta del cassone ferroviario è stato inserito nel modello di calcolo come un carico uniforme distribuito in relazione alla propria area effettiva $SOLETTA_FERR = 142,00 \text{ kN/m}$ ($A_{sol} = 5,67 \text{ m}^2$).

I due carichi nel modello fanno parte della combinazione DEAD.

5.1.1 Valutazione del coefficiente amplificativo del peso proprio

Il coefficiente amplificativo del peso proprio dell'acciaio f è stato valutato considerando i seguenti pesi complessivi del cassone:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		Codice documento PA0107_F0.doc	Rev. F0	Data 20/06/2011

luce	72,3 m				
	kN/m		kN		
<u>peso proprio medio</u>	47,8125		3457		
<u>trasversi agli appoggi</u>					
area	33,7 mq				
spessore	0,02 m		kN		
n°	2		106		
<u>trasversi di campata</u>					
	n		10		
	p kN/m	l	n°		
diagonali UPN300	0,462	6,61	4		122,1528 kN
profili passerella UPN140	0,16	1,014	2		3,2448 kN
profili superiori L140x140x13	0,274	4,74	4		51,9504 kN
	A mq		s		
lamiera	18,8		0,02		295,16 kN
	A mq	peso acciaio	n	l	
irrigidimenti s	0,0105	78,5	6	71	351,1305 kN
irrigidimenti i	0,0105	78,5	4	64,4	212,3268 kN
irrigidimenti s piccoli	0,006	78,5	10	71	334,41 kN
irrigidimenti i piccoli	0,006	78,5	4	64,4	121,3296 kN
<u>diagonali sup</u>					
	p kN/m	l	n		
profili L100x10	0,15	104	2		31,2 kN
			TOT		1629 kN

Considerando il rapporto $(3457+106+1629)/3457 = 1.5$. e' stato assunto $f = 1.6$ per tener conto anche della bullonatura e del piastrame presenti.

5.2 Pesì permanenti

I pesi permanenti sono sotto riportati:

- Ballast = $0.80 \times 18 \times 8.5 = 122.5$ kN/m
- Sovralzo ballast in curva = $20 \times 0.625 = 12.5$ kN/m
- Muretti paraballast = $2 \times 3.5 = 7$ kN/m
- Canaletta portacavi = $2 \times 3.75 = 7.5$ kN/m

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Pavimentazione marciapiede ferroviario = 3.6 kN/m
- Parapetto = 2 kN/m

Tali carichi sono riportati nel modello di calcolo nel modo seguente:

load BALLAST **135** kN/m

combo PERMANENTI

load CANALETTA **7,5** kN/m

load MARCIAPIEDE_FERR **3,6** kN/m

load PARABALLAST **7** kN/m

load PARAPETTO **2** kN/m

5.3 Sovraccarichi variabili da traffico ferroviario e relativi coefficienti dinamici

Nelle istruzioni per la progettazione dei viadotti ferroviari vengono definiti i seguenti treni di carico ideali: LM 71, SW/0, l' SW/2 ed il Treno scarico.

Essendo il cassone ferroviario semplicemente appoggiato, in base alle istruzioni per la progettazione dei ponti ferroviari, si considerano solo l'LM 71 e l'SW/2 oltre che il Treno scarico.

I due treni LM71 e SW/2 sono stati considerati nella condizione di un solo binario caricato con l'uno o con l'altro, ed anche nella condizione di entrambi i binari caricati in accordo con la tabella 5.2.III presente nelle NTC 2008:

- 2 LM71 per traffico normale,
- 1 LM71 + SW/2 per traffico pesante.

Le intensità indicate nei paragrafi successivi per i carichi, concentrati e distribuiti, devono essere moltiplicati per un coefficiente di adattamento α , differente per i due treni e pari a:

Treno	α
-------	----------

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

LM 71	1.1
SW/2	1

Tabella 1: valori del coefficiente α .

5.3.1 LM 71

Il treno di carico ideale LM 71 prevede una massima velocità di 200 km/h maggiore di quella di progetto che è pari a 132 km/h. Il valore di velocità adottato per la determinazione delle azioni di tale treno, dove necessario, viene assunto pari a 132 km/h.

Il modello LM 71 è composto da:

- Quattro carichi concentrati del valore di 250 kN l'uno, posti a 1.6 m. di distanza l'uno dall'altro,
- Carico uniformemente distribuito di 80 kN/m, non presente nella zone ove siano presenti i carichi concentrati.

Il treno ha lunghezza infinita ed il carico uniforme è interamente segmentabile.

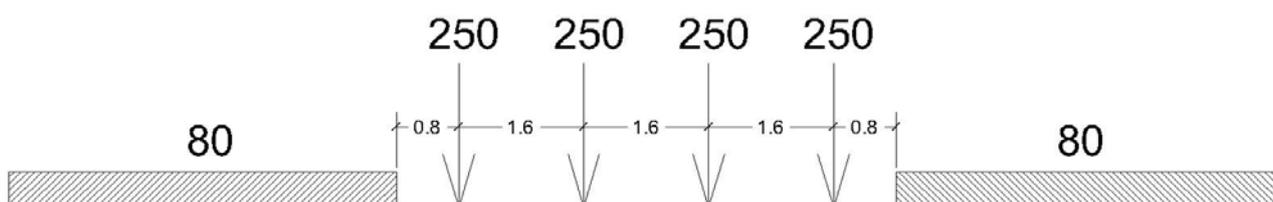
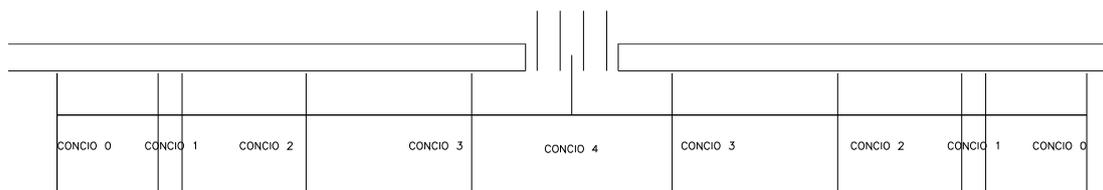


Figura 5: schema del treno di carico ideali LM71.

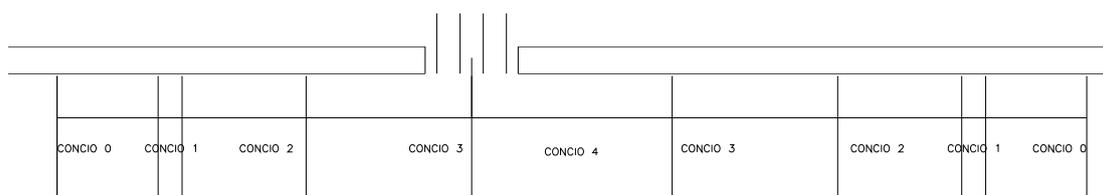
Il carico dovuto al treno LM71 è stato assegnato nel modello sia sul binario pari che su quello dispari in 5 posizioni diverse in modo da massimizzare le azioni su ciascun concio:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

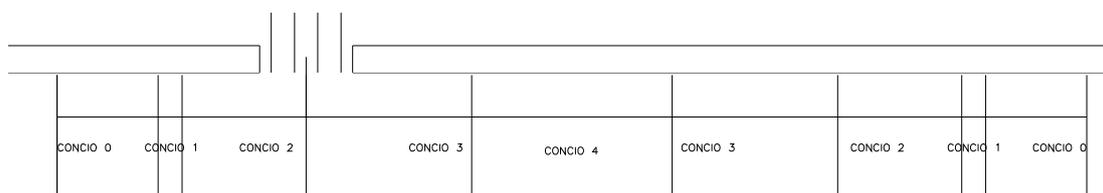
LM71_C4



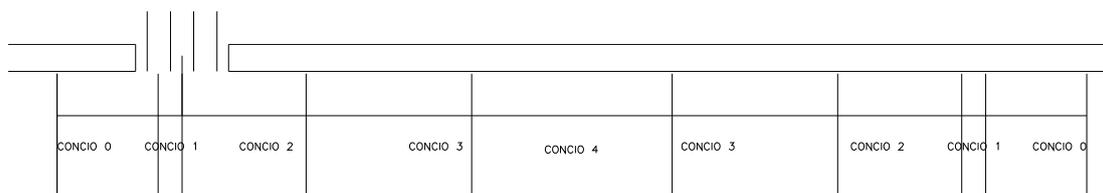
LM71_C3



LM71_C2



LM71_C1



LM71_C0

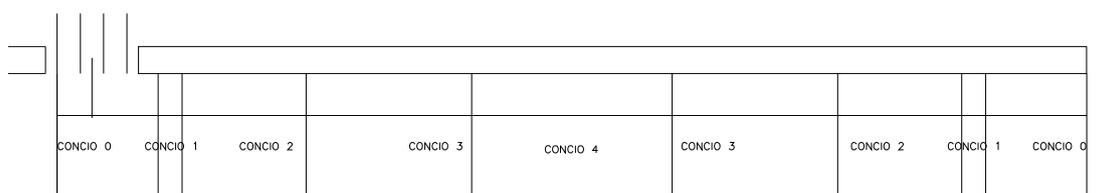


Figura 6: posizioni LM71

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

	α	Q [kN]	q [kN/m]	eccen. binario	forza concentrata verticale	carico distribuito verticale	coppia concentrata trasversale	coppia distribuita trasversale
					Q [kN]	q [kN/m]	C [kNm]	c [kNm/m]
LM71P_C0	1,1	250	80	-2,02	275	88	-555,5	-177,76
LM71P_C1	1,1	250	80	-2,02	275	88	-555,5	-177,76
LM71P_C2	1,1	250	80	-2,02	275	88	-555,5	-177,76
LM71P_C3	1,1	250	80	-2,02	275	88	-555,5	-177,76
LM71P_C4	1,1	250	80	-2,02	275	88	-555,5	-177,76
LM71D_C0	1,1	250	80	2,02	275	88	555,5	177,76
LM71D_C1	1,1	250	80	2,02	275	88	555,5	177,76
LM71D_C2	1,1	250	80	2,02	275	88	555,5	177,76
LM71D_C3	1,1	250	80	2,02	275	88	555,5	177,76
LM71D_C4	1,1	250	80	2,02	275	88	555,5	177,76

5.3.2 SW/2

Il treno di carico SW/2 prevede un carico uniformemente distribuito del valore di 150 kN/m di lunghezza complessiva pari a 57.0 m di cui 7.0 metri centrali non caricati.

Tale treno rappresenta un treno di carico ideale per modellare il traffico ferroviario pesante.

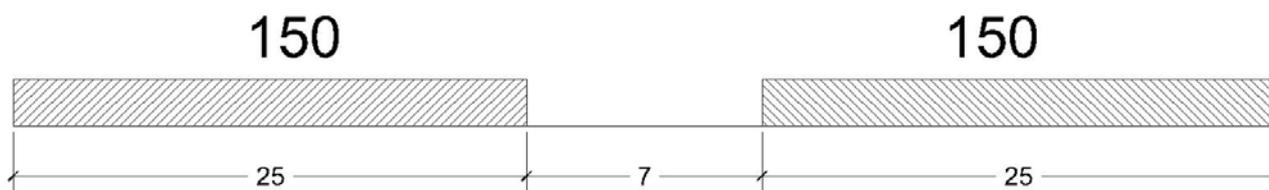
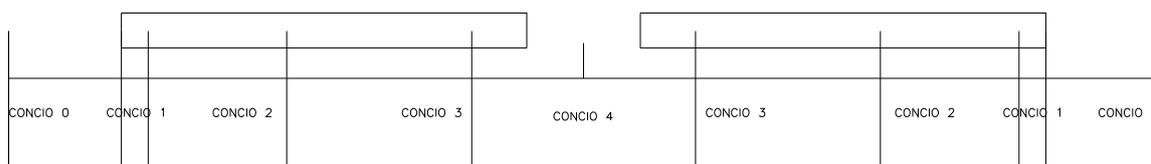


Figura 7: schema del treno di carico ideali SW/2.

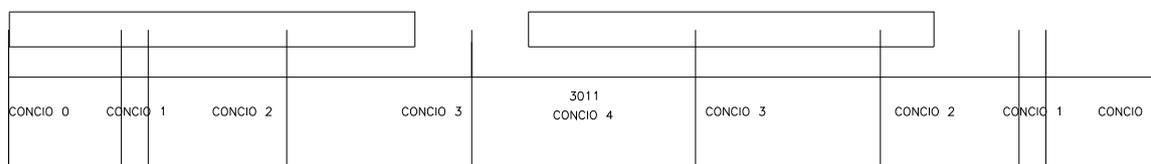
Il carico dovuto al treno SW/2 è stato assegnato al modello sul binario pari in 5 posizioni diverse in modo da massimizzare le azioni su ciascun concio:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

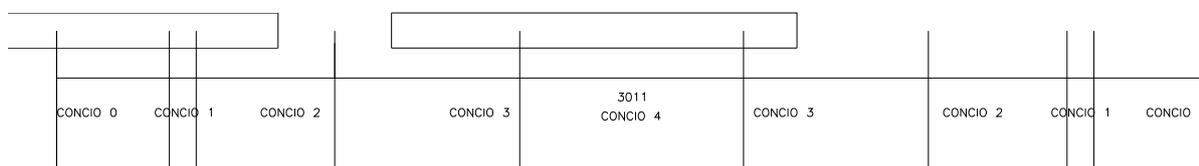
SW2_C4



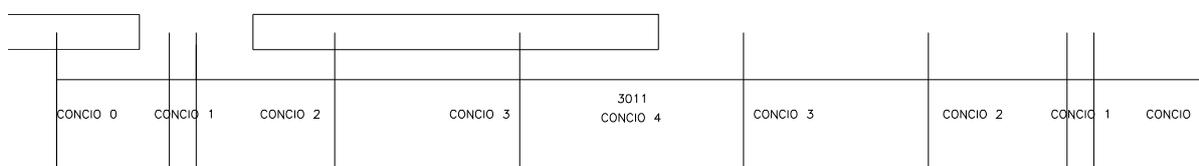
SW2_C3



SW2_C2



SW2_C1



SW2_C0

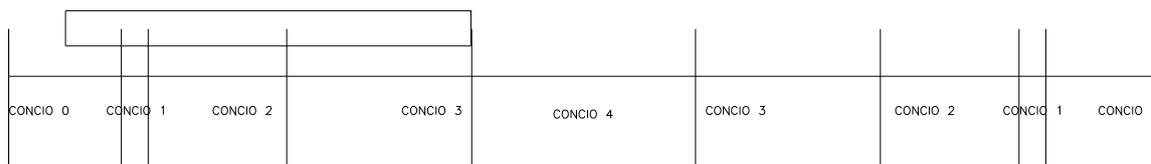


Figura 8: posizioni SW/2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

	α	q [kN/m]	eccen. binario	carico distribuito verticale	coppia distribuita trasversale
				q [kN/m]	c [kNm/m]
SW_2P_C0	1	150	-2,02	150	-303
SW_2P_C1	1	150	-2,02	150	-303
SW_2P_C2	1	150	-2,02	150	-303
SW_2P_C3	1	150	-2,02	150	-303
SW_2P_C4	1	150	-2,02	150	-303
SW_2D_C0	1	150	2,02	150	303
SW_2D_C1	1	150	2,02	150	303
SW_2D_C2	1	150	2,02	150	303
SW_2D_C3	1	150	2,02	150	303
SW_2D_C4	1	150	2,02	150	303

5.3.3 Treno scarico

Il treno di carico denominato "Treno scarico" è rappresentato da un carico uniforme di 10.0 kN/m. Tale treno si usa per le sole verifiche di stabilità laterale (gruppo 2).

5.3.4 Coefficiente dinamico Φ

E' possibile utilizzare il coefficiente dinamico indicato norma senza ricorrere ad un'analisi dinamica in quanto il valore della prima frequenza flessionale del ponte η_0 , caricato con le azioni permanenti è incluso nei valori limite del fuso riportato nella normativa (NTC 2008 § 5.2.2.3.3 Fig. 5.2.7).

$$1.107 < \eta_0 = 2.12 \text{ Hz} < 3.855 \quad \text{prima frequenza flessionale del ponte}$$

Il coefficiente dinamico Φ tiene conto degli effetti dinamici indotti dai treni sulla struttura. Questo per linee ad elevato standard manutentivo si valuta:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

$$\Phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{L_\Phi} - 0.2} + 0.82$$

Per ponti a trave semplicemente appoggiata:

$L_\Phi = L_{\text{campata}}$ luce fittizia
 $L_{\text{campata}} = 70.9 \text{ m}$ interasse appoggi
 $L_\Phi = 71.0 \text{ m}$ luce fittizia di calcolo

Ne risulta:

$\Phi_2 = 0.995 < 1$
 $\Phi_2 = 1$ coefficiente dinamico di progetto

Il coefficiente dinamico è quindi unitario.

5.4 Vento

L'azione del vento è stata valutata in base alle relazioni fornite dalla normativa, la quale, fornisce il valore di una pressione orizzontale uniforme il cui valore si calcola come:

$$p = q_b \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$$

dove:

$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$ pressione cinematica di riferimento
 $v_{b,0} = v_{b,0} \alpha_R = 29.10 \text{ m/s}$ velocità di riferimento (Zona 4)
 $\alpha_R = 1.04$ coefficiente funzione del periodo di ritorno T_R (100 anni)
 $q_b = 529.2 \text{ Pa}$ pressione cinematica di riferimento di calcolo

vento impalcato

Imponendo $a_s = 50 \text{ m}$ pari all'altezza media della struttura in corrispondenza della quota di progetto si ottiene:

$C_e = 3.82$ coefficiente di esposizione (Cat. 1)
 $C_p = 1$ coefficiente di forma
 $C_d = 1$ coefficiente dinamico

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

risulta quindi:

$$p = 2020 \text{ kPa}$$

Nel modello di carico si considera un vento di intensità pari a:

$$q_5 = 2.05 \text{ kN/m}^2$$

Essendo tale azione minore di 2.5 kPa per il solo cassone ferroviario si prende quest'ultimo come valore della azione, come richiesto dalle Istruzioni ferroviarie.

Nel caso di vento con ponte carico si considera una fascia alta 4 m. dal piano del ferro interamente caricata dall'azione del vento. In questo caso risultano:

$$F = p \times H = 2.5 \times 11.862 = 29.655 \text{ kN/m} \quad \text{forza risultante vento a ponte carico}$$

$$\text{Si assume } F = 30 \text{ kN/m}$$

Essendo la forza applicata eccentricamente rispetto al cassone nasce un momento torcente, il cui valore è pari a:

$$M = F \times b = 29.655 \times 0.931 = 27.61 \text{ kN m/m} \quad \text{momento risultante vento a ponte carico}$$

Avendo considerato un baricentro medio dei diversi conci pari a 5m, da cui $e = 11.862 \times 0.5 - 5 = 0.931\text{m}$.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

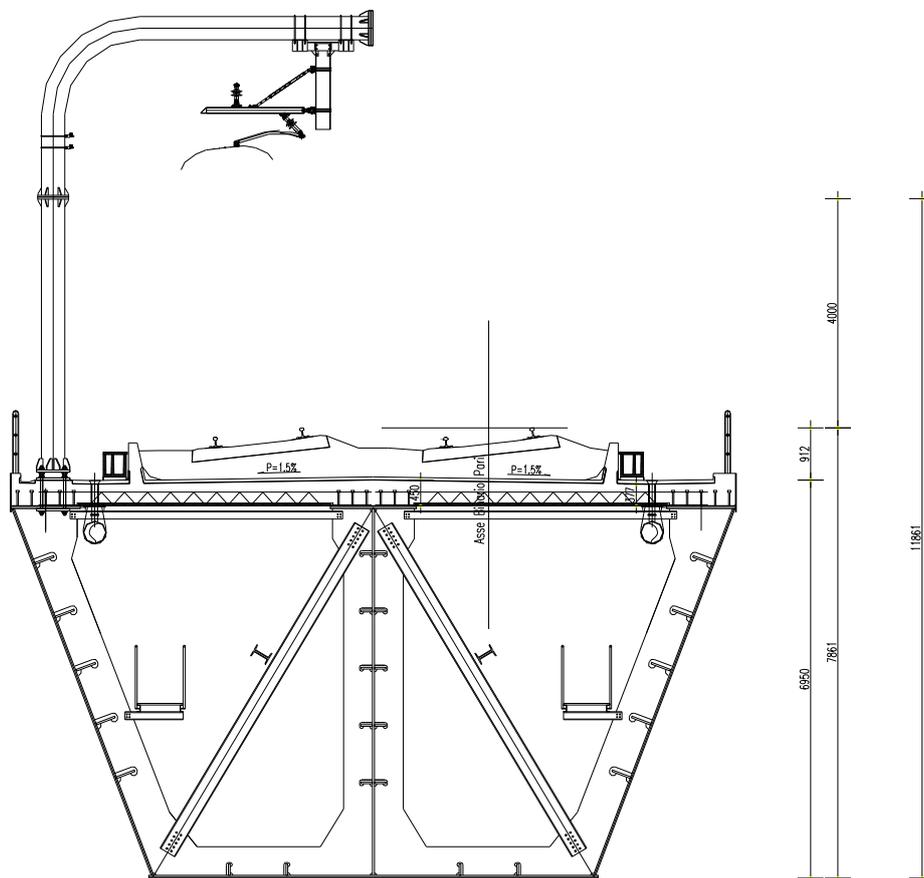


Figura 9: schema del carico vento a ponte carico

Tale azione è stata considerata nel modello mediante il carico:

load VENTO **-30** kN/m
 -27,61 kNm/m

5.5 Avviamento

L'azione di avviamento o accelerazione, è un'azione orizzontale longitudinale agente parallelamente all'asse dell'impalcato alla quota del piano di rotolamento. Tale azione viene assorbita dagli appoggi di tipo fisso longitudinale.

$$Q_{1a,k} = 33 \times L \leq 1000 \text{ kN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Essendo:

$$L = 72.3 \text{ m.}$$

La forza risultante per il valore della luce della campata del cassone ferroviario è maggiore di quella massima applicabile.

Si applica quindi una forza longitudinale parallela all'asse dell'impalcato pari alla massima forza ammissibile (1000 kN) divisa per la luce tra gli appoggi, $L = 71\text{m}$, poiché nel modello l'impalcato è schematizzato come una trave appoggiata di luce pari all'interasse appoggi.

$$Q_{1a,k} = 1000 \text{ kN} \quad \text{forza di avviamento di calcolo}$$

$$q_{1a,k} = 14.08 \text{ kN/m} \quad \text{azione distribuita di avviamento}$$

Inoltre viene considerata una coppia flettente distribuita che nasce dall'eccentricità tra piano ferro, quota di applicazione della forza, e baricentro ($e = 2.86 \text{ m}$), pari a $c_{1a,k} = 14.08 \times 2.86 = 40.40 \text{ kNm/m}$.

Tali valori vengono moltiplicati per il coefficiente di adattamento $\alpha = 1.1$ se agenti in concomitanza con un treno di carico LM71 e per $\alpha = 1$ se agenti in concomitanza con un treno di carico SW/2.

Nel modello di calcolo l'azione di avviamento è stata introdotta con i seguenti carichi:

			carico distribuito longitudinale	coppia distribuita longitudinale	
	α	q [kN/m]	eccen. binario	q [kN/m]	c [kNm/m]
AVVLM71	1,1	14,08	2,868	15,488	44,42
AVVSW_2	1	14,08	2,868	14,08	40,38

5.6 Frenatura

L'azione di frenatura, analogamente a quella di avviamento, è un'azione orizzontale longitudinale agente parallelamente all'asse dell'impalcato alla quota ove agiscono le forze verticali per i carichi da traffico. Tale azione viene assorbita dagli appoggi di tipo fisso longitudinalmente.

Modello di carico LM71

$$Q_{1b,k} = 20 \times L \leq 6000 \text{ kN}$$

Essendo $L = 72.3 \text{ m}$.

La forza risultante per il valore della luce della campata del cassone ferroviario è minore di quella consentita.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

Si applica quindi una forza longitudinale parallela all'asse dell'impalcato pari a:

$$q_{1b,k} = 20 \text{ kN/m} \quad \text{azione distribuita di avviamento di calcolo per LM71.}$$

Inoltre viene considerata una coppia flettente distribuita che nasce dall'eccentricità tra piano ferro e baricentro ($e = 2.86 \text{ m}$), pari a $c_{1b,k} = 20 \times 2.86 = 57.2 \text{ kNm/m}$.

Tali valori vengono moltiplicati per il coefficiente di adattamento $\alpha = 1.1$.

Modello di carico SW/2

$$Q_{1b,k} = 35 \times L$$

Si applica quindi una forza longitudinale parallela all'asse dell'impalcato pari a:

$$q_{1b,k} = 35 \text{ kN/m} \quad \text{azione distribuita di avviamento di calcolo per SW/2.}$$

Inoltre viene considerata una coppia flettente distribuita che nasce dall'eccentricità tra piano ferro e baricentro ($e = 2.86 \text{ m}$), pari a $c_{1b,k} = 35 \times 2.86 = 100.1 \text{ kNm/m}$.

Tali valori vengono moltiplicati per il coefficiente di adattamento $\alpha = 1$.

Nel modello di calcolo l'azione di frenatura è stata introdotta con i seguenti carichi:

			carico distribuito longitudinale	coppia distribuita longitudinale	
	α	q [kN/m]	eccen. binario	q [kN/m]	c [kNm/m]
FREN_LM71	1,1	20	2,868	22	63,10
FREN_SW_2	1	35	2,868	35	100,38

5.7 Centrifuga

L'azione della forza centrifuga consiste in un'azione orizzontale trasversale perpendicolare all'asse dell'impalcato agente alla quota di 1.80 m al di sopra del piano ferro. Il valore di tale forza dipende dal valore del raggio di curvatura dell'asse di tracciamento.

Il valore della forza centrifuga da considerare per i carichi da traffico ferroviario si esprime come:

$$Q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} (f \cdot Q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} (f \cdot Q_{vk})$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} (f \cdot q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} (f \cdot q)$$

dove:

Q_{tk} - q_{tk} = valore caratteristico della forza centrifuga [kN - kN/m];

Q_{vk} - q_{vk} = valore caratteristico dei carichi verticali [kN - kN/m];

v = velocità di progetto espressa in m/s;

V = velocità di progetto espressa in km/h;

g = accelerazione di gravità in m/s^2 ;

r = è il raggio di curvatura in m;

f = fattore di riduzione (definito in seguito).

$$f = \left[1 - \frac{V-120}{1000} \left(\frac{814}{V} + 1,75 \right) \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{2,88}{L_f}} \right) \right] \quad (5.2.10)$$

f è un fattore di riduzione dato in funzione della velocità V e della lunghezza L_f di binario carico.

dove:

L_f = lunghezza di influenza, in metri, della parte curva di binario carico sul ponte, che è la più sfavorevole per il progetto del generico elemento strutturale;

$f = 1$ per $V \leq 120$ km/h o $L_f \leq 2,88$ m;

$f < 1$ per $120 \leq V \leq 300$ km/h e $L_f > 2,88$ m;

$f(V) = f(300)$ per $V > 300$ km/h.

Modello di carico LM71

Per tale modello di carico le NTC 2008 prevedono che vengano esaminati due casi:

- a) Modello di carico LM71 e forza centrifuga per $V=120$ km/h con $f=1$;
- b) Modello di carico LM71 e forza centrifuga per la massima velocità di progetto.

In accordo con la tabella 1.4.3.1-1 del documento "Istruzione per la progettazione dei ponti ferroviari" RFI-DTC-ICI-PO-SP-INF-001-A, nel caso "a" va considerato $\alpha = 1.1$, mentre nel caso "b" deve essere assunto $\alpha = 1$.

LM71 b

$V = 132$ Km/h

LM71 a

$V = 120$ Km/h

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

Q _{vk} =	250 kN	Q _{vk} =	250 kN
q _{vk} =	80 kN/m	q _{vk} =	80 kN/m
r =	825 m	r =	825 m
L _f =	71 m	L _f =	71 m
f =	0,92	f =	1,00

Q _{tk} = 38.4 kN	Q _{tk} = 37.8 kN
q _{tk} = 12.3 kN/m	q _{tk} = 12.1 kN/m

Nel modello è stato considerato unicamente il caso “b” essendo più gravoso del caso “a”.

Oltre alle forze trasversali precedentemente espone, assegnate con verso dall’interno all’esterno curva, è stata considerata un’azione torcente trasversale dovuta all’eccentricità, pari a $e = 1.8 + 2.86 = 4.66$ m, tra il punto di applicazione di dette forze ed il baricentro dell’impalcato: $C_{tk} = 4.66 \times 38.4 = 179$ kNm e $c_{tk} = 4.66 \times 12.3 = 57.3$ kNm/m.

Nel modello di calcolo l’azione centrifuga è stata introdotta con i seguenti carichi relativi alle 5 posizioni illustrate nel paragrafo 5.3.1:

	α	Q [kN]	q [kN/m]	eccentricità	forza concentrata orizzontale trasversale	carico distribuito orizzontale trasversale	coppia concentrata trasversale	coppia distribuita trasversale
					Q [kN]	q [kN/m]	C [kNm]	c [kNm/m]
LM71P_C0_CE	1	38,4	12,3	4,66	-38,4	-12,3	-179	-57,32
LM71P_C1_CE	1	38,4	12,3	4,66	-38,4	-12,3	-179	-57,32
LM71P_C2_CE	1	38,4	12,3	4,66	-38,4	-12,3	-179	-57,32
LM71P_C3_CE	1	38,4	12,3	4,66	-38,4	-12,3	-179	-57,32
LM71P_C4_CE	1	38,4	12,3	4,66	-38,4	-12,3	-179	-57,32
LM71D_C0_CE	1	38,4	12,3	4,66	-38,4	-12,3	-179	-57,32
LM71D_C1_CE	1	38,4	12,3	4,66	-38,4	-12,3	-179	-57,32
LM71D_C2_CE	1	38,4	12,3	4,66	-38,4	-12,3	-179	-57,32
LM71D_C3_CE	1	38,4	12,3	4,66	-38,4	-12,3	-179	-57,32
LM71D_C4_CE	1	38,4	12,3	4,66	-38,4	-12,3	-179	-57,32

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Modello di carico SW/2

In accordo con quanto riferito nel paragrafo 1.4.3.1 del documento "Istruzione per la progettazione dei ponti ferroviari" RFI-DTC-ICI-PO-SP-INF-001-A, per quanto riguarda il modello di carico SW/2 si deve assumere una velocità V non superiore a 100 km/h, un valore di f pari ad 1 ed il valore di α corrispondente alla categoria del ponte, nel nostro caso $\alpha = 1$.

SW2

$V = 100$ Km/h
 $q_{vk} = 150$ kN/m
 $r = 825$ m
 $L_f = 57$ m
 $f = 1$

$q_{tk} = 14.3$ kN/m

Oltre alla forza trasversale precedentemente esposta, assegnata con verso dall'interno all'esterno curva, è stata considerata un'azione torcente trasversale dovuta all'eccentricità, pari a $e = 1.8 + 2.86 = 4.66$ m, tra il punto di applicazione di detta forza ed il baricentro dell'impalcato: $c_{tk} = 4.66 \times 14.3 = 66.63$ kNm/m.

Nel modello di calcolo, l'azione centrifuga è stata introdotta con i seguenti carichi relativi alle 5 posizioni illustrate nel paragrafo 5.3.2:

	α	q [kN/m]	eccentricità	carico distribuito orizzontale trasversale q [kN/m]	coppia distribuita trasversale c [kNm/m]
SW_2P_C0_CE	1	14,3	4,66	-14,3	-66,638
SW_2P_C1_CE	1	14,3	4,66	-14,3	-66,638
SW_2P_C2_CE	1	14,3	4,66	-14,3	-66,638
SW_2P_C3_CE	1	14,3	4,66	-14,3	-66,638
SW_2P_C4_CE	1	14,3	4,66	-14,3	-66,638
SW_2D_C0_CE	1	14,3	4,66	-14,3	-66,638

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		Codice documento PA0107_F0.doc	Rev. F0	Data 20/06/2011

SW_2D_C1_CE	1	14,3	4,66	-14,3	-66,638
SW_2D_C2_CE	1	14,3	4,66	-14,3	-66,638
SW_2D_C3_CE	1	14,3	4,66	-14,3	-66,638
SW_2D_C4_CE	1	14,3	4,66	-14,3	-66,638

Treno scarico

Per tale modello di carico è stato assunto:

treno scarico

V =	132	Km/h
qvk =	10	kN/m
r =	825	m
Lf =	71	m
f =	1	

$$q_{tk} = 1.7 \quad \text{kN/m}$$

5.8 Serpeggio

L'azione di serpeggio è rappresentata da una forza concentrata. Il valore di tale forza è di 100 kN agente trasversalmente all'asse dell'impalcato e applicata sulla rotaia più alta. Tale valore si moltiplica per il coefficiente di adattamento $\alpha=1.1$ se agente in concomitanza con un treno di carico LM71 e per $\alpha=1$ se agente in concomitanza con un treno di carico SW/2 e nella condizione di "treno scarico".

Oltre alla forza trasversale precedentemente esposta, assegnata con verso dall'interno all'esterno curva, è stata considerata un'azione torcente trasversale dovuta all'eccentricità, pari a $e = 2.86$ m, tra il punto di applicazione di detta forza ed il baricentro dell'impalcato.

Nel modello di calcolo, l'azione dovuta al serpeggio è stata introdotta con i seguenti carichi relativi alle 5 posizioni illustrate nei paragrafi 5.3.1 e 5.3.2:

	α	Q [kN/m]	eccentricità	carico distribuito orizzontale trasversale	coppia distribuita trasversale
				Q [kN/m]	C [kNm/m]
SW_2P_C0_SE	1	100	2,86	-100	-286
SW_2P_C1_SE	1	100	2,86	-100	-286

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

SW_2P_C2_SE	1	100	2,86	-100	-286
SW_2P_C3_SE	1	100	2,86	-100	-286
SW_2P_C4_SE	1	100	2,86	-100	-286
SW_2D_C0_SE	1	100	2,86	-100	-286
SW_2D_C1_SE	1	100	2,86	-100	-286
SW_2D_C2_SE	1	100	2,86	-100	-286
SW_2D_C3_SE	1	100	2,86	-100	-286
SW_2D_C4_SE	1	100	2,86	-100	-286
LM71P_C0_SE	1,1	100	2,86	-110	-314,6
LM71P_C1_SE	1,1	100	2,86	-110	-314,6
LM71P_C2_SE	1,1	100	2,86	-110	-314,6
LM71P_C3_SE	1,1	100	2,86	-110	-314,6
LM71P_C4_SE	1,1	100	2,86	-110	-314,6
LM71D_C0_SE	1,1	100	2,86	-110	-314,6
LM71D_C1_SE	1,1	100	2,86	-110	-314,6
LM71D_C2_SE	1,1	100	2,86	-110	-314,6
LM71D_C3_SE	1,1	100	2,86	-110	-314,6
LM71D_C4_SE	1,1	100	2,86	-110	-314,6

5.9 Viscosità del calcestruzzo

Per tener conto della viscosità del calcestruzzo si considerano distintamente gli effetti di breve durata (assenza di viscosità) da quelli di lunga durata (fenomeni lenti esauriti) attraverso una diversa omogeneizzazione della soletta alla trave di acciaio.

Per gli effetti di breve durata (accidentali, variazioni termiche, vento, ecc...) si considera un coefficiente di omogeneizzazione pari al rapporto fra i moduli dell'acciaio e del cls. $n_0 = E_a / E_{cls} = 6.06$.

Per gli effetti di lunga durata (peso proprio, permanenti, ecc..) si considera un modulo ridotto del cls pari a $E_{cls(t=\infty)} = E_{cls} / (1 + \phi)$ dove $\phi = 1.6$ (coefficiente di viscosità finale). Il valore del coefficiente di viscosità a tempo infinito è stato determinato in accordo con quanto riportato nella tabella 11.2.VI delle NTC 2008, avendo considerato un'umidità relativa di circa il 75% e una dimensione fittizia $h_0 = 2A_{cls}/u = 0.84$ m, dove il perimetro esposto all'aria risulta essere pari ad $u = 13.47$ m. Con tale riduzione il coefficiente di omogeneizzazione vale $n_\infty = 15.77$.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5.10 Ritiro del calcestruzzo

Sulla base di quanto indicato nel paragrafo 11.2.10.6 delle NTC 2008, la deformazione totale per ritiro a tempo infinito vale $\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = -0.000274$ dove:

- la deformazione per ritiro da essiccamento a tempo ∞ vale $\varepsilon_{cd} = -0.0002052$ (11.2.7) NTC 2008, avendo considerato in base alle tabelle 11.2.Va-b delle NTC 2008, $\varepsilon_{c0} = -0.0002932$ (umidità relativa di circa 75%) e $k_h = 0.7$.
- la deformazione per ritiro autogeno vale $\varepsilon_{ca} = -0.000068375$ (11.2.8) NTC 2008.

In virtù di tale deformazione si applicano alla trave le seguenti azioni:

$$N_{rit} = \varepsilon_{cs} \times A_{cls} \times E_{cls(t=\infty)} = 20395 \text{ kN}$$

$$M_{rit} = N_{rit} \times e = 54087 \text{ kNm}$$

dove e rappresenta la distanza tra il baricentro della soletta e quello della sezione omogeneizzata.

5.11 Variazioni termiche

Le variazioni termiche agenti sull'impalcato sono tre. Una variazione termica volumetrica, che interessa la sezione degli impalcati per la loro intera altezza con un valore costante $\Delta T_{vol} = \pm 15^\circ\text{C}$, e due variazioni termiche differenziali:

1. una variazione termica differenziale costituita da un gradiente che interessa la sezione degli impalcati per la loro intera altezza $\Delta T_{diff1} = \pm 5^\circ\text{C}$ ($+5^\circ\text{C}$ all'estradosso della soletta e 0°C all'intradosso della trave in acciaio con andamento lineare).
2. una variazione termica differenziale costituita da una differenza di temperatura tra la soletta e la trave di acciaio $\Delta T_{diff2} = \pm 5^\circ\text{C}$ ($+5^\circ\text{C}$ costante sull'intera altezza della soletta e 0°C costante sull'intera altezza della trave in acciaio).

La variazione termica volumetrica e il gradiente termico su tutta l'altezza dell'impalcato sono stati assegnati al modello di calcolo considerando i carichi T_VOL_FERR ($\Delta T_{vol} = \pm 15^\circ\text{C}$) e T_DIFF_FERR ($\Delta T_{diff1}/h$ dove $\Delta T_{diff1} = \pm 5^\circ\text{C}$ e $h = 6.95 \text{ m}$).

La differenza di temperatura tra soletta e trave di acciaio è stata computata direttamente nelle verifiche considerando:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

$$N_{temp} = \alpha \times \Delta T_{diff2} \times (E_{acc} / n_0) \times A_c = 0.00001 \times 5 \times 210000/6.06 \times 5600000 = 5600 \text{ kN}$$

$$M_{temp} = N_{temp} \times e = 5600 \times 1.75 = 9800 \text{ kNm}$$

Ai soli fini della valutazione della escursione degli apparecchi di appoggio e dei giunti i valori di T_VOL_FERR e T_DIFF_FERR devono essere raddoppiati.

5.12 Combinazione delle azioni

Le azioni prima citate sono state combinate fra loro per determinare le massime sollecitazioni agenti sulle varie parti del viadotto con riferimento ai vari stati limite imposti dalla normativa vigente (NTC2008).

Si riportano di seguito i valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ e dei coefficienti di combinazione ψ delle azioni elementari considerati per la determinazione delle massime sollecitazioni sulle varie parti dell'impalcato.

I valori sono riportati sotto forma matriciale in cui ogni riga indica una combinazione ed ogni colonna un'azione.

Per quel che riguarda i carichi da traffico, in riferimento alla tabella 5.2.IV delle NTC2008 tali azioni vengono considerate con delle combinazioni a involucro denominate :

Traffico gr1 (POS 1)
Traffico gr1 (POS 2)
Traffico gr1 (POS 3)
Traffico gr1 (POS 4)
Traffico gr1 (POS 5)

Nelle combinazioni denominate con il termine "Traffico gr1" sono state considerate 5 diverse configurazioni di binari carichi:

1. LM71 sul binario pari;
2. 2 LM71;
3. LM71 sul binario dispari e SW/2 sul binario pari;
4. LM71 sul binario pari e SW/2 sul binario dispari;
5. SW/2 sul binario pari.

Ognuna di queste configurazioni è stata poi combinata con centrifuga, serpeggio, avviamento e

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

frenatura per un totale di 23 “sottocombinazioni”.

	combo	AVVLM71	AVVSW_2	FREN_LM71	FREN_SW_2	LM71D_C0	LM71D_C0_CE	LM71D_C0_SE	LM71P_C0	LM71P_C0_CE	LM71P_C0_SE	SW_2D_C0	SW_2D_C0_CE	SW_2D_C0_SE	SW_2P_C0	SW_2P_C0_CE	SW_2P_C0_SE
LM71P	CO_1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
LM71P+LM71D	CO_2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
LM71D+SW/2P	CO_3	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
LM71P+SW/2D	CO_4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
SW/2P	CO_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
LM71P	CO_6	0,5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	CO_7	-0,5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	CO_8	0	0	0,5	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	CO_9	0	0	-0,5	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
LM71P+LM71D	CO_10	0,5	0	0,5	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	CO_11	-0,5	0	-0,5	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
LM71D+SW/2P	CO_12	0,5	0	0	0,5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	CO_13	-0,5	0	0	-0,5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	CO_14	0	0,5	0,5	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	CO_15	0	-0,5	-0,5	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
LM71P+SW/2D	CO_16	0,5	0	0	0,5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	CO_17	-0,5	0	0	-0,5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	CO_18	0	0,5	0,5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	CO_19	0	-0,5	-0,5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1 SW/2P	CO_20	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	CO_21	0	-0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	CO_22	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	CO_23	0	0	0	-0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Tabella 2: combinazioni traffico gruppo1 – posizione 1.

Ciascuna combinazione “Traffico gr1” rappresenta l’involuppo di queste 23 “sottocombinazioni” considerata nelle 5 posizioni indicate nella Figura 6 e nella Figura 8 in modo da massimizzare le

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

sollecitazioni su ciascun concio. Con riferimento alla Figura 4 si ha quindi:

POSIZIONE	SOLLECITAZIONI MASSIME SUL CONCIO
1	0
2	1
3	2
4	3
5	4

COEFFICIENTI γ_M

tipo combinazione	n° combinazione	dead	permanenti	ballast	Traffico gr1 (POS 1)	Traffico gr1 (POS 2)	Traffico gr1 (POS 3)	Traffico gr1 (POS 4)	Traffico gr1 (POS 5)	vento	termica uniforme soletta
		STATI LIMITE ULTIMI	1	1,35	1,35	1,5	1,45	0	0	0	0
	2	1,35	1,35	1,5	0	1,45	0	0	0	1,5	1,5
	3	1,35	1,35	1,5	0	0	1,45	0	0	1,5	1,5
	4	1,35	1,35	1,5	0	0	0	1,45	0	1,5	1,5
	5	1,35	1,35	1,5	0	0	0	0	1,45	1,5	1,5
	6	1,35	1,35	1,5	1,45	0	0	0	0	-1,5	1,5
	7	1,35	1,35	1,5	0	1,45	0	0	0	-1,5	1,5
	8	1,35	1,35	1,5	0	0	1,45	0	0	-1,5	1,5
	9	1,35	1,35	1,5	0	0	0	1,45	0	-1,5	1,5
	10	1,35	1,35	1,5	0	0	0	0	1,45	-1,5	1,5
	11	1,35	1,35	1,5	1,45	0	0	0	0	1,5	-1,5
	12	1,35	1,35	1,5	0	1,45	0	0	0	1,5	-1,5
	13	1,35	1,35	1,5	0	0	1,45	0	0	1,5	-1,5
	14	1,35	1,35	1,5	0	0	0	1,45	0	1,5	-1,5
	15	1,35	1,35	1,5	0	0	0	0	1,45	1,5	-1,5
	16	1,35	1,35	1,5	1,45	0	0	0	0	-1,5	-1,5
	17	1,35	1,35	1,5	0	1,45	0	0	0	-1,5	-1,5
	18	1,35	1,35	1,5	0	0	1,45	0	0	-1,5	-1,5
	19	1,35	1,35	1,5	0	0	0	1,45	0	-1,5	-1,5
	20	1,35	1,35	1,5	0	0	0	0	1,45	-1,5	-1,5

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

Tabella 3: valori del coefficiente di sicurezza parziale γ_M per lo SLU, utilizzati nelle verifiche dell'inflessione nel piano verticale a BREVE TERMINE.

COEFFICIENTI γ_M												
SLE COMBINAZIONE RARA	tipo combinazione	n° combinazione	dead	permanenti	ballast	Traffico gr1 (POS 1)	Traffico gr1 (POS 2)	Traffico gr1 (POS 3)	Traffico gr1 (POS 4)	Traffico gr1 (POS 5)	vento	termica uniforme soletta
			21	1	1	1	1	0	0	0	0	1
		22	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
		23	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1
		24	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
		25	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
		26	1	1	1	1	0	0	0	0	-1	1
		27	1	1	1	0	1	0	0	0	-1	1
		28	1	1	1	0	0	1	0	0	-1	1
		29	1	1	1	0	0	0	1	0	-1	1
		30	1	1	1	0	0	0	0	1	-1	1
		31	1	1	1	1	0	0	0	0	1	-1
		32	1	1	1	0	1	0	0	0	1	-1
		33	1	1	1	0	0	1	0	0	1	-1
		34	1	1	1	0	0	0	1	0	1	-1
		35	1	1	1	0	0	0	0	1	1	-1
		36	1	1	1	1	0	0	0	0	-1	-1
		37	1	1	1	0	1	0	0	0	-1	-1
		38	1	1	1	0	0	1	0	0	-1	-1
		39	1	1	1	0	0	0	1	0	-1	-1
		40	1	1	1	0	0	0	0	1	-1	-1

Tabella 4: valori del coefficiente di sicurezza parziale γ_M per lo SLE (combinazione rara) , utilizzati nelle verifiche dell'inflessione nel piano verticale a BREVE TERMINE.

COEFFICIENTI γ_M

tipo combinazione	n° combinazione	dead	permanenti	ballast	Traffico gr1 (POS1)	Traffico gr1 (POS2)	Traffico gr1 (POS3)	Traffico gr1 (POS4)	Traffico gr1 (POS5)	vento	termica uniforme soletta
SLE COMBINAZIONE FREQUENTE	41	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
	42	1	1	1	1	0	0	0	0	1	-1
	43	1	1	1	0	0	0	0	1	-1	-1
	44	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
	45	1	1	1	1	0	0	0	0	-1	1
	46	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
	47	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
	48	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1
	49	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
	50	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
	51	1	1	1	1	0	0	0	0	-1	1
	52	1	1	1	0	1	0	0	0	-1	1
	53	1	1	1	0	0	1	0	0	-1	1
	54	1	1	1	0	0	0	1	0	-1	1
	55	1	1	1	0	0	0	0	1	-1	1
	56	1	1	1	1	0	0	0	0	1	-1
	57	1	1	1	0	1	0	0	0	1	-1
	58	1	1	1	0	0	1	0	0	1	-1
	59	1	1	1	0	0	0	1	0	1	-1
	60	1	1	1	0	0	0	0	1	1	-1
	61	1	1	1	1	0	0	0	0	-1	-1
	62	1	1	1	0	1	0	0	0	-1	-1
	63	1	1	1	0	0	1	0	0	-1	-1
	64	1	1	1	0	0	0	1	0	-1	-1
	65	1	1	1	0	0	0	0	1	-1	-1

Tabella 5: valori del coefficiente di sicurezza parziale γ_M per lo SLE (combinazione frequente), utilizzati nelle verifiche dell'inflessione nel piano verticale a BREVE TERMINE.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

COEFFICIENTI $\Psi_{0/1/2}$

tipo combinazione	n° combinazione	dead	permanenti	ballast	Traffico gr1 (POS 1)	Traffico gr1 (POS 2)	Traffico gr1 (POS 3)	Traffico gr1 (POS 4)	Traffico gr1 (POS 5)	vento	termica uniforme soletta
STATI LIMITE ULTIMI	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0,6	0,6
	2	1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6
	3	1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6
	4	1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6
	5	1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6
	6	1	1	1	1	0	0	0	0	0,6	0,6
	7	1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6
	8	1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6
	9	1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6
	10	1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6
	11	1	1	1	1	0	0	0	0	0,6	0,6
	12	1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6
	13	1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6
	14	1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6
	15	1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6
	16	1	1	1	1	0	0	0	0	0,6	0,6
	17	1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6
	18	1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6
	19	1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6
	20	1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6

Tabella 6: valori del coefficiente di sicurezza parziale Ψ per lo SLU, utilizzati nelle verifiche dell'inflexione nel piano verticale a BREVE TERMINE.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

COEFFICIENTI $\Psi_{0/1/2}$

SLE COMBINAZIONE RARA	tipo combinazione	n° combinazione	dead	permanenti	ballast	Traffico gr1 (POS1)	Traffico gr1 (POS2)	Traffico gr1 (POS3)	Traffico gr1 (POS4)	Traffico gr1 (POS5)	vento	termica uniforme soletta
		21	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0,6
	22	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6
	23	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6
	24	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6
	25	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6
	26	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0,6	0,6
	27	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6
	28	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6
	29	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6
	30	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6
	31	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0,6	0,6
	32	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6
	33	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6
	34	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6
	35	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6
	36	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0,6	0,6
	37	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6
	38	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6
	39	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6
	40	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6

Tabella 7: valori del coefficiente di sicurezza parziale Ψ per lo SLE (combinazione rara) , utilizzati nelle verifiche dell'inflessione nel piano verticale a BREVE TERMINE.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

COEFFICIENTI $\Psi_{0/1/2}$

tipo combinazione	n° combinazione	dead	permanenti	ballast	Traffico gr1 (POS1)	Traffico gr1 (POS2)	Traffico gr1 (POS3)	Traffico gr1 (POS4)	Traffico gr1 (POS5)	vento	termica uniforme soletta
SLE COMBINAZIONE FREQUENTE	41	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0,5
	42	1	1	1	0	0	0	0	0	0,5	0,5
	43	1	1	1	0	0	0	0	0	0,5	0,5
	44	1	1	1	0	0	0	0	0	0,5	0,5
	45	1	1	1	0	0	0	0	0	0,5	0,5
	46	1	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0,5
	47	1	1	1	0	0,8	0	0	0	0	0,5
	48	1	1	1	0	0	0,8	0	0	0	0,5
	49	1	1	1	0	0	0	0,8	0	0	0,5
	50	1	1	1	0	0	0	0	0,8	0	0,5
	51	1	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0,5
	52	1	1	1	0	0,8	0	0	0	0	0,5
	53	1	1	1	0	0	0,8	0	0	0	0,5
	54	1	1	1	0	0	0	0,8	0	0	0,5
	55	1	1	1	0	0	0	0	0,8	0	0,5
	56	1	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0,5
	57	1	1	1	0	0,8	0	0	0	0	0,5
	58	1	1	1	0	0	0,8	0	0	0	0,5
	59	1	1	1	0	0	0	0,8	0	0	0,5
	60	1	1	1	0	0	0	0	0,8	0	0,5
61	1	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0,5	
62	1	1	1	0	0,8	0	0	0	0	0,5	
63	1	1	1	0	0	0,8	0	0	0	0,5	
64	1	1	1	0	0	0	0,8	0	0	0,5	
65	1	1	1	0	0	0	0	0,8	0	0,5	

**Tabella 8: valori del coefficiente di sicurezza parziale Ψ per lo SLE (combinazione frequente) ,
utilizzati nelle verifiche dell'inflessione nel piano verticale a BREVE TERMINE.**

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

COEFFICIENTI γ_M

tipo combinazione	n° combinazione	dead	permanenti	ballast	Traffico gr1 (POS 1)	Traffico gr1 (POS 2)	Traffico gr1 (POS 3)	Traffico gr1 (POS 4)	Traffico gr1 (POS 5)	vento	termica uniforme soletta	ritiro
STATI LIMITE ULTIMI	1	1,35	1,35	1,5	1,45	0	0	0	0	1,5	1,5	1,2
	2	1,35	1,35	1,5	0	1,45	0	0	0	1,5	1,5	1,2
	3	1,35	1,35	1,5	0	0	1,45	0	0	1,5	1,5	1,2
	4	1,35	1,35	1,5	0	0	0	1,45	0	1,5	1,5	1,2
	5	1,35	1,35	1,5	0	0	0	0	1,45	1,5	1,5	1,2
	6	1,35	1,35	1,5	1,45	0	0	0	0	-1,5	1,5	1,2
	7	1,35	1,35	1,5	0	1,45	0	0	0	-1,5	1,5	1,2
	8	1,35	1,35	1,5	0	0	1,45	0	0	-1,5	1,5	1,2
	9	1,35	1,35	1,5	0	0	0	1,45	0	-1,5	1,5	1,2
	10	1,35	1,35	1,5	0	0	0	0	1,45	-1,5	1,5	1,2
	11	1,35	1,35	1,5	1,45	0	0	0	0	1,5	-1,5	1,2
	12	1,35	1,35	1,5	0	1,45	0	0	0	1,5	-1,5	1,2
	13	1,35	1,35	1,5	0	0	1,45	0	0	1,5	-1,5	1,2
	14	1,35	1,35	1,5	0	0	0	1,45	0	1,5	-1,5	1,2
	15	1,35	1,35	1,5	0	0	0	0	1,45	1,5	-1,5	1,2
	16	1,35	1,35	1,5	1,45	0	0	0	0	-1,5	-1,5	1,2
	17	1,35	1,35	1,5	0	1,45	0	0	0	-1,5	-1,5	1,2
	18	1,35	1,35	1,5	0	0	1,45	0	0	-1,5	-1,5	1,2
	19	1,35	1,35	1,5	0	0	0	1,45	0	-1,5	-1,5	1,2
	20	1,35	1,35	1,5	0	0	0	0	1,45	-1,5	-1,5	1,2

Tabella 9: valori del coefficiente di sicurezza parziale γ_M per lo SLU, utilizzati nelle verifiche dell'inflessione nel piano verticale a LUNGO TERMINE.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

COEFFICIENTI γ_M

tipo combinazione	n° combinazione	dead	permanenti	ballast	Traffico gr1 (POS 1)	Traffico gr1 (POS 2)	Traffico gr1 (POS 3)	Traffico gr1 (POS 4)	Traffico gr1 (POS 5)	vento	termica uniforme soletta	ritiro
SLE COMBINAZIONE RARA	21	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
	22	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1
	23	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1
	24	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1
	25	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
	26	1	1	1	1	0	0	0	0	-1	1	1
	27	1	1	1	0	1	0	0	0	-1	1	1
	28	1	1	1	0	0	1	0	0	-1	1	1
	29	1	1	1	0	0	0	1	0	-1	1	1
	30	1	1	1	0	0	0	0	1	-1	1	1
	31	1	1	1	1	0	0	0	0	1	-1	1
	32	1	1	1	0	1	0	0	0	1	-1	1
	33	1	1	1	0	0	1	0	0	1	-1	1
	34	1	1	1	0	0	0	1	0	1	-1	1
	35	1	1	1	0	0	0	0	1	1	-1	1
	36	1	1	1	1	0	0	0	0	-1	-1	1
	37	1	1	1	0	1	0	0	0	-1	-1	1
	38	1	1	1	0	0	1	0	0	-1	-1	1
	39	1	1	1	0	0	0	1	0	-1	-1	1
	40	1	1	1	0	0	0	0	1	-1	-1	1

Tabella 10: valori del coefficiente di sicurezza parziale γ_M per lo SLE (combinazione rara) , utilizzati nelle verifiche dell'inflessione nel piano verticale a LUNGO TERMINE.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

COEFFICIENTI γ_M

tipo combinazione	n° combinazione	dead	permanenti	ballast	Traffico gr1 (POS 1)	Traffico gr1 (POS 2)	Traffico gr1 (POS 3)	Traffico gr1 (POS 4)	Traffico gr1 (POS 5)	vento	termica uniforme soletta	ritiro
		SLE COMBINAZIONE FREQUENTE	41	1	1	1	1	0	0	0	0	0
42	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	-1	1
43	1	1	1	1	0	0	0	0	1	-1	-1	1
44	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
45	1	1	1	1	1	0	0	0	0	-1	1	1
46	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
47	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1
48	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1
49	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1
50	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
51	1	1	1	1	1	0	0	0	0	-1	1	1
52	1	1	1	1	0	1	0	0	0	-1	1	1
53	1	1	1	1	0	0	1	0	0	-1	1	1
54	1	1	1	1	0	0	0	1	0	-1	1	1
55	1	1	1	1	0	0	0	0	1	-1	1	1
56	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	-1	1
57	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	-1	1
58	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	-1	1
59	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	-1	1
60	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	-1	1
61	1	1	1	1	1	0	0	0	0	-1	-1	1
62	1	1	1	1	0	1	0	0	0	-1	-1	1
63	1	1	1	1	0	0	1	0	0	-1	-1	1
64	1	1	1	1	0	0	0	1	0	-1	-1	1
65	1	1	1	1	0	0	0	0	1	-1	-1	1

**Tabella 11: valori del coefficiente di sicurezza parziale γ_M per lo SLE (combinazione frequente) ,
utilizzati nelle verifiche dell'inflessione nel piano verticale a LUNGO TERMINE.**

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

COEFFICIENTI $\Psi_{0/1/2}$

tipo combinazione	n° combinazione	dead	permanenti	ballast	Traffico gr1 (POS1)	Traffico gr1 (POS2)	Traffico gr1 (POS3)	Traffico gr1 (POS4)	Traffico gr1 (POS5)	vento	termica uniforme soletta	ritiro
	STATI LIMITE ULTIMI	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0,6	0,6
2		1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6	1
3		1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6	1
4		1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6	1
5		1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6	1
6		1	1	1	1	0	0	0	0	0,6	0,6	1
7		1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6	1
8		1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6	1
9		1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6	1
10		1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6	1
11		1	1	1	1	0	0	0	0	0,6	0,6	1
12		1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6	1
13		1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6	1
14		1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6	1
15		1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6	1
16		1	1	1	1	0	0	0	0	0,6	0,6	1
17		1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6	1
18		1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6	1
19		1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6	1
20		1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6	1

Tabella 12: valori del coefficiente di sicurezza parziale Ψ per lo SLU, utilizzati nelle verifiche dell'inflessione nel piano verticale a LUNGO TERMINE.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

COEFFICIENTI $\Psi_{0/1/2}$

tipo combinazione	n° combinazione	dead	permanenti	ballast	Traffico gr1 (POS 1)	Traffico gr1 (POS 2)	Traffico gr1 (POS 3)	Traffico gr1 (POS 4)	Traffico gr1 (POS 5)	vento	termica uniforme soletta	ritiro
		SLE COMBINAZIONE RARA	21	1	1	1	1	0	0	0	0	0,6
	22	1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6	1
	23	1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6	1
	24	1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6	1
	25	1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6	1
	26	1	1	1	1	0	0	0	0	0,6	0,6	1
	27	1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6	1
	28	1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6	1
	29	1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6	1
	30	1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6	1
	31	1	1	1	1	0	0	0	0	0,6	0,6	1
	32	1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6	1
	33	1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6	1
	34	1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6	1
	35	1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6	1
	36	1	1	1	1	0	0	0	0	0,6	0,6	1
	37	1	1	1	0	1	0	0	0	0,6	0,6	1
	38	1	1	1	0	0	1	0	0	0,6	0,6	1
	39	1	1	1	0	0	0	1	0	0,6	0,6	1
	40	1	1	1	0	0	0	0	1	0,6	0,6	1

Tabella 13: valori del coefficiente di sicurezza parziale Ψ per lo SLE (combinazione rara) , utilizzati nelle verifiche dell'inflessione nel piano verticale a LUNGO TERMINE.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

COEFFICIENTI $\Psi_{0/1/2}$

tipo combinazione	n° combinazione	dead	permanenti	ballast	Traffico gr1 (POS1)	Traffico gr1 (POS2)	Traffico gr1 (POS3)	Traffico gr1 (POS4)	Traffico gr1 (POS5)	vento	termica uniforme soletta	ritiro
SLE COMBINAZIONE FREQUENTE	41	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0,5	1
	42	1	1	1	0	0	0	0	0	0,5	0,5	1
	43	1	1	1	0	0	0	0	0	0,5	0,5	1
	44	1	1	1	0	0	0	0	0	0,5	0,5	1
	45	1	1	1	0	0	0	0	0	0,5	0,5	1
	46	1	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0,5	1
	47	1	1	1	0	0,8	0	0	0	0	0,5	1
	48	1	1	1	0	0	0,8	0	0	0	0,5	1
	49	1	1	1	0	0	0	0,8	0	0	0,5	1
	50	1	1	1	0	0	0	0	0,8	0	0,5	1
	51	1	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0,5	1
	52	1	1	1	0	0,8	0	0	0	0	0,5	1
	53	1	1	1	0	0	0,8	0	0	0	0,5	1
	54	1	1	1	0	0	0	0,8	0	0	0,5	1
	55	1	1	1	0	0	0	0	0,8	0	0,5	1
	56	1	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0,5	1
	57	1	1	1	0	0,8	0	0	0	0	0,5	1
	58	1	1	1	0	0	0,8	0	0	0	0,5	1
	59	1	1	1	0	0	0	0,8	0	0	0,5	1
	60	1	1	1	0	0	0	0	0,8	0	0,5	1
	61	1	1	1	0,8	0	0	0	0	0	0,5	1
	62	1	1	1	0	0,8	0	0	0	0	0,5	1
	63	1	1	1	0	0	0,8	0	0	0	0,5	1
	64	1	1	1	0	0	0	0,8	0	0	0,5	1
	65	1	1	1	0	0	0	0	0,8	0	0,5	1

**Tabella 14: valori del coefficiente di sicurezza parziale Ψ per lo SLE (combinazione frequente) ,
utilizzati nelle verifiche dell'inflessione nel piano verticale a LUNGO TERMINE.**

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

6 Impalcato: effetti globali

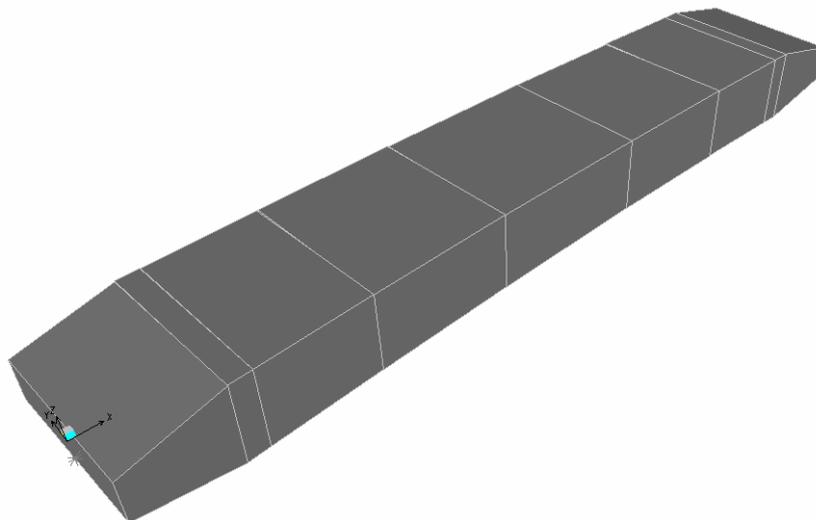
6.1 Modello di calcolo

Per la valutazione delle sollecitazioni sul cassone ferroviario è stato implementato un modello agli elementi finiti, estrapolando dal modello globale, di cui alla “Relazione di calcolo impalcato stradale (CG0700-O-CL-D-S-VP-CI-VI-000000-01_A)”, una singola campata ferroviaria.

Il modello è quindi basato su uno schema a trave appoggiata, dove la trave è composta da una serie di frame che rappresentano i conci. La lunghezza complessiva della trave, che va dagli appoggi di una pila a quelli della successiva, è pari $L=71.00$ m.

Sono state definite nel modello le sezioni degli elementi con le caratteristiche inerziali dei vari conci che costituiscono il cassone ferroviario, comprensivi della soletta.

Alle estremità la trave è vincolata in modo che da un lato siano impediti le 3 traslazioni, e dall'altro sia libera la sola traslazione longitudinale. Le rotazioni torsionali di impalcato sono impediti, mentre le altre rotazioni sono libere. Tale sistema di vincolo riproduce fedelmente il comportamento degli apparecchi di appoggio considerati. I vincoli sono assegnati a punti posti ad una distanza pari a quella tra il baricentro della sezione ed il piano appoggi e sono resi solidali agli estremi della trave mediante dei constraints di tipo body (collegamenti cinematici).



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Figura 10: rappresentazione assonometrica estrusa del modello di calcolo viadotto.

Il modello è costituito da:

numeri di nodi: 12

numero di aste: 9

6.2 Verifiche

I carichi illustrati nel paragrafo 5 sono stati considerati in tre fasi distinte e gli effetti sono stati successivamente combinati per le verifiche allo SLU nelle fasi costruttive e per le verifiche allo SLU a lungo termine. In particolare si ha:

- FASE I sezione reagente costituita dal solo acciaio

I carichi agenti sono quelli costituiti dal peso proprio del cassone e dal peso proprio della soletta considerato come permanente portato.

- FASE II sezione acciaio/calcestruzzo interamente reagente (coefficiente di omogeneizzazione pari al rapporto tra il modulo elastico dell'acciaio e quello del calcestruzzo).

I carichi agenti in questa fase sono quelli costituiti dai pesi permanenti portati e dai carichi accidentali (traffico, avviamento, frenatura, centrifuga, serpeggio, vento, temperatura) .

- FASE III sezione acciaio/calcestruzzo interamente reagente (coefficiente di omogeneizzazione pari al rapporto tra il modulo elastico dell'acciaio e quello del calcestruzzo ridotto degli effetti viscosi a lungo termine).

I carichi agenti in questa fase sono quelli costituiti dai pesi permanenti portati e dagli effetti del ritiro.

I risultati della FASE I sono stati utilizzati per le verifiche allo SLU nelle fasi costruttive.

Per le verifiche allo SLU della parte metallica, essendo dimensionante la condizione a lungo termine, le verifiche sono state eseguite sommando la FASE I, la FASE II per i carichi di breve durata e la FASE III per i carichi di lunga durata.

Per la verifica della soletta viceversa si sono considerate le azioni di breve termine (FASE I +

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

FASE II) essendo in questo caso dimensionanti.

6.2.1 Metodologia di verifica

Conformemente alle prescrizioni normative in materia di costruzioni in acciaio sono di seguito eseguite le verifiche di resistenza e stabilità delle membrature condotte col metodo semiprobabilistico agli stati limite, tenendo conto dei carichi precedentemente descritti, combinati come riportato nelle tabelle di combinazione inserite nel capitolo precedente.

Nei paragrafi successivi è stata adottata la seguente convenzione sui segni delle sollecitazioni e delle tensioni:

- N>0 sforzo normale di trazione;
- M>0 momento flettente che tende le fibre inferiori;
- σ>0 tensioni normali di trazione.

I pannelli costituenti le sezioni dei cassoni vanno verificati nei confronti dell'instabilità per taglio e compressione, secondo quanto indicato nei paragrafi C4.2.4.1.3.4.1 e C4.2.4.1.3.4.2 della Circolare 02 febbraio 2009 n. 617/C.S.LL.PP.

Il calcolo dei parametri "efficaci" dei pannelli compressi, irrigiditi longitudinalmente, viene eseguito calcolando il coefficiente di riduzione ρ_c per l'instabilità globale, tenendo in conto gli effetti dovuti all'instabilità di colonna e di piastra, secondo quanto riportato nei paragrafi C4.2.4.1.3.4.4, C4.2.4.1.3.4.5 e C4.2.4.1.3.4.6.

Nelle verifiche si fa anche riferimento alle indicazioni contenute negli Eurocodici, in particolare al documento EN1993-1-5.

I risultati della verifica vengono riassunti dai valori assunti da due coefficienti η_1 e η_3 , che indicano le risultanze ottenute nei riguardi delle sollecitazioni presso flessionali e taglianti; la verifica è soddisfatta se lo risultano le seguenti disuguaglianze:

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0} A_{c,eff}} = \frac{\sigma_{Ed} A}{f_y / \gamma_{M0} A_{c,eff}} \leq 1$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1,0$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Inoltre, per tenere conto delle interazioni tra le sollecitazioni assiali, di momento e taglio, viene definito un terzo coefficiente denominato in questa sede η_c , per il quale, nel caso in cui η_3 superi il valore 0.5, la soddisfazione delle verifiche implica il rispetto della disuguaglianza:

$$\eta_c = \eta_1 + (2\eta_2 - 1)^2 \leq 1 .$$

Le verifiche sono effettuate lungo tutto lo sviluppo dell'impalcato ferroviario, andando ad interessare tutte le tipologie di concio presenti, con stazioni di verifica poste ad un interasse medio di 3.45 m in campata e 1,375 m sui concii connessi ai traversi.

Per i dettagli dimensionali e gli spessori delle diverse sezioni dei concii si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

Le verifiche vengono condotte scomponendo la sezione dell'impalcato in pannelli così come indicato in figura: analizzando le sollecitazioni assiali, flettenti, taglianti e torcenti agenti sulla sezione viene determinato il corrispondente stato tensionale, la cui integrazione sui singoli pannelli porta ai valori delle azioni presso o tenso flettenti e taglianti utilizzate nelle verifiche.

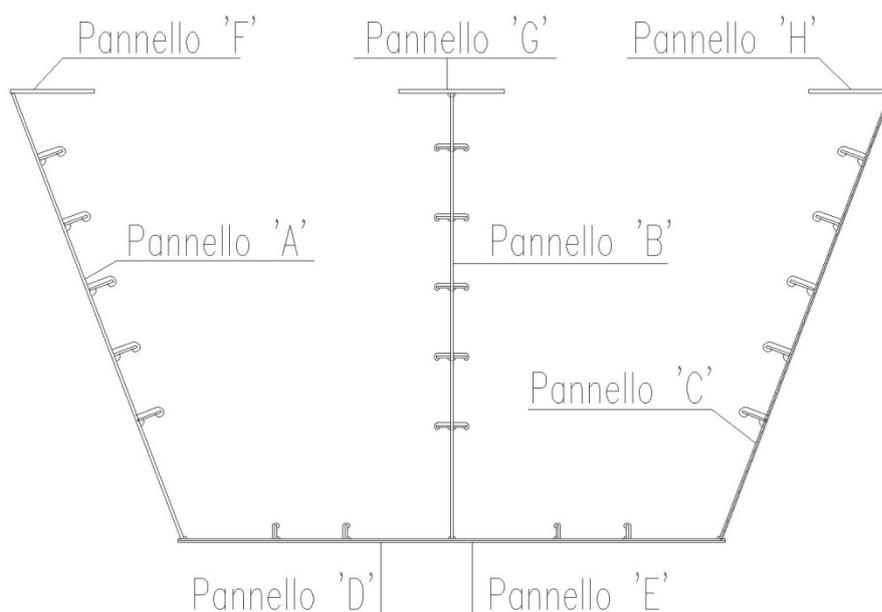


Figura 11: Schema suddivisione sezione in sottopannelli.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

6.2.2 Proprietà delle sezioni e distribuzione delle sollecitazioni sui pannelli.

Le caratteristiche meccaniche delle sezioni di ciascun concio sono riportate nelle tabelle seguenti:

Sezione Mista acciaio-calcestruzzo

Materiali

Modulo elastico acciaio	E_a [MPa]	210000		soletta		
Modulo di taglio acciaio	G_a [MPa]	80769		u	13,47	m
Classe calcestruzzo	R_{ck} [MPa]	45		A	5,60	m ²
Modulo elastico calcestruzzo	E_c [MPa]	34625		h0	0,84	m
coefficiente di viscosità	ϕ	1,60		umidità relativa	75,00	% (75 o 55)
Coefficiente di omogenizzazione	$n_2 = E_a/E_c$	6,06		t	61,00	giorni (61 = ∞)
Coefficiente di omogenizzazione	$n_3 = (1+\phi)E_a/E_c$	15,77		kh	0,70	
Coefficiente di ritiro finale	ϵ_{rt}	-0,000274				
Acciaio in barre armatura soletta	FeB	44,00	k			
fattore aumento peso e massa		1,00				

Geometria viadotto

		C0	C1	C2	C3	C4
Luce di calcolo campata	L [m]	71	71	71	71	71
Interasse travi esterne	i [mm]	11380	11380	11380	11380	11380
altezza totale trave	H [mm]	3350	6500	6500	6500	6500
larghezza superiore	Bs [mm]	12580	12580	12580	12580	12580
larghezza inferiore	Bi [mm]	10034	7800	7800	7800	7800
Numero travi in acciaio	n [-]	3	3	3	3	3

piattabande superiori

<u>1 sinistra</u>						
spessore	[mm]	20	20	20	25	30
lunghezza	[mm]	1200	1200	1200	1200	1200
<u>2 centrale</u>						
spessore	[mm]	20	20	20	25	30
lunghezza	[mm]	1500	1500	1500	1500	1500
<u>3 destra</u>						
spessore	[mm]	20	20	20	25	30
lunghezza	[mm]	1200	1200	1200	1200	1200
AREA PIATTABANDE SUPERIORI	mm ²	78000,00	78000,00	78000,00	97500,00	117000,00
MOMENTO STATICO Sx	mm ³	260520000,00	506220000,00	506220000,00	632531250,00	758745000,00
MOMENTO INERZIA Jx	mm ⁴	336899847624,80	1025527848341,49	1051103872944,34	1386953655440,92	1705691182595,37
FASE2 - MOMENTO INERZIA Jx	mm ⁴	28549162076,05	161410213915,84	142698794279,31	191063617765,26	267071531493,98
MOMENTO STATICO Sy	mm ³	490620000,00	490620000,00	490620000,00	613275000,00	735930000,00
MOMENTO INERZIA Jy	mm ⁴	1565437800000,00	1565437800000,00	1565437800000,00	1956797250000,00	2348156700000,00
FASE2 - MOMENTO INERZIA Jy	mm ⁴	1565437800000,00	1565437800000,00	1565437800000,00	1956797250000,00	2348156700000,00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

<u>Trave in acciaio</u>		Altezza	h [m]	3,350	6,500	6,500	6,500	6,500
		Baricentro verticale	y [m]	1,262	2,864	2,839	2,716	2,667
		Baricentro orizzontale	x [m]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		Area	A [m ²]	0,4943	0,6547	0,6141	0,5910	0,6490
		Costante torsionale	J _t [m ⁴]	0,2998	0,9093	0,9067	0,9034	0,9059
		Momento di inerzia verticale	J ₃ [m ⁴]	0,8850	3,8221	3,6745	3,9320	4,4826
		Momento di inerzia orizzontale	J ₂ [m ⁴]	8,2145	10,2234	9,5112	8,6653	9,2455
		Area taglio verticale	A ₂ [m ²]	0,2156	0,4207	0,3801	0,2985	0,2980
		Area taglio orizzontale	A ₃ [m ²]	0,2787	0,2340	0,2340	0,2925	0,3510
		Raggio d'inerzia rispetto a x	i ₃ [m]	1,3381	2,4161	2,4460	2,5794	2,6281
		Raggio d'inerzia rispetto a y	i ₂ [m]	4,0767	3,9515	3,9353	3,8292	3,7743
		Peso	P [kN/m]	38,7995	51,3973	48,2103	46,3923	50,9482
<u>Trave composta (n₂)</u>		Altezza	h [m]	3,795	6,945	6,945	6,945	6,945
		Baricentro verticale	y [m]	2,735	5,051	5,102	5,088	4,974
		Baricentro orizzontale	x [m]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		Area	A [m ²]	1,3389	1,4994	1,4588	1,4356	1,4936
		Costante torsionale	J _t [m ⁴]	5,9920	15,6425	14,9175	14,0610	14,6794
		Momento di inerzia verticale	J ₃ [m ⁴]	2,5779	9,3224	9,0501	9,5245	10,5251
		Momento di inerzia orizzontale	J ₂ [m ⁴]	19,0198	21,0286	20,3165	19,4705	20,0508
		Area taglio verticale	A ₂ [m ²]	0,2156	0,4207	0,3801	0,2985	0,2980
		Area taglio orizzontale	A ₃ [m ²]	1,0980	1,0533	1,0533	1,1118	1,1703
		Raggio d'inerzia rispetto a x	i ₃ [m]	1,3876	2,4935	2,4908	2,5757	2,6545
		Raggio d'inerzia rispetto a y	i ₂ [m]	3,7691	3,7450	3,7319	3,6828	3,6639
<u>Trave composta (n₃)</u>		Altezza	h [m]	3,795	6,945	6,945	6,945	6,945
		Baricentro verticale	y [m]	2,214	4,192	4,232	4,189	4,071
		Baricentro orizzontale	x [m]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		Area	A [m ²]	0,8347	0,9952	0,9546	0,9314	0,9894
		Costante torsionale	J _t [m ⁴]	4,5003	12,2251	11,7763	11,2362	11,6304
		Momento di inerzia verticale	J ₃ [m ⁴]	2,1963	7,8656	7,6777	8,1288	8,9330
		Momento di inerzia orizzontale	J ₂ [m ⁴]	12,3704	14,3793	13,6671	12,8212	13,4014
		Area taglio verticale	A ₂ [m ²]	0,2156	0,4207	0,3801	0,2985	0,2980
		Area taglio orizzontale	A ₃ [m ²]	0,5938	0,5491	0,5491	0,6076	0,6661
		Raggio d'inerzia rispetto a x	i ₃ [m]	1,6221	2,8114	2,8360	2,9542	3,0047
		Raggio d'inerzia rispetto a y	i ₂ [m]	3,8497	3,8012	3,7839	3,7102	3,6803

Le sollecitazioni flessionali e di sforzo normale derivanti dal modello, dovute a ciascuna azione elementare sul singolo frame, sono state ripartite su ogni elemento della sezione in base alle caratteristiche inerziali espone in precedenza, calcolando lo stato tensionale sul singolo pannello e poi, attraverso le caratteristiche inerziali e l'area del solo pannello in esame, si sono ricavate le sollecitazioni di verifica.

Per quel che riguarda il taglio, come noto, trattandosi di sezione biconnessa non risulta applicabile la teoria di Jourawski. Si è risolto il problema modellando un tronco di ciascun concio agli elementi finiti di tipo shell. Per ciascun concio è stata modellata una mensola di lunghezza pari a 30m, incastrata ad un estremo e libera all'altro. In corrispondenza dell'estremo libero sono state applicate delle forze unitarie (1 kN) in direzione verticale e trasversale. Per semplicità è stato applicato anche un momento torcente, anch'esso unitario (1kNm). Le sollecitazioni lette in apposite section cuts, definite per ogni pannello e poste a metà della mensola, sono state utilizzate come moltiplicatori delle sollecitazioni calcolate nei frame per ottenere la quota parte di taglio assorbita dal pannello in esame. Il procedimento è stato eseguito considerando le 2 fasi:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

1. Sezione reagente costituita dal solo acciaio (FASE I) per le verifiche in costruzione;
2. Sezione reagente costituita dalla trave in acciaio e dalla soletta con rapporto tra i moduli elastici pari a $n=6.06$ (FASE II) per le verifiche in esercizio;

A titolo d'esempio si riporta la ripartizione dei tagli nei pannelli appena descritta nel caso del CONCIO 4 considerando come sollecitazioni su una sezione del generico frame:

Sollecitazioni sezione DA SAP (N+trazione; M+tese fibre inferiori)

P [kN]	V2 [kN]	V3 [kN]	T [kNm]	M2 [kNm]	M3 [kNm]
100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

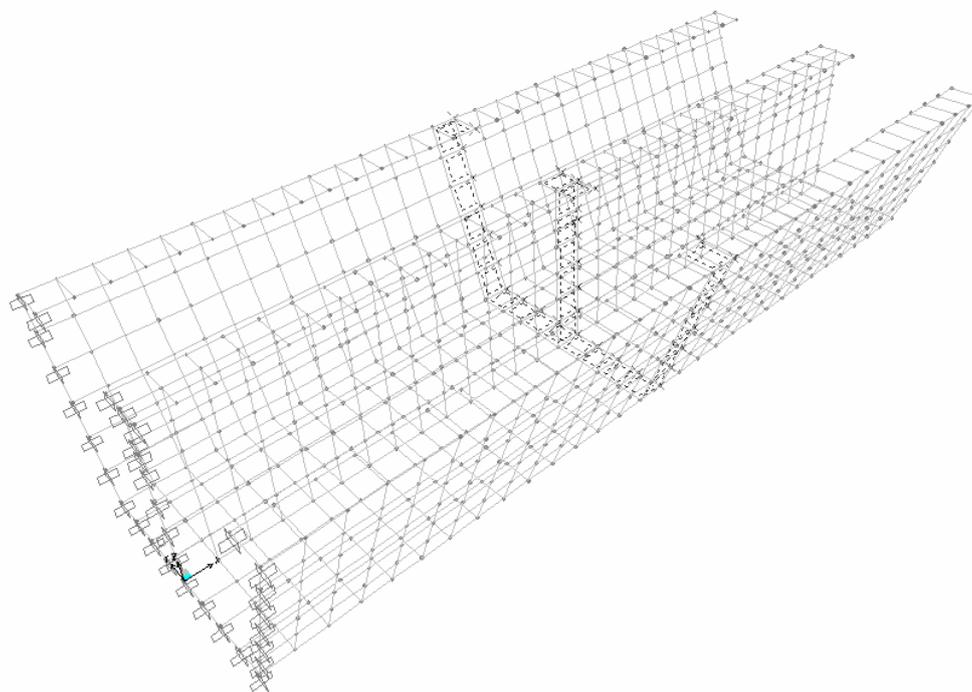


Figura 12: Modello CONCIO 4, FASE I.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

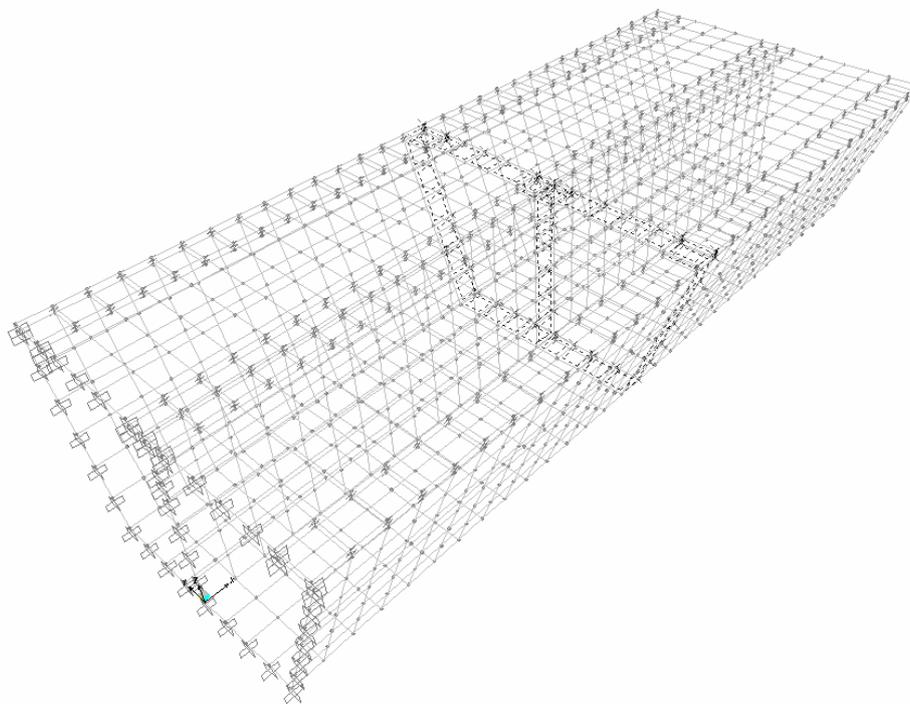


Figura 13: Modello CONCIO 4, FASE II.

Con riferimento alla Figura 11

FASE I – CONCIO 4

Pannello	σ_{sup} (N/mm ²)	σ_{inf} (N/mm ²)	A (mm ²)	W_{lgx}	W_{lgy}	N (kN)	V (kN)	M (kNm)	Spess. (mm)
A	0,14	0,25	110371	110309882	315262	21,58	-451,10	7,99	16
B	0,07	0,21	77280	82308161	154560	10,86	36,10	5,96	12
C	0,00	0,17	110371	110309882	315262	9,44	518,90	7,99	16
D	0,28	0,21	117000	943500	197820500	28,93	574,20	6,73	30
E	0,21	0,15	117000	943500	197820500	20,97	567,00	6,73	30
F	0,14	0,12	36000	180000	7200000	4,66	0,00	0,05	30
G	0,08	0,06	45000	225000	11250000	3,05	0,00	0,09	30
H	0,01	0,00	36000	-180000	-7200000	0,22	0,00	-0,05	30

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

FASE II – CONCIO 4

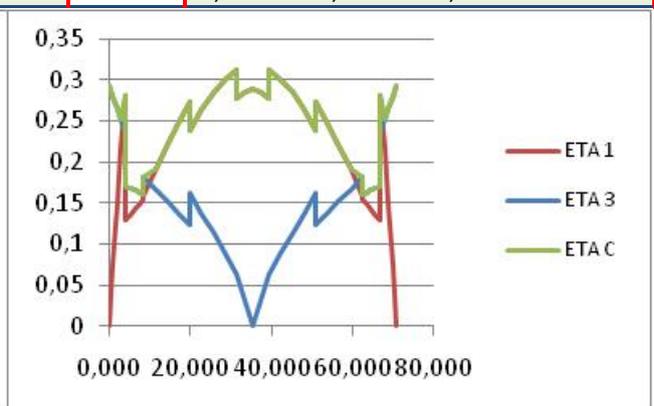
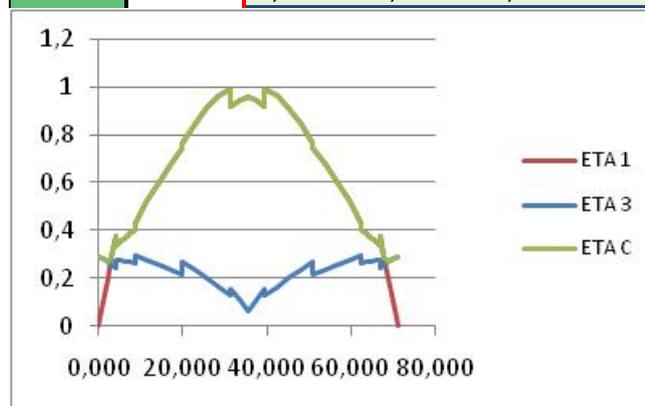
Pannello	σ_{sup} (N/mm ²)	σ_{inf} (N/mm ²)	A (mm ²)	W_{lgx}	W_{lgy}	N (kN)	V (kN)	M (kNm)	Spess. (mm)
A	0,08	0,13	110371	110309882	315262	11,97	40,90	3,40	16
B	0,05	0,11	77280	82308161	154560	6,42	34,50	2,54	12
C	0,02	0,09	110371	110309882	315262	6,37	24,10	3,40	16
D	0,15	0,11	117000	943500	197820500	15,18	16,10	3,10	30
E	0,11	0,08	117000	943500	197820500	11,51	10,30	3,10	30
F	0,08	0,08	36000	180000	7200000	2,90	0,00	0,02	30
G	0,06	0,05	45000	225000	11250000	2,35	0,00	0,04	30
H	0,03	0,02	36000	-180000	-7200000	0,85	0,00	-0,02	30

6.2.3 Tabelle riepilogative dei coefficienti d'uso per verifiche allo SLU fasi costruttive.

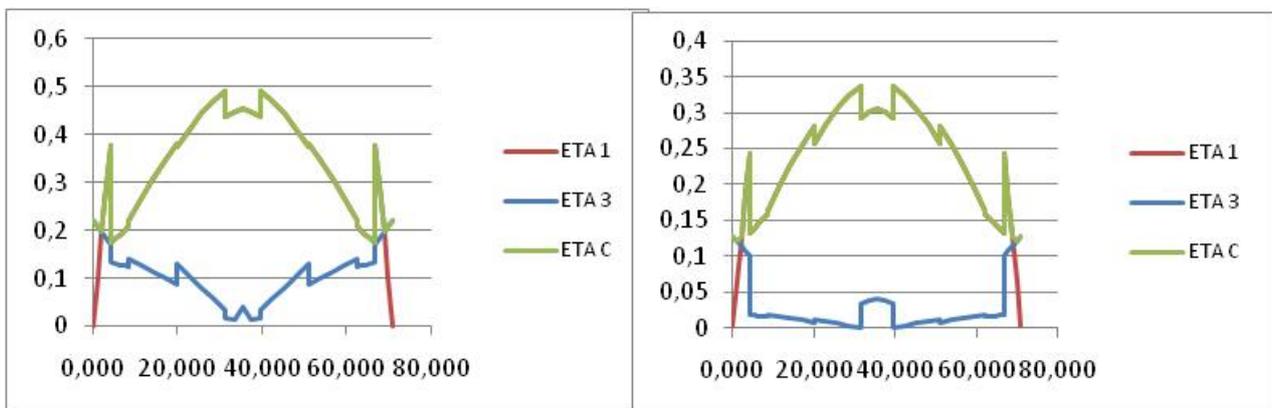
Si riassumono nelle tabelle successive gli esiti delle verifiche su tutte le sezioni verificate, per la campata con massima luce, indicando il massimo valore assunto dai tre coefficienti η_1 , η_3 e η_c per ogni sub pannello e l'indice della relativa combinazione di carico.

Seguono i grafici dei valori assunti dai tre coefficienti lungo lo sviluppo longitudinale dell'impalcato. Le tabelle vanno da un appoggio alla mezzeria. Mentre i grafici rappresentano l'intera campata

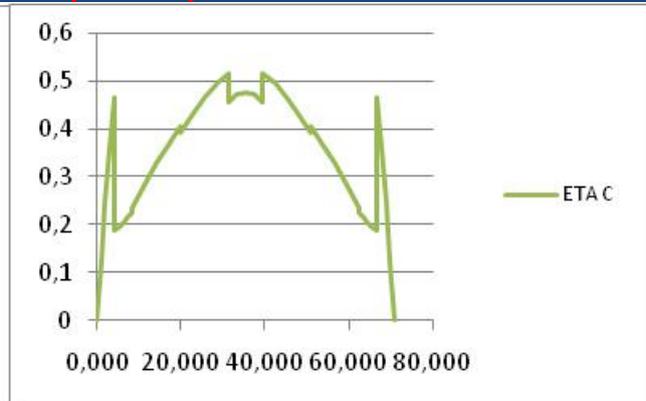
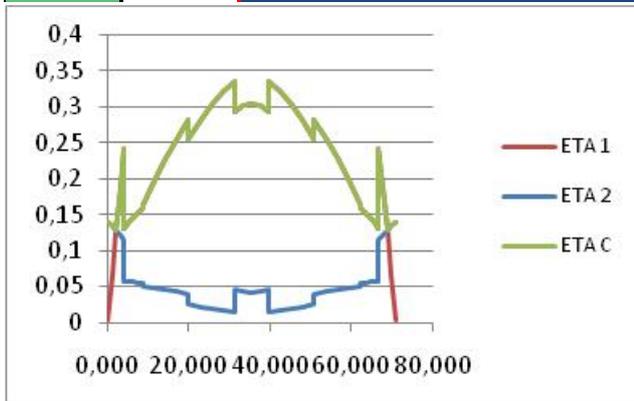
CONCIO	PANNELLO A				PANNELLO B			
	η_1	η_3	η_c	comb.	η_1	η_3	η_c	comb.
1	0,000532	0,292262	0,292262	6	0,000443	0,292945	0,292945	6
1	0,10127	0,280365	0,280365	6	0,075396	0,279358	0,279358	6
1	0,198784	0,268178	0,268178	6	0,147994	0,26544	0,26544	6
1	0,291257	0,2557	0,291257	6	0,21684	0,25119	0,25119	6
1	0,37857	0,242933	0,37857	6	0,281844	0,236609	0,281844	6
2	0,335065	0,276361	0,335065	6	0,128698	0,170718	0,170718	6
2	0,352723	0,27294	0,352723	6	0,135481	0,168191	0,168191	6
2	0,370119	0,269519	0,370119	6	0,142162	0,165665	0,165665	6
2	0,38725	0,266097	0,38725	6	0,148743	0,163139	0,163139	6
2	0,404119	0,262676	0,404119	6	0,155222	0,160612	0,160612	6
3	0,431164	0,295779	0,431164	6	0,158346	0,181251	0,181251	6
3	0,519977	0,275896	0,519977	6	0,190963	0,166814	0,190963	6
3	0,601423	0,256014	0,601423	6	0,220874	0,152378	0,220874	6
3	0,675502	0,236131	0,675502	6	0,248079	0,137942	0,248079	6
3	0,742213	0,216248	0,742213	6	0,272579	0,123505	0,272579	6
4	0,764649	0,271908	0,764649	6	0,238502	0,162704	0,238502	6
4	0,844545	0,23607	0,844545	6	0,263422	0,137683	0,263422	6
4	0,911131	0,200232	0,911131	6	0,284191	0,112662	0,284191	6
4	0,964407	0,164395	0,964407	6	0,300808	0,08764	0,300808	6
4	0,99002	0,128557	0,99002	6	0,313274	0,062619	0,313274	6
5	0,918041	0,152268	0,918041	6	0,277318	0,062619	0,277318	6
5	0,945681	0,107555	0,945681	6	0,285667	0,03131	0,285667	6
5	0,954894	0,062843	0,954894	6	0,28845	8,93E-07	0,28845	6
5	0,945681	0,107555	0,945681	6	0,285667	0,03131	0,285667	6
5	0,918041	0,152268	0,918041	6	0,277318	0,062619	0,277318	6



CONCIO	PANNELLO C				PANNELLO D			
	η_1	η_3	η_c	comb.	η_1	η_3	η_c	comb.
1	0,000532	0,220747	0,220747	6	0,002215	0,12739	0,12739	6
1	0,10127	0,20885	0,20885	6	0,064931	0,121191	0,121191	6
1	0,198784	0,196663	0,198784	6	0,127453	0,114841	0,127453	6
1	0,291257	0,184186	0,291257	6	0,186743	0,10834	0,186743	6
1	0,37857	0,171419	0,37857	6	0,242724	0,101688	0,242724	6
2	0,173442	0,132978	0,173442	6	0,131339	0,018056	0,131339	6
2	0,182583	0,130532	0,182583	6	0,138261	0,017501	0,138261	6
2	0,191587	0,128087	0,191587	6	0,14508	0,016945	0,14508	6
2	0,200455	0,125641	0,200455	6	0,151795	0,016389	0,151795	6
2	0,209187	0,123195	0,209187	6	0,158407	0,015834	0,158407	6
3	0,221256	0,142043	0,221256	6	0,16335	0,019344	0,16335	6
3	0,266831	0,128164	0,266831	6	0,196998	0,016531	0,196998	6
3	0,308626	0,114284	0,308626	6	0,227854	0,013717	0,227854	6
3	0,34664	0,100405	0,34664	6	0,25592	0,010903	0,25592	6
3	0,380874	0,086526	0,380874	6	0,281194	0,008089	0,281194	6
4	0,373428	0,129194	0,373428	6	0,255992	0,011868	0,255992	6
4	0,412446	0,105349	0,412446	6	0,28274	0,009053	0,28274	6
4	0,444964	0,081504	0,444964	6	0,305031	0,006239	0,305031	6
4	0,470982	0,05766	0,470982	6	0,322867	0,003424	0,322867	6
4	0,4905	0,033815	0,4905	6	0,336247	0,000609	0,336247	6
5	0,436101	0,017688	0,436101	6	0,293061	0,034961	0,293061	6
5	0,449231	0,012061	0,449231	6	0,301885	0,037592	0,301885	6
5	0,453607	0,041811	0,453607	6	0,304826	0,040223	0,304826	6
5	0,449231	0,012061	0,449231	6	0,301885	0,037592	0,301885	6
5	0,436101	0,017688	0,436101	6	0,293061	0,034961	0,293061	6

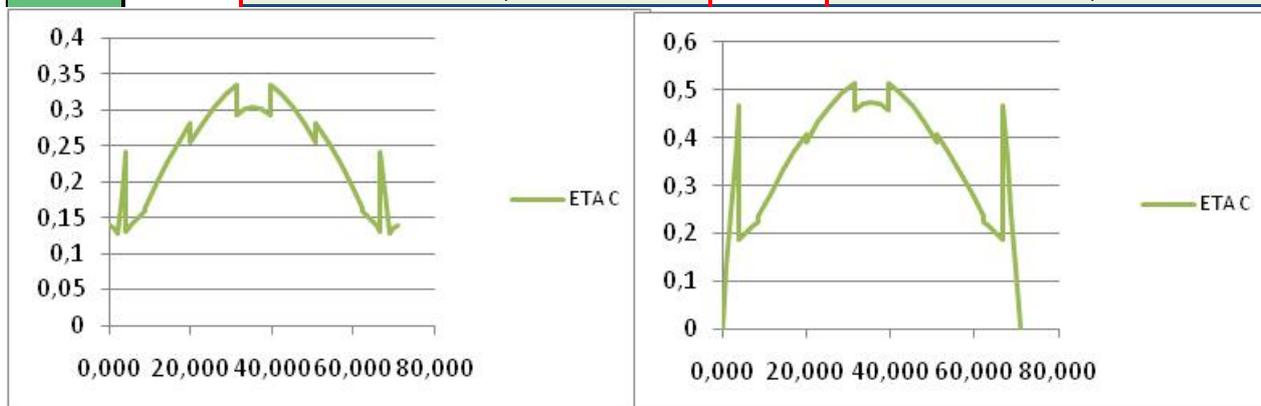


CONCIO	PANNELLO E				PANNELLO F			
	η_1	η_3	η_c	comb.	η_1	η_3	η_c	comb.
1	0,002818	0,139913	0,139913	6			0,001436	6
1	0,064931	0,133714	0,133714	6			0,124702	6
1	0,127453	0,127364	0,127453	6			0,244778	6
1	0,186743	0,120863	0,186743	6			0,358647	6
1	0,242724	0,11421	0,242724	6			0,466162	6
2	0,131339	0,057043	0,131339	6			0,186516	6
2	0,138261	0,056487	0,138261	6			0,196346	6
2	0,14508	0,055932	0,14508	6			0,206029	6
2	0,151795	0,055376	0,151795	6			0,215565	6
2	0,158407	0,05482	0,158407	6			0,224955	6
3	0,16335	0,05131	0,16335	6			0,235692	6
3	0,196998	0,048496	0,196998	6			0,284241	6
3	0,227854	0,045682	0,227854	6			0,328763	6
3	0,25592	0,042869	0,25592	6			0,369257	6
3	0,281194	0,040055	0,281194	6			0,405724	6
4	0,255992	0,024739	0,255992	6			0,391574	6
4	0,28274	0,021924	0,28274	6			0,432489	6
4	0,305031	0,019109	0,305031	6			0,466587	6
4	0,322867	0,016295	0,322867	6			0,493869	6
4	0,336247	0,01348	0,336247	6			0,514336	6
5	0,293061	0,045485	0,293061	6			0,456715	6
5	0,301885	0,042854	0,301885	6			0,470465	6
5	0,304826	0,040223	0,304826	6			0,475048	6
5	0,301885	0,042854	0,301885	6			0,470465	6
5	0,293061	0,045485	0,293061	6			0,456715	6



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

CONCIO	PANNELLO G				PANNELLO H			
	η_1	η_3	η_c	comb.	η_1	η_3	η_c	comb.
1			0,139913	6			0,001436	6
1			0,133714	6			0,124702	6
1			0,127453	15			0,244778	6
1			0,186743	15			0,358647	6
1			0,242724	15			0,466162	6
2			0,131339	15			0,186516	6
2			0,138261	15			0,196346	6
2			0,14508	15			0,206029	6
2			0,151795	15			0,215565	6
2			0,158407	15			0,224955	6
3			0,16335	15			0,235692	6
3			0,196998	15			0,284241	6
3			0,227854	15			0,328763	6
3			0,25592	15			0,369257	6
3			0,281194	15			0,405724	6
4			0,255992	15			0,391574	6
4			0,28274	15			0,432489	6
4			0,305031	15			0,466587	6
4			0,322867	15			0,493869	6
4			0,336247	15			0,514336	6
5			0,293061	15			0,456715	6
5			0,301885	15			0,470465	6
5			0,304826	15			0,475048	6
5			0,301885	15			0,470465	6
5			0,293061	15			0,456715	6



6.2.4 Tabelle riepilogative dei coefficienti d'uso per verifiche allo SLU a lungo termine.

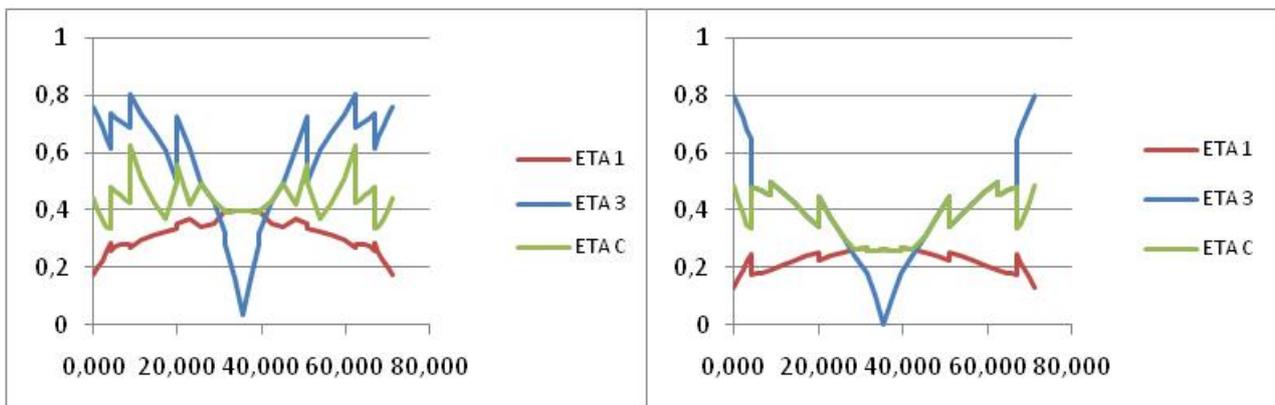
Si riassumono nelle tabelle successive gli esiti delle verifiche su tutte le sezioni verificate, per la

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	Codice documento PA0107_F0.doc	Rev. F0	Data 20/06/2011	

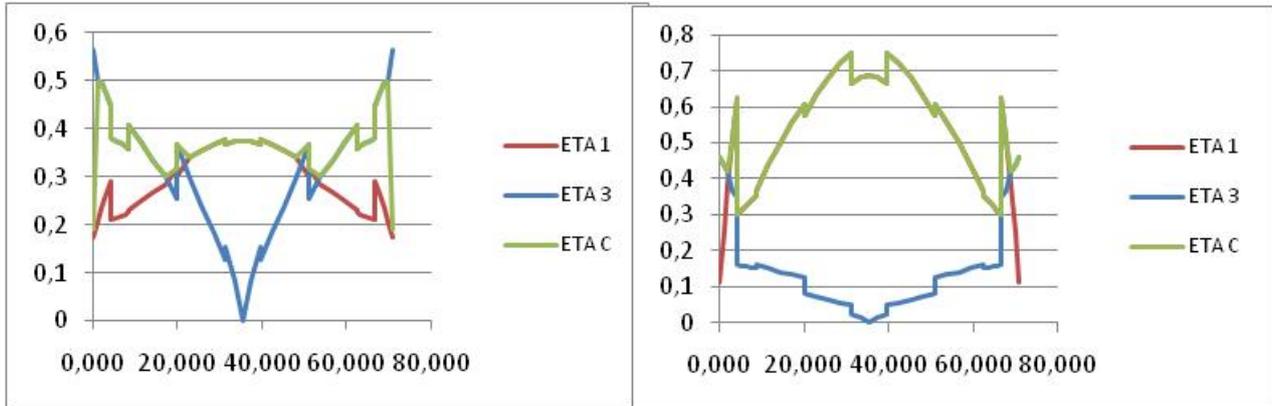
campata con massima luce, indicando il massimo valore assunto dai tre coefficienti η_1 , η_3 e η_c per ogni sub pannello e l'indice della relativa combinazione di carico.

Seguono i grafici dei valori assunti dai tre coefficienti lungo lo sviluppo longitudinale dell'impalcato.

CONCIO	PANNELLO A				PANNELLO B			
	η_1	η_3	η_c	comb.	η_1	η_2	η_3	comb.
1	0,174933	0,758565	0,442357	4	0,130539	0,798161	0,486138	9
1	0,200893	0,722792	0,399437	4	0,161269	0,758864	0,429312	9
1	0,2262	0,686761	0,365718	4	0,191679	0,719255	0,383969	9
1	0,25095	0,650473	0,341518	4	0,220947	0,679331	0,349586	9
1	0,283222	0,615887	0,336941	10	0,247206	0,648719	0,335676	10
2	0,25548	0,738566	0,483135	5	0,174389	0,481063	0,481063	10
2	0,276104	0,718164	0,466486	10	0,17823	0,473951	0,473951	10
2	0,277923	0,707996	0,450973	10	0,182052	0,466839	0,466839	10
2	0,279876	0,697828	0,43642	10	0,185951	0,459727	0,459727	10
2	0,281937	0,68766	0,422803	10	0,189791	0,452614	0,452614	10
3	0,266311	0,80063	0,627824	5	0,189181	0,497054	0,497054	4
3	0,299292	0,728748	0,508594	10	0,207144	0,464223	0,464223	5
3	0,311601	0,668366	0,424989	10	0,224254	0,423428	0,423428	5
3	0,323806	0,607984	0,370448	10	0,239791	0,382633	0,382633	5
3	0,333103	0,494885	0,494885	7	0,25375	0,341838	0,341838	5
4	0,352346	0,726099	0,55683	10	0,226689	0,447786	0,447786	5
4	0,367435	0,615996	0,421255	10	0,24102	0,376855	0,376855	5
4	0,34142	0,490998	0,490998	3	0,251961	0,310523	0,310523	4
4	0,352764	0,430417	0,430417	4	0,262278	0,242586	0,262278	10
4	0,397106	0,318962	0,397106	10	0,269136	0,17902	0,269136	10
5	0,392581	0,278595	0,392581	10	0,255739	0,17902	0,255739	10
5	0,397112	0,161587	0,397112	10	0,260446	0,101097	0,260446	10
5	0,398797	0,037635	0,398797	9	0,261839	0,001081	0,261839	10
5	0,397112	0,161587	0,397112	10	0,260446	0,101097	0,260446	10
5	0,392581	0,278595	0,392581	10	0,255739	0,17902	0,255739	10



CONCIO	PANNELLO C				PANNELLO D			
	η_1	η_3	η_c	comb.	η_1	η_3	η_c	comb.
1	0,175115	0,56437	0,19169	9	0,114519	0,458958	0,458958	4
1	0,206637	0,498338	0,498338	1	0,252192	0,439385	0,439385	4
1	0,233881	0,498953	0,498953	10	0,382858	0,419714	0,419714	4
1	0,263781	0,475526	0,475526	9	0,508982	0,364683	0,508982	9
1	0,28966	0,449416	0,449416	10	0,626202	0,346848	0,626202	9
2	0,210837	0,381492	0,381492	10	0,300029	0,160391	0,300029	9
2	0,214652	0,375423	0,375423	10	0,314058	0,158571	0,314058	9
2	0,218438	0,369355	0,369355	10	0,327874	0,15675	0,327874	9
2	0,22219	0,363286	0,363286	10	0,341475	0,15493	0,341475	9
2	0,225907	0,357217	0,357217	10	0,354861	0,15311	0,354861	9
3	0,230701	0,406163	0,406163	10	0,368256	0,160874	0,368256	9
3	0,249491	0,371006	0,371006	10	0,436776	0,15059	0,436776	9
3	0,266983	0,335849	0,335849	10	0,499364	0,140305	0,499364	9
3	0,283355	0,300692	0,300692	10	0,556974	0,135474	0,556974	10
3	0,315958	0,255334	0,315958	4	0,608967	0,125189	0,608967	10
4	0,302192	0,367909	0,367909	10	0,577765	0,083565	0,577765	10
4	0,340109	0,298238	0,340109	4	0,635557	0,072964	0,635557	10
4	0,355833	0,239468	0,355833	5	0,683256	0,06299	0,683256	10
4	0,368524	0,183781	0,368524	5	0,720862	0,054609	0,720862	10
4	0,377997	0,125428	0,377997	5	0,748376	0,048126	0,748376	10
5	0,366165	0,153395	0,366165	5	0,664251	0,022568	0,664251	10
5	0,373096	0,083956	0,373096	5	0,681908	0,014924	0,681908	10
5	0,375465	0,00132	0,375465	5	0,687232	0,002263	0,687232	10
5	0,373096	0,083956	0,373096	5	0,681908	0,014924	0,681908	10
5	0,366165	0,153395	0,366165	5	0,664251	0,022568	0,664251	10



CONCIO	PANNELLO E				PANNELLO F			
	η_1	η_3	η_c	comb.	η_1	η_3	η_c	comb.
1	0,114563	0,076003	0,114563	9			0,215929	7
1	0,252045	0,069246	0,252045	9			0,264383	9
1	0,3825	0,062391	0,3825	9			0,310354	9
1	0,505872	0,055439	0,505872	9			0,353816	9
1	0,622102	0,04839	0,622102	9			0,394752	9
2	0,296462	0,030407	0,296462	9			0,25661	9
2	0,310294	0,030538	0,310294	9			0,262116	9
2	0,323913	0,030668	0,323913	9			0,267538	9
2	0,337318	0,030798	0,337318	9			0,272874	9
2	0,35051	0,030929	0,35051	9			0,278125	9
3	0,363753	0,020366	0,363753	9			0,281914	9
3	0,431266	0,021614	0,431266	9			0,307746	9
3	0,493119	0,026063	0,493119	10			0,331583	10
3	0,550195	0,02731	0,550195	10			0,35333	10
3	0,601371	0,028558	0,601371	10			0,372803	10
4	0,569677	0,004499	0,569677	10			0,362924	10
4	0,626407	0,006423	0,626407	10			0,384386	10
4	0,673105	0,008933	0,673105	10			0,401991	10
4	0,709773	0,011776	0,709773	10			0,415738	10
4	0,736409	0,016516	0,736409	10			0,425628	10
5	0,652471	0,002791	0,652471	10			0,408667	10
5	0,669215	0,000603	0,669215	10			0,415266	10
5	0,673867	0,00211	0,673867	10			0,416808	10
5	0,669215	0,000603	0,669215	10			0,415266	10
5	0,652471	0,002791	0,652471	10			0,408667	10

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO

Codice documento

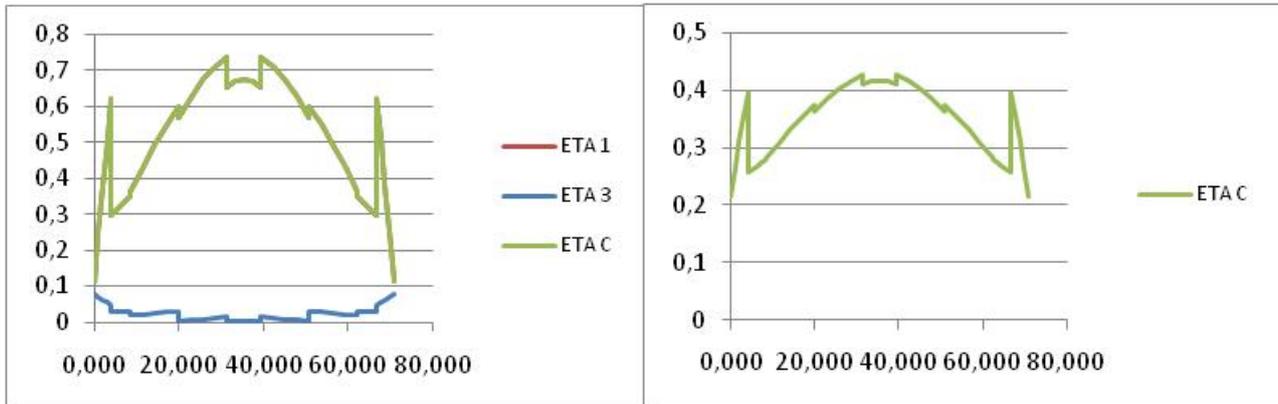
PA0107_F0.doc

Rev.

F0

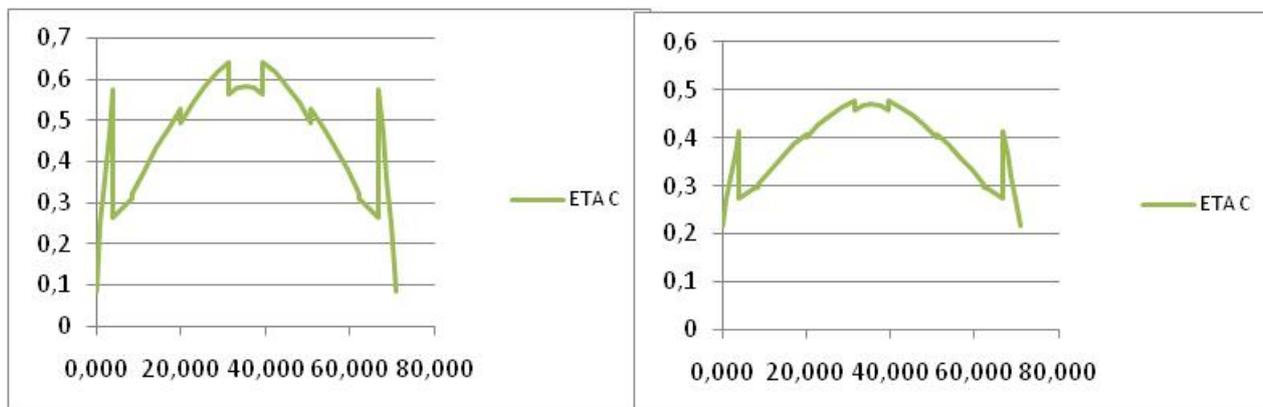
Data

20/06/2011



CONCIO	PANNELLO G				PANNELLO H			
	η_1	η_3	η_c	comb.	η_1	η_3	η_c	comb.
1			0,085392	20			0,215929	7
1			0,247502	10			0,269086	4
1			0,358406	1			0,319784	4
1			0,470254	1			0,367782	4
1			0,574555	1			0,413064	4
2			0,262334	1			0,27321	4
2			0,274312	1			0,279619	4
2			0,286113	1			0,285932	4
2			0,297737	1			0,29215	4
2			0,309185	1			0,298274	4
3			0,320856	1			0,30279	4
3			0,379585	1			0,333108	4
3			0,433423	1			0,360882	4
3			0,48237	1			0,386113	4
3			0,526427	1			0,408801	4
4			0,494508	1			0,400564	4
4			0,543341	1			0,426021	5
4			0,583936	1			0,44746	5
4			0,616292	1			0,464541	5
4			0,664041	1			0,477264	5
5			0,563079	1			0,458824	5
5			0,579235	1			0,468004	5
5			0,584531	1			0,471123	5
5			0,579235	1			0,468004	5
5			0,563079	1			0,458824	5

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	



6.2.5 Verifica dei pannelli più sollecitati allo SLU a lungo termine.

Per illustrare nel dettaglio la metodologia di verifica applicata si riporta inoltre lo sviluppo completo dei calcoli relativo, per ogni tipologia di pannello, a quello più sollecitato nei vari conci.

Sono riportati i risultati del foglio di calcolo utilizzato, di cui alla "Relazione descrittiva (CG0700-P-RG-D-S-VP-CI-VI-000000-01_A)".

6.2.5.1 Pannello A1 (anime)

CONCIO 0

Sollecitazioni sezione

P	V2	V3	T	M2	M3
-7553,39	-21984,34	-2586,40	-25314,39	0,00	12981,25

Caratteristiche Geometriche

Sezione Lorda	n=6.06
A	1338877
Ix	2,58E+12
Iy	1,90E+13

CONCIO 0

Sollecitazioni sezione

P	V2	V3	T	M2	M3
-24474,00	-8113,92	0,00	-4026,12	0,00	64748,27

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

Caratteristiche Geometriche

Sezione Lorda $n=15.77$
A **834679**
I_x **2,20E+12**
I_y **1,24E+13**

Pannello	A (mm ²)	σ_{sup} (N/mm ²)	σ_{inf} (N/mm ²)	N (kN)	V (kN)	M (kNm)	Sp. (mm)
A	78001	-72,58	43,39	-1138,56	-10381,82	2298,60	22
B	59580	-72,58	43,39	-869,68	-10504,29	1877,54	18
C	78001	-72,58	43,39	-1138,56	-7556,74	2298,60	22
D	100340	43,73	43,73	4388,32	-4197,79	0,00	20
E	100340	43,73	43,73	4388,32	316,95	0,00	20
F	24000	-72,93	-72,93	-1750,27	0,00	0,00	20
G	30000	-72,93	-72,93	-2187,84	0,00	0,00	20
H	24000	-72,93	-72,93	-1750,27	0,00	0,00	20

Dati di progetto - pannelli soggetti a compressione

N_{Ed} = -1138,55958 kN
M_{Ed} = 2298,596243 kNm
V_{Ed} = -10381,8248 kN

Materiali e caratteristiche di resistenza

qualità di acciaio:

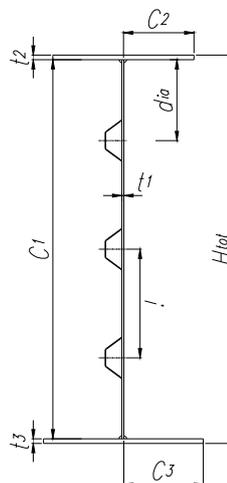
S 355

E_a [MPa]	210000	Modulo elastico acciaio
ν	0,3	Coefficiente di Poisson
G_a [MPa]	80769,2	Modulo di taglio acciaio
f_y [MPa]	355	Tensione di snervamento ($t \leq 40$ mm)
f_y [MPa]	335	Tensione di snervamento ($40 < t \leq 80$ mm)
f_y [MPa]	335	Tensione di snervamento ($t > 80$ mm)
S.L.U γ_{M0}	1,05	Coeff. di sicurezza resistenza sezioni classe 1-2-3-4
S.L.U γ_{M1}	1,10	Coeff. di sicurezza resistenza all'instabilità
S.L.U γ_{M2}	1,25	Coeff. di sicurezza per sezioni indebolite dai fori
ϵ	0,81	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Geometria trave - pannello d'anima

Htot=	3489	mm	
C1=	3489	mm	
t1=	22	mm	
C2=	0	mm	
t2=	0	mm	
C3=	0	mm	
t3=	0	mm	
Irrigidimento=	2	tipologia di irrigidimento adottata	
Nirr.long=	3	numero di irrigidimenti longitudinali	
hi,irr.long=	ΔH	altezze irrigidimenti longitudinali	
a=	4100	mm	lunghezza pannello tra due irrigidimenti trasversali
As.lorda =	108258	mm ²	area sezione lorda
ZGs.lorda =	1661,1	mm	posizione "z" asse baricentrico sezione lorda
Is.lorda,y =	1,007E+11	mm ⁴	momento d'inerzia "y" baricentrico sezione lorda
YGs.lorda =	54,12	mm	posizione "y" asse baricentrico sezione lorda-asse anima
Is.lorda,z =	1,10E+09	mm ⁴	momento d'inerzia "z" baricentrico sezione lorda
Ap.anima =	108258	mm ²	area sezione lorda pannello d'anima
Yp.anima =	54,12	mm	posizione "Y" asse baricentrico sezione lorda pannello d'anima
Ip.anima =	1,097E+09	mm ⁴	momento d'inerzia "z" baricentrico sezione lorda pannello d'anima



Classe anima **4** Classe piattabanda anima (soggetta a flessione)

Irrigidimenti longitudinali sull'anima:

t ₁ =	30,0	mm	spessore irrigidimento
t ₂ =	-	mm	-
h _i =	350,0	mm	altezza irrigidimento
b _{min,i} =	-	mm	-
l =	-	mm	-
l _{coll.} =	564,6	mm	larghezza pannello collaborante con l'irrigidimento
a =	4100,0	mm	lunghezza pannello tra due irrigidimenti trasversali
Asl,i =	22921,2	mm ²	area sezione lorda dell'irrigiditore
Ssl,i,z =	2205133,2	mm ³	momento statico sezione lorda dell'irrigiditore
Ysl,i =	85,20	mm	distanza asse baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore - asse anima
Isl,i,z =	3,05E+08	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Verifica di stabilità a taglio pannello d'anima

Verifica d'instabilità per taglio:

N_{Ed} = -1138,55958 kN **Sforzo normale di progetto**
M_{Ed} = 2298,596243 kNm **Momento di progetto**
V_{Ed} = -10381,8248 kN **Taglio di progetto**

h_w = 3489 mm altezza pannello
t = 22 mm spessore pannello
N_{irr,long} = 3 numero di irrigidimenti longitudinali
k_{tl} = 28,193
k_t = 36,429 coefficiente per insabilità a taglio
η = 1,2
h_w/t = 158,59 > 126,296485913799 verifica necessaria!

σ_E = 0,76 N/mm² tensione critica euleriana
τ_{cr} = 27,52 N/mm² tensione tangenziale critica
f_{yw} = 355,00 N/mm² tensione di snervamento del pannello
f_{yf} = 355,00 N/mm² tensione di snervamento della piattabanda
b_f = 0 mm larghezza efficace della piattabanda
λ_w = 0,87 coefficiente di snellezza
χ_w = 0,96 coefficiente funzione dell'instabilità elastica del pannello
M_{fk} = 0,0 KNm momento resistente di progetto

$$V_{bw,Rd} = \frac{Z_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad V_{bw,Rd} = 13686,14 \text{ KN} \quad \text{contributo resistente dell'anima}$$

$$M_{f,red} = \frac{M_{fk}}{\gamma_{M0}} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{(A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_{yf}} \right) \quad M_{f,red} = \#DIV/0! \text{ KNm} \quad \text{momento resistente di progetto ridotto}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{a \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right) \gamma_{M1}} \cdot \left[1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,red}} \right) \right] \quad V_{bf,Rd} = 0,0 \text{ KN} \quad \text{contributo resistente delle piattabande}$$

$$(1,2 \cdot f_{ywd} \cdot h_w \cdot t) / \sqrt{3} = 17162,48 \text{ KN}$$

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad V_{b,Rd} = 13686,1 \text{ KN} \quad > 10381,82478235 \text{ Verifica soddisfatta!}$$

$$\eta_3 = 0,7586$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

verifica stabilità di piastra:

piastra con tre o più irrigiditori longitudinali in zona compressa:

$\alpha_1 =$	1,175		
$\psi =$	0,500		
$Y_{bar,tot} =$	54,12	mm	distanza asse anima- baricentro piastra irrigidita
$I_{Sl,tot,z} =$	1,10E+09	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico intera piastra irrigiditi
$\gamma =$	322,55		
$\delta =$	0,410		
$k_{\alpha,p} =$	221,762		
$\sigma_{cr,e} =$	7,55	N/mm ²	tensione critica euleriana
$\sigma_{cr,p} =$	1675,26	N/mm ²	tensione critica di pannello

piastra con un solo irrigiditore longitudinale in zona compressa:

$b_1 =$	1031,0	mm	
$b_2 =$	2458,0	mm	
$a_c =$	12109,78	mm	
$\sigma_{cr,sl} =$	1365,65	Mpa	tensione critica euleriana

piastra con due irrigiditori longitudinali in zona compressa:

$b^1 =$	2031,0	mm	
$b^1_1 =$	1031,0	mm	
$b^1_2 =$	1000,0	mm	
$a_{c1} =$	8842,87	mm	
$\sigma_{cr,sl1} =$	1454,19	N/mm ²	tensione critica euleriana I caso
$\sigma_{cr,p1} =$	2646,34	N/mm ²	tensione critica di pannello I caso
$b^2 =$	2458,0	mm	
$b^2_1 =$	1000,0	mm	
$b^2_2 =$	1458,0	mm	
$a_{c2} =$	9779,42	mm	
$\sigma_{cr,sl2} =$	1597,63	N/mm ²	tensione critica euleriana II caso
$\sigma_{cr,p2} =$	14193,16		tensione critica di pannello II caso
$b^3 =$	3489,0	mm	
$b^3_1 =$	1421,0	mm	
$b^3_2 =$	2068,0	mm	
$a_{c3} =$	15320,57	mm	
$\sigma_{cr,sl3} =$	1436,51	N/mm ²	tensione critica euleriana III caso
$\sigma_{cr,p3} =$	3789,29		tensione critica di pannello III caso
$\sigma_{cr,p} =$	2646,34	N/mm ²	tensione critica di pannello
$\sigma_{cr,p} =$	2646,34	N/mm²	tensione critica del pannello per instabilità di piastra

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

coefficiente di riduzione per comportamento a piastra:

$A_c =$	61304,79	mm ²	area lorda pannello in compressione eccetto subpannelli esterni
$A_{sl,eff.} =$	21000,00	mm ²	area effettiva irrigidimenti in zona compressa
$\Sigma \rho_{loc} b_{c,loc} t =$	35683,36	mm ²	area effettiva pannello in zona compressa
$A_{c,eff,loc} =$	56683,36	mm ²	area efficace pannello e irrigidimenti in zona compressa
$\beta_{A,c}^p =$	0,9246		
$\lambda_p =$	0,3522		snellezza relativa di piastra del pannello
$\psi =$	-0,5245		

$\rho = 1$

verifica stabilità di colonna:

$b_c =$	2288,6	mm	distanza lembo maggiormente compresso - asse neutro
$b_{sl,l} =$	1257,6	mm	distanza irr. maggiormente compresso - asse neutro
$A_{sl,1} =$	32367,91	mm ²	area sezione lorda dell'irrigiditore
$I_{sl,1} =$	3,539E+08	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore
$\sigma_{cr,sl} =$	1348,09	N/mm ²	tensione critica euleriana irri. maggiormente compresso
$\sigma_{cr,c} =$	2453,26	N/mm²	tensione critica di colonna
$A_{sl,1,eff.} =$	30885,01	mm ²	
$\beta_{A,c}^c =$	0,9542		
$\lambda_c =$	0,372		snellezza relativa di colonna del pannello
$i =$	104,56	mm	raggio d'inerzia sezione lorda dell' irrigiditore
$e_2 =$	56,77	mm	distanza lamiera- baricentro sezione efficace irri.
$e_1 =$	129,23	mm	
$e =$	129,23	mm	
$\alpha =$	0,49		fattore di imperfezione
$\alpha_e =$	0,601		fattore di imperfezione amplificato
$\Phi =$	0,6206		
$\chi_c =$	0,8947		fattore di riduzione instabilità di colonna

coefficiente di riduzione per instabilità di piastra e di colonna:

$\zeta = 0,0787$

$\rho_c = 0,911 = (\rho - \chi_c)\zeta(2 - \zeta) + \chi_c$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

calcolo caratteristiche geometriche efficaci:

$t_{w,eff.} =$	20,03	mm	spessore anima zona compressa efficace
$t_{sl,1,eff.} =$	27,32	mm	spessore irrigidimento zona compressa efficace
$t_{sl,2,eff.} =$	-	mm	spessore irrigidimento zona compressa efficace
$A_{c,eff.} =$	100658,19	mm ²	area sezione lorda efficace
$h_{a,Gz,eff} =$	1602,96	mm	posizione asse baricentrico sezione lorda efficace
$e_{Nz} =$	-58,18	mm	eccentricità lungo "z" asse neutro sezione efficace
$I_{y,eff.} =$	9,32E+10	mm ⁴	momento d'inerzia "y" baricentrico sezione lorda efficace
$W_{y,eff.} =$	-4,94E+07	mm ³	modulo di resistenza "y"
$N_{Ed} =$	-1138,6	KN	Sforzo normale di progetto
$M_{Ed} =$	2298,60	KNm	Momento di progetto

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} \cdot f_y \cdot A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + (N_{Ed} \cdot e_N)}{\gamma_{M0} \cdot f_y \cdot W_{eff}} \leq 1,0 \quad \mathbf{0,17} < \mathbf{1} \quad \mathbf{Verifica soddisfatta!}$$

$$\eta_1 = \mathbf{0,1749}$$

$$\eta_{comb.} = \mathbf{0,4424}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

6.2.5.2 Pannello B1 (anime)

CONCIO 0

Sollecitazioni sezione

P	V2	V3	T	M2	M3
-7627,55	-21984,34	-674,13	-23554,46	0,00	13049,50

Caratteristiche Geometriche n=6.06

Sezione Lorda

A	1338877
Ix	2,58E+12
Iy	1,90E+13

CONCIO 0

Sollecitazioni sezione

P	V2	V3	T	M2	M3
-24474,00	-8113,92	0,00	-4026,12	0,00	64748,27

Caratteristiche Geometriche n=15.77

Sezione Lorda

A	834679
Ix	2,20E+12
Iy	1,24E+13

Pannello	A (mm ²)	σ_{sup} (N/mm ²)	σ_{inf} (N/mm ²)	N (kN)	V (kN)	M (kNm)	Sp. (mm)
A	78001	-72,66	43,41	-1140,74	-10214,51	2300,36	22
B	59580	-72,66	43,41	-871,34	-10504,29	1878,98	18
C	78001	-72,66	43,41	-1140,74	-7724,05	2300,36	22
D	100340	43,75	43,75	4390,00	-3819,58	0,00	20
E	100340	43,75	43,75	4390,00	695,15	0,00	20
F	24000	-73,00	-73,00	-1752,02	0,00	0,00	20
G	30000	-73,00	-73,00	-2190,02	0,00	0,00	20
H	24000	-73,00	-73,00	-1752,02	0,00	0,00	20

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

Dati di progetto - pannelli soggetti a compressione

$$N_{Ed} = -871,343062 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1878,984725 \text{ kNm}$$

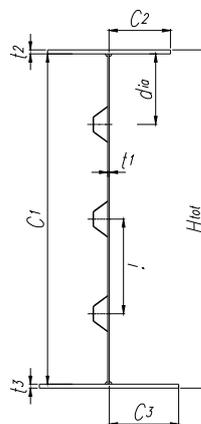
$$V_{Ed} = -10504,2929 \text{ kN}$$

Materiali e caratteristiche di resistenza

qualità di acciaio:	S 355	
E_a [MPa]	210000	Modulo elastico acciaio
ν	0,3	Coefficiente di Poisson
G_a [MPa]	80769,2	Modulo di taglio acciaio
f_y [MPa]	355	Tensione di snervamento ($t \leq 40\text{mm}$)
f_y [MPa]	335	Tensione di snervamento ($40 < t \leq 80\text{mm}$)
f_y [MPa]	335	Tensione di snervamento ($t > 80\text{mm}$)
S.L.U γ_{M0}	1,05	Coeff. di sicurezza resistenza sezioni classe 1-2-3-4
S.L.U γ_{M1}	1,10	Coeff. di sicurezza resistenza all'instabilità
S.L.U γ_{M2}	1,25	Coeff. di sicurezza per sezioni indebolite dai fori
ϵ	0,81	

Geometria trave - pannello d'anima

Htot=	3270	mm	
C1=	3270	mm	
t1=	18	mm	
C2=	0	mm	
t2=	0	mm	
C3=	0	mm	
t3=	0	mm	
Irrigidimento=	2	tipologia di irrigidimento adottata	
$N_{irr,long}$ =	3	numero di irrigidimenti longitudinali	
$h_{i,irr,long}$ =	ΔH	altezze irrigidimenti longitudinali	
a=	4100	mm	lunghezza pannello tra due irrigidimenti trasversali
$A_{s,lorda}$ =	121860	mm ²	area sezione lorda
$Z_{Gs,lorda}$ =	1552,3	mm	posizione "z" asse baricentrico sezione lorda
$I_{s,lorda,y}$ =	9,523E+10	mm ⁴	momento d'inerzia "y" baricentrico sezione lorda
$Y_{Gs,lorda}$ =	0,00	mm	posizione "y" asse baricentrico sezione lorda-asse anima
$I_{s,lorda,z}$ =	2,78E+09	mm ⁴	momento d'inerzia "z" baricentrico sezione lorda
$A_{p,anima}$ =	121860	mm ²	area sezione lorda pannello d'anima
$Y_{p,anima}$ =	0,00	mm	posizione "y" asse baricentrico sezione lorda pannello d'anima
$I_{p,anima}$ =	2,778E+09	mm ⁴	momento d'inerzia "z" baricentrico sezione lorda pannello d'anima



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Classe anima **4** Classe piattabanda anima (soggetta a flessione)

Irrigidimenti longitudinali sull'anima:

$t_1 =$	30,0	mm	spessore irrigidimento
$t_2 =$	-	mm	-
$h_i =$	350,0	mm	altezza irrigidimento
$b_{min,i} =$	-	mm	-
$l =$	-	mm	-
$l_{coll.} =$	467,4	mm	larghezza pannello collaborante con l'irrigidimento
$a =$	4100,0	mm	lunghezza pannello tra due irrigidimenti trasversali
$A_{sl,i} =$	29413,2	mm ²	area sezione lorda dell'irrigiditore
$S_{sl,i,z} =$	0,0	mm ³	momento statico sezione lorda dell'irrigiditore
$Y_{sl,i} =$	0,00	mm	distanza asse baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore - asse anima
$I_{sl,i,z} =$	9,26E+08	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Verifica di stabilità a taglio pannello d'anima

Verifica d'instabilità per taglio:

N_{Ed} = -871,343062 kN **Sforzo normale di progetto**
M_{Ed} = 1878,984725 kNm **Momento di progetto**
V_{Ed} = -10504,2929 kN **Taglio di progetto**

h_w = 3270 mm altezza pannello
t = 18 mm spessore pannello
N_{irr,long} = 3 numero di irrigidimenti longitudinali
k_{tl} = 100,291
k_t = 108,175 coefficiente per insabilità a taglio
η = 1,2
h_w/t = 181,67 < 217,635506490209 pannello verificato

σ_E = 0,58 N/mm² tensione critica euleriana
τ_{cr} = 62,28 N/mm² tensione tangenziale critica
f_{yw} = 355,00 N/mm² tensione di snervamento del pannello
f_{yf} = 355,00 N/mm² tensione di snervamento della piattabanda
b_f = 0 mm larghezza efficace della piattabanda
λ_w = 0,58 coefficiente di snellezza
χ_w = 1,20 coefficiente funzione dell'instabilità elastica del pannello
M_{fk} = 0,0 KNm momento resistente di progetto

$$V_{bw,Rd} = \frac{Z_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

V_{bw,Rd} = 13160,63 KN contributo resistente dell'anima

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{a \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right) \gamma_{M1}} \cdot \left[1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,red}} \right) \right]$$

V_{bf,Rd} = 0,0 KN contributo resistente delle piattabande

$$(1,2 \cdot f_{ywd} \cdot h_w \cdot t) / \sqrt{3} = 13160,63 \text{ KN}$$

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

V_{b,Rd} = 13160,6 KN > 10504,2929319499 Verifica soddisfatta!

η₃ = 0,7982

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

verifica stabilità di piastra:

piastra con tre o più irrigiditori longitudinali in zona compressa:

$\alpha_1 =$	1,254		
$\psi =$	0,500		
$Y_{bar,tot} =$	0,00	mm	distanza asse anima- baricentro piastra irrigidita
$I_{sl,tot,z} =$	2,78E+09	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico intera piastra irrigiditi
$\gamma =$	1590,50		
$\delta =$	1,070		
$k_{\alpha,p} =$	652,211		
$\sigma_{cr,e} =$	5,76	N/mm ²	tensione critica euleriana
$\sigma_{cr,p} =$	3754,84	N/mm ²	tensione critica di pannello

piastra con un solo irrigiditore longitudinale in zona compressa:

$b_1 =$	795,0	mm	
$b_2 =$	2475,0	mm	
$a_c =$	16032,21	mm	
$\sigma_{cr,sl} =$	3142,18	Mpa	tensione critica euleriana

piastra con due irrigiditori longitudinali in zona compressa:

$b^1 =$	1795,0	mm	
$b^1_{-1} =$	795,0	mm	
$b^1_{-2} =$	1000,0	mm	
$a_{c1} =$	11839,32	mm	
$\sigma_{cr,sl1} =$	3210,18	N/mm ²	tensione critica euleriana I caso
$\sigma_{cr,p1} =$	5196,07	N/mm ²	tensione critica di pannello I caso
$b^2 =$	2475,0	mm	
$b^2_{-1} =$	1000,0	mm	
$b^2_{-2} =$	1475,0	mm	
$a_{c2} =$	14881,64	mm	
$\sigma_{cr,sl2} =$	3414,02	N/mm ²	tensione critica euleriana II caso
$\sigma_{cr,p2} =$	24907,40		tensione critica di pannello II caso
$b^3 =$	3270,0	mm	
$b^3_{-1} =$	1188,9	mm	
$b^3_{-2} =$	2081,1	mm	
$a_{c3} =$	21379,15	mm	
$\sigma_{cr,sl3} =$	3257,87	N/mm ²	tensione critica euleriana III caso
$\sigma_{cr,p3} =$	7603,56		tensione critica di pannello III caso
$\sigma_{cr,p} =$	5196,07	N/mm ²	tensione critica di pannello
$\sigma_{cr,p} =$	5196,07	N/mm²	tensione critica del pannello per instabilità di piastra

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

coefficiente di riduzione per comportamento a piastra:

$A_c = 73034,39$	mm^2	area lorda pannello in compressione eccetto subpannelli esterni
$A_{sl,eff.} = 42000,00$	mm^2	area effettiva irrigidimenti in zona compressa
$\Sigma \rho_{loc} b_{c,loc} t = 25241,05$	mm^2	area effettiva pannello in zona compressa
$A_{c,eff,loc} = 67241,05$	mm^2	area efficace pannello e irrigidimenti in zona compressa
$\beta_{A,c}^p = 0,9207$		
$\lambda_p = 0,2508$		snellezza relativa di piastra del pannello
$\psi = -0,5720$		

$\rho = 1$

verifica stabilità di colonna:

$b_c = 2080,1$	mm	distanza lembo maggiormente compresso - asse neutro
$b_{sl,l} = 1285,1$	mm	distanza irr. maggiormente compresso - asse neutro
$A_{sl,1} = 36480,53$	mm^2	area sezione lorda dell'irrigiditore
$I_{sl,1} = 9,258E+08$	mm^4	momento d'inerzia baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore
$\sigma_{cr,sl} = 3128,91$	N/mm^2	tensione critica euleriana irri. maggiormente compresso
$\sigma_{cr,c} = 5064,51$	N/mm^2	tensione critica di colonna
$A_{sl,1,eff.} = 34819,73$	mm^2	
$\beta_{A,c}^c = 0,9545$		
$\lambda_c = 0,259$		snellezza relativa di colonna del pannello
$i = 159,30$	mm	raggio d'inerzia sezione lorda dell' irrigiditore
$e_2 = 0,00$	mm	distanza lamiera- baricentro sezione efficace irrigi.
$e_1 = 0,00$	mm	
$e = 0,00$	mm	
$\alpha = 0,49$		fattore di imperfezione
$\alpha_e = 0,490$		fattore di imperfezione amplificato
$\Phi = 0,5478$		
$\chi_c = 0,9702$		fattore di riduzione instabilità di colonna

coefficiente di riduzione per instabilità di piastra e di colonna:

$\zeta = 0,0260$

$\rho_c = 0,972$ $= (\rho - \chi_c) \zeta (2 - \zeta) + \chi_c$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

calcolo caratteristiche geometriche efficaci:

$t_{w,eff.} =$	17,49	mm	spessore anima zona compressa efficace
$t_{sl,1,eff.} =$	29,15	mm	spessore irrigidimento zona compressa efficace
$t_{sl,2,eff.} =$	-	mm	spessore irrigidimento zona compressa efficace
$A_{c,eff.} =$	116519,38	mm ²	area sezione lorda efficace
$h_{a,Gz,eff} =$	1519,02	mm	posizione asse baricentrico sezione lorda efficace
$e_{Nz} =$	-33,27	mm	eccentricità lungo "z" asse neutro sezione efficace
$I_{y,eff.} =$	9,11E+10	mm ⁴	momento d'inerzia "y" baricentrico sezione lorda eff
$W_{y,eff.} =$	-5,21E+07	mm ³	modulo di resistenza "y"
$N_{Ed} =$	-871,3	KN	Sforzo normale di progetto
$M_{Ed} =$	1878,98	KNm	Momento di progetto

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} \cdot f_y A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + (N_{Ed} \cdot e_N)}{\gamma_{M0} \cdot f_y W_{eff}} \leq 1,0 \quad \mathbf{0,13} < \mathbf{1} \quad \mathbf{Verifica soddisfatta!}$$

$$\eta_1 = \mathbf{0,131}$$

$$\eta_{comb.} = \mathbf{0,486}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

6.2.5.3 Pannello A (anime)

CONCIO 2

Sollecitazioni sezione

P	V2	V3	T	M2	M3
-7252,62	-16870,70	-1976,86	-20434,73	19459,88	175772,02

Caratteristiche Geometriche n=6.06

Sezione Lorda

A	1458759
Ix	9,05E+12
Iy	2,03E+13

CONCIO 2

Sollecitazioni sezione

P	V2	V3	T	M2	M3
-24474,00	-6145,55	0,00	-3394,76	0,00	126104,84

Caratteristiche Geometriche n=15.77

Sezione Lorda

A	954561
Ix	7,68E+12
Iy	1,37E+13

Pannello	A (mm ²)	σ_{sup} (N/mm ²)	σ_{inf} (N/mm ²)	N (kN)	V (kN)	M (kNm)	Sp. (mm)
A	78001	-90,08	141,00	3523,35	-8682,95	16195,43	20
B	59580	-96,09	137,27	2128,11	-7963,62	12885,18	16
C	78001	-102,11	133,55	2175,43	-6185,55	16195,43	20
D	100340	143,65	137,63	10970,12	-1414,16	397,28	20
E	100340	137,63	131,61	10500,18	-355,41	397,28	20
F	24000	-90,43	-91,58	-2184,03	0,00	2,76	20
G	30000	-95,73	-97,17	-2893,55	0,00	5,39	20
H	24000	-101,33	-102,48	-2445,64	0,00	-2,76	20

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

Dati di progetto - pannelli soggetti a compressione

$$N_{Ed} = 3523,349393 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 16195,42759 \text{ kNm}$$

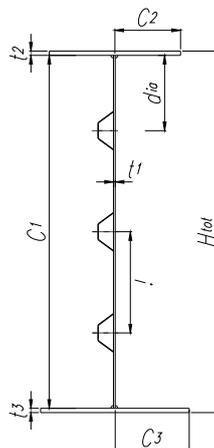
$$V_{Ed} = -8682,9458 \text{ kN}$$

Materiali e caratteristiche di resistenza

qualità di acciaio:	S 355		
E_a [MPa]	210000	Modulo elastico acciaio	
ν	0,3	Coefficiente di Poisson	
G_a [MPa]	80769,2	Modulo di taglio acciaio	
f_y [MPa]	355	Tensione di snervamento ($t \leq 40$ mm)	
f_y [MPa]	335	Tensione di snervamento ($40 < t \leq 80$ mm)	
f_y [MPa]	335	Tensione di snervamento ($t > 80$ mm)	
S.L.U γ_{M0}	1,05	Coeff. di sicurezza resistenza sezioni classe 1-2-3-4	
S.L.U γ_{M1}	1,10	Coeff. di sicurezza resistenza all'instabilità	
S.L.U γ_{M2}	1,25	Coeff. di sicurezza per sezioni indebolite dai fori	
ϵ	0,81		

Geometria trave - pannello d'anima

Htot=	6835	mm	
C1=	6835	mm	
t1=	20	mm	
C2=	0	mm	
t2=	0	mm	
C3=	0	mm	
t3=	0	mm	
Irrigidimento=	2	tipologia di irrigidimento adottata	
Nirr, long=	5	numero di irrigidimenti longitudinali	
hi, irr, long=	ΔH	altezze irrigidimenti longitudinali	
a=	5700	mm	lunghezza pannello tra due irrigidimenti trasversali
$A_{s, lorda}$	189200	mm ²	area sezione lorda
$Z_{Gs, lorda}$	3528,4	mm	posizione "z" asse baricentrico sezione lorda
$I_{s, lorda, y}$	6,432E+11	mm ⁴	momento d'inerzia "y" baricentrico sezione lorda
$Y_{Gs, lorda}$	51,33	mm	posizione "y" asse baricentrico sezione lorda-asse anima
$I_{s, lorda, z}$	1,84E+09	mm ⁴	momento d'inerzia "z" baricentrico sezione lorda
$A_{p, anima}$	189200	mm ²	area sezione lorda pannello d'anima
$Y_{p, anima}$	51,33	mm	posizione "Y" asse baricentrico sezione lorda pannello d'anima
$I_{p, anima}$	1,839E+09	mm ⁴	momento d'inerzia "z" baricentrico sezione lorda pannello d'anima



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Classe anima **4** Classe piattabanda anima (soggetta a flessione)

Irrigidimenti longitudinali sull'anima:

$t_1 =$	30,0	mm	spessore irrigidimento
$t_2 =$	-	mm	-
$h_i =$	350,0	mm	altezza irrigidimento
$b_{min,i} =$	-	mm	-
$l =$	-	mm	-
$l_{coll.} =$	516,0	mm	larghezza pannello collaborante con l'irrigidimento
$a =$	5700,0	mm	lunghezza pannello tra due irrigidimenti trasversali
$A_{sl,i} =$	20820	mm ²	area sezione lorda dell'irrigiditore
$S_{sl,i,z} =$	2150700,0	mm ³	momento statico sezione lorda dell'irrigiditore
$Y_{sl,i} =$	93,30	mm	distanza asse baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore - asse anima
$I_{sl,i,z} =$	2,86E+08	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Verifica di stabilità a taglio pannello d'anima

Verifica d'instabilità per taglio:

N_{Ed} = 3523,349393 kN **Sforzo normale di progetto**
M_{Ed} = 16195,42759 kNm **Momento di progetto**
V_{Ed} = -8682,9458 kN **Taglio di progetto**

h_w = 6835 mm altezza pannello
t = 20 mm spessore pannello
N_{irr,long} = 5 numero di irrigidimenti longitudinali
k_{tl} = 8,400
k_t = 20,079 coefficiente per insabilità a taglio
η = 1,2
h_w/t = 341,75 > 93,7637223595774 verifica necessaria!

σ_E = 0,16 N/mm² tensione critica euleriana
τ_{cr} = 3,27 N/mm² tensione tangenziale critica
f_{yw} = 355,00 N/mm² tensione di snervamento del pannello
f_{yf} = 355,00 N/mm² tensione di snervamento della piattabanda
b_f = 0 mm larghezza efficace della piattabanda
λ_w = 2,52 coefficiente di snellezza
χ_w = 0,43 coefficiente funzione dell'instabilità elastica del pannello
M_{fk} = 0,0 KNm momento resistente di progetto

$$V_{bw,Rd} = \frac{Z_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad V_{bw,Rd} = 10845,14 \text{ KN} \quad \text{contributo resistente dell'anima}$$

$$M_{f,red} = \frac{M_{fk}}{\gamma_{M0}} \left(1 - \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{(A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_{yf}} \right) \quad M_{f,red} = \#DIV/0! \text{ KNm} \quad \text{momento resistente di progetto ridotto}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{a \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right) \gamma_{M1}} \left[1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,red}} \right) \right] \quad V_{bf,Rd} = 0,0 \text{ KN} \quad \text{contributo resistente delle piattabande}$$

$$(1,2 \cdot f_{ywd} \cdot h_w \cdot t) / \sqrt{3} = 30565,03 \text{ KN}$$

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad V_{b,Rd} = 10845,1 \text{ KN} \quad > 8682,94580437501 \text{ Verifica soddisfatta!}$$

$$\eta_3 = 0,801$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

verifica stabilità di piastra:

piastra con tre o più irrigiditori longitudinali in zona compressa:

$\alpha_1 =$	0,834		
$\psi =$	0,500		
$Y_{bar,tot} =$	9,51	mm	distanza asse anima- baricentro piastra irrigidita
$I_{sl,tot,z} =$	1,60E+08	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico intera piastra irrigidita
$\gamma =$	31,95		
$\delta =$	0,093		
$k_{\alpha,p} =$	57,281		
$\sigma_{cr,e} =$	1,63	N/mm ²	tensione critica euleriana
$\sigma_{cr,p} =$	93,18	N/mm ²	tensione critica di pannello

piastra con un solo irrigiditore longitudinale in zona compressa:

$b_1 =$	1018,0	mm	
$b_2 =$	5817,0	mm	
$a_c =$	9469,67	mm	
$\sigma_{cr,sl} =$	115,48	Mpa	tensione critica euleriana

piastra con due irrigiditori longitudinali in zona compressa:

$b^1 =$	2018,0	mm	
$b^1_1 =$	1018,0	mm	
$b^1_2 =$	1000,0	mm	
$a_{c1} =$	5326,47	mm	
$\sigma_{cr,sl1} =$	429,56	N/mm ²	tensione critica euleriana I caso
$\sigma_{cr,p1} =$	711,80	N/mm ²	tensione critica di pannello I caso
$b^2 =$	5817,0	mm	
$b^2_1 =$	1000,0	mm	
$b^2_2 =$	4817,0	mm	
$a_{c2} =$	8833,99	mm	
$\sigma_{cr,sl2} =$	145,29	N/mm ²	tensione critica euleriana II caso
$\sigma_{cr,p2} =$	678,97		tensione critica di pannello II caso
$b^3 =$	6835,0	mm	
$b^3_1 =$	1438,6	mm	
$b^3_2 =$	5396,4	mm	
$a_{c3} =$	12852,06	mm	
$\sigma_{cr,sl3} =$	114,87	N/mm ²	tensione critica euleriana III caso
$\sigma_{cr,p3} =$	261,27		tensione critica di pannello III caso
$\sigma_{cr,p} =$	261,27	N/mm ²	tensione critica di pannello
$\sigma_{cr,p} =$	261,27	N/mm²	tensione critica del pannello per instabilità di piastra

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

coefficiente di riduzione per comportamento a piastra:

$A_c = 47170,74$	mm^2	area lorda pannello in compressione eccetto subpannelli esterni
$A_{sl,eff.} = 5062,28$	mm^2	area effettiva irrigidimenti in zona compressa
$\Sigma \rho_{loc} b_{c,loc} t = 31159,28$	mm^2	area effettiva pannello in zona compressa
$A_{c,eff,loc} = 36221,56$	mm^2	area efficace pannello e irrigidimenti in zona compressa
$\beta_{A,c}^p = 0,7679$		
$\lambda_p = 1,0215$		snellezza relativa di piastra del pannello
$\psi = -1,6622$		

$\rho = 0,908478$

verifica stabilità di colonna:

$b_c = 2567,4$	mm	distanza lembo maggiormente compresso - asse neutro
$b_{sl,l} = 1549,4$	mm	distanza irr. maggiormente compresso - asse neutro
$A_{sl,1} = 22269,58$	mm^2	area sezione lorda dell'irrigiditore
$I_{sl,1} = 3,567E+07$	mm^4	momento d'inerzia baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore
$\sigma_{cr,sl} = 102,18$	N/mm^2	tensione critica euleriana irri. maggiormente compresso
$\sigma_{cr,c} = 169,32$	N/mm^2	tensione critica di colonna
$A_{sl,1,eff.} = 19166,23$	mm^2	
$\beta_{A,c}^c = 0,8606$		
$\lambda_c = 1,343$		snellezza relativa di colonna del pannello
$i = 40,02$	mm	raggio d'inerzia sezione lorda dell' irrigiditore
$e_2 = 11,62$	mm	distanza lamiera- baricentro sezione efficace irrigi.
$e_1 = 100,58$	mm	
$e = 100,58$	mm	
$\alpha = 0,49$		fattore di imperfezione
$\alpha_e = 0,716$		fattore di imperfezione amplificato
$\Phi = 1,8116$		
$\chi_c = 0,3303$		fattore di riduzione instabilità di colonna

coefficiente di riduzione per instabilità di piastra e di colonna:

$\zeta = 0,5430$

$\rho_c = 0,788$ $= (\rho - \chi_c) \zeta (2 - \zeta) + \chi_c$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

calcolo caratteristiche geometriche efficaci:

$t_{w,eff.} =$	15,75	mm	spessore anima zona compressa efficace
$t_{sl,1,eff.} =$	3,94	mm	spessore irrigidimento zona compressa efficace
$t_{sl,2,eff.} =$	3,94	mm	spessore irrigidimento zona compressa efficace
$A_{c,eff.} =$	135496,60	mm ²	area sezione lorda efficace
$h_{a,Gz,eff} =$	3223,51	mm	posizione asse baricentrico sezione lorda efficace
$e_{Nz} =$	-227,84	mm	eccentricità lungo "z" asse neutro sezione efficace
$I_{y,eff.} =$	4,79E+11	mm ⁴	momento d'inerzia "y" baricentrico sezione lorda eff
$W_{y,eff.} =$	-1,33E+08	mm ³	modulo di resistenza "y"
$N_{Ed} =$	3523,3	KN	Sforzo normale di progetto
$M_{Ed} =$	16195,43	KNm	Momento di progetto

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} f_y A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + (N_{Ed} \cdot e_N)}{\gamma_{M0} f_y W_{eff}} \leq 1,0 \quad \mathbf{0,27} < \mathbf{1} \quad \mathbf{Verifica soddisfatta!}$$

$$\eta_1 = \mathbf{0,266}$$

$$\eta_{comb.} = \mathbf{0,628}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

6.2.5.4 Pannello B (anime)

CONCIO 2

Sollecitazioni sezione

P	V2	V3	T	M2	M3
-7261,17	-16507,75	-2029,16	-19151,37	19910,08	177900,37

Caratteristiche Geometriche n=6.06

Sezione Lorda

A	1458759
Ix	9,05E+12
Iy	2,03E+13

CONCIO 2

Sollecitazioni sezione

P	V2	V3	T	M2	M3
-24474,00	-6145,55	0,00	-3394,76	0,00	126104,84

Caratteristiche Geometriche n=15.77

Sezione Lorda

A	954561
Ix	7,68E+12
Iy	1,37E+13

Pannello	A (mm ²)	σ_{sup} (N/mm ²)	σ_{inf} (N/mm ²)	N (kN)	V (kN)	M (kNm)	Sp. (mm)
A	78001	-90,28	142,27	3597,58	-8504,97	16301,68	20
B	59580	-96,43	138,46	2171,90	-7838,04	12969,71	16
C	78001	-102,59	134,65	2218,48	-6129,06	16301,68	20
D	100340	144,99	138,82	11068,49	-1373,72	406,47	20
E	100340	138,82	132,66	10587,69	-331,67	406,47	20
F	24000	-90,63	-91,81	-2189,27	0,00	2,82	20
G	30000	-96,06	-97,53	-2903,87	0,00	5,51	20
H	24000	-101,78	-102,96	-2456,92	0,00	-2,82	20

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

Dati di progetto - pannelli soggetti a compressione

$$N_{Ed} = 2171,90416 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 12969,71315 \text{ kNm}$$

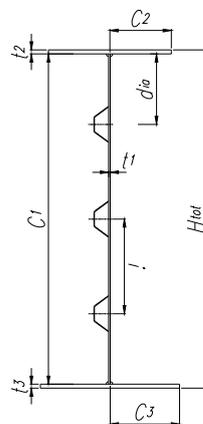
$$V_{Ed} = -7838,04263 \text{ kN}$$

Materiali e caratteristiche di resistenza

qualità di acciaio:	S 355	
E_a [MPa]	210000	Modulo elastico acciaio
ν	0,3	Coefficiente di Poisson
G_a [MPa]	80769,2	Modulo di taglio acciaio
f_y [MPa]	355	Tensione di snervamento ($t \leq 40$ mm)
f_y [MPa]	335	Tensione di snervamento ($40 < t \leq 80$ mm)
f_y [MPa]	335	Tensione di snervamento ($t > 80$ mm)
S.L.U γ_{M0}	1,05	Coeff. di sicurezza resistenza sezioni classe 1-2-3-4
S.L.U γ_{M1}	1,10	Coeff. di sicurezza resistenza all'instabilità
S.L.U γ_{M2}	1,25	Coeff. di sicurezza per sezioni indebolite dai fori
ε	0,81	

Geometria trave - pannello d'anima

Htot=	6403	mm	
C1=	6403	mm	
t1=	16	mm	
C2=	0	mm	
t2=	0	mm	
C3=	0	mm	
t3=	0	mm	
Irrigidimento=	2	tipologia di irrigidimento adottata	
N _{irr,long} =	5	numero di irrigidimenti longitudinali	
h _{i,irr,long} =	ΔH	altezze irrigidimenti longitudinali	
a=	5700	mm	lunghezza pannello tra due irrigidimenti trasversali
A _{s,lorda} =	207448	mm ²	area sezione lorda
Z _{Gs,lorda} =	3410,8	mm	posizione "z" asse baricentrico sezione lorda
I _{s,lorda,y} =	5,689E+11	mm ⁴	momento d'inerzia "y" baricentrico sezione lorda
Y _{Gs,lorda} =	0,00	mm	posizione "y" asse baricentrico sezione lorda-asse anima
I _{s,lorda,z} =	4,59E+09	mm ⁴	momento d'inerzia "z" baricentrico sezione lorda
A _{p,anima} =	207448	mm ²	area sezione lorda pannello d'anima
Y _{p,anima} =	0,00	mm	posizione "y" asse baricentrico sezione lorda pannello d'anima
I _{p,anima} =	4,590E+09	mm ⁴	momento d'inerzia "z" baricentrico sezione lorda pannello d'anima



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Classe anima **4** Classe piattabanda anima (soggetta a flessione)

Irrigidimenti longitudinali sull'anima:

$t_1 =$	30,0	mm	spessore irrigidimento
$t_2 =$	-	mm	-
$h_i =$	350,0	mm	altezza irrigidimento
$b_{min,i} =$	-	mm	-
$l =$	-	mm	-
$l_{coll.} =$	418,8	mm	larghezza pannello collaborante con l'irrigidimento
$a =$	5700,0	mm	lunghezza pannello tra due irrigidimenti trasversali
$A_{sl,i} =$	27700,8	mm ²	area sezione lorda dell'irrigiditore
$S_{sl,i,z} =$	0,0	mm ³	momento statico sezione lorda dell'irrigiditore
$Y_{sl,i} =$	0,00	mm	distanza asse baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore - asse anima
$I_{sl,i,z} =$	9,18E+08	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Verifica di stabilità a taglio pannello d'anima

Verifica d'instabilità per taglio:

N_{Ed} = 2171,90416 kN **Sforzo normale di progetto**
M_{Ed} = 12969,71315 kNm **Momento di progetto**
V_{Ed} = -7838,04263 kN **Taglio di progetto**

h_w = 6403 mm altezza pannello
t = 16 mm spessore pannello
N_{irr,long} = 5 numero di irrigidimenti longitudinali
k_{tl} = 162,127
k_t = 172,866 coefficiente per insabilità a taglio
η = 1,2
h_w/t = 400,19 > 275,118598787734 verifica necessaria!

σ_E = 0,12 N/mm² tensione critica euleriana
τ_{cr} = 20,51 N/mm² tensione tangenziale critica
f_{yw} = 355,00 N/mm² tensione di snervamento del pannello
f_{yf} = 355,00 N/mm² tensione di snervamento della piattabanda
b_f = 0 mm larghezza efficace della piattabanda
λ_w = 1,00 coefficiente di snellezza
χ_w = 0,83 coefficiente funzione dell'instabilità elastica del pannello
M_{fk} = 0,0 KNm momento resistente di progetto

$$V_{bw,Rd} = \frac{Z_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad V_{bw,Rd} = 15769,00 \text{ KN} \quad \text{contributo resistente dell'anima}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{a \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right) \gamma_{M1}} \cdot \left[1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,red}} \right) \right] \quad V_{bf,Rd} = 0,0 \text{ KN} \quad \text{contributo resistente delle piattabande}$$

$$(1,2 \cdot f_{ywd} \cdot h_w \cdot t) / \sqrt{3} = 22906,55 \text{ KN}$$

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad V_{b,Rd} = 15769,0 \text{ KN} \quad > 7838,04263040003 \text{ Verifica soddisfatta!}$$

$$\eta_3 = 0,497$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

verifica stabilità di piastra:

piastra con tre o più irrigiditori longitudinali in zona compressa:

$\alpha_1 =$	0,890		
$\psi =$	0,500		
$Y_{bar,tot} =$	0,00	mm	distanza asse anima- baricentro piastra irrigidita
$I_{sl,tot,z} =$	4,59E+09	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico intera piastra irrigidi
$\gamma =$	1911,31		
$\delta =$	1,025		
$k_{\alpha,p} =$	1588,768		
$\sigma_{cr,e} =$	1,19	N/mm ²	tensione critica euleriana
$\sigma_{cr,p} =$	1884,89	N/mm ²	tensione critica di pannello

piastra con un solo irrigiditore longitudinale in zona compressa:

$b_1 =$	788,0	mm	
$b_2 =$	5615,0	mm	
$a_c =$	22153,57	mm	
$\sigma_{cr,sl} =$	1685,27	Mpa	tensione critica euleriana

piastra con due irrigiditori longitudinali in zona compressa:

$b^1 =$	1788,0	mm	
$b^1_1 =$	788,0	mm	
$b^1_2 =$	1000,0	mm	
$a_{c1} =$	12860,94	mm	
$\sigma_{cr,sl1} =$	1907,83	N/mm ²	tensione critica euleriana I caso
$\sigma_{cr,p1} =$	2769,38	N/mm ²	tensione critica di pannello I caso
$b^2 =$	5615,0	mm	
$b^2_1 =$	1000,0	mm	
$b^2_2 =$	4615,0	mm	
$a_{c2} =$	23380,22	mm	
$\sigma_{cr,sl2} =$	1687,58	N/mm ²	tensione critica euleriana II caso
$\sigma_{cr,p2} =$	5737,91		tensione critica di pannello II caso
$b^3 =$	6403,0	mm	
$b^3_1 =$	1221,1	mm	
$b^3_2 =$	5181,9	mm	
$a_{c3} =$	31504,88	mm	
$\sigma_{cr,sl3} =$	1681,21	N/mm ²	tensione critica euleriana III caso
$\sigma_{cr,p3} =$	3245,99		tensione critica di pannello III caso
$\sigma_{cr,p} =$	2769,38	N/mm ²	tensione critica di pannello
$\sigma_{cr,p} =$	2769,38	N/mm²	tensione critica del pannello per instabilità di piastra

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

coefficiente di riduzione per comportamento a piastra:

$A_c = 76789,88$	mm^2	area lorda pannello in compressione eccetto subpannelli esterni
$A_{sl,eff.} = 42000,00$	mm^2	area effettiva irrigidimenti in zona compressa
$\Sigma \rho_{loc} b_{c,loc} t = 22540,00$	mm^2	area effettiva pannello in zona compressa
$A_{c,eff,loc} = 64540,00$	mm^2	area efficace pannello e irrigidimenti in zona compressa
$\beta_{A,c}^p = 0,8405$		
$\lambda_p = 0,3282$		snellezza relativa di piastra del pannello
$\psi = -1,5279$		

$\rho = 1$

verifica stabilità di colonna:

$b_c = 2533,0$	mm	distanza lembo maggiormente compresso - asse neutro
$b_{sl,l} = 1745,0$	mm	distanza irr. maggiormente compresso - asse neutro
$A_{sl,1} = 34897,81$	mm^2	area sezione lorda dell'irrigiditore
$I_{sl,1} = 9,179E+08$	mm^4	momento d'inerzia baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore
$\sigma_{cr,sl} = 1677,98$	N/mm^2	tensione critica euleriana irri. maggiormente compresso
$\sigma_{cr,c} = 2435,72$	N/mm^2	tensione critica di colonna
$A_{sl,1,eff.} = 31943,35$	mm^2	
$\beta_{A,c}^c = 0,9153$		
$\lambda_c = 0,365$		snellezza relativa di colonna del pannello
$i = 162,18$	mm	raggio d'inerzia sezione lorda dell' irrigiditore
$e_2 = 0,00$	mm	distanza lamiera- baricentro sezione efficace irrigi.
$e_1 = 0,00$	mm	
$e = 0,00$	mm	
$\alpha = 0,49$		fattore di imperfezione
$\alpha_e = 0,490$		fattore di imperfezione amplificato
$\Phi = 0,6072$		
$\chi_c = 0,9156$		fattore di riduzione instabilità di colonna

coefficiente di riduzione per instabilità di piastra e di colonna:

$\zeta = 0,1370$

$\rho_c = 0,937$ $= (\rho - \chi_c) \zeta (2 - \zeta) + \chi_c$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

calcolo caratteristiche geometriche efficaci:

$t_{w,eff.} =$	14,99	mm	spessore anima zona compressa efficace
$t_{sl,1,eff.} =$	28,11	mm	spessore irrigidimento zona compressa efficace
$t_{sl,2,eff.} =$	-	mm	spessore irrigidimento zona compressa efficace
$A_{c,eff.} =$	197026,32	mm ²	area sezione lorda efficace
$h_{a,Gz,eff} =$	3309,45	mm	posizione asse baricentrico sezione lorda efficace
$e_{Nz} =$	-101,34	mm	eccentricità lungo "z" asse neutro sezione efficace
$I_{y,eff.} =$	5,26E+11	mm ⁴	momento d'inerzia "y" baricentrico sezione lorda efficace
$W_{y,eff.} =$	-1,70E+08	mm ³	modulo di resistenza "y"
$N_{Ed} =$	2171,9	KN	Sforzo normale di progetto
$M_{Ed} =$	12969,71	KNm	Momento di progetto

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} \cdot f_y \cdot A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + (N_{Ed} \cdot e_N)}{\gamma_{M0} \cdot f_y \cdot W_{eff}} \leq 1,0 \quad \mathbf{0,19} < \mathbf{1} \quad \mathbf{Verifica soddisfatta!}$$

$$\eta_1 = \mathbf{0,189}$$

$$\eta_{comb.} = \mathbf{0,497}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	Codice documento PA0107_F0.doc	Rev. F0	Data 20/06/2011	

6.2.5.5 Pannello D (piattabanda inferiore)

CONCIO 3

Sollecitazioni sezione

P	V2	V3	T	M2	M3
-6583,94	-4649,15	-338,30	-8230,05	13629,53	383128,54

Caratteristiche Geometriche n=6.06

Sezione Lorda

A	1435599
Ix	9,52E+12
Iy	1,95E+13

CONCIO 3

Sollecitazioni sezione

P	V2	V3	T	M2	M3
-24474,00	-1579,31	0,00	-2117,03	0,00	203193,52

Caratteristiche Geometriche n=15.77

Sezione Lorda

A	931402
Ix	8,13E+12
Iy	1,28E+13

Pannello	A (mm ²)	σ_{sup} (N/mm ²)	σ_{inf} (N/mm ²)	N (kN)	V (kN)	M (kNm)	Sp. (mm)
A	78001	-142,67	279,60	7568,07	-2517,53	23459,99	16
B	59580	-147,07	276,88	5023,46	-2148,82	17501,55	12
C	78001	-151,47	274,15	6780,89	-1518,51	23459,99	16
D	100340	282,09	277,69	27289,53	-512,07	362,92	25
E	100340	277,69	273,29	26860,23	-175,74	362,92	25
F	24000	-143,48	-144,32	-4317,08	0,00	2,52	25
G	30000	-147,36	-148,41	-5545,72	0,00	4,92	25
H	24000	-151,45	-152,29	-4556,06	0,00	-2,52	25

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

Dati di progetto - pannelli soggetti a compressione

$$N_{Ed} = 27289,52733 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 362,9222018 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = -512,07277 \text{ kN}$$

Materiali e caratteristiche di resistenza

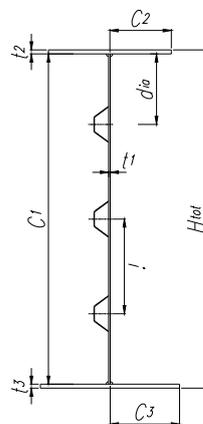
qualità di acciaio:

S 355

E_a [MPa]	210000	Modulo elastico acciaio
ν	0,3	Coefficiente di Poisson
G_a [MPa]	80769,2	Modulo di taglio acciaio
f_y [MPa]	355	Tensione di snervamento ($t \leq 40$ mm)
f_y [MPa]	335	Tensione di snervamento ($40 < t \leq 80$ mm)
f_y [MPa]	335	Tensione di snervamento ($t > 80$ mm)
S.L.U γ_{M0}	1,05	Coeff. di sicurezza resistenza sezioni classe 1-2-3-4
S.L.U γ_{M1}	1,10	Coeff. di sicurezza resistenza all'instabilità
S.L.U γ_{M2}	1,25	Coeff. di sicurezza per sezioni indebolite dai fori
ϵ	0,81	

Geometria trave - pannello d'anima

Htot=	3900	mm	
C1=	3900	mm	
t1=	25	mm	
C2=	0	mm	
t2=	0	mm	
C3=	0	mm	
t3=	0	mm	
Irrigidimento=	2	tipologia di irrigidimento adottata	
$N_{irr,long}$ =	2	numero di irrigidimenti longitudinali	
$h_{i,irr,long}$ =	ΔH	altezze irrigidimenti longitudinali	
a=	5700	mm	lunghezza pannello tra due irrigidimenti trasversali
$A_{s,lorda}$ =	105500	mm ²	area sezione lorda
$Z_{Gs,lorda}$ =	1946,0	mm	posizione "z" asse baricentrico sezione lorda
$I_{s,lorda,y}$ =	1,256E+11	mm ⁴	momento d'inerzia "y" baricentrico sezione lorda
$Y_{Gs,lorda}$ =	8,53	mm	posizione "y" asse baricentrico sezione lorda-asse anima
$I_{s,lorda,z}$ =	1,25E+08	mm ⁴	momento d'inerzia "z" baricentrico sezione lorda
$A_{p,anima}$ =	105500	mm ²	area sezione lorda pannello d'anima
$Y_{p,anima}$ =	8,53	mm	posizione "y" asse baricentrico sezione lorda pannello d'anima
$I_{p,anima}$ =	1,253E+08	mm ⁴	momento d'inerzia "z" baricentrico sezione lorda pannello d'anima



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Classe anima **4** Classe piattabanda anima (soggetta a flessione)

Irrigidimenti longitudinali sull'anima:

$t_1 =$	20,0	mm	spessore irrigidimento
$t_2 =$	-	mm	-
$h_i =$	200,0	mm	altezza irrigidimento
$b_{min,i} =$	-	mm	-
$l =$	-	mm	-
$l_{coll.} =$	627,5	mm	larghezza pannello collaborante con l'irrigidimento
$a =$	5700,0	mm	lunghezza pannello tra due irrigidimenti trasversali
$A_{sl,i} =$	19687,5	mm ²	area sezione lorda dell'irrigiditore
$S_{sl,i,z} =$	696093,8	mm ³	momento statico sezione lorda dell'irrigiditore
$Y_{sl,i} =$	22,86	mm	distanza asse baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore - asse anima
$I_{sl,i,z} =$	5,45E+07	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Verifica di stabilità a taglio pannello d'anima

Verifica d'instabilità per taglio:

N_{Ed} = 27289,52733 kN **Sforzo normale di progetto**
M_{Ed} = 362,9222018 kNm **Momento di progetto**
V_{Ed} = -512,07277 kN **Taglio di progetto**

h_w = 3900 mm altezza pannello
t = 25 mm spessore pannello
N_{irr,long} = 2 numero di irrigidimenti longitudinali
k_{tl} = 3,174
k_t = 9,870 coefficiente per insabilità a taglio
η = 1,2
h_w/t = 156,00 > 65,7404897745157 verifica necessaria!

σ_E = 0,78 N/mm² tensione critica euleriana
τ_{cr} = 7,71 N/mm² tensione tangenziale critica
f_{yw} = 355,00 N/mm² tensione di snervamento del pannello
f_{yf} = 355,00 N/mm² tensione di snervamento della piattabanda
b_f = 0 mm larghezza efficace della piattabanda
λ_w = 1,64 coefficiente di snellezza
χ_w = 0,59 coefficiente funzione dell'instabilità elastica del pannello
M_{fk} = 0,0 KNm momento resistente di progetto

$$V_{bw,Rd} = \frac{Z_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

V_{bw,Rd} = 10640,33 KN contributo resistente dell'anima

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{a \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right) \gamma_{M1}} \cdot \left[1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,red}} \right) \right]$$

V_{bf,Rd} = 0,0 KN contributo resistente delle piattabande

$$(1,2 \cdot f_{ywd} \cdot h_w \cdot t) / \sqrt{3} = 21800,22 \text{ KN}$$

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

V_{b,Rd} = 10640,3 KN > 512,072770050001 Verifica soddisfatta!

η₃ = 0,048

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

calcolo caratteristiche geometriche efficaci:

$t_{w,eff.} =$	-	mm	spessore anima zona compressa efficace
$t_{sl,1,eff.} =$	-	mm	spessore irrigidimento zona compressa efficace
$t_{sl,2,eff.} =$	-	mm	spessore irrigidimento zona compressa efficace
$A_{c,eff.} =$	105500,00	mm ²	area sezione lorda efficace
$h_{a,Gz,eff} =$	1945,98	mm	posizione asse baricentrico sezione lorda efficace
$e_{Nz} =$	0,00	mm	eccentricità lungo "z" asse neutro sezione efficace
$I_{y,eff.} =$	1,26E+11	mm ⁴	momento d'inerzia "y" baricentrico sezione lorda efficace
$W_{y,eff.} =$	-6,43E+07	mm ³	modulo di resistenza "y"
$N_{Ed} =$	27289,5	KN	Sforzo normale di progetto
$M_{Ed} =$	362,92	KNm	Momento di progetto

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} \cdot f_y \cdot A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + (N_{Ed} \cdot e_N)}{\gamma_{M0} \cdot f_y \cdot W_{eff}} \leq 1,0 \quad \mathbf{0,75} < \mathbf{1} \quad \mathbf{Verifica soddisfatta!}$$

$$\eta_1 = \mathbf{0,748}$$

$$\eta_{comb.} = \mathbf{0,748}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

6.2.5.6 Pannello G (piattabanda superiore)

CONCIO 3

Sollecitazioni sezione

P	V2	V3	T	M2	M3
-6554,39	-3821,00	-434,80	-9189,83	38888,19	345998,04

Caratteristiche Geometriche n=6.06

Sezione Lorda

A	1435599
Ix	9,52E+12
Iy	1,95E+13

CONCIO 3

Sollecitazioni sezione

P	V2	V3	T	M2	M3
-24474,00	-1579,31	0,00	-2117,03	0,00	203193,52

Caratteristiche Geometriche n=15.77

Sezione Lorda

A	931402
Ix	8,13E+12
Iy	1,28E+13

Pannello	A (mm ²)	σ_{sup} (N/mm ²)	σ_{inf} (N/mm ²)	N (kN)	V (kN)	M (kNm)	Sp. (mm)
A	78001	-128,90	264,93	7518,61	-2298,08	22057,76	16
B	59580	-141,45	257,16	4478,11	-1863,11	16455,46	12
C	78001	-153,99	249,39	5272,60	-1201,32	22057,76	16
D	100340	270,49	257,93	25760,28	-528,06	1035,50	25
E	100340	257,93	245,36	24535,39	-236,44	1035,50	25
F	24000	-129,65	-132,05	-3925,46	0,00	7,19	25
G	30000	-140,72	-143,71	-5332,99	0,00	14,04	25
H	24000	-152,38	-154,78	-4607,33	0,00	-7,19	25

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

Dati di progetto - pannelli soggetti a compressione

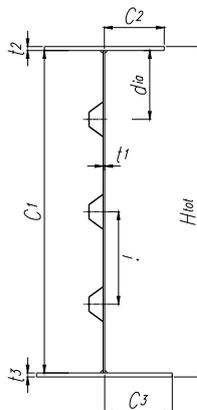
$N_{Ed} = -5332,98974$ kN
 $M_{Ed} = 14,04340268$ kNm
 $V_{Ed} = 0$ kN

Materiali e caratteristiche di resistenza

qualità di acciaio:	<input type="text" value="S 355"/>		
E_a [MPa]	210000	Modulo elastico acciaio	
ν	0,3	Coefficiente di Poisson	
G_a [MPa]	80769,2	Modulo di taglio acciaio	
f_y [MPa]	355	Tensione di snervamento ($t \leq 40$ mm)	
f_y [MPa]	335	Tensione di snervamento ($40 < t \leq 80$ mm)	
f_y [MPa]	335	Tensione di snervamento ($t > 80$ mm)	
S.L.U	γ_{M0}	1,05	Coeff. di sicurezza resistenza sezioni classe 1-2-3-4
S.L.U	γ_{M1}	1,10	Coeff. di sicurezza resistenza all'instabilità
S.L.U	γ_{M2}	1,25	Coeff. di sicurezza per sezioni indebolite dai fori
	ϵ	0,81	

Geometria trave - pannello d'anima

Htot=	1500	mm	
C1=	1500	mm	
t1=	25	mm	
C2=	0	mm	
t2=	0	mm	
C3=	0	mm	
t3=	0	mm	
Irrigidimento=	0	tipologia di irrigidimento adottata	
N _{irr, long} =	0	numero di irrigidimenti longitudinali	
h _{i, irr, long} =	ΔH	altezze irrigidimenti longitudinali	
a=	5700	mm	lunghezza pannello tra due irrigidimenti trasversali
A _{s, lorda} =	37500	mm ²	area sezione lorda
Z _{Gs, lorda} =	750,0	mm	posizione "z" asse baricentrico sezione lorda
I _{s, lorda, y} =	7,031E+09	mm ⁴	momento d'inerzia "y" baricentrico sezione lorda
Y _{Gs, lorda} =	0,00	mm	posizione "y" asse baricentrico sezione lorda-asse anima
I _{s, lorda, z} =	1,95E+06	mm ⁴	momento d'inerzia "z" baricentrico sezione lorda
A _{p, anima} =	37500	mm ²	area sezione lorda pannello d'anima
Y _{p, anima} =	0,00	mm	posizione "Y" asse baricentrico sezione lorda pannello d'anima
I _{p, anima} =	1,953E+06	mm ⁴	momento d'inerzia "z" baricentrico sezione lorda pannello d'anima



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

calcolo caratteristiche geometriche efficaci:

$t_{w,eff.} =$	16,02	mm	spessore anima zona compressa efficace
$t_{sl,1,eff.} =$	5,13	mm	spessore irrigidimento zona compressa efficace
$t_{sl,2,eff.} =$	5,13	mm	spessore irrigidimento zona compressa efficace
$A_{c,eff.} =$	24027,18	mm ²	area sezione lorda efficace
$h_{a,Gz,eff} =$	748,60	mm	posizione asse baricentrico sezione lorda efficace
$e_{Nz} =$	-1,40	mm	eccentricità lungo "z" asse neutro sezione efficace
$I_{y,eff.} =$	6,71E+09	mm ⁴	momento d'inerzia "y" baricentrico sezione lorda eff
$W_{y,eff.} =$	-8,92E+06	mm ³	modulo di resistenza "y"
$N_{Ed} =$	-5333,0	KN	Sforzo normale di progetto
$M_{Ed} =$	14,04	KNm	Momento di progetto

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} \cdot f_y \cdot A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + (N_{Ed} \cdot e_N)}{\gamma_{M0} \cdot f_y \cdot W_{eff}} \leq 1,0 \quad \mathbf{0,66} < \mathbf{1} \quad \mathbf{Verifica soddisfatta!}$$

$$\eta_1 = \mathbf{0,664}$$

$$\eta_{comb.} = \mathbf{0,664}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

6.2.6 Compressione nella soletta.

La massima tensione di compressione nella soletta si viene a determinare nella sezione relativa al concio 4 in corrispondenza della mezzeria dell'impalcato per la combinazione 10 a breve termine.

CONCIO 4

Sollecitazioni sezione

P	V2	V3	T	M2	M3
-6334,62	-37,57	-166,59	-462,12	15463,39	353913,40

Caratteristiche Geometriche	n=6.06	xg	yg
Sezione Lorda		0 mm	4974 mm
A	1493637 mm ²		
I _x	1,05E+13 mm ⁴		
I _y	2,01E+13 mm ⁴		

B = 12000 mm

H = 6950 mm

Da cui:

$$\sigma_c = N / (A \times n) + (M_3 \times (H - y_g)) / (J_x \times n) + (M_2 \times (B/2 - x_g)) / (J_y \times n)$$

$$= 12.48 \text{ MPa} < f_{cd} = 19.83 \text{ MPa}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6.3 Verifica dei connettori

Nella verifica dei dispositivi di collegamento tra le travi di acciaio e la soletta in calcestruzzo, la forza di scorrimento è stata calcolata utilizzando la teoria elastica, considerando l'aliquota di taglio che agisce dopo che la connessione si è attivata.

Per quel che riguarda i carichi verticali, permanenti, ballast e carichi da traffico ferroviari, tale forza è espressa dalla formula

$$q = (T \cdot S_c) / J$$

dove

- T rappresenta lo sforzo di taglio nel tratto in esame,
- S_c rappresenta il momento statico della soletta rispetto all'asse neutro dell'intera sezione,
- J rappresenta il momento d'inerzia dell'intera sezione calcolato considerando il rapporto dei moduli iniziale.

Oltre alla forza q, variabile lungo la trave secondo il diagramma dei massimi e minimi sforzi di taglio, è stato considerato anche uno sforzo localizzato in prossimità delle testate delle travi provocato dalle deformazioni impedita della soletta nel caso di ritiro e variazione termica differenziale. Tale sforzo è stato assunto globalmente pari alla risultante delle tensioni normali, calcolata come reazione nei vincoli, supponendo la soletta bloccata da vincoli fittizi. Per questa forza è stato ipotizzato un andamento lineare su una lunghezza, a partire dagli estremi della soletta, pari alla larghezza collaborante trasversale che compete a ciascuna trave.

		N ritiro	N termica
		kN	kN
		20395	5600
LARGHEZZA COLLABORANTE:		kN/m	kN/m
PIATTABANDA CENTRALE	5,69 m	2390	656
PIATTABANDE ESTERNE	3,445 m	3947	1084

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

La resistenza di calcolo a taglio del singolo piolo è stata valutata secondo quanto esposto al paragrafo 4.3.4.3.1.2 delle NTC2008, assumendo il minimo tra i seguenti valori

$$P_{Rd,a} = 0.8 \cdot f_t \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) / \gamma_V$$

$$P_{Rd,c} = 0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_c)^{0.5} / \gamma_V$$

dove

- γ_V è il fattore parziale,
- f_t è la resistenza a rottura dell'acciaio del piolo,
- f_{ck} è la resistenza cilindrica del calcestruzzo della soletta,
- d è il diametro del piolo, compreso tra 16 e 25 mm,
- h_{sc} è l'altezza del piolo dopo la saldatura, non minore di 3 volte il diametro del gambo del piolo;

$$\alpha = 0.2 \cdot (h_{sc}/d + 1) \quad \text{per } 3 \leq h_{sc}/d \leq 4,$$

$$\alpha = 1 \quad \text{per } h_{sc}/d > 4.$$

caratteristiche piolo

γ_V	1,25
f_t	430 Mpa
d	25 mm
h_{sc}	250 mm
α	1

calcestruzzo

f_{ck}	37,35 MPa
E_c	34625 MPa

$P_{Rd,a}$	135 kN
$P_{Rd,c}$	165 kN
min($P_{Rd,a}; P_{Rd,c}$)	135 kN

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

		x m	PERM	BALLAST	GR1	GR2	GR3	GR4	GR5	S	J (n=6)
			KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN	m ³
concio 1	tratto variabile	0	-713	-4768	-6888	-7203	-7403	-7956	-7164	3,09	2,58
		3,445	-649	-4341	-6027	-6518	-6694	-7201	-6885	5,01	5,66
		5,69	-607	-4064	-5466	-6072	-6232	-6709	-6703	6,26	7,66
		7,55	-573	-3833	-5001	-5702	-5850	-6302	-6552	7,29	9,32
	tratto cost.	9,2	-540	-3611	-4710	-5152	-5559	-5909	-6160	7,29	9,32
concio 2	inizio	9,2	-540	-3611	-4710	-5152	-5559	-5909	-6160	7,04	9,05
	fine	18,1	-368	-2461	-3206	-3238	-3578	-3882	-4125	7,04	9,05
concio 3	inizio	18,1	-368	-2461	-3206	-3238	-3578	-3882	-4125	7,11	9,52
	fine	29,5	-139	-928	-1199	-1104	-1121	-1418	-1770	7,11	9,52
concio 4	inizio	29,5	-139	-928	-1199	-1104	-1121	-1418	-1770	7,68	10,53
	fine	43,3	139	928	1497	2027	2219	1666	1770	7,68	10,53
concio 3	inizio	43,3	139	928	1497	2027	2219	1666	1770	7,11	9,52
	fine	54,7	368	2461	3274	3350	3717	4378	4125	7,11	9,52
concio 2	inizio	54,7	368	2461	3274	3350	3717	4378	4125	7,04	9,05
	fine	63,6	540	3611	4779	4855	5004	5626	6160	7,04	9,05
concio 1	tratto cost.	63,6	540	3611	4779	4855	5004	5626	6160	7,29	9,32
	tratto variabile	65,25	573	3833	5070	5145	5294	5771	6552	7,29	9,32
		67,11	607	4064	5371	5447	5595	5997	6703	6,26	7,66
		69,355	649	4341	5735	5810	5959	6271	6885	5,01	5,66
		72,8	713	4768	6293	6368	6517	6690	7164	3,09	2,58

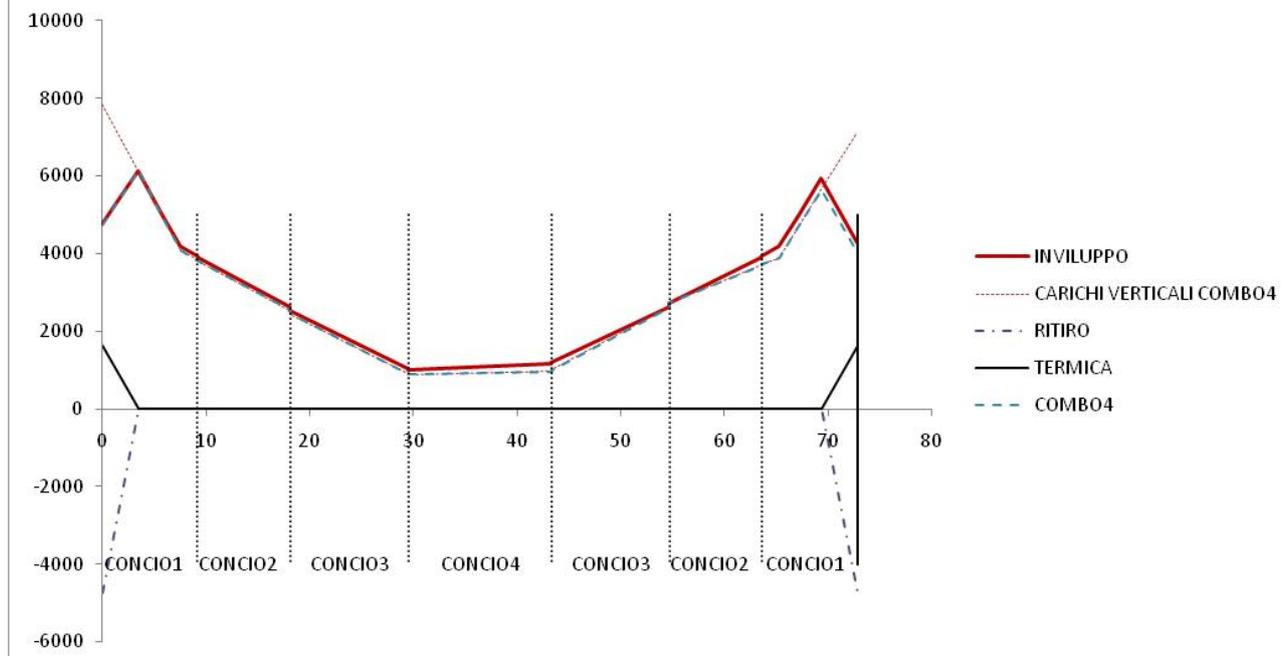
			FORZA DI SCORRIMENTO CARICHI VERTICALI SU CIASCUNA PIATTABANDA							F SCORRIMENTO RITIRO		F SCORRIMENTO TERMICA	
			q PERM	q BALLAST	q GR1	q GR2	q GR3	q GR4	q GR5	PIAT est	PIAT cent	PIAT est	PIAT cent
			kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m
concio 1	tratto variabile	0	285	1908	2756	2882	2962	3183	2866	-3947	-2390	1084	656
		3,445	223	1493	2093	2245	2306	2480	2338	0	-943	0	259
		5,69	183	1223	1661	1830	1879	2022	1993	0	0	0	0
		7,55	149	999	1303	1486	1525	1642	1708	0	0	0	0
	tratto cost.	9,2	141	941	1228	1343	1449	1540	1605	0	0	0	0
concio 2	inizio	9,2	140	936	1221	1335	1441	1532	1596	0	0	0	0
	fine	18,1	95	638	831	839	927	1006	1069	0	0	0	0
concio 3	inizio	18,1	91	612	797	805	890	965	1026	0	0	0	0
	fine	29,5	34	231	298	275	279	353	440	0	0	0	0
concio 4	inizio	29,5	34	226	292	269	273	345	430	0	0	0	0
	fine	43,3	34	226	364	493	540	405	430	0	0	0	0
concio 3	inizio	43,3	34	231	372	504	552	414	440	0	0	0	0
	fine	54,7	91	612	814	833	925	1089	1026	0	0	0	0
concio 2	inizio	54,7	95	638	849	868	963	1135	1069	0	0	0	0
	fine	63,6	140	936	1239	1258	1297	1458	1596	0	0	0	0
concio 1	tratto cost.	63,6	141	941	1246	1265	1304	1466	1605	0	0	0	0
	tratto variabile	65,25	149	999	1321	1341	1380	1504	1708	0	0	0	0
		67,11	183	1223	1616	1638	1682	1793	1993	0	0	0	0
		69,355	223	1493	1972	1997	2047	2142	2338	0	-943	0	259
		72,8	285	1908	2518	2548	2608	2677	2866	-3947	-2390	1084	656

COEFFICIENTI GLOBALI $\gamma_m X \Psi_{0j/12}$

	PERM	BALLAST	GR1	GR2	GR3	GR4	GR5	RITIRO	TERMICA
combo1	1,35	1,5	1,45	0	0	0	0	1,2	1,5
combo2	1,35	1,5	0	1,45	0	0	0	1,2	1,5
combo3	1,35	1,5	0	0	1,45	0	0	1,2	1,5
combo4	1,35	1,5	0	0	0	1,45	0	1,2	1,5
combo5	1,35	1,5	0	0	0	0	1,45	1,2	1,5

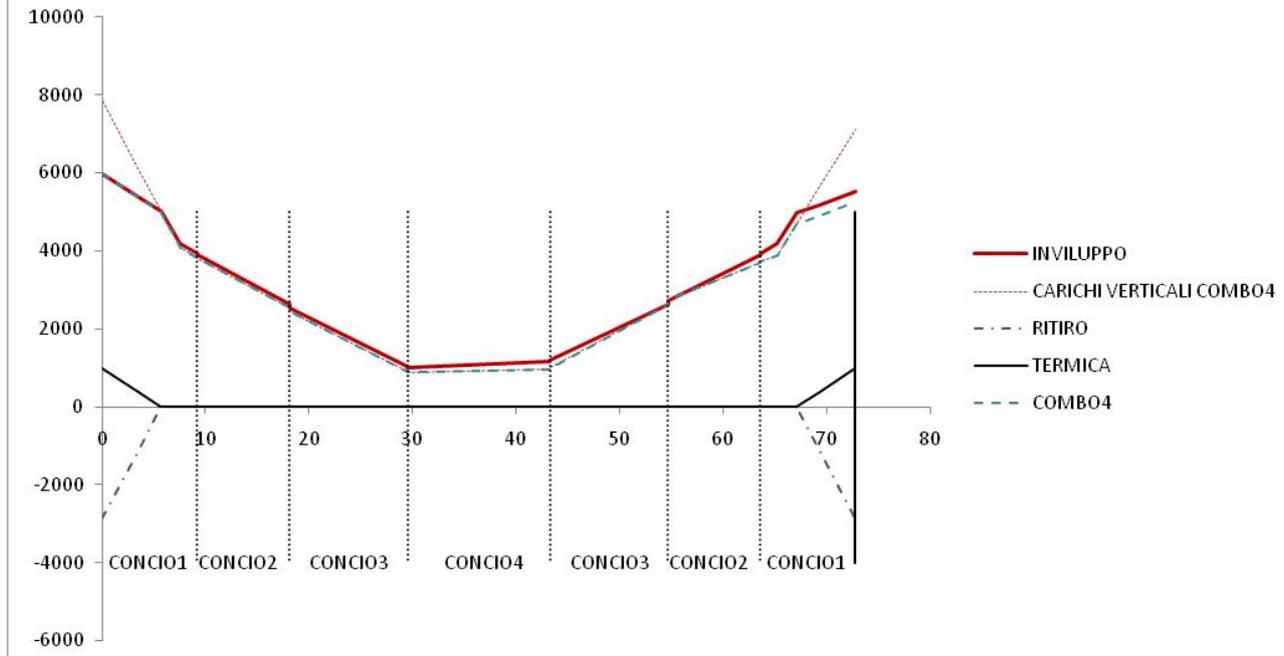
		piattabande superiori esterne										
x m		combo1	combo2	combo3	combo4	combo5	inviluppo	n° min PIOLI	n° file	passo max cm	passo scelto cm	
		kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m					
concio 1	tratto variabile	0	4133	4315	4431	4752	4292	4752	36	5	13,89	10
		3,445	5576	5796	5885	6137	5931	6137	46	5	10,87	10
		5,69	4490	4735	4805	5013	4971	5013	38	5	13,16	10
	7,55	3590	3855	3911	4082	4176	4176	31	5	16,13	10	
	tratto cost.	9,2	3382	3549	3703	3835	3929	3929	30	5	16,67	10
concio 2	inizio	9,2	3363	3529	3682	3814	3908	3908	29	5	17,24	15
	fine	18,1	2290	2303	2430	2544	2636	2636	20	5	25,00	15
concio 3	inizio	18,1	2198	2210	2332	2442	2529	2529	19	5	26,32	20
	fine	29,5	825	791	797	904	1031	1031	8	5	62,50	20
concio 4	inizio	29,5	807	773	779	884	1008	1008	8	5	62,50	25
	fine	43,3	912	1099	1166	971	1008	1166	9	5	55,56	25
concio 3	inizio	43,3	933	1124	1193	993	1031	1193	9	5	55,56	20
	fine	54,7	2223	2250	2382	2621	2529	2621	20	5	25,00	20
concio 2	inizio	54,7	2316	2345	2483	2731	2636	2731	21	5	23,81	15
	fine	63,6	3389	3417	3473	3707	3908	3908	29	5	17,24	15
concio 1	tratto cost.	63,6	3408	3436	3493	3728	3929	3929	30	5	16,67	10
	tratto variabile	65,25	3616	3645	3701	3881	4176	4176	31	5	16,13	10
		67,11	4424	4457	4520	4681	4971	4971	37	5	13,51	10
		69,355	5400	5437	5510	5647	5931	5931	44	5	11,36	10
		72,8	3787	3831	3917	4018	4292	4292	32	5	15,63	10

FORZA DI SCORRIMENTO PIATTABANDE ESTERNE



		x m	piattabanda superiore centrale									
			combo1	combo2	combo3	combo4	combo5	inviluppo	n° min PIOLI	n° file	passo max cm	passo scelto cm
			kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m				
concio 1	tratto variabile	0	5360	5542	5658	5979	5520	5979	45	6	13,33	10
		3,445	4833	5053	5142	5394	5188	5394	40	6	15,00	10
		5,69	4490	4735	4805	5013	4971	5013	38	6	15,79	10
	7,55	3590	3855	3911	4082	4176	4176	31	6	19,35	10	
	tratto cost.	9,2	3382	3549	3703	3835	3929	3929	30	6	20,00	10
concio 2	inizio	9,2	3363	3529	3682	3814	3908	3908	29	6	20,69	15
	fine	18,1	2290	2303	2430	2544	2636	2636	20	6	30,00	15
concio 3	inizio	18,1	2198	2210	2332	2442	2529	2529	19	6	31,58	20
	fine	29,5	825	791	797	904	1031	1031	8	6	75,00	20
concio 4	inizio	29,5	807	773	779	884	1008	1008	8	6	75,00	25
	fine	43,3	912	1099	1166	971	1008	1166	9	6	66,67	25
concio 3	inizio	43,3	933	1124	1193	993	1031	1193	9	6	66,67	20
	fine	54,7	2223	2250	2382	2621	2529	2621	20	6	30,00	20
concio 2	inizio	54,7	2316	2345	2483	2731	2636	2731	21	6	28,57	15
	fine	63,6	3389	3417	3473	3707	3908	3908	29	6	20,69	15
concio 1	tratto cost.	63,6	3408	3436	3493	3728	3929	3929	30	6	20,00	10
	tratto variabile	65,25	3616	3645	3701	3881	4176	4176	31	6	19,35	10
		67,11	4424	4457	4520	4681	4971	4971	37	6	16,22	10
		69,355	4657	4694	4767	4903	5188	5188	39	6	15,38	10
		72,8	5014	5058	5144	5245	5520	5520	41	6	14,63	10

FORZA DI SCORRIMENTO PIATTABANDA CENTRALE



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

6.4 Verifica dei trasversi

Trasversi di campata

Sono stati verificati gli elementi diagonali costituiti da 2 profilati UPN 300 accoppiati, facendo assorbire agli stessi il momento torcente afferente ad una porzione di impalcato compresa tra 2 trasversi stessi ($L = 5700\text{mm}$)

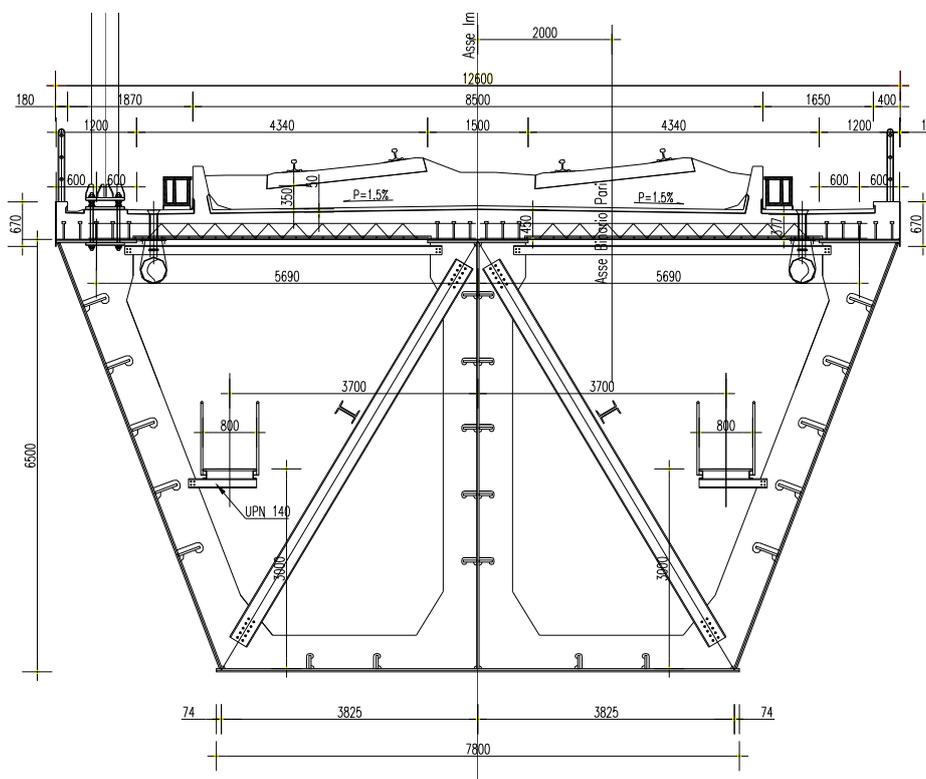


Figura 14: sezione trasversale in mezzeria.

Sollecitazioni sulle aste del trasverso

p	5,700	m	interasse massimo diaframmi
h	6,450	m	
b/2	3,825	m	
$L = \sqrt{(h^2 + (b/2)^2)}$	7,499	m	lunghezza diagonali

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

In relazione ai carichi accidentali da traffico la configurazione dimensionante che determina il momento torcente massimo è quella che prevede la presenza di un LM71 su un solo binario.

<u>LM71</u>			
C1	555,5 kNm	d1	1,6 m
c1	177,5 kNm/m	d2	0,9 m
centrifuga			
C2	179 kNm		
c2	57,3 kNm/m		
serpeggio			
C3	314,6 kNm		
i diaframmi	5,7 m		
n°forze	Ttot		
	kNm/m		
	4 570,632		
	3 507,6807		
	2 444,7298		
	1 381,7789		
	0 318,8281		
<u>SW/2</u>			
c1	303 kNm/m		
centrifuga			
c2	66,64 kNm/m		
serpeggio			
C3	286 kNm		
i diaframmi	5,7 m		
	Ttot		
	kNm/m		
	419,8154		

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

II Fase

$M_{t,perm}$	0,00	KNm/m	momento torcente permanenti portati (valore caratteristico)
$M_{t,mob1}$	570,63	KNm/m	momento torcente mobili 1 (valore caratteristico)
$M_{t,v}$	27,61	KNm/m	momento torcente vento (valore caratteristico)

ϕ 1,00 coefficiente di amplificazione dinamica

$M_{t,2max} = \gamma_{perm} M_{t,perm} + \gamma_{mob} \phi M_{t,mob1} + \gamma_v M_{t,v}$ 843,98 KNm/m momento torcente massimo (SLU)

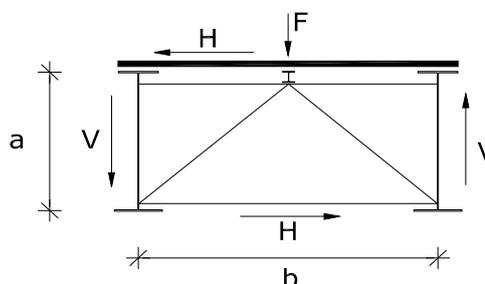
a 6,500 m

$H_{2,max} = M_{t,2max} p / 2a$ 370,05 KN

$H_{max} = H_1 + H_{2,max}$ 370,05 KN

N_{d1binf} 370,05 KN sforzo normale sulla briglia inferiore

$N_{d1diag.} = H/2 (L/(b/2))$ 362,74 KN sforzo normale sulle diagonali



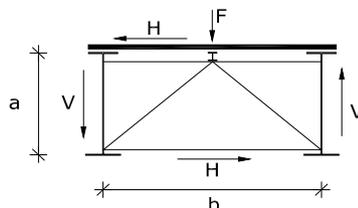
Diagonale 2 UPN 300

$L = \sqrt{h^2 + (b/2)^2}$ 7,499 m

N_{d1diag} 362,74 KN

azioni di compressione di calcolo

N_{ed} 362,74 KN



Verifica di stabilità profilati

		S	355	<input type="checkbox"/> s<40?	<input checked="" type="checkbox"/> si
Profilato	2 UPN 300	$f_{tk} =$	510 N/mm ²	resistenza a rottura	
bulloni	10,9	$f_{yk} =$	355 N/mm ²	resistenza di progetto	
A	5880	mm ²	area singolo profilato		
J_x	80300000	mm ⁴	momento di inerzia singolo profilato		
L	7499	mm	lunghezza libera di inflessione		
A_{tot}	11760	mm ²	area sezione composta		
J_{x2}	160600000	mm ⁴	momento di inerzia sezione composta		
$N_{cr} = \pi^2 E J_{x2} / L^2$	5913327,236	N	carico critico euleriano dell'asta composta		
$\lambda = (A f_{yk} / N_{cr})^{1/2}$	0,84		snellezza adimensionale per sezioni di classe 1,2 e 3		
α	0,34		fattore di imperfezione per sezioni ad L		
$\phi = 0,5[1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2]$	0,96				
$\chi = 1 / (\phi + (\phi^2 - \lambda^2)^{1/2}) \leq 1$	0,70				
γ_{M1}	1,1		coefficiente di sicurezza per la resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari		
$N_{b,Rd} = \chi A_{tot} f_{yk} / \gamma_{M1}$	2654,11	KN	resistenza all'instabilità nell'asta compressa per sezioni di classe 1,2 e 3		
$N_{ed} / N_{b,Rd} =$	0,14		≤ 1 VERIFICA SODDISFATTA		

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Trasversi sull'asse appoggi

Il trasverso all'appoggio è costituito da un piatto pieno di spessore pari a $s = 20$ mm.

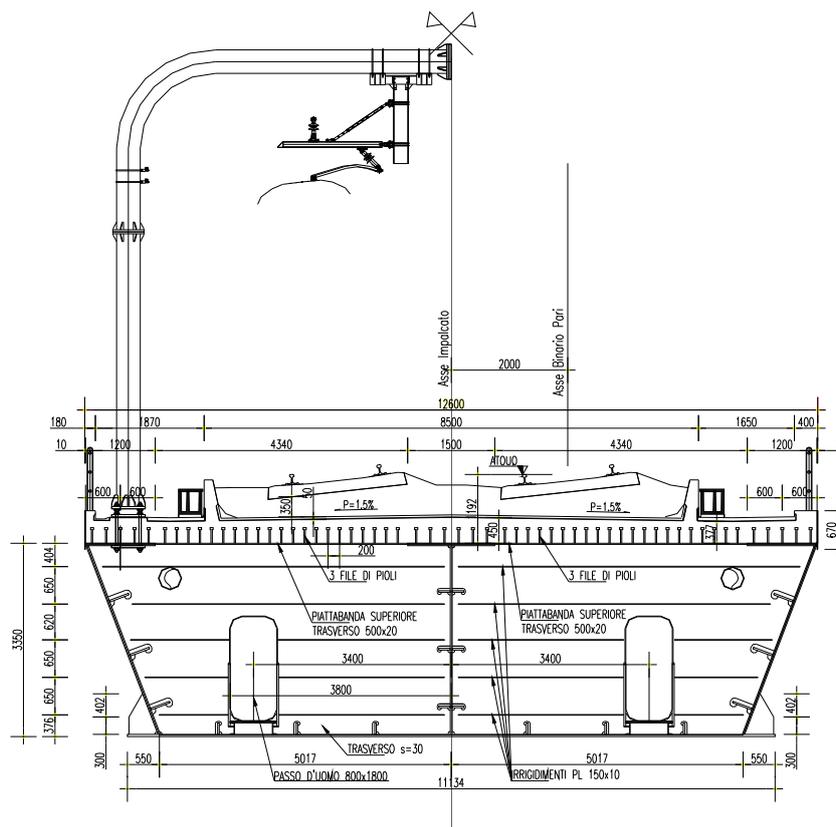


Figura 15: sezione trasversale all'appoggio.

Si riportano di seguito le sollecitazioni elementari di momento torcente agenti agli appoggi della trave che schematizza l'impalcato:

TABLE: Element Forces - Frames					
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	T
Text	m	Text	Text	Text	KN-m
3007	0	DEAD	Combination		-3856
3007	0	PERMANENTI	Combination	Min	-354
3007	0	BALLAST	LinStatic		-2366
3007	0	POS1	Combination		-10749
3007	0	POS2	LinStatic		-11521
3007	0	POS3	Combination	Min	-11401

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

3007	0 POS4	Combination	Min	-13254
3007	0 POS5	Combination	Min	-11562
3007	0 VENTO	Combination	Min	-978

TABLE: Element Forces - Frames

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	T
Text	m	Text	Text	Text	KN-m
3015	6,94972	DEAD	Combination		3856
3015	6,94972	PERMANENTI	Combination	Max	354
3015	6,94972	BALLAST	LinStatic		2366
3015	6,94972	POS1	Combination		9973
3015	6,94972	POS2	LinStatic		10203
3015	6,94972	POS3	Combination	Max	10447
3015	6,94972	POS4	Combination	Max	10779
3015	6,94972	POS5	Combination	Max	11515
3015	6,94972	VENTO	Combination	Max	978

Tali azioni sono state combinate considerando le combinazioni allo SLU esposte nel paragrafo 5.12. Le sollecitazioni massime si hanno per la combinazione 4:

Momento torcente massimo $M_t = 29331$ kNm

Con riferimento alla Figura 15, tale momento determina delle sollecitazioni di verifica, calcolate su una sezione di pannello in corrispondenza dell'appoggio, pari a :

$$V = (29331/10.034) = 2924 \text{ kN.}$$

$$M = 2924 \times 5.017 = 14665.5 \text{ kNm}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

Dati di progetto

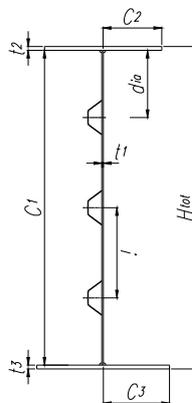
$N_{Ed} = 0$ kN
 $M_{Ed} = 14665,5$ kNm
 $V_{Ed} = 2924$ kN

Materiali e caratteristiche di resistenza

qualità di acciaio:	<input type="text" value="S 355"/>	
E_a [MPa]	210000	Modulo elastico acciaio
ν	0,3	Coefficiente di Poisson
G_a [MPa]	80769,2	Modulo di taglio acciaio
f_y [MPa]	355	Tensione di snervamento ($t \leq 40$ mm)
f_y [MPa]	335	Tensione di snervamento ($40 < t \leq 80$ mm)
f_y [MPa]	335	Tensione di snervamento ($t > 80$ mm)
S.L.U γ_{M0}	1,05	Coeff. di sicurezza resistenza sezioni classe 1-2-3-4
S.L.U γ_{M1}	1,10	Coeff. di sicurezza resistenza all'instabilità
S.L.U γ_{M2}	1,25	Coeff. di sicurezza per sezioni indebolite dai fori
ϵ	0,81	

Geometria trave - pannello d'anima

Htot=	3550	mm	
C1=	3550	mm	
t1=	30	mm	
C2=	0	mm	
t2=	0	mm	
C3=	0	mm	
t3=	0	mm	
Irridimento=	2	tipologia di irrigidimento adottata	
Nirr,long=	5	numero di irrigidimenti longitudinali	
hi,irr,long=	ΔH	altezze irrigidimenti longitudinali	
a=	5017	mm	lunghezza pannello tra due irrigidimenti trasversali
$A_{s,lorda}$	117750	mm ²	area sezione lorda
$Z_{Gs,lorda}$	1764,4	mm	posizione "z" asse baricentrico sezione lorda
$I_{s,lorda,y}$	1,212E+11	mm ⁴	momento d'inerzia "y" baricentrico sezione lorda
$Y_{Gs,lorda}$	8,60	mm	posizione "y" asse baricentrico sezione lorda-asse anima
$I_{s,lorda,z}$	1,12E+08	mm ⁴	momento d'inerzia "z" baricentrico sezione lorda
$A_{p,anima}$	117750	mm ²	area sezione lorda pannello d'anima
$Y_{p,anima}$	8,60	mm	posizione "Y" asse baricentrico sezione lorda pannello d'anima
$I_{p,anima}$	1,115E+08	mm ⁴	momento d'inerzia "z" baricentrico sezione lorda pannello d'anima
Classe anima	4	Classe piattabanda anima (soggetta a flessione)	



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Irrigidimenti longitudinali sull'anima:

$t_1 =$	15,0	mm	spessore irrigidimento
$t_2 =$	-	mm	-
$h_i =$	150,0	mm	altezza irrigidimento
$b_{min,i} =$	-	mm	-
$l =$	-	mm	-
$l_{coll.} =$	744,0	mm	larghezza pannello collaborante con l'irrigidimento
$a =$	5017,0	mm	lunghezza pannello tra due irrigidimenti trasversali
$A_{sl,i} =$	24570	mm ²	area sezione lorda dell'irrigiditore
$S_{sl,i,z} =$	571050,0	mm ³	momento statico sezione lorda dell'irrigiditore
$y_{sl,i} =$	8,24	mm	distanza asse baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore - asse anima
$I_{sl,i,z} =$	2,24E+07	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico sezione lorda dell'irrigiditore

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Verifica di stabilità a taglio pannello d'anima

Verifica d'instabilità per taglio:

$N_{Ed} =$	0	kN	Sforzo normale di progetto	
$M_{Ed} =$	14665,5	kNm	Momento di progetto	
$V_{Ed} =$	2924	kN	Taglio di progetto	
$h_w =$	3550	mm	altezza pannello	
$t =$	30	mm	spessore pannello	
$N_{irr,long} =$	5		numero di irrigidimenti longitudinali	
$k_{tl} =$	2,390			
$k_t =$	9,732		coefficiente per instabilità a taglio	
$\eta =$	1,2			
$h_w/t =$	118,33		> 65,2793087322044 verifica necessaria!	
$\sigma_E =$	1,36	N/mm ²	tensione critica euleriana	
$\tau_{cr} =$	13,21	N/mm ²	tensione tangenziale critica	
$f_{yw} =$	355,00	N/mm ²	tensione di snervamento del pannello	
$f_{yf} =$	355,00	N/mm ²	tensione di snervamento della piattabanda	
$b_f =$	0	mm	larghezza efficace della piattabanda	
$\lambda_w =$	1,25		coefficiente di snellezza	
$\chi_w =$	0,70		coefficiente funzione dell'instabilità elastica del pannello	
$M_{fk} =$	0,0	KNm	momento resistente di progetto	
$V_{bw,Rd} = \frac{Z_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$	$V_{bw,Rd} =$	13926,51	KN	contributo resistente dell'anima
$M_{f,red} = \frac{M_{fk}}{\gamma_{M0}} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{(A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_{yf}} \right)$	$M_{f,red} =$	#DIV/0!	KNm	momento resistente di progetto ridotto
$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{a \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right) \gamma_{M1}} \cdot \left[1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,red}} \right) \right]$	$V_{bf,Rd} =$	0,0	KN	contributo resistente delle piattabande
$(1,2 \cdot f_{ywd} \cdot h_w \cdot t) / \sqrt{3} =$		23812,55	KN	
$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$	$V_{b,Rd} =$	13926,5	KN	> 2924 Verifica soddisfatta!
$\eta_3 =$		0,2		

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

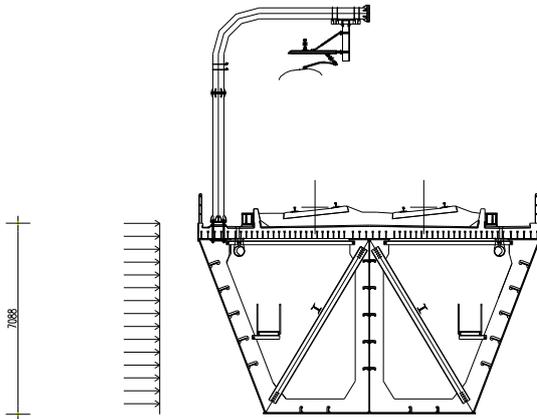
6.5 Verifica di instabilità laterale

Le verifiche a ribaltamento dell'impalcato sono state effettuate considerando tre combinazioni di carico relative alle azioni da traffico gruppo 2 (treno scarico), vento e sisma (Tabella 15).

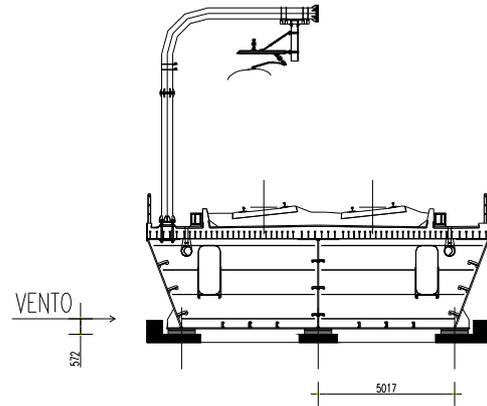
COEFFICIENTI γ_M										COEFFICIENTI $\Psi_{0/1/2}$											
tipo combinazione	n° combinazione		dead	permanenti	ballast	Treno scarico (GRUPPO2)	Centrifuga (GRUPPO2)	Serpeggio (GRUPPO2)	vento	sisma	tipo combinazione	n° combinazione		dead	permanenti	ballast	Treno scarico (GRUPPO2)	Centrifuga (GRUPPO2)	Serpeggio (GRUPPO2)	vento	sisma
SLU	1	favorevole	0,9	0,9	0,9	0	0	0	0	0	SLU	1	favorevole	1	1	1	0	0	0	1	1
		sfavorevole	1,1	1,5	1,5	1,45	1,45	1,45	1,5	0			sfavorevole	1	1	1	0	0	0	1	1
	2	favorevole	0,9	0,9	0,9	0	0	0	0	0		2	favorevole	1	1	1	1	1	1	0,6	1
		sfavorevole	1,1	1,5	1,5	1,45	1,45	1,45	1,5	0			sfavorevole	1	1	1	1	1	1	0,6	1
	2	favorevole	1	1	1	0	0	0	0	0		2	favorevole	1	1	1	1	1	1	1	0
		sfavorevole	1	1	1	0,2	0,2	0,2	0	1			sfavorevole	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabella 15: valori dei coefficienti γ e Ψ per lo SLU, utilizzati nelle verifiche di stabilità laterale.

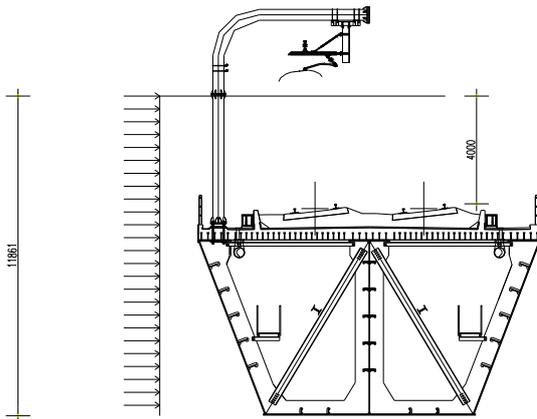
AZIONE PREDOMINANTE DEL VENTO



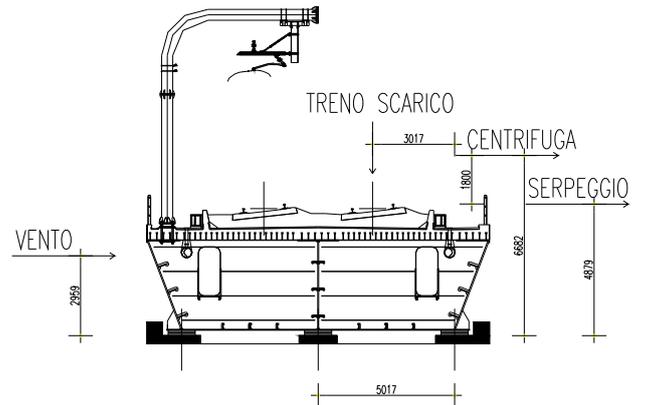
AZIONE PREDOMINANTE DEL VENTO



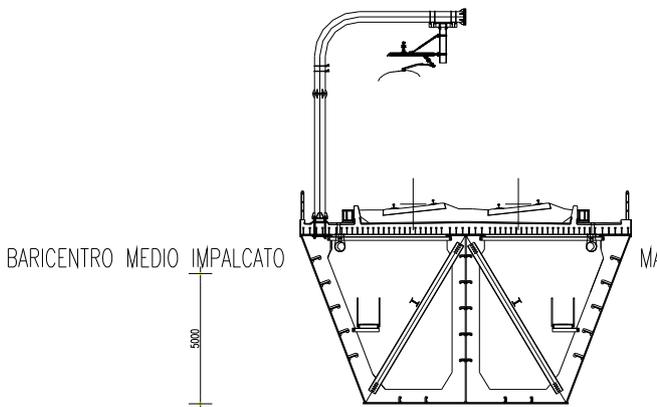
AZIONE PREDOMINANTE TRAFFICO GRUPPO 2



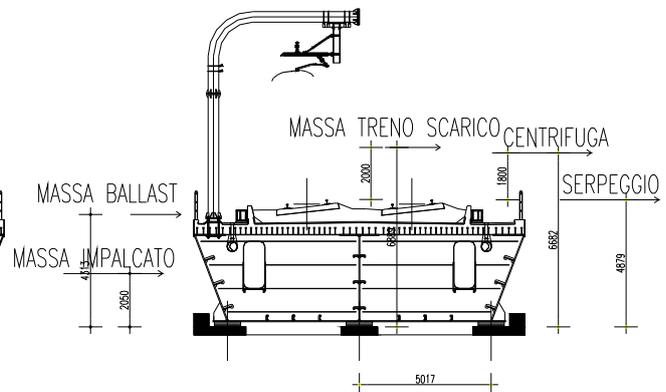
AZIONE PREDOMINANTE TRAFFICO GRUPPO 2



AZIONE PREDOMINANTE SISMA



AZIONE PREDOMINANTE SISMA



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

CASO 1: AZIONE DI BASE DEL VENTO

azioni stabilizzanti

	F _{verticale} [kN]	b _{oriz.} [m]	γ_M	$\Psi_{0/1/2}$	M _{stabilizzante} [kNm]
DEAD	15400	5,017	0,9	1	69535,62
PERMANENTI	1425	5,017	0,9	1	6434,30
BALLAST	9536	5,017	0,9	1	43057,90
				TOT	119027,82

azioni ribaltanti

	F _{orizzontale} [kN]	b _{vert.} [m]	γ_M	$\Psi_{0/1/2}$	M _{ribaltante} [kNm]
VENTO	1283,325	0,6	1,5	1	1154,99
				TOT	1154,99

coefficiente di sicurezza η **103,06**

CASO 2: AZIONE DI BASE TRENO SCARICO (GRUPPO2)

azioni stabilizzanti

	F _{verticale} [kN]	b _{oriz.} [m]	γ_M	$\Psi_{0/1/2}$	M _{stabilizzante} [kNm]
DEAD	15400	5,017	0,9	1	69535,62
PERMANENTI	1425	5,017	0,9	1	6434,30
BALLAST	9536	5,017	0,9	1	43057,90
TRENO SCARICO	723	3,017	0	0,8	0,00
				TOT	119027,82

azioni ribaltanti

	F _{orizzontale} [kN]	b _{vert.} [m]	γ_M	$\Psi_{0/1/2}$	M _{ribaltante} [kNm]
VENTO	2144,0565	2,96	1,5	0,6	5711,77
CENTRIFUGA	122,91	6,69	1,45	1	1192,29
SERPEGGIO	100	4,88	1,45	1	707,60
				TOT	7611,65

coefficiente di sicurezza η **15,64**

Con riferimento all'elaborato CG0700PRXDSVPCIVI00000001A "Relazione sismica", si assume

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

per l'azione del sisma uno spettro di risposta calcolato in favore di sicurezza con un fattore di struttura pari a $q=1$. Per cui essendo il periodo proprio dell'impalcato pari a $T=0.47$ secondi, si ottiene un'accelerazione pari a $1.111g$.

CASO 3: AZIONE DI BASE SISMA

azioni stabilizzanti

	F verticale [kN]	b orizz. [m]	γ_M	$\Psi_{0/1/2}$	M stabilizzante [kNm]
DEAD	15400	5,017	1	1	77261,80
PERMANENTI	1425	5,017	1	1	7149,23
BALLAST	9536	5,017	1	1	47842,11
TRENO SCARICO	723	3,017	0	0,8	0,00
				TOT	132253,14

azioni ribaltanti

	a	F orizzontale [kN]	b vert. [m]	γ_M	$\Psi_{0/1/2}$	M ribaltante [kNm]
VENTO	0	2144,0565	2,96	0	0,6	0,00
CENTRIFUGA	0	122,91	6,69	0,2	1	164,45
SERPEGGIO	0	100	4,88	0,2	1	97,60
FORZA D'INERZIA IMPALCATO	1,111	18692,575	2,05	1	1	38319,78
FORZA D'INERZIA BALLAST	1,111	10594,496	4,32	1	1	45768,22
FORZA D'INERZIA TRENO SCARICO	1,111	803,253	6,89	0,2	1	1106,88
					TOT	85456,94

coefficiente di sicurezza η **1,55**

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6.6 Verifica d'inflessione nel piano verticale dell'impalcato

E' possibile valutare dal modello prima descritto le deformazioni dell'impalcato per i carichi verticali.

Nello specifico è stata valutata la massima deformazione verticale per i sovraccarichi accidentali da traffico ferroviario.

In base alle prescrizioni riportate nella normativa ferroviaria, il massimo valore d'inflessione per tali carichi considerando il coefficiente dinamico e il coefficiente di adattamento 'α' non deve eccedere il valore limite di L/600.

Il valore massimo d'inflessione è risultato con l'applicazione di due treni LM71 e è pari a:

$\delta = 0.04 \text{ m}$	massima inflessione di calcolo (2 LM71 pos. 5)
$\delta_{MAX} = L/600 = 72.3/600 = 0.12 \text{ m}$	massima inflessione ammessa

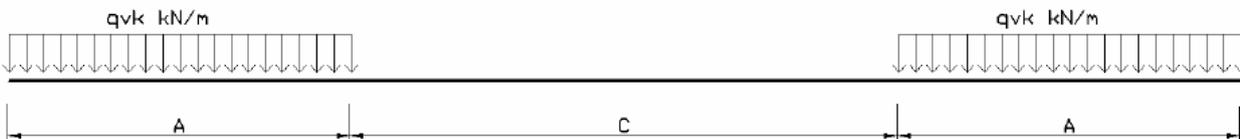
VERIFICATO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

6.7 Deformazioni torsionali e inflessione nel piano orizzontale dell'impalcato

Tali verifiche sono state condotte considerando le sollecitazioni calcolate dal modello globale, descritto nella relazione di calcolo dell'impalcato ferroviario CG0700PCLDSVPCIVI00000001A, per tener conto dell'effetto sfavorevole della deformazione della sottostruttura del ponte (pile, spalle e fondazione). Oltre ai treni LM71 e SW2 descritti nel paragrafo 5.3, è stato considerato anche il treno SW0. Per ogni treno sono state considerate 3 configurazioni, che prevedono il posizionamento in prossimità dei due appoggi e in mezzeria di una delle campate.

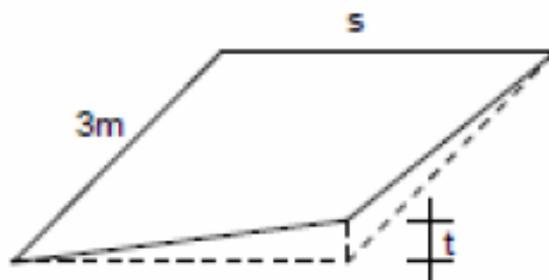
Tipo di carico	Qvk [kN/m]	A [m]	C [m]
Sw/0	133	15.0	5.3



DEFORMAZIONI TORSIONALI DELL'IMPALCATO

La torsione dell'impalcato del ponte è stata calcolata considerando i treni di carico LM71, SW/0 e SW/2 incrementati con il corrispondente coefficiente dinamico e con il coefficiente α .

Avendo considerato una velocità di progetto $V = 132$ km/h, il massimo sghembo misurato su una lunghezza di 3 m con le rotaie solidali all'impalcato non deve eccedere il valore $t = 3$ mm/3 m.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		Codice documento PA0107_F0.doc	Rev. F0	Data 20/06/2011

A favore di sicurezza sono state considerate anche le azioni dovute alla forza centrifuga e al serpeggio.

TABLE: Element Forces - Frames					TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	Station	OutputCase	T	α	Frame	Station	OutputCase	T	α		
Text	m	Text	KN-m		Text	m	Text	KN-m			
3027	2,88339	LM71P_APP1_4	-8000,57	1,1	T tot	3035	1,21661	LM71P_APP1_4	7690,28	1,1	T tot
3027	2,88339	LM71P_APP1_4_CE	-2205,93	1,0	KN-m	3035	1,21661	LM71P_APP1_4_CE	1772,26	1,0	KN-m
3027	2,88339	LM71P_APP1_4_SE	-203,86	1,1	-11230,80	3035	1,21661	LM71P_APP1_4_SE	97,29	1,1	10338,58
3027	2,88339	LM71P_APP2_4	-7315,59	1,1	T tot	3035	1,21661	LM71P_APP2_4	8373,21	1,1	T tot
3027	2,88339	LM71P_APP2_4_CE	-2091,46	1,0	KN-m	3035	1,21661	LM71P_APP2_4_CE	1886,63	1,0	KN-m
3027	2,88339	LM71P_APP2_4_SE	-103,50	1,1	-10252,45	3035	1,21661	LM71P_APP2_4_SE	197,60	1,1	11314,53
3027	2,88339	LM71P_MEZ4	-7899,49	1,1	T tot	3035	1,21661	LM71P_MEZ4	8314,78	1,1	T tot
3027	2,88339	LM71P_MEZ4_CE	-2180,07	1,0	KN-m	3035	1,21661	LM71P_MEZ4_CE	1861,96	1,0	KN-m
3027	2,88339	LM71P_MEZ4_SE	-153,69	1,1	-11038,57	3035	1,21661	LM71P_MEZ4_SE	147,57	1,1	11170,55
3027	2,88339	SW00P_APP1_4	-3179,35	1,1	T tot	3035	1,21661	SW00P_APP1_4	889,72	1,1	T tot
3027	2,88339	SW00P_APP1_4_CE	-365,39	1,1	KN-m	3035	1,21661	SW00P_APP1_4_CE	332,48	1,1	KN-m
3027	2,88339	SW00P_APP1_4_SE	84,31	1,1	-3806,48	3035	1,21661	SW00P_APP1_4_SE	84,28	1,1	1437,13
3027	2,88339	SW00P_APP2_4	-1341,58	1,1	T tot	3035	1,21661	SW00P_APP2_4	4559,88	1,1	T tot
3027	2,88339	SW00P_APP2_4_CE	-459,80	1,1	KN-m	3035	1,21661	SW00P_APP2_4_CE	526,03	1,1	KN-m
3027	2,88339	SW00P_APP2_4_SE	-90,44	1,1	-2081,01	3035	1,21661	SW00P_APP2_4_SE	-90,55	1,1	5494,90
3027	2,88339	SW00P_MEZ4	-5624,42	1,1	T tot	3035	1,21661	SW00P_MEZ4	6098,72	1,1	T tot
3027	2,88339	SW00P_MEZ4_CE	-875,11	1,1	KN-m	3035	1,21661	SW00P_MEZ4_CE	853,22	1,1	KN-m
3027	2,88339	SW00P_MEZ4_SE	-153,69	1,1	-7318,54	3035	1,21661	SW00P_MEZ4_SE	147,57	1,1	7809,46
3027	2,88339	SW02P_APP1_4	-6392,66	1,0	T tot	3035	1,21661	SW02P_APP1_4	2863,08	1,0	T tot
3027	2,88339	SW02P_APP1_4_CE	-839,12	1,0	KN-m	3035	1,21661	SW02P_APP1_4_CE	785,02	1,0	KN-m
3027	2,88339	SW02P_APP1_4_SE	76,65	1,0	-7155,14	3035	1,21661	SW02P_APP1_4_SE	76,62	1,0	3724,72
3027	2,88339	SW02P_APP2_4	-2630,96	1,0	T tot	3035	1,21661	SW02P_APP2_4	6600,45	1,0	T tot
3027	2,88339	SW02P_APP2_4_CE	-838,91	1,0	KN-m	3035	1,21661	SW02P_APP2_4_CE	785,24	1,0	KN-m
3027	2,88339	SW02P_APP2_4_SE	-82,22	1,0	-3552,09	3035	1,21661	SW02P_APP2_4_SE	-82,32	1,0	7303,37
3027	2,88339	SW02P_MEZ4	-9218,16	1,0	T tot	3035	1,21661	SW02P_MEZ4	9926,93	1,0	T tot
3027	2,88339	SW02P_MEZ4_CE	-1644,89	1,0	KN-m	3035	1,21661	SW02P_MEZ4_CE	1603,59	1,0	KN-m
3027	2,88339	SW02P_MEZ4_SE	-139,72	1,0	-11002,77	3035	1,21661	SW02P_MEZ4_SE	134,16	1,0	11664,68

Il momento torcente massimo a 3 m dall'appoggio risulta essere pari a $T = 11665$ kNm. Considerando a favore di sicurezza la sezione in corrispondenza dell'appoggio, che risulta avere costante torsionale minore, si ottiene:

calcolo rotazione a circa 3m dall'appoggio

Tmax	11665	kNm	11665000000
It	5,9920	J_t [m ⁴]	5,99198E+12
G	80769	N/mm ²	80769
θ	2,41029E-08 1,38E-06	rad °	2,41029E-08
b	2,763	m	distanza asse - rotaia più

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

lontana

t **0,003816** mm

INFLESSIONE NEL PIANO ORIZZONTALE DELL'IMPALCATO

Nella valutazione dell'inflessione laterale dell'impalcato, oltre ai treni precedentemente citati, sono stati considerati anche l'azione del vento, l'azione laterale di serpeggio, la forza centrifuga e gli effetti di una variazione lineare di temperatura fra i due lati dell'impalcato pari a 10°C.

Le azioni sono state combinate allo SLE (comb. Rara) adottando i seguenti coefficienti:

combo	LM71P_APP1_4	LM71P_APP1_4_CE	LM71P_APP1_4_SE	LM71P_APP2_4	LM71P_APP2_4_CE	LM71P_APP2_4_SE	LM71P_MEZ4	LM71P_MEZ4_CE	LM71P_MEZ4_SE	SW00P_APP1_4	SW00P_APP1_4_CE	SW00P_APP1_4_SE	SW00P_APP2_4	SW00P_APP2_4_CE	SW00P_APP2_4_SE	SW00P_MEZ4	SW00P_MEZ4_CE	SW00P_MEZ4_SE	SW02P_APP1_4	SW02P_APP1_4_CE	SW02P_APP1_4_SE	SW02P_APP2_4	SW02P_APP2_4_CE	SW02P_APP2_4_SE	SW02P_MEZ4	SW02P_MEZ4_CE	SW02P_MEZ4_SE	VENTO	T_DIFF_FERR_TRASV
SP_1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,6
SP_2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,6
SP_3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,6
SP_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,6
SP_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,6
SP_6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,6
SP_7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0,6	0,6
SP_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0,6	0,6
SP_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0,6	0,6

Si riportano di seguito i risultati relativi a una delle due campate centrali dell'impalcato in cui si determinano gli spostamenti trasversali massimi e le rotazioni massime.

combo	joint									
	1375	1376	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
SP_1	0,0140622	0,0145	0,0159	0,0172	0,02	0,0239	0,0216	0,0205	0,0182	0,017
SP_2	0,0134541	0,0148	0,0154	0,0169	0,0198	0,0184	0,0217	0,0208	0,0186	0,0175
SP_3	0,013773	0,0147	0,0157	0,0172	0,0201	0,0185	0,0219	0,0209	0,0185	0,0173
SP_4	0,0082489	0,0073	0,0097	0,0108	0,0128	0,0106	0,0136	0,0125	0,0104	0,0092
SP_5	0,0072418	0,0093	0,0087	0,01	0,0125	0,011	0,0143	0,0137	0,012	0,0111
SP_6	0,0086171	0,0091	0,0097	0,011	0,0135	0,0115	0,015	0,0139	0,0116	0,0104
SP_7	0,0099054	0,0083	0,0114	0,0125	0,0145	0,0122	0,0152	0,0138	0,0114	0,0102
SP_8	0,0079883	0,0107	0,0095	0,0108	0,0136	0,0124	0,0157	0,0152	0,0135	0,0125
SP_9	0,0102945	0,0107	0,0111	0,0124	0,0151	0,0132	0,0166	0,0155	0,013	0,0118

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

	joint	
	1375	1376
combo	rad	rad
SP_1	-0,000223	0,0002135
SP_2	-0,0002108	0,0002257
SP_3	-0,0002051	0,0002079
SP_4	-0,0002917	0,0002335
SP_5	-0,0002487	0,000269
SP_6	-0,0002468	0,0002171
SP_7	-0,0002873	0,0002113
SP_8	-0,0002294	0,0002692
SP_9	-0,0002337	0,0001999

La freccia orizzontale massima risulta essere pari a $\delta_h = 0.024$ m e la rotazione massima di calcolo $\alpha = 0.00027$ rd. Il raggio di curvatura risulta essere pari a $R = L^2 / (8 \times \delta_h) = 72.3^2 / (8 \times 0.024) = 27225$ m. Essendo il raggio minimo di curvatura previsto dalla tabella 5.2.VIII delle NTC2008 pari a $R_{\min} = 9500$ m per ponti a più a campate, e la variazione angolare massima pari a 0.0020 rd, la verifica risulta soddisfatta.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

7 Impalcato: effetti locali

Nel presente capitolo sono illustrate le analisi svolte sul cassone ferroviario per la determinazione degli effetti locali sulla soletta.

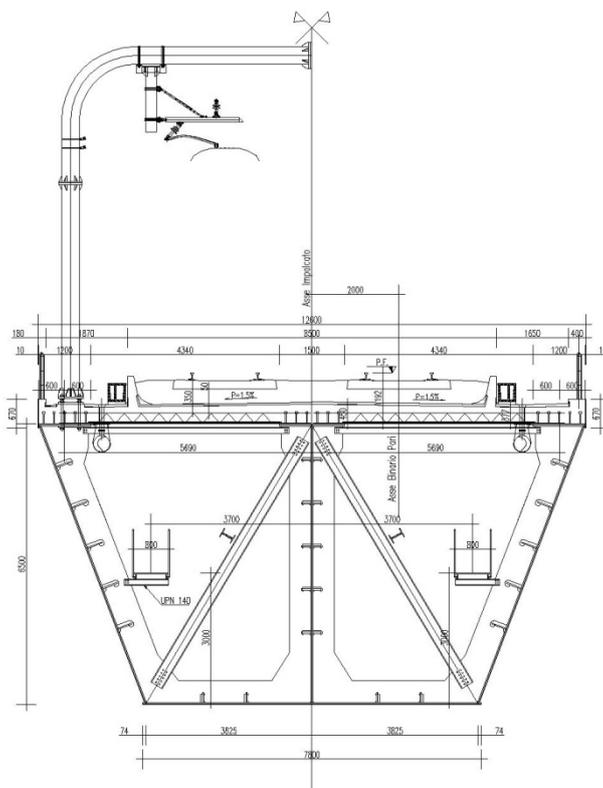
Il cassone ferroviario presenta superiormente una soletta in calcestruzzo dello spessore di 0.35 m. gettata in opera su predalles autoportanti dello spessore di 0.05 m. Sulla soletta è presente il ballast per uno spessore medio di 0.56 m. su cui poggia l'armamento ferroviario.

Essendo il ponte in curva è presente un sovralzato per garantire la pendenza trasversale dei binari.

Il peso del getto di calcestruzzo è interamente assorbito dalle predalles mentre tutte le altre azioni vengono assorbite dall'intera sezione.

Le predalles sono armate con tralicci, la soletta è armata in ambedue le direzioni in modo differente.

Si descrivono di seguito i processi e le verifiche adottati per la determinazione delle sollecitazioni sugli elementi sopracitati nonché per le verifiche degli stessi.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

Figura 16: Sezione trasversale in mezzeria

7.1 Predalle

7.1.1 Analisi delle sollecitazioni in fase di getto

La soletta in c.a. ha uno spessore massimo di 0.45 m al centro con una pendenza trasversale di 1.5% verso ambedue i bordi fino a raggiungere uno spessore minimo di 0.39 m.

La soletta è gettata in opera su predalles prefabbricate di spessore 0.05 m.

Le predalles sono armate con tralicci di altezza complessiva 200 mm realizzati con correnti superiori Φ 16, correnti inferiori Φ 12 e staffe Φ 10, disposti ad interasse 300 mm.

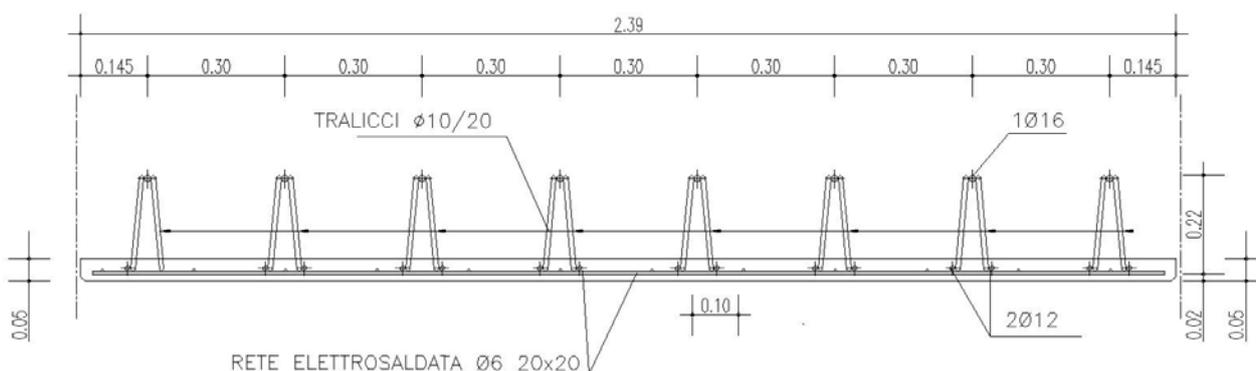


Figura 17: Predalle prefabbricata

Il calcolo delle sollecitazioni agenti in fase di getto sulla sola predalle prefabbricata è stato svolto su un modello di trave appoggiata di luce pari alla reale distanza fra i punti d'appoggio della predalle sulle piattabande superiori pari quindi a 4.44 m.

Nonostante il traliccio sia continuo, non si fa affidamento all'iperstaticità della predalle in quanto, essendo il traliccio libero d'infietersi per una lunghezza di 1.4 m. in corrispondenza della piattabanda superiore, la snellezza dei correnti inferiori è maggiore di 250 e pertanto nascono dei fenomeni d'instabilità rilevanti. Non vi sono tuttavia problemi di ribaltamento essendo la predalle priva di zone a sbalzo

Per lo svolgimento delle analisi è stato implementato un modello composto da un singolo elemento frame in semplice appoggio utilizzando il software di calcolo strutturale agli elementi finiti SAP2000®. Di seguito si riporta uno screenshot del modello indeformato.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	



Figura 18: Modello di calcolo della predalle

7.1.2 Predalle: soletta $H_{tot}=0.42$ m.

Si riassumono di seguito i carichi applicati:

$q_{pp} = 1.25$ KN/m	peso proprio predalle
$q_{cls} = 9.25$ KN/m	peso proprio calcestruzzo gettato in opera (37 cm)
$q_{acc} = 1.00$ KN/m	sovraccarico accidentale

Il modello di calcolo implementato è compatibile con il getto della soletta in una sola fase:



Figura 19: Schema di carico della predalle.



Figura 20: Diagramma del momento flettente verticale.

Ne conseguono le seguenti sollecitazioni:

$M^+ = 37.39$ KNm/m	massimo momento positivo
$V = 33.69$ KN/m	massimo taglio sull'appoggio

7.1.3 Verifiche di resistenza

In fase di getto si considera resistente il solo traliccio su uno schema di travatura reticolare e vengono eseguite le verifiche di resistenza e di stabilità delle armature del traliccio.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Dati della sezione della predalla:

$R_{ck} =$	45.0	N/mm ²		
$s_l =$	5.0	cm	spessore lastra	
$i_{tr} =$	30.0	cm	interasse tralicci	
$h_{tr} =$	20.0	cm	h traliccio (interasse correnti)	
$b_{tr} =$	11.2	cm	distanza correnti inf. singolo traliccio	
$p_d =$	20.0	cm	passo diagonali traliccio	
	ϕ	n°	p.(cm)	$A_s(\text{mm}^2)$
	12	2	30.00	226.08 correnti inferiori
	16	1	30.00	200.96 corrente superiore
	10	1	20.00	78.5 diagonale traliccio
	0	0	0.00	0 Armatura aggiuntiva
	$c =$	2.0	cm	copriferro al lembo inferiore

Verifica in fase di getto

$M =$	37.39	KNm/m	$M^* =$	11.22	KNm/tr
$V =$	33.69	KN/m	$V^* =$	10.11	KNm/tr

Verifica di stabilità del corrente superiore compresso

$N_s = M/h_{tr} =$	56.09	KN		
$\beta =$	1.00		$\lambda = \beta L_0/i =$	50
$i = \phi/4 =$	0.40	cm		
$L_0 = p_d =$	20.00	cm	$\omega(\lambda) =$	1.37 DIN 4114
$\sigma_s = \omega N_s/A_s =$	382.35	N/mm ²		<391.3

Verifica di resistenza dei correnti inferiori tesi

$N_i = M/h_{tr} =$	56.09	KN/tr		
$\sigma_i = N_i/A_i =$	248.08	N/mm ²		<391.3

Verifica di stabilità della diagonale compressa

$L_d = [h_{tr}^2 + (b_{tr}/2)^2 + (p_d/2)^2]^{1/2} =$	23.05	cm		
$\cos\alpha = h_{tr}/L_d =$	0.868	rad		
$N_d = V/(2\cos\alpha) =$	5.82	KN/m		
$L_0 = L_d =$	23.05	cm	$\lambda = \beta L_0/i =$	92
$\beta =$	1.00		$\omega(\lambda) =$	2.90 DIN 4114
$i = \phi/4 =$	0.25	cm		
$\sigma_d = \omega N_d/A_d =$	215.17	N/mm ²		<391.3

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

7.2 Soletta in cemento armato

7.2.1 Analisi delle sollecitazioni in fase di esercizio

7.2.1.1 Modello di calcolo

Per il computo delle sollecitazioni dovute ad effetti locali sulla soletta d'impalcato, si è ricorsi all'impiego di un modello agli elementi finiti, che schematizza la sezione trasversale e la soletta superiore in corrispondenza del traverso per una profondità di 1.0 m

Il modello è composto da soli elementi frame che hanno le caratteristiche degli elementi che compongono la sezione.

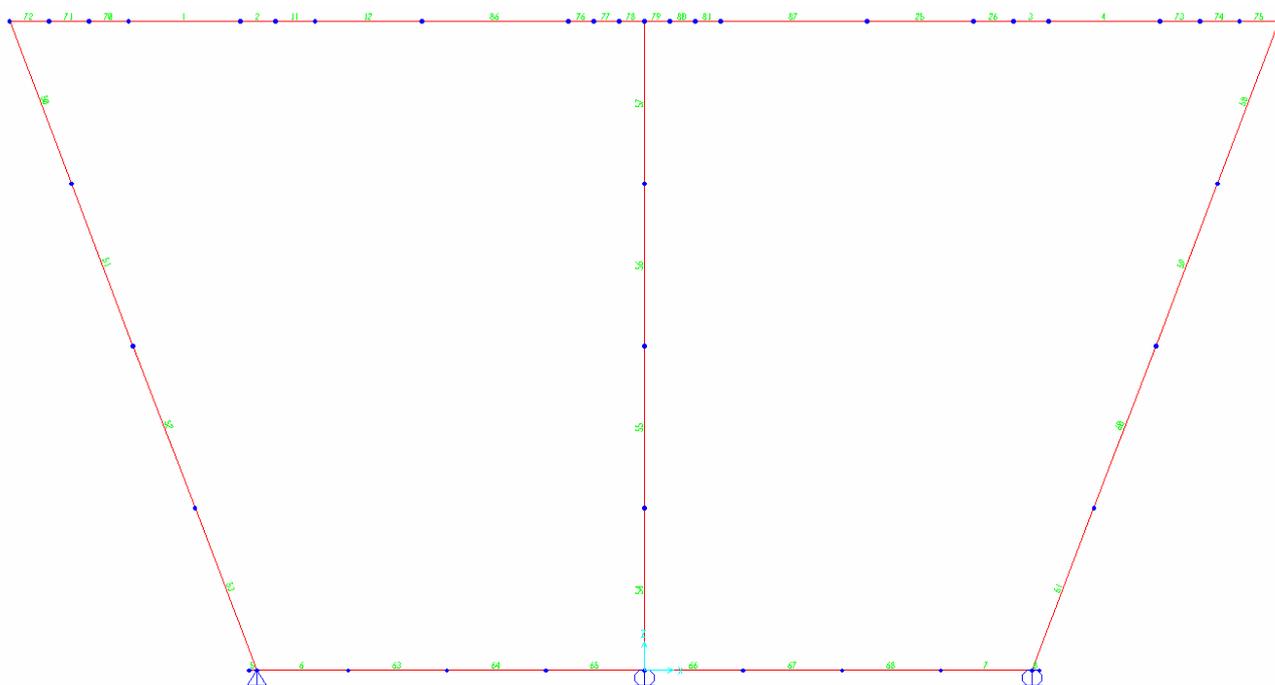


Figura 21: Modello agli elementi finiti della sezione trasversale

Il modello è composto da:

numero di nodi: 43

numero di elementi frames: 44

I carichi considerati sono elencati più sotto:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- Sovraccarichi permanenti;
- Sovraccarichi accidentali e relativi incrementi dinamici;
- Vento;
- Deragliamento del convoglio ferroviario.

Per l'applicazione dei suddetti carichi al modello in esame, si è proceduto come descritto di seguito:

- Le azioni associate al peso proprio della pavimentazione ed ai sovraccarichi accidentali sono state assegnate come forze uniformemente distribuite ai frame.
- L'azione associata al peso proprio dei muretti paraballast e della canaletta impianti sono state assegnate come forze concentrate ai frame.

7.2.2 Pesì propri e sovraccarichi permanenti

Si tiene conto dei seguenti carichi permanenti:

- Ballast (H=0.80 m) = 14.4 kN/m²
- Canaletta = 3.75 kN/m
- Muretto paraballast = 3.64 kN/m

Come descritto nel paragrafo precedente, le azioni espresse in termini di forza per unità di lunghezza sono applicate direttamente agli elementi frame.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

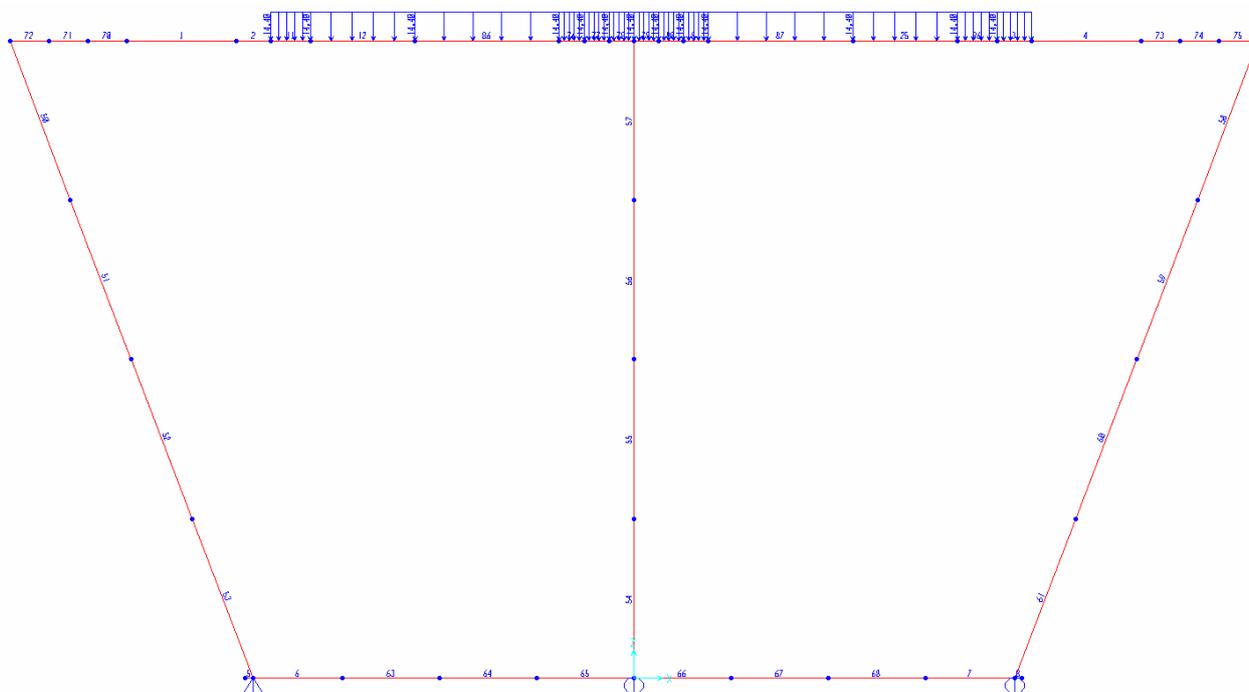


Figura 22: applicazione del carico Ballast

7.2.2.1 Sovraccarichi accidentali ferroviari e relativi incrementi dinamici.

I carichi presi in considerazione per le verifiche locali sono quelli imposti dalla normativa ferroviaria. Nello specifico si sono considerati i treni ideali LM71 e SW/2 nelle combinazioni prescritte dalla norma stessa.

Considerate le dimensioni della struttura sono risultati dimensionanti i soli carichi ferroviari dovuti al treno ideale LM71.

Si considera una diffusione sia longitudinale che trasversale del carico ferroviario fino al piano medio della soletta che si ricorda essere spessa 0.40 m. in questo caso.

Il tipo di armamento è su traversine in calcestruzzo poste a interasse costante di 0.60 m. che a loro volta poggiano sul ballast.

Si considera una diffusione dei carichi attraverso il ballast e la soletta fino al piano medio della stessa. Si considera in accordo con le indicazioni della normativa (Fig.5.2.4) lo spessore minimo del ballast, che è pari a 0.36 m. La diffusione nel ballast segue un'inclinazione di 4:1.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	Codice documento PA0107_F0.doc	Rev. F0	Data 20/06/2011	

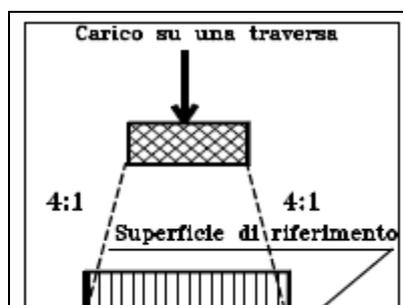


Figura 23: Figura 5.2.4 delle NTC 2008

Inoltre si considera, in accordo con le indicazioni della normativa (Fig.5.2.3) sotto riportata, una distribuzione del carico su tre traversine contigue.

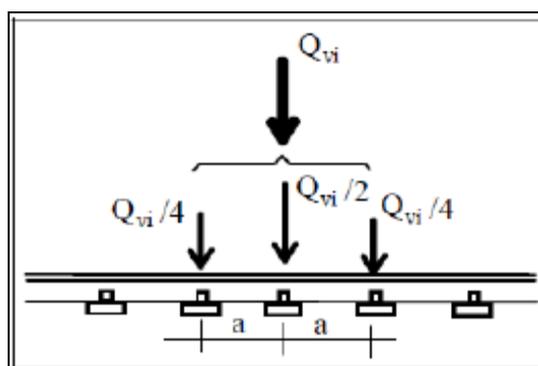


Figura 24: Figura 5.2.3 delle NTC 2008

L'interasse delle traversine è, come detto, pari a 0.60 m. e la traversina ha una dimensione di 0.30 m.

Si considera una diffusione trasversale dei carichi fino al piano medio della soletta con un'inclinazione di 45°. Essendo l'impalcato in curva si ha una distribuzione dei carichi trapezia oltre che una risultante orizzontale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

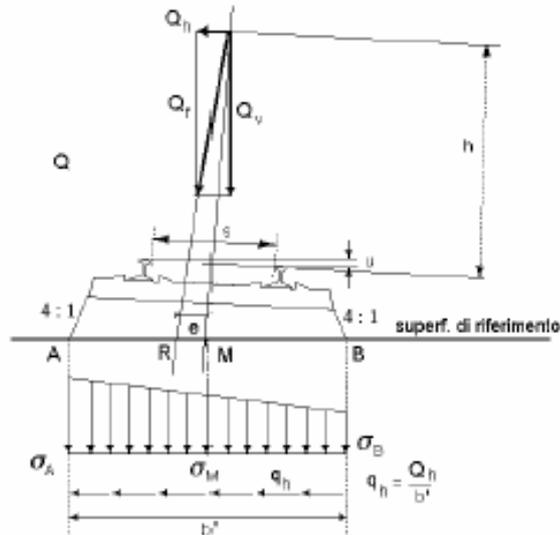


Figura 25: Figura 5.2.6 delle NTC 2008

7.2.2.1.1 Diffusione longitudinale

Per una striscia unitaria la situazione più gravosa è quella per cui agisce un asse del treno ideale LM71. Quindi:

$Q_k = 250 \text{ kN}$ peso del singolo asse di un LM71

considerando la distribuzione su tre traversine contigue si ha:

$$B_t = B_i + 2 \cdot (S_b/4 + S_s/2) = 0.30 + 2 (0.36/4 + 0.40/2) = 0.88 \text{ m.}$$

$$b_t = 1/2 + (l_t - B_t/2) + S_b/2 + S_s/2 = 0.34 \text{ m.}$$

$$K = 2 \cdot b_t/B_t = 2 \cdot 0.34/0.88 = 0.772$$

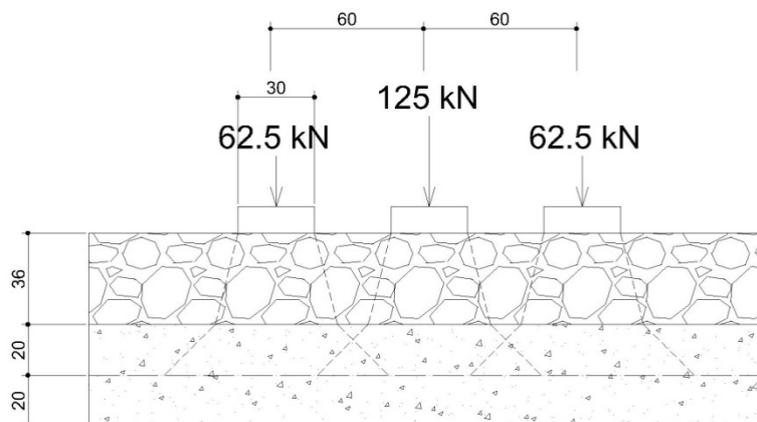


Figura 26: Diffusione longitudinale dei carichi concentrati

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Risulta, perciò, un carico massimo su un metro di:

$$Q_{vk}^* = 125 + 62.5 \cdot K = 125 + 62.5 \cdot 0.772 = 173.25 \text{ kN/m}^2$$

A questo carico si applica un coefficiente di adattamento α pari a 1.1.

Per i carichi dovuti ai veicoli ferroviari è stato considerato un coefficiente amplificativo per effetti dinamici prendendo in considerazione la formula 5.2.6 delle NTC2008 riferita a linee ad alto standard manutentivo:

$$\Phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{L_\phi - 0.2}} + 0.82$$

Per ponti in acciaio con soletta in cemento armato e armamento su ballast si ha:

$$L_\phi = 3 \cdot L_{\text{soletta}}$$

luce fittizia

$$L_{\text{soletta}} = 5.70 \text{ m}$$

$$L_\phi = 17.1 \text{ m}$$

luce fittizia di calcolo

Ne risulta:

$$\Phi_2 = 1.186$$

coefficiente dinamico di progetto

7.2.2.1.2 Diffusione trasversale

Si considera, come riportato nella figura 5.2.6 delle NTC 2008, una diffusione trasversale dei carichi nel ballast. Considerando:

$$BI = b' + 2 \cdot (Ss/2) = 2.62 + 2 \cdot 20 = 3.02 \text{ m}$$

Il carico complessivo agente su un metro è pari a:

$$Q_{vk} = (\alpha \cdot \Phi_2 \cdot Q_{vk}^*) / BI = (1.1 \cdot 1.186 \cdot Q_{vk}^*) / 3.02 = 1.1 \times 1.186 \times 173.25 / 3.02 = 74.85 \text{ kN/m}^2$$

Questo carico genera una tensione media al piano medio soletta. Essendo presente sia un'eccentricità accidentale dovuta ai carichi variabili che un'eccentricità dovuta al sovrizzo "u" si ha una distribuzione dei carichi trapezia. Nello specifico:

$$e = s/8 + u = 8 + 16.5 = 0.245 \text{ m}$$

eccentricità totale dei carichi

$$\Delta M = Q_{vk} \cdot BI \cdot e = 74.85 \times 3.02 \times 0.245 = 55.38 \text{ kNm/m}$$

delta momento per l'eccentricità

$$\Delta Q = \pm 6 \cdot \Delta M / Bt^2 = 6 \times 55.38 / (3.02)^2 = 36.43 \text{ kN/m}^2$$

delta carico a farfalla

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

$$Q_{vk}^{MAX} = 74.85 + 36.43 = 111.3 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{vk}^{MIN} = 74.85 - 36.43 = 38.42 \text{ kN/m}^2$$

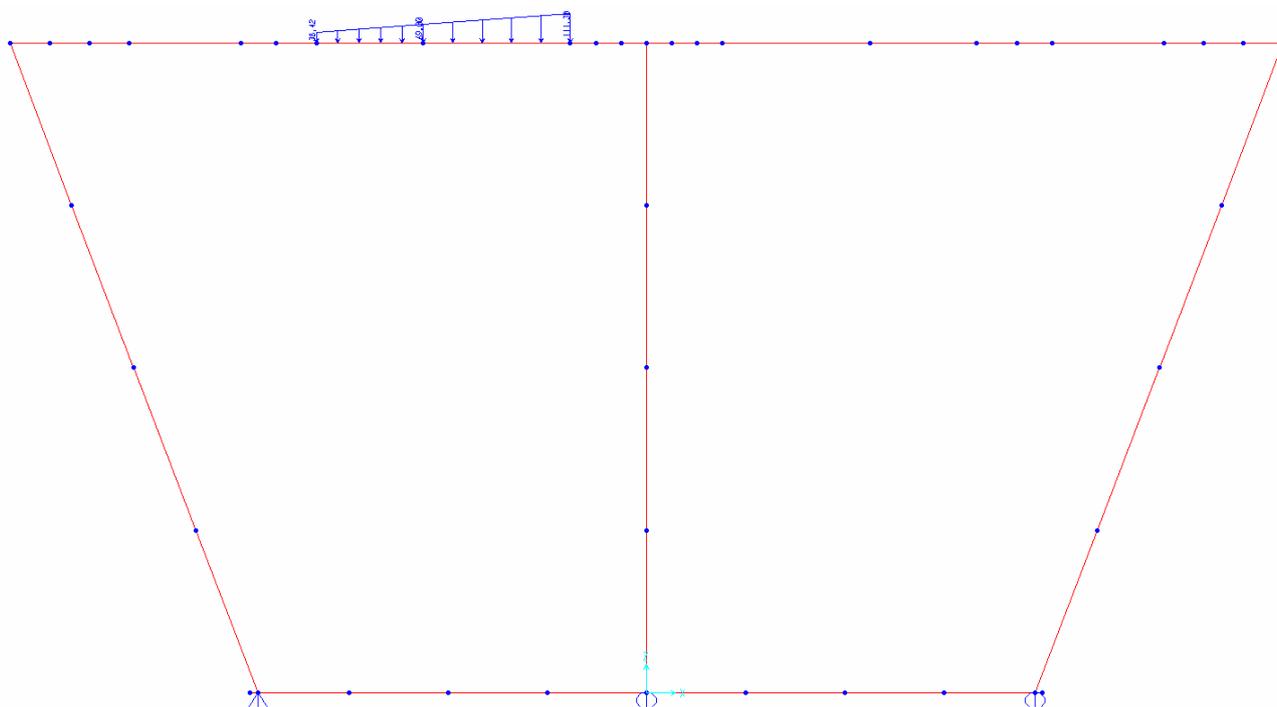


Figura 27: applicazione del carico LM71_E (LM 71 sul binario dispari)

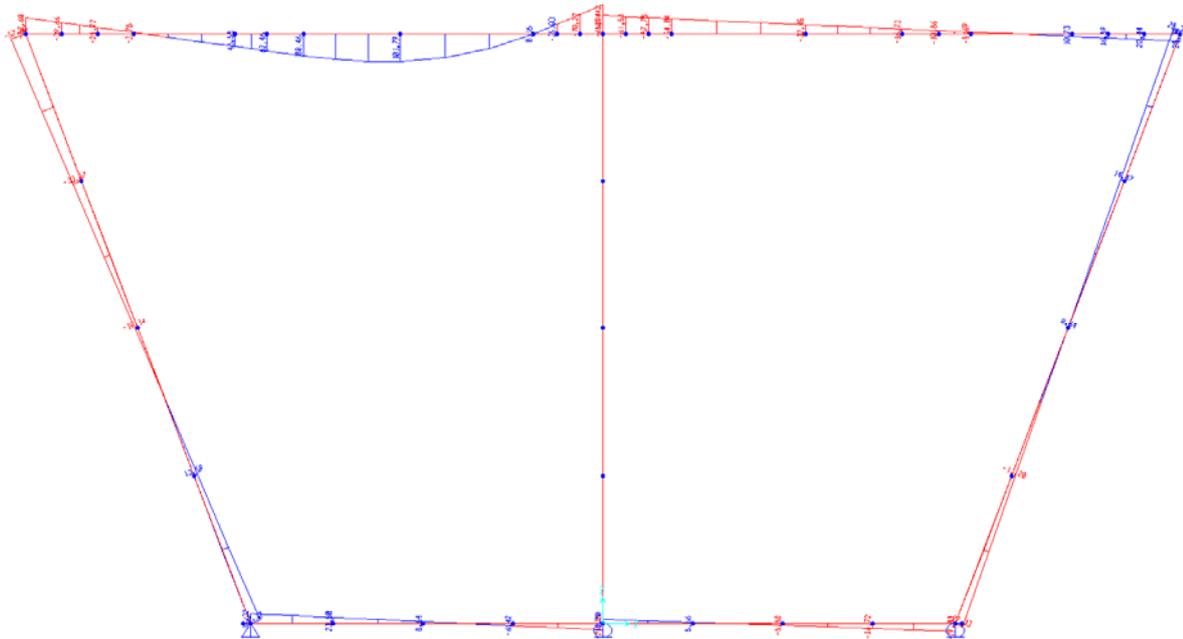


Figura 28: diagramma del momento flettente per il carico LM71_E

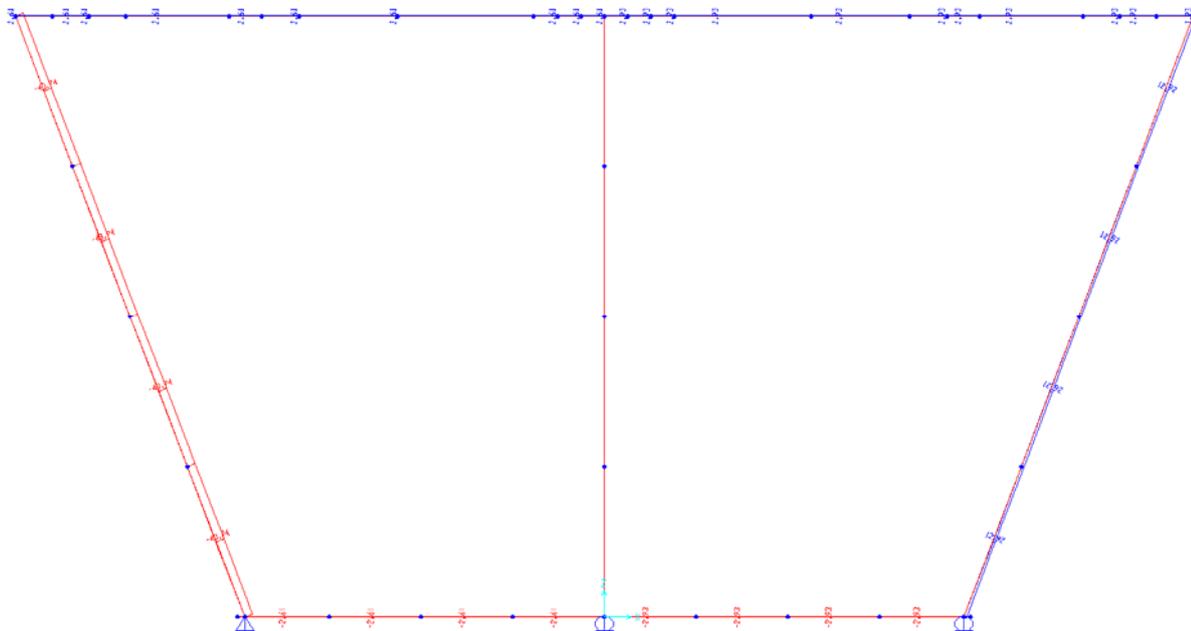


Figura 29: diagramma dello sforzo normale per il carico LM71_E

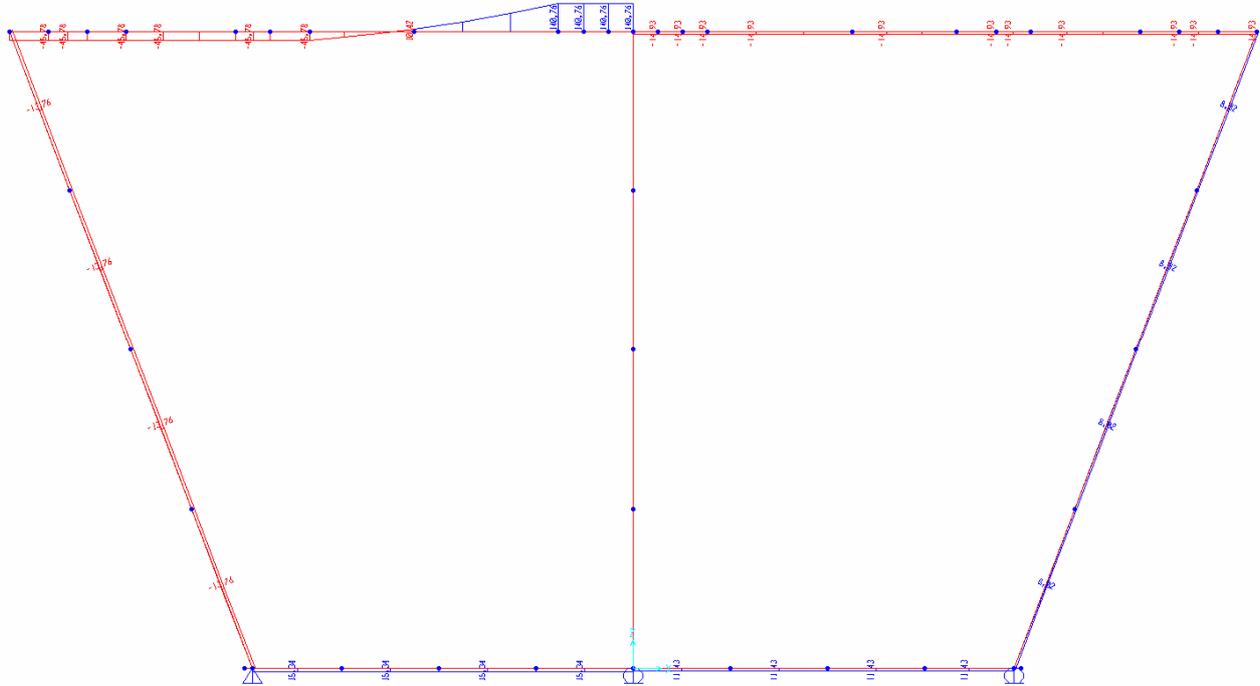


Figura 30: diagramma del taglio per il carico LM71_E

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

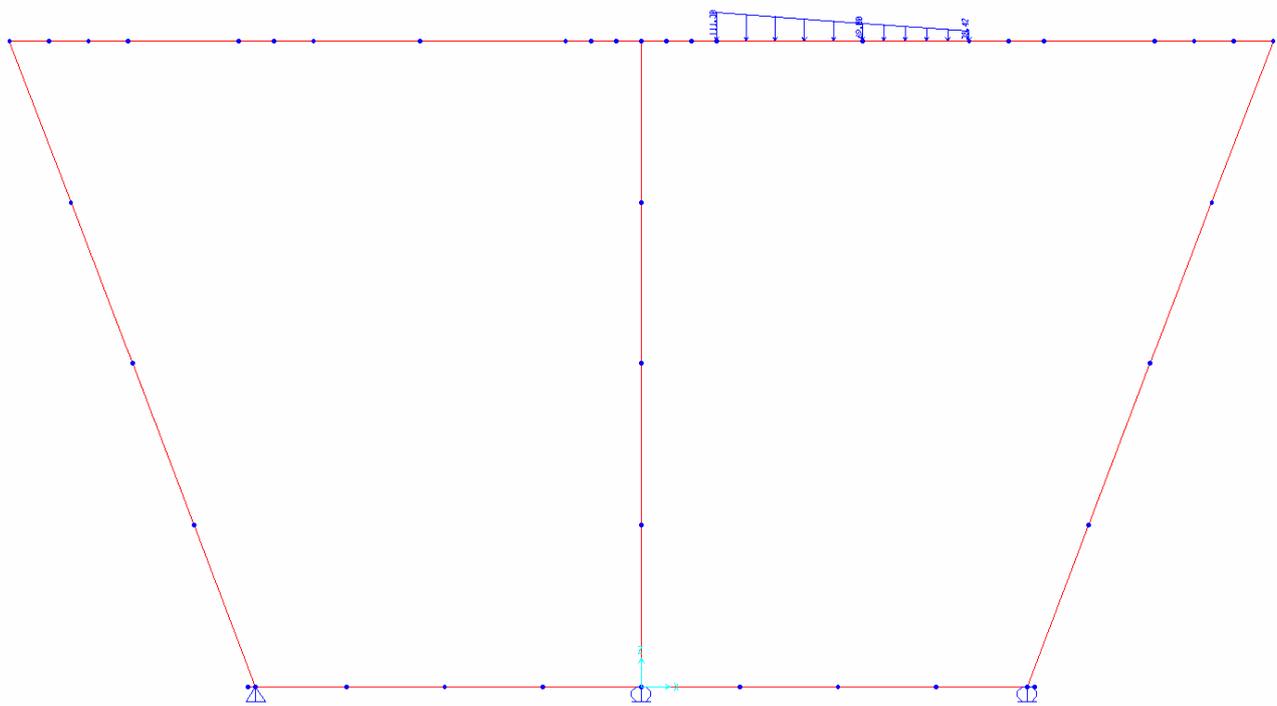


Figura 31: applicazione del carico LM71_2_E (LM 71 sul binario pari)

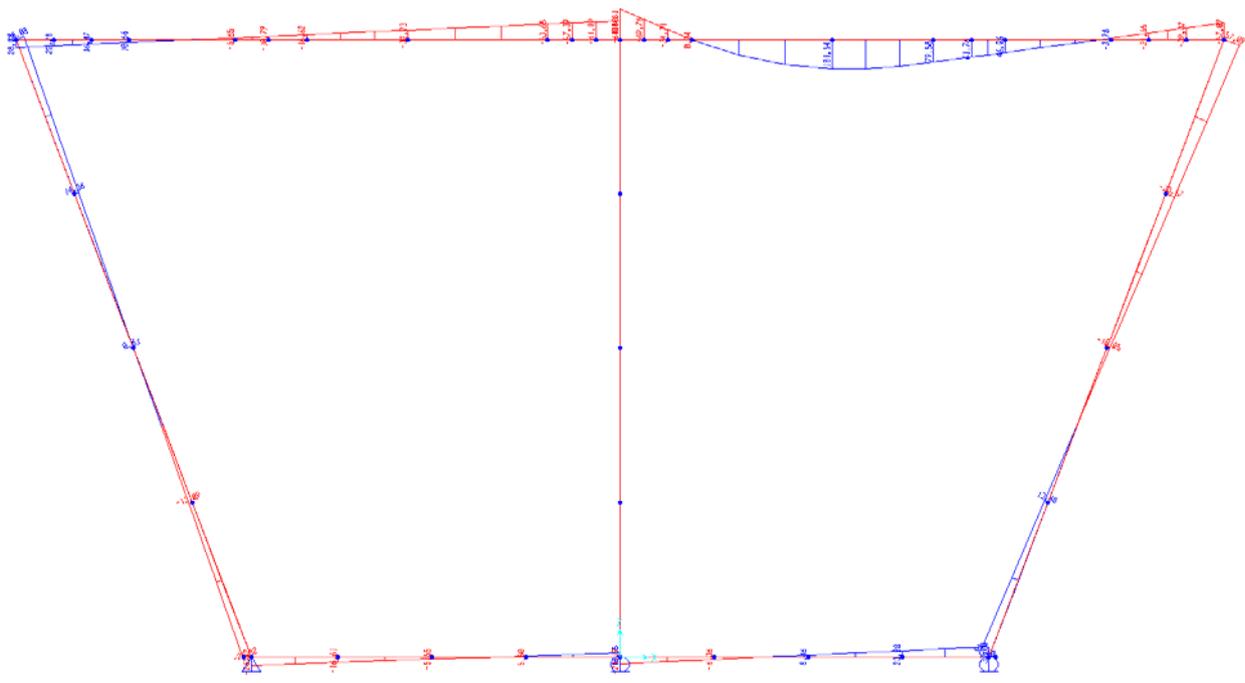


Figura 32: diagramma del momento flettente per il carico LM71_2_E

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p>RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO</p>		<p>Codice documento PA0107_F0.doc</p>	<p>Rev. F0</p>	<p>Data 20/06/2011</p>

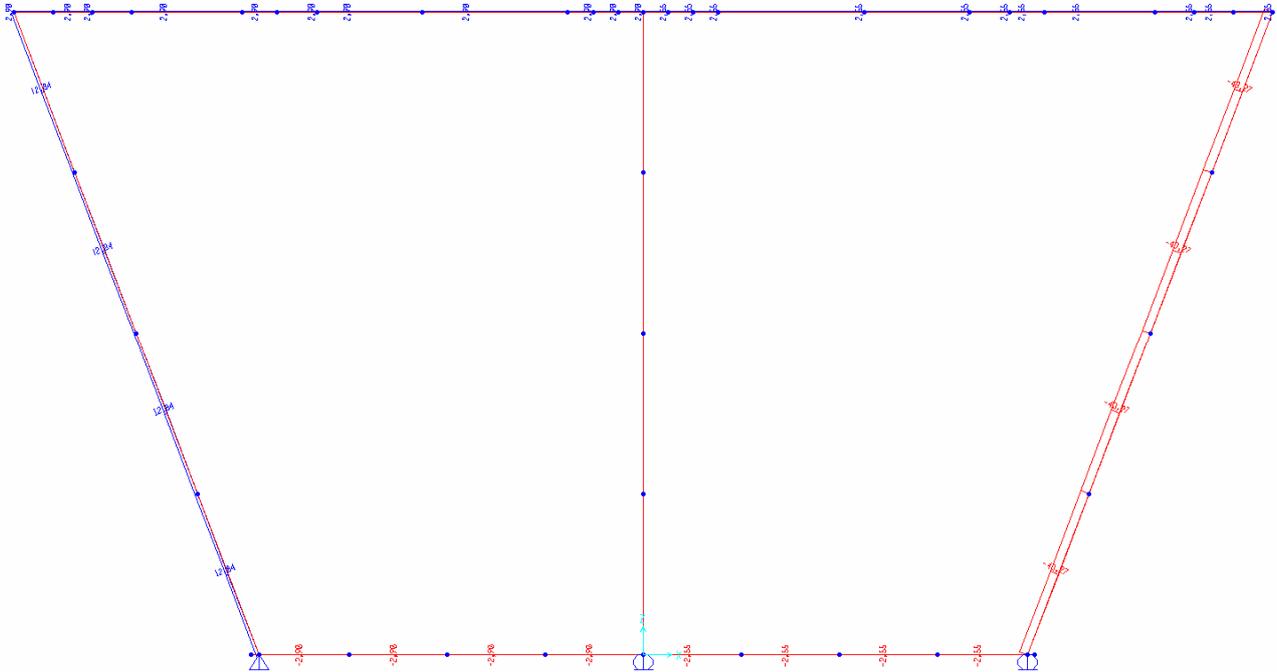


Figura 33: diagramma dello sforzo normale per il carico LM71_2_E

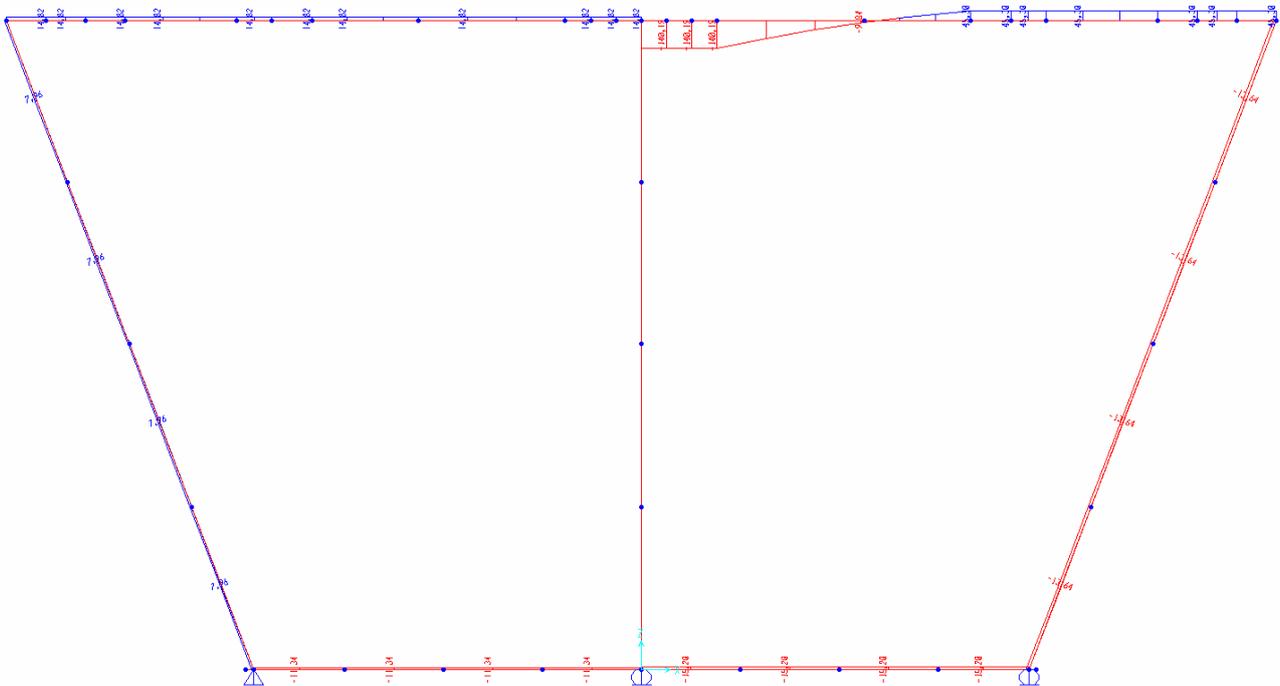


Figura 34: diagramma del taglio per il carico LM71_2_E

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

7.2.2.2 Serpeggio

L'azione indotta dal serpeggio, è un'azione orizzontale assorbita quasi completamente dal ballast e produce effetti trascurabili ai fini delle verifiche locali della soletta in direzione trasversale. Per completezza tale azione viene comunque presa in conto.

Tale azione consiste in una forza concentrata di 100 kN applicata alla sommità della rotaia più alta. A tale valore si applica il coefficiente di adattamento 'α' ma non quello dinamico Φ_2 .

Nel presente caso essendo presenti due binari si possono considerare due carichi da serpeggio applicati ai rispettivi binari.

$$Q_{sk} = 110 \text{ kN}$$

forza concentrata di calcolo

$$h_0 = 0.40 \text{ m}$$

distanza da P.F. e intradosso traversa

$$M = Q_{sk} \cdot h_0 = 44 \text{ kNm/m}$$

momento flettente risultante

L'azione viene diffusa su tre traversine longitudinalmente:

$$B_l = 2 \cdot l_t + B_t + 2 \cdot (S_b/4 + S_s/2) = 2.08 \text{ m} \quad \text{lunghezza longitudinale di diffusione}$$

$$B_t = 3.02 \text{ m.}$$

lunghezza trasversale di diffusione

$$f_0 = 110/2.08 = 48.10 \text{ kN/m}$$

azione trasversale

$$M^* = M/B_l = 44/3.02 = 14.57 \text{ kNm/}$$

azione flettente

$$f^* = f_0 / B_t = 48.1/3.02 = 15.93 \text{ kN/m}$$

azione trasversale equivalente

$$\Delta Q^* = \pm 6 \cdot M^* / B_t^2 = \pm 9.58 \text{ kN/m}$$

delta carico a farfalla

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

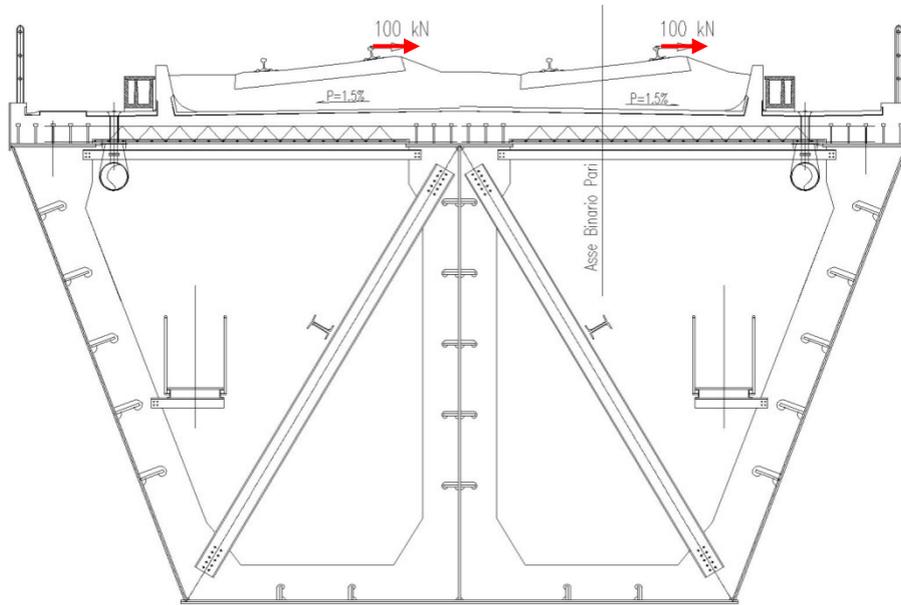


Figura 35: schema del carico serpeggio su ambo i binari

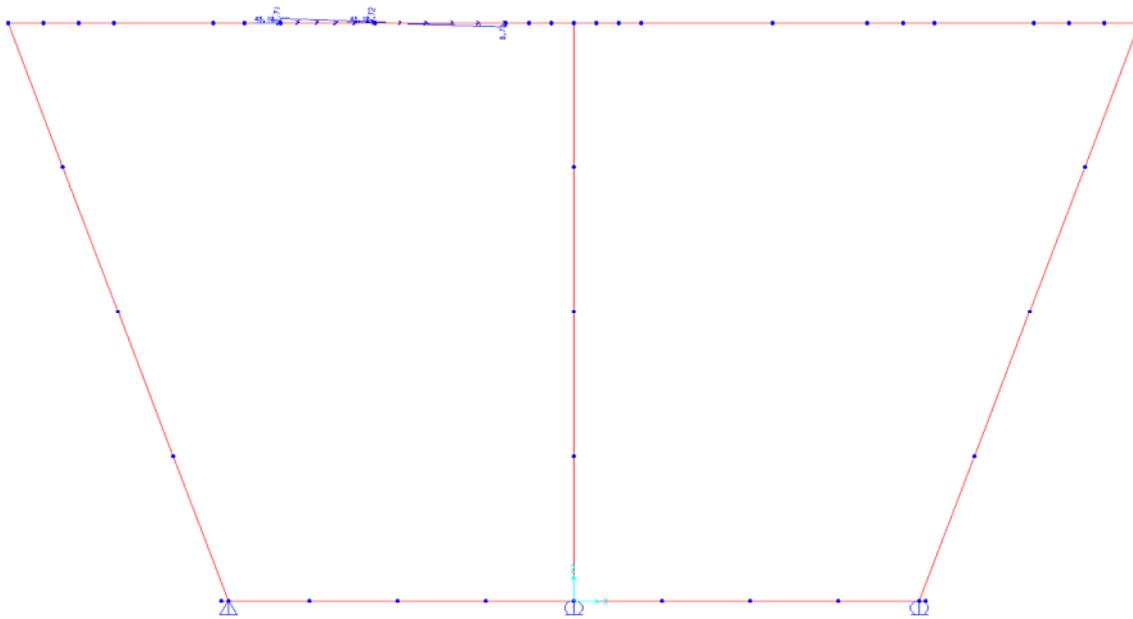


Figura 36: applicazione del carico SERP1 (serpeggio sul binario dispari)

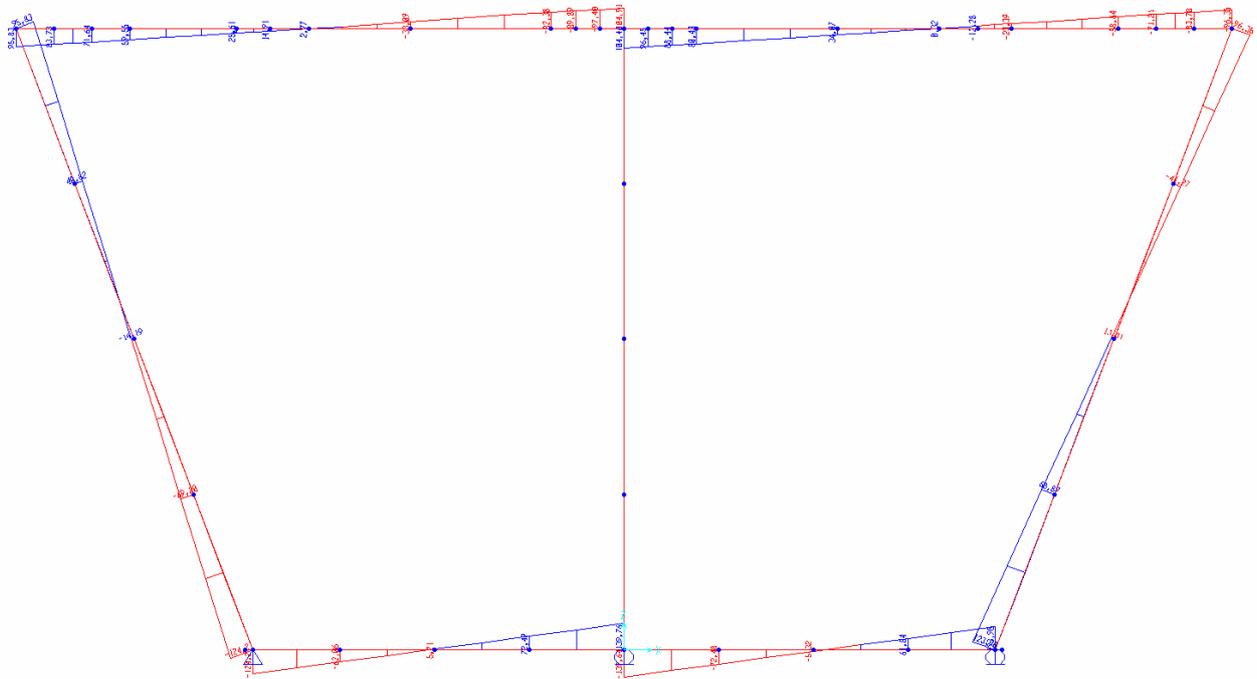


Figura 37: diagramma del momento flettente per il carico SERP1

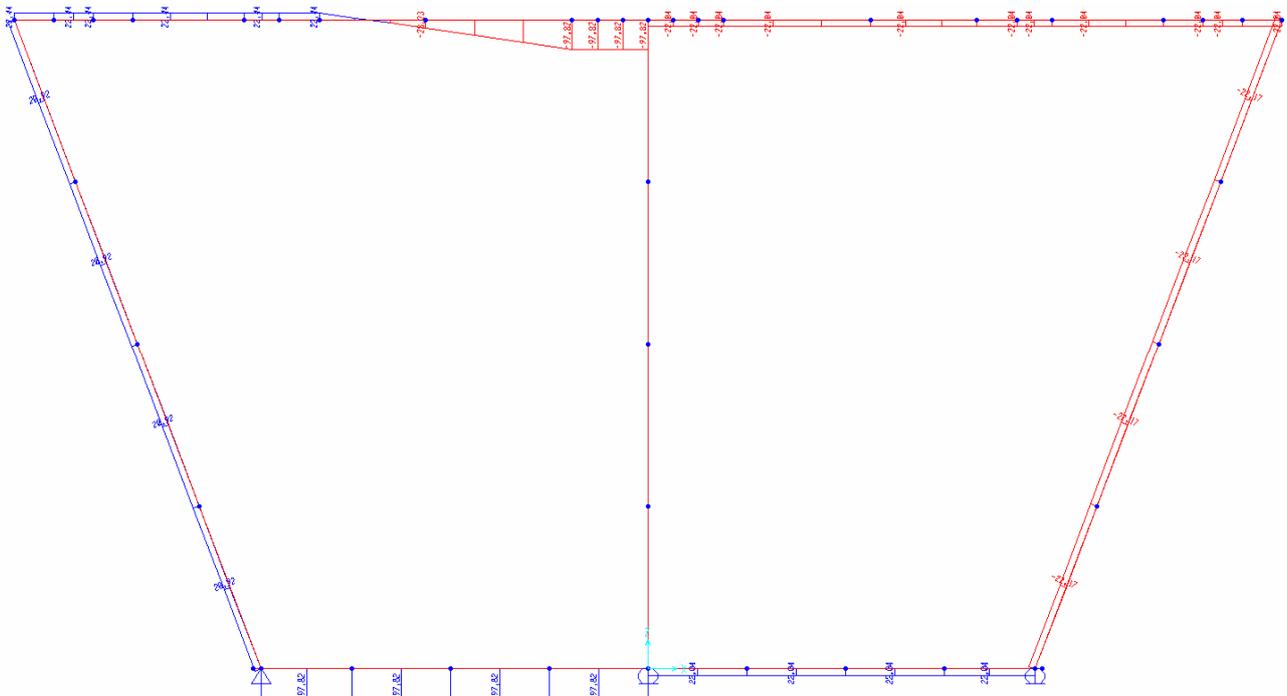


Figura 38: diagramma dello sforzo normale per il carico SERP1

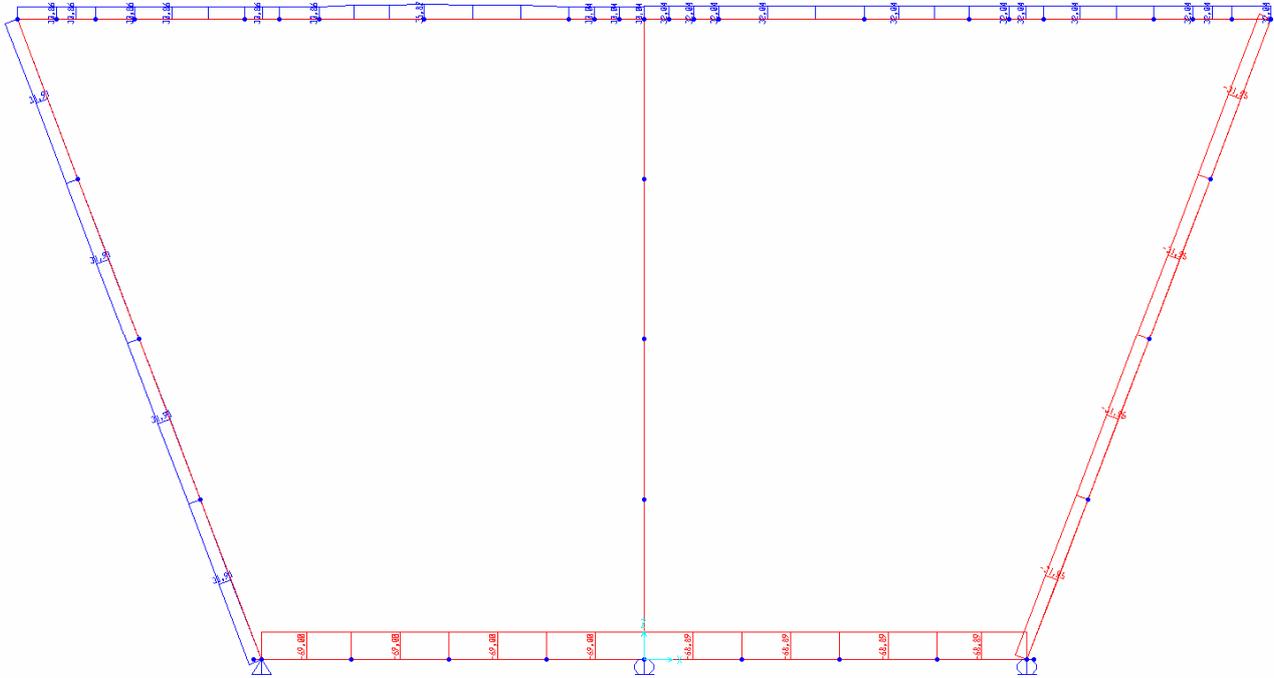
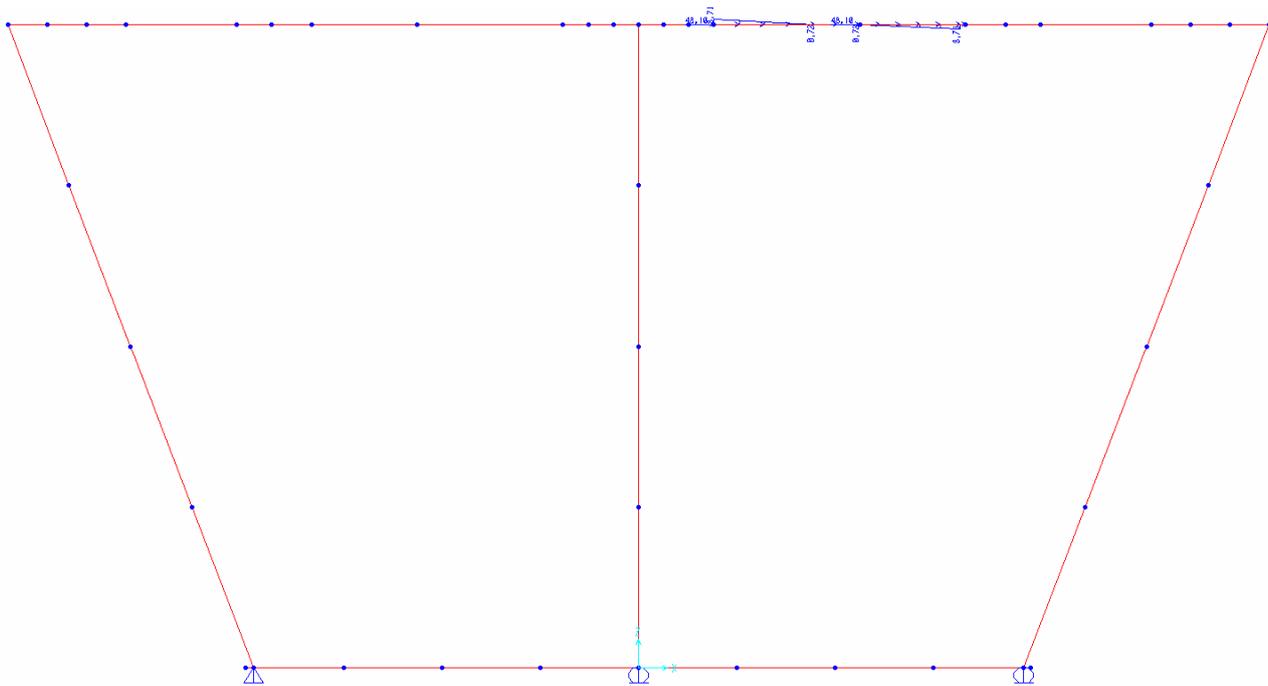


Figura 39: diagramma del taglio per il carico SERP1



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Figura 40: applicazione del carico SERP2 (serpeggio sul binario pari)

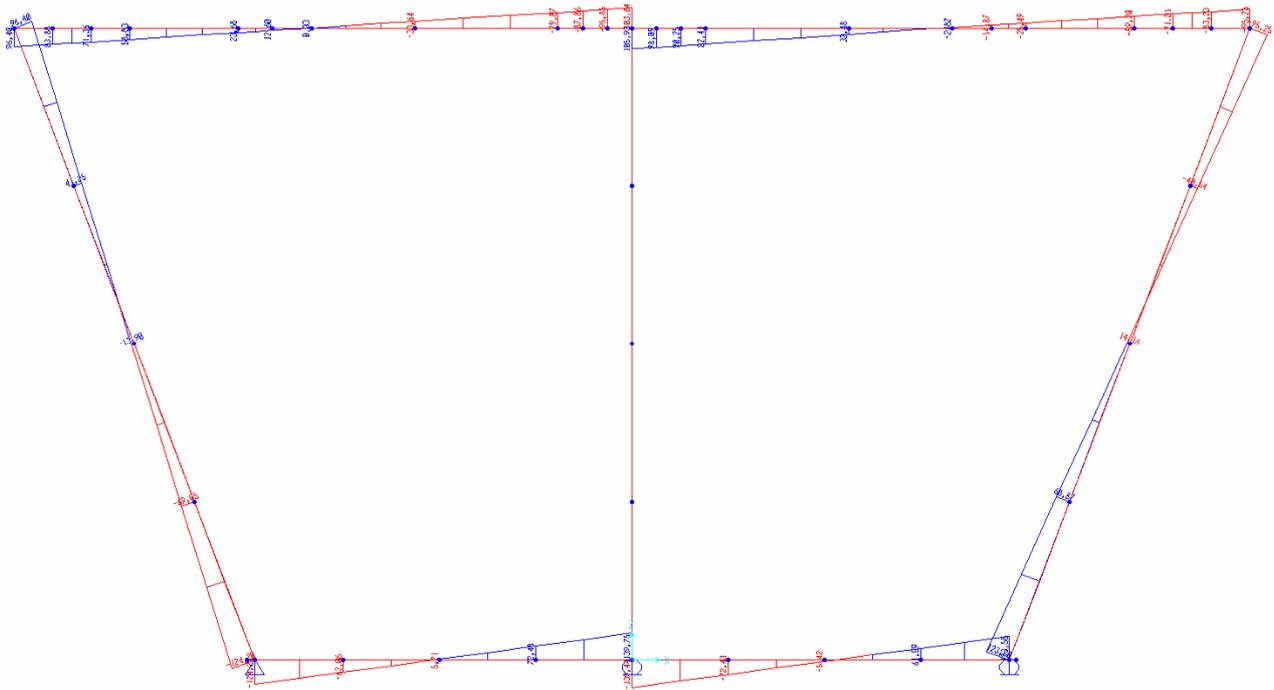
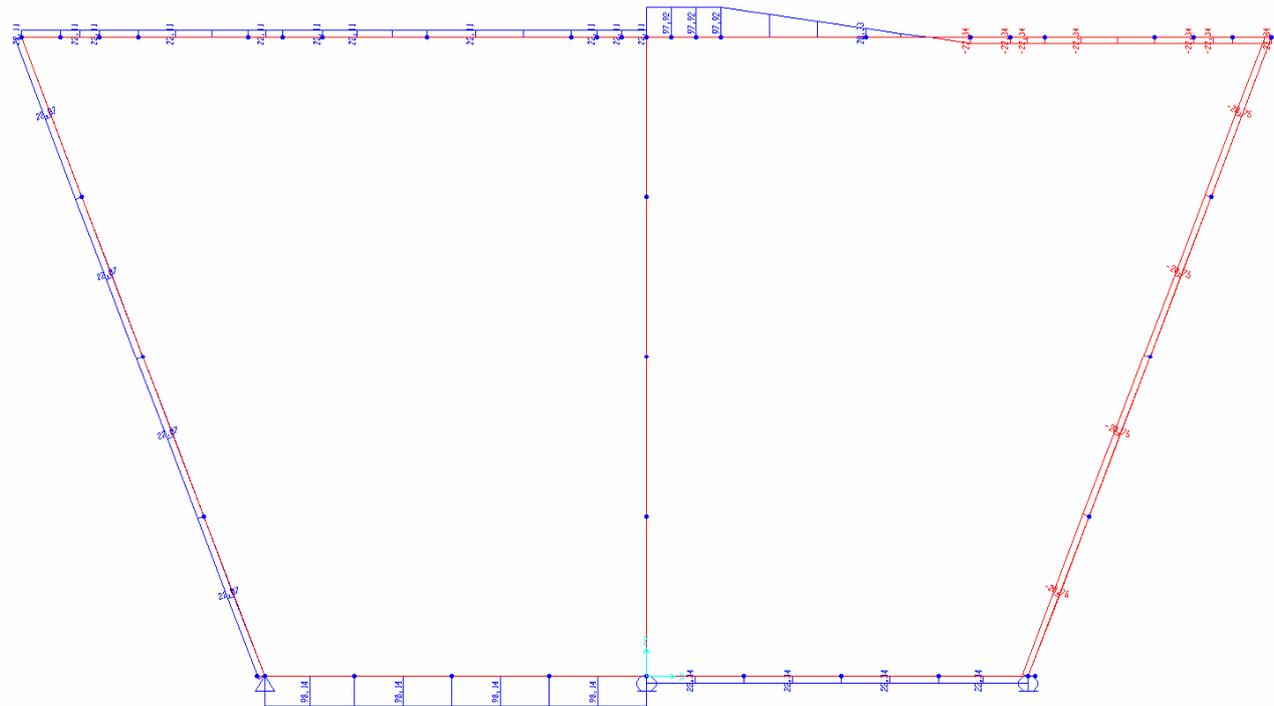


Figura 41: diagramma del momento flettente per il carico SERP2



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

Figura 42: diagramma dello sforzo normale per il carico SERP2

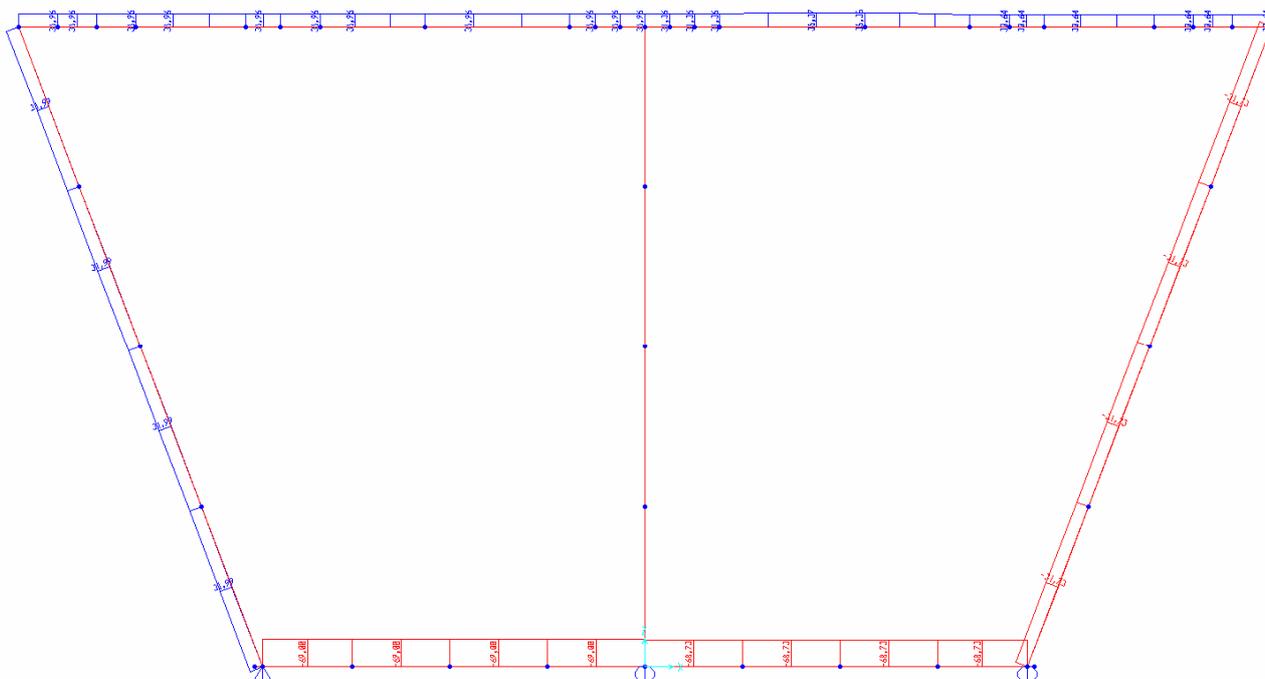


Figura 43: diagramma del taglio per il carico SERP2

7.2.2.3 Deragliamento

L'azione di deragliamento comprende due casi. Il primo caso prevede l'applicazione di due forze per unità di lunghezza pari a $q_{a1d} = 60$ kN/m posti a distanza pari allo scartamento 's' l'uno dall'altro e posti a massimi $1,5 \cdot s$ dal centro binario.

Il secondo caso considera una sola forza di $q_{a2d} = 112$ kN/m per una lunghezza di 20 m con un'eccentricità massima pari a $1,5 \cdot s$.

Caso 1:

$$q_{a1d} = 60 \text{ kN/m}$$

$$d = 2.0 \text{ m} < 1.5 s = 1.5 \cdot 1.435 = 2.1525 \text{ m}$$

$$d' = d - s = 2 - 1.435 = 0.565 \text{ m}$$

$$Ss = 0.40 \text{ m}$$

spostamento dal centro binario F_1

spostamento dal centro binario F_2

spessore soletta

Diffusione trasversale del carico deragliato (verso l'esterno):

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

$$Bt = 0.45 + S_s = 0.45 + 0.40 = 0.685 \text{ m}$$

$$q = q_{a1d} / Bt = 60 / 0.85 = 70.6 \text{ kN/m}$$

Diffusione trasversale del carico deragliato agente sulla traversa (verso l'esterno):

$$Bt = 3.02 \text{ m}$$

$$q = q_{a1d} / 3.02 = 60 / 3.02 = 19.9 \text{ kN/m}$$

$$M = q \times d' = 19.9 \times 0.565 = 11.25$$

$$\Delta Q = \pm 6 \cdot M / Bt^2 = \pm 22.30 \text{ kN/m}$$

$$Q_{a1d}^{MAX} = 19.9 + 22.3 = 42.20 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{a1d}^{MIN} = 19.9 - 22.3 = -2.4 \text{ kN/m}^2$$

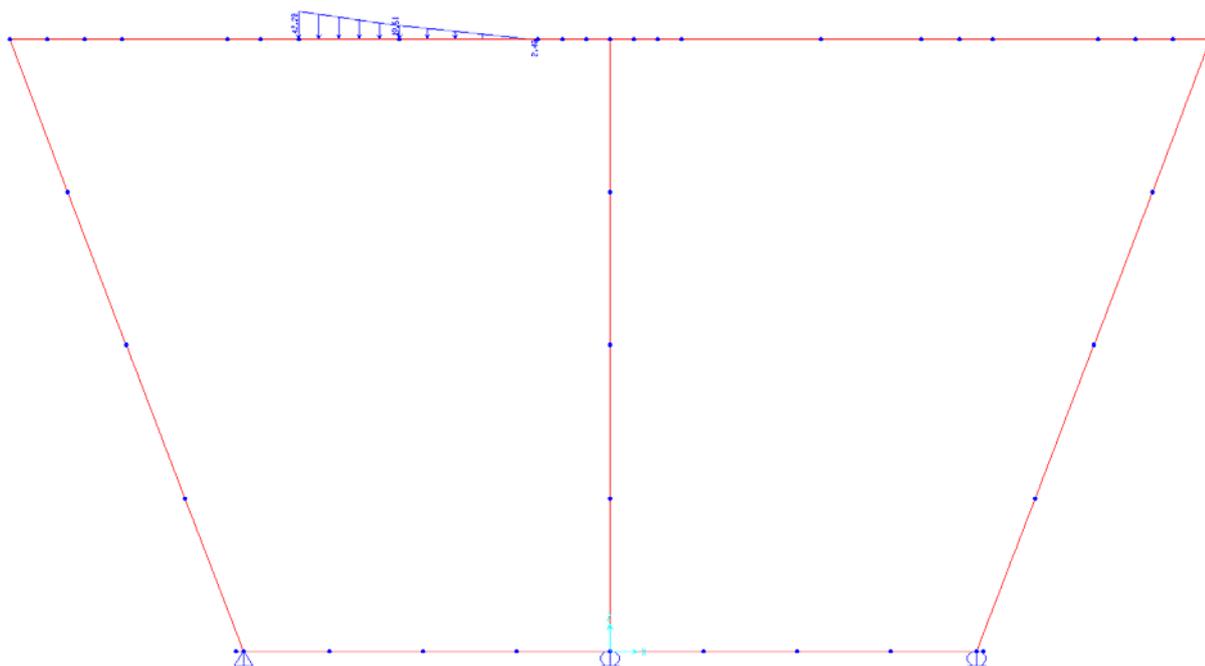


Figura 44: applicazione del carico deragliamento su binario dispari, prima forza concentrata

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

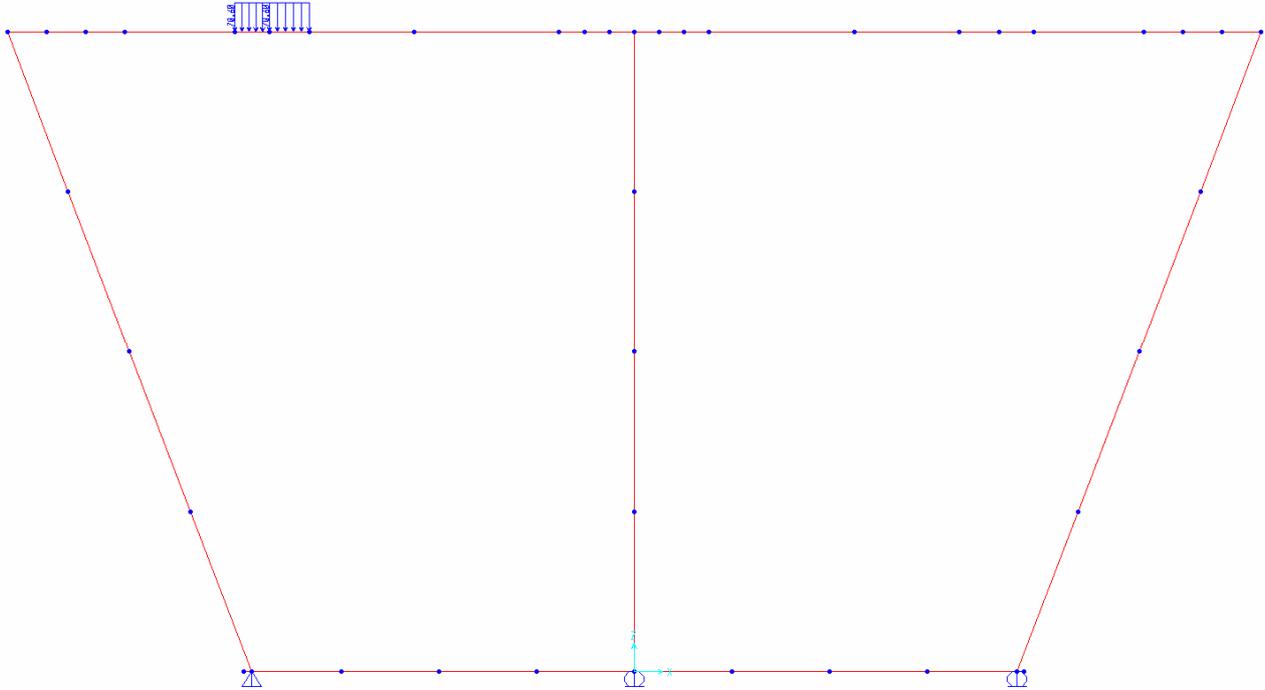


Figura 45: applicazione del carico deragliamento su binario dispari, seconda forza concentrata

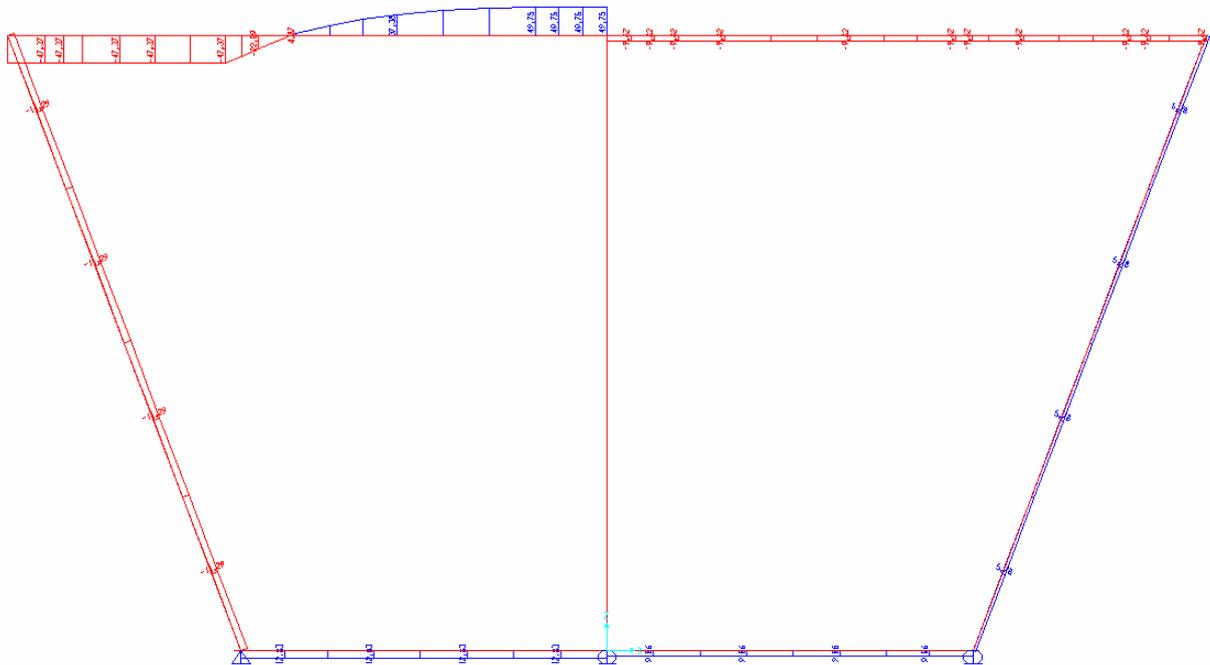


Figura 46: diagramma del momento flettente per il carico DER_1 (ambo le forze di deragliamento)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	Codice documento PA0107_F0.doc	Rev. F0

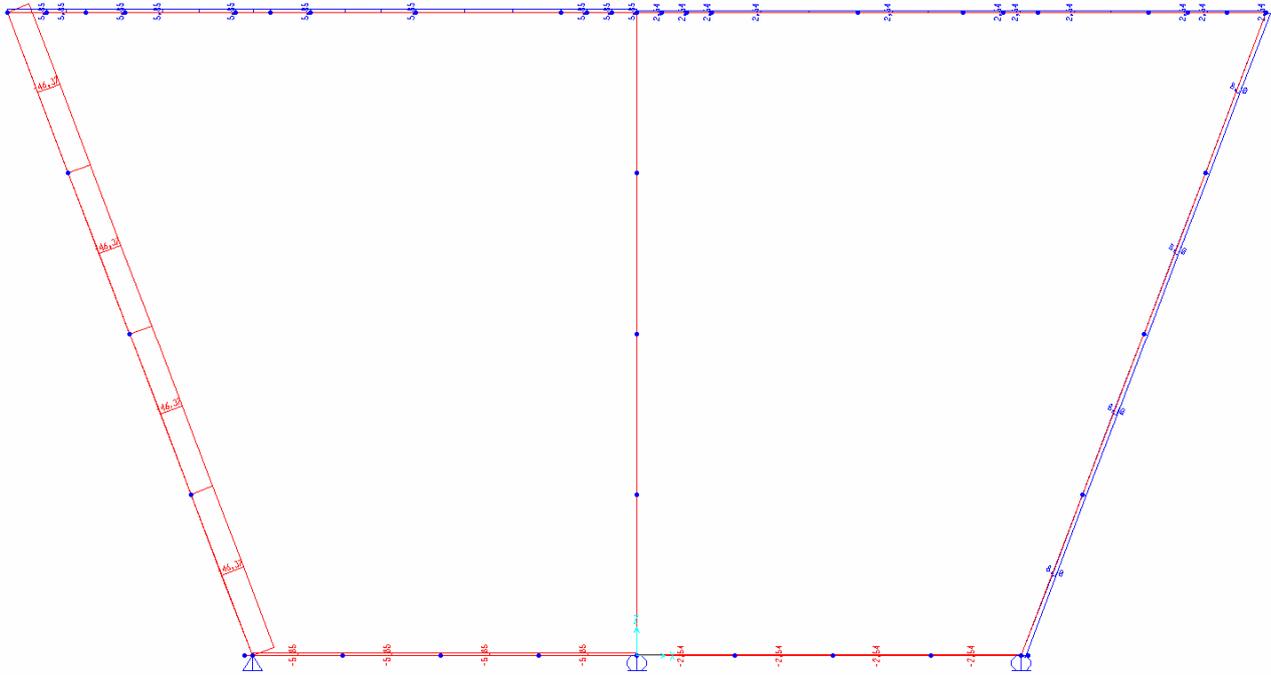


Figura 47: diagramma dello sforzo normale per il carico DER_1 (ambo le forze di deraggiamento)

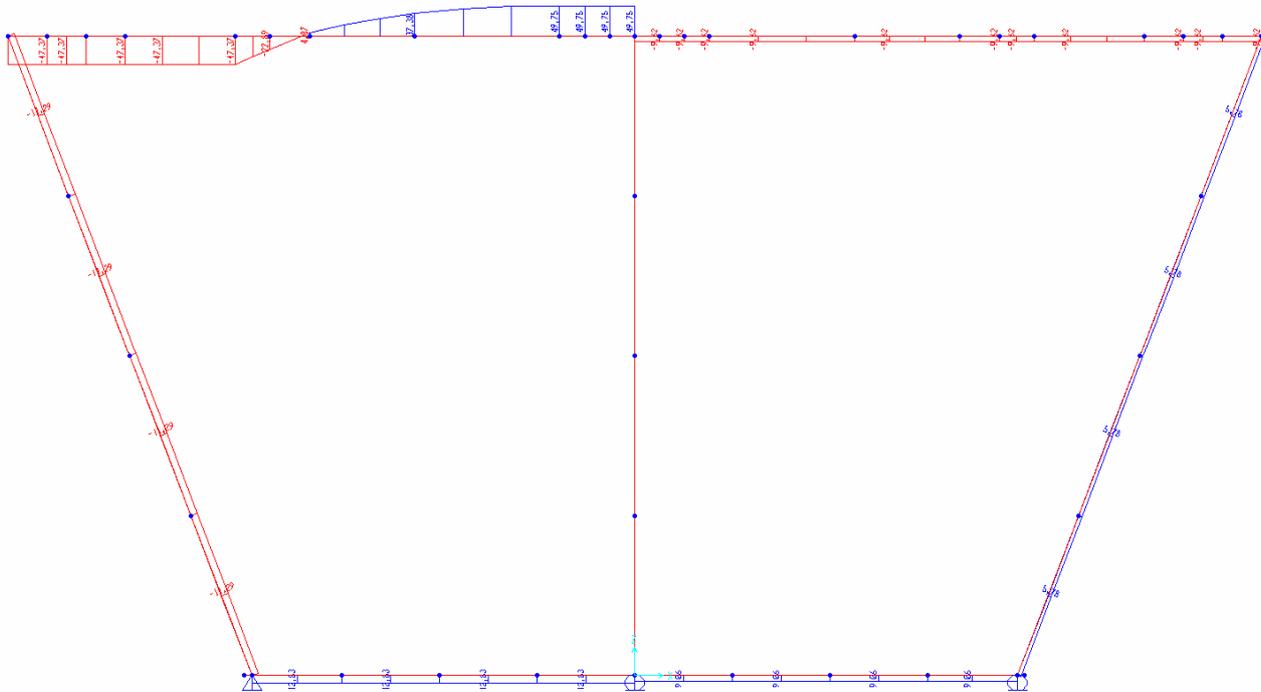


Figura 48: diagramma del taglio per il carico DER_1 (ambo le forze di deraggiamento)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

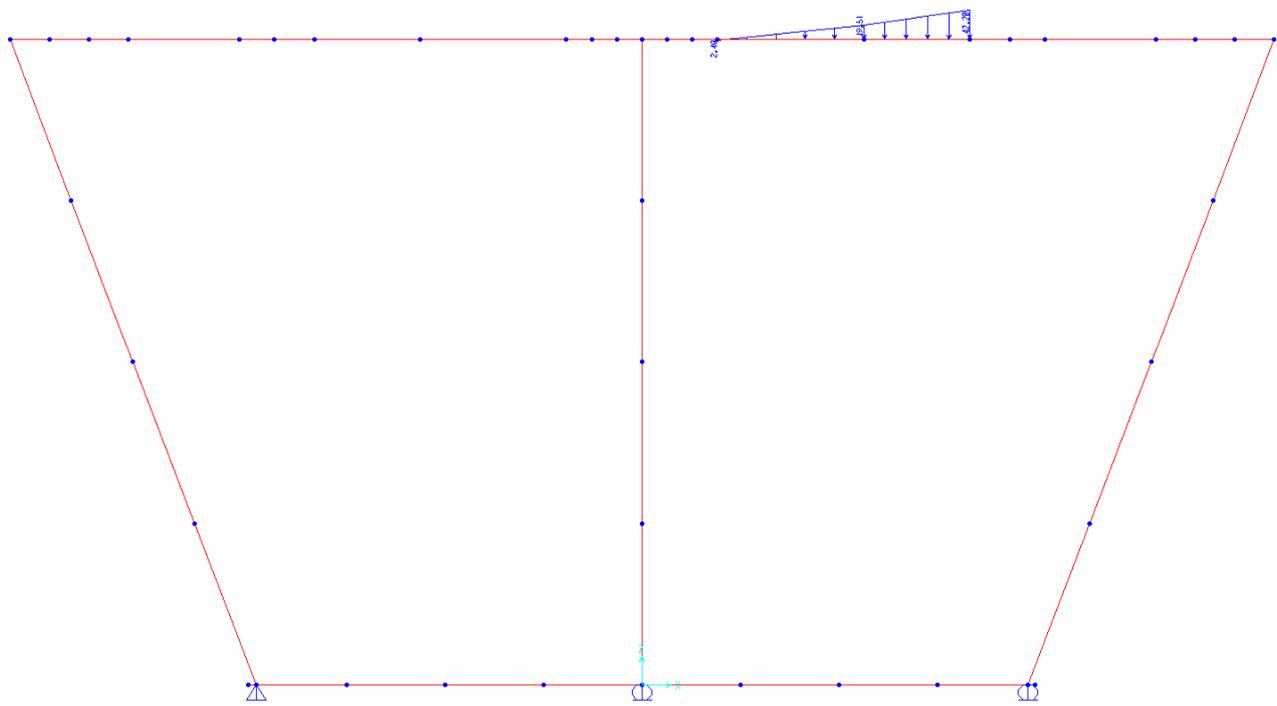


Figura 49: applicazione del carico deragliamento su binario pari, prima forza concentrata

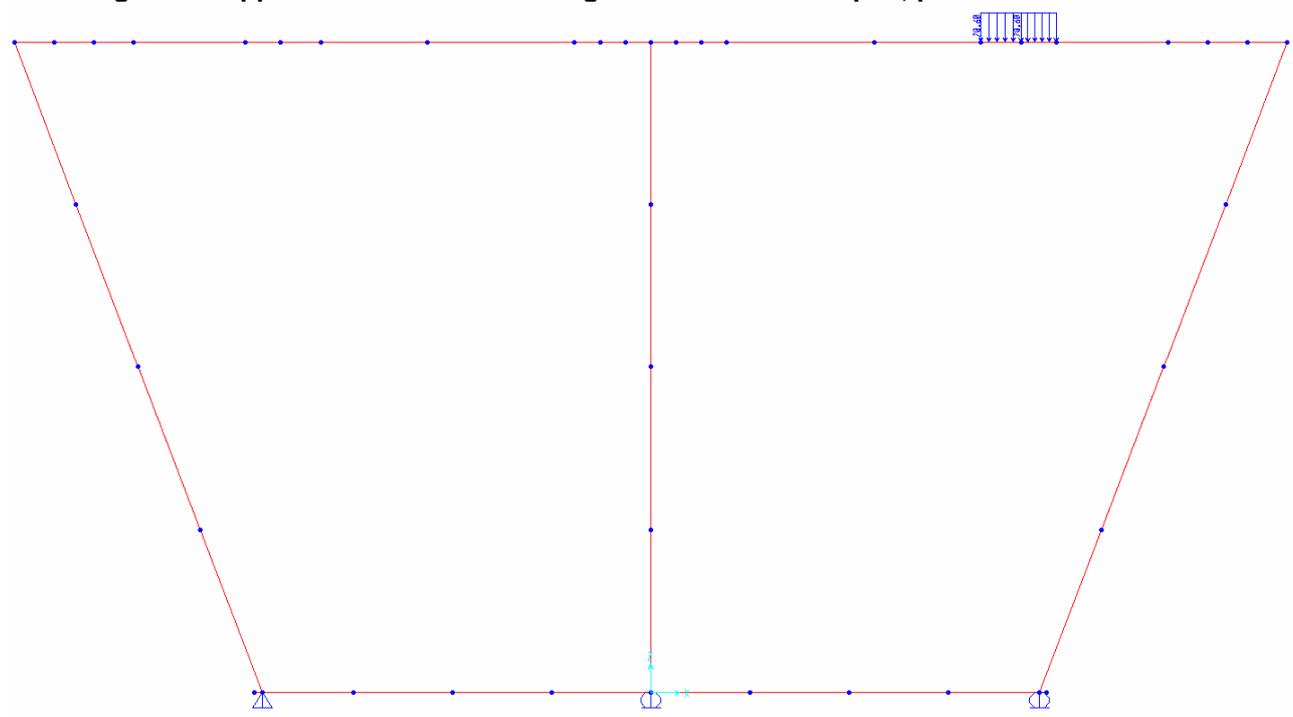


Figura 50: applicazione del carico deragliamento su binario pari, seconda forza concentrata

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

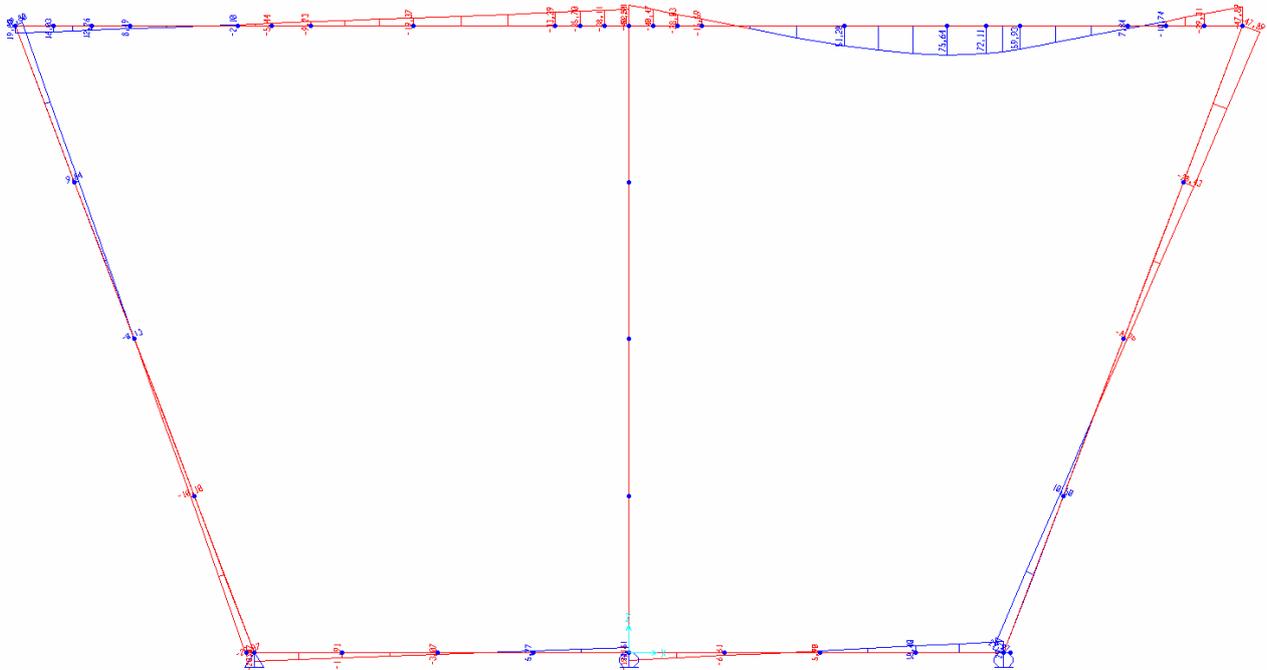


Figura 51: diagramma del momento flettente per il carico DER_2 (ambo le forze di deragliamento)

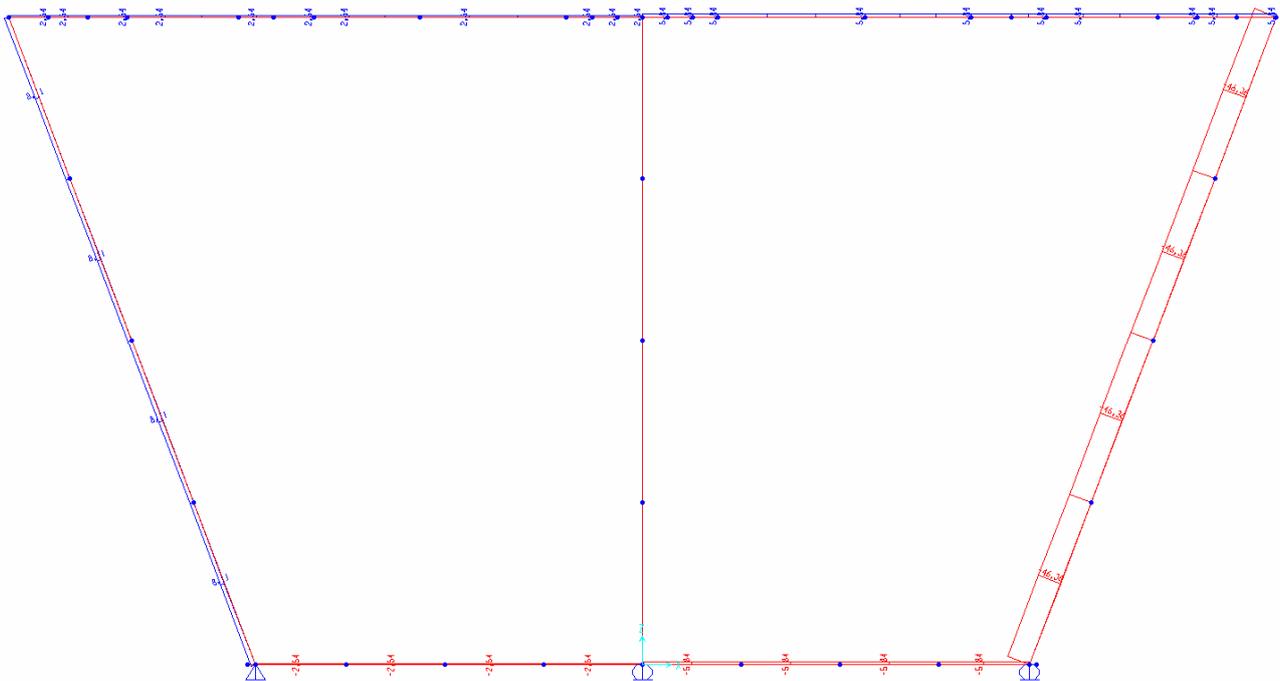


Figura 52: diagramma dello sforzo normale per il carico DER_2 (ambo le forze di deragliamento)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

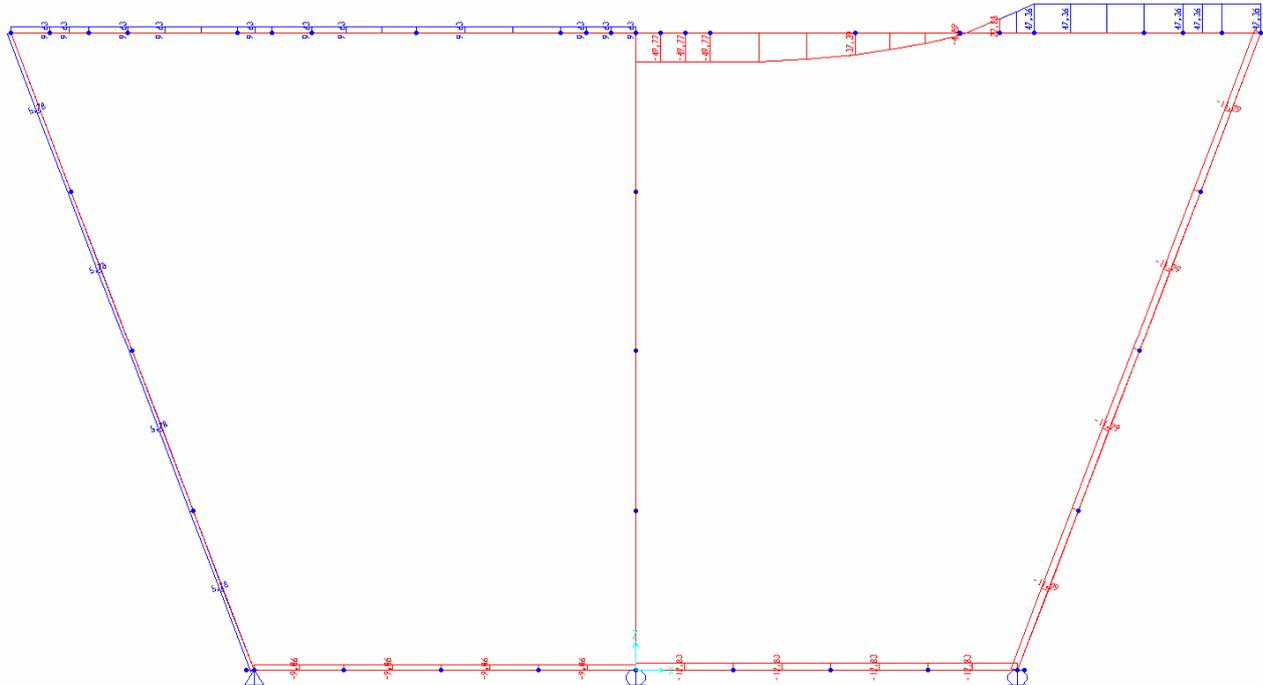


Figura 53: diagramma del taglio per il carico DER_2 (ambo le forze di deraggiamento)

7.2.2.4 Variazioni termiche

Si considera una differenza di temperatura di $\pm 5^\circ$ fra intradosso ed estradosso soletta applicata direttamente all'elemento frame nel modello agli elementi finiti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

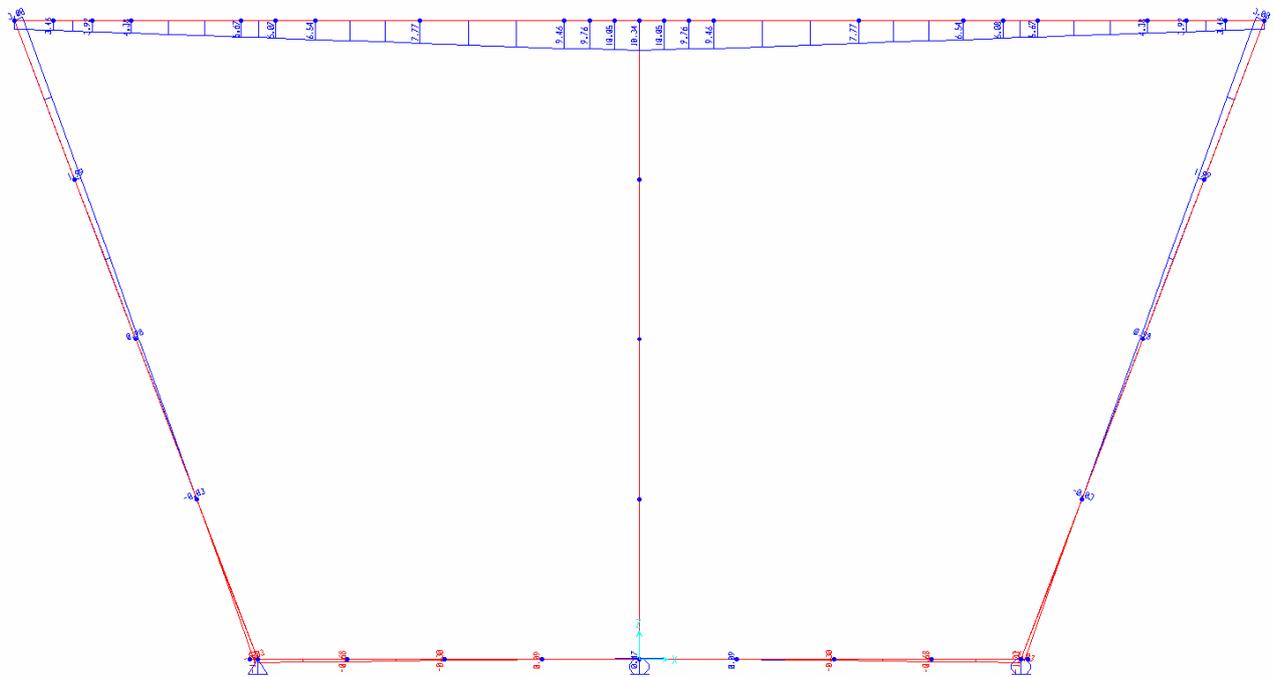


Figura 54: diagramma del momento flettente per il carico Temperatura

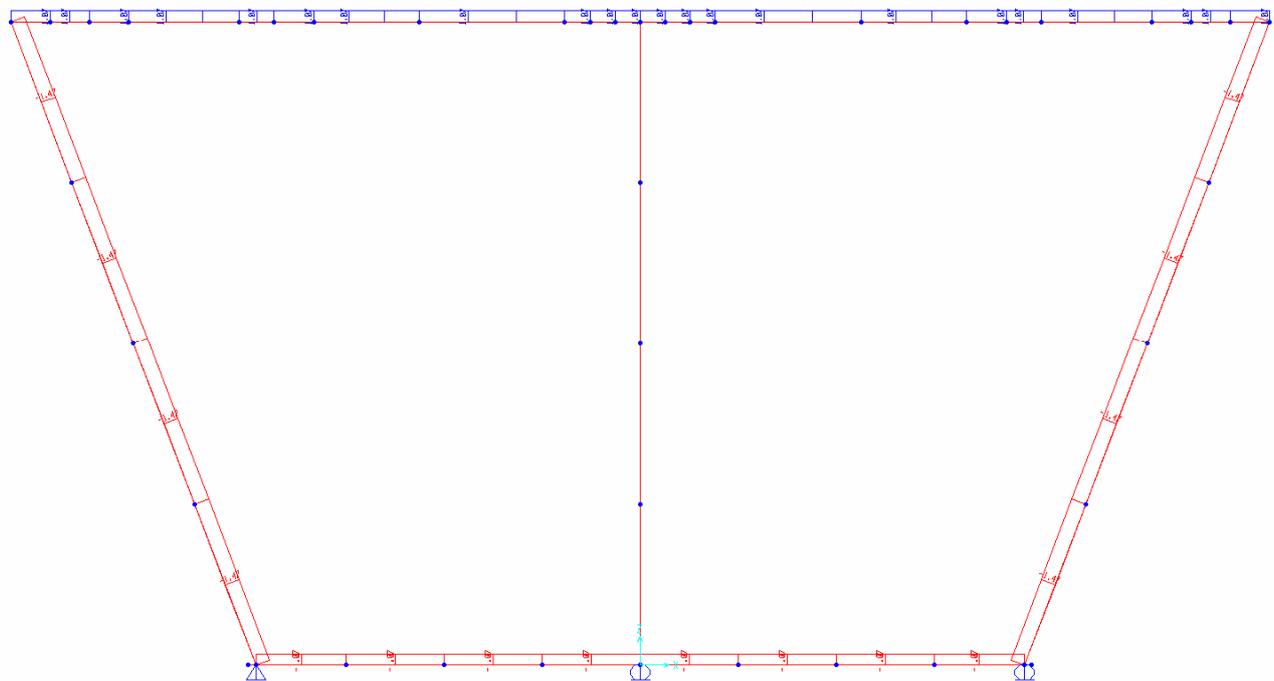


Figura 55: diagramma dello sforzo normale per il carico Temperatura

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

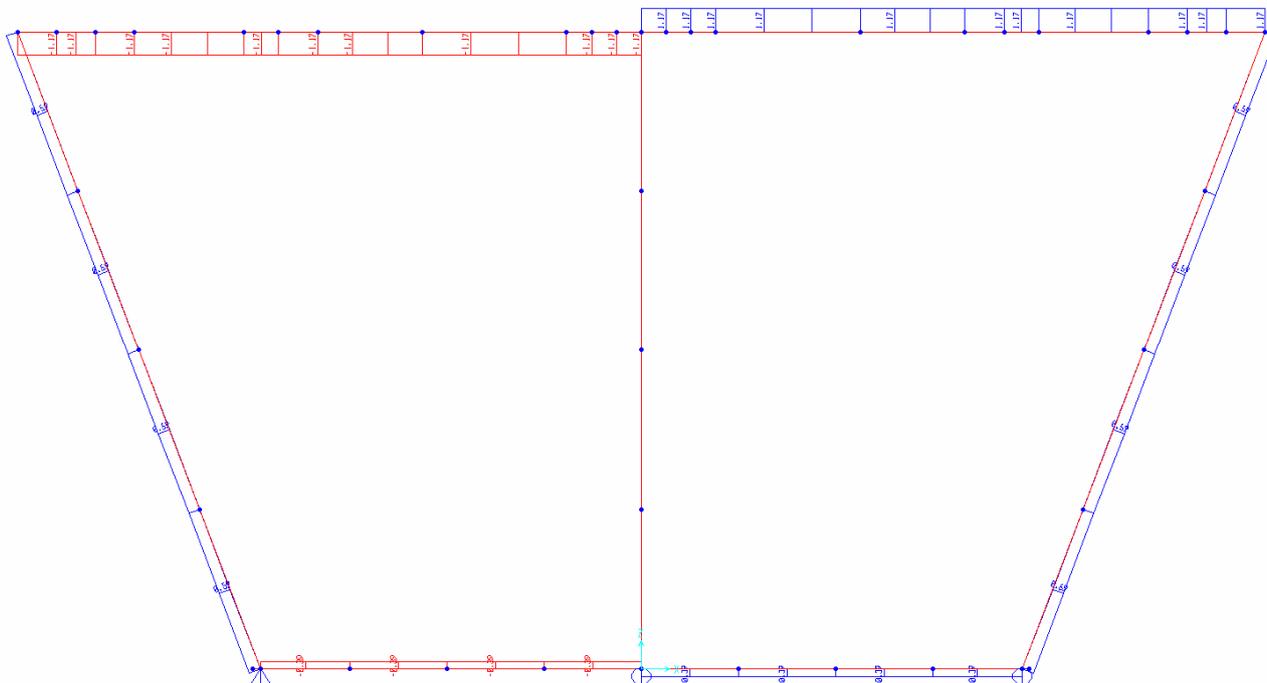


Figura 56: diagramma del taglio per il carico Temperatura

7.2.2.5 Vento

L'azione del vento è stata calcolata in base alle prescrizioni contenute nelle NTC 2008 ma è risultata minore del valore minimo imposto che per i ponti ferroviari è di $F_{wk} = 2.5 \text{ kN/m}^2$.

Quest'azione consiste in una pressione uniforme agente sull'impalcato. Per gli effetti sulla soletta si considera solo il caso di ponte carico.

Si considera una pressione uniforme su una superficie esposta di 4.0 m. dal piano ferro agente sul convoglio ferroviario.

Tale pressione genera una distribuzione delle forze a farfalla ed un carico orizzontale, valutati sul piano medio della soletta. Considerando una fascia di un metro si ha:

$$h_v = 4.0 \text{ m}$$

altezza investita

$$F_v = F_{wk} \cdot h_v = 2.5 \times 1.4 = 10 \text{ kN/m}$$

azione orizzontale

$$e_v = h_v / 2 = 2.0 \text{ m}$$

eccentricità verticale

$$M_v = F_v \cdot e_v = 10 \times 2 = 20 \text{ kNm/m}$$

azione flettente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Risulta quindi, un'azione trasversale pari a F_v ed un'azione verticale a risultante nulla dovuta a M_v .

Considerando la diffusione fino al piano medio soletta si ottiene:

$$Bt = 3.02 \text{ m}$$

$$f_v = 10/3.02 = 3.31 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta Q_v = \pm 6 \cdot M / Bt^2 = \pm 13.16 \text{ kN/m}^2$$

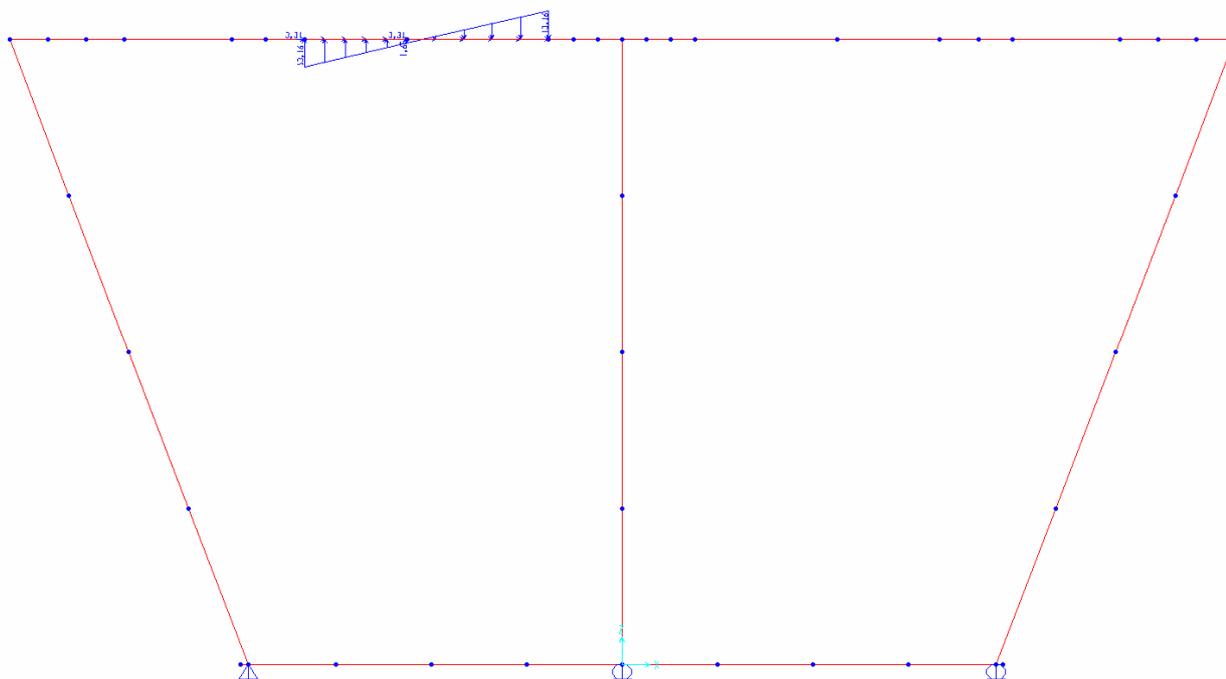


Figura 57: applicazione del carico vento su binario dispari (VENTO 1)

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

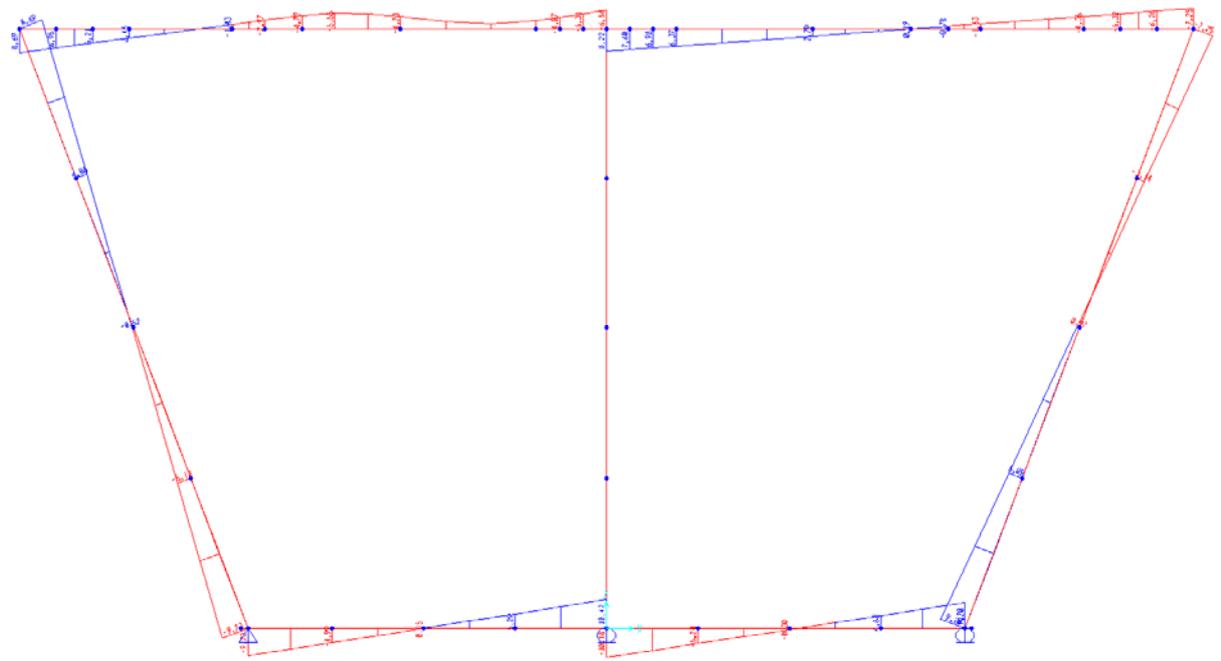


Figura 58: diagramma del momento flettente per il carico VENTO1

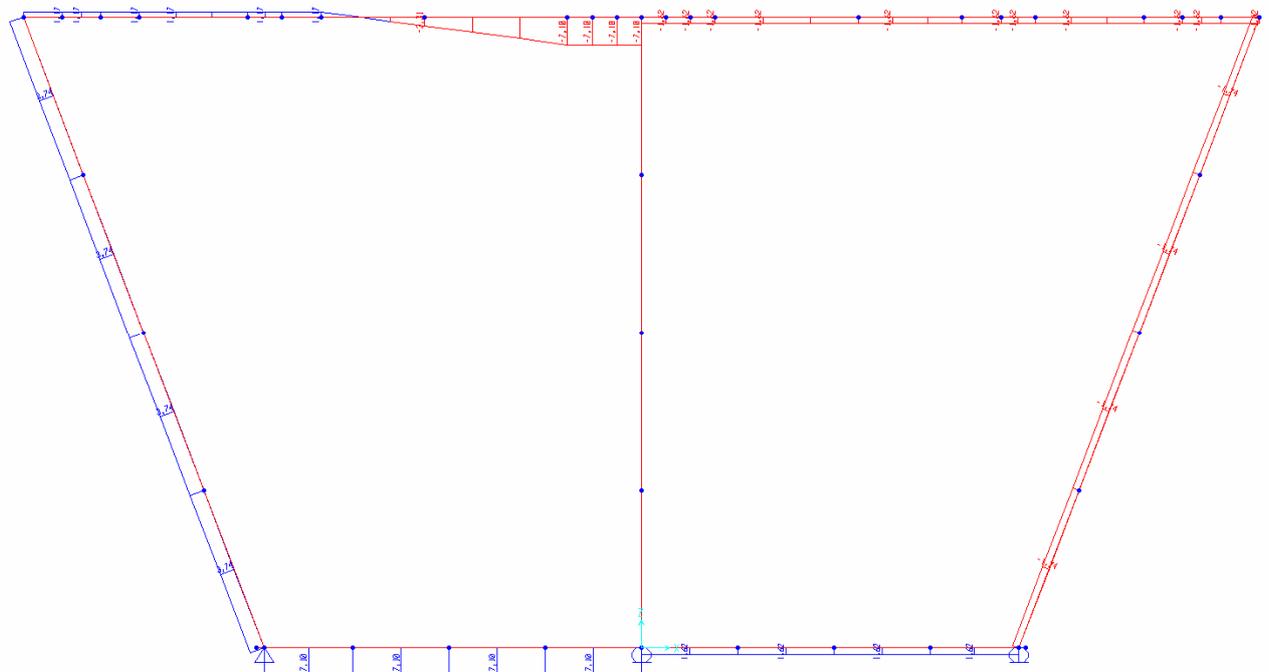


Figura 59: diagramma dello sforzo normale per il carico VENTO1

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

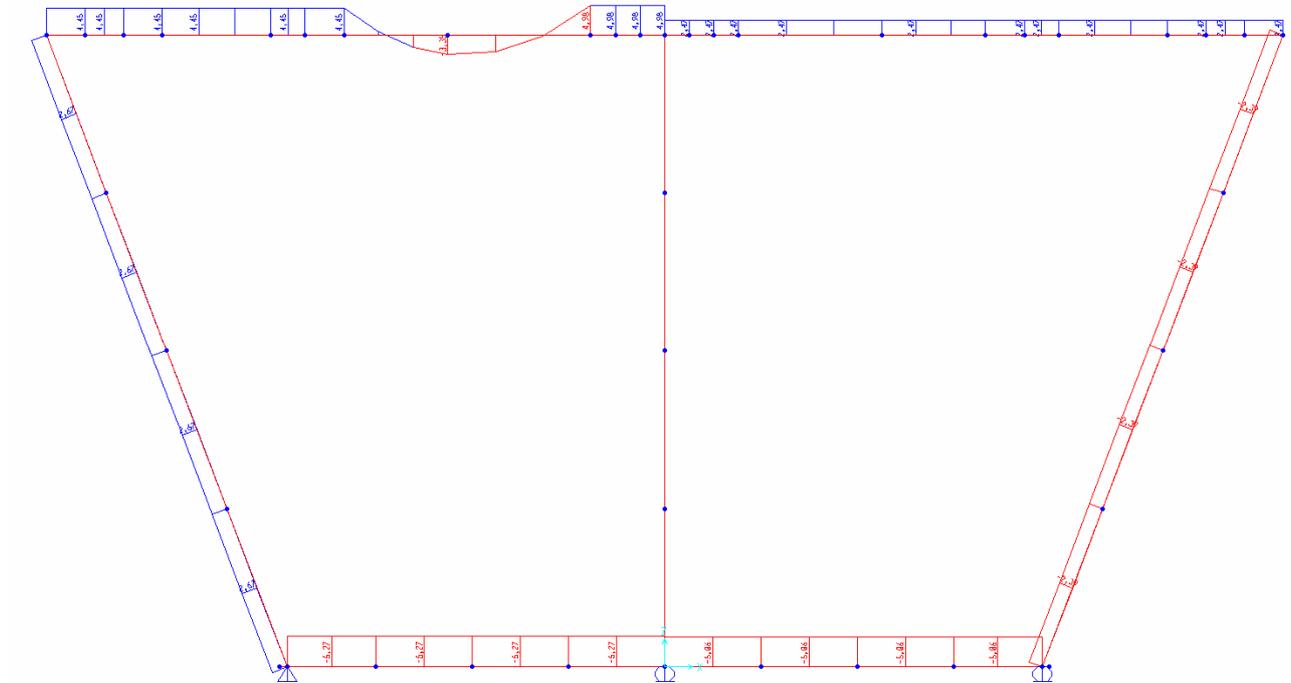


Figura 60: diagramma del taglio per il carico VENTO1

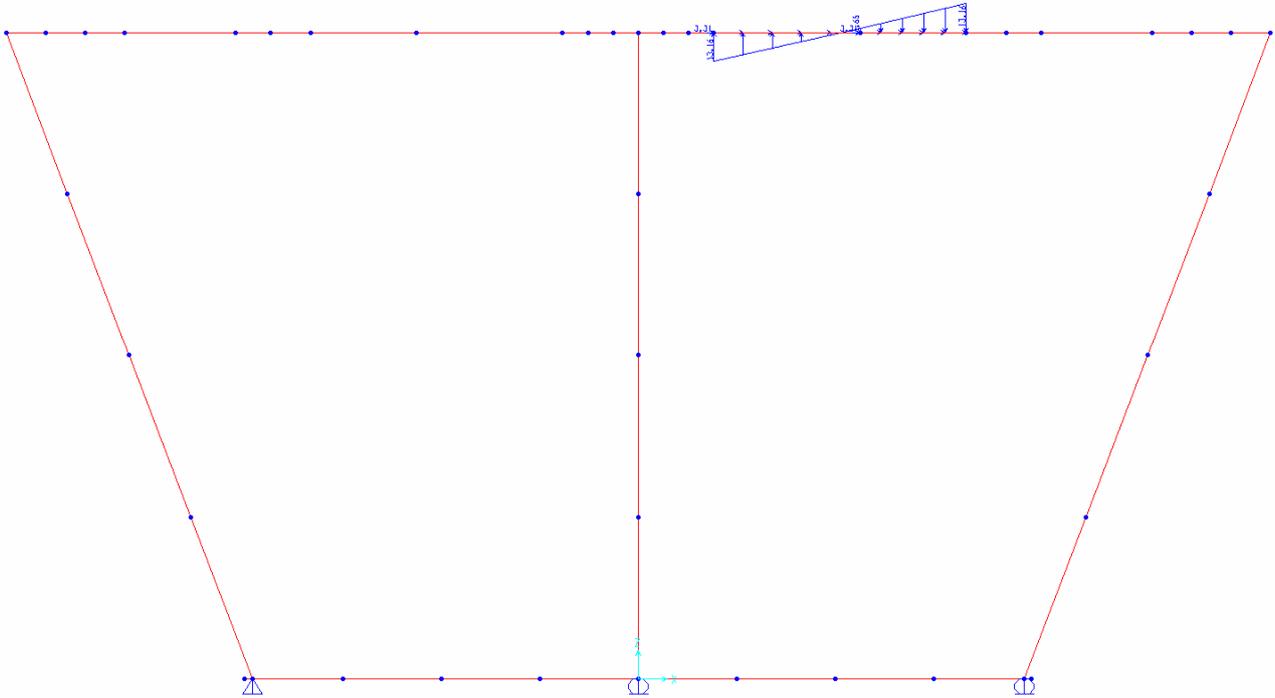


Figura 61: applicazione del carico vento su binario pari (VENTO 2)

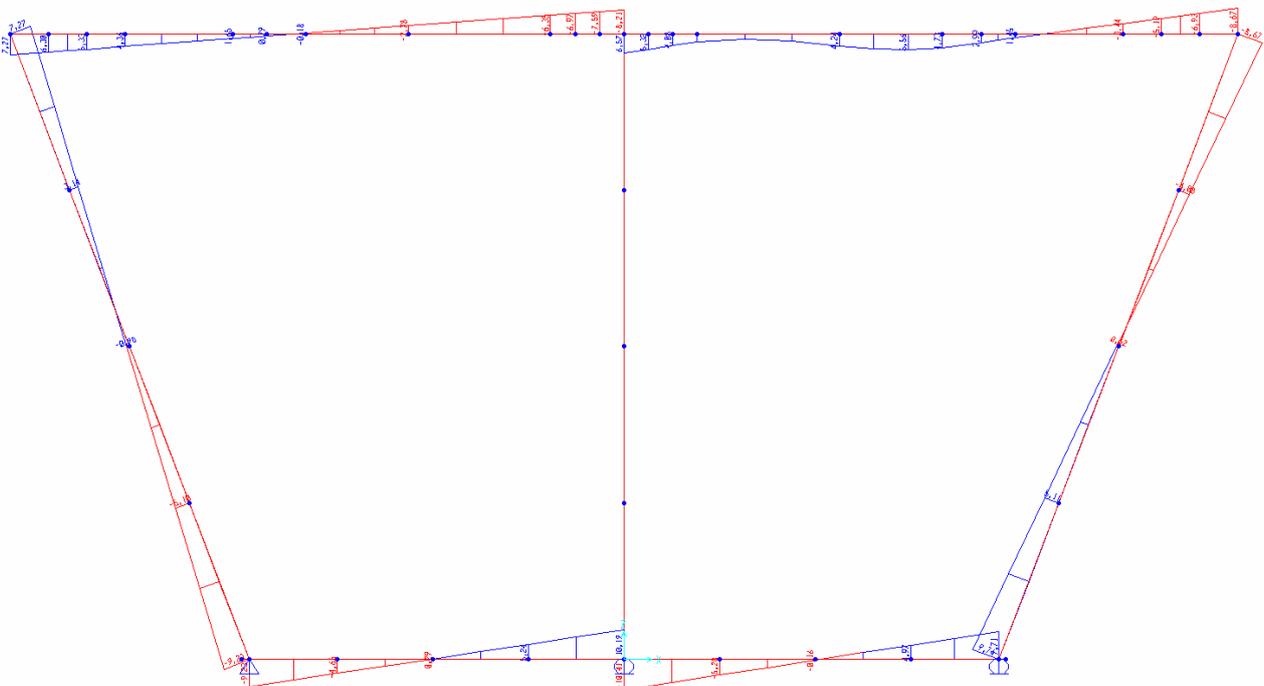


Figura 62: diagramma del momento flettente per il carico VENTO2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

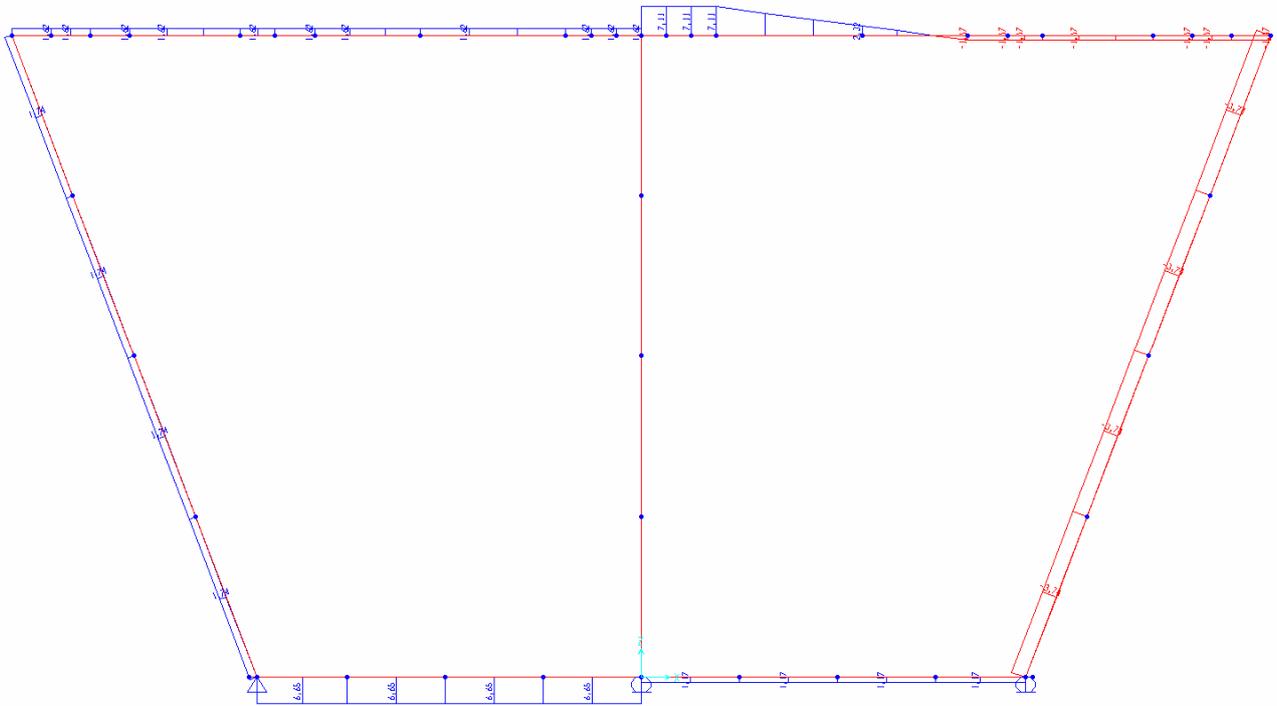


Figura 63: diagramma dello sforzo normale per il carico VENTO2

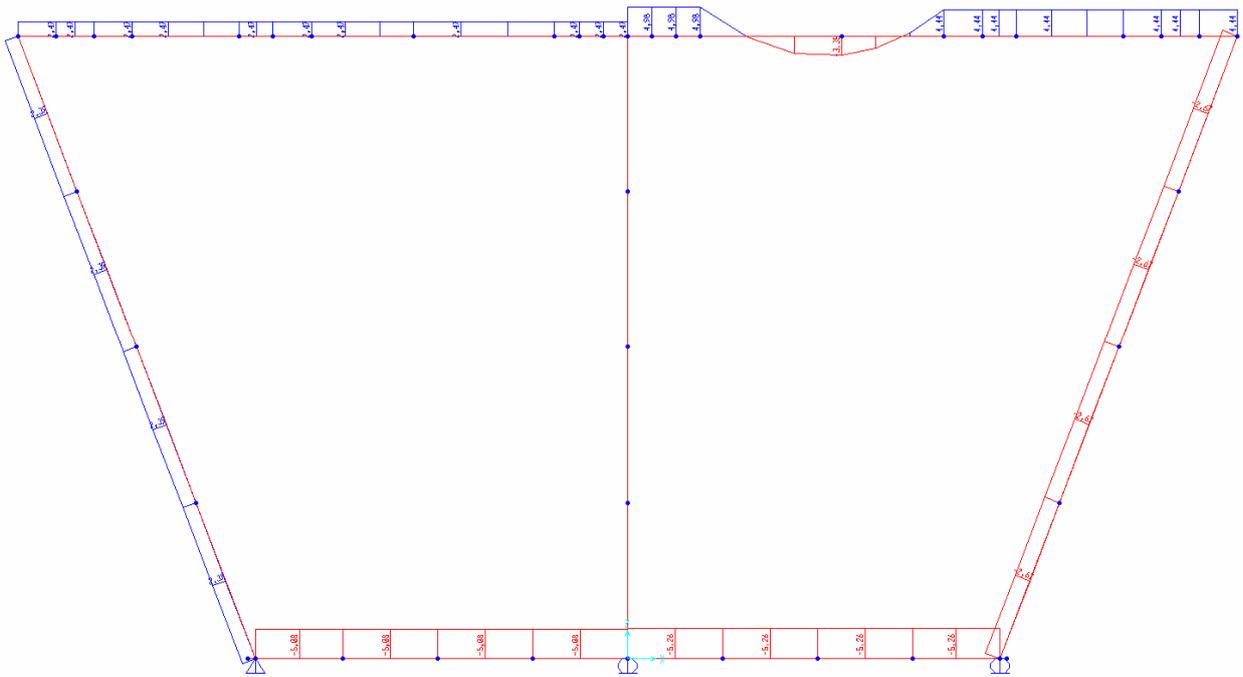


Figura 64: diagramma del taglio per il carico VENTO2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.3 Combinazione delle azioni

Le varie azioni sono state combinate fra loro in modo da massimizzare gli effetti sulle varie sezioni della soletta.

Si riportano di seguito i coefficienti parziali di sicurezza e i coefficienti di combinazione delle azioni per le varie combinazioni usate nelle verifiche:

$\gamma \times \psi$									
	Permanenti	Ballast	LM71;SW/2 (su 1 o 2 binari)	Serpeggio	Centrifuga	Vento	Termica	Deraggiamento	Rottura catenaria
SLU-1	1.35	1.5	1.45	1.45	1.45	0.6x1.50	0.6x1.50	0	0
SLU -2	1.35	1.5	1.45	1.45	1.45	-0.6x1.50	0.6x1.50	0	0
SLU -3	1.35	1.5	1.45	1.45	1.45	0.6x1.50	-0.6x1.50	0	0
SLU -4	1.35	1.5	1.45	1.45	1.45	-0.6x1.50	-0.6x1.50	0	0
SLU -5	1.35	1.5	1.45	1.45	1.45	0	-0.6x1.50	0	0
SLU -6	1.35	1.5	1.45	1.45	1.45	0	0.6x1.50	0	0
SLU-7	1.35	1.5	1.45	1.45	1.45	0.6x1.50	0	0	0
SLU-8	1.35	1.5	1.45	1.45	1.45	-0.6x1.50	0	0	0
SLU-9	1.35	1.5	1.45	1.45	1.45	0	0	0	0

Tabella 16: Coefficienti moltiplicativi per le combinazioni di carico allo S.L.U.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

$\gamma \times \psi$									
	Permanenti	Ballast	LM71;SW/2 (su 1 o 2 binari)	Serpeggio	Centrifuga	Vento	Termica	Deraggiamento	Rottura catenaria
SLE_F -1	1	1	0.8/0.6	0.8/0.6	0.8/0.6	0.6	0.6	0	0
SLE_F -2	1	1	0.8/0.6	0.8/0.6	0.8/0.6	-0.6	-0.6	0	0
SLE_F -3	1	1	0.8/0.6	0.8/0.6	0.8/0.6	0.6	-0.6	0	0
SLE_F -4	1	1	0.8/0.6	0.8/0.6	0.8/0.6	-0.6	0.6	0	0
SLE_F -5	1	1	0.8/0.6	0.8/0.6	0.8/0.6	0	0.6	0	0
SLE_F -6	1	1	0.8/0.6	0.8/0.6	0.8/0.6	0	-0.6	0	0
SLE_F -7	1	1	0.8/0.6	0.8/0.6	0.8/0.6	0.6	0	0	0
SLE_F -8	1	1	0.8/0.6	0.8/0.6	0.8/0.6	-0.6	0	0	0
SLE_F -9	1	1	0.8/0.6	0.8/0.6	0.8/0.6	0	0	0	0

Tabella 17: Coefficienti moltiplicativi per le combinazioni di carico allo S.L.E. (rara fessurazione)

$\gamma \times \psi$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

	Permanenti	Ballast	LM71;SW/2 (su 1 o 2 binari)	Serpeggio	Centrifuga	Vento	Termica	Deraggiamento	Rottura catenaria
SLE_R -1	1	1	1	1	1	0.6	0.6	0	0
SLE_R -2	1	1	1	1	1	-0.6	-0.6	0	0
SLE_F -3	1	1	1	1	1	0.6	-0.6	0	0
SLE_R -4	1	1	1	1	1	-0.6	0.6	0	0
SLE_R -5	1	1	1	1	1	0	0.6	0	0
SLE_R -6	1	1	1	1	1	0	-0.6	0	0
SLE_R -7	1	1	1	1	1	0.6	0	0	0
SLE_R -8	1	1	1	1	1	-0.6	0	0	0
SLE_R -9	1	1	1	1	1	0	0	0	0

Tabella 18: Coefficienti moltiplicativi per le combinazioni di carico allo S.L.E. (rara tensionale)

$\gamma \times \psi$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

	Permanenti	Ballast	LM71;SW/2 (su 1 o 2 binari)	Serpeggio	Centrifuga	Vento	Termica	Deragliament	Rottura catenaria
SLE_QP-1	1	1	0	0	0	0	0.5	0	0
SLE_QP -2	1	1	0	0	0	0	-0.5	0	0
SLE_QP -3	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 19: Coefficienti moltiplicativi per le combinazioni di carico allo S.L.E. (quasi-permanente)

$\gamma \times \psi$									
	Permanenti	Ballast	LM71;SW/2 (su 1 o 2 binari)	Serpeggio	Centrifuga	Vento	Termica	Deragliament	Rottura catenaria
ECC-1	1	1	0	0	0	0	0.5	1	0
ECC-2	1	1	0	0	0	0	-0.5	1	0
ECC-3	1	1	0	0	0	0	0	1	0
ECC-4	1	1	0	0	0	0	0.5	0	1
ECC-5	1	1	0	0	0	0	-0.5	0	1
ECC-6	1	1	0	0	0	0	0	0	1

Tabella 20: Coefficienti moltiplicativi per le combinazioni di carico eccezionale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

7.3.1 Verifiche di resistenza della soletta

Sono state verificate le sezioni maggiormente sollecitate dal momento positivo e dal momento negativo. Nello specifico sono risultate maggiormente sollecitate la sezione in corrispondenza della piattabanda superiore centrale e la sezione in campata posta a circa due metri dall'asse dell'anima centrale.

Si riportano di seguito le verifiche per lo S.L.U. e per gli S.L.E.

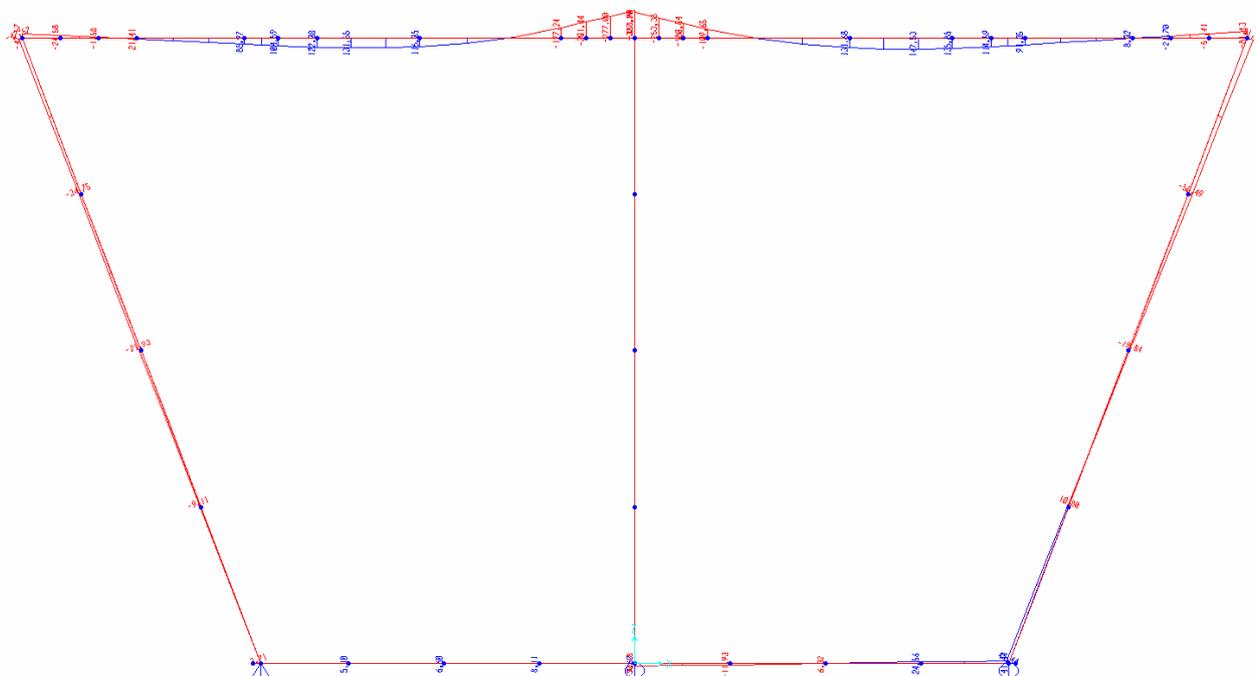


Figura 65: diagramma dei momenti flettenti per la combo SLU_2

7.3.1.1 Sezione M⁺

Si considera una sezione resistente con base 1.0 m. e alta 0.35 m in quanto si trascura il contributo della predalle. Inoltre si considerano le armature principali poste all'interno delle armature di ripartizione. La sezione è armata con Φ 24/20 inferiormente posti a 0.03 m dal bordo inferiore e con Φ 20/20 posti a 0.05 m. dall'estradosso soletta.

Le sollecitazioni agenti sono:

$$M^+_{SLU} = 194 \text{ kN m}$$

momento positivo di calcolo (SLU-2)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	Codice documento	Rev.	Data	
	PA0107_F0.doc	F0	20/06/2011	

$M^+_{SLE_QP} = 24 \text{ kN m}$ momento positivo di calcolo (SLE_R-2)
 $M^+_{SLE_fess} = 113 \text{ kN m}$ momento positivo di calcolo (SLE_QP-2)
 $M^+_{SLE_rara} = 134 \text{ kN m}$ momento positivo di calcolo (SLE-F-2)

Il taglio assume valori trascurabili.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C35/45
 Resis. compr. di calcolo f_{cd} : 198,33 daN/cm²
 Resis. compr. ridotta f_{cd}' : 99,17 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza $ec2$: 0,0020
 Def.unit. ultima ecu : 0,0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo elastico Normale E_c : 346250 daN/cm²
 Coeff. di Poisson : 0,20
 Resis. media a trazione f_{ctm} : 33,52 daN/cm²
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15,0
 Combinazioni Rare in Esercizio
 Sc Limite : 210,00 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : Non prevista
 Combinazioni Frequenti in Esercizio
 Sc Limite : 210,00 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : 0,300 mm
 Combinazioni Quasi Permanenti in Esercizio
 Sc Limite : 157,50 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : 0,200 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C
 Resist. caratt. snervam. f_{yk} : 4500,0 daN/cm²
 Resist. caratt. rottura f_{tk} : 4500,0 daN/cm²
 Resist. snerv. di calcolo f_{yd} : 3913,0 daN/cm²
 Resist. ultima di calcolo f_{td} : 3913,0 daN/cm²
 Deform. ultima di calcolo E_{pu} : 0,068
 Modulo elastico E_f : 2000000 daN/cm²
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito
 Coeff. Aderenza ist. $\beta_1*\beta_2$: 1,00 daN/cm²
 Coeff. Aderenza diff. $\beta_1*\beta_2$: 0,50 daN/cm²
 Comb.Rare Sf Limite : 3600,0 daN/cm²

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 100,0 cm
 Altezza: 35,0 cm
 Barre inferiori : 5Ø24 (22,6 cm²)
 Barre superiori : 5Ø20 (15,7 cm²)
 Copriferro barre inf.(dal baric. barre) : 3,0 cm
 Copriferro barre sup.(dal baric. barre) : 5,0 cm

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baric. della sezione
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
 Vy Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

N. Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0	19400	10	0

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N. Comb.	N	Mx
1	0	13400

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N. Comb.	N	Mx
1	0	11300

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N. Comb.	N	Mx
1	0	2400

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 1,8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 20,5 cm
Copriferro netto minimo staffe: 1,0 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x baricentrico
N ult	Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yneutro	Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,0 sez.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura misurato in presenza di sola flessione (travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue Area efficace barre inf. (per presenza di torsione)= 22,6 cm ² Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 15,7 cm ²

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

N.Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro	x/d	C.Rid.
1	S	0	19400	3	26268	1,354	29,8	0,16	0,70

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Yc max	ef min	Yf min	ef max	Yf max
1	0,00350	-0,00654	35,0	0,00015	30,0	-0,01792	3,0

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm ²])
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm ²])
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,0)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm ²]
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
Af eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess.)

N.Comb.	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw Eff.	Ac eff.	Af eff.	D barre
1	S	71,5	35,0	0,0	35,0	-2106	30,0	19,8	1980	22,6	3,5

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
ScImax	Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm ²]
ScI_min	Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm ²]
Sc Eff	Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm ²]
K3	Coeff. di normativa = 0,25 (Scmin + ScEff)/(2 Scmin)
Beta12	Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Eps	Deformazione unitaria media tra le fessure
Srm	Distanza media in mm tra le fessure
Ap.fess.	Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm

N.Comb.	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	S	51,9	-49,1	0,0	0,125	1,0	0,000562	188	0,180

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

N.Comb.	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw	Eff.	Ac eff.	Af eff.	Dbarre
1	S	60,3	35,0	0,0	35,0	-1776	30,0	19,8	1980	22,6	3,5	

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

N.Comb.	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	S	43,8	-41,4	0,0	0,125	0,5	0,000597	188	0,191

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N.Comb.	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw	Eff.	Ac eff.	Af eff.	Dbarre
1	S	12,8	35,0	0,0	35,0	-377	30,0	19,8	1980	22,6	23,5	

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

N.Comb.	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	S	9,3	-8,8	0,0	0,125	0,5	0,000075	188	0,024

7.3.1.2 Sezione M'

Si considera una sezione resistente con base 1.0 m. e alta 0.45 m. Inoltre si considerano le armature principali posti all'interno delle armature di ripartizione. La sezione è armata con Φ 24/10 inferiormente posti a 0.08 m dal bordo inferiore e con Φ 20/10 posti a 0.05 m. dall'estradosso soletta.

Le sollecitazioni agenti sono:

$M_{SLU}^- = -351$ kN m	momento positivo di calcolo (SLU-2)
$M_{SLE_QP}^- = -63.5$ kN m	momento positivo di calcolo (SLE_R-2)
$M_{SLE_fess}^- = -174.2$ kN m	momento positivo di calcolo (SLE_QP-2)
$M_{SLE_rara}^- = -242.2$ kN m	momento positivo di calcolo (SLE-F-2)
$V = 310$ kN	taglio di calcolo (SLU-2)

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C35/45

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Resis. compr. di calcolo fcd : 198,33 daN/cm²
Resis. compr. ridotta fcd' : 99,17 daN/cm²
Def.unit. max resistenza ec2 : 0,0020
Def.unit. ultima ecu : 0,0035
Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec : 346250 daN/cm²
Coeff. di Poisson : 0,20
Resis. media a trazione fctm : 33,52 daN/cm²
Coeff. Omogen. S.L.E. : 15,0
Combinazioni Rare in Esercizio
Sc Limite : 210,00 daN/cm²
Apert.Fess.Limite : Non prevista
Combinazioni Frequenti in Esercizio
Sc Limite : 210,00 daN/cm²
Apert.Fess.Limite : 0,300 mm
Combinazioni Quasi Permanenti in Esercizio
Sc Limite : 157,50 daN/cm²
Apert.Fess.Limite : 0,200 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C
Resist. caratt. snervam. fyk : 4500,0 daN/cm²
Resist. caratt. rottura ftk : 4500,0 daN/cm²
Resist. snerv. di calcolo fyd : 3913,0 daN/cm²
Resist. ultima di calcolo ftd : 3913,0 daN/cm²
Deform. ultima di calcolo Epu : 0,068
Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm²
Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito
Coeff. Aderenza ist. $\beta_1 \cdot \beta_2$: 1,00 daN/cm²
Coeff. Aderenza diff. $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0,50 daN/cm²
Comb.Rare Sf Limite : 3600,0 daN/cm²

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 100,0 cm
Altezza: 45,0 cm
Barre inferiori : 10Ø24 (45,2 cm²)
Barre superiori : 10Ø20 (31,4 cm²)
Copriferro barre inf.(dal baric. barre) : 7,0 cm
Copriferro barre sup.(dal baric. barre) : 5,0 cm

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione

N. Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0	-35100	10	0

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N. Comb.	N	Mx
----------	---	----

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1 0 -24220

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N.Comb.	N	Mx
-----	-----	-----
1	0	-17420

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N.Comb.	N	Mx
-----	-----	-----
1	0	-6350

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4,0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7,2 cm
Copriferro netto minimo staffe: 3,2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x baricentrico
N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult) e (N,Mx)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
Yneutro Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità a rottura misurato in presenza di sola flessione (travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue
 Area efficace barre inf. (per presenza di torsione)= 45,2 cm²
 Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 31,4 cm²

N.Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro	x/d	C.Rid.
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1	S	0	-35100	0	-45191	1,287	7,2	0,18	0,70

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Yc max	ef min	Yf min	ef max	Yf max
1	0,00350	-0,00591	0,0	0,00009	7,0	-0,01601	40,0

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm²)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm²)
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm²)
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
Af eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess.)

N.Comb.	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw Eff.	Ac eff.	Af eff.	Dbarre
1	S	71,8	0,0	0,0	0,0	-2217	7,0	19,0	1900	31,4	10,0

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
ScImax Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm²)
ScI_min Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm²)
Sc Eff Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm²)
K3 Coeff. di normativa = 0,25 (Scmin + ScEff)/(2 Scmin)
Beta12 Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Eps Deformazione unitaria media tra le fessure
Srm Distanza media in mm tra le fessure
Ap.fess. Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm

N.Comb.	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	S	50,2	-52,0	-8,9	0,146	1,0	0,000649	171	0,188

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N.Comb.	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw Eff.	Ac eff.	Af eff.	Dbarre
1	S	51,8	0,0	0,0	0,0	-1594	7,0	19,0	1900	31,4	10,0

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

N.Comb.	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	S	36,1	-37,4	-6,4	0,146	0,5	0,000478	171	0,139

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

N.Comb.	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw Eff.	Ac eff.	Af eff.	Dbarre
1	S	18,9	0,0	0,0	0,0	-581	7,0	19,0	1900	31,4	10,0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

N.Comb.	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm	Ap.Fess.
1	S	13,2	-13,6	-2,3	0,146	0,5	0,000116	171	0,034

7.3.1.2.1 Verifica a taglio

Si considera a favore di sicurezza una sezione di base 1.0 m. alta 0.25 m, in cui è presente un'armatura a taglio costituita dalle staffe diagonali che compongono i tralicci. Si hanno quindi staffe Φ 10 a 6 braccia essendo presenti 3 tralicci al metro.

Dati di progetto:

T = 310.0	KN	azione di calcolo
------------------	----	-------------------

sezione e materiali:	$R_{ck} = 45.0$	N/mm ²	resistenza caratteristica cubica
	B 450	C	tipologia barre d'acciaio
	B = 100.0	cm	base sezione rettangolare
	H = 25.0	cm	altezza sezione rettangolare
	c = 6.0	cm	copriferro
staffe:	$\alpha = 45.0$	°	inclinazione staffe
	$\phi_{st} = 10.0$	mm	diametro staffe
	$n_b = 6$		numero di bracci
	$A_{sw} = 471.2$	mm ²	area armatura trasversale
	s = 10	cm	passo armatura trasversale

armatura a taglio rialzata (inserire S per si o N per no)

armatura long. a trazione:

	ϕ	n
I° strato	16	5
II° strato	0	0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Verifica a taglio sezione con armatura resistente a taglio

Verifica biella di conglomerato compressa:

$f_{cd} =$	21.2	N/mm ²	
$b_w =$	100.0	cm	larghezza sezione resistente a taglio
$H =$	25.0	cm	altezza sezione
$d = H - c =$	19.0	cm	altezza utile della sezione
$z =$	17.1	cm	braccio della coppia interna
$\alpha_{cw} =$	1.0		
$\alpha =$	0.785	rad	inclinazione armatura trasversale
$\theta =$	0.785	rad	inclinazione biella compressa
$\cot\theta + \tan\theta =$	2.0		
$1 + \cot\alpha =$	2.0		$\cot\alpha = 0$ per staffe verticali o combinate
$v = 0.6 \cdot (1 - f_{ck}/200) =$	0.51		
$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot b_w (\cot\alpha + \cot\theta) / (1 + \cot^2\theta) =$	1809.6	KN	

Verifica armatura trasversale d'anima:

$f_{ctd} =$	1.6	N/mm ²	
$f_{ywd} =$	391.3	N/mm ²	
$b_w =$	100.0	cm	larghezza sezione resistente a taglio
$d =$	19.0	cm	altezza utile della sezione
$A_{sw} =$	471.2	mm ²	area armatura trasversale
$s =$	10.0	cm	passo armatura trasversale
$\alpha =$	0.785	rad	inclinazione armatura trasversale
$\delta =$	1.0		coefficiente per la presenza di sforzo normale
$V_{Rsd} = (0.9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} / s) \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \sin\alpha =$	630.6	KN	

Verifica complessiva:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}; V_{Rsd}) = \mathbf{630.6} \quad \text{kN} \quad \mathbf{c.s. = 2.03} \quad > \mathbf{1} \text{ verifica soddisfatta}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

8 Verifiche a fatica

Le verifiche a fatica a vita illimitata sono state condotte, in accordo con le normative precedentemente citate, controllando che i massimi delta di tensione $\Delta\sigma=(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})$ siano inferiori a quelli ammessi per il dettaglio.

La classe che identifica il dettaglio indica, per le verifiche a fatica a vita illimitata, il massimo delta di tensioni ammesso per il dettaglio stesso.

Nello specifico si considera, per entrambi i casi e per tutti i dettagli considerati, un criterio per la valutazione della resistenza fatica di tipo "Vita utile" e si assume che la conseguenza per la rottura a fatica sia significativa:

$$\gamma_{Mf} = 1.35$$

Per ciascun dettaglio la normativa (Istr. 44f RFI DTC-ICI-PO SP INF 003 A) fornisce i valori del delta tensione massimo $\Delta\sigma_c$, tale valore viene confrontato con quello agente $\Delta\sigma_{\max}$ e deve risultare soddisfatta la disequaglianza:

$$\Delta\sigma_{\max,d} = \gamma_{Mf} \cdot \Delta\sigma_{\max} \leq \Delta\sigma_d$$

Dove:

$$\Delta\sigma_d = 0.737 \cdot \Delta\sigma_c$$

E' necessario, quindi, identificare i dettagli da verificare per poter determinare il massimo delta sigma agente con quello ammesso per il dettaglio stesso.

Per il cassone ferroviario si esegue la verifica a fatica delle aste reticolari costituenti i diagonali, la verifica delle saldature fra i conci d'impalcato all'estremo inferiore, e la verifica della piattabanda inferiore in corrispondenza dei trasversi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

8.1 Identificazione e classificazione dei dettagli

8.1.1 Aste reticolari

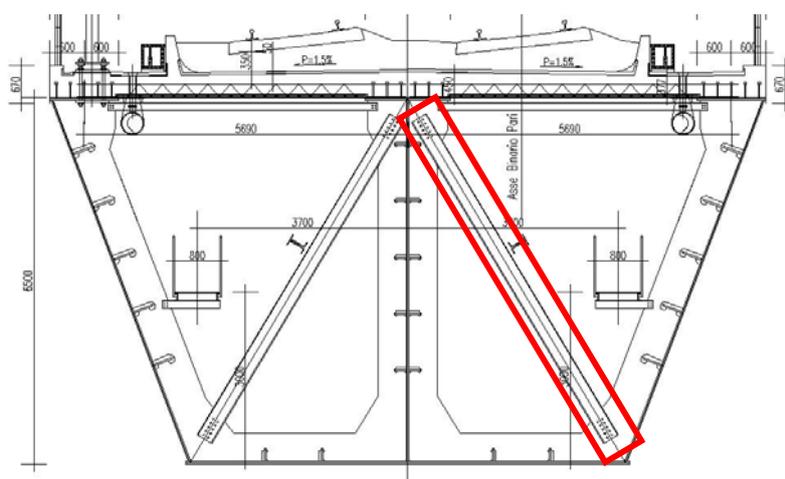


Figura 66: identificazione dei dettagli

Il dettaglio in questione è stato classificato in base alle già citate Istruzioni (Istr. 44 f):

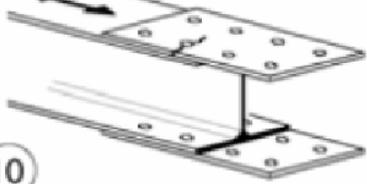
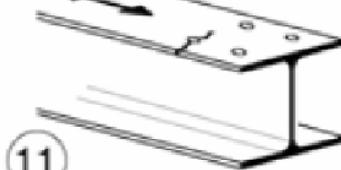
90	 <p style="text-align: center;">9</p>	9) Giunti bullonati con coprigiunti doppi e bulloni calibrati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta
	 <p style="text-align: center;">10</p>	10) Giunti bullonati con coprigiunti singoli e bulloni AR precaricati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione lorda
	 <p style="text-align: center;">11</p>	11) Elementi strutturali forati soggetti a forza normale e momento flettente	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta

Figura 67: classificazione del dettaglio (estratto Istr. 44 f)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

8.1.2 Saldatura fra i vari conci (piattabanda inferiore)

Si verificano per i carichi da fatica le saldature fra i vari conci dell'impalcato. Nello specifico si analizza la piattabanda inferiore che, risultando tesa, genera tensioni normali di trazione sulla saldatura fra i conci.

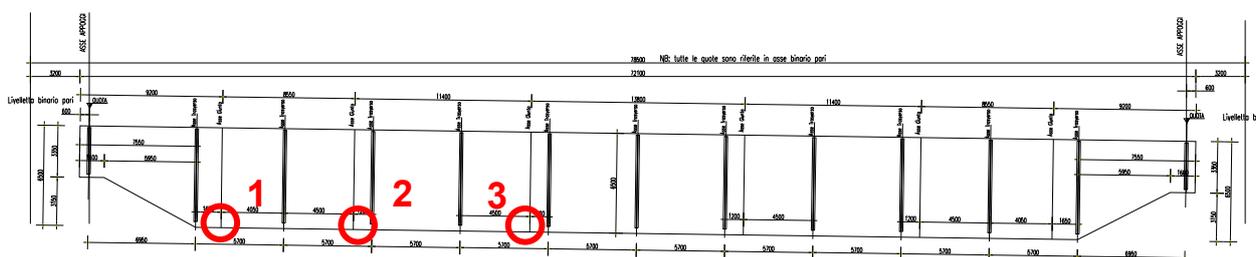


Figura 68: identificazione dei dettagli

Il dettaglio in questione è stato classificato in base alle già citate Istruzioni (Istr. 44 f):

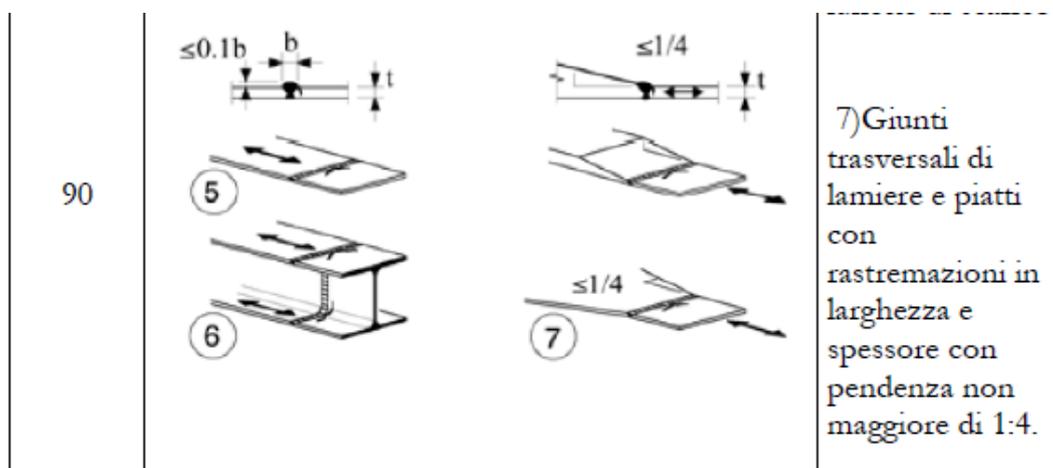


Figura 69: classificazione del dettaglio (estratto Istr. 44 f)

8.1.3 Attacchi in corrispondenza dei trasversi (piattabanda inferiore)

Si verificano per i carichi da fatica le saldature in corrispondenza dei piatti di sostegno ai diagonali che costituiscono il trasverso. Nello specifico si analizza la piattabanda inferiore che, risultando

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

tesa, genera tensioni normali di trazione sulla saldatura.

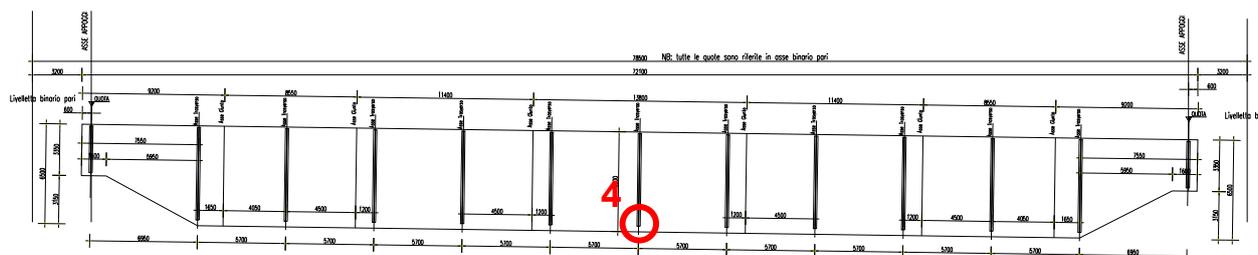


Figura 70: identificazione dei dettagli

La zona più sollecitata risulta essere quella in corrispondenza della mezzeria di ciascuna campata. Il dettaglio in questione è stato classificato in base alle già citate Istruzioni (Istr. 44 f):

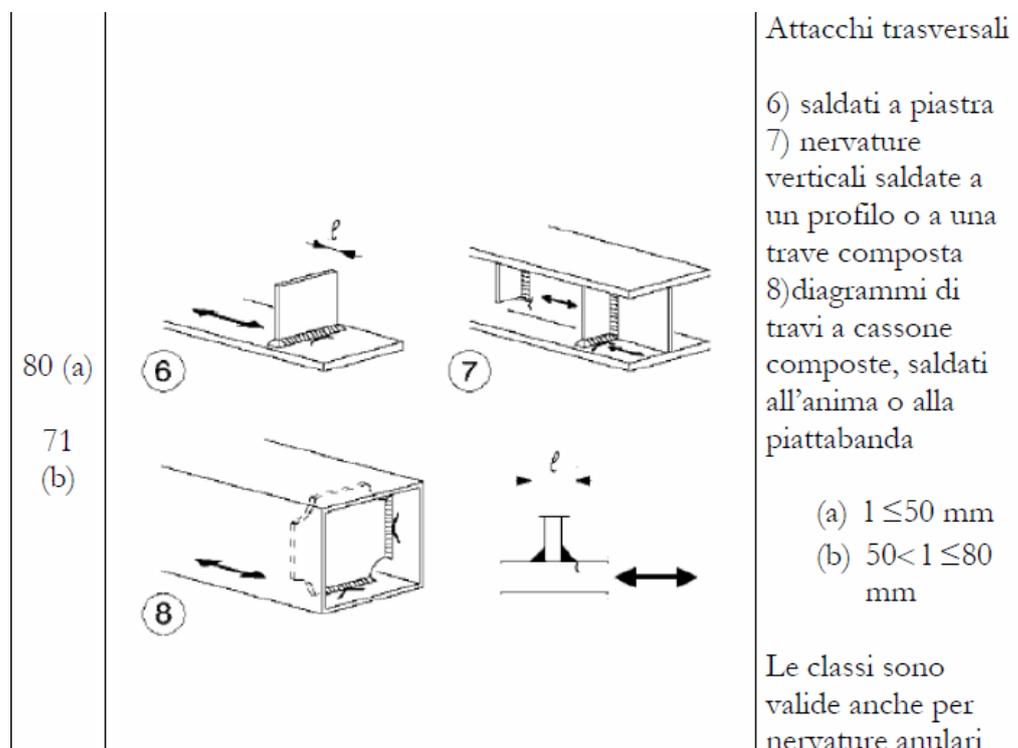


Figura 71: classificazione del dettaglio (estratto Istr. 44 f)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

8.2 Carichi da fatica

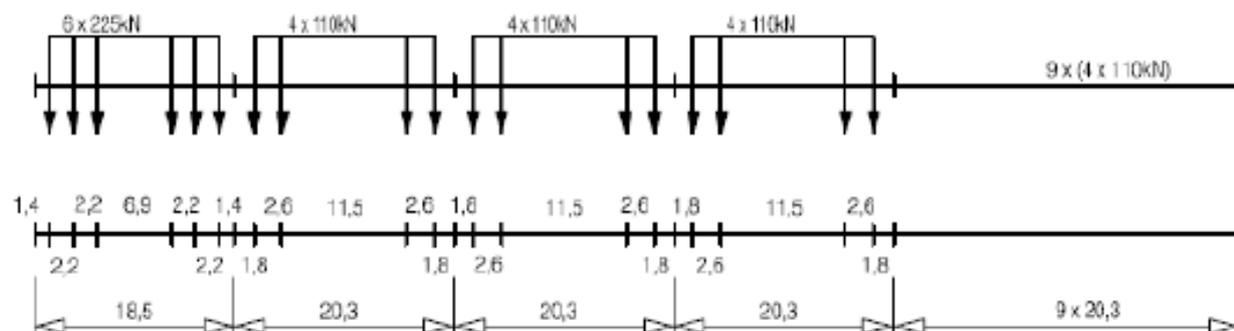
Per la verifiche a fatica sono definiti nell'istruzione ferroviaria dedicata (RFI Istr. 44F) nell'Allegato 1. Sono definiti 12 treni reali da utilizzare per la determinazioni delle delta tensioni sui dettagli. Essendo il ponte in esame a doppio binario si tiene conto, come in seguito specificato, della probabilità di incrocio dei treni sul ponte dato che l'escursione di sollecitazione sull'asta reticolare dipende dal numero di binari carichi considerati.

8.2.1 Carichi accidentali

I treni reali definiti dalla normativa sono composti da una serie di forze concentrate poste a distanza variabile fra di loro, per ogni treno è definita una velocità massima ammissibile. La figura riporta un esempio di carico per la verifica a fatica.

Tipo 1 – Treno passeggeri trainato da locomotore

$$\Sigma Q = 6630 \text{ kN} \quad V = 200 \text{ km/h} \quad L = 262.10 \text{ m} \quad q = 25.3 \text{ kN/m}$$



8.2.2 Verifica a fatica del diagonale

Il treno preso in considerazione per le analisi a fatica per l'impalcato ferroviario è il treno reale 1. Si riporta la variazione tensionale presente nelle aste diagonali costituenti il trasverso, considerando la schematizzazione che prevede la presenza di un solo binario caricato per massimizzare gli effetti torcenti nella sezione. Le aste sono composte da 2 UPN 300 accoppiati distanziati attraverso imbottiture di 20 mm.

Nel calcolo si considerano tre assi da 225 kN ed una eccentricità totale rispetto all'asse dell'impalcato pari a quella del binario sommata ad una eccentricità accidentale dovuta ai carichi variabili e ad una eccentricità dovuta al sovrizzo "u".

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

$$e_{tot} = 2.02 + s/8 + u = 2.02 + 8 + 16.5 = 2.265 \text{ m}$$

eccentricità totale dei carichi

Il momento torcente caratteristico amplificato del ϕ_{REALE} risulta pertanto essere pari a $M_t = 2.511 \times 3 \times 225 \times 2.265 / 5.7 = 673.5 \text{ kNm/m}$.

Sollecitazioni sulle aste del trasverso

p	5,700	m	interasse massimo diaframmi
h	6,450	m	
b/2	3,825	m	
$L = \sqrt{h^2 + (b/2)^2}$	7,499	m	lunghezza diagonali

II Fase

$M_{t,perm}$	0,00	KNm/m	momento torcente permanenti portati (valore caratteristico)
$M_{t,mob1}$	673,50	KNm/m	momento torcente mobili 1 (valore caratteristico)
$M_{t,v}$	0,00	KNm/m	momento torcente vento (valore caratteristico)

ϕ 1,00 coefficiente di amplificazione dinamica

$M_{t,2max} = \gamma_{perm} M_{t,perm} + \gamma_{mob} \phi M_{t,mob1} + \gamma_v M_{t,v}$ 976,58 KNm/m momento torcente massimo (SLU)

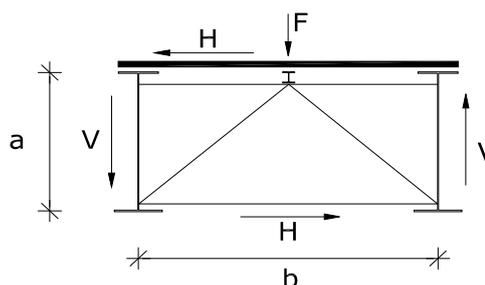
a 6,500 m

$H_{2,max} = M_{t,2max} p / 2a$ 428,19 KN

$H_{max} = H_1 + H_{2,max}$ 428,19 KN

N_{d1binf} 428,19 KN

$N_{d1diag.} = H/2 (L/(b/2))$ 419,73 KN



sforzo normale sulla briglia inferiore

sforzo normale sulle diagonali

Caratteristiche del diagonale:

$$A = 11760 \text{ mm}^2$$

area sezione composta

$$A_{foro} = 572.6 \text{ mm}^2$$

area singolo foro

$$N_f = 2$$

file di bulloni

$$A_{rid} = A - 2 \times (N_f \cdot A_{foro}) = 11760 - 572.6 \times 2 \times 2 = 9469.6 \text{ mm}^2$$

area ridotta dai fori

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Il delta tensione di calcolo risulta:

$$\Delta\sigma_{\max} = N_{d1diag}/A_{rid} = 419730/9469.6 = 44.32 \text{ MPA}$$

delta tensione sul dettaglio

Il delta tensione massimo ammesso risulta essere:

$$\Delta\sigma_d = 0.737 \cdot \Delta\sigma_c = 0.737 \times 90 = 66.33 \text{ MPa}$$

delta tensione massima

$$\Delta\sigma_{\max,d} = 1.35 \cdot 44.32 = 59.83 \leq 66.3$$

VERIFICATO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

8.3 Determinazione delle sollecitazioni sulle saldature fra i conci e in corrispondenza dei trasversi

Si applicano al modello descritto nel capitolo dedicato agli effetti globali, i treni reali di cui si è parlato nei precedenti paragrafi tenendo in conto del coefficiente dinamico reale per ciascun treno di cui è stato riportato il calcolo nel presente capitolo.

Il treno reale che ha fornito le sollecitazioni maggiori è il treno reale 5.

Si applica il carico uniformemente distribuito equivalente riportato nella normativa ferroviaria (RFI Istr. 44 f) per il treno in questione.

Tipo 5 – Treno merci trainato da locomotore

$\Sigma Q = 21600 \text{ kN}$ $V = 80 \text{ km/h}$ $L = 270.30 \text{ m}$ $q = 80.0 \text{ kN/m}$

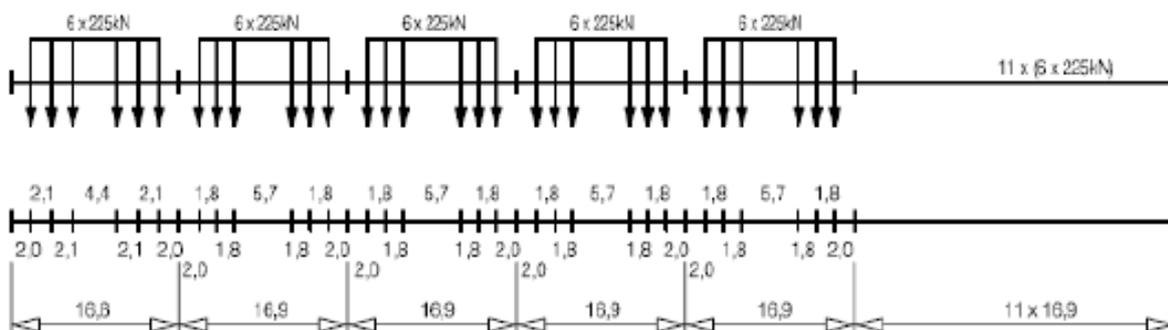


Figura 72: Treno reale 5

Il delta-tensione sui vari dettagli è calcolata in base al momento agente e considerando il modulo di resistenza flessionale elastico minore ($W_{x,el,MIN}$) fra i due conci adiacenti.

Il massimo delta-tensione ammesso per i dettagli in corrispondenza delle saldature tra i conci vale:

$$\Delta\sigma_d = 0.737 \cdot \Delta\sigma_c = 0.737 \times 112 = 82.55 \text{ MPa} \quad \text{delta tensione massima}$$

Il massimo delta-tensione ammesso per i dettagli in corrispondenza dei trasversi vale:

$$\Delta\sigma_d = 0.737 \cdot \Delta\sigma_c = 0.737 \times 80 = 58.96 \text{ MPa} \quad \text{delta tensione massima}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Si riportano di seguito i delta-tensione trovati per i vari dettagli:

		1	2	3	4
M_x (un binario)	kN m	21384,06	36831,95	48334,88	50244,95
M_x (due binari)	kN m	42768,12	73663,9	96669,76	100489,9
$W_{x,min}$	m ³	1,85	1,77	1,87	2,12
$\Delta\sigma_1$	[MPa]	11,59	20,76	25,82	23,75
$\Delta\sigma_{1-2}$	[MPa]	23,17	41,53	51,64	47,49
λ_4	-	0,80	0,80	0,80	0,80
$\Delta\sigma_{max} = 0,8 \cdot \Delta\sigma_{1-2}$	[MPa]	18,61	33,34	41,46	38,13
$\Delta\sigma = 1,35 \cdot \Delta\sigma_{max}$	[MPa]	25,12	45,01	55,97	51,48
		VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO

Tabella 21: valori del massimo delta-tensione ($\Delta\sigma$) sui dettagli

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

9 Escursione dei giunti

Nel presente capitolo si riportano i calcoli per la determinazione dell'escursione dei giunti e il calcolo della minima ampiezza dei varchi fra le travate in ottemperanza alla normativa ferroviaria (RFI Istr 44 B).

Per i ponti costituiti da una serie di travi appoggiate si può valutare l'entità dell'escursione totale dei giunti e degli apparecchi d'appoggio e determinare la minima ampiezza del varco in corrispondenza delle pile, considerando la seguente espressione:

$$E_L = k_1 \cdot (E_1 + E_2 + E_3) = k_1 \cdot (2 \cdot D_t + 4 \cdot d_{Ed} \cdot k_2 + 2 \cdot d_{eg})$$

ove:

E_L = escursione in direzione longitudinale;

E_1 = spostamento dovuto alla termica uniforme;

E_2 = spostamento dovuto alla risposta della struttura all'azione sismica;

E_3 = spostamento dovuto all'azione sismica fra le fondazioni di strutture non collegate;

k_1 = 0.45 coefficiente che tiene conto della non contemporaneità dei valori massimi corrispondenti a ciascun evento singolo;

k_2 = 0.55 coefficiente legato alla probabilità di moto controfase;

d_{Ed} = è lo spostamento relativo totale tra le parti, pari allo spostamento d_E prodotto dall'azione sismica di progetto, calcolato come specificato in seguito;

d_{eg} = è lo spostamento relativo totale tra le parti dovuto agli spostamenti relativi del terreno, valutato come specificato in seguito;

Deve risultare, in ogni caso:

$$E_L \geq E_0 \quad \text{e} \quad E_L \geq E_1, E_2, E_3$$

se così non fosse $E_L = \max(E_0; E_1; E_2; E_3)$

Si definiscono:

$$d_{eg} = 1.25 (d_g^2 + d_g^2)^{1/2}$$

con

$$d_g = 0.025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_c \cdot T_D$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

e

$$d_{Ed} = \pm \mu \cdot d_{Ee}$$

ove:

d_{Ee} = è lo spostamento prodotto dall'azione sismica di progetto

e dove:

$$\mu = q \quad \text{se } T_1 \geq T_c$$

$$\mu = 1 + (q - 1) \cdot T_c / T_1 \quad \text{se } T_1 < T_c$$

- **Struttura terminale**

ESCURSIONE APPOGGI E GIUNTI SU STRUTTURA TERMINALE

$D_t =$	37.2	mm	deformazione dovuta alla termica uniforme
$k_1 =$	0.45		coefficiente per la non contemporaneità dei valori di ciascun evento singolo
$k_2 =$	0.55		coefficiente legato alla probabilità di moto in controfase di due pile adiacenti
$\mu =$	1.0	$T_1 > T_c$	
$d_{EdS.T.} =$	481.0	mm	spostamento relativo sismico della struttura terminale
$d_{EdPant.} =$	269.0	mm	spostamento sismico del Pantano
$d_{eg} =$	37.6	mm	spostamento relativo tra le parti dovuto agli spostamenti relativi del terreno
$E_1 =$	74.3	mm	spostamento dovuto alla variazione termica uniforme
$E_2 =$	560.5	mm	spostamento dovuto alla risposta della struttura all'azione sismica
$E_3 =$	75.3	mm	spostamento dovuto all'azione sismica fra le fondazioni di strutture non collegate
$E_l = k_1 \cdot (E_1 + E_2 + E_3) =$	560.5	mm	escursione longitudinale
$E_{min} = \pm$	290.2	mm	escursione dei giunti
$E_{appo.} = \pm$	350.3	mm	escursione degli apparecchi d'appoggio
$V_{min} =$	300.2	mm	ampiezza del varco
$a_g =$	0.411		
$S =$	1.086		
$T_c =$	0.588		
$T_D =$	3.244		
$d_g =$	0.0213		
$d_{eg} =$	0.0376	m	

- **Pile**

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

ESCURSIONE APPOGGI E GIUNTI SU VIADOTTO PANTANO

$D_t =$	13.2	mm	deformazione dovuta alla termica uniforme
$k_1 =$	0.45		coefficiente per la non contemporaneità dei valori di ciascun evento singolo
$k_2 =$	0.55		coefficiente legato alla probabilità di moto in controfase di due pile adiacenti
$\mu =$	1.0	$T_1 > T_c$	
$d_{Ed} =$	225.0	mm	spostamento relativo tra le parti prodotto dall'azione sismica
$d_{eg} =$	37.6	mm	spostamento relativo tra le parti dovuto agli spostamenti relativi del terreno
$E_1 =$	26.5	mm	spsotamento dovuto alla variazione termica uniforme
$E_2 =$	495.0	mm	spsotamento dovuto alla risposta della struttura all'azione sismica
$E_3 =$	75.3	mm	spsotamento dovuto all'azione sismica fra le fondazioni di strutture non collegate
$E_l = k_1 * (E_1 + E_2 + E_3) =$	495.0	mm	escursione longitudinale
$E_{min} = \pm$	257.5	mm	escursione dei giunti
$E_{appo.} = \pm$	309.4	mm	escursione degli apparecchi d'appoggio
$V_{min} =$	267.5	mm	ampiezza del varco
$a_g =$	0.411		
$S =$	1.086		
$T_c =$	0.588		
$T_D =$	3.244		
$d_g =$	0.0213		
$d_{eg} =$	0.0376	m	

Il valore dello spostamento relativo totale sismico della struttura terminale è stato fornito da COWI attraverso gli spostamenti degli apparecchi d'appoggio mobili presenti sulla pila lato monte.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

10 Effetti d'interazione statica treno-binario-struttura

Non ricadendo nei limiti imposti dalle Istruzioni RFI per la progettazione dei ponti ferroviari, è necessario valutare gli effetti d'interazione statica treno-binario-struttura. Tale analisi di calcolo determina la tensione indotta nella rotaia dalla dilatazione termica differenziale rotaia impalcato, dalla inflessione dovuta ai carichi verticali e dalle azioni di frenatura e avviamento legate al passaggio dei treni stessi.

La limitazione delle tensioni sulle rotaie sono necessarie al fine di garantire la sicurezza del binario rispetto a fenomeni di instabilità per compressione e rottura per trazione.

La verifica di sicurezza del binario viene condotta considerando la combinazione caratteristica (SLE), adottando per le azioni termiche coefficienti $\Psi_{oi}=1,0$.”

L'incremento massimo di tensione consentito nella rotaia causato dall'interazione binario-struttura prodotta dalle azioni prima indicate, sarà assunto pari a:

$\Delta\sigma_c, \max = 60 \text{ MPa}$ (per la compressione)

$\Delta\sigma_t, \max = 70 \text{ MPa}$ (per la trazione)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

10.1 Metodologia di valutazione degli effetti d'interazione treno-binario-struttura

Le azioni vengono valutate attraverso analisi di simulazione del comportamento del ponte soggetto ai carichi elencati nel precedente paragrafo.

Per far ciò è necessario implementare un modello agli elementi finiti che abbia le seguenti caratteristiche:

1. Le aste che modellano la linea d'asse del binario e dell'impalcato devono essere posizionate nei baricentri dei rispettivi elementi.
2. I vincoli devono essere posizionati nel loro centro di rotazione.
3. Il collegamento fra gli apparecchi d'appoggio e gli elementi dell'impalcato deve essere modellato con collegamenti cinematici
4. Il collegamento tra gli elementi di rotaia e gli elementi dell'impalcato devono, analogamente al punto precedente, essere modellati con collegamenti cinematici.

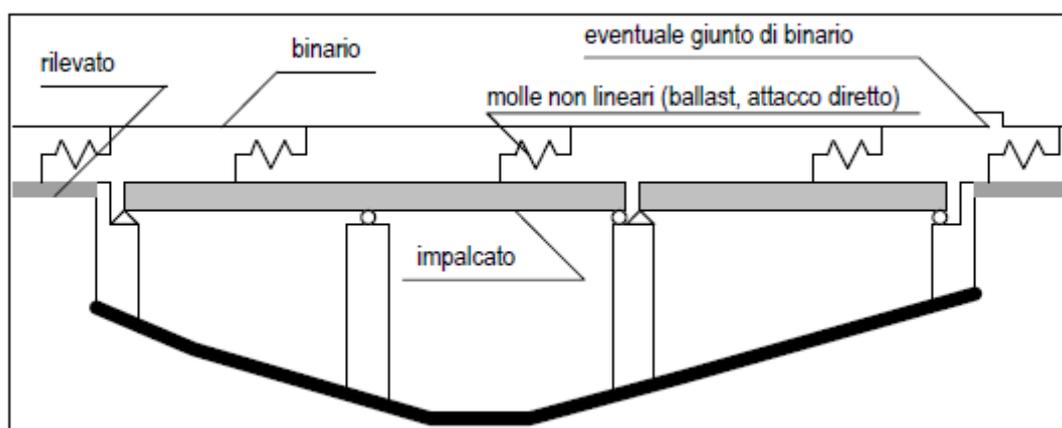


Figura 73: Schema di modello strutturale per valutare l'interazione

5. L'elemento che modella il sistema di collegamento, e quindi il ballast in questo caso, deve essere modellato considerando un apposito schema di molle e smorzatori, come indicato nella figura 74.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

6. Per tutti gli elementi che non siano quelli di connessione, e quindi per gli elementi che modellano l'impalcato, le rotaie e la sottostruttura, si adottano materiali con comportamento puramente elastico.
7. Deve essere modellata la rigidità del sistema appoggio-pila-fondazione
8. La resistenza opposta dal binario agli scorrimenti longitudinali viene schematizzata, non possedendo studi sperimentali specifici, con un legame elastoplastico rappresentato, per una posa su ballast con le leggi riportate in figura 75,
9. Le analisi devono essere condotte in campo non-lineare.

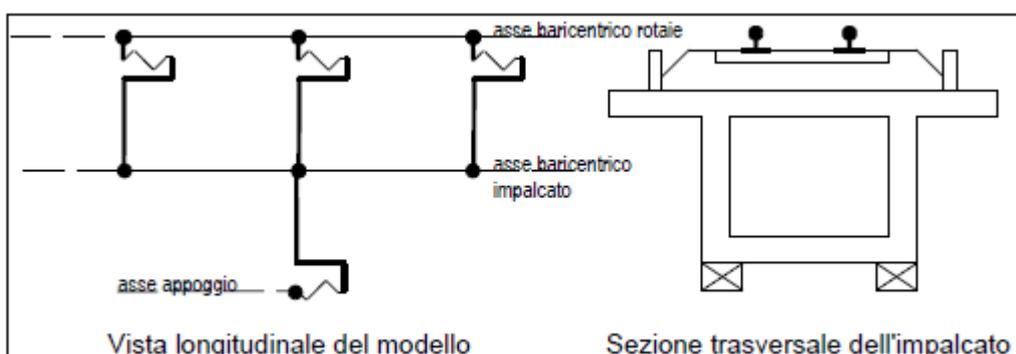


Figura 76: Modellazione del collegamento binario-impalcato-vincolo

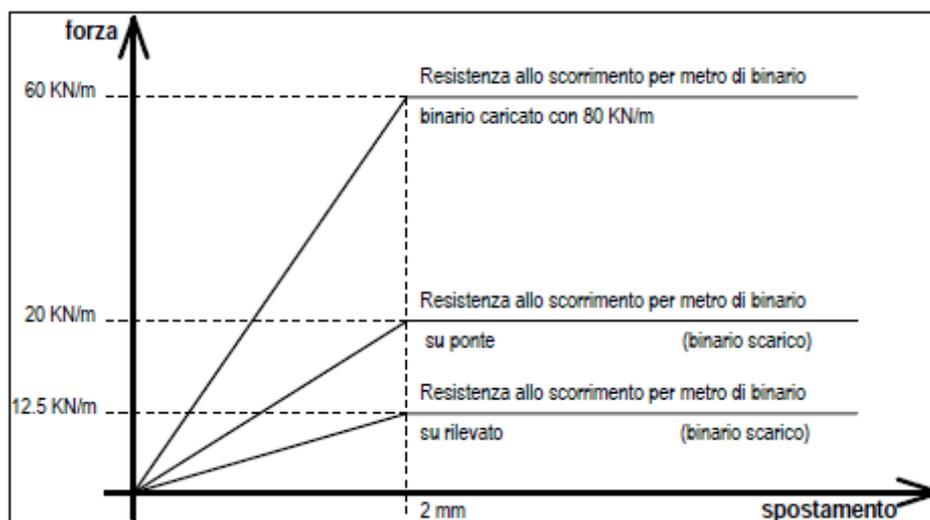


Figura 77: Legame forza spostamento del ballast in direzione longitudinale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Il modello viene implementato con il software agli elementi finiti SAP 2000 Vers 14.2.2 con le seguenti modalità:

1. Si modella l'impalcato con una serie di elementi tipo frame posizionata al baricentro dell'impalcato stesso, utilizzando allo scopo il modello globale già descritto nella relazione d CG0700PRGDSVPCIVI00000001.
2. Si modella il binario come una serie di elementi di tipo frame aventi le caratteristiche meccaniche della coppia di rotaie.
3. Si collegano i nodi dei frames di impalcato con i nodi dei frames di binario con un coppia di link che riproducono:
4. Il legame costitutivo elasto-plastico per binario scarico
5. Il legame costitutivo elasto-plastico per binario carico, assegnando alla rigidità e alla soglia di plasticizzazione la differenza rispetto ai valori del legame costitutivo per binario scarico.
6. Si modellano con link rigidi le distanze dell'asse dell'impalcato dagli apparecchi di appoggio e si vincolano tali link nei corrispondenti nodi.
7. Si assegnano i carichi verticali agli elementi di binario assegnando ad ogni carico applicato ad un elemento un diverso nome.
8. Si definiscono un numero di fasi costruttive pari al numero di carichi prima definito e si definisce una fasistica così strutturata:
 - a. Nasce la struttura completa di binario e impalcato e si attivano solo i link che modellano il ballast in caso di binario carico.
 - b. Si applica la dilatazione termica al binario o all'impalcato come da norma.
 - c. Si applica il primo carico (che modella la presenza del treno in corrispondenza dell'inizio dell'opera) e si attiva il collegamento che modella il ballast nel caso di binario carico posizionato sotto il carico appena attivato.
 - d. Si prosegue attivando via via i carichi negli elementi successivi (quindi facendo avanzare il treno) e attivando i corrispondenti link di binario carico.

Con la seguente metodologia, eseguendo una analisi non lineare al passo è possibile tenere conto della successione dei carichi e della diversa rigidità del ballast in funzione del carico agente.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

10.2 Caso test

Prima di procedere all'implementazione di un modello di simulazione per la struttura d'interesse è necessario modellare ed analizzare un caso test messo a disposizione da Italferr Spa allo scopo di tarare il modello.

Il caso di prova è riferito ad un ponte a semplice binario, di una sola campata, in c.a.p. di cui si riportano le caratteristiche e i parametri necessari all'esecuzione delle analisi.

Dati generali:

Numero binari =1

Numero di campate = 1

Luce netta campata (interasse appoggi) = 59 m.

Caratteristiche della rotaia:

Modulo elastico = 210000 MPa

Coefficiente di Poisson = 0.15

Coefficiente di dilatazione termica = $1.2 \cdot 10^{-5}$

Area della sezione normale della singola rotaia= 0.007692 m^2

Caratteristiche geometriche e meccaniche del ballast:

Resistenza longitudinale a binario scarico = 12.5 kN/m

Resistenza longitudinale a binario carico (80 kN/m) = 60 kN/m

Spostamento corrispondente al superamento del limite elastico = 0.002 m.

Spessore ballast = 0.35 m.

Distanza asse binario – intradosso traverse = 0.24 m.

Caratteristiche dell'impalcato:

Disposizione appoggi: Fisso (rigidezza infinita) a sinistra, Mobile a destra

Distanza asse binario – asse baricentrico impalcato = 2.01 m

Distanza asse binario – asse appoggi = 5.69 m

Modulo Elastico = 33700 MPa

Coefficiente di Poisson= 0.15

Coefficiente di dilatazione termica = $1.0 \cdot 10^{-5}$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Momento di inerzia nel piano verticale = 22.01 m⁴

Area a taglio nel piano verticale = 6.69 m²

Area della sezione normale = 10.65 m²

Caratteristiche del vincolo fornito dalla spalla su cui è posto l'appoggio fisso (equivalente all'insieme appoggio-spalla-fondazione):

Rigidezza longitudinale vincolo fisso = 5900000 kN/m ($k_{vS}=100000$ kN/m/m)

Azioni termiche:

Variazione di temperatura nelle rotaie = 0°C

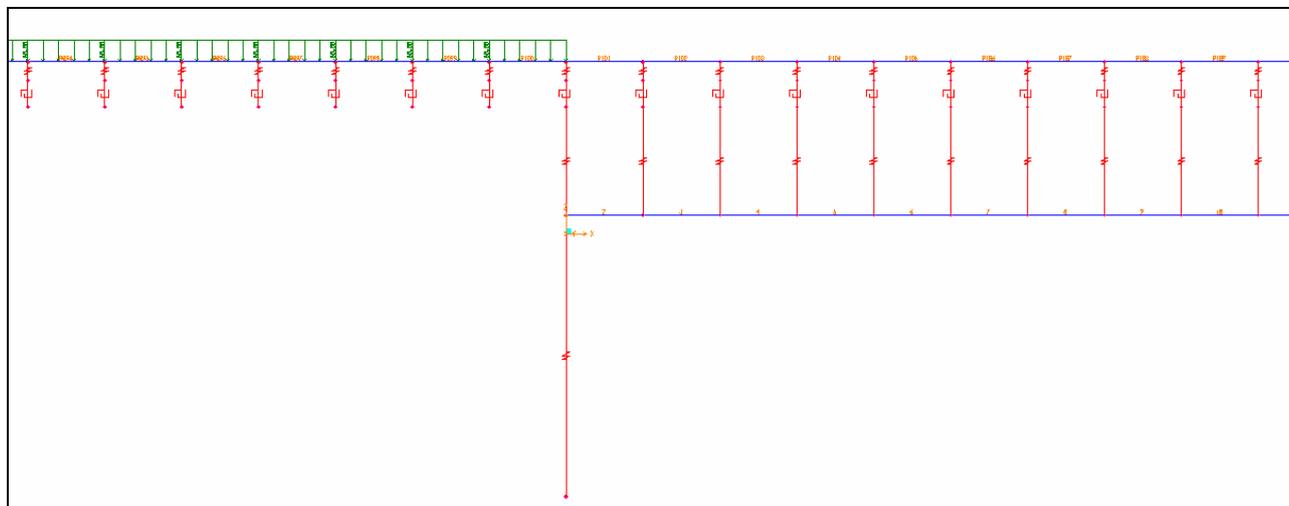
Variazione di temperatura uniforme nell'impalcato = 15°C

Azioni prodotte dal convoglio – treno LM71:

Si considera un convoglio che viaggia da destra verso sinistra che applica le seguenti azioni:

- Carico verticale = 80 kN/m per tutta la stesa ad eccezione di un tratto di 6.0m a distanza di 27m dalla testa del treno, con valore del carico di 157 kN/m, come da schema .
- Azione di avviamento = 30 kN/m per i primi 33 m (27+6).

Il modello riportato in figura è stato implementato con il SAP 2000 nelle modalità precedentemente descritte:



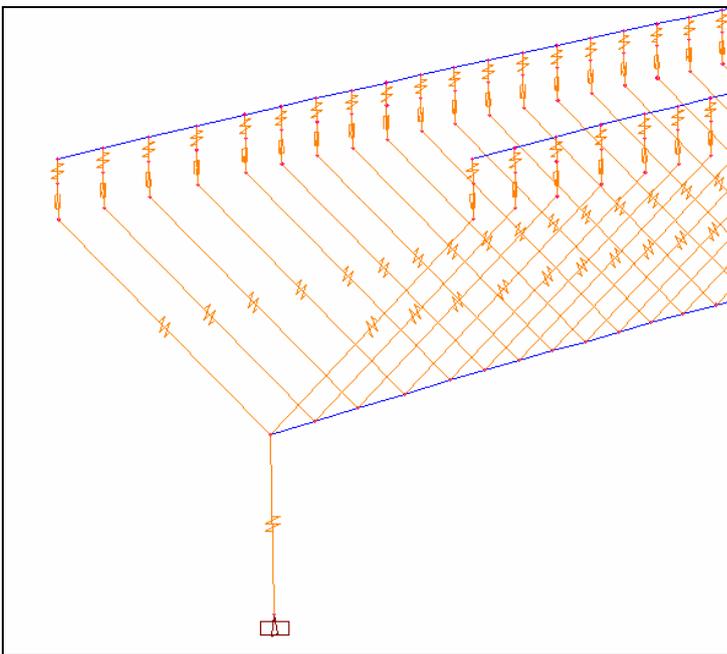
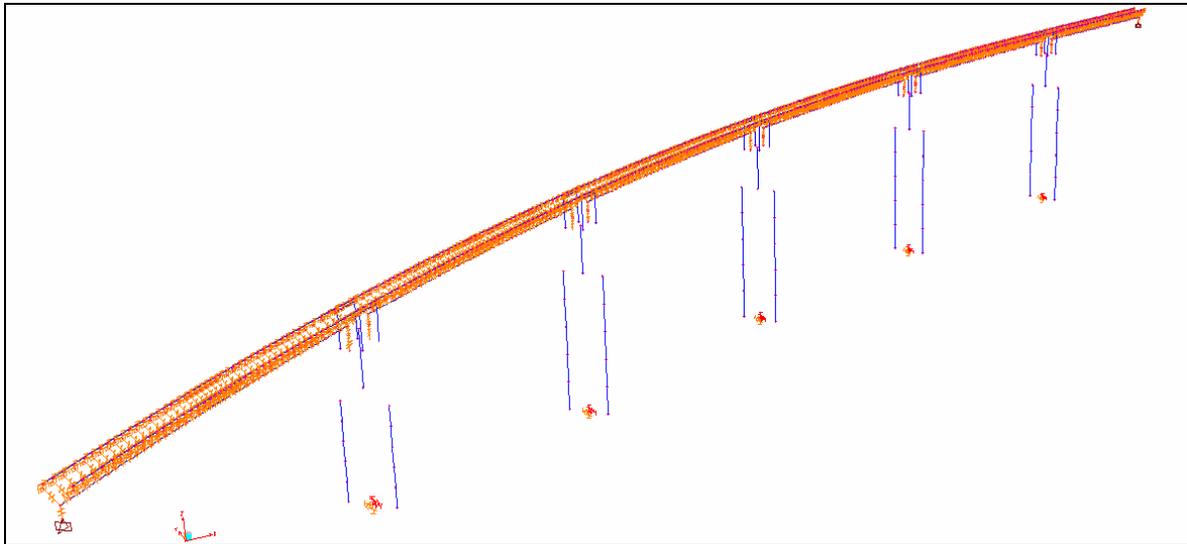
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

La tabella seguente riporta i risultati previsti dal test e quelli forniti dal modello studiato, confermando una sostanziale congruenza.

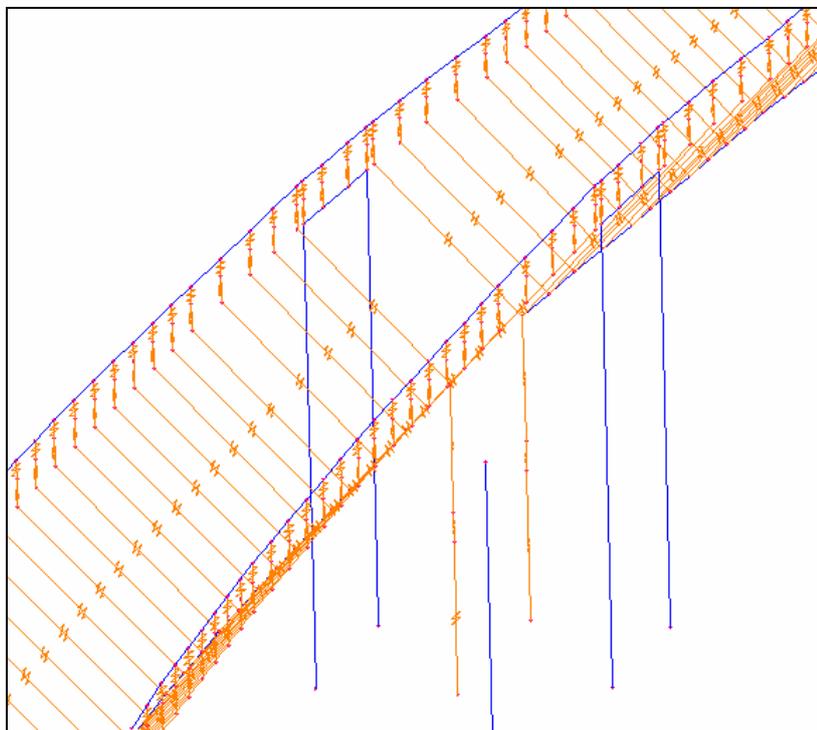
			CASO GUIDA	TEST
POSIZIONE	GRANDEZZA	UNITA' DI MIS.	VALORE	VALORE
Appoggio fisso	Tensione rotaia	MPa	37.7	30
Appoggio mobile	Tensione rotaia	MPa	49.4	55
Appoggio fisso	Spostamento binario/rilevato	mm	5.56	5.02
Appoggio fisso	Reazione vincolo	kN	693	746

10.3 Modello del viadotto Pantano

Con la metodologia illustrata e testata al paragrafo precedente si è implementato un modello per la valutazione dell'interazione binario struttura del viadotto Pantano. Trattandosi di viadotto in curva a doppio binario il modello prevede una serie di elementi frames che modellano gli impalcati ferroviari, e una doppia serie di elementi frames che modellano i 2 binari. Questi ultimi sono collegati all'impalcato attraverso i collegamenti rigidi e i collegamenti elastoplastici come definiti in precedenza. Il modello è completo delle pile e queste ultime vengono vincolate al piede con molle il cui valore di rigidità viene definito nella relazione geotecnica. In corrispondenza delle pile il binario è continuo e il ballast viene vincolato ad elementi frames che modellano la struttura in c.a. sovrastante il trasverso. Il binario presenta 2 dispositivi di dilatazione in corrispondenza delle testate del ponte, pertanto non viene modellato il tratto in rilevato.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	



Per le caratteristiche degli elementi frame che modellano l'impalcato ferroviario si rimanda al paragrafo 6.2.2.

I frame che schematizzano le pile hanno le seguenti caratteristiche meccaniche e geometriche:

TABLE: Frame Section Properties 01 - General										
SectionName	Material	Shape	t3	t2	tf	tw	Area	TorsConst	I33	I22
Text	Text	Text	m	m	m	m	m2	m4	m4	m4
FUSTO	CLS	Box/Tube	6	5	0,8	0,8	15,04	81,189038	65,864533	48,088533
PULVINO		Nonprismatic								
PULV_ALTO	CLS	General	6	3			138,38	2222,8	1088,1	7638,1
PULV_BASSO	CLS	General	5	1			45,22	368,8	126,2744	741

Il vincolo della struttura al suolo è stato ottenuto con elementi di tipo "spring" per considerare la cedevolezza del terreno di fondazione. I valori delle rigidità considerati sono riportati nelle seguenti tabelle:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO		<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Pile 1, 2, 3

K_z	7.447E+06	kN/m	rigidezza elastica molla verticale		
K_x	7.455E+06	kN/m	rigidezza elastica molla trasversale		
K_y	7.915E+06	kN/m	rigidezza elastica molla longitudinale		
K_{rx}	6.553E+08	kNm	rigidezza elastica molla rotazionale longitudinale		
K_{ry}	1.703E+09	kNm	rigidezza elastica molla rotazionale trasversale		
K_{rz}	2.555E+09	kNm	rigidezza elastica molla rotazionale torsionale		

Pile 4, 5 e spalla

K_z	1.490E+07	kN/m	rigidezza elastica molla verticale		
K_x	1.547E+07	kN/m	rigidezza elastica molla trasversale		
K_y	1.642E+07	kN/m	rigidezza elastica molla longitudinale		
K_{rx}	1.390E+09	kNm	rigidezza elastica molla rotazionale longitudinale		
K_{ry}	3.620E+09	kNm	rigidezza elastica molla rotazionale trasversale		
K_{rz}	5.535E+09	kNm	rigidezza elastica molla rotazionale torsionale		

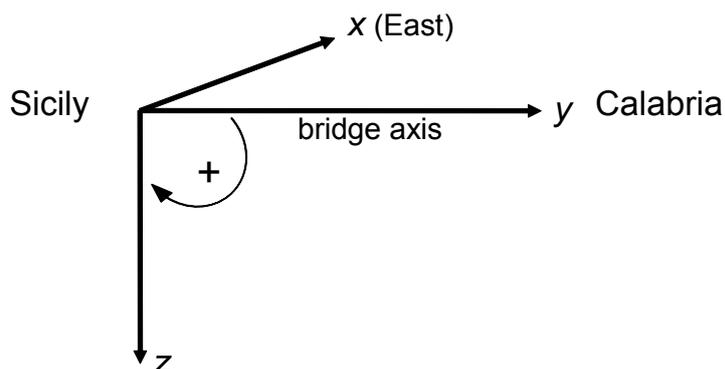


Figura 78 Riferimento utilizzato.

Le caratteristiche degli elementi introdotti nel presente modello sono le seguenti:

Caratteristiche della rotaia:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Modulo elastico = 210000 MPa

Coefficiente di Poisson = 0.15

Coefficiente di dilatazione termica = $1.2 \cdot 10^{-5}$

Area della sezione normale della singola rotaia = 0.007692 m²

Momento di inerzia verticale delle singola rotaia = 0.00003055 m⁴

Caratteristiche geometriche e meccaniche del ballast:

Resistenza longitudinale a binario scarico sul ponte = 20 kN/m

Resistenza longitudinale a binario carico (80 kN/m) = 60 kN/m

Resistenza trasversale a binario scarico sul ponte = 0.718 kN/m

Resistenza trasversale a binario carico (80 kN/m) = 7.118 kN/m

Spostamento longitudinale corrispondente al superamento del limite elastico = 0.002 m.

Spostamento trasversale corrispondente al superamento del limite elastico = 0.001 m.

Spessore ballast = 0.35 m.

Distanza asse binario – intradosso traverse = 0.24 m.

Il carico da traffico introdotto corrisponde al treno LM71 non segmentato con il carico corrispondente agli assi distribuito in teta per una lunghezza pari a circa 6m.

La discretizzazione del binario è tale da presentare elementi mediamente lunghi 1.6 m con un massimo 1.95 m

Vengono analizzati 6 modelli di carico con le seguenti caratteristiche:

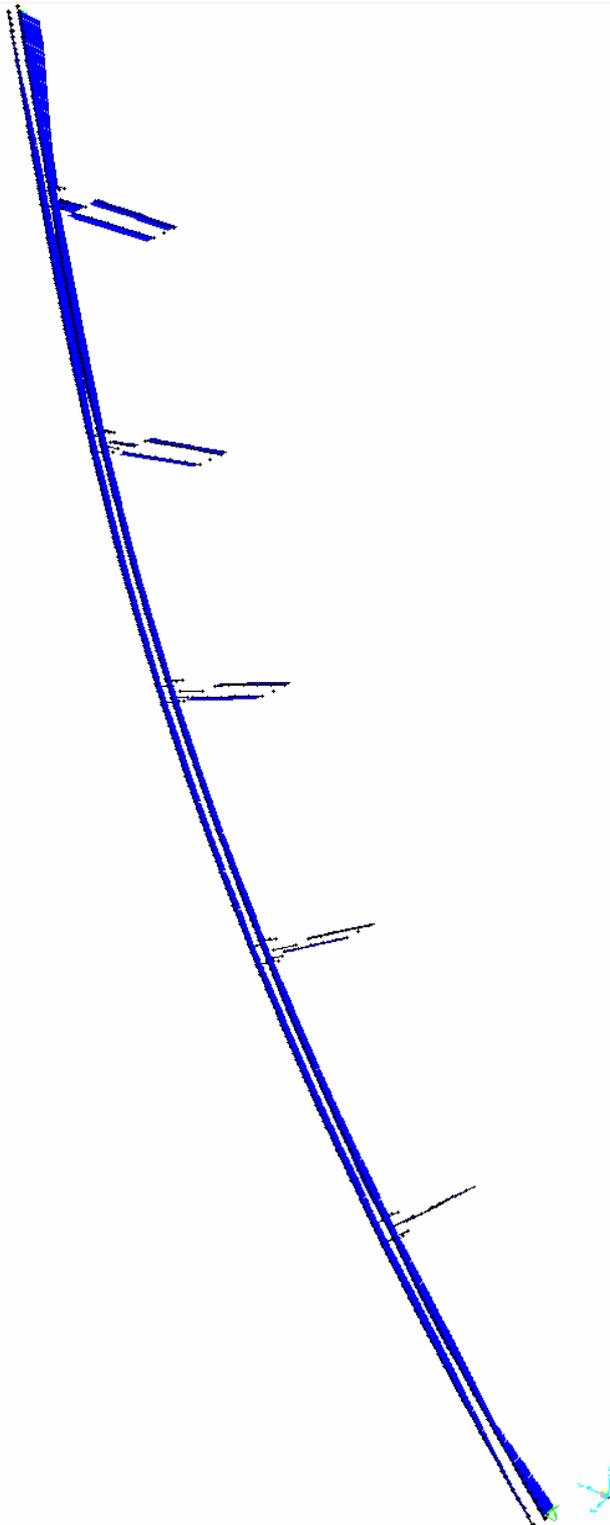
1. Variazione termica del binario di -40°C – treno in avviamento direzione Reggio Calabria
2. Variazione termica del binario di -40°C – treno in frenatura direzione Messina
3. Variazione termica del binario di -40°C – treno in avviamento direzione Reggio Calabria + treno in frenatura direzione Messina
4. Variazione termica del binario di +30°C – treno in avviamento direzione Reggio Calabria
5. Variazione termica del binario di +30°C – treno in frenatura direzione Messina
6. Variazione termica del binario di +30°C – treno in avviamento direzione Reggio Calabria + treno in frenatura direzione Messina

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Figura 79 Sforzo

Il caso dimensionante cui si riportano ottenuti.

Il tabulati di disponibili in



assiale caso 6.

risultato è stato il n ° 6 di in tabella i risultati

tutti i modelli sono allegato.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO FERROVIARIO	<i>Codice documento</i> PA0107_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

POSIZIONE	GRANDEZZA	UNITA' MIS.	DI VALORE
Appoggio fisso	tensione rotaia (compressione)	MPa	8.54
Mezz. Pila 4/Pila 5	Massima tensione rotaia (compr)	MPa	59.8
Appoggio str. terminale	Spostamento binario/rilevato	mm	10.1
Appoggio fisso	Spostamento binario/rilevato	mm	0.3
Appoggio fisso/spalla	Reazione vincolo	kN	1307.7