

COMMITTENTE:



RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A.

DIREZIONE TERRITORIALE FIRENZE S.O. INGEGNERIA

SOGGETTO TECNICO : RFI - D.T.P. FIRENZE - S.O. INGEGNERIA

PROGETTAZIONE :



LE.GE.CO S.P.A.

Sede Legale: Località Pocaia n. 33 -52035 Monterchi (SR)

Cod. fiscale e p.IVA: 01221000514

TEL/FAX: 075/8520045

e.mail: cestello@legeco.com

PEC: legeneral@pec.legeco.com

PROGETTO ESECUTIVO**Sostituzione delle travate metalliche Ponte T. Acquerta****Km 284+732****Linea Cecina - Volterra****RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO IMPALCATO METALLICO**

Foglio

1

di

89

PROGETTO/ANNO

SOTTOPR.

LIVELLO

NOME DOC.

PROGR.OP.

FASE FUNZ.

NUMERAZ.

1 8 2 7 1 7

0 0 1

P E

R S P N

0 0

0 0

E 0 0 2

	Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
Appaltatore		1^ emissione	Ing. L. Castellani		Ing. L. Castellani		Ing. M. Lepri		Ing. M. Lepri	
	1	2^ emissione	Ing. L. Castellani		Ing. L. Castellani		Ing. M. Lepri		Ing. M. Lepri	
R.F.I. S.p.A.					Ing. G. Tornatore		Arch. F. Ciolfi		Ing. G. Ticci	

POSIZIONE
ARCHIVIO

LINEA

L 4 6 3

SEDE TECN.

T R A 7 9 6

NOME DOC.

R S P N

NUMERAZ.

E 0

Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data	Archiviato	Data

File:

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 2 di 90

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 3 di 90

Sommario

1	GENERALITÀ.....	6
1.1	Premessa.....	6
1.2	Inquadramento generale.....	7
3	NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE.....	9
4	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....	10
4.1	Descrizione dell'impalcato ferroviario.....	12
5	Materiali.....	14
5.1	Proprietà e resistenza dei materiali.....	14
6	TIPO DI ANALISI.....	16
7	MODELLO DI CALCOLO.....	16
8	AZIONI SULLA STRUTTURA.....	20
8.1	Pesi proprio elementi strutturali G_1	21
8.2	Pesi proprio ballast e armamento G_1	21
8.3	Azione verticale del modello di carico LM71 in mezzzeria Q_{1_1}	23
8.4	Azione verticale del modello di carico LM71 sull'appoggio Q_{1_2}	25
8.5	Azione verticale del modello di carico SW/2 Q_{1_3}	27
8.6	Azione di frenatura del modello di carico LM71 Q_{2_1}	30
8.7	Azione di frenatura del modello di carico SW/2 Q_{2_2}	33
8.8	Azione di avviamento dei modelli di carico LM71 e SW/2 Q_{2_3}	35
8.9	Azione laterale (serpeggio) in mezzzeria Q_{3_1}	37
8.10	Azione laterale (serpeggio) sugli appoggi Q_{3_2}	39
8.11	Azione del vento agente sul treno Q_{4_1}	42
8.12	Azione del vento agente sull'anima del cassone $Q_{4_{11}}$	44

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 4 di 90

8.13	Azione variabili Q_5	45
8.14	Azione sismica E.....	45
8.15	Risultanti delle azioni.....	48
8.16	Effetti dinamici.....	48
8.17	Effetti d'interazione statica treno – binario – struttura	50
9	COMBINAZIONI DELLE AZIONI DA TRAFFICO IN GRUPPI DI CARICO.....	52
9.1	Combinazione delle azioni.....	53
10	VERIFICHE DI RESISTENZA DELLA TRAVE PRINCIPALE	55
10.1	Verifica della piattabanda superiore	56
10.2	Verifica dell'irrigidimento verticale.....	57
10.3	Verifica lamiera di fondo	58
10.4	Verifica delle anime inclinate.....	58
11	VERIFICHE A FATICA: RICHIAMI TEORICI	60
11.1	Verifica a fatica del cassone metallico	61
12	VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ.....	63
12.1	Stato limite per il comfort dei passeggeri	63
12.2	Stato limite per inflessione nel piano verticale.....	64
2.2	Stato limite per deformazione torsionale dell'impalcato.	65
13	AZIONI SUGLI APPOGGI.....	68
13.1	Spostamenti e rotazioni appoggi.....	71
13.2	Sintesi delle azioni sui dispositivi di appoggio	72
13.3	Entità dell'escursione totale dei giunti e degli apparecchi d'appoggio	78
14	VERIFICHE DEI CAMMINAMENTI	81
14.1	Verifiche HEA 200	82
14.2	Verifiche UPN 120	85

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 5 di 90

15	VERIFICHE DEI RITEGNI SISMICI.....	87
16	CONCLUSIONI.....	90

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 6 di 90

1 GENERALITÀ

1.1 Premessa

La presente relazione riporta le ipotesi progettuali, la descrizione dei modelli di calcolo e le verifiche strutturali dell'impalcato metallico sito lungo la linea ferroviaria Cecina-Volterra alla chilometrica 284+732, ricadente nel comune di Cecina (LI) e denominato fosso Acquerta.



Figura 1 - Vista satellitare del ponte

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 7 di 90

1.2 Inquadramento generale

Il ponte analizzato è ubicato sulla linea Cecina-Volterra e ricade nel comune di Cecina in provincia di Livorno. L'opera si sviluppa su una singola campata che attraversa il torrente Acquerta.

Nella tabella seguente si sintetizzano i dati necessari all'individuazione dell'opera; si precisa che le coordinate geografiche sono riferite al sistema ED50 – UTM fuso 32 in formato sessadecimale.

Denominazione		Ponte a travata metallica - Km. 284+732	
Tipologia		Travata metallica	
Sede tecnica		TR4796	
Direzione Territoriale di Produzione		Firenze	
Linea		Cecina - Volterra	
Ubicazione	pk 284+732	Progr. Iniziale	284+732
		Progr. Finale	284+738
Regione	Toscana	Codice Istat	09
Provincia	Livorno	Codice Istat	049
Comune	Cecina	Codice Istat	007
Coordinate geografiche	Longitudine	10.527829° E	Fuso 32
	Latitudine	43.329524° N	

Tabella 1 - Anagrafica del ponte

1827/17-001-PE-RSPN-00-E002

Ponte a travata metallica Fosso Acqueria
Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra
RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO

FOGLIO
8 di 90

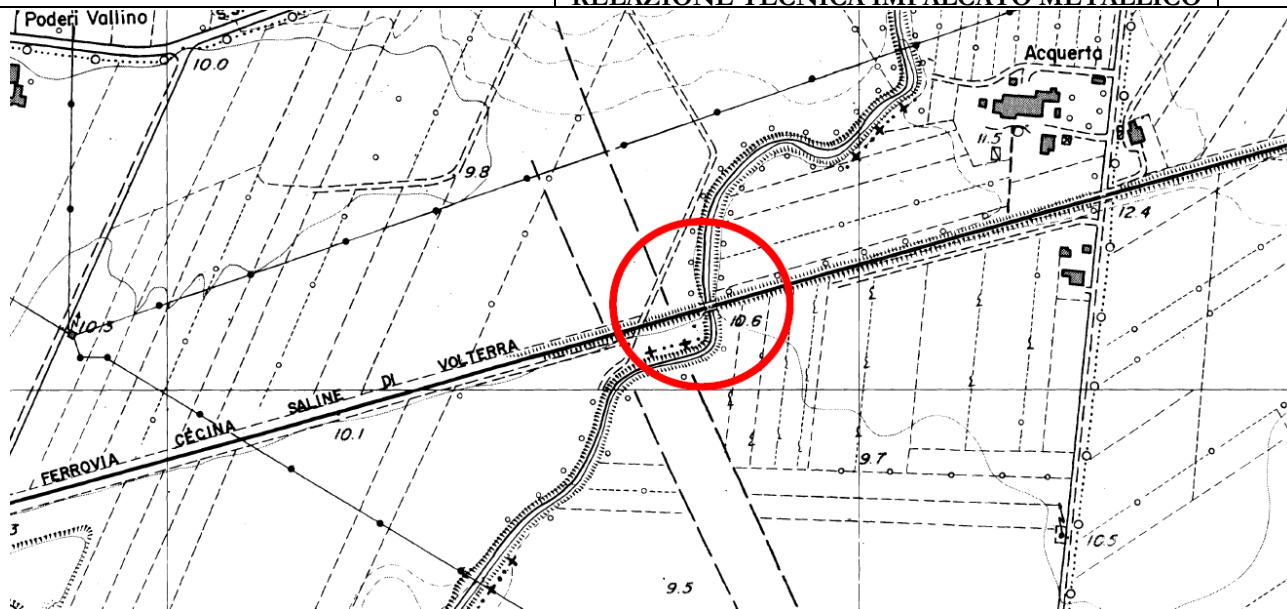


Figura 2 - Stralcio CTR dell'area

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 9 di 90

3 NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE

Per la redazione della presente relazione sono state considerate le normative tecniche di seguito elencate:

- DM 17 gennaio 2018: Norme tecniche per le costruzioni (nel seguito indicate come NTC18).
- Circolare 21 gennaio 2019 n.7, Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al DM 17 gennaio 2018.
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 B, Manuale di progettazione delle opere civili.
- RFI DTC SI PS SP IFS 001 A, Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	
		FOGLIO 10 di 90

4 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'incremento della sezione idraulica è ottenuto mediante la demolizione e conseguente ricostruzione delle spalle. Le nuove spalle saranno costituite da uno scatolare prefabbricato in c.a di dimensioni, in pianta, pari a 2.0 x 6.00 m, altezza 3 m e di spessore pari a 0.25 m.

Tale scatolare è fondato su una platea di fondazione avente dimensioni in pianta pari a 7.00 x 2.75 avente spessore pari a 50 cm e ancorata a micropali tramite armatura di frettaggio.

I micropali, consentono l'allargamento dell'alveo con minima interruzione di linea e fungono da supporto alla platea di fondazione. Oltre alla ricostruzione delle spalle verranno ricostruiti i muri d'ala di sostegno del terreno a tergo della nuove spalle.

Nella Figura 3, Figura 4 e Figura 5 si riportano, rispettivamente, la pianta, la sezione longitudinale e trasversale delle opere di sottostruttura.

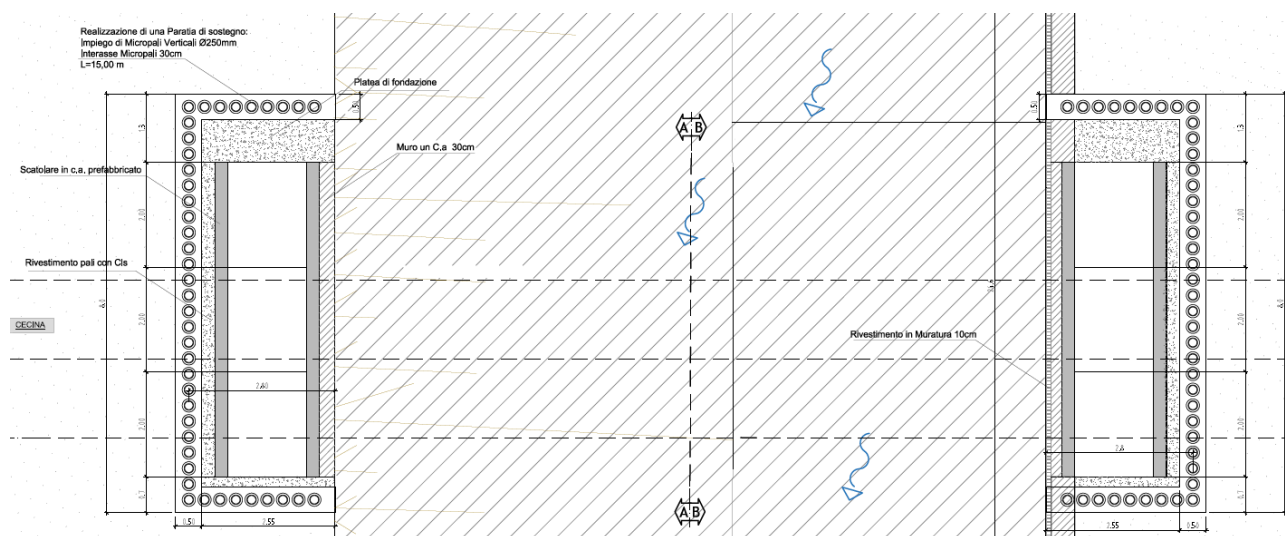


Figura 3 – Pianta delle sottostrutture

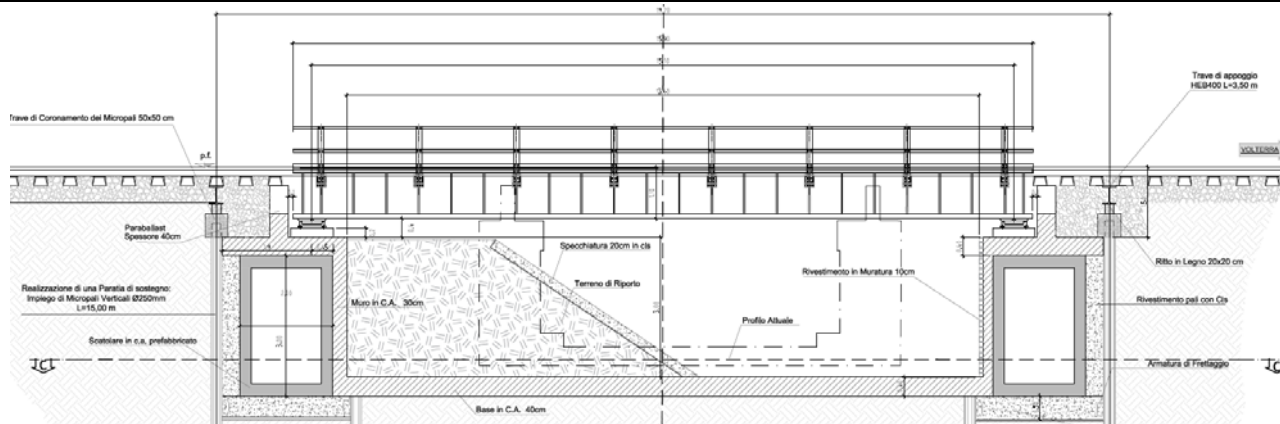


Figura 4 – Sezione longitudinale

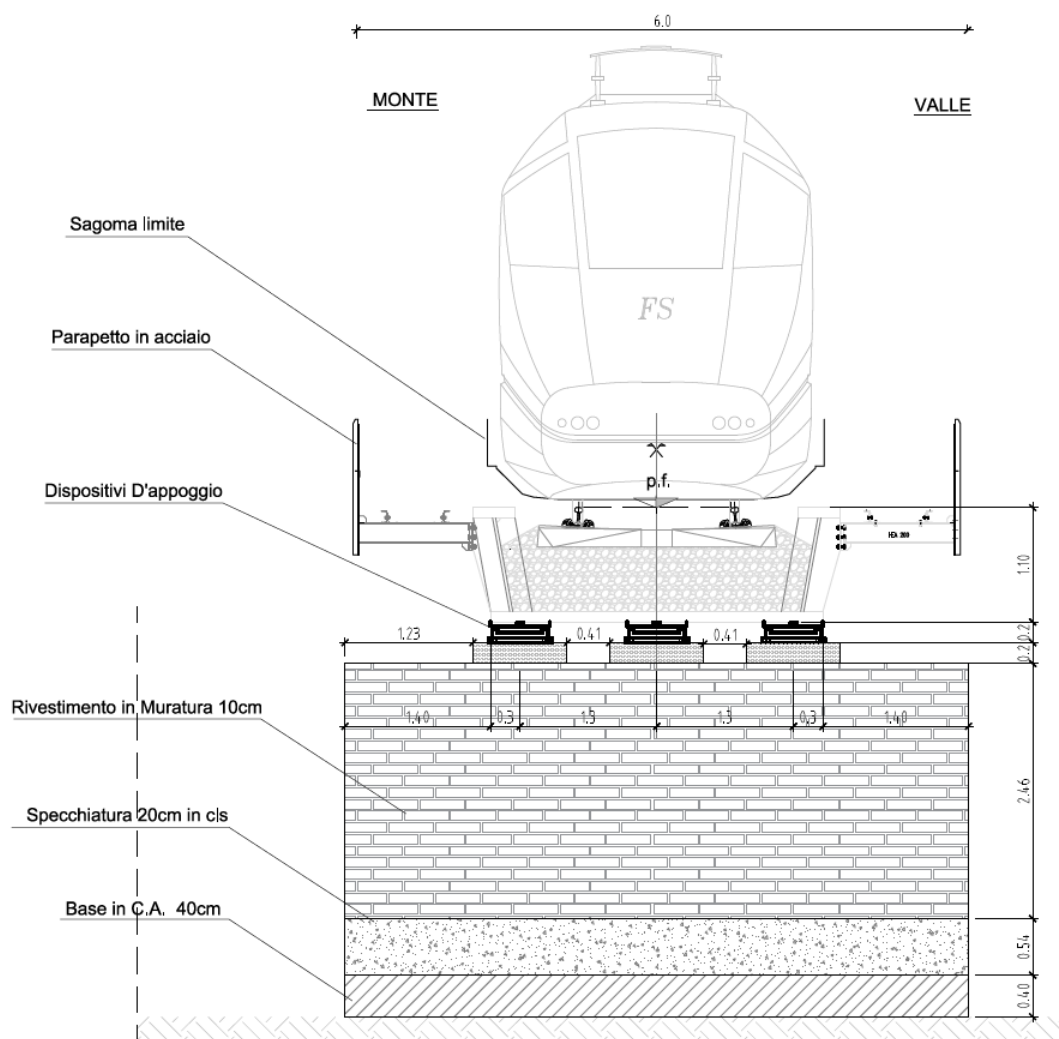


Figura 5 – Sezione trasversale

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 12 di 90

4.1 Descrizione dell'impalcato ferroviario

La tipologia delle nuove travate è a cassone metallico, a via inferiore con armamento su ballast.

La struttura dei cassoni è costituita da una lamiera di fondo, da anime laterali inclinate e dalle piattabande superiori.

L'altezza dei cassoni dall'intradosso della piattabanda inferiore all'estradosso di quelle superiori è pari a mm 1080, mentre la larghezza interna varia da mm 2770, alla base, a mm 3100, all'attacco con le piattabande superiori.

La lamiera di fondo ha una forma di trapezoidale e dimensioni in pianta di 3200 x 15900 mm e lo spessore di 90 mm.

Alla lamiera di fondo sono saldate due anime di spessore 30 mm ugualmente inclinate rispetto alla verticale di un angolo pari a 10°.

Alla sommità delle anime si trovano le due piattabande superiori, entrambe costituite da una lamiera, di dimensioni in pianta pari a 400 x 10400 mm e spessore pari a 90 mm.

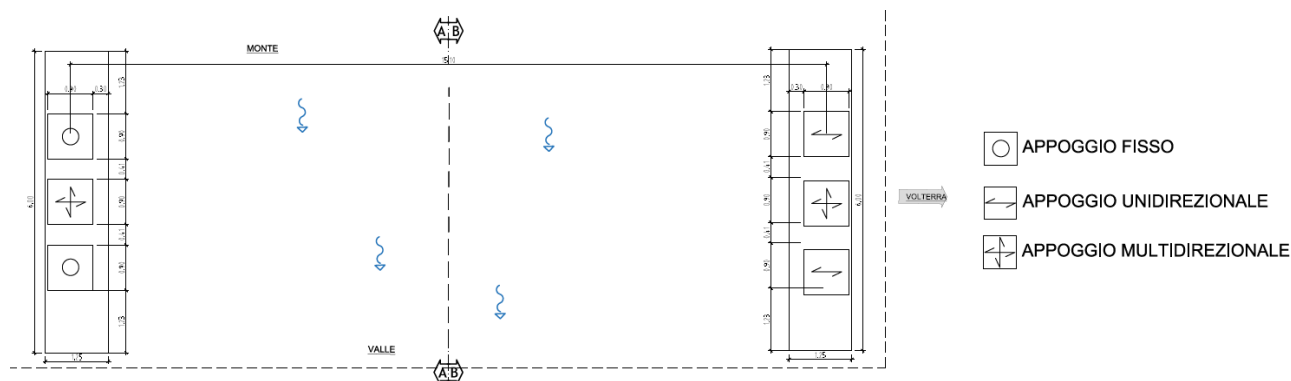
| Esternamente alle anime sono posizionati gli irrigidimenti verticali realizzati con lamiere di spessore 26 mm poste ad interasse pari a 700 mm. Internamente alle anime sono invece posizionati solo due irrigidimenti, dello stesso spessore di quelli esterni, in corrispondenza di ogni appoggio. |
| Sugli irrigidimenti esterni, ad interasse di 2100 mm, vengono collegati, mediante piastra saldata, delle travi HEA 200 che assolvono la funzione di struttura portante per il camminamento. |
| Gli appoggi sono a calotta sferica rovescia e rispettano le tipologie previste nel Manuale di progettazione delle opere civili di RFI. La disposizione degli apparecchi di appoggio è riportata nella Figura 6 mentre delle viste tridimensionali vengono riportata in Figura 7. |


Figura 6 - Disposizione degli apparecchi di appoggio

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	
		FOGLIO 13 di 90

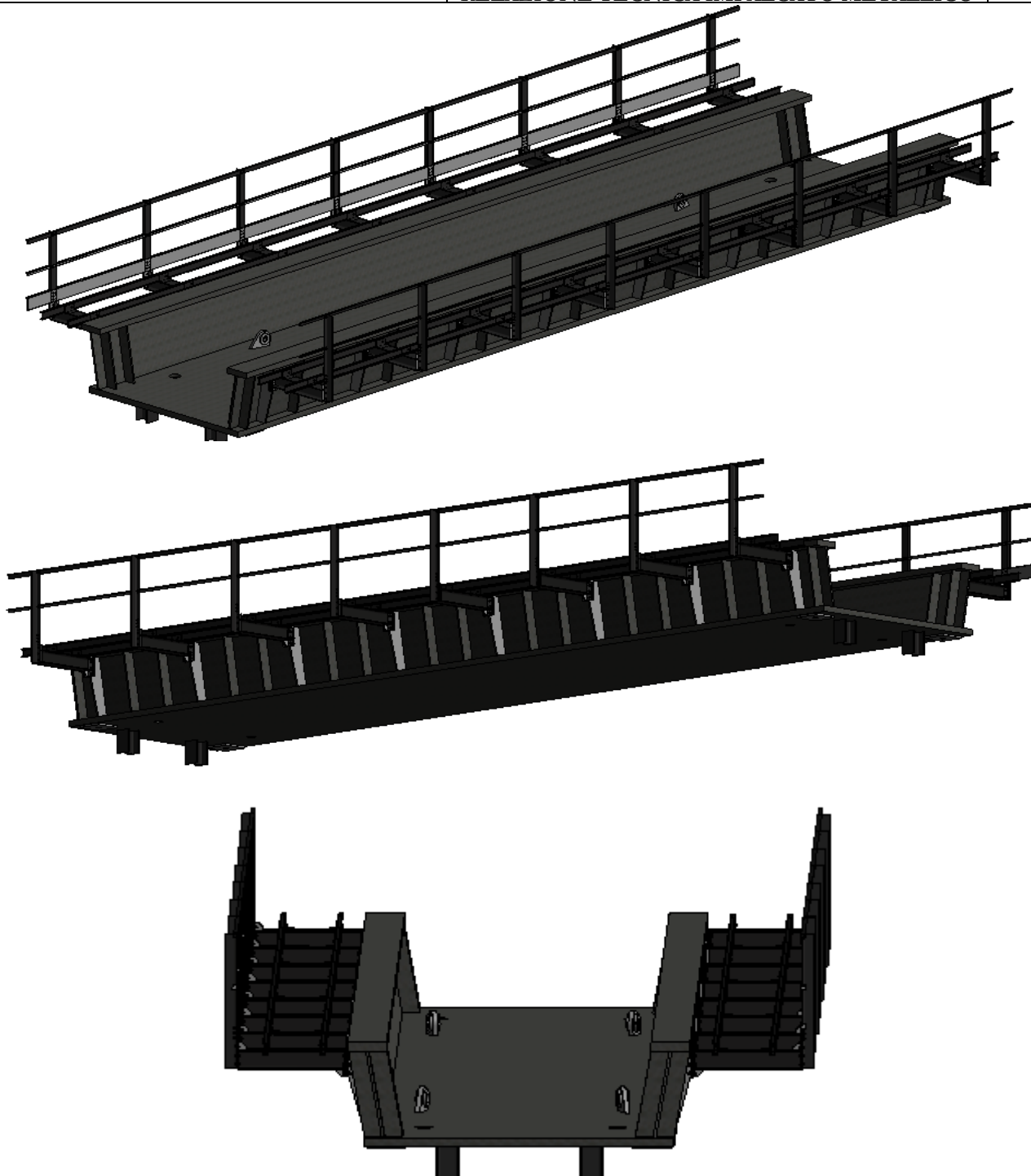


Figura 7 – 3D strutturale

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 14 di 90

5 Materiali

Si prevede l'impiego dei seguenti materiali.

Denominazione	Impiego
Acciaio S275 J0 (ex Fe 430 C):	UNI-EN 10025 per profilati e lamiere non saldate.
Acciaio S355NL :	UNI-EN 10025-3 per cassone metallico
Acciaio S235JR :	UNI-EN 10025 – Per parapetti

5.1 Proprietà e resistenza dei materiali

Nel seguito, dove non diversamente specificato, si farà riferimento ai seguenti valori delle proprietà e delle resistenze dei materiali.

Acciaio per profili camminamenti

Acciaio S275			
Modulo di elasticità normale (modulo di <i>Young</i>)	E_s	210000	N/mm ²
Densità	ρ_s	7850	kg/m ³
Peso specifico	γ_s	77.01	kN/m ³
Coefficiente di <i>Poisson</i>	ν_s	0.3	-
Coefficiente di espansione termica lineare	α_s	12x10 ⁻⁶	°C ⁻¹
Tensione caratteristica di snervamento (per spessori t≤40mm)	$f_{yk,s}$	275	N/mm ²
Tensione caratteristica di snervamento (per spessori 40<t≤80mm)	$f_{yk,s}$	255	N/mm ²
Tensione caratteristica di rottura (per spessori t≤40mm)	$f_{tk,s}$	430	N/mm ²
Tensione caratteristica di rottura (per spessori 40<t≤80mm)	$f_{tk,s}$	410	N/mm ²

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 15 di 90

Acciaio per cassone metallico

Acciaio S355NL			
Modulo di elasticità normale (modulo di <i>Young</i>)	E_s	210000	N/mm ²
Densità	ρ_s	7850	kg/m ³
Peso specifico	γ_s	77.01	kN/m ³
Coefficiente di <i>Poisson</i>	ν_s	0.3	-
Coefficiente di espansione termica lineare	α_s	12x10 ⁻⁶	°C ⁻¹
Tensione caratteristica di snervamento (per spessori t≤40mm)	$f_{yk,s}$	355	N/mm ²
Tensione caratteristica di snervamento (per spessori 40<t≤60mm)	$f_{yk,s}$	335	N/mm ²
Tensione caratteristica di snervamento (per spessori 60<t≤100mm)	$f_{yk,s}$	315	N/mm ²
Tensione caratteristica di rottura (per spessori t≤60mm)	$f_{tk,s}$	490-630	N/mm ²
Tensione caratteristica di rottura (per spessori 60<t≤100mm)	$f_{tk,s}$	470-610	N/mm ²

Acciaio per profili parapetto

Acciaio S235			
Modulo di elasticità normale (modulo di <i>Young</i>)	E_s	210000	N/mm ²
Densità	ρ_s	7850	kg/m ³
Peso specifico	γ_s	77.01	kN/m ³
Coefficiente di <i>Poisson</i>	ν_s	0.3	-
Coefficiente di espansione termica lineare	α_s	12x10 ⁻⁶	°C ⁻¹
Tensione caratteristica di snervamento (per spessori t≤40mm)	$f_{yk,s}$	235	N/mm ²
Tensione caratteristica di snervamento (per spessori 40<t≤80mm)	$f_{yk,s}$	215	N/mm ²
Tensione caratteristica di rottura (per spessori t≤40mm)	$f_{tk,s}$	360	N/mm ²
Tensione caratteristica di rottura (per spessori 40<t≤80mm)	$f_{tk,s}$	360	N/mm ²

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 16 di 90

6 TIPO DI ANALISI

Sono state svolte analisi *statiche lineari* per la determinazione dello stato di sollecitazione e di deformazione nelle membrature.

7 MODELLO DI CALCOLO

L'impalcato è stato schematizzato tramite il metodo agli elementi finiti (*finite elements method*, o *FEM*) (Figura 8).

Sono stati adottati elementi bidimensionali a comportamento membranale e flessionale (*shell*) per le seguenti membrature strutturali;

- lamiera di fondo;
- anime inclinate;
- piattabande superiori;
- irrigidimenti verticali.

Nella definizione del modello si è operato in modo da far coincidere l'asse globale X con l'asse longitudinale del ponte, ed orientato positivo nel verso che va dagli appoggi fissi verso gli appoggi mobili, l'asse globale Y con l'asse trasversale, orientato positivo verso l'intervista, e l'asse globale Z con l'asse verticale.

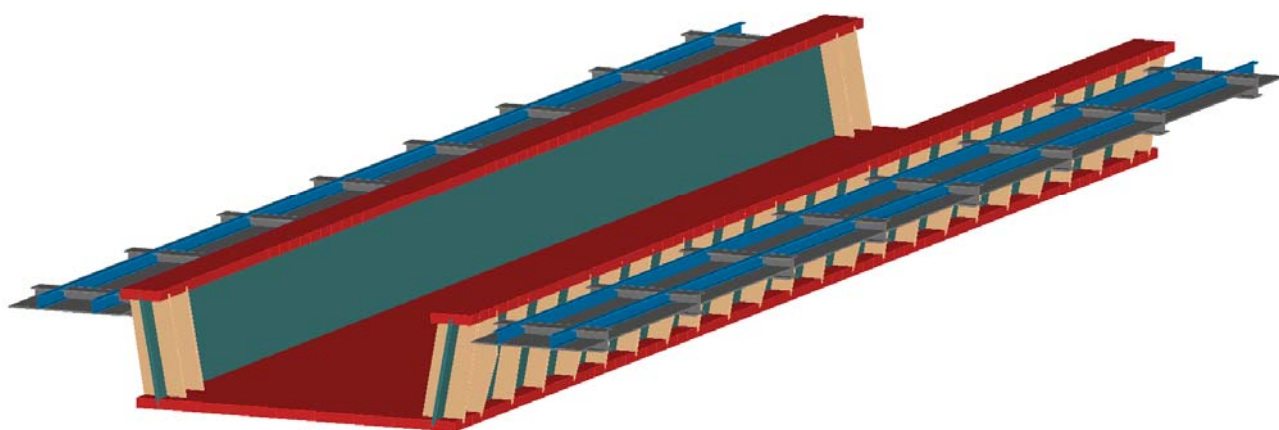
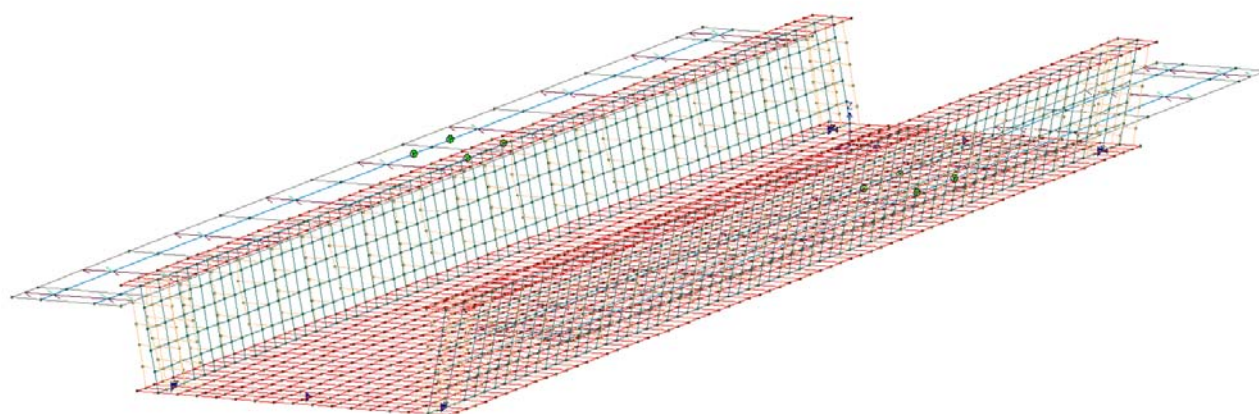


Figura 8 - Vista estrusa del modello FEM

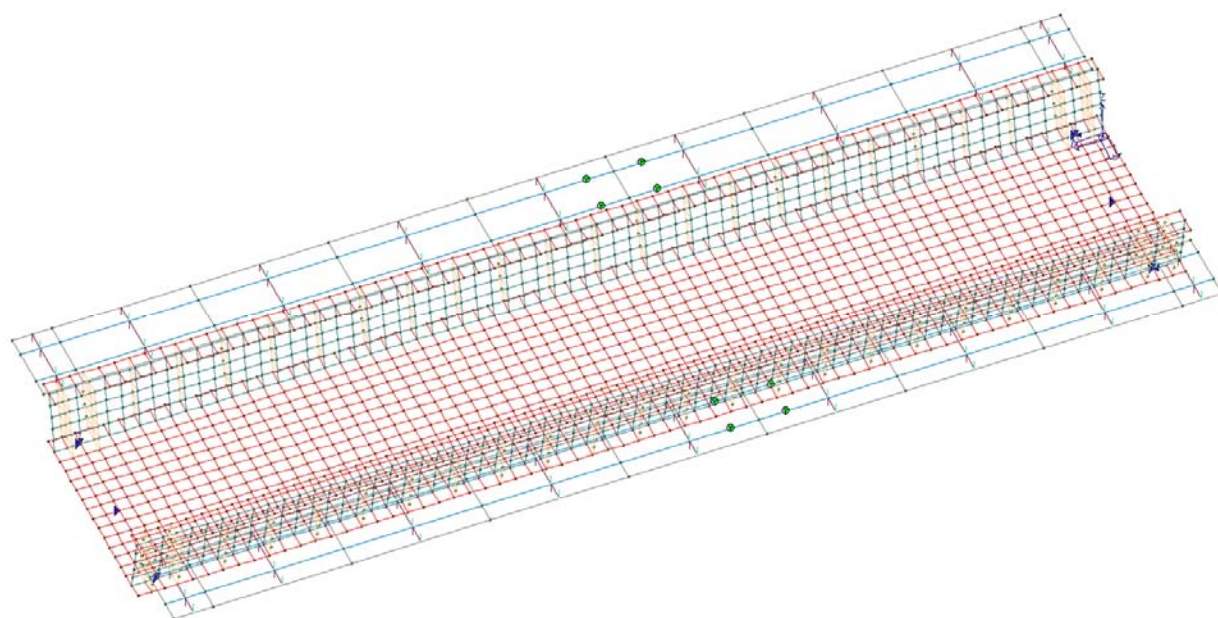
La geometria del modello è stata costruita in modo che per ogni elemento strutturale (lamiera di fondo, piattabande superiori, etc.) i rispettivi elementi shell che lo schematizzano siano contenuti nel piano medio del suo spessore.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	
		FOGLIO 17 di 90

Nella definizione delle dimensioni e nel posizionamento degli elementi shell (definizione della *mesh*) si è avuto cura di far in modo che i nodi fossero per lo più disposti secondo allineamenti paralleli agli assi globali X, Y e Z. Ne è derivata una mesh abbastanza regolare.



a



b

Figura 9 - Modello ad elementi finiti

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 18 di 90

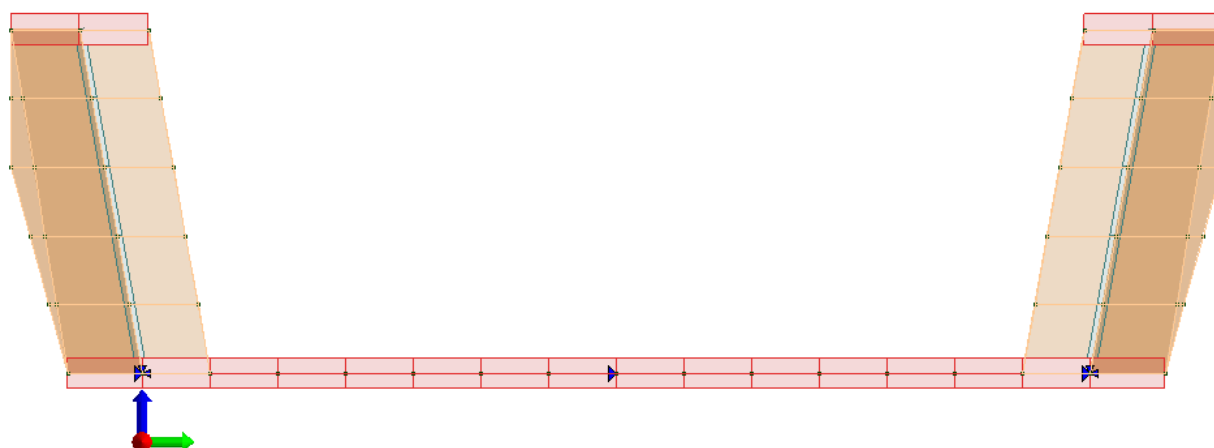


Figura 10 - Modellazione irrigidimenti correnti e di estremità

A ciascun elemento shell è stato assegnato il materiale e lo spessore dell'elemento strutturale da esso schematizzato. Ovviamente per tutti gli elementi shell il materiale assegnato è l'acciaio, le cui caratteristiche meccaniche (modulo di *Young*, coefficiente di *Poisson*, densità, peso specifico, coefficiente di espansione termica) sono riportate nel §5.1. Per l'assegnazione degli spessori degli elementi shell si è dunque fatto riferimento alla Tabella 2.

Elemento strutturale	Spessore mm
-	
Lamiera di fondo	90
Piattabanda superiore destra	90
Piattabanda superiore sinistra	90
Anima inclinata destra	30
Anima inclinata sinistra	30
Irrigidimenti verticali correnti	26
Irrigidimenti verticali di estremità	26

Tabella 2 -Spessori strutturali

Gli appoggi sono stati modellati con elementi puntiformi in corrispondenza dei nodi strutturali.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 19 di 90



NODO	VINCOLO
78	FISSO
82	MULTIDIREZIONALE
79	FISSO
1985	UNIDIREZIONALE
1989	MULTIDIREZIONALE
1986	UNIDIREZIONALE

Figura 11 - Numerazioni nodi vincolati

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 20 di 90

8 AZIONI SULLA STRUTTURA

Sono state considerate agenti sulla struttura le seguenti azioni:

Condizione di carico	Descrizione
<i>Azioni permanenti: peso proprio di tutti gli elementi strutturali (G_1)</i>	
G1	Peso proprio strutturale
<i>Azioni permanenti: peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G_2)</i>	
G2_3	Peso del ballast e dell'armamento
<i>Azioni variabili: azioni derivanti dal traffico ferroviario (Q_1, Q_2 e Q_3)</i>	
Q1_1	Azione verticale del modello di carico LM71 in mezzeria
Q1_2	Azione verticale del modello di carico LM71 sull'appoggio
Q1_3	Azione verticale del modello di carico SW/2 (ponte interamente caricato)
Q2_1	Azione di frenatura del modello di carico LM71 (orientata verso appoggio mobile)
Q2_2	Azione di frenatura del modello di carico SW/2 (orientata verso appoggio mobile)
Q2_3	Azione di avviamento dei modelli di carico LM71 e SW/2 (orientata verso appoggio mobile)
Q3_1	Azione laterale (serpeggio) in mezzeria (orientata verso l'esterno)
Q3_1	Azione laterale (serpeggio) sugli appoggi (orientata verso l'esterno)
<i>Azioni variabili: azione del vento (Q_4)</i>	
Q4_1	Azione del vento agente sul treno (orientata verso l'esterno)
<i>Azioni sismiche: azione derivanti dai terremoti (E)</i>	
Ex	Componente orizzontale dell'azione sismica diretta secondo l'asse X (orientata verso l'appoggio mobile)
Ey	Componente orizzontale dell'azione sismica diretta secondo l'asse Y (orientata verso l'esterno)
Ez	Componente verticale dell'azione sismica diretta secondo l'asse Z (orientata verso l'alto)

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 21 di 90

8.1 Pesì proprio elementi strutturali G_1

Il peso proprio della struttura è determinato considerando il peso specifico dell'acciaio pari a 7850 kg/m^3
 $= 7850 \cdot 9.81 / 1000 = 77.01 \text{ kN/m}^3$ (Tabella 3).

Materiale costruttivo	Simbolo	Peso specifico
Acciaio	γ_s	78.00 kN/m^3

Tabella 3 - Pesì specifici dei materiali degli elementi strutturali

Considerando il volume di acciaio si ottiene il peso proprio degli elementi strutturali riportato nella tabella seguente.

Descrizione	Volume	Peso specifico	Peso
	[m3]	[kN/m3]	[kN]
Peso proprio cassone	6.881292	7.80E+01	536.7
Peso struttura camminamento			16.1
Peso parapetto			12.5
Totale peso proprio G_1			565.3

Tabella 4 - Peso elementi strutturali

Al fine di validare il modello di calcolo, si riporta la somma delle reazioni verticali dovuta al peso proprio estrapolata dal software di calcolo.

Nodo	Tipo	FZ
78	F	131.1
82	M	19.2
79	F	131.1
1985	UL	131.1
1989	M	19.2
1986	UL	131.1
Somma		562.8

Figura 12 - Peso proprio

8.2 Pesì proprio ballast e armamento G_1

Il peso della massicciata, dell'armamento e dell'impermeabilizzazione (inclusa la protezione) è stato valutato assumendo un peso di volume convenzionale $\gamma_b = 18.00 \text{ kN/m}^3$ applicato su tutta la larghezza del cassone, per un'altezza media $h_b = 0.80 \text{ m}$.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 22 di 90

Campata	Lunghezza	Luce di calcolo	hb	Bm	Area	Volume	peso specifico	Peso	qg2_1
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m2]	[m3]	[kN/m3]	[kN]	[kN/m2]
Unica	15.9	15.1	0.8	2.80	46.11	36.888	18	663.984	14.91

Tabella 5 - Peso del ballast e dell'armamento

Questa azione è stata schematizzata come una pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo pari a 14.91 kN/m².

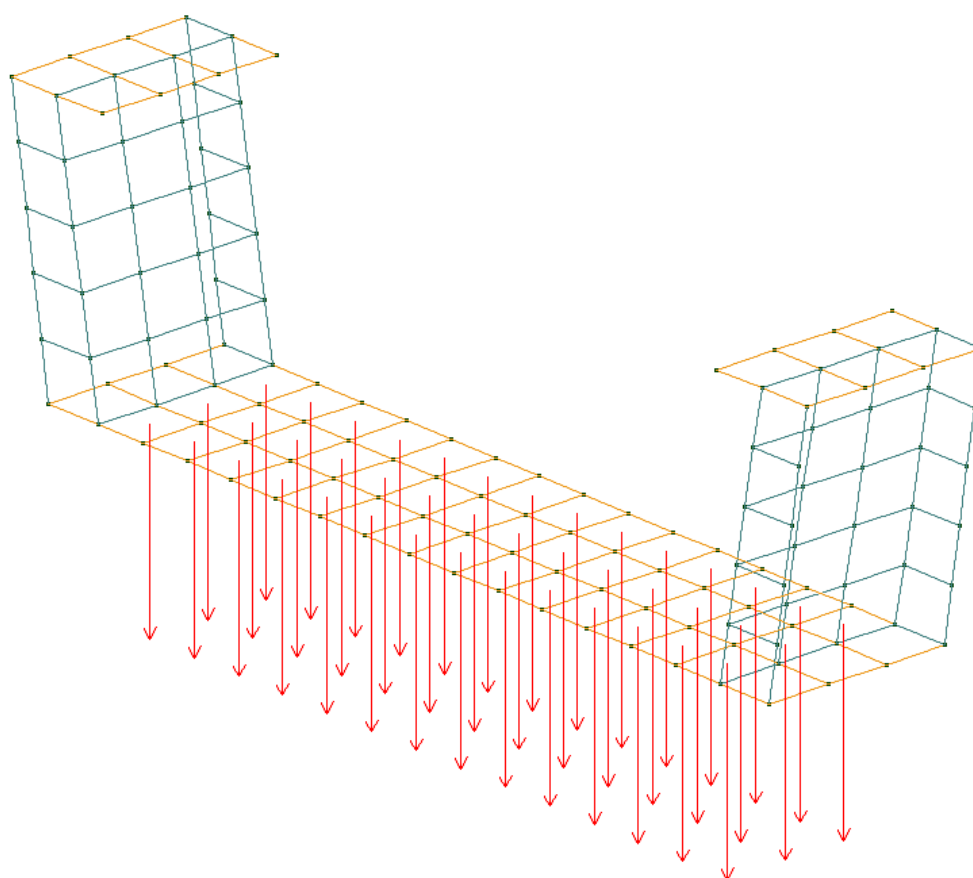


Figura 13 - Pressione G_{2,1}

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 23 di 90

Nodo	Tipo	FZ
78	F	137.87
82	M	53.84
79	F	137.87
1985	UL	137.87
1989	M	53.84
1986	UL	137.87
Somma		659.16

Figura 14 - Carico da ballast totale

8.3 Azione verticale del modello di carico LM71 in mezzzeria $Q_{1,1}$

Per schematizzare gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale si considera lo schema del modello di carico LM71, che risulta costituito da:

- quattro assi da 250 kN disposti ad interasse da 1.60 m;
- carico distribuito di 80 kN/m in entrambe le direzioni, a partire a 0.8 m dagli assi di estremità e per una lunghezza illimitata.

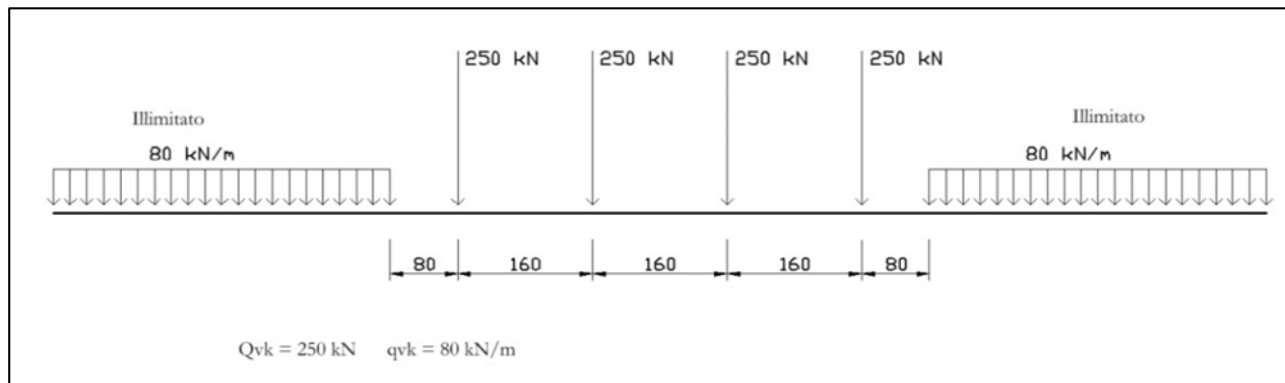


Figura 15 - Modello di carico LM71

I valori dei carichi caratteristici attribuiti a questo modello di carico sono stati moltiplicati per il coefficiente $\alpha = 1.1$.

Il quattro assi vengono assimilati ad un carico distribuito su una lunghezza di 6.40 m e di intensità pari a $4 \times 250 / 6.40 = 156.25$ kN/m, che moltiplicato per il coefficiente α diventa $1.1 \times 156.25 = 171.88$ kN/m.

Il carico distribuito da 80 kN/m moltiplicato per α diventa $1.1 \times 80.00 = 88.00$ kN/m.

Nella condizione di carico che si sta esaminando, il carico è stato applicato in modo tale che l'asse centrale dei 4 assi risulti coincidente con l'asse di mezzzeria dell'impalcato.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 24 di 90

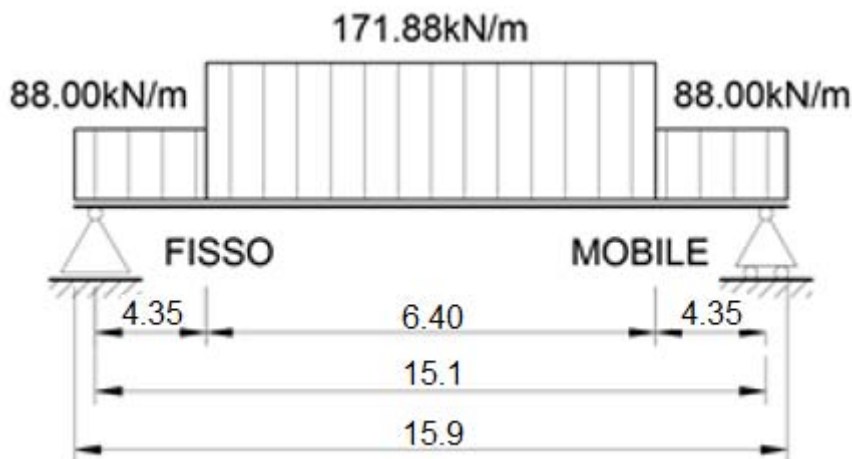
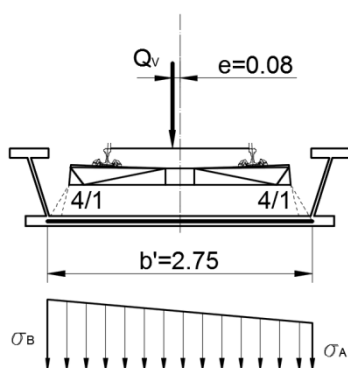


Figura 16 - Disposizione del modello di carico LM71 nella condizione $Q_{1,1}$

In senso trasversale il carico viene ripartito secondo lo schema riportato nella Figura 17 e considerando un'eccentricità $e = 8$ cm (lato esterno, opposto all'intervia).



$$\sigma_A = \frac{q_v}{b'} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e}{b'}\right)$$

$$\sigma_B = \frac{q_v}{b'} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e}{b'}\right)$$

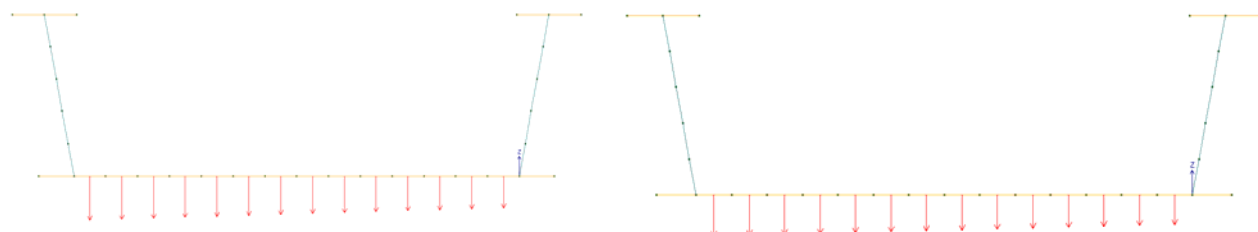
Figura 17 - Ripartizione trasversale

Campata	Qvk	n_Qvk	α	qvd	L_Qvk	L_qvk	qk_Qv
	[kN]	[n°]		[kN/m]	[m]	[m]	[kN/m]
Unica	250	4	1.1	88	6.4	8.70	171.88

qk_Qv	qvd	b'	scart.	e	σA_Qv	σB_Qv	σA_qvd	σA_qvd
[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN/m2]
171.88	88	2.75	1.435	0.08	51.64	73.40	26.44001	37.58

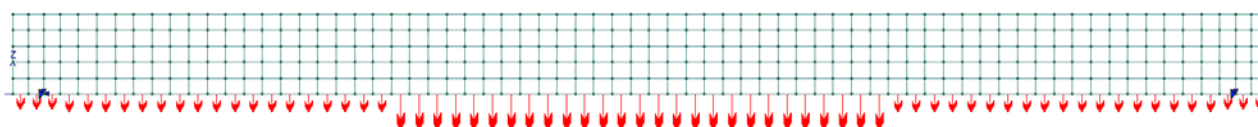
Questa azione è stata schematizzata come una pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo con intensità variabile in senso trasversale da $\sigma_A(Q_v)$ [$\sigma_A(q_v)$] a $\sigma_B(Q_v)$ [$\sigma_B(q_v)$].

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 25 di 90



a – in corrispondenza dei 4 assi

b – in corrispondenza del carico distribuito



c - Vista laterale dei carichi sulla piastra di base

Figura 18 - Pressioni corrispondenti alla condizione di carico $Q_{1,1}$

Al fine di validare il modello di calcolo, si riporta la somma delle reazioni verticali dovuta al peso proprio estrapolata dal software di calcolo.

Nodo	Tipo	FZ
78	F	395.85
82	M	119.90
79	F	452.45
1985	UL	395.85
1989	M	119.90
1986	UL	452.45
Somma		1936.4

8.4 Azione verticale del modello di carico LM71 sull'appoggio Q1_2

Nella condizione di carico che si sta esaminando, il carico è stato applicato in modo tale che il primo asse di estremità sia applicato sull'appoggio fisso e i restanti 3 assi, unitamente al carico distribuito illimitato, siano sull'impalcato.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 26 di 90

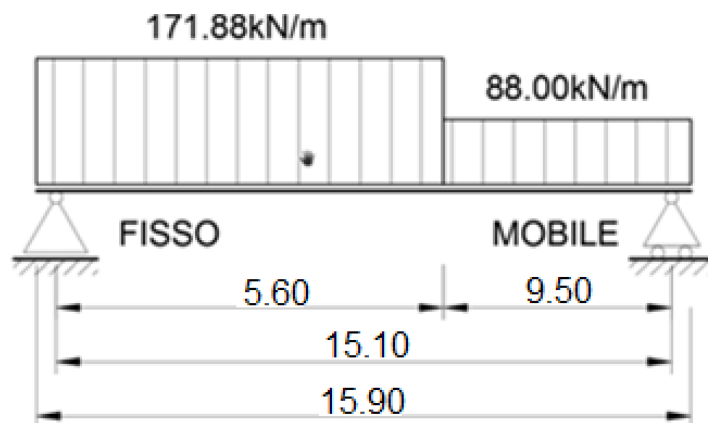
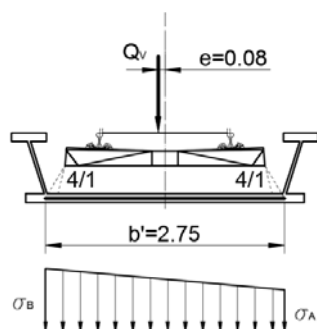


Figura 19 - Disposizione del modello di carico LM71 nella condizione Q_{1,1}

In senso trasversale il carico viene ripartito secondo lo schema riportato nella Figura 20 e considerando un'eccentricità $e = 8$ cm (lato esterno, opposto all'intervia).



$$\sigma_A = \frac{Q_V}{b'} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e}{b'}\right)$$

$$\sigma_B = \frac{Q_V}{b'} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e}{b'}\right)$$

Figura 20 - Ripartizione trasversale

Questa azione è stata schematizzata come una pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo, con intensità variabile in senso trasversale da $\sigma_A(Q_V)$ [$\sigma_A(q_V)$] a $\sigma_B(Q_V)$ [$\sigma_B(q_V)$].

Campata	Qvk	n_Qvk	α	qvd	L_Qvk	L_qvk	qk_Qv
	[kN]	[n°]		[kN/m]	[m]	[m]	[kN/m]
Unica	250	4	1.1	88	6.0	9.1	183.33

qk_Qv	qvd	b'	scart.	e	σ_{A_Qv}	σ_{B_Qv}	σ_{A_qvd}	σ_{B_qvd}
[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
183.33	88	2.75	1.435	0.08	55.07	78.26	26.43	37.57

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 27 di 90

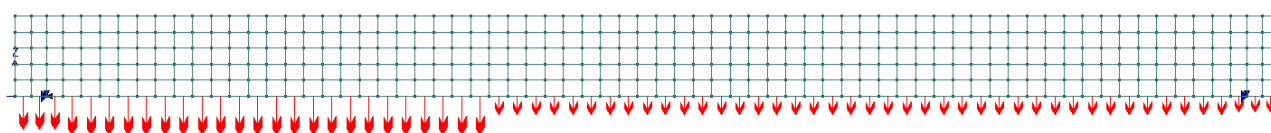
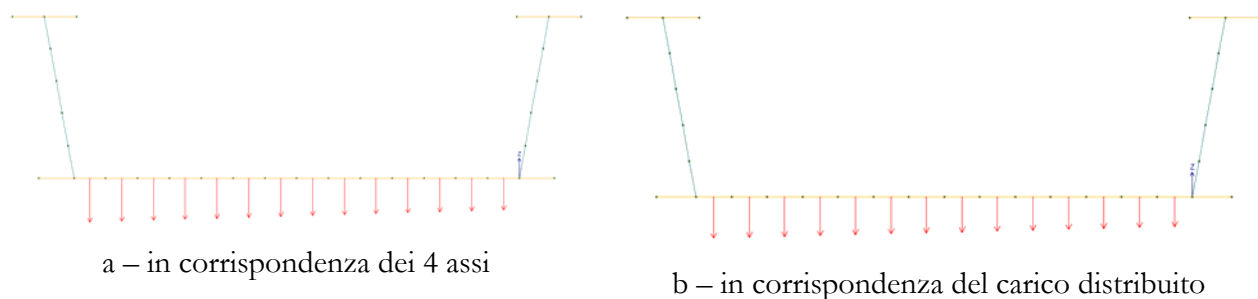


Figura 21 - Pressioni corrispondenti alla condizione di carico $Q_{1,2}$

Al fine di validare il modello di calcolo, si riporta la somma delle reazioni verticali dovuta al peso proprio estrapolata dal software di calcolo.

Nodo	Tipo	FZ
78	F	435.19
82	M	237.25
79	F	503.98
1985	UL	319.57
1989	M	114.61
1986	UL	366.37
Somma		1977.0

8.5 Azione verticale del modello di carico SW/2 $Q_{1,3}$

Per schematizzare gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante si considera lo schema del modello di carico SW/2, che risulta costituito da due carichi distribuiti di intensità 150 kN/m agenti su una lunghezza $A = 25$ m distanti l'uno dall'altro $C = 7.0$ m.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 28 di 90

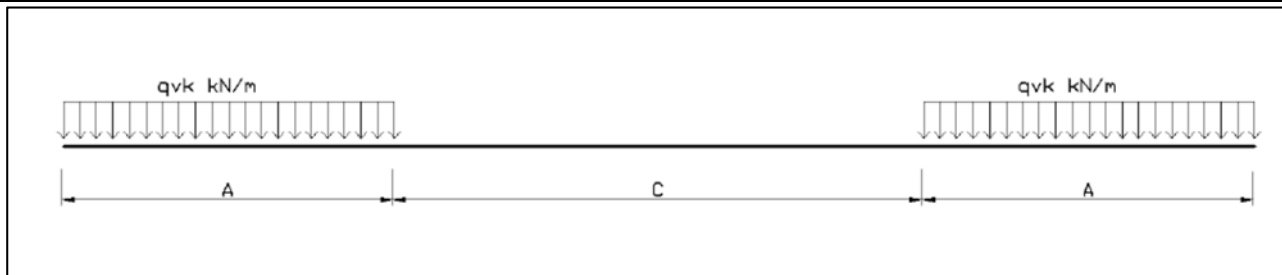


Figura 22 - Modello di carico SW/2

I valori dei carichi caratteristici attribuiti a questo modello di carico sono stati moltiplicati per il coefficiente $\alpha = 1.0$.

Poiché la lunghezza della stesa di carico A è maggiore della lunghezza dell'impalcato, si considera un'unica condizione di carico che prevede l'impalcato interamente caricato.

In senso trasversale il carico viene ripartito secondo lo schema riportato nella Figura 23.

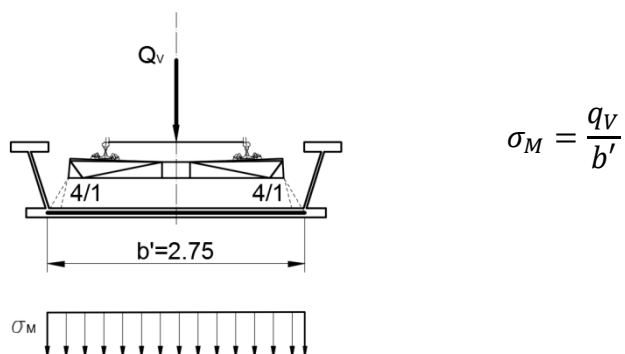


Figura 23 - Ripartizione trasversale

Azione verticale SW/2				
Campata	Qvk	b'	L_Qvk	σ_m
	[kN/m]	[m]	[m]	[kN/m ²]
Unica	150	2.75	15.1	54.55

Questa azione è stata schematizzata come una pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo, con intensità pari a $\sigma_M(q_V)$.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 29 di 90

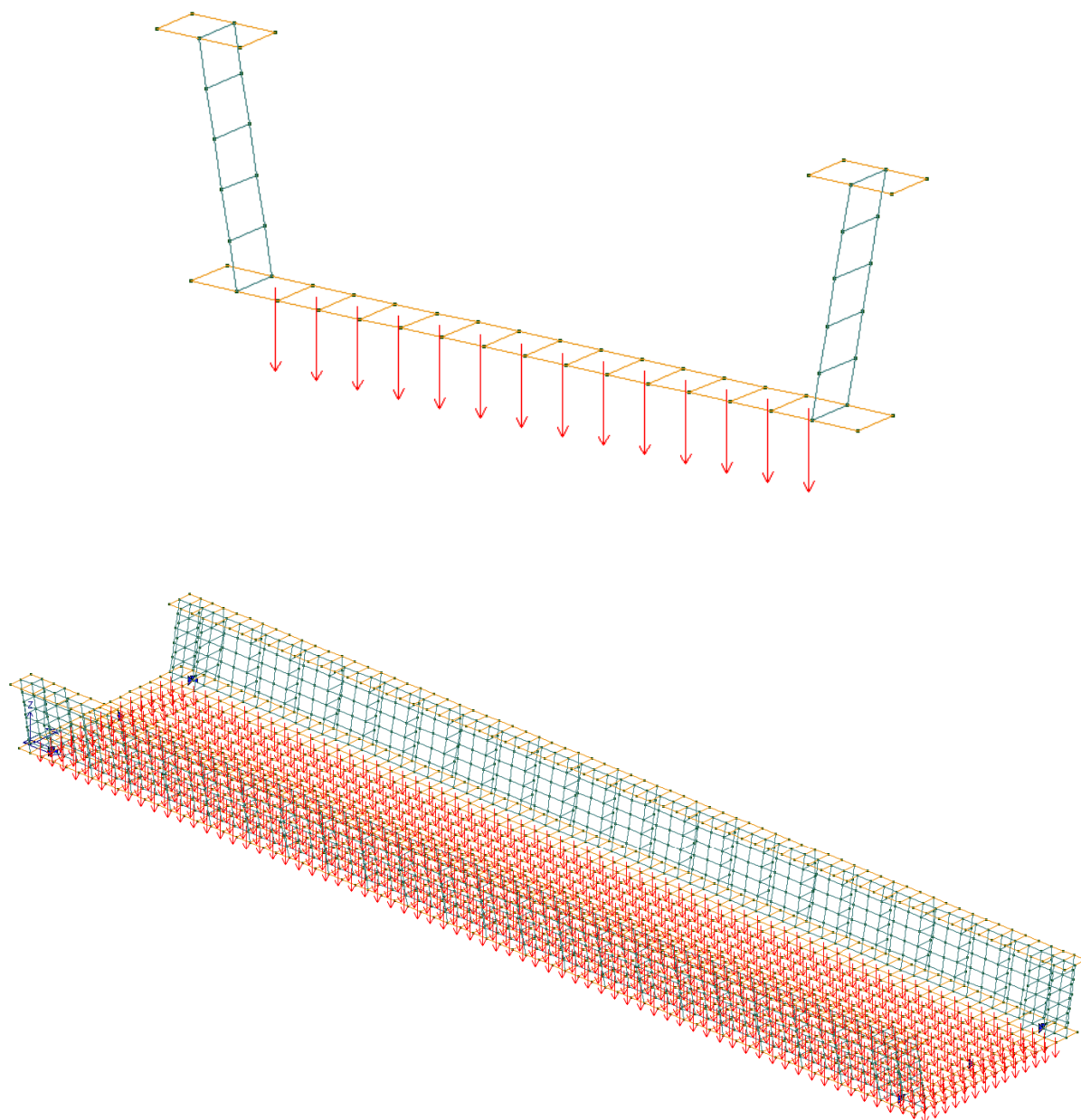


Figura 24 - Pressioni corrispondenti alla condizione di carico $Q_{1,2}$

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 30 di 90

Al fine di validare il modello di calcolo, si riporta la somma delle reazioni verticali dovuta al peso proprio estrapolata dal software di calcolo.

Nodo	Tipo	FZ
78	F	501.38
82	M	195.78
79	F	501.38
1985	UL	501.38
1989	M	195.78
1986	UL	501.38
Somma		2397.0

8.6 Azione di frenatura del modello di carico LM71 Q2_1

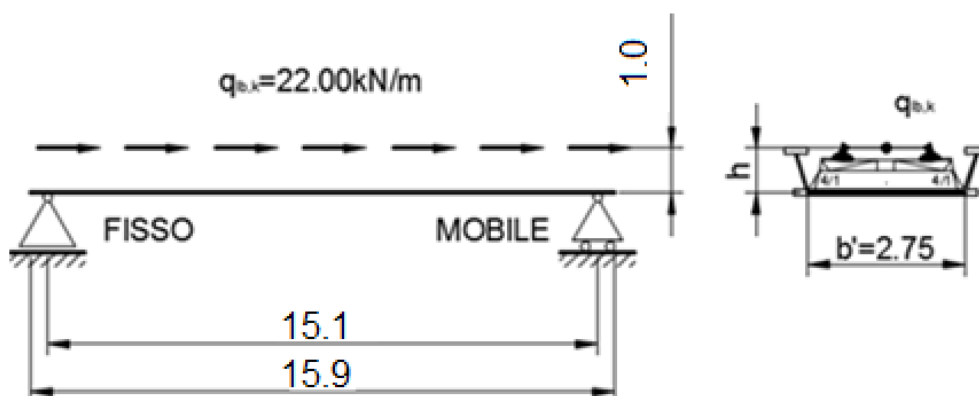
L'azione di frenatura del modello di carico LM71 è stata assimilata a forze parallele all'asse del binario caricato e distribuite uniformemente distribuite lungo tutta la lunghezza L dell'impalcato. Tali forze sono state ipotizzate agenti sulla sommità del binario.

L'intensità della forza di frenatura distribuita si è assunta pari a:

$$q_{lb,k} = \alpha \times 20.00 = 1.1 \times 20.00 = 22.00 \text{ kN/m}$$

per cui la forza di frenatura agente sull'impalcato vale:

$$Q_{lb,k} = q_{lb,k} \times L = 22.00 \times 15.90 = 349.8 \text{ kN}$$



	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 31 di 90

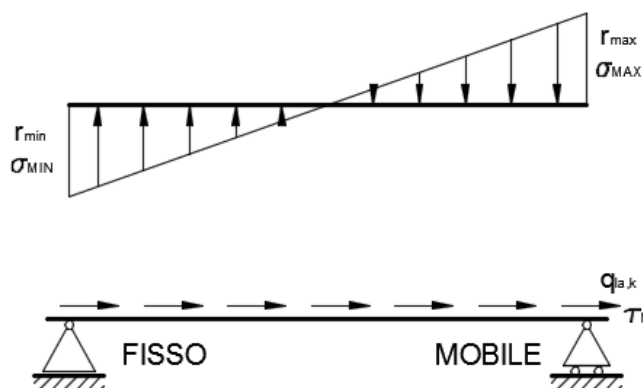


Figura 25 - Schematizzazione della forza di frenatura

$$r_{max} = -r_{min} = \frac{6 \cdot Q_{lb,k} \cdot h}{L^2} \quad \text{e} \quad \sigma_{MAX} = -\sigma_{MIN} = \frac{r_{max}}{b'}$$

$$\tau_M = \frac{q_{lb,k}}{b'}$$

Frenatura LM 71 Q2_1					
Campata	q	α	$q_{lb,k}$	L	$Q_{lb,k}$
	[kN/m]		[kN/m]	[m]	[kN]
Unica	20	1.1	22	15.90	349.8
L	h	rmax	b'	σ_{max}	τ_{max}
[m]	[m]		[m]	[kN/m2]	[kN/m2]
15.9	1.0	8.30	2.75	8.30	8.00

Questa azione è stata schematizzata

- con un pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo, in direzione dell'asse globale Z, e con intensità variabile in senso longitudinale da $\sigma_{MAX}(Q_{lb,k})$ a $\sigma_{MIN}(Q_{lb,k})$ (Figura 26);
- e con una pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo, in direzione dell'asse globale X, e intensità pari a τ_M (Figura 26).

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 32 di 90

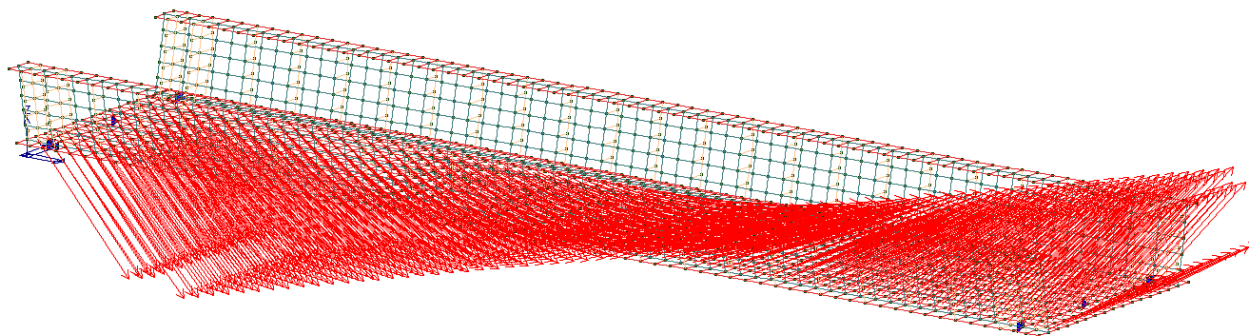


Figura 26 - Pressioni corrispondenti alla condizione di carico $Q_{2,1}$

Al fine di validare il modello di calcolo, si riporta la somma delle reazioni verticali dovuta al peso proprio estrapolata dal software di calcolo.

Nodo	Tipo	FX
78	F	175.77
82	M	0
79	F	175.77
1985	UL	0
1989	M	0
1986	UL	0
Somma		351.54

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 33 di 90

8.7 Azione di frenatura del modello di carico SW/2 Q2_2

L'azione di frenatura del modello di carico SW/2 è stata assimilata a forze parallele all'asse del binario caricate e distribuite uniformemente distribuite lungo tutta la lunghezza L dell'impalcato. Tali forze sono state ipotizzate agenti sulla sommità del binario.

L'intensità della forza di frenatura distribuita si è assunta pari a:

$$q_{lb,k} = \alpha \times 35.00 = 1.0 \times 35.00 = 35.00 \text{ kN/m}$$

per cui la forza di frenatura agente sull'impalcato vale:

$$Q_{lb,k} = q_{lb,k} \times L = 35.00 \times 10.54 = 556.5 \text{ KN.}$$

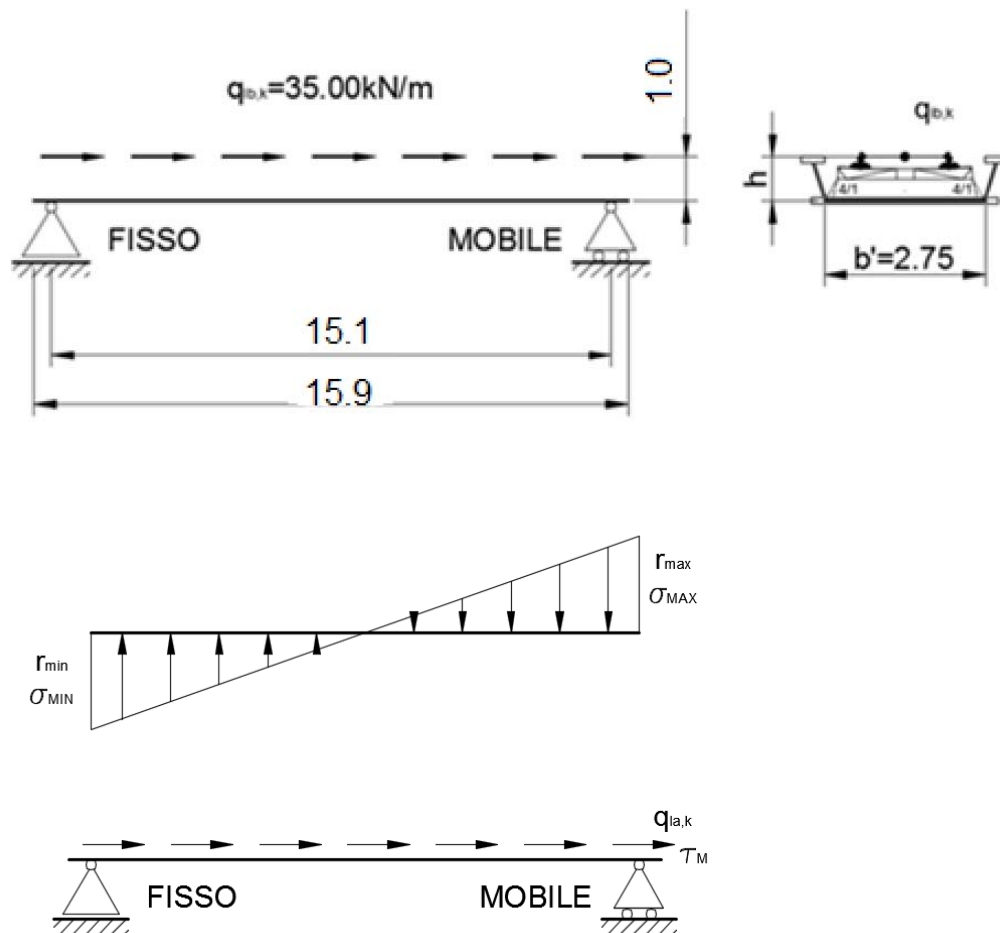


Figura 27 - Schematizzazione della forza di frenatura

$$r_{max} = -r_{min} = \frac{6 \cdot Q_{lb,k} \cdot h}{L^2} \quad \text{e} \quad \sigma_{MAX} = -\sigma_{MIN} = \frac{r_{max}}{b'}$$

$$\tau_M = \frac{q_{lb,k}}{b'}$$

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 34 di 90

Frenatura SW/2 Q2_2					
Campata	q	α	q_lb_k	L	Qlb,k
	[kN/m]		[kN/m]	[m]	[kN]
Unica	35	1	35	15.90	556.5
L	h	rmax	b'	σ_{max}	τ_{max}
[m]	[m]		[m]	[kN/m2]	[kN/m2]
15.9	1.0	13.21	2.75	13.21	12.73

Questa azione è stata schematizzata con un pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo, in direzione dell'asse globale Z, e con intensità variabile in senso longitudinale da $\sigma_{MAX}(Q_{lb,k})$ a $\sigma_{MIN}(Q_{lb,k})$; e con una pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo, in direzione dell'asse globale X, e intensità pari a τ_M .

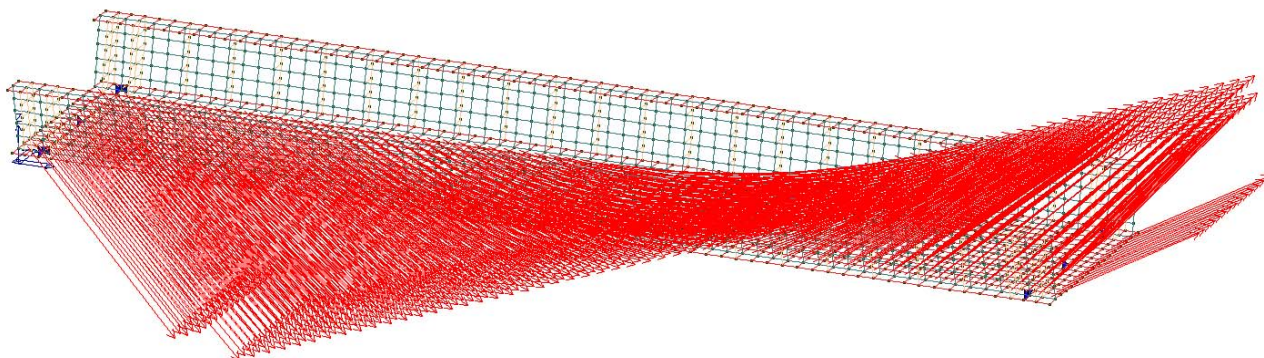


Figura 28 - Pressioni corrispondenti alla condizione di carico Q2_2

Al fine di validare il modello di calcolo, si riporta la somma delle reazioni verticali dovuta al peso proprio estrapolata dal software di calcolo.

Nodo	Tipo	FX
78	F	279.70
82	M	0
79	F	279.70
1985	UL	0
1989	M	0
1986	UL	0
Somma		558.40

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 35 di 90

8.8 Azione di avviamento dei modelli di carico LM71 e SW/2 Q2_3

L'azione di avviamento dei modelli di carico LM71 e SW/2 è stata assimilata a forze parallele all'asse del binario caricato e distribuite uniformemente distribuite lungo tutta la lunghezza L dell'impalcato. Tali forze sono state ipotizzate agenti sulla sommità del binario.

L'intensità della forza di avviamento distribuita si è assunta pari a:

$$q_{la,k} = \alpha \times 33.00 = 1.1 \times 33.00 = 36.30 \text{ kN/m}$$

per cui la forza di frenatura agente sull'impalcato vale:

$$Q_{la,k} = q_{la,k} \times L = 36.30 \times 15.9 = 577.17 \text{ kN}$$

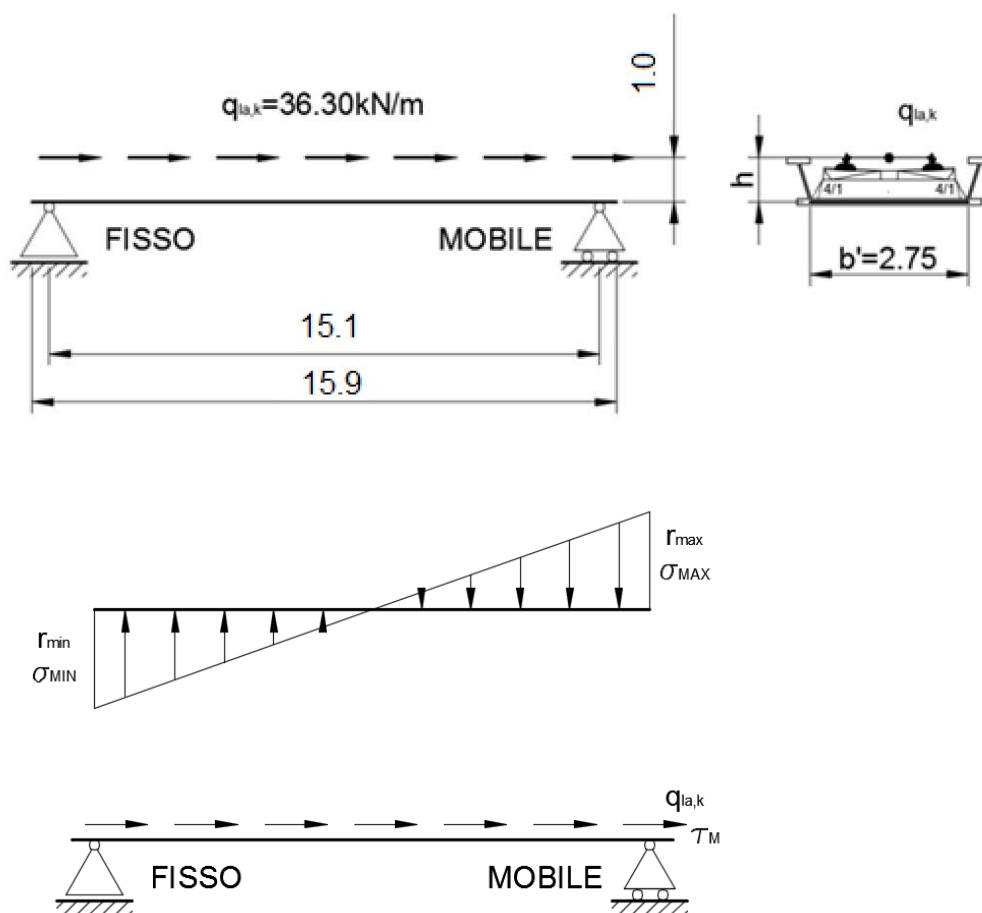


Figura 29 - Schematizzazione della forza di frenatura

$$r_{max} = -r_{min} = \frac{6 \cdot Q_{la,k} \cdot h}{L^2} \quad \text{e} \quad \sigma_{MAX} = -\sigma_{MIN} = \frac{r_{max}}{b'}$$

$$\tau_M = \frac{q_{la,k}}{b'}$$

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 36 di 90

Avviamento LM71 e SW/2 Q2_3					
Campata	q	α	q_la_k	L	Qlb,k
	[kN/m]		[kN/m]	[m]	[kN]
Unica	33	1.1	36.3	10.54	577.17
L	h	rmax	b'	σ_{max}	τ_{max}
[m]	[m]		[m]	[kN/m2]	[kN/m2]
10.54	1	13.70	2.75	13.70	13.20

Questa azione è stata schematizzata con un pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo, in direzione dell'asse globale Z, e con intensità variabile in senso longitudinale da $\sigma_{MAX}(Q_{lb,k})$ a $\sigma_{MIN}(Q_{lb,k})$; e con una pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo, in direzione dell'asse globale X, e intensità pari a τ_M .

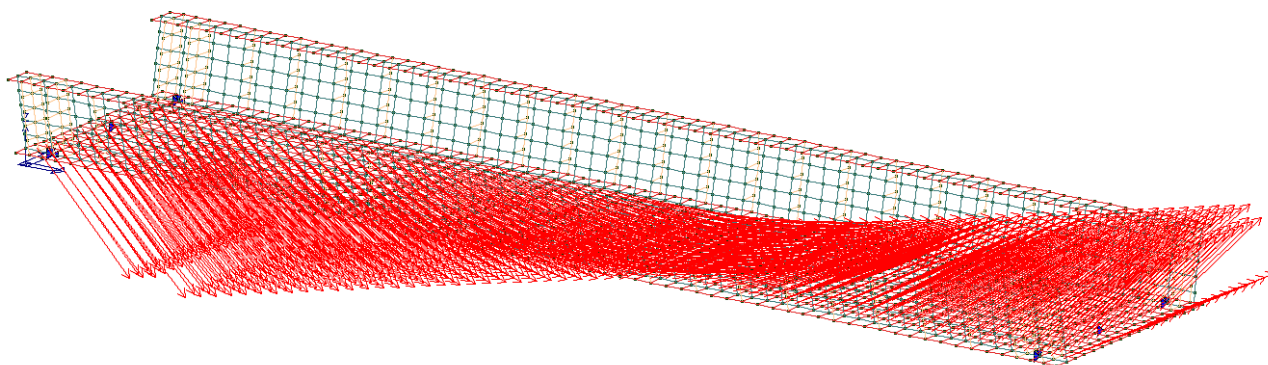


Figura 30 - Pressioni verticali corrispondenti alla condizione di carico Q2_3

Al fine di validare il modello di calcolo, si riporta la somma delle reazioni verticali dovuta al peso proprio estrapolata dal software di calcolo.

Nodo	Tipo	FX
78	F	290.02
82	M	0
79	F	290.02
1985	UL	0
1989	M	0
1986	UL	0
Somma		580.04

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 37 di 90

8.9 Azione laterale (serpeggio) in mezzeria Q3_1

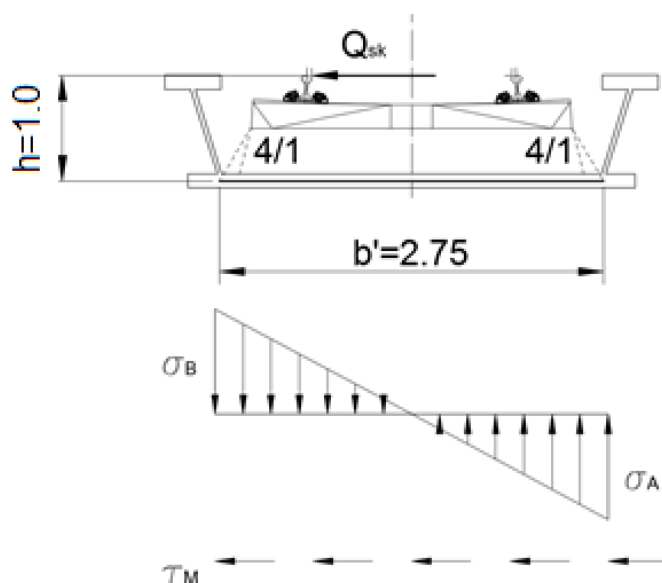
L'azione laterale indotta dal serpeggio è stata assimilata ad una forza concentrata, agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario.

Il valore caratteristico di tale forza è stato assunto pari a:

$$Q_{s,k} = \alpha \times 100.00 = 110.00 \text{ kN}$$

Si considera distribuita su una striscia larga $p = 0.233 \text{ m}$ (dimensione lungo X della mesh su cui è stata applicata).

In questa condizione l'azione laterale di serpeggio si considera agente in corrispondenza della mezzeria dell'impalcato.



$$\sigma_A = -\sigma_B = \frac{6 \cdot Q_{s,k} \cdot h}{p \cdot b'^2}$$

$$\tau_M = \frac{Q_{s,k}}{p \cdot b'}$$

Serpeggio in mezzeria Q3_1 (LM71 / SW/2)				
Campata	Q	α	$Q_{s,k}$	
	[kN/m]		[kN]	
Unica	100	1.1	110	
p	h	b'	σ_{max}	τ_{max}
[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
0.233	1.0	2.75	374.56	171.67

Questa azione è stata schematizzata con una pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo (nella profondità p), in direzione dell'asse globale Z e con intensità variabile in senso trasversale

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	
		FOGLIO 38 di 90

da $\sigma_A(Q_{sk})$ a $\sigma_B(Q_{sk})$; e con una pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo (nella profondità p), con direzione e verso discorde all'asse globale Y, e intensità pari a τ_M .

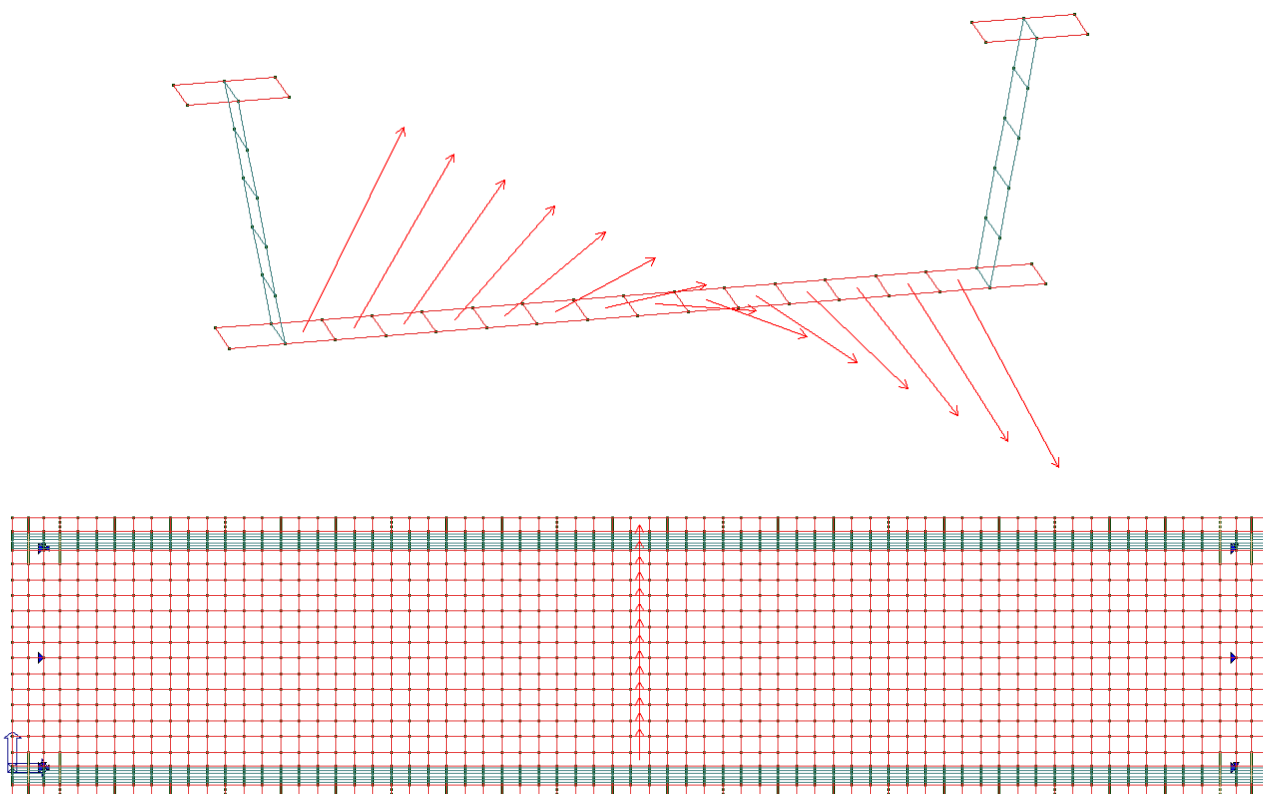


Figura 31 - Pressioni corrispondenti alla condizione di carico $Q_{3,1}$

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 39 di 90

Al fine di validare il modello di calcolo, si riporta la somma delle reazioni verticali dovuta al peso proprio estrapolata dal software di calcolo.

Nodo	Tipo	FY
78	F	46.63
82	M	0
79	F	46.63
1985	UL	8.82
1989	M	0
1986	UL	8.82
Somma		110.9

8.10 Azione laterale (serpeggio) sugli appoggi Q3_2

L'azione laterale indotta dal serpeggio è stata assimilata ad una forza concentrata, agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario.

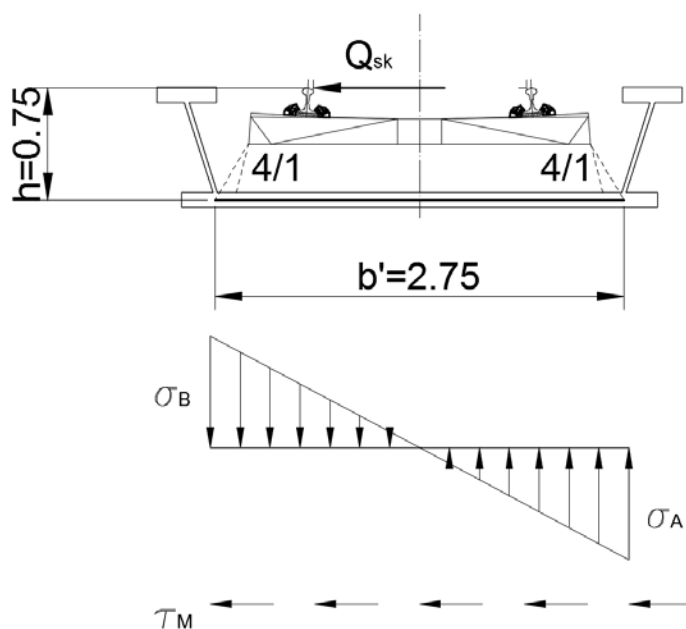
Il valore caratteristico di tale forza è stato assunto pari a:

$$Q_{s,k} = \alpha \times 100.00 = 110.00 \text{ kN}$$

Si considera distribuita su una striscia larga $p = 0.4 \text{ m}$

In questa condizione l'azione laterale di serpeggio si considera agente in corrispondenza dell'estremità lato appoggi fissi dell'impalcato.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 40 di 90



$$\sigma_A = -\sigma_B = \frac{6 \cdot Q_{s,k} \cdot h}{p \cdot b'^2}$$

$$\tau_M = \frac{Q_{s,k}}{p \cdot b'}$$

Serpeggio sugli appoggi Q3_2 (LM71 / SW/2)				
Campata	Q	α	Q_s_k	
	[kN/m]		[kN]	
Unica	100	1.1	110	
p	h	b'	σ_{max}	τ_{max}
[m]	[m]	[m]	[kN/m2]	[kN/m2]
0.40	1.0	2.75	218.18	100

Questa azione è stata schematizzata con

- una pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo (nella profondità p), in direzione dell'asse globale Z e con intensità variabile in senso trasversale ed in senso longitudinale e con
- una pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo (nella profondità p), con direzione e verso discorde all'asse globale Y, e intensità pari a τ_M .

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	
		FOGLIO 41 di 90

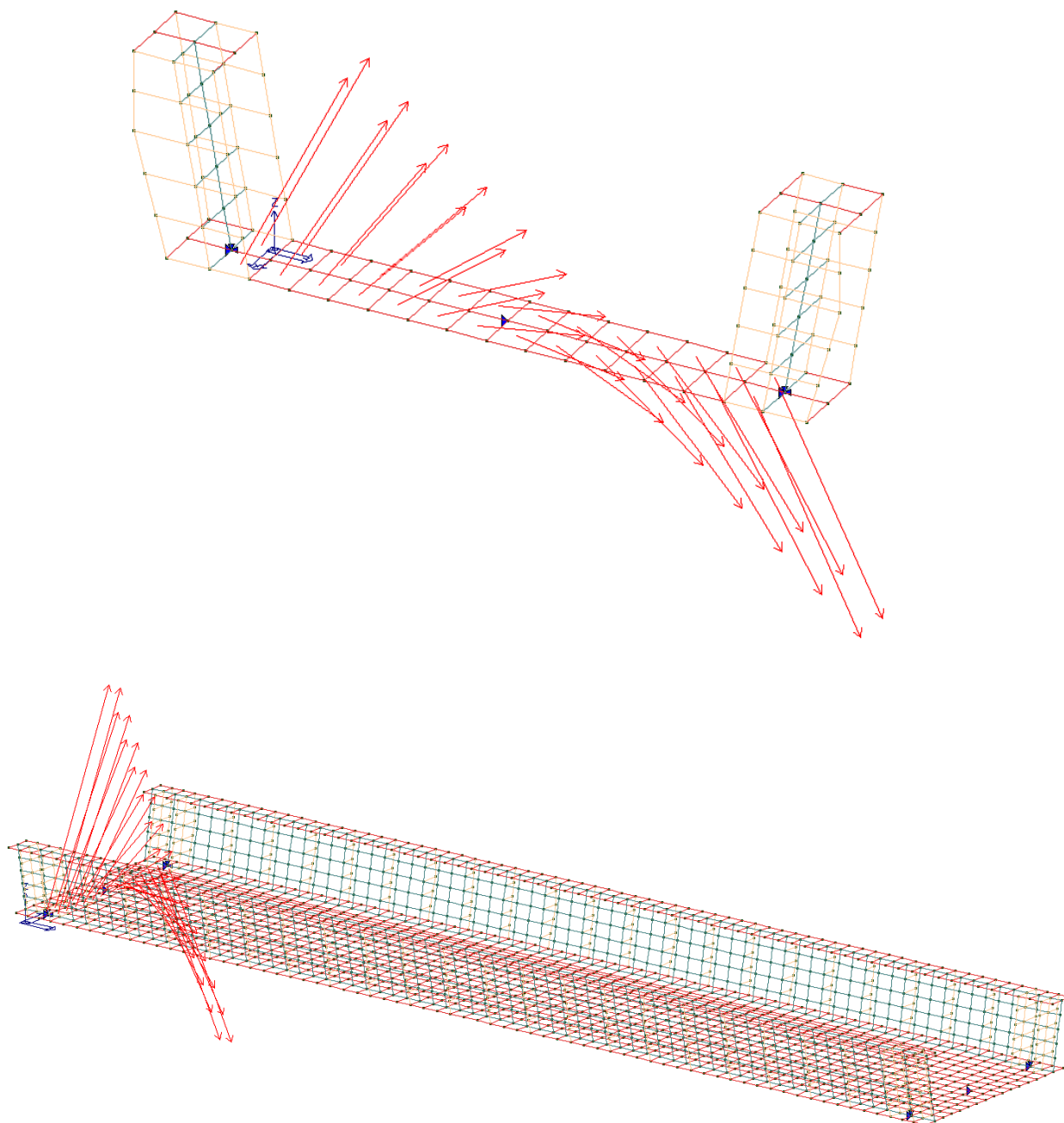


Figura 32 - Pressioni corrispondenti alla condizione di carico $Q_{3,2}$

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 42 di 90

Al fine di validare il modello di calcolo, si riporta la somma delle reazioni verticali dovuta al peso proprio estrapolata dal software di calcolo.

Nodo	Tipo	FY
78	F	54.92
82	M	0
79	F	54.92
1985	UL	0
1989	M	0
1986	UL	0
Somma		109.8

8.11 Azione del vento agente sul treno Q4_1

L'azione del vento è stata assimilata ad una pressione orizzontale statica agente sulla superficie laterale del treno. La superficie laterale del treno è stata assimilata ad una superficie piana continua di altezza convenzionale h_v di m 4.00 dal piano del ferro (P.F.), indipendentemente dalla reale presenza o meno del treno.

L'intensità della pressione statica è stata assunta cautelativamente pari a:

$$p_c = 1.50 \text{ kN/m}^2,$$

essendo la velocità della linea inferiore a 200 km/h.

- una pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo, in direzione dell'asse globale Z e con intensità variabile in senso trasversale da $\sigma_A(Q_V)$ a $\sigma_B(Q_V)$; e con
- una pressione distribuita applicata agli elementi shell della lamiera di fondo, con direzione e verso discorde all'asse globale Y, e intensità pari a τ_M .

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 44 di 90

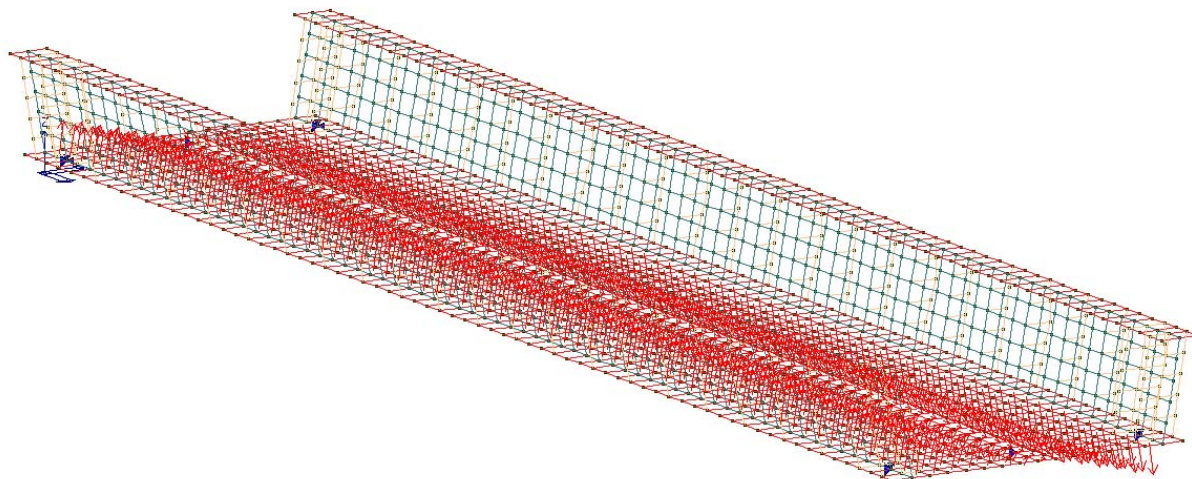


Figura 33 - Pressioni corrispondenti alla condizione di carico $Q_{4.1}$

Al fine di validare il modello di calcolo, si riporta la somma delle reazioni verticali dovuta al peso proprio estrapolata dal software di calcolo.

Nodo	Tipo	FY
78	F	45.33
82	M	0
79	F	45.33
1985	UL	2.57
1989	M	0
1986	UL	2.57
Somma		95.8

8.12 Azione del vento agente sull'anima del cassone $Q_{4.11}$

In questa condizione si considera l'azione statica del vento sulle superfici laterali dell'impalcato.

L'azione è stata schematizzata applicando agli elementi shell dell'anima laterale una pressione uniforme pari a 1.50 kN/m² e con verso normale all'anima del cassone metallico

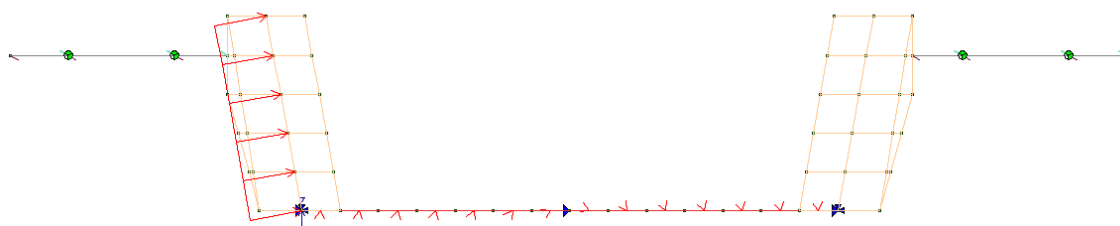


Figura 34 - Pressioni corrispondenti alla condizione di carico $Q_{4.11}$

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 45 di 90

8.13 Azione variabili Q_5

In questa condizione si considera l'azione variabile di 10 kN/m^2 sui camminamenti non contemporanea al traffico ferroviario così come sancito al par. 5.2.2.3.2 del manuale di progettazione.

Tale carico viene modellato tramite l'inserimento di un elemento tipo solaio che scarica le azioni sulle UPN 120 inserite nel modello di calcolo.

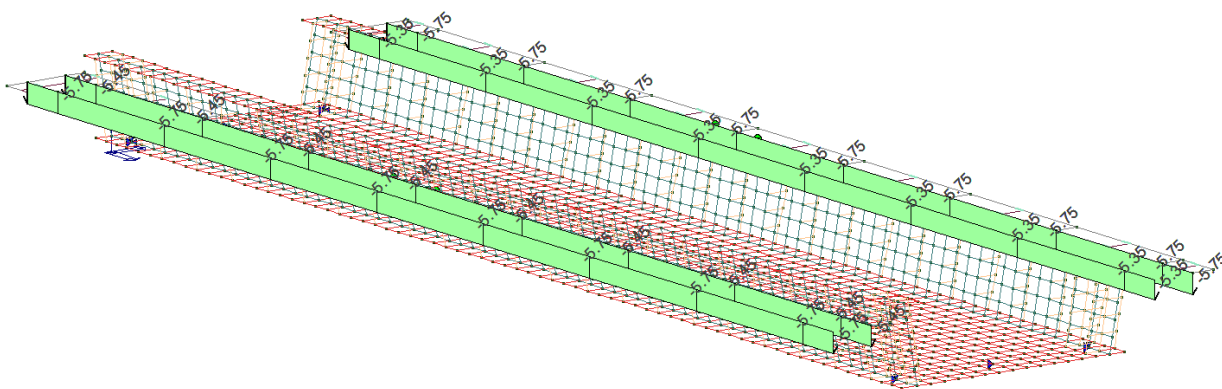


Figura 35 – Carichi distribuiti sulle UPN 120 derivanti dalle azioni variabili sui camminamenti

8.14 Azione sismica E

L'azione sismica viene valutata eseguendo l'analisi dinamica lineare (Modale), valutando lo spettro di progetto per ogni modo analizzato e combinando i modi con il metodo CQC. Il programma genera in automatico per ogni nodo l'azione sismica che viene di seguito combinata considerando le diverse direzioni e i carichi verticali presenti nella combinazione sismica.

Lo spettro di progetto è stato costruito con il programma “Spettri v1.3” fornito dal consiglio superiore per i lavori pubblici e considerando i seguenti dati di ingresso:

- vita nominale: “50 anni”
- classe d'uso: “III”
- stato limite: “SLV”;
- categoria di sottosuolo: “C”;
- categoria topografica: “T₁”;
- spettro di progetto elastico: $q = 1$;
- coordinate geografiche ED 50: $10.5278^\circ, 43.3295^\circ$

1827/17-001-PE-RSPN-00-E002

Ponte a travata metallica Fosso Acquerta
Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra
RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO

FOGLIO
46 di 90

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate
LONGITUDINE: 10.52780 LATITUDINE: 43.32950

☐ Ricerca per comune
REGIONE: Toscana PROVINCIA: Livorno COMUNE: Cecina

Elaborazioni grafiche:
Grafici spettri di risposta
Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche:
Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo:
☒ Rilevamento al reticolo
☐ Interpolazione su 2 nodi
☐ Interpolazione corretta

Interpolazione:
media ponderata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_k : 50 info
Coefficiente d'uso della costruzione - c_d : 1.5 info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_k : 75 info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R : info

Stati limite di esercizio - SLE:
SLO - $P_{10\%}$ = 81% 45
SLD - $P_{10\%}$ = 63% 75

Stati limite ultimi - SLU:
SLV - $P_{10\%}$ = 10% 712
SLC - $P_{10\%}$ = 5% 1462

Elaborazioni:
Grafici parametri azione
Grafici spettri di risposta
Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO
--- Strategia per costruzioni ordinarie
--- Strategia scelta

INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato: SLV info

Risposta sismica locale
Categoria di sottosuolo: C info
Categoria topografica: T1 info
 $S_0 = 1.500$ $C_0 = 1.607$ info
 $h/H = 0.000$ $S_T = 1.000$ info
(frequenza sismica, frequenza sismica topografica)

Compon. orizzontale
☒ Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%): 5 $\eta = 1.000$ info
☐ Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q : 1 Regol. in altezza: sì info

Compon. verticale
Spettro di progetto: Fattore q : 1.5 $\eta = 0.667$ info

Elaborazioni:
Grafici spettri di risposta
Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

--- Spettro di progetto - componente orizzontale
--- Spettro di progetto - componente verticale
--- Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

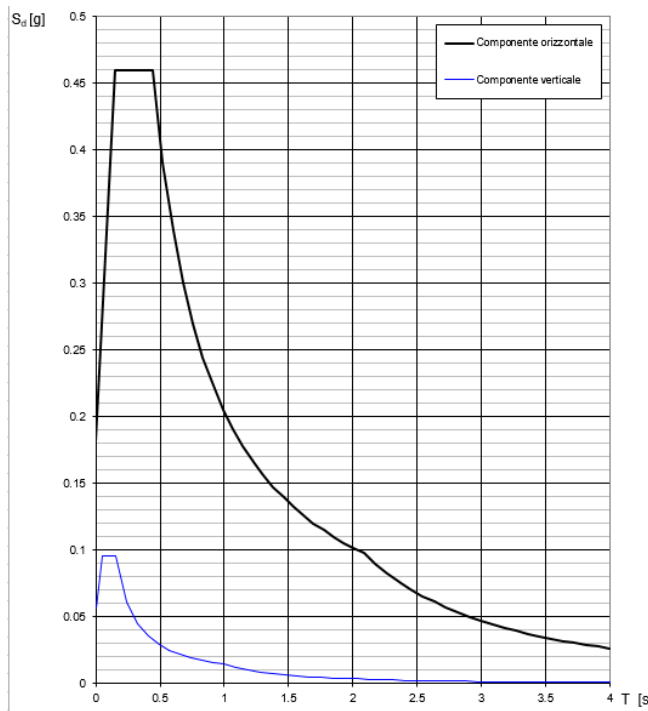
INTRO FASE 1 FASE 2 **FASE 3**

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	45	0.042	2.536	0.222
SLD	75	0.052	2.531	0.245
SLV	712	0.121	2.529	0.275
SLC	1462	0.152	2.550	0.282

1827/17-001-PE-RSPN-00-E002

Ponte a travata metallica Fosso Acquerata
Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra
RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO

FOGLIO
47 di 90



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.121 g
F_0	2.529
T_C^*	0.275 s
S_S	1.500
C_C	1.607
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.500
η	1.000
T_B	0.148 s
T_C	0.443 s
T_D	2.085 s

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0.000	0.182
0.148	0.460
0.443	0.460
0.521	0.391
0.599	0.340
0.677	0.300
0.755	0.269
0.834	0.244
0.912	0.223
0.990	0.205
1.068	0.190
1.146	0.177
1.225	0.166
1.303	0.156
1.381	0.147
1.459	0.139
1.537	0.132

Figura 36 - Spettro di risposta elastico della componente orizzontale dell'azione sismica

La massa sismica M_{SISM} è dovuta al peso W_{SISM} in combinazione quasi permanente dei carichi.

$$W_{SISM} = G_1 + G_{2-1} + 0.2 \cdot Q_{1-3} = 565.30 + 659.16 + 0.2 \cdot 1936.4 = 1611.74 \text{ kN}$$

cui corrisponde una massa sismica di:

$$M_{SISM} = W_{SISM} / g = 1611.74 / 9.81 = 164.3 \text{ t.}$$

In via del tutto cautelativa l'azione sismica si può calcolare come segue:

$$E_x = E_y = W_{sism} a_g S F_0 = 1611.74 \times 0.121 \times 1.5 \times 2.529 = 739.81 \approx 740 \text{ kN}$$

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 48 di 90

8.15 Risultanti delle azioni

Nella Tabella 6 si riportano, in sintesi, i carichi applicati alla struttura precedentemente descritte.

Carichi	FY	FX	Fz
	[kN]	[kN]	[kN]
Gk1	0	0	565.3
Gk_Ballast	0	0	659.16
Qk1_1	0	0	1936.40
Qk1_2	0	0	1977.0
Qk1_3	0	0	2397.0
Qk2_1	0	351.54	0
Qk2_2	0	558.40	0
Qk2_3	0	580.04	0
Qk3_1	110.9	0	0
Qk3_2	109.8	0	0
Qk4_1	95.8	0	0
Qk4_11	23.85	0	0
Ex	0	285.76	0
Ey	266.1	0	0
Ez	0	0	119.1
Q5	0	0	354.61

Tabella 6 - Risultanti delle azioni

8.16 Effetti dinamici

Con riferimento al § 1.4.2.4 del Manuale di progettazione opere civili, si è controllato che è possibile per il ponte in esame applicare un'analisi statica mediante l'uso dei coefficienti di amplificazione dinamica Φ .

Infatti si ha:

- velocità di linea nella tratta in cui ricade il ponte $V=200$ km/h ≤ 200 km/h;
- prima frequenza naturale flessionale dell'impalcato caricato con le azioni permanenti $n_0 = 6.79$ Hz compresa tra il limite superiore $n_{0_SUP} = 94.76 L_\Phi^{-0.748} = 94.76 \times 15.50^{-0.748} = 12.34$ Hz ed il limite inferiore $n_{0_INF} = 80/L_\Phi = 80/15.10 = 5.30$ Hz.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	
		FOGLIO 49 di 90

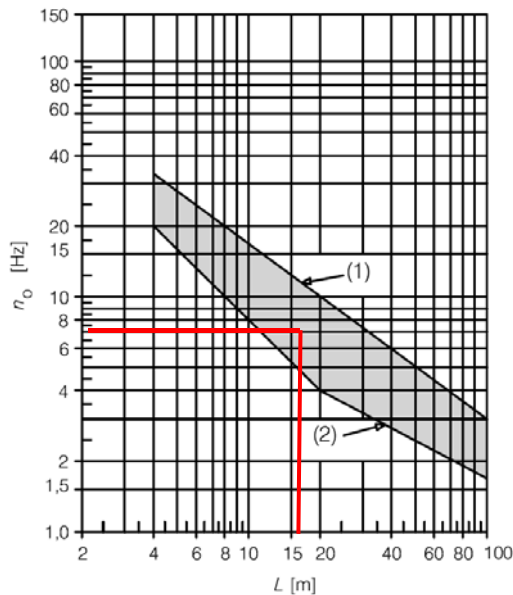


Figura 37 - Limiti della frequenza naturale del ponte n_0 in funzione di L_ϕ

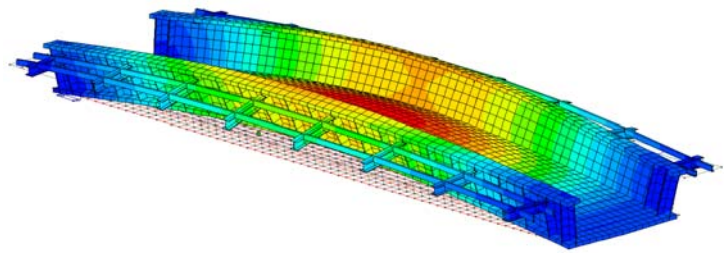


Figura 38 -Prima forma modale naturale flessionale

Quindi le azioni prodotte dall'applicazione statica dei modelli di carico vengono incrementate per tener conto della natura dinamica del transito dei convogli moltiplicandole per il coefficiente di amplificazione dinamica Φ_3 .

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\phi} - 0.2} + 0.73 = 1.29$$

Solo per le verifiche a fatica si adotterà il coefficiente di amplificazione dinamica Φ_2 .

$$\Phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{L_\phi} - 0.2} + 0.82 = 1.19$$

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 50 di 90

8.17 Effetti d'interazione statica treno – binario – struttura

Gli effetti dell'interazione statica treno – binario – struttura dovuti alla continuità delle rotaie tra il ponte ed il rilevato a tergo delle spalle e prodotti da:

- frenatura ed avviamento dei treni;
- variazioni termiche della struttura e del binario;
- deformazioni dovute ai carichi verticali

sono stati valutati con il metodo riportato nell'Allegato 4 del Manuale di Progettazione delle Opere Civili Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture.

Le azioni dovute alla frenatura valgono:

- Per LM71 $q_{lbk} = 20 \text{ kN/m}$
- Per SW2 $q_{lbk} = 35 \text{ kN/m}$

Le azioni dovute all'avviamento vagono:

- $q_{lak} = 33 \text{ kN/m}$

Le forze longitudinali caratteristiche F_{Tk} per ogni binario dovute alle variazioni di temperatura agenti sull'appoggio fisso, per ponti con rotaie continue saldate ad entrambe le estremità dell'impalcato e appoggi fissi ad un'estremità dell'impalcato, possono essere ottenute come segue:

$$F_{Tk} [\text{kN}] = \pm 0,6 k L_T$$

con k [kN/m] resistenza a taglio plastica longitudinale del binario per unità di lunghezza in accordo con il paragrafo C5.2.2.5 della circolare applicativa e L_T [m] lunghezza di espansione.

Le forze longitudinali caratteristiche F_{Qk} per ogni binario agenti sull'apparecchio di appoggio fisso, per ponti con rotaie continue saldate ad entrambe le estremità dell'impalcato e appoggi fissi ad un'estremità dell'impalcato o con apparecchio di dilatazione della rotaia ad un'estremità libera dell'impalcato, dovute alla deformazione dell'impalcato possono essere ottenute come segue:

$$F_{Qk} [\text{kN}] = \pm 20 L \text{ con } L [\text{m}] \text{ lunghezza della campata.}$$

Di seguito si riportano i valori delle reazioni degli appoggi fissi nella combinazione agli stati limite ultimi ottenuti mediante l'applicazione di tale metodo.

1827/17-001-PE-RSPN-00-E002

Ponte a travata metallica Fosso Acquerta
Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra
RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO

FOGLIO
51 di 90

SLE					
AZIONI VERSO FISSO: Percorrenza da fisso a mobile					
TIPO AZIONE	TRENO	TEMP	FREN/AVV	TRAFFICO	Somma
frenatura	LM71	190.8	350	318	858.6
frenatura	SW2	190.8	557	318	1065.3
avviamento	LM71	190.8	577	318	1085.97
avviamento	SW2	190.8	525	318	1033.5
AZIONI VERSO MOBILE: Percorrenza da fisso a mobile					
TIPO AZIONE	TRENO	TEMP	FREN/AVV	TRAFFICO	Somma
frenatura	LM71	190.8	350		540.6
frenatura	SW2	190.8	557		747.3
avviamento	LM71	190.8	577		767.97
avviamento	SW2	190.8	525		715.5

SLU					
AZIONI VERSO FISSO: Percorrenza da fisso a mobile					
TIPO AZIONE	TRENO	TEMP	FREN/AVV	TRAFFICO	Somma
frenatura	LM71	228.96	507.21	461.1	1197.27
frenatura	SW2	228.96	806.93	461.1	1496.985
avviamento	LM71	228.96	836.90	461.1	1526.957
avviamento	SW2	228.96	760.82	461.1	1450.875
AZIONI VERSO MOBILE: Percorrenza da fisso a mobile					
TIPO AZIONE	TRENO	TEMP	FREN/AVV	TRAFFICO	Somma
frenatura	LM71	228.96	507.21		736.17
frenatura	SW2	228.96	806.925		1035.885
avviamento	LM71	228.96	836.8965		1065.857
avviamento	SW2	228.96	760.815		989.775

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 52 di 90

9 COMBINAZIONI DELLE AZIONI DA TRAFFICO IN GRUPPI DI CARICO

Le azioni derivanti dal traffico ferroviario sono state combinate in gruppo di carico adottando i coefficienti della Tabella 7.

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6; 0,4)	-	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione
Azione dominante (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi (Φ, α, ecc...) (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.						

Tabella 7 - Combinazione dei carichi da traffico in gruppi di carico

Ciascuna combinazione delle azioni da traffico è stata denominata con la sigla

$$Q_{grn_h.k}$$

con n =1, 2, 3 e 4 a indicare la riga, e quindi il gruppo, della Tabella 7.;

h tiene conto delle permutazioni che si ottengono considerando le distinte posizioni dei carichi da traffico considerate e della distinzione tra le azioni di frenatura e quelle di avviamento. Nel caso in esame h varia tra 1 e 8 secondo lo schema di Tabella 8.

h	Azione verticale	Frenatura Avviamento	Serpeggio	Descrizione
1	Q1_1	Q2_1	Q3_1	LM71 in mezzeria, frenatura, serpeggio in mezzeria
2	Q1_2	Q2_1	Q3_2	LM71 sull'appoggio, frenatura, serpeggio sull'appoggio
3	Q1_3	Q2_2	Q3_1	SW/2, frenatura, serpeggio in mezzeria
4	Q1_3	Q2_2	Q3_2	SW/2, frenatura, serpeggio sull'appoggio
5	Q1_1	Q2_2	Q3_1	LM71 in mezzeria, avviamento, serpeggio in mezzeria
6	Q1_2	Q2_2	Q3_2	LM71 sull'appoggio, avviamento, serpeggio sull'appoggio
7	Q1_3	Q2_2	Q3_1	SW/2, avviamento, serpeggio in mezzeria
8	Q1_3	Q2_2	Q3_2	SW/2, avviamento, serpeggio sull'appoggio

Tabella 8 - Permutazioni generate dalle distinte posizioni di applicazione dei carichi da traffico

k tiene conto di tutte le combinazioni che hanno luogo dai valori tra parentesi tonde della Tabella 7. La combinazione di involucro è stata denominata “ Q_{gr_Env} ”.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 53 di 90

9.1 Combinazione delle azioni

Sono state considerate le seguenti combinazioni di carico delle azioni.

Tutte le combinazioni di carico considerate sono riportate nell'allegato tabulato di calcolo.

Di seguito si riepilogano i casi di carico utilizzati

E_x = Azione sismica in direzione X

E_y = Azione sismica in direzione Y

E_z = Azione sismica in direzione Z (Verso l'alto)

Q_{1_1} = LM71 in mezzzeria

Q_{1_2} = LM71 in appoggio

Q_{1_3} = SW/2

Q_{2_1} = LM71 frenatura

Q_{2_2} = SW/2 frenatura

Q_{2_3} = Avviamento

Q_{3_1} = Serpeggio in mezzzeria

Q_{3_2} = Serpeggio in appoggio

Q_4 = Vento

Q_5 = Marciapiede

Q_6 = Treno scarico

Combinazioni di carico eseguite per lo studio della struttura

Amplificazione carichi verticali e laterali

$$Comb_{Fond_1} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1_1} + 0.5 \gamma_q Q_{2_1} + \gamma_q Q_{3_1} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Fond_2} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1_2} + 0.5 \gamma_q Q_{2_1} + \gamma_q Q_{3_2} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Fond_3} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1_3} + 0.5 \gamma_q Q_{2_2} + \gamma_q Q_{3_1} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Fond_4} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1_3} + 0.5 \gamma_q Q_{2_2} + \gamma_q Q_{3_2} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Fond_5} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1_1} + 0.5 \gamma_q Q_{2_3} + \gamma_q Q_{3_1} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Fond_6} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1_2} + 0.5 \gamma_q Q_{2_3} + \gamma_q Q_{3_2} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Fond_7} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1_3} + 0.5 \gamma_q Q_{2_3} + \gamma_q Q_{3_1} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Fond_8} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1_3} + 0.5 \gamma_q Q_{2_3} + \gamma_q Q_{3_2} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

Amplificazione carichi laterali (Serpeggio e vento)

$$Comb_{Fond_9} = G_{k1} + G_{k2} + Q_6 + \gamma_q Q_{3_1} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Fond_{10}} = G_{k1} + G_{k2} + Q_6 + \gamma_q Q_{3_2} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	
		FOGLIO 54 di 90

$$Comb_{Fond_{11}} = G_{k1} + G_{k2} + Q_6 + \gamma_q \psi_0 Q_{3,1} + \gamma_q Q_4$$

$$Comb_{Fond_{12}} = G_{k1} + G_{k2} + Q_6 + \gamma_q \psi_0 Q_{3,2} + \gamma_q Q_4$$

Massima azione longitudinale

$$Comb_{Fond_{13}} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1,1} + \gamma_q Q_{2,1} + 0.5 \gamma_q Q_{3,1} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Fond_{14}} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1,2} + \gamma_q Q_{2,1} + 0.5 \gamma_q Q_{3,2} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Fond_{15}} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1,3} + \gamma_q Q_{2,2} + 0.5 \gamma_q Q_{3,1} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Fond_{16}} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1,3} + \gamma_q Q_{2,2} + 0.5 \gamma_q Q_{3,2} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Fond_{17}} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1,1} + \gamma_q Q_{2,3} + 0.5 \gamma_q Q_{3,1} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Fond_{18}} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1,2} + \gamma_q Q_{2,3} + 0.5 \gamma_q Q_{3,2} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Fond_{19}} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1,3} + \gamma_q Q_{2,3} + 0.5 \gamma_q Q_{3,1} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Fond_{20}} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q \phi_3 Q_{1,3} + \gamma_q Q_{2,3} + 0.5 \gamma_q Q_{3,2} + \gamma_q \psi_0 Q_4$$

Combinazioni rare

$$Comb_{Rara1} = G_{k1} + G_{k2} + Q_{1,1} + \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Rara2} = G_{k1} + G_{k2} + Q_{1,2} + \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Rara3} = G_{k1} + G_{k2} + Q_{1,3} + \psi_0 Q_4$$

$$Comb_{Rara4} = G_{k1} + G_{k2} + \psi_0 Q_{1,1} + Q_4$$

$$Comb_{Rara5} = G_{k1} + G_{k2} + \psi_0 Q_{1,2} + Q_4$$

$$Comb_{Rara6} = G_{k1} + G_{k2} + \psi_0 Q_{1,3} + Q_4$$

Combinazioni frequenti

$$Comb_{Freq1} = G_{k1} + G_{k2} + \psi_1 Q_{1,1}$$

$$Comb_{Freq2} = G_{k1} + G_{k2} + \psi_1 Q_{1,2}$$

$$Comb_{Freq3} = G_{k1} + G_{k2} + \psi_1 Q_{1,3}$$

$$Comb_{Freq4} = G_{k1} + G_{k2} + \psi_1 Q_4$$

Combinazione quasi permanente (SLE)

$$Comb_{Qper} = G_{k1} + G_{k2}$$

$$Comb_{Comfort} = \gamma_q \phi_3 Q_{1,1}$$

Combinazioni sismiche

$$Comb_{Sisma X} = G_{k1} + G_{k2} + \psi_2 Q_{1,3} + E_x + 0.3 E_y + 0.3 E_z$$

$$Comb_{Sisma Y} = G_{k1} + G_{k2} + \psi_2 Q_{1,3} + 0.3 E_x + E_y + 0.3 E_z$$

$$Comb_{Sisma Zmax} = G_{k1} + G_{k2} + \psi_2 Q_{1,3} + 0.3 E_x + 0.3 E_y - E_z$$

$$Comb_{Sisma Zmin} = G_{k1} + G_{k2} + \psi_2 Q_{1,3} + 0.3 E_x + 0.3 E_y + E_z$$

Amplificazione carichi verticali camminamenti

$$Comb_{Fond_1} = \gamma_g G_{k1} + \gamma_g G_{k2} + \gamma_q Q_5$$

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 55 di 90

10 VERIFICHE DI RESISTENZA DELLA TRAVE PRINCIPALE

Si realizzano le verifiche adottando il criterio di resistenza di Hancky – Von Mises, che in termini di tensioni principali si scrive:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{\xi}^2 + \sigma_{\eta}^2 + \sigma_{\zeta}^2 - \sigma_{\xi} \cdot \sigma_{\zeta} - \sigma_{\xi} \cdot \sigma_{\eta} - \sigma_{\eta} \cdot \sigma_{\zeta}}$$

mentre in termini di componenti cartesiane di tensione, si scrive:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - (\sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_x \cdot \sigma_z + \sigma_y \cdot \sigma_z) + 3 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yx}^2)}$$

ovvero, adottando la simbologia del programma di calcolo utilizzato:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 + \sigma_{33}^2 - (\sigma_{11} \cdot \sigma_{22} + \sigma_{11} \cdot \sigma_{33} + \sigma_{22} \cdot \sigma_{33}) + 3 \cdot (\sigma_{12}^2 + \sigma_{13}^2 + \sigma_{23}^2)}$$

In base a tale criterio di resistenza la verifica è soddisfatta se risulta:

$$\sigma_{eq} \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Il programma di calcolo fornisce le tensioni di Von Mises che sono state utilizzate per la verifica.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 56 di 90

10.1 Verifica della piattabanda superiore

Tensione di progetto allo snervamento

$$\sigma_d = f_{yd,s} = \frac{f_{yk,s}}{\gamma_{M0}} = \frac{315}{1.05} = 300.00 \text{ N/mm}^2$$

Lunghezza caratteristica L_ϕ adottata.

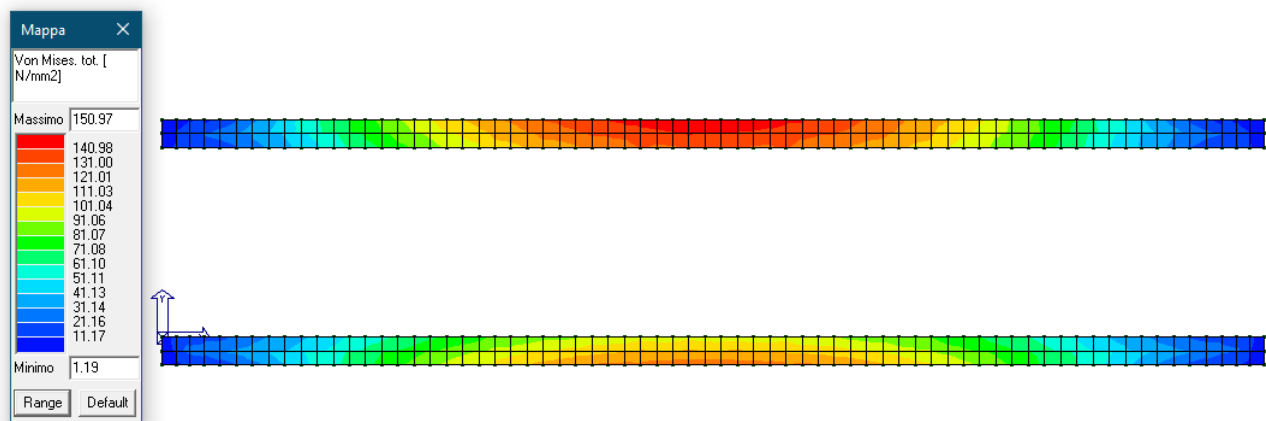
$$L_\phi = L = 15.10 \text{ m}$$

Coefficiente di amplificazione dinamica adottato.

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\phi - 0.2}} + 0.73 = \frac{2.16}{\sqrt{15.10 - 0.2}} + 0.73 = 1.29$$

Si riporta di seguito la tabella di verifica per l'elemento finito maggiormente sollecitato sia allo stato limite ultimo sia in quello di esercizio considerando una tensione limite pari a 200 MPa di quella ultima.

Verifica tensioni limite		
σ_{Max} [MPa]	σ_d [MPa]	Comb
150.97	300	CombFond5
Verifica Soddisfatta		
Verifica tensioni di esercizio		
σ_{Max} [MPa]	σ_d [MPa]	Comb
84.85	200	CombRara21
Verifica Soddisfatta		



	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 57 di 90

10.2 Verifica dell'irrigidimento verticale

In questa verifica si considerano tutti gli irrigidimenti verticali interni ed esterni, correnti e di testata.

Tensione di progetto allo snervamento

$$f_{yd,s} = \frac{f_{yk,s}}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1.05} = 338.09 \text{ N/mm}^2$$

Lunghezza caratteristica L_ϕ adottata.

$$L_\phi = L = 15.10 \text{ m}$$

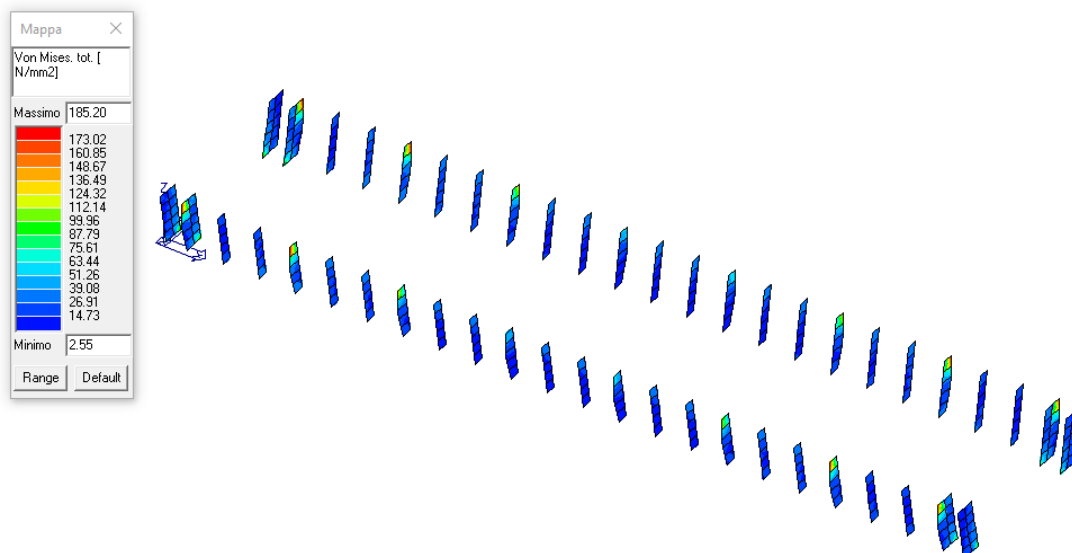
Coefficiente di amplificazione dinamica adottato.

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\phi - 0.2}} + 0.73 = \frac{2.16}{\sqrt{15.10 - 0.2}} + 0.73 = 1.29$$

Si riporta di seguito la tabella di verifica per l'elemento finito maggiormente sollecitato sia allo stato limite ultimo sia in quello di esercizio considerando una tensione limite pari a 200 MPa di quella ultima.

Verifica tensioni limite		
σ_{Max} [MPa]	σ_d [MPa]	Comb
185.20	338.09	CombFond19
Verifica Soddisfatta		
Verifica tensioni di esercizio		
σ_{Max} [MPa]	σ_d [MPa]	Comb
105.0	200	CombRara23
Verifica Soddisfatta		

L'irrigidimento considerato per la verifica tensionale è il più sollecitato ed è quello di testata in corrispondenza di un appoggio.



	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 58 di 90

10.3 Verifica lamiera di fondo

Tensione di progetto allo snervamento

$$f_{yd,s} = \frac{f_{yk,s}}{\gamma_{M0}} = \frac{315}{1.05} = 338.09 \text{ N/mm}^2$$

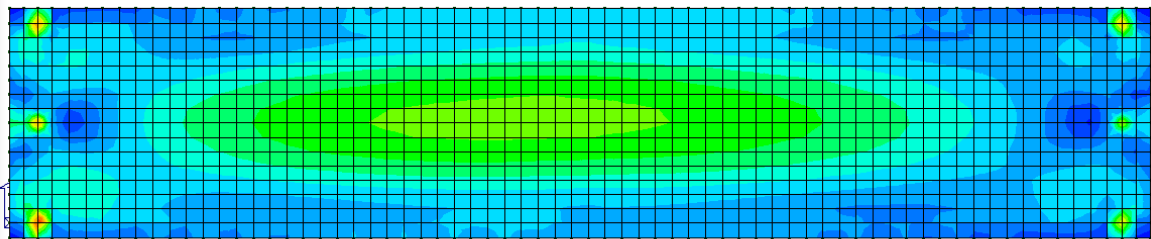
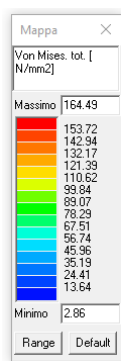
Lunghezza caratteristica L_ϕ adottata.

$$L_\phi = L = 15.10 \text{ m}$$

Coefficiente di amplificazione dinamica adottato.

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\phi - 0.2}} + 0.73 = \frac{2.16}{\sqrt{15.10 - 0.2}} + 0.73 = 1.29$$

Verifica tensioni limite		
σ_{Max} [MPa]	σ_d [MPa]	Comb
164.49	300.0	CombFond19
Verifica Soddisfatta		
Verifica tensioni di esercizio		
σ_{Max} [MPa]	σ_d [MPa]	Comb
80.37	200	CombRara22
Verifica Soddisfatta		



10.4 Verifica delle anime inclinate

Tensione di progetto allo snervamento

$$f_{yd,s} = \frac{f_{yk,s}}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1.05} = 338.09 \text{ N/mm}^2$$

Lunghezza caratteristica L_ϕ adottata.

$$L_\phi = L = 15.10 \text{ m}$$

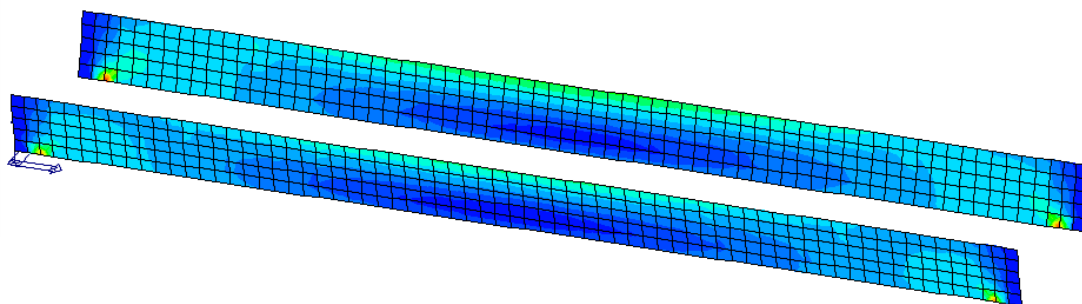
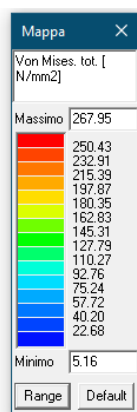
Coefficiente di amplificazione dinamica adottato.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 59 di 90

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L\phi}-0.2} + 0.73 = \frac{2.16}{\sqrt{15.10}-0.2} + 0.73 = 1.29$$

Si riporta di seguito la tabella di verifica per l'elemento finito maggiormente sollecitato sia allo stato limite ultimo sia in quello di esercizio considerando una tensione limite pari a 200 MPa di quella ultima.

Verifica tensioni limite		
σ_{Max} [MPa]	σ_d [MPa]	Comb
268	338.57	CombFond3
Verifica Soddisfatta		
Verifica tensioni di esercizio		
σ_{Max} [MPa]	σ_d [MPa]	Comb
153.63	200	CombRara22
Verifica Soddisfatta		



	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 60 di 90

11 VERIFICHE A FATICA: RICHIAMI TEORICI

Le verifiche a fatica vengono condotte con il metodo dei coefficienti λ .

In base a tale criterio, la verifica è soddisfatta quando risulta;

$$\Delta\sigma_{E,d} \leq \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$$

Il delta di tensione convenzionale $\Delta\sigma_{E,d}$ è dato da:

$$\Delta\sigma_{E,d} = \lambda \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{71}$$

$\Phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{L\phi - 0.2}} + 0.82$ è il coefficiente di incremento dinamico del sovraccarico;

$\Delta\sigma_{71}$ è la differenza di tensione tra i valori estremi $\sigma_{\max}$ e $\sigma_{\min}$ dovuti a sovraccarico teorico di calcolo adottato per il ponte (LM71) posto nella posizione più sfavorevole;

λ è il fattore di correzione dato da:

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \quad \text{e con } \lambda \leq \lambda_{\max} = 1.4$$

dove:

λ_1 è un fattore che, per differenti tipi di travature, porta in conto l'effetto di danneggiamento dovuto al traffico e dipende dalla lunghezza di influenza caratteristica dell'elemento da verificare;

λ_2 è un fattore che porta in conto il volume di traffico;

λ_3 è un fattore che porta in conto la vita di progetto del ponte;

λ_4 è un fattore da applicarsi quando l'elemento strutturale è caricato da più di un binario

I simbolo $\Delta\sigma_c$ e γ_{Mf} hanno i seguenti significati:

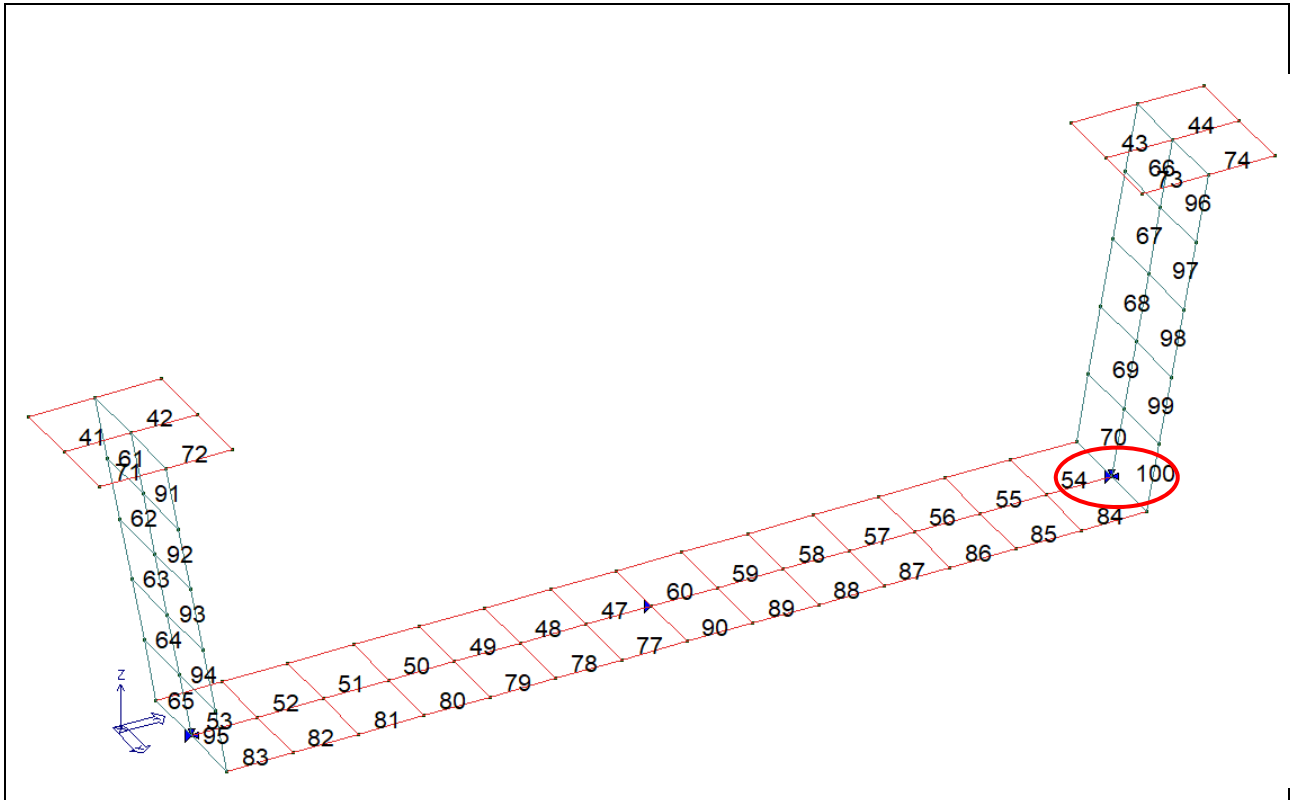
$\Delta\sigma_c$ è la resistenza alla fatica corrispondente a 2×10^6 cicli da ricavare sulle curve SN corrispondenti al particolare strutturale esaminato;

$\gamma_{Mf} = 1.35$ è il coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche a fatica.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	
		FOGLIO 61 di 90

11.1 Verifica a fatica del cassone metallico

Si riporta di seguito la verifica a fatica del cassone metallico in corrispondenza della saldatura con gli irrigiditori verticali dove si verifica il massimo valore del $\Delta\sigma_{71}$.



Resistenza a fatica a 2×10^6 cicli (dettaglio costruttivo Tab. 2-4 del Manuale Di Progettazione Delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture)

$$\Delta\sigma_c = \frac{80}{1.35} = 59.26 \text{ N/mm}^2$$

Lunghezza caratteristica L_ϕ adottata.

$$L_\phi = L = 15.10 \text{ m.}$$

Coefficiente di amplificazione dinamica adottato.

$$\Phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{L_\phi}^{0.2}} + 0.82 = \frac{1.44}{\sqrt{15.10}^{0.2}} + 0.82 = 1.19$$

$$\lambda_1 = 0.76$$

$$\lambda_2 = 1$$

$$\lambda_3 = 1$$

$$\lambda_4 = 1$$

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 62 di 90

Parametri di verifica a fatica	
$\Delta\sigma_c[\text{kN/m}^2]=$	80
$L\phi [\text{m}]=$	15.10
$\phi_2=$	1.19
$\lambda_1=$	0.76
$\lambda_2=$	1
$\lambda_3=$	1
$\lambda_4=$	1
$\gamma_{mf}=$	1.35

Verifica a fatica nella saldatura più sollecitata			
Elemento N.		100-54	
Posizione		Node Pos-79	
Lembo superiore		Lembo inferiore	
$\Delta\sigma_{E,d}$	52.61	$\Delta\sigma_{E,d}$	6.17
$\Delta\sigma_c$	Verifica		
59.3	SI		SI

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	
		FOGLIO 63 di 90

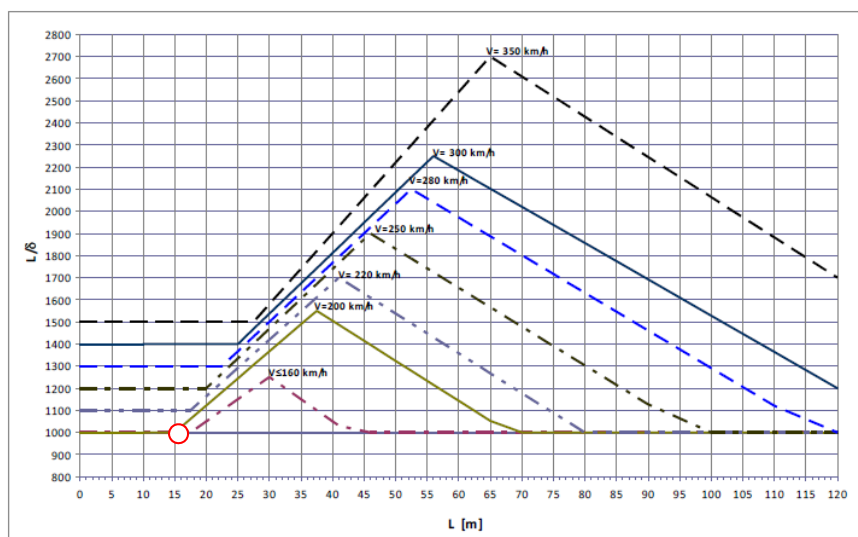
12 VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ

Di seguito si riportano le verifiche nei confronti dei seguenti stati limite di esercizio:

- stato limite per il comfort dei passeggeri;
- stato limite per inflessione nel piano verticale dell'impalcato;

12.1 Stato limite per il comfort dei passeggeri

L'inflessione verticale viene calcolata in asse al binario, considerando il modello di carico LM71 con il relativo incremento dinamico e con il coefficiente α .



STATO LIMITE COMFORT PASSEGGERI			
P.T.=	15100	mm	
$\delta_{\max_ \varphi Q1_1} =$	13.77	mm	
$\delta_{\text{limit}} =$	15.10	mm	
$\delta_{\text{Limt}} / \delta_{\max_ \varphi Q1_1} =$	1.10	>1	
Verifica Soddisfatta			

La verifica risulta **soddisfatta**

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	
		FOGLIO 64 di 90

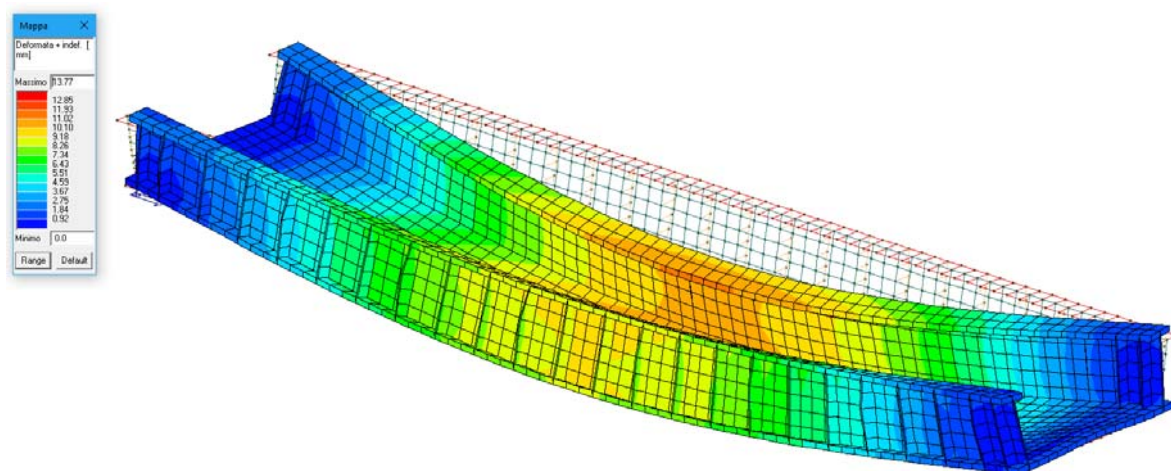


Figura 39 -Deformata del ponte sotto l'azione verticale dinamizzata del LM71

12.2 Stato limite per inflessione nel piano verticale

La verifica consiste nel controllare che considerando la presenza dei modelli di carico LM71, SW/0, SW/2 incrementati con il corrispondente coefficiente dinamico e con il coefficiente α , il massimo valore di inflessione per effetto di tali carichi ferroviari non deve eccedere il valore $L/600$.

STATO LIMITE COMFORT PASSEGGERI		
P.T.=	15100	mm
$\delta_{\max_ \varphi Q1_1}$ =	14.29	mm
δ_{limit} =	25.17	mm
$\delta_{\text{Limt}}/\delta_{\max_ \varphi Q1_1}$ =	1.76	>1
Verifica Soddisfatta		

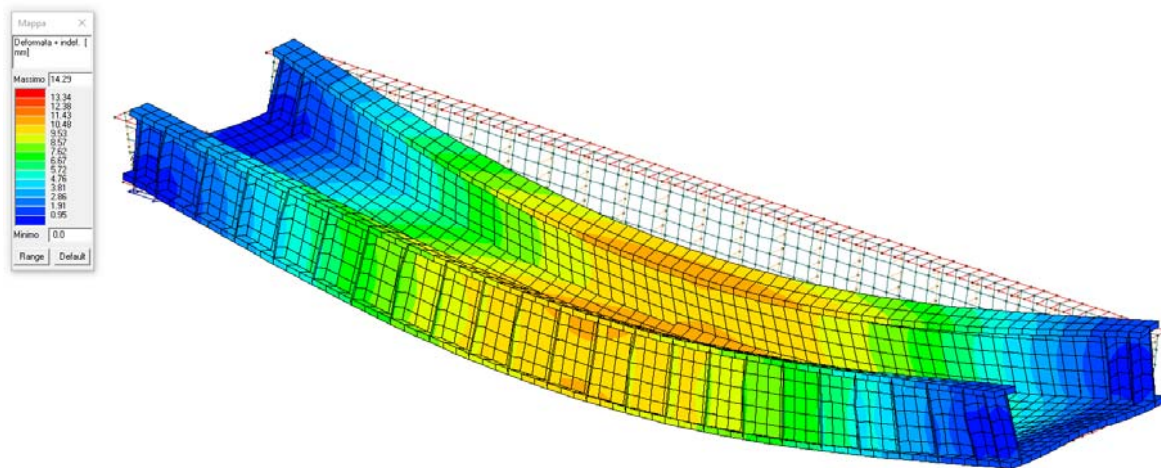


Figura 40 -Deformata del ponte sotto l'azione verticale dinamizzata del SW/2

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 65 di 90

Deve inoltre verificarsi che sotto l'azione dei carichi verticali, lo spostamento orizzontale del piano di posa del ballast sia minore o uguale a 8 mm.

Nel caso in esame il nodo 1156, (lamiera di fondo), ha uno spostamento massimo orizzontale, nella combinazione fondamentale, pari a 0.62 mm < 8 mm. Quindi la **Verifica risulta soddisfatta**.

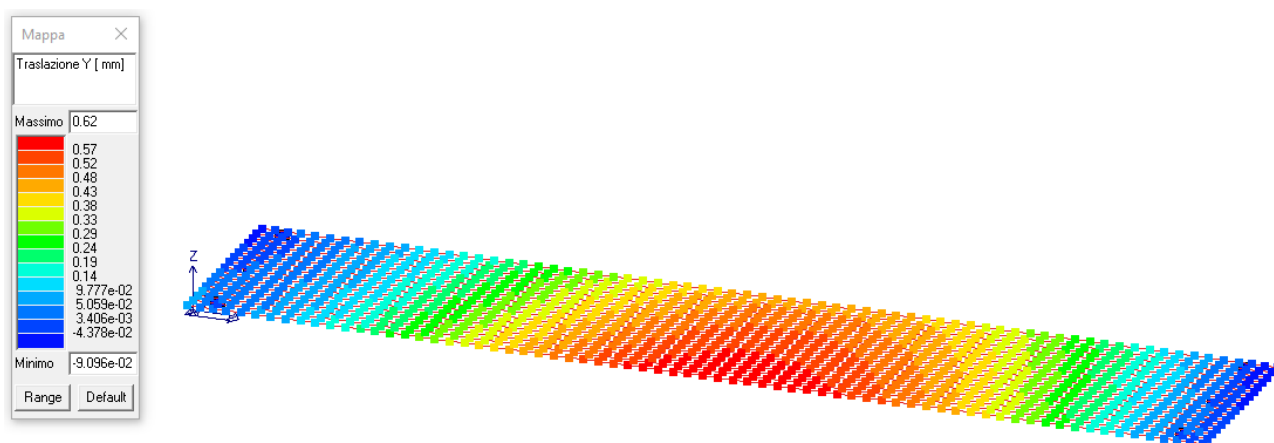


Figura 41 –Spostamento orizzontale del piano di posa del ballast per carichi verticali

2.2 Stato limite per deformazione torsionale dell'impalcato.

La velocità di esercizio è 120 < V < 200 km/h.

Per tale valore della velocità, lo sghembo t deve rispettare la seguente limitazione: $t \leq 3 \text{ mm}/3\text{m}$.

Si considerano due coppie di punti su due sezioni trasversali distanti $b = 3 \text{ m}$ (base) l'una dall'altra.

I due punti di una coppia distano trasversalmente circa 1.57 m (~scartamento).

Lo sghembo viene valutato come:

$$t = \frac{\Delta h_A - \Delta h_B}{b} = \frac{(w_1 - w_2) - (w_3 - w_4)}{b} = \frac{w_1 - w_2 - w_3 + w_4}{b}$$

dove

w_1, w_2 , sono gli spostamenti verticali della coppia dei nodi nella sezione trasversale A;

w_3 e w_4 sono gli spostamenti verticali della coppia dei nodi nella sezione trasversale B.

dovuti al modello di carico LM71 o al modello di carico SW/2 incrementati del coefficiente di amplificazione dinamica e del coefficiente α .

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 66 di 90

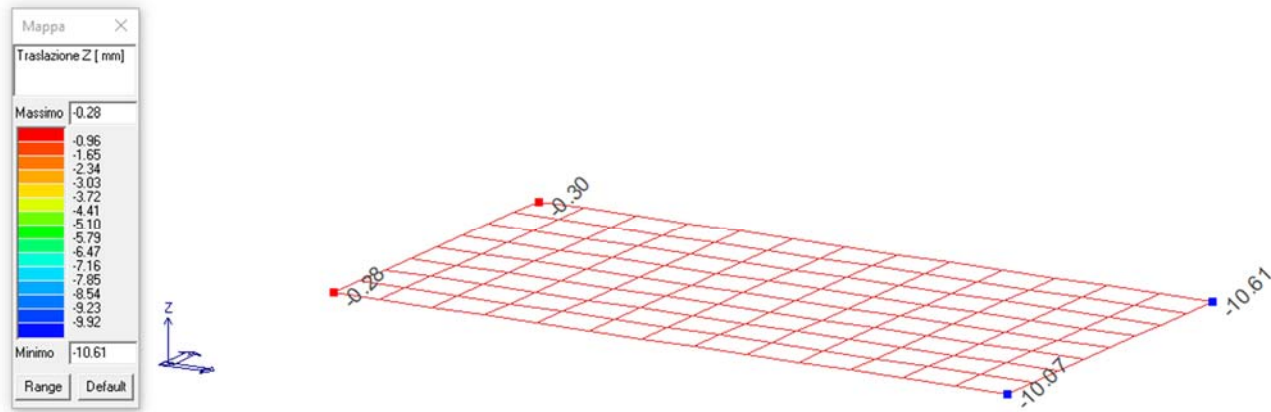


Figura 42 – Deformazione per LM71 in mezzeria

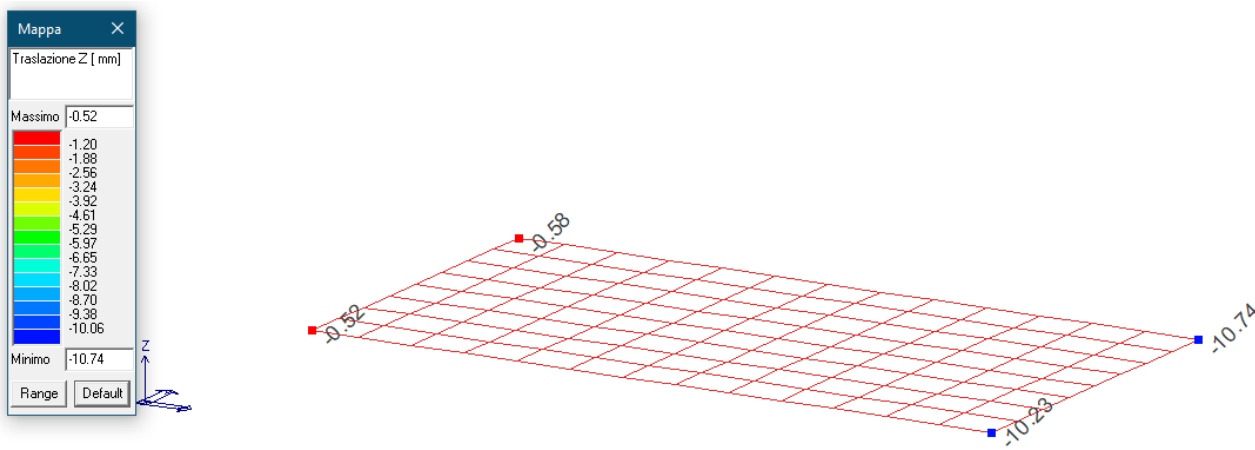


Figura 43 – Deformazione per LM71 in appoggio

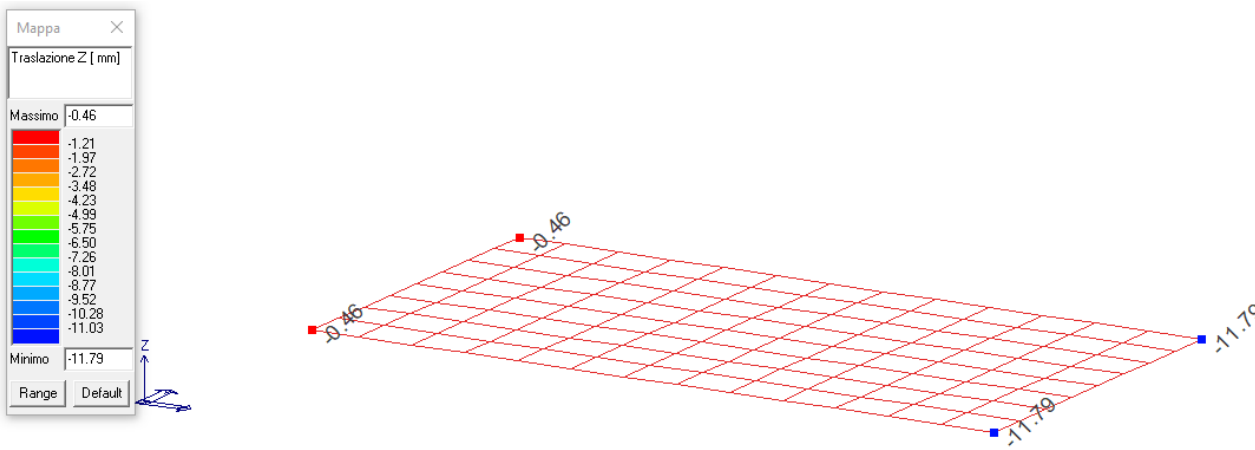


Figura 44 – Deformazione per SW2

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 67 di 90

Comb.	W1	W2	W3	W4	spostamento
Sghembo LM71 in mezz.	0.28	0.30	10.07	10.61	0.52
Sghembo LM71 in app.	0.52	0.58	10.23	10.74	0.45
Sghembo SW2	0.46	0.46	11.79	11.79	0.00

Essendo lo spostamento inferiore a 3 mm la verifica risulta soddisfatta.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 68 di 90

13 AZIONI SUGLI APPOGGI

Le reazioni verticali ottenuti dalla combinazione fondamentale dei carichi è riportata nelle tabelle seguenti.

Reazioni vincolari Fz massime in combinazione fondamentale		
Node	Tipo app.	Fz [kN]
78	FISSO	1305.43
82	MULTIDIREZIONALE	613.46
79	FISSO	1460.47
1985	UNIDIREZIONALE	1249.88
1989	MULTIDIREZIONALE	451.85
1986	UNIDIREZIONALE	1379.63

Reazioni vincolari Fz minime in combinazione fondamentale		
Node	Tipo app.	Fz [kN]
78	FISSO	515.93
82	MULTIDIREZIONALE	70.48
79	FISSO	354.32
1985	UNIDIREZIONALE	170.63
1989	MULTIDIREZIONALE	70.95
1986	UNIDIREZIONALE	323.96

Se si considerano le combinazioni sismiche si ottengono le reazioni vincolari verticali minime e massime riportate nelle seguenti tabelle:

Reazioni vincolari Fz massime in combinazione sismica		
Node	Tipo app.	Fz [kN]
78	FISSO	400.18
82	MULTIDIREZIONALE	101.42
79	FISSO	411.07
1985	UNIDIREZIONALE	396.03
1989	MULTIDIREZIONALE	102.26
1986	UNIDIREZIONALE	406.94

Reazioni vincolari Fz minime in combinazione sismica		
---	--	--

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 69 di 90

Node	Tipo app.	Fz [kN]
78	FISSO	306.06
82	MULTIDIREZIONALE	88.86
79	FISSO	317.63
1985	UNIDIREZIONALE	310.28
1989	MULTIDIREZIONALE	87.87
1986	UNIDIREZIONALE	321.84

Per quanto riguarda le reazioni orizzontali trasversali (Fx) e longitudinali (Fy), derivanti dal modello di calcolo, in combinazione fondamentale dei carichi si ha:

Reazioni vincolari Fx e fy massime in valore assoluto nella combinazione fondamentale			
Node	Tipo app.	Fx [kN]	Fy [kN]
78	FISSO	1013.31	668.06
82	MULTIDIREZIONALE	0	0
79	FISSO	613.23	497.40
1985	UNIDIREZIONALE	0	501.02
1989	MULTIDIREZIONALE	0	0
1986	UNIDIREZIONALE	0	476.71

Se si considerano l'interazione statica treno-binario-struttura si ottengono le seguenti reazioni orizzontali:

Reazioni vincolari Fx e fy massime in valore assoluto da interazione statica treno-binario-struttura			
Node	Tipo app.	Fx [kN]	Fy [kN]
78	FISSO	763.5	-
79	FISSO	763.5	-

In fase sismica

Se si considerano le combinazioni sismiche si ottengono le seguenti reazioni orizzontali:

- Sisma longitudinale +30% trasversale (Ex+30%Ey)

$$R_{long} = 740/2 = 370 \text{ kN}$$

- Sisma trasversale +30% longitudinale (Ey+30%Ex)

$$R_{trasv} = 740/2 = 370 \text{ kN}$$

Reazioni vincolari Fx e fy massime in valore assoluto nella combinazione sismica

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	
		FOGLIO 70 di 90

Node	Tipo app.	F _x [kN]	F _y [kN]
78	FISSO	370	370
82	MULTIDIREZIONALE	0	0
79	FISSO	370	370
1985	UNIDIREZIONALE	0	370
1989	MULTIDIREZIONALE	0	0
1986	UNIDIREZIONALE	0	370

Si possono quindi considerare, in via cautelativa le seguenti reazioni:

TABELLA REAZIONI (kN)				
Appoggio	F _{zmaz} (vert)	F _{zmin} (vert)	F _x (long)	F _y (trasv)
Fisso	1500	150	1050	700
Uni - Longitudinale	1500	150	—	700
Multi - Direzionale	650	70	—	—

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 71 di 90

13.1 Spostamenti e rotazioni appoggi

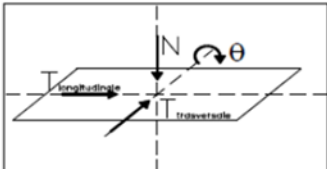
Il controllo dei risultati delle analisi condotte, per quanto concerne i nodi strutturali, è possibile in relazione alle tabelle sotto riportate. La tabella riporta infatti per ogni nodo e per ogni combinazione gli spostamenti e le rotazioni nodali.

Nodo	Cmb	Traslazione X	Traslazione Y	Traslazione Z	Rotazione X	Rotazione Y	Rotazione Z
		mm	mm	mm			
78	1	0.0	0.0	0.0	-1.05e-03	3.71e-03	-2.22e-05
78	2	0.0	0.0	0.0	-1.47e-03	3.56e-03	-3.64e-05
78	32	0.0	0.0	0.0	-2.60e-04	1.14e-03	-1.29e-05
78	61	0.0	0.0	0.0	-1.49e-03	2.41e-03	-2.53e-05
79	1	0.0	0.0	0.0	1.05e-03	4.33e-03	7.36e-05
79	2	0.0	0.0	0.0	2.30e-03	3.97e-03	6.64e-05
79	32	0.0	0.0	0.0	2.94e-04	1.12e-03	6.85e-06
79	61	0.0	0.0	0.0	1.61e-03	2.63e-03	3.71e-05
82	1	0.10	9.10e-03	0.0	-5.33e-05	6.07e-03	0.0
82	2	0.11	0.01	0.0	-4.49e-04	6.82e-03	0.0
82	6	0.12	0.01	0.0	-4.49e-04	6.89e-03	0.0
82	20	0.15	7.24e-03	0.0	-2.06e-04	7.27e-03	0.0
82	32	0.01	-1.29e-03	0.0	-1.33e-05	1.68e-03	0.0
82	35	0.04	1.53e-03	0.0	6.47e-06	1.78e-03	0.0
82	43	0.03	4.65e-03	0.0	2.63e-05	1.74e-03	0.0
82	61	0.07	1.16e-03	0.0	-7.36e-05	4.91e-03	0.0
1985	1	1.74	0.0	0.0	-9.88e-04	-3.49e-03	-8.31e-05
1985	2	1.63	0.0	0.0	-9.14e-04	-3.17e-03	-2.99e-05
1985	20	2.06	0.0	0.0	-1.32e-03	-4.08e-03	4.58e-06
1985	32	0.51	0.0	0.0	-2.09e-04	-1.15e-03	2.05e-05
1985	42	0.60	0.0	0.0	-1.95e-04	-1.28e-03	4.69e-05
1985	61	1.08	0.0	0.0	-6.93e-04	-2.13e-03	-2.89e-06
1986	1	2.07	0.0	0.0	8.78e-04	-4.45e-03	-1.64e-04
1986	2	1.80	0.0	0.0	9.21e-04	-3.74e-03	-1.01e-04
1986	19	2.20	0.0	0.0	1.29e-03	-4.47e-03	-1.09e-04
1986	32	0.49	0.0	0.0	2.50e-04	-1.12e-03	-5.06e-06
1986	51	0.62	0.0	0.0	2.55e-04	-1.30e-03	-2.81e-05
1986	61	1.15	0.0	0.0	7.08e-04	-2.39e-03	-4.87e-05
1989	1	1.82	2.04e-03	0.0	-2.78e-05	-5.87e-03	0.0
1989	2	1.64	4.24e-04	0.0	-5.18e-05	-5.19e-03	0.0
1989	11	0.37	3.15e-03	0.0	-3.05e-05	-1.25e-03	0.0
1989	20	2.02	1.30e-03	0.0	-2.58e-05	-6.62e-03	0.0
1989	26	0.37	1.42e-03	0.0	-2.83e-05	-1.25e-03	0.0
1989	32	0.48	-1.37e-03	0.0	-1.59e-05	-1.68e-03	0.0
1989	42	0.54	-4.49e-03	0.0	-4.03e-05	-1.75e-03	0.0
1989	50	0.57	-1.44e-03	0.0	-1.39e-05	-1.85e-03	0.0
1989	61	1.07	-9.02e-04	0.0	-2.63e-05	-3.48e-03	0.0

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 72 di 90

13.2 Sintesi delle azioni sui dispositivi di appoggio

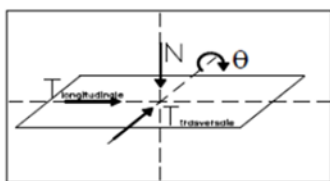
Nelle tabelle seguenti si riporta una sintesi delle azioni sui dispositivi di appoggio.

			Reazioni degli apparecchi di appoggio fisso (NODO 78)						Rotazioni e spostamenti degli apparecchi di appoggio		
			Nmax (kN)	Nmin (kN)	TL max (kN)	TL min (kN)	TT max (kN)	TT min (kN)	θ (rad)	SL (mm)	ST (mm)
1.1	Permanente G,P	peso proprio		131.1	0		44.55		0.0003815		
1.2		permanenti		143.2	0		52.9		0.0004570		
1.3		precompressione									
1.4		ritiro e viscosità									
2.1	Variabili	treni di carico									
		LM71 in mezzeria		394.37	11.63		169.24		0.001421		
		LM71 in appoggio		433.1	99.51		186.14		0.00129		
		SW/2		499.5	0		188.26		0.001631		
		treno scarico									
2.2		veicoli speciali									
2.3		forza centrifuga									
2.4		avviamento e frenatura									
		LM71 frenatura		20.02	175.77		36.75		0.0000621		
		SW/2 frenatura		31.9	279.7		58.53		0.00009884		
		SW/2 avviamento		33.04	290.02		60.69		0.0001025		
2.5		serpeggio									
		serpeggio in mezzeria		-20.42	206.62		46.52		-0.00006463		
		serpeggio in appoggio		-40.75	-4.01		54.9		0.000003586		
2.6		folia									
2.7		vento sulla struttura									
2.8		vento sulla struttura e sui treni di carico		-58.32	259.24		53.55		-0.0001164		
2.9		temperatura									
2.1		gradiente di temperatura verticale									
2.11		gradiente di temperatura orizzontale									
2.12		cedimenti sulle strutture									
2.13		resistenze parassite nei vincoli									
3.1	Sismiche	Prevenzione del collasso									
		E _x		12.98	-143		-25.51		-0.00003689		
		E _y		35.17	-205.94		-74.65		0.00008438		
		E _z		26.62	9.78		13.2		0.0001013		
3.2	accidentali A	stato limite di danno									
4.1		deragliamento									
4.2		urto									
4.3		rottura della catenaria									
5.1	combinazioni non sismiche	Nmax	152.94								
5.2		Nmin		1305.43							
5.3		Tlmax			1013.31						
5.4		Ttmax					668.06				
6.1	combinazioni sismiche	Nmax	400.18								
6.2		Nmin		306.06							
6.3		Tlmax			-229.62						
6.4		Ttmax					217.86				

1827/17-001-PE-RSPN-00-E002

Ponte a travata metallica Fosso Acquerta
Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra
RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO

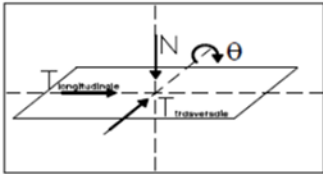
FOGLIO
73 di 90



**Reazioni degli apparecchi di appoggio fisso
(NODO 79)**

**Rotazioni e spostamenti degli
apparecchi di appoggio**

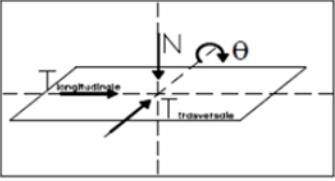
			Nmax (kN)	Nmin (kN)	TL max (kN)	TL min (kN)	TT max (kN)	TT min (kN)	θ (rad)	SL (mm)	ST (mm)
1.1	Permanente G,P	peso proprio	131.05		0		-44.55		0.0003815		
1.2		permanenti	143.1		0		-52.9		0.000457015		
1.3		precompressione									
1.4		ritiro e viscosità									
2.1	Variabili	treni di carico									
		LM71 in mezzera	450.98		-111.63		-148.81		0.00155		
		LM71 in appoggio	501.9		-99.51		-167.93		0.001405		
		SW/2	499.5		0		-188.25		0.001631		
2.2		treno scarico									
2.3		veicoli speciali									
		forza centrifuga									
2.4		avviamento e frenatura									
		LM71 frenatura	20.02		175.77		-36.78		0.0000621		
		SW/2 frenatura	31.86		279.7		-58.53		0.00009884		
		SW/2 avviamento	33.04		290.02		-60.69		0.0001026		
2.5		serpeggio									
		serpeggio in mezzera	20.13		-206.62		46.63		0.00006341		
		serpeggio in appoggio	40.52		4.01		54.9		-0.000003569		
2.6		folla									
2.7		vento sulla struttura									
2.8		vento sulla struttura e sui treni di carico	53.71		-259.24		53.71		0.0001164		
2.9		temperatura									
2.1		gradiente di temperatura verticale									
2.11		gradiente di temperatura orizzontale									
2.12		cedimenti sulle strutture									
2.13		resistenze parassite nei vincoli									
3.1	Sismiche	Prevenzione del collasso									
		E _x	-13.3		-142.52		25.19		-0.00003689		
		E _y	34.28		-74.78		-74.78		-0.000084		
3.2		E _z	28.16		-5.91		-12.16		0.000105		
3.2		stato limite di danno									
4.1	accidentali A	deragliamento									
4.2		urto									
4.3		rottura della catenaria									
5.1	combinazioni non sismiche	Nmax	1460.47								
5.2		Nmin		354.32							
5.3		TLmax			613.23						
5.4		TLmin					498.1				
6.1	combinazioni sismiche	Nmax	411.07								
6.2		Nmin		317.63							
6.3		TLmax			-272.85						
6.4		TLmin					-213.51				

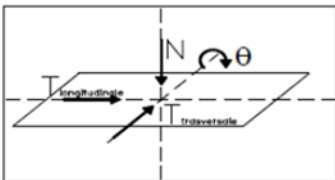
			Reazioni degli apparecchi di appoggio multidirezionali (NODO 82)						Rotazioni e spostamenti degli apparecchi di appoggio		
			Nmax	Nmin	TL max	TL min	TT max	TT min	0	SL	ST
			(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(rad)	(mm)	(mm)
1.1	Permanente G,P	peso proprio	19.23					0.0004976	0.00889	0	
1.2		permanenti	58.4					0.000753712	0.01054447	0	
1.3		precompressione									
1.4		ritiro e viscosità									
2.1	Variabili	treni di carico									
		LM71 in mezzeria	122.85					0.002224	0.03189	0.00055611	
		LM71 in appoggio	241.43					0.002624	0.03556	0.00062	
		SW/2	199.54					0.002728	0.03778	0	
2.2		veicoli speciali									
2.3		forza centrifuga									
2.4		avviamento e frenatura									
		LM71 frenatura	23.92					0.000157	0.021667	0	
		SW/2 frenatura	38.07					0.00025	0.03446	0	
		SW/2 avviamento	-39.48					0.000259	0.03573	0	
2.5		serpeggio									
		serpeggio in mezzeria	0					0	0.00	0.00314	
		serpeggio in appoggio	-0.34					0	0	0.00512	
2.6		folla									
2.7		vento sulla struttura									
2.8		vento sulla struttura e sui treni di carico	1.66					0.000003442	-0.0001144	0.00389	
2.9		temperatura									
2.1	gradiente di temperatura verticale										
2.11	gradiente di temperatura orizzontale										
2.12	cedimenti sulle strutture										
2.13	resistenze parassite nei vincoli										
3.1	Sismiche	Prevenzione del collasso									
		E _x	4.67					-0.0000535	-0.01371	-0.00005867	
		E _y	0.33					0.000006241	-0.0001885	-0.004516	
		E _z	4.78					0.0001396	0.00249	0.00003123	
3.2		stato limite di danno									
4.1	accidentali A	deragliamento									
4.2		urto									
4.3		rottura della catenaria									
5.1	combinazioni non sismiche	Nmax	613.46								
5.2		Nmin		70.48							
5.3		Tlmax									
5.4		Ttmax									
6.1	combinazioni sismiche	Nmax	101.00								
6.2		Nmin		88.86							
6.3		Tlmax									
6.4		Ttmax									

1827/17-001-PE-RSPN-00-E002

Ponte a travata metallica Fosso Acquerta
Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra
RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO

FOGLIO
75 di 90

			Reazioni degli apparecchi di appoggio Unidirezionali (NODO 1985)						Rotazioni e spostamenti degli apparecchi di appoggio		
			Nmax (kN)	Nmin (kN)	TL max (kN)	TL min (kN)	TT max (kN)	TT min (kN)	θ (rad)	SL (mm)	ST (mm)
1.1	Permanente G,P	peso proprio	131.1				44.55		-0.0003816	0.18	
1.2		permanenti	143.2				52.88		-0.0004485	0.21	
1.3		precompressione									
1.4		ritiro e viscosità									
2.1	Variabili	treni di carico									
		LM71 in mezzera	394.43				148.75		-0.001396	0.67	
		LM71 in appoggio	318.51				119.5		-0.00114	0.58	
		SW/2	499.56				188.2		-0.001631	0.76	
		treno scarico									
2.2		veicoli speciali									
2.3		forza centrifuga									
2.4		avviamento e frenatura									
		LM71 frenatura	-19.69				-7.55		0.000004584	0.053	
		SW/2 frenatura	-31.3				-12.02		0.0000073	0.085	
		SW/2 avviamento	-32.5				-12.47		0.000007575	0.088	
2.5		serpeggio									
		serpeggio in mezzera	-20.43				8.72		0.0001112	-0.047	
		serpeggio in appoggio	0.13				0.37		0	-0.00043	
2.6		folia									
2.7		vento sulla struttura									
2.8		vento sulla struttura e sui treni di carico	-58.33				6.11		0.0001749	-0.06	
2.9		temperatura									
2.1		gradiente di temperatura verticale									
2.11		gradiente di temperatura orizzontale									
2.12		cedimenti sulle strutture									
2.13		resistenze parassite nei vincoli									
3.1	Sismiche	Prevenzione del collasso									
		E _x	-10.47				-4.03		0.0000313	-0.0437	
		E _y	31.74				-58.36		-0.0001161	0.0489	
		E _z	26.64				11.72		-0.00009987	0.0487	
3.2		stato limite di danno									
4.1	accidentali A	deragliamento									
4.2		urto									
4.3		rottura della catenaria									
5.1	combinazioni non sismiche	Nmax	1249.90								
5.2		Nmin		170.60							
5.3		Tlmax									
5.4		Ttmax					501.02				
6.1	combinazioni sismiche	Nmax	396.00								
6.2		Nmin		310.00							
6.3		Tlmax									
6.4		Ttmax					190.58				

			Reazioni degli apparecchi di appoggio Unidirezionali (NODO 1986)						Rotazioni e spostamenti degli apparecchi di appoggio		
			Nmax (kN)	Nmin (kN)	TL max (kN)	TL min (kN)	TT max (kN)	TT min (kN)	θ (rad)	SL (mm)	ST (mm)
1.1	Permanente G,P	peso proprio	131.1				-44.54	-0.000381	0.18		
1.2		permanenti	143.12				-53.19	-0.0004484	0.21		
1.3		precompressione									
1.4		ritiro e viscosità									
2.1	Variabili	treni di carico									
		LM71 in mezzeria	451.05				-169.18	-0.00157	0.72		
		LM71 in appoggio	365.31				-137.71	-0.00128	0.62		
		SW/2	499.5				-188.22	-0.00163	0.76		
2.2		veicoli speciali									
2.3		forza centrifuga									
2.4		avviamento e frenatura									
		LM71 frenatura	-19.67				7.55	0.00000458	0.046		
		SW/2 frenatura	-31.3				12.02	0.000007297	0.085		
		SW/2 avviamento	-32.5				12.47	0.00000757	0.088		
2.5		serpeggio									
		serpeggio in mezzeria	20.14				8.82	-0.00011	0.046		
		serpeggio in appoggio	0.13				0.37	0	0.000428		
2.6		folla									
2.7		vento sulla struttura									
2.8	vento sulla struttura e sui treni di carico	53.7				6.27	-0.0001665	0.056			
2.9	temperatura										
2.1	gradiente di temperatura verticale										
2.11	gradiente di temperatura orizzontale										
2.12	cedimenti sulle strutture										
2.13	resistenze parassite nei vincoli										
3.1	Sismiche	Prevenzione del collasso									
		E _x	-10.9				4.15	0.000033	-0.044		
		E _y	-30.81				-58.31	0.000112	-0.0475		
		E _z	28.2				-12.18	-0.0001057	0.0505		
3.2		stato limite di danno									
4.1	accidentali A	deragliamenti									
4.2		urto									
4.3		rottura della catenaria									
5.1	combinazioni non sismiche	Nmax	1379.63								
5.2		Nmin		323.96							
5.3		Tlmax									
5.4		Ttmax					476.71				
6.1	combinazioni sismiche	Nmax	406.94								
6.2		Nmin		321.84							
6.3		Tlmax									
6.4		Ttmax					194.78				

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 78 di 90

13.3 Entità dell'escursione totale dei giunti e degli apparecchi d'appoggio

Entità dell'escursione totale dei giunti e degli apparecchi d'appoggio

L'escursione totale dei giunti e degli apparecchi d'appoggio, in direzione longitudinale, è stata valutata nella seguente maniera:

$$E_L = k_1 \cdot (E_1 + E_2 + E_3)$$

E_1 spostamento dovuto alla variazione termica uniforme;

$E_2 = 4 \cdot d_{Ed} \cdot k_2$ spostamento dovuto alla risposta della struttura all'azione sismica;

$E_3 = 2 \cdot d_{eg}$ 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 in controfase di due pile adiacenti;

d_{Ed} è lo spostamento relativo tra le parti, pari allo spostamento d_E prodotto dall'azione sismica di progetto.

d_{eg} è lo spostamento relativo tra le parti dovuto agli spostamenti relativi del terreno.

Indicata con "x" la distanza tra gli elementi verticali "i" e "j" considerati, con V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio ed indicati con d_{gi} e d_{gj} gli spostamenti assoluti orizzontali massimi al suolo rispettivamente nei punti "i" e "j", lo spostamento $d_{rel,g}$ viene valutato come indicato al § 3.2.5.2 delle NTC:

$$d_{eg} = d_{ij}(x) = 1.25|d_{gi} - d_{gj}| + \left(1.25\sqrt{d_{gi}^2 + d_{gj}^2} - 1.25|d_{gi} - d_{gj}|\right) \left[1 - e^{-1.25\left(\frac{x}{V_s}\right)^{0.7}}\right]$$

con V_s espressa in m/s.

Nel caso che i punti i e j ricadano su sottosuolo della stessa categoria sismica ed a distanza x inferiore a 20 m, la formula precedente può essere approssimata con la seguente:

$$d_{e,g} = d_{ijmax} = \frac{1.25\sqrt{2d_g^2}}{V_s} \cdot 3.0 \cdot x \quad (\text{per sottosuolo di tipo diverso da D})$$

Il valore dello spostamento assoluto massimo al suolo (d_g) può ottenersi utilizzando la seguente espressione:

$$d_g = 0.025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D.$$

Spostamento dovuto alla variazione termica uniforme: E_1

Impalcato in struttura acciaio – calcestruzzo: $\Delta T = \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 79 di 90

Incremento ΔT per calcolo escursione degli apparecchi d'appoggio: 50%

$$\Delta T_E = \Delta T + 50\% \Delta T = 20 + 0.5 \cdot 20 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Lunghezza impalcato: $L = 15.90 \text{ m}$

$$E_1 = \pm \alpha_s \cdot L \cdot \Delta T_E = \pm 1.2 \times 10^{-5} \times 15900 \times 30 = \pm 5.72 \text{ mm}$$

Spostamento dovuto alla risposta della struttura all'azione sismica E_2

La rigidezza delle spalle porta a porre $E_2 = 0$

Spostamento dovuto all'azione sismica fra le fondazioni di strutture non collegate: E_3

Distanza x tra le spalle minore di 30 m

$$a_g = 0.114 \text{ g}$$

$$S = 1.5$$

$$T_C = 0.443$$

$$T_D = 2.085$$

$$d_g = 0.025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D = 0.025 \cdot 0.043 \cdot 1.5 \cdot 0.46 \cdot 1.77 = 3.95 \text{ mm};$$

$$d_{eg} = d_{ijmax} = \frac{1.25 \sqrt{2d_g^2}}{v_s} \cdot 3.0 \cdot x = \frac{1.25 \sqrt{2 \cdot 0.00395^2}}{323} \cdot 3.0 \cdot 10.40 = 1.03 \text{ mm}$$

$$E_3 = 2 \times 3.65 \text{ mm} = 7.90 \text{ mm}$$

$$E_L = k_1 \cdot (E_1 + E_2 + E_3) = 0.45 \cdot (5.724 + 0 + 7.897) = 6.13 \text{ mm}$$

Valore minimo da garantire all'escursione degli apparecchi d'appoggio.

$$a_g(\text{SLV}) = 0.114 \text{ g} < 0.25 \text{ g}$$

$$E_L \geq 2.3 \cdot \frac{L}{1000} + 0.073 = \left(2.3 \cdot \frac{15.90}{1000} + 0.073 \right) \times 1000 \approx 110 \text{ mm}$$

Corsa degli apparecchi d'appoggio mobile

Corsa minima degli apparecchi d'appoggio mobile:

$$E_{appoggi} = \min \{ 5E_L/8; E_L/2 + 15 \text{ mm} \} = \min \{ 5 \times 110/8; 110/2 + 15 \} = 68.48 \text{ mm} \approx 70 \text{ mm}$$

Escursione dei giunti

Il giunto fra la testata della trave e il paraghiaia dovrà consentire un'escursione totale pari a:

$$E_{giunto} = \pm \left(\frac{E_L}{2} + 10 \text{ mm} \right) = \pm \left(\frac{110}{2} + 10 \text{ mm} \right) = 65.00 \text{ mm} = \pm 65 \text{ mm}$$

Ampiezza dei varchi

L'ampiezza minima dei varchi da prevedere tra l'impalcato ed il paraghiaia dovrà essere:

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 80 di 90

$$V \geq E_L/2 + V_0 = 110/2 + 20 = 75 \text{ mm}$$

Posizionamento ritegni sismici

La distanza fra il cuscinetto di neoprene del ritegno sismico longitudinale, lato appoggio mobile, e la superficie dell'impalcato dovrà essere pari a:

$$V - V_0/2 = 75 - 20/2 = 65 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$$

La distanza fra il cuscinetto di neoprene del ritegno sismico trasversale e la superficie dell'impalcato dovrà essere pari a $5 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$

Entità escursione totale dei giunti e degli apparecchi di appoggio			
ag =	0.114	E1 [mm]=	5.72
S =	1.5	E2 [mm]=	0
Tc [s]=	0.44	dg [m]=	0.004
Td [s]=	2.09	E3 [mm]=	7.90
Vs [m/s]=	323	deg [mm]=	1.03
ΔT [C]=	20	dEd [mm]=	0
L [m]=	15.90	EL[mm]=	6.13
K1=	0.45		

Si riporta di seguito la tabella riepilogativa delle escursioni dei giunti, degli appoggi e dei ritegni sismici

Simbolo	Entità	Unità di misura	Descrizione
EL_totale=	±110	[mm]	Escursione totale longitudinale
EL_appoggi=	±70	[mm]	Corsa degli apparecchi di appoggio mobili longitudinali
EL_giunti=	±65	[mm]	Escursione dei giunti longitudinali
VL_varchi=	75	[mm]	Ampiezza minima varco tra le testate
DL_RitSism=	65±2	[mm]	Distanza tra cuscinetto di neoprene del ritegno sismico longitudinale e superficie di battuta
DT_Rit_sism=	5±2	[mm]	Distanza tra cuscinetto di neoprene del ritegno sismico trasversale e superficie di battuta

Tabella 9 - Tabella riepilogativa escursioni giunti, appoggi e ritegni sismici

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 81 di 90

14 VERIFICHE DEI CAMMINAMENTI

Le verifiche dei camminamenti sono state eseguite considerando il peso proprio degli elementi che li compongono ed un carico da folla distribuito pari a 10 kN/m. I camminamenti si compongono di travi a mensola principali di tipo HEA200 e travi secondarie di tipo UPN120.

Sono stati considerati successivamente gli scarichi dovuti al parapetto, della barriera antirumore (anche se non prevista in progetto) e alla passerella in acciaio. Per la barriera antirumore sono stati considerati, in accordo con la committenza 8kN/m. Sono stati considerati, inoltre, i carichi da vento agenti sulla barriera antirumore di 1.5 kN/mq. I carichi sono stati considerati come forze nodali agli estremi dei profili a mensola e sono di seguito riportati:

- 16.8 kN per i carichi verticali dovuti al peso della barriera antirumore;
- 12.6 kN per il carico assiale dovuto al carico da vento sulla barriera antirumore;
- 25.2 kNm per il momento flettente dovuto al vento sulla barriera antirumore.

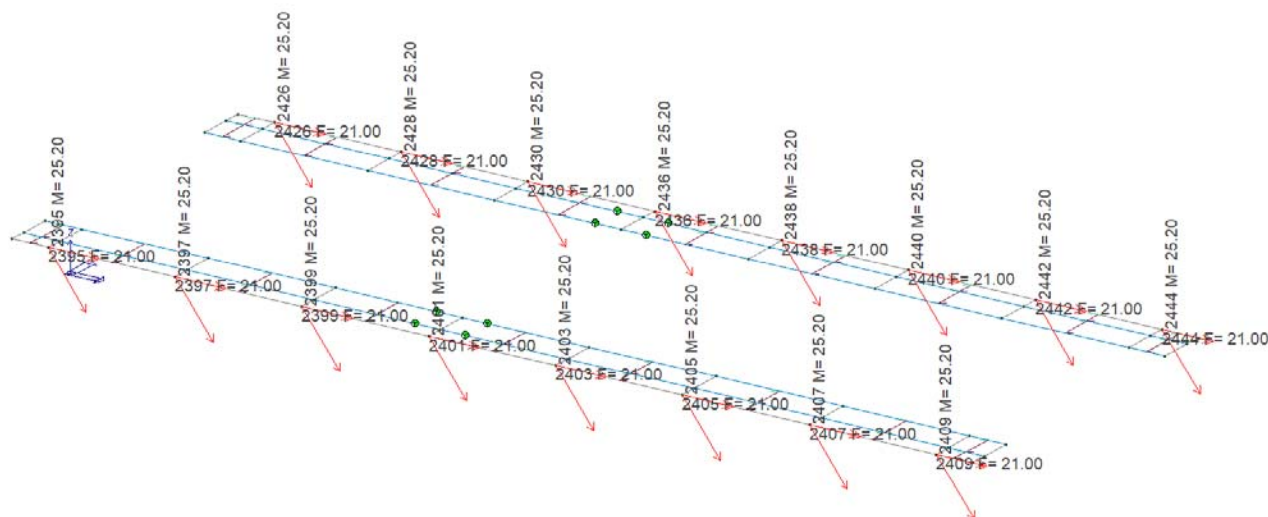


Figura 45 –Carichi sui parapetti.

Le sollecitazioni totali, riportate di seguito, ed opportunamente combinati, sono state utilizzate per la verifica dei piatti saldati e delle bullonature.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	
		FOGLIO 82 di 90

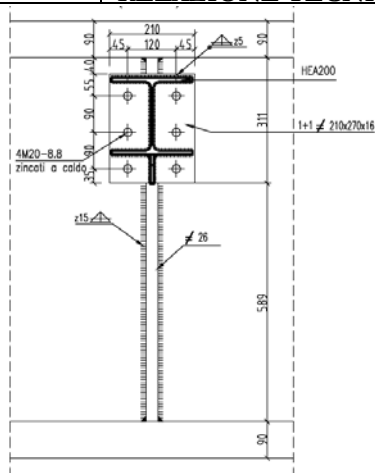


Figura 46 -Particolare delle bullonature e saldature

14.1 Verifiche HEA 200

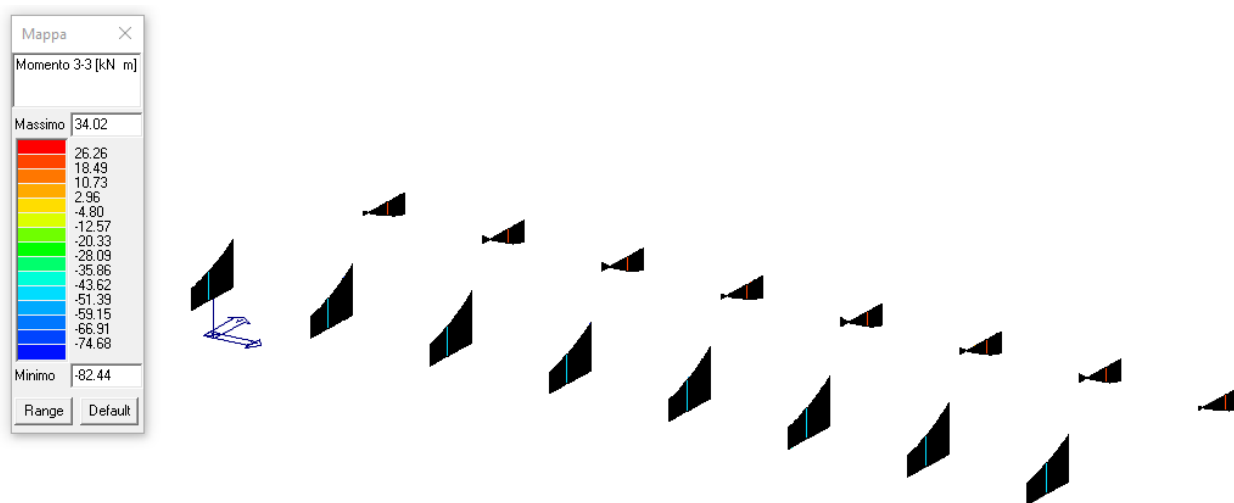


Figura 47 –Diagrammi dei momenti flettenti HEA 200

Verifiche a flessione.

Il momento resistente della trave HEA 200 vale:

$$M_{Rd} = \frac{W_{plf} f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 112.5 \text{ kNm}$$

Essendo $M_{Ed} = 82.44 < M_{Rd} = 112.5 \text{ kNm}$ la verifica a flessione sono ampiamente soddisfatte. In considerazione che per effetto del vento nasce uno sforno normale si riportano anche le verifiche a pressoflessione effettuate mediante il programma di calcolo.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	
		FOGLIO 83 di 90

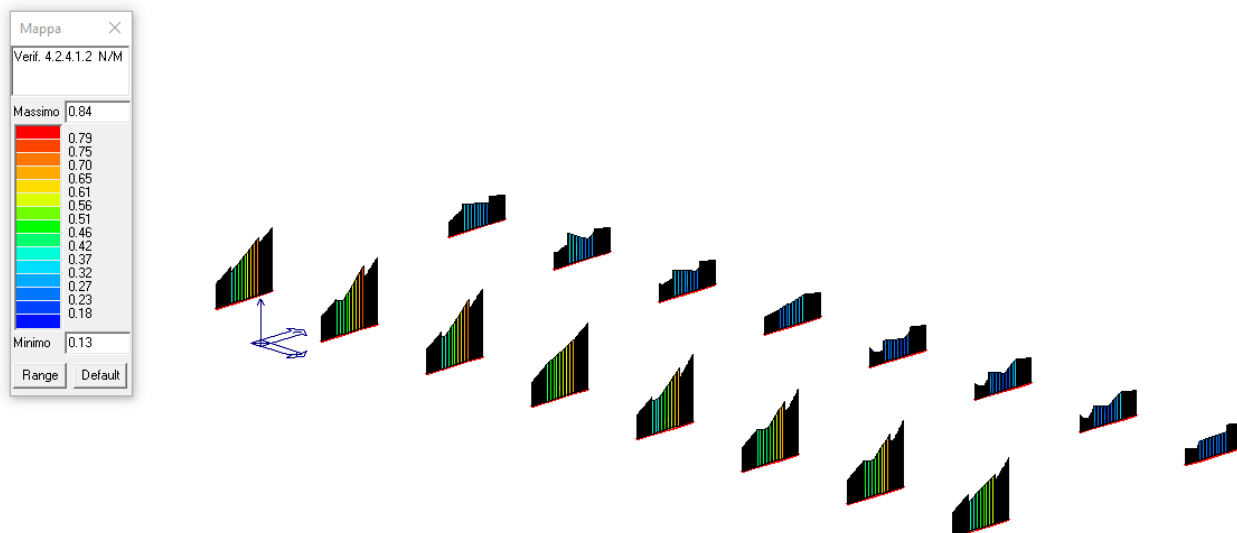


Figura 48 –Diagrammi dei tagli HEA 200

Di seguito si riportano i diagrammi del taglio sollecitante.

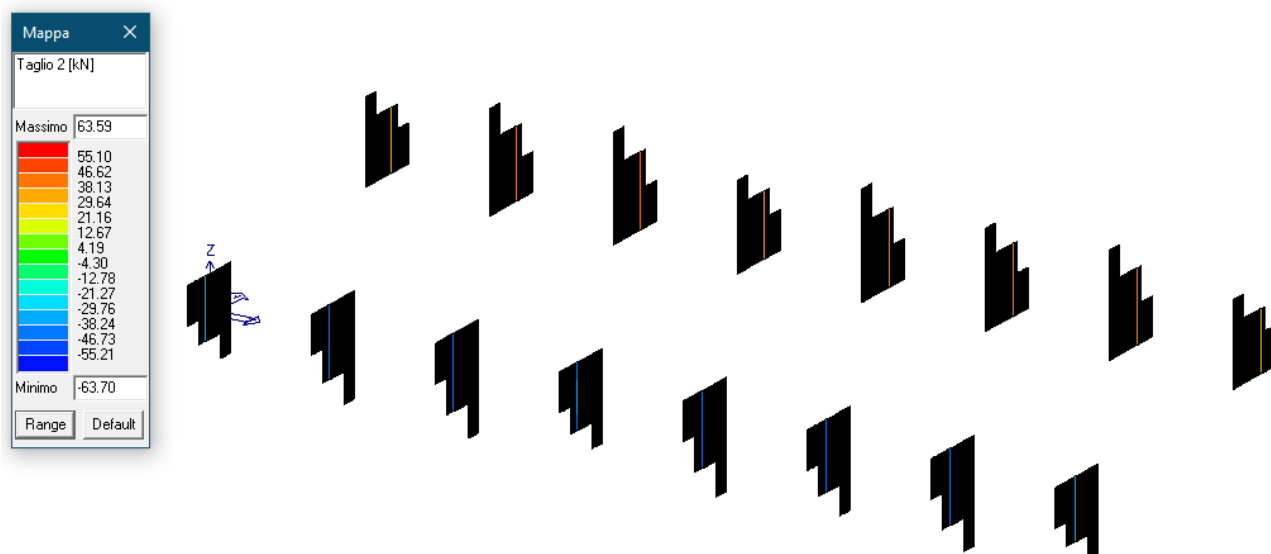


Figura 49 –Diagrammi dei tagli HEA 200

Verifiche a taglio.

Il taglio resistente vale:

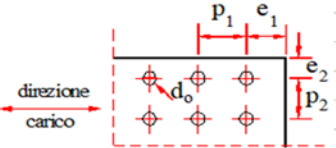
$$V_{Rd} = \frac{A_v f_{yk}}{\gamma_0 \sqrt{3}} = 273.4 \text{ kN}$$

Essendo $V_{Ed} = 63.70 < V_{Rd} = 273.4 \text{ kN}$ la verifica a taglio sono ampiamente soddisfatte.

 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 84 di 90

Verifica delle bullonature

Le sollecitazioni utilizzate per la verifica delle bullonature si riportano di seguito.

Sollecitazioni		
Sollecitazione tagliante	$F_{V,Ed}$ (N)	10.62
Angolo di direzione rispetto l'orizzontale	dir°	0
Sollecitazione tagliante in z	$F_{Vx,Ed}$ (N)	10.62
Sollecitazione tagliante in y	$F_{Vy,Ed}$ (N)	0.00
Sollecitazione di trazione	$F_{t,Ed}$ (N)	45.80
Bulloni		Piastra di collegamento
Classe	8.8	Acciaio S275
d (mm)	20	t (mm)
Dm (mm)	30	γ_{M2}
γ_{M2}	1.25	d ₀ (mm)
f_{yb} (N/mm ²)	640	f_{tk} (N/mm ²)
f_{tb} (N/mm ²)	800	nz.fori
A_n (mm ²)	314.2	ny.fori
A_p (mm ²)	245.0	Lz (mm)
Tipo	Filettata	Ly (mm)
A_{res} (mm ²)	245	
Tipo di esposizione:	Non esposta a fenomeni corrosivi o ambientali	
e ₁ (mm)	55	
e ₂ (mm)	45	
p ₁ (mm)	90	
p ₂ (mm)	120	

Calcolo delle resistenze			
Resistenza del bullone			
Resistenza a taglio	$F_{v,Rd}$ (kN)	94.1	
Resistenza a trazione	$F_{t,Rd}$ (N)	141.1	
Resistenza a rifollamento			
$\alpha = \min \{e_1/(3d_0) ; f_{tb}/f_{tk} ; 1\}$ per bulloni di bordo		0.833	
$k = \min \{2,8e_2/d_0-1,7 ; 2,5\}$ per bulloni di bordo		2.500	
$\alpha = \min \{p_1/(3d_0)-0,25 ; f_{tb}/f_{tk} ; 1\}$ per bulloni interni		1.000	
$k = \min \{1,4p_2/d_0-1,7 ; 2,5\}$ per bulloni interni		2.500	
Resistenza a rifollamento di bordo	$F_{b,Rd}$ (kN)	229.3	
Resistenza a rifollamento interna	$F_{b,Rd}$ (kN)	275.2	
Resistenza a punzonamento			
	$B_{p,max}$ (kN)	311.24	
Resistenza globale piastra a trazione			
Calcolo area netta per taglio in y	A_{nx} (mmq)	3264	
Calcolo area netta per taglio in z	A_{ny} (mmq)	2656	
Calcolo globale piastra in y	N_{rdx} (kN)	854.86	
Calcolo globale piastra in z	N_{rdx} (kN)	695.62	
Verifiche (Si=verifica; No=non verifica)			
Verifiche a taglio	Fs	8.86	Si
Verifiche a rifollamento	Fs	21.60	Si
Verifiche a trazione	Fs	3.08	Si
Verifiche a punzonamento	Fs	6.80	Si
Verifiche taglio+trazione	Fs	2.90	Si
Verifica globale lamiera z	Fs	26.84	Si

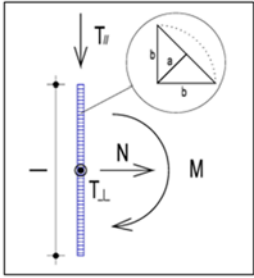
	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 85 di 90

Verifica delle saldature dei piatti

Le sollecitazioni utilizzate per la verifica delle saldature si riportano di seguito.

Sollecitazioni		
Sollecitazione normale	N_{Ed} (kN)	0
Taglio parallelo all'asse	$T_{//}$ (kN)	63.7
Taglio perpendicolare all'asse	$T_{\perp}$ (kN)	0
Momento flettente	M (kNm)	31.4

Dati saldatura		
Acciaio	S235	
a (mm)	5	
l (mm)	150	
n.cordoni	2	
γ_{M2}	1.25	
f_{yk} (N/mm ²)	235	
f_k (N/mm ²)	360	
β_w	0.8	
β_1	0.85	
β_2	1	



Verifiche $F_s > 1$		
Verifica con formula 4.2.76		
$F_{w,Ed}/F_{w,Rd} \leq 1$ con $F_{w,Rd} = a \cdot f_{tk} / (\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2})$		
Forza sollecitante	$F_{w,Ed}$ (N/mm)	212.33
Forza resistente	$F_{w,Rd}$ (N/mm)	1039.23
Verifica	F_s	4.89
Verifica con formula 4.2.78 e 4.2.79		
$\sqrt{(n_{\perp})^2 + (t_{\perp})^2 + (t_{//})^2} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$		
$ n_{\perp} + t_{\perp} \leq \beta_2 \cdot f_{yk}$		
Tensione normale ortogonale	$n_{\perp}$ (N/mm ²)	0.00
Tensione tangenziale parallela	$t_{//}$ (N/mm ²)	42.47
Tensione tangenziale ortogonale	$t_{\perp}$ (N/mm ²)	0.00
Condizione di verifica 1	F_s	4.70
Condizione di verifica 2	F_s	280652.87

14.2 Verifiche UPN 120

Verifiche a flessione.

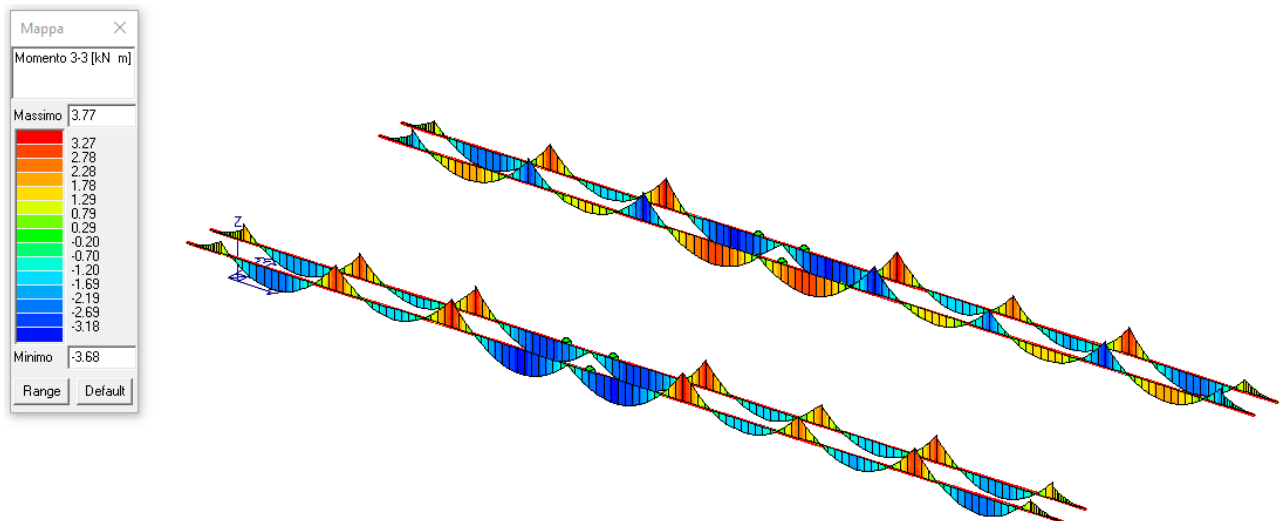


Figura 50 –Diagrammi dei momenti flettenti HEA 200

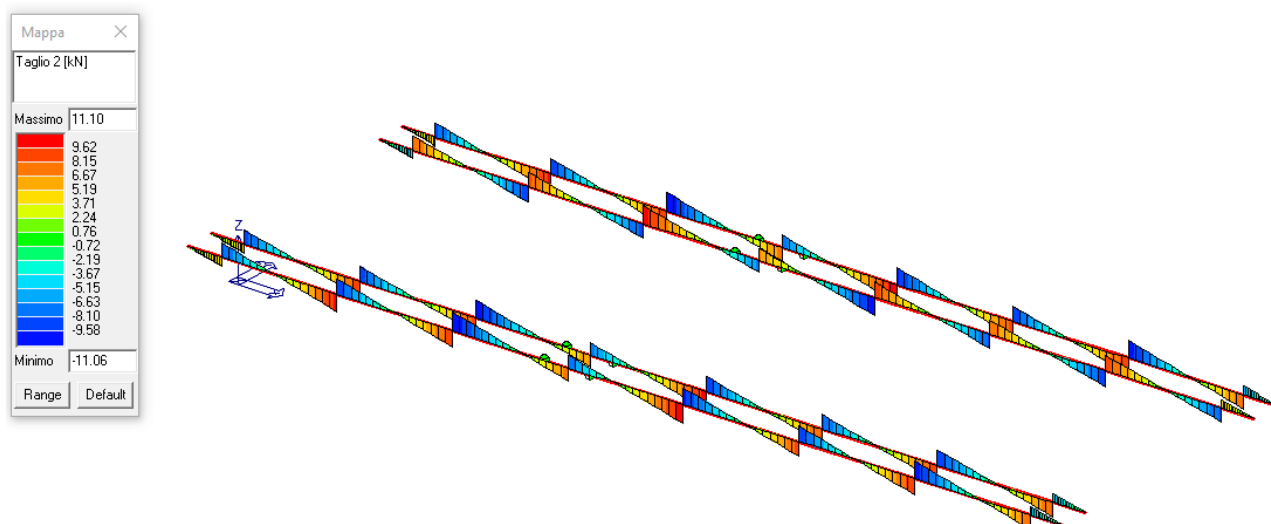
Il momento resistente della trave UPN 120 vale:

$$M_{Rd} = \frac{W_{plf_{yk}}}{\gamma_{M0}} = 24.55 \text{ kNm}$$

Essendo $M_{Ed} = 3.77 < M_{Rd} = 24.55 \text{ kNm}$ la verifica a flessione sono ampiamente soddisfatte.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 86 di 90

Verifiche a taglio.



Il taglio resistente vale:

$$V_{Rd} = \frac{A_v f_{yk}}{\gamma_0 \sqrt{3}} = 166.7 \text{ kN}$$

Essendo $V_{Ed} = 11.1 < V_{Rd} = 166.7 \text{ kN}$ la verifica a taglio sono ampiamente soddisfatte.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	
		FOGLIO 87 di 90

15 VERIFICHE DEI RITEGNI SISMICI

I ritegni sismici vengono realizzati mediante dei baggioli in c.a. realizzati sul pulvino in c.a. della spalla e degli spezzoni di profilo HEB240 saldati al fondo del cassone. Tali ritegni sono chiamati in causa solo in caso di sisma e impediscono l'eventuale fuoriuscita dell'impalcato dalla spalla.

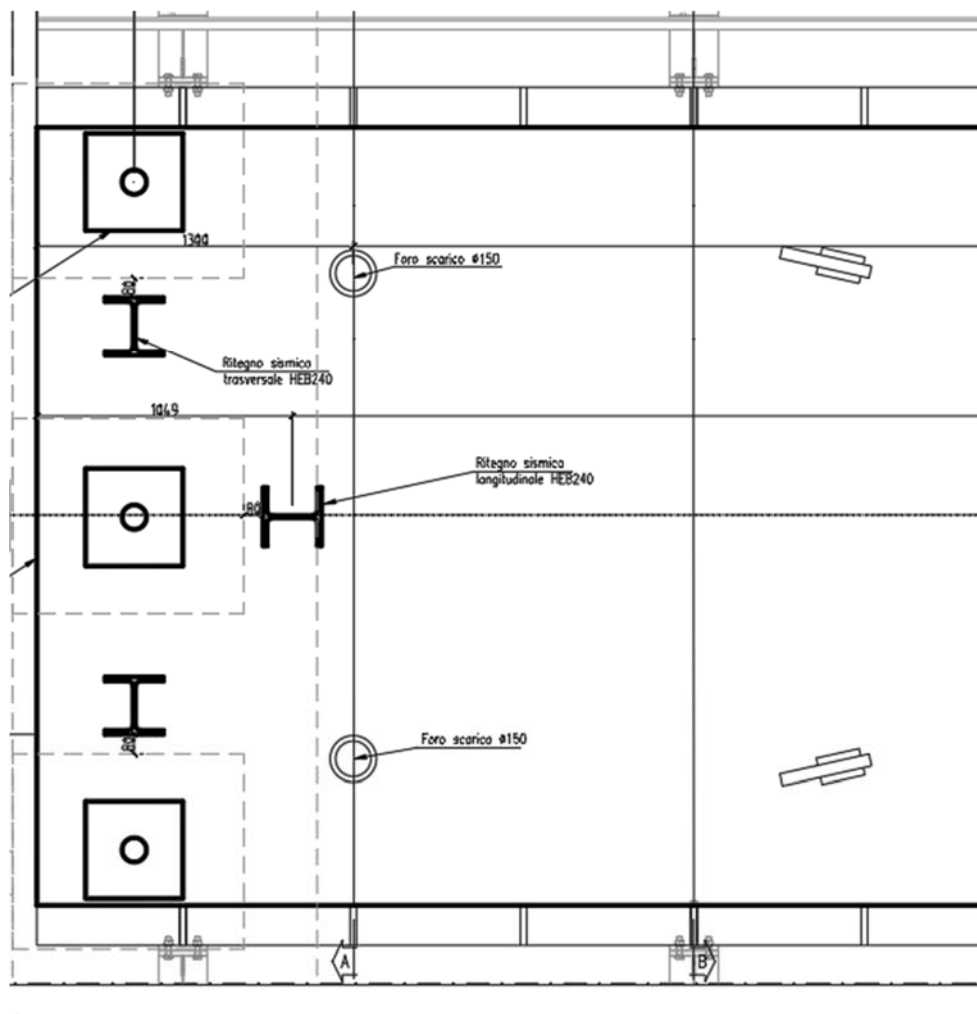


Figura 51 – Pianta fondo cassone con la disposizione dei ritegni sismici

Per il dimensionamento dei ritegni si considerano le forze inerziali dell'impalcato per la combinazione quasi permanente dei carichi:

$$F_i = M a_g S F_0 = 1611.74 \cdot 0.121 \cdot 1.5 \cdot 2.529 = 739.8 \approx 740 \text{ kN}$$

per la verifica del ritegno sismico longitudinale si considera il caso di sisma prevalente in direzione longitudinale più un'aliquota del 30% di forze inerziali nella direzione trasversale:

$$E_x + 0.30 E_y$$

e dunque si ha:

 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 88 di 90

$$F_{ix} = 740 \text{ kN} \quad F_{iy} = 222 \text{ kN}$$

Su un singolo baggiolo si considerano dunque le seguenti sollecitazioni:

$$V_X = \frac{F_{ix}}{2} = 370 \text{ kN} \quad V_Y = \frac{F_{iy}}{2} = 111 \text{ kN}$$

$$M_X = \frac{F_{ix}}{2} H = 129.5 \text{ kNm} \quad M_Y = \frac{F_{iy}}{2} H = 38.85 \text{ kNm}$$

Di seguito si riportano le caratteristiche di resistenza del profilo HEB240 e le verifiche di resistenza effettuate.

☐ IPE ☐ IPN ☐ HEAA ☐ HL
☐ HEA ☐ IPEA ☐ HEX ☐ UB
☒ HEB ☐ IPEO ☐ HD ☐ UC
☐ HEM ☐ IPEX ☐ HP ☐ W

Ordina per:
☒ Wy
☐ ly
☐ g

Acciaio: S275 (Fe430) fy (N/mm2): 275 fu: 430

Lunghezze di libera inflessione [m]:
 I_{Oy}: 0 I_{Oz}: 0

N_{Sd} [kN]: 0

Aggiorna Tabella

	designation	g (Kg/m)	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r1 (mm)
	HE 180 B	51,2	180	180	8,50	14,00	15,00
	HE 200 B	61,3	200	200	9,00	15,00	18,00
	HE 220 B	71,5	220	220	9,50	16,00	18,00
▶	HE 240 B	83,2	240	240	10,00	17,00	21,00
	HE 260 B	93,0	260	260	10,00	17,50	24,00
	HE 280 B	103,0	280	280	10,50	18,00	24,00
	UC 200 B	117,0	200	200	11,00	19,00	27,00

Plotta

HE 240 B

N_{by,Rd} [kN]: 2.776 N_{bz,Rd} [kN]: 2.776 V_{ply,Rd} [kN]: 502,6
 M_{cy,Rd} [kNm]: 275,8 M_{cz,Rd} [kNm]: 130,5 V_{plz,Rd} [kN]: 1.234

g (Kg/m): 83,2 h (mm): 240 b (mm): 240 tw (mm): 10 tf (mm): 17 r1 (mm): 21
 r2 (mm): 0 A (cm2): 106 Iy (cm4): 11.260 Iz (cm4): 3.923 It (cm4): 102,7
 Wy (cm3): 938,3 Wz (cm3): 326,9 Wpl,y (cm3): 1.053 Wpl,z (cm3): 498,4

Classe Sezione:
 Compressione: 1
 Flessione My: 1
 Flessione Mz: 1
 Presso-Flessione: 1

Verifiche:
 Presso Flessione
 Svergolamento

- Verifica a taglio ritegno longitudinale (HEB240)

$$V_{sd,x} = 370 \text{ kN} < V_{rd,x} = 1234 \text{ kN}$$

$$V_{sd,y} = 111 \text{ kN} < V_{rd,y} = 502 \text{ kN}$$

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 89 di 90

- Verifica a flessione biassiale ritegno longitudinale (HEB240)

$$\left(\frac{M_{x,ED}}{M_{x,RD}} \right) + \left(\frac{M_{y,ED}}{M_{y,RD}} \right) \leq 1$$

$$\left(\frac{130}{275.8} \right) + \left(\frac{38.85}{130.5} \right) = 0.77 \leq 1$$

le verifiche risultano soddisfatte.

	Progetto esecutivo per la sostituzione della travata metallica al km 284+732 (ponte T. Acquerta) linea Cecina – Volterra	
1827/17-001-PE-RSPN-00-E002	Ponte a travata metallica Fosso Acquerta Km. 284+732 della linea Cecina-Volterra RELAZIONE TECNICA IMPALCATO METALLICO	FOGLIO 90 di 90

16 CONCLUSIONI

Al fine della sostituzione della travata metallica sito lungo la linea ferroviaria Cecina-Volterra alla chilometrica 284+732, ricadente nel comune di Cecina (LI) e denominato fosso Acquerta è stato definito un modello di calcolo tridimensionale per la determinazione dello stato di sollecitazione e deformazione nella struttura, risolto con un programma di calcolo che utilizza il metodo degli elementi finiti (FEM).

Il modello è stato costruito tenendo conto della geometria, dei materiali e delle condizioni di vincolo che si vogliono realizzare.

Sono state considerate le azioni agenti sulla struttura previste dalla normativa tecnica nazionale D.M. 17/01/2018 e dal Manuale di progettazione opere civili di RFI (RFI DTC SI PS MA IFS 001 A).

Le azioni sono state combinate come previsto dal metodo agli stati limite.

Sono state condotte le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) e nei confronti degli stati limite di esercizio previsti dalla normativa tecnica nazionale D.M. 17/01/2018 e dal Manuale di progettazione opere civili di RFI (RFI DTC SI PS MA IFS 001 A).

Tutte le verifiche effettuate hanno dato esito positivo per ulteriori dettagli si rimanda al tabulato di calcolo e alle tavole di progettazione esecutiva.