

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

MIGLIORAMENTO SISMICO E OPERE DI COMPLETAMENTO DEI VIADOTTI ESISTENTI DELLA LINEA FERRANDINA MATERA

Relazione di calcolo

Verifiche di Sicurezza con Treni Reali C3

VI00 - Impalcato ferroviario precompresso preteso Lc=28m

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

I A 5 F 0 3 D 0 9 C L V I 0 0 0 9 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione Esecutiva	M. Franchinotti	01/2021	S. Di Spigno	01/2021	F. Gemone	01/2021	A. Vittozzi	01/2021

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti
Dott. Ing. Angelo Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° 420783

File: IA5F03D09CLVI0009001A

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	DESCRIZIONE.....	4
3	RIFERIMENTI NORMATIVI	6
3.1	Normativa – Relazione di calcolo 1987	6
3.2	Normativa – Quadro normativo vigente	6
4	MATERIALI	7
5	ANALISI DEI CARICHI	8
5.1	Analisi dei carichi - rdc 1987.....	8
5.1.1	<i>Carichi strutturali, permanenti portati e variabili</i>	<i>8</i>
5.2	Analisi dei carichi - Quadro normativo vigente.....	9
5.2.1	<i>Carichi strutturali: trave e trasversi.....</i>	<i>9</i>
5.3	Carichi verticali variabili da traffico	13
5.3.1	<i>Relazione di calcolo 1987.....</i>	<i>13</i>
5.3.2	<i>Quadro normativo vigente</i>	<i>13</i>
5.4	Incremento dinamico.....	14
5.4.1	<i>Relazione di calcolo 1987.....</i>	<i>14</i>
5.4.2	<i>Quadro normativo vigente</i>	<i>14</i>
5.5	Carichi variabili orizzontali: centrifuga.....	14
5.5.1	<i>Relazione di calcolo 1987.....</i>	<i>14</i>
5.5.2	<i>Quadro normativo vigente</i>	<i>14</i>
5.6	Carichi variabili orizzontali: frenatura+avviamento.....	17
5.6.1	<i>Relazione di calcolo 1987.....</i>	<i>17</i>
5.6.2	<i>Quadro normativo vigente</i>	<i>17</i>
5.7	Serpeggio.....	17
5.7.1	<i>Relazione di calcolo 1987.....</i>	<i>17</i>
5.7.2	<i>Quadro normativo vigente</i>	<i>17</i>
5.8	Carico folla	18
5.8.1	<i>Relazione di calcolo 1987.....</i>	<i>18</i>
5.8.2	<i>Quadro normativo vigente</i>	<i>18</i>
5.9	Azione sismica	19
5.9.1	<i>Relazione di calcolo 1987.....</i>	<i>19</i>
5.9.2	<i>Quadro normativo vigente</i>	<i>20</i>
5.10	Vento.....	22
5.10.1	<i>Relazione di calcolo 1987.....</i>	<i>22</i>
5.10.2	<i>Quadro normativo vigente</i>	<i>22</i>

6	MODELLO ELEMENTI FINITI.....	23
7	VERIFICHE TENSIONALI SEZIONE PRECOMPRESSA.....	25
7.1	Verifica tensionale trave precompressa – sezione di campata.....	25
7.1.1	Relazione di calcolo 1987.....	25
7.1.2	Quadro normativo vigente.....	29
7.1.1	Trave esterna Sezione di campata - C3 - Fasi 1.....	31
7.1.2	Trave esterna Sezione di campata - C3 - Fasi 2.....	32
7.2	Confronto tensioni trave precompressa.....	33
8	VERIFICHE SLU.....	34
8.1	Quadro normativo vigente – Combinazioni.....	34
8.2	Verifica massima azione flettente SLU in campata.....	37
8.2.1	Relazione di calcolo 1987.....	37
8.2.2	Quadro normativo vigente – treni reali.....	37
8.3	Verifica massima azione tagliante SLU all'appoggio.....	39
8.3.1	Relazione di calcolo 1987.....	39
8.3.2	Quadro normativo vigente – treni reali.....	39
8.4	Verifica massima azione tagliante SLU sezione intermedia.....	42
9	VERIFICHE TRAVI TRASVERSALI.....	44
9.1	Sollecitazioni.....	45
9.2	Verifiche trasverso appoggi.....	46
9.2.1	C3.....	46
9.1	Verifiche trasverso campata.....	49
9.1.1	Treno C3.....	49
10	DISPOSITIVI DI APPOGGIO.....	51
10.1	Schema appoggi.....	51
10.2	Scarichi appoggi Relazione di calcolo 1987.....	51
10.2.1	Treni reali.....	52
11	CONCLUSIONI.....	53



Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

Verifiche di sicurezza con treni reali C3 - Impalcato ferroviario precompresso preteso Lc=28m

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
IASF	03	D09	VI0009001	A	4 di 53

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto le verifiche di sicurezza secondo DM 17 gennaio 2018 con treni reali C3 degli impalcati in c.a.p. della tratta ferroviaria Ferrandina-Matera, viadotti ferroviari previsto nell'ambito del progetto definitivo lungo la direttrice ferroviaria Ferrandina-Matera. In particolare, si tratterà dell'impalcato in calcestruzzo armato precompresso preteso a tre travi, a singolo binario con luce di calcolo pari a 28m e interasse pile 30m.

Tale tipologia di impalcato è diffusamente impiegata nell'ambito della tratta oggetto di intervento.

Verranno ripercorse le principali verifiche globali secondo il quadro normativo delle relazioni originali e secondo il quadro normativo attuale coerentemente ai treni reali C3 presi in esame.

Le analisi riportate hanno la validità per la tipologia in oggetto appartenenti al Lotto 01 (VI05) e al Lotto 03 del Progetto in esame.

2 DESCRIZIONE

L'impalcato è rappresentato da una soluzione a tre travi precomprese di luce di calcolo pari a 28m e di luce complessiva pari a 29m. L'impalcato è caratterizzato da una tipologia in cemento armato precompresso con pretensione a fili aderenti. Il viadotto è a singolo binario e la sezione strutturale è rappresentata da travi a T prefabbricate di altezza strutturale pari a 2.20m e completata da una soletta superiore gettata in opera di spessore 0.25m e di larghezza complessiva pari a 7.40m. Le travi in c.a.p. sono collegate tra loro da trasversi, due all'appoggio, due in posizione intermedia in campata, che consentono la piena collaborazione dei vari elementi strutturali.

La pretensione delle travi longitudinali è realizzata tramite 66 trefoli diam. 0.6'.

La travata è appoggiata su sei apparecchi di appoggio, che realizzano lo schema statico di trave semplicemente appoggiata, con tre appoggi di tipo fisso, mentre dal lato opposto la configurazione prevede tre appoggi di tipo unidirezionale longitudinale.

Nel seguito alcune immagini rappresentative della travata.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	Verifiche di sicurezza con treni reali C3 - Impalcato ferroviario precompresso preteso Lc=28m					
Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
	IASF	03	D09	VI0009001	A	6 di 53

3 RIFERIMENTI NORMATIVI

3.1 Normativa – Relazione di calcolo 1987

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086. Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
- Circolare del Servizio tecnico centrale 14 febbraio 1974 – “Istruzioni per l'applicazione della Legge 5 novembre 1971, n.1086”
- Circolare 24 maggio 1982 del Ministero Dei Lavori Pubblici n. 22631- istruzioni relative ai carichi, ai sovraccarichi ed ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni.
- D. MIN. LL.PP. 27/07/1985 - Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- Istruzioni del consiglio nazionale ricerche CNR 10012-67 “Ipotesi di carico sulle costruzioni”
- Circolare n.54 LC.6/27215 in data 15 Luglio 1945 del Servizio Lavori e Costruzioni delle Ferrovie e relative tabelle dei sovraccarichi
- Decreto Ministeriale del 24.1.1986 “Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica”
- D.M. 2.8.1980 “Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo dei ponti stradali”
- Circolare FS n. 44b del 9.10.1982 “Istruzioni tecniche per manufatti sotto binario da costruire in zona sismica”

3.2 Normativa – Quadro normativo vigente

- Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»;
- Circolare 21 gennaio 2019, n 7 C.S.LL.PP. (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- Istruzione RFI DTC SI PS MA IFS 001D - Dicembre 2019 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture;
- Istruzione RFI DTC SI CS MA IFS 001D - Dicembre 2019 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 3 - Corpo Stradale;
- Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione Europea.

4 MATERIALI

Si riportano i materiali secondo quanto desunto dalla relazione di calcolo.

		Relazione di calcolo	NTC 2018	
Fattore di confidenza NTC2018			1.2	
Clis soletta				
	R_{ck}	300		kg/cm ²
	f_{ck}	30	25.0	MPa
		97		
	σ_c	9.7	8.1	MPa
Impalcati precompressi a fii aderenti				
		500		kg/cm ²
	R_{ck}	50	41.7	MPa
		190		kg/cm ²
	σ_c	19	15.8	MPa
		240		kg/cm ²
	σ_i	24	20.0	MPa
Acciai armatura lenta Fe 38k (controllato)				
	σ_s	2220		kg/cm ²
		222	185.0	MPa
Acciaio armonico per c.a.p.				
	$F_{tptk} \geq$	180000		kg/cm ²
		1800	1500.0	MPa
	$F_{p(1)k} \geq$	15000		kg/cm ²
		1500	1250.0	MPa
	$\sigma_{spo} =$	13300		kg/cm ²
		1330	1108	MPa

Cautelativamente FC=1.2 sia per meccanismi fragili che duttili.

Si riporta quanto presente al C8.5.4 della Circ. Esplicativa 21 gennaio 2019.

LC2: si intende raggiunto quando siano stati effettuati, come minimo, l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato, con riferimento al § C8.5.1, il rilievo geometrico completo e *indagini estese* sui dettagli costruttivi, con riferimento al § C8.5.2, *prove estese* sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, con riferimento al § C8.5.3; il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1,2** (nel caso di costruzioni di acciaio, se il livello di conoscenza non è LC3 solo a causa di una non esaustiva conoscenza sulle proprietà dei materiali, il fattore di confidenza può essere ridotto, giustificandolo con opportune considerazioni anche sulla base dell'epoca di costruzione);

Alla luce dei rilievi effettuati e delle indagini complessivamente eseguite sulle opere oggetto di intervento che confermano la corrispondenza dei materiali impiegati con le indicazioni desumibili dal progetto, si ritengono soddisfatti i requisiti per il raggiungimento del Livello di Conoscenza 2 anche per gli impalcati.

5 ANALISI DEI CARICHI

5.1 Analisi dei carichi - rdc 1987

5.1.1 Carichi strutturali, permanenti portati e variabili

L'analisi prende in considerazione la singola trave di bordo, su una luce in semplice appoggio pari a 28m, caricata verticalmente dal treno di Tipo A del 1945 e dal carico folla. Non sono previsti carichi orizzontali trasversali o longitudinali. L'analisi dei carichi agenti sull'implacato in presenza di sisma è citata brevemente nel capitolo 4 ai soli fini di un rapido confronto che riassume la maggior lieve gravosità delle verifiche in assenza di sisma.

- Analisi dei carichi					
Travi:	3×2.51	=	7.53 t/m	Trave	25.1 kN/m
soletta:	$7.40 \times 0.25 \times 2.5$	=	4.63 t/m	Soletta	46.3 kN/m
cordoli:	$2 \times (0.20 \times 0.25 + 0.2 \times 0.5) \times 2.5$	=	0.75 t/m	Cordoli	7.5 kN/m
impermeab.:	7.40×0.20	=	1.48 t/m	Impermeabilizzazione	14.8 kN/m
ballast:	$4.00 \times 0.70 \times 1.8$	=	5.04 t/m	Ballast	50.4 kN/m
corrimano e canalette:		=	0.40 t/m	Corrimano+canalette	4 kN/m
trasversi di campata:					
	$\frac{0.70 + 0.30}{2} \times 0.90 \times 1.85 \times 2.5 \times 2 \times 3$	=	12.5 t/cad	Traversi di campata	125 kN/cad
treno tipo A:					
carico flettente	qA (28.00)	=	13.17 t/m	Carico flettente (28m)	131.7 kN/m
carico tagliante	qA (28.00)	=	14.62 t/m	Carico tagliante (28m)	146.2 kN/m
	qA (22.50)	=	15.33 t/m	Carico tagliante (22.5m)	153.3 kN/m
	qA (14.00)	=	16.37 t/m	Carico tagliante (14.0m)	163.7 kN/m
Folla su un marciapiede:					
F	0.40×1.25	=	0.50 t/m	folla su un marciapiede	5 kN/m

Nel seguito sono riassunti i carichi così come desunti dalla rdc:

Area trave campata : $A_c = 1.003 \text{ m}^2$

$g_{1k, \text{trave}} = \gamma_c \cdot A_c = 25 \cdot 1.003 = 25.1 \text{ kN/m}$

$g_{1k, \text{traversi}} = 125 \cdot 4 = 500 \text{ kN}$

$g_{1k, \text{soletta}} = 46.3 \text{ kN/m}$

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
IA5F	03	D09	VI0009001	A	9 di 53

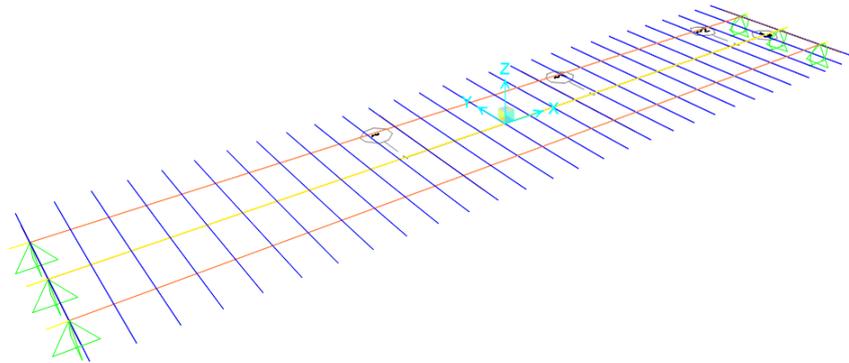
$$g_{2k, \text{trave}} = 7 \cdot .5 + 14.8 + 5.04 + 0.4 = 76.4 \text{ kN/m}$$

$$Q_{vk, FL, \text{Relazione di calcolo 1987 (28m)}} = 131.7 \text{ kN/m}$$

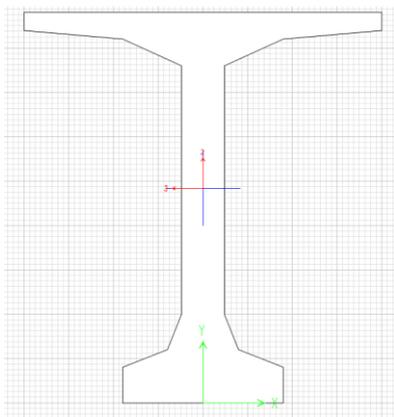
$$Q_{vk, FL, \text{Relazione di calcolo 1987 (28m)}} = 146.2 \text{ kN/m}$$

5.2 Analisi dei carichi - Quadro normativo vigente

5.2.1 Carichi strutturali: trave e trasversi



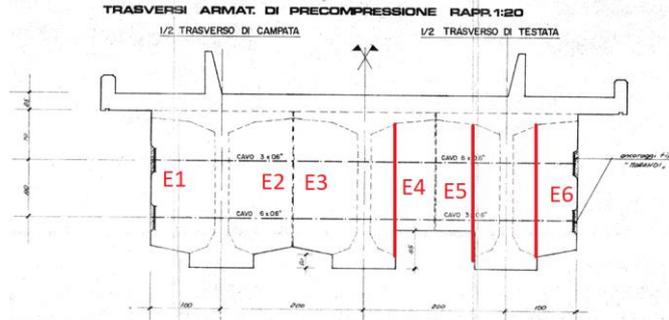
Calcolo peso trave



Property Data			
Section Name		PROP	
Properties			
Cross-section (axial) area	1.003	Section modulus about 3 axis	0.5497
Moment of Inertia about 3 axis	0.6648	Section modulus about 2 axis	0.1013
Moment of Inertia about 2 axis	0.1013	Plastic modulus about 3 axis	0.7462
Product of Inertia about 2-3	0.	Plastic modulus about 2 axis	0.2181
Shear area in 2 direction	0.5311	Radius of Gyration about 3 axis	0.8141
Shear area in 3 direction	0.6654	Radius of Gyration about 2 axis	0.3177
Torsional constant	0.0235	Shear Center Eccentricity (x3)	0.

G1ktravi					
Area sez. campata	1.003	m ²	su una lung.	Lc	23.0 m
Area sez. appoggio	2.118	m ²	su una lung.	La	3.0 m
Area med.sezi intermedia	1.561	m ²	su una lung.	Lca	3.0 m
Vol, trave	34.1045	m ³			
G1, trave	852.61	kN			
ΣG1, travi	2558	kN			
g _{1k, campata}	25.08	kN/m			
g _{1k, appoggio}	52.95	kN/m			

Calcolo peso strutturale trasversi



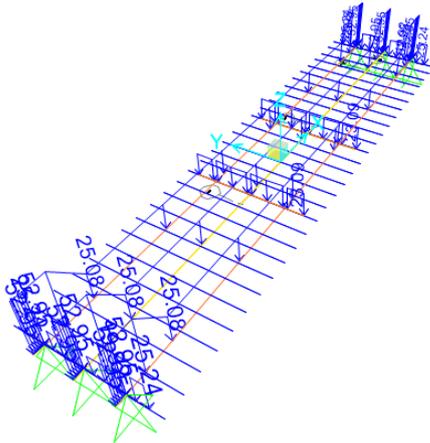
G1traversi			
traversi appoggi			
$h_{Ext,app}$	0.55 m	$h_{Int,app}$	0.55 m
$L_{1,Ext,app}$ (base maggiore)	1.9 m	$L_{1,Int,app}$ (base maggiore)	1.55 m
$L_{2,Ext,app}$ (base maggiore)	0.7 m	$L_{2,Int,app}$ (base maggiore)	0.7 m
$L_{1,Ext,app}$ (base minore)	1.8 m	$L_{1,Int,app}$ (base minore)	1.35 m
$L_{2,Ext,app}$ (base minore)	0.4 m	$L_{2,Int,app}$ (base minore)	0.4 m
$SB_{Ext,app}$ (base maggiore)	1.33 m ²	$SB_{Int,app}$ (base maggiore)	1.085 m ²
$Sb_{Ext,app}$ (base minore)	0.72 m ²	$Sb_{Int,app}$ (base minore)	0.54 m ²
$V_{tronco\ pir, Ext,app}$	0.555 m ³	$V_{tronco\ pir, Int,app}$	0.438 m ³
$G_1 Ext,app$	13.88095 kN	$G_1 Int,app$	10.95619 kN
$G_1 Ext,app = G_1 Ext,app / h_{ext,app}$	25.24 kN/m	$G_1 Int,app = G_1 Int,app / h_{ext,app}$	19.92 kN/m

	x_1	x_2	g_{1trav}	G_{1trav}
	[m]	[m]	[kN/m]	[kN]
E1	0.00	0.55	25.24	13.9
E2	1.45	2.00	19.92	11.0
E3	2.00	2.55	19.92	11.0
E4	3.45	4.00	19.92	11.0
E5	4.00	4.55	19.92	11.0
E6	5.45	6.00	25.24	13.9
			$G_{1,Trav,app}$	71.6

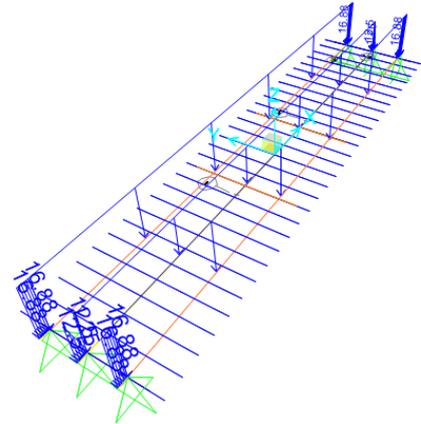
traversi campata			
$h_{Ext,app}$	0.88 m	$h_{Int,app}$	0.88 m
$L_{1,Ext,app}$ (base maggiore)	1.9 m	$L_{1,Int,app}$ (base maggiore)	1.9 m
$L_{2,Ext,app}$ (base maggiore)	0.7 m	$L_{2,Int,app}$ (base maggiore)	0.7 m
$L_{1,Ext,app}$ (base minore)	1.9 m	$L_{1,Int,app}$ (base minore)	1.9 m
$L_{2,Ext,app}$ (base minore)	0.3 m	$L_{2,Int,app}$ (base minore)	0.3 m
$SB_{Ext,app}$ (base maggiore)	1.33 m ²	$SB_{Int,app}$ (base maggiore)	1.33 m ²
$Sb_{Ext,app}$ (base minore)	0.57 m ²	$Sb_{Int,app}$ (base minore)	0.57 m ²
$V_{tronco\ pir, Ext,app}$	0.813 m ³	$V_{tronco\ pir, Int,app}$	0.812736 m ³
$G_1 Ext,app$	20.32 kN	$G_1 Int,app$	20.32 kN
$G_1 Ext,app = G_1 Ext,app / h_{ext,app}$	23.09 kN/m	$G_1 Int,app = G_1 Int,app / h_{ext,app}$	23.09 kN/m

	x_1	x_2	g_{1trav}	G_{1trav}
	[m]	[m]	[kN/m]	[kN]
E1	0.00	0.88	23.09	20.3
E2	1.12	2.00	23.09	20.3
E3	2.00	2.88	23.09	20.3
E4	3.12	4.00	23.09	20.3
E5	4.00	4.88	23.09	20.3
E6	5.12	6.00	23.09	20.3
			$G_{1,Trav,camp}$	121.9

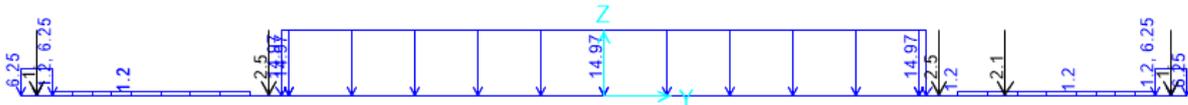
G1travi+traversi



G1soletta



G2



Carichi distribuiti				Posizione	Posizione	Carico distribu
				[m]	[m]	
G2	GLOBAL	Force	Gravity	0.00	0.20	6.25
G2	GLOBAL	Force	Gravity	7.20	7.40	6.25
G2	GLOBAL	Force	Gravity	1.65	5.75	14.97
G2	GLOBAL	Force	Gravity	0.20	1.45	1.2
G2	GLOBAL	Force	Gravity	5.95	7.20	1.2

Carichi puntuali				Posizione	Carico puntuale
				[m]	[kN]
G2	Muri_paraballast	Force	Gravity	1.57	2.50
G2	Muri_paraballast	Force	Gravity	5.83	2.50
G2	Canaletta	Force	Gravity	6.25	2.10
G2	Corrimano	Force	Gravity	0.10	1.00
G2	Corrimano	Force	Gravity	7.30	1.00

5.3 Carichi verticali variabili da traffico

5.3.1 Relazione di calcolo 1987

treno tipo A:

carico flettente	qA (28.00)	=	13.17 t/m
carico tagliante	qA (28.00)	=	14.62 t/m
	qA (22.50)	=	15.33 t/m
	qA (14.00)	=	16.37 t/m

Treno tipo A	
Carico flettente (28m)	131.7 kN/m
Carico tagliante (28m)	146.2 kN/m
Carico tagliante (22.5m)	153.3 kN/m
Carico tagliante (14.0m)	163.7 kN/m

5.3.2 Quadro normativo vigente

5.3.2.1 Treni reali

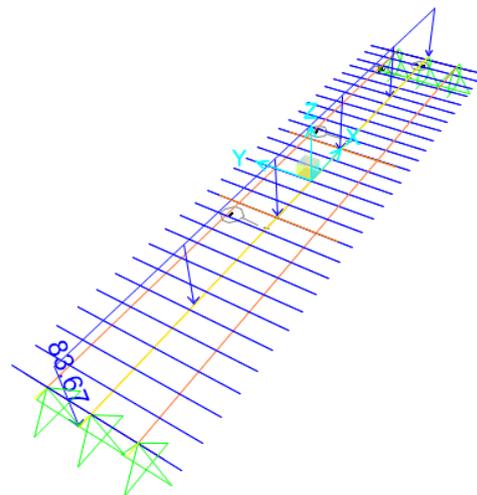
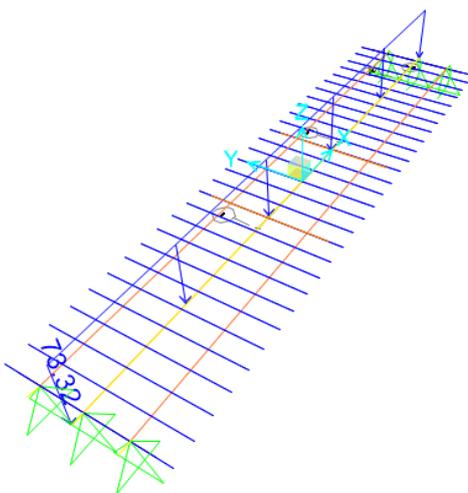
Si considera oltre ai treni teorici anche il Treno Reale C3.

Il treno C3 è schematizzato secondo il carico equivalente flettente e tagliante per la luce in esame.

Treno C3		
Lunghezza	Eq. flettente	Eq. Tagliante
m	kN	kNm
28	73.32	83.67

Equivalente flettente

Equivalente tagliante



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	Verifiche di sicurezza con treni reali C3 - Impalcato ferroviario precompresso preteso Lc=28m					
Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
	IASF	03	D09	VI0009001	A	14 di 53

5.4 Incremento dinamico

5.4.1 Relazione di calcolo 1987

$$i = 1 + \frac{0.4}{1+0.2 \times 28.00} + \frac{0.6}{1+4 \times 6.74/4.92} = 1.153$$

5.4.2 Quadro normativo vigente

5.4.2.1 Treni reali

Secondo $L_{\varphi}=28\text{m}$ e la prima frequenza flessionale ottenuta da modello impostando mass source G_1+G_2 si ottiene quanto segue:

L_{φ}	28.00	m
n_o	4.506	Hz
K	0.132	[-]
φ'	0.152	[-]
φ''	1424.564	[-]
φ'	0.152	[-]
φ''	0.020	[-]
φ' reale	1.173	[-]

5.5 Carichi variabili orizzontali: centrifuga

5.5.1 Relazione di calcolo 1987

La forza centrifuga non è prevista all'interno della r.d.c..

5.5.2 Quadro normativo vigente

5.5.2.1 Treni reali

Cautativamente si assume come moltiplicatore del carico verticale, il medesimo valore ottenuto come inviluppo tra la formulazione del treno LM71 e SW2, il cui calcolo è richiamato nel seguito. Il valore assunto è pari a 0.156. I dati di velocità e di raggio di curvatura sono desunti dal progetto originario.

5.5.2.2 Calcolo moltiplicatore forza centrifuga

La forza centrifuga si considera agente verso l'esterno della curva, in direzione orizzontale ed applicata alla quota di 1,80 m al di sopra del P.F.

Le azioni centrifughe sono state valutate secondo le seguenti espressioni:

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

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

Le azioni centrifughe sono state valutate secondo quanto riportato nella seguente tabella.

Valore di α	Massima velocità della linea [Km/h]	Azione centrifuga basata su:				traffico verticale associato
		V	α	f		
SW/2	≥ 100	100	1	1	$1 \times 1 \times SW/2$	$\Phi \times 1 \times SW/2$
	< 100	V	1	1	$1 \times 1 \times SW/2$	
LM71 e SW/0	> 120	V	1	f	$1 \times f \times (LM71''+''SW/0)$	$\Phi \times 1 \times 1 \times (LM71''+''SW/0)$
		120	α	1	$\alpha \times 1 \times (LM71''+''SW/0)$	$\Phi \times \alpha \times 1 \times (LM71''+''SW/0)$
	≤ 120	V	α	1	$\alpha \times 1 \times (LM71''+''SW/0)$	

Tabella 1 – Parametri per determinazione della forza centrifuga

Si ottengono quindi i seguenti valori caratteristici dell'azione centrifuga. I valori massimi sono impiegati nelle analisi.

Velocità= 125 km/h: dato desunto dalla relazione di calcolo delle pile

Raggio di curvatura= 800m: dato desunto dalla relazione di calcolo delle pile

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
IA5F	03	D09	VI0009001	A	16 di 53

AZIONE CENTRIFUGA

Categoria ponte				A					
Lunghezza di influenza				30 m					
Velocità di progetto				125 Km/h					
Raggio planimetrico minimo				800 m					
					assi (kN)	uni (kN)			
				Modello LM 71	250	80			
				Modello SW 2		150			
centrifuga per LM71				V > 120	forza centrifuga		traffico verticale associato		
caso	V(Km/h)	alfa	f	$C = V^2 / 127 / r^{**} \alpha$	$Q_{tk}(assi) = C * 250$	$q_{tk}(uni) = C * 80$	$Q_{vk}(assi)$	$q_{vk}(uni)$	
1	125	1	0.97	0.149	37.4	12.0	250	80	
2	120	1.1	1	0.156	39.0	12.5	275	88	
centrifuga per LM71				V ≤ 120	forza centrifuga		traffico verticale associato		
caso	V(Km/h)	alfa	f	$C = V^2 / 127 / r^{**} \alpha$	$Q_{tk}(assi) = C * 250$	$q_{tk}(uni) = C * 80$	$Q_{vk}(assi)$	$q_{vk}(uni)$	
4	125	1.1	1	0.169	42.3	13.5	275	88	
centrifuga per SW2					forza centrifuga		traffico verticale associato		
	V(Km/h)	alfa	f	$C = V^2 / 127 / r^{**} \alpha$		$q_{tk}(uni) = C * 150$		$q_{vk}(uni)$	
	100	1	1	0.098		14.8		150	

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</p> <p>Verifiche di sicurezza con treni reali C3 - Impalcato ferroviario precompresso preteso Lc=28m</p>					
	<p>Relazione di calcolo</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IA5F</p>	<p>LOTTO</p> <p>03</p>	<p>ENTE</p> <p>D09</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>VI0009001</p>	<p>REV</p> <p>A</p>

5.6 Carichi variabili orizzontali: frenatura+avviamento

5.6.1 Relazione di calcolo 1987

La forza di frenatura/avviamento non è prevista all'interno della r.d.c..

5.6.2 Quadro normativo vigente

5.6.2.1 Treni reali

Si considera il valore di 1/6 dell'equivalente flettente del corrispondente treno C3

$$Q_{V_k,C3}=73.32 \text{ kN/m}$$

$$Q_{L_k,C3}=73.32/6=12.22 \text{ kN/m}$$

Inoltre si considera il corrispondente valore di momento distribuito per l'applicazione della forza a 2.00 m dal p.f..

5.7 Serpeggio

5.7.1 Relazione di calcolo 1987

La forza di serpeggio non è prevista all'interno della r.d.c..

5.7.2 Quadro normativo vigente

5.7.2.1 Treni reali

La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario. Tale azione si applicherà sia in rettilineo che in curva.

Il valore caratteristico di tale forza è stato assunto pari a $Q_{sk}=100 \text{ kN}$. Tale valore deve essere moltiplicato per α , ma non per il coefficiente di incremento dinamico.

Questa forza laterale deve essere sempre combinata con i carichi verticali.

Al fine di massimizzare gli effetti sulle travi, il carico è stato disposto, su due configurazioni differenti (agli appoggi e in mezzera).

Il posizionamento è previsto in corrispondenza dell'appoggio e in campata.



Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

Verifiche di sicurezza con treni reali C3 - Impalcato ferroviario precompresso preteso Lc=28m

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
IA5F	03	D09	VI0009001	A	18 di 53

5.8 Carico folla

5.8.1 Relazione di calcolo 1987

Folla su un marciapiede:

$$F = 0.40 \times 1.25 = 0.50 \text{ t/m}$$

5.8.2 Quadro normativo vigente

Non considerato (per le verifiche SLE e SLU non concomitante con il carico da traffico).

5.9 Azione sismica

5.9.1 Relazione di calcolo 1987

L'azione sismica non è prevista nel dimensionamento della sezione. L'analisi dei carichi agenti sull'impalcato in presenza di sisma (componente verticale) è citata brevemente nel Capitolo 4 della r.d.c. dell'impalcato, ai soli fini di un rapido confronto che riassume la maggior lieve gravosità delle verifiche in assenza di sisma.

4 - Verifica dei carichi agenti sull'impalcato in presenza di sisma:

Permanenti e semipermanenti:	$19.8/3 =$	6.6 t/m
Accidentali qt (28 m) :	$8.11/3 =$	2.7 t/m
	$=$	9.3 t/m
Incremento sismico = 0.2×9.3	$=$	1.9 t/m
Carico totale agente qs	$=$	11.2 t/m

In assenza di sisma il carico agente, dedotto dalla relativa relazione di calcolo, vale:

$$q = 6.6 + 13.17/3 \times 1.153 + 0.5 = 11.5 \text{ t/m}$$

I valori dei carichi agenti sulla trave in presenza ed in assenza di sisma risultano pertanto paragonabili, risultando in lieve misura più gravose le verifiche in assenza di sisma, eseguite nella presente relazione di calcolo.

5.9.2 Quadro normativo vigente

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato a riguardo dal D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa. Cautelativamente è stata presa a riferimento la categoria di suolo più severa tra quelle presenti sullo sviluppo della tratta.

Spettro orizzontale

 Response Spectrum Italian NTC2018 Function Definition

✕

Function Name

Function Damping Ratio

Parameters

ag, F0 and Tc* - by Latitude/Longitude
 ag, F0 and Tc* - by Island
 ag, F0 and Tc* User Specified

Site Longitude (degree)

Site Latitude (degree)

Island Name

Limit State

Usage Class

Nominal Life

Peak Ground Acc., ag/g

Magnification Factor, F0

Reference period, Tc*

Spectrum Type

Soil Type

Topography

h/H ratio

Spectrum Period, Tb

Spectrum Period, Tc

Spectrum Period, Td

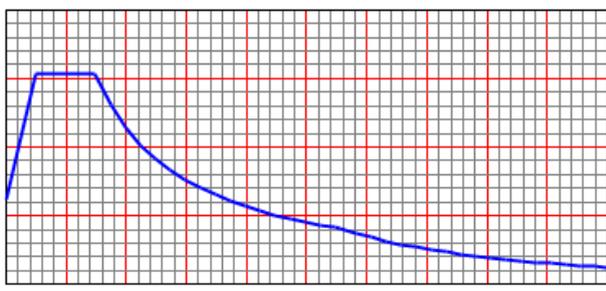
Damping Percentage, Xi

Behavior Factor, q

Define Function

Period	Acceleration
0.	0.2469
0.1975	0.612
0.5924	0.612
0.6924	0.5236
0.7924	0.4575
0.8924	0.4063
0.9924	0.3653
1.0924	0.3319

Function Graph



Spettro verticale

Response Spectrum Italian NTC2018 Function Definition

Function Name: Function Damping Ratio:

Parameters

ag, F0 and Tc* - by Latitude/Longitude
 ag, F0 and Tc* - by Island
 ag, F0 and Tc* User Specified

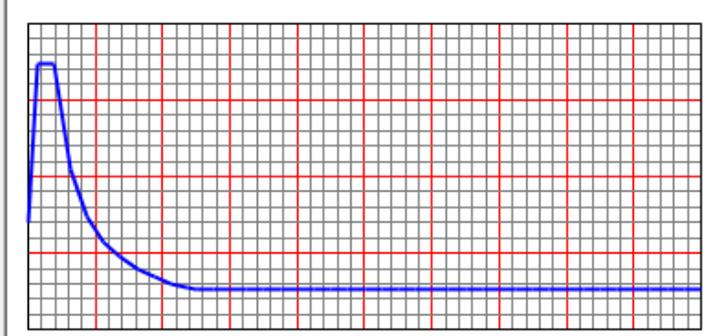
Site Longitude (degree):
 Site Latitude (degree):
 Island Name:
 Limit State:
 Usage Class:
 Nominal Life:
 Peak Ground Acc., ag/g:
 Magnification Factor, F0:
 Reference period, Tc*:
 Spectrum Type:
 Soil Type:
 Topography:
 h/H ratio:
 Spectrum Period, Tb:
 Spectrum Period, Tc:
 Spectrum Period, Td:
 Damping Percentage, Xi:
 Behavior Factor, q:

Define Function

Period	Acceleration
0.	0.0841
0.05	0.2084
0.15	0.2084
0.25	0.125
0.35	0.0893
0.45	0.0695
0.55	0.0568
0.65	0.0481

Buttons: Add, Modify, Delete

Function Graph



Display Graph:

Buttons: OK, Cancel

Convert to User Defined



Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

Verifiche di sicurezza con treni reali C3 - Impalcato ferroviario precompresso preteso Lc=28m

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
IA5F	03	D09	VI0009001	A	22 di 53

5.10 Vento

5.10.1 Relazione di calcolo 1987

L'azione del vento non è prevista nel dimensionamento dell'impalcato.

5.10.2 Quadro normativo vigente

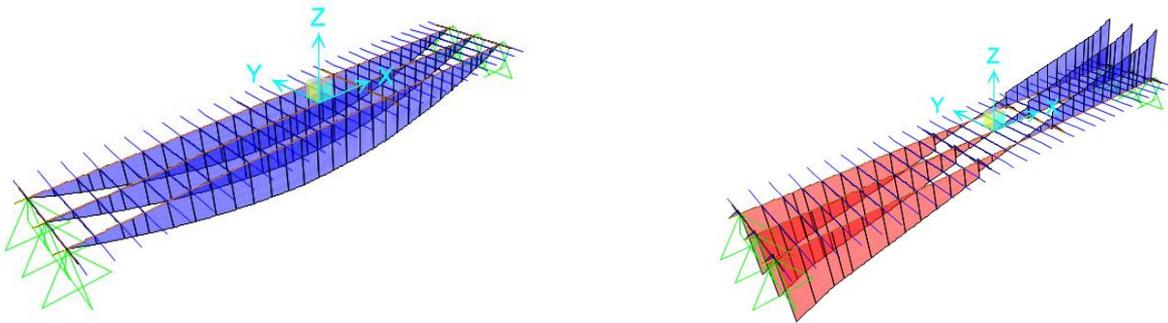
Si considerano 2.5 kN/m², applicati considerando un'altezza pari al treno (4m) e sull'impalcato.

6 MODELLO ELEMENTI FINITI

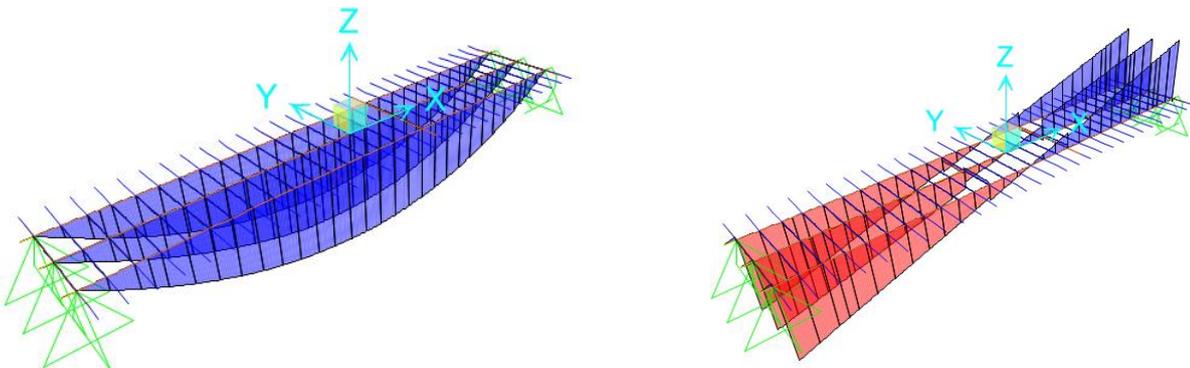
È stato realizzato un modello di calcolo agli elementi finiti con elementi tipo frame. Il modello costituisce il graticcio dell'impalcato realizzato con le tre travi e gli elementi della soletta posti ad interasse 1m. Sugli assi appoggi sono modellati infine i trasversi.

Nel seguito si evidenziano gli andamenti delle sollecitazioni risultanti per i principali casi di carico.

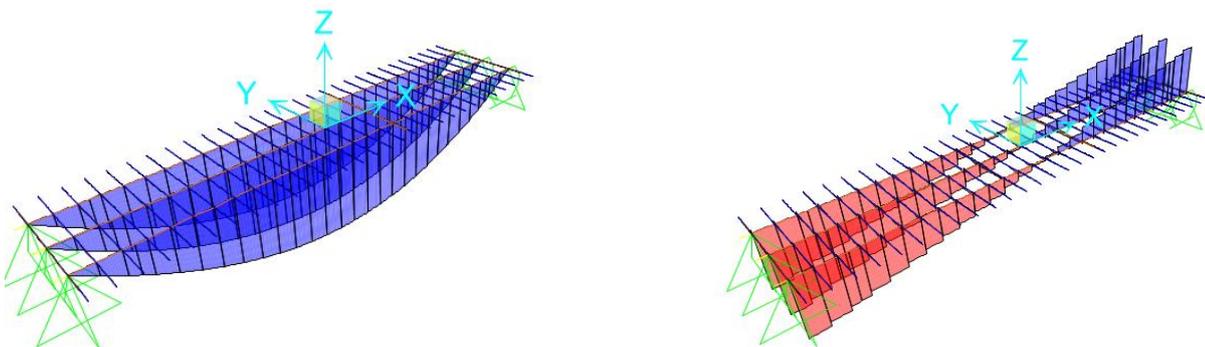
G1travi+trasversi M e V



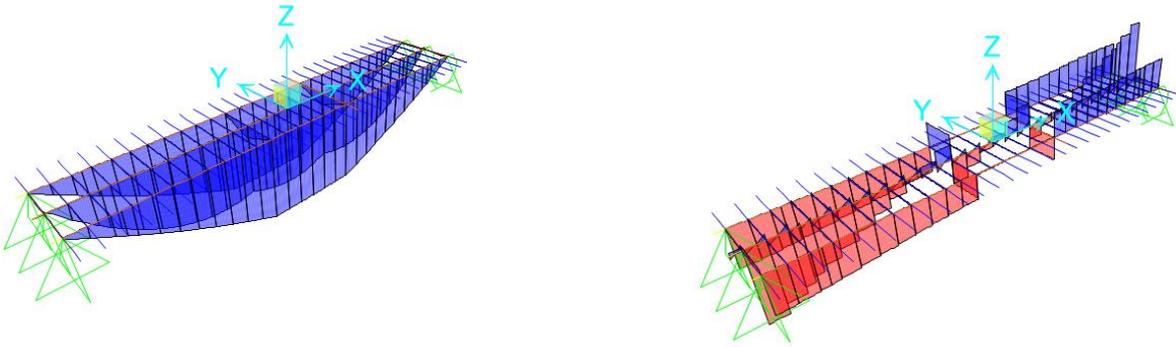
G1soletta: M e V



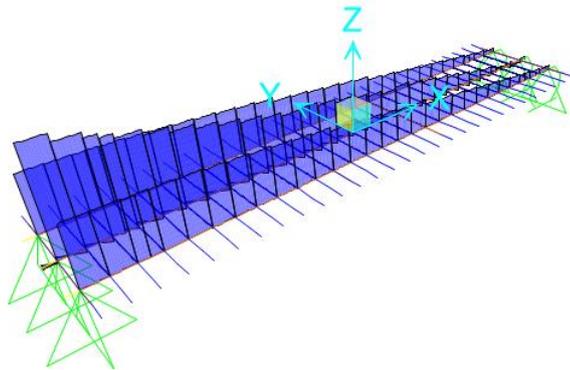
G2: M e V



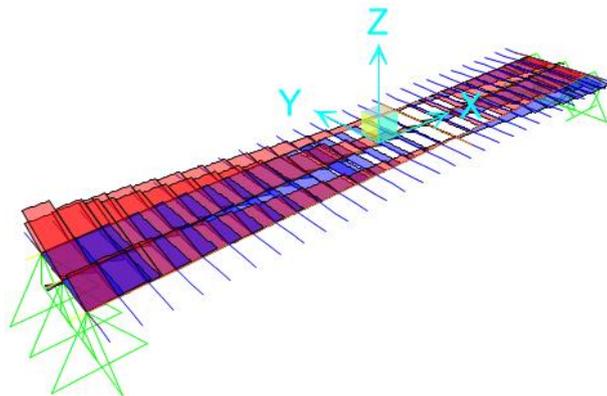
Qvk_C3: M e V



Qlk_C3 (frenatura/avviamento): N



Qtk_C3 (centrifuga): V (orizzontale)





Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

Verifiche di sicurezza con treni reali C3 - Impalcato ferroviario precompresso preteso Lc=28m

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
IA5F	03	D09	VI0009001	A	25 di 53

7 VERIFICHE TENSIONALI SEZIONE PRECOMPRESSA

7.1 Verifica tensionale trave precompressa – sezione di campata

7.1.1 Relazione di calcolo 1987

2.2 - Caratteristiche delle sezioni:

Sezione in calcestruzzo:

$$A = 1.003 \text{ mq}$$

$$S_i = 1.21287 \text{ mc}$$

$$Y_i = 1.209 \text{ m} \quad ; \quad Y_s = 0.991 \text{ m}$$

$$J_0 = 0.664751 \text{ m}^4$$

Sezione omogeneizzata in mezzaria:

n. 66 trefoli $\varnothing 0.6''$

$$19 \times 5 = 95$$

$$19 \times 10 = 190$$

$$19 \times 15 = 285$$

$$3 \times 20 = 60$$

$$3 \times 25 = 75$$

$$3 \times 30 = 90$$

$$66 \quad 795$$

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
IASF	03	D09	VI0009001	A	26 di 53

7.1.1.1 Sezione trave mezzeria

Sezione omogeneizzata in mezzeria:

n. 66 trefoli \varnothing 0.6"

$$19 \times 5 = 95$$

$$19 \times 10 = 190$$

$$19 \times 15 = 285$$

$$3 \times 20 = 60$$

$$3 \times 25 = 75$$

$$3 \times 30 = 90$$

$$\hline 66 \qquad 795$$

Sezione in calcestruzzo:

$$A = 1.003 \text{ mq}$$

$$S_i = 1.21287 \text{ mc}$$

$$Y_i = 1.209 \text{ m} ; \quad Y_s = 0.991 \text{ m}$$

$$J_0 = 0.664751 \text{ m}^4$$

$$Y_{ia} = 0.1204 \text{ m}$$

$$A_{id} = 1.003 + 5 \times 66 \times 1.4 \times 10^{-4} = 1.0492 \text{ m}^2$$

$$S_{iid} = 1.21287 + 5 \times 66 \times 1.4 \times 10^{-4} \times 0.1204 = 1.2184 \text{ mc}$$

$$Y_i = 1.161 \text{ m} ; \quad Y_s = 1.039 \text{ m}$$

$$J_{id} = 0.664751 + 1.0492 \times 0.048^2 + 5 \times 66 \times 1.4 \times 10^{-4} \times 1.0406^2 = 0.7172 \text{ m}^4$$

$$W_s = 0.6903 \text{ mc}$$

$$W_i = 0.6177 \text{ mc}$$

7.1.1.2 Sezione mista mezzeria

Sezione mista (trave + soletta) in mezzeria:

$$M = \sqrt{500/300} = 1.29$$

$$A_{id} = 2.00 \times 0.25 + 1.0492 \times 1.29 = 1.8535 \text{ mq}$$

$$S_{iid} = 1.29 \times 1.2184 + 2.00 \times 0.25 \times 2.325 = 2.7342 \text{ mc}$$

$$y_i = 1.475 \text{ m} ; \quad y_s = 0.975 \text{ m}$$

$$J_{id} = 1.29 \times (0.7172 + 1.0492 \times 0.314^2) + 2.00 \times 0.25^3 / 12 + 2.00 \times 0.25 \times 0.85^2 = 1.4225 \text{ m}^4$$

$$W_c = 1.4590 \text{ mc}$$

$$W_s = 1.9621 \text{ mc}$$

$$W_i = 0.9644 \text{ mc}$$

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
IASF	03	D09	VI0009001	A	27 di 53

7.1.1.3 Sezione appoggio

16 x 5 = 80	$Y_{ia} = 0.5732 \text{ m}$
16 x 10 = 160	$A_{id} = 1.003 + 66 \times 1.4 \times 5 \times 10^{-4} = 1.0492 \text{ m}^2$
16 x 15 = 240	$S_{iid} = 1.21623 + 66 \times 1.4 \times 5 \times 57.32 \times 10^{-6} = 1.2427 \text{ mc}$
3 x 171 = 513	$Y_i = 1.1844 \text{ m} ; Y_s = 1.0156 \text{ m}$
3 x 176 = 528	$J_{id} = 0.664751 + 1.003 \times 0.0246^2 + 5 \times 1.4 \times 10^{-4} \times (18 \times 0.6506^2 + 48 \times 1.0844^2) = 0.7102 \text{ m}^4$
3 x 181 = 543	
3 x 186 = 558	$W_s = 0.7000 \text{ mc}$
3 x 191 = 573	$W_i = 0.6000 \text{ mc}$
3 x 196 = 588	
66 3.783	

7.1.1.4 Sezione mista (trave+soletta) appoggio

Sezione mista (trave + soletta) in appoggio:

$$A_{id} = 1.8535 \text{ m}^2$$

$$S_{iid} = 1.29 \times 1.2427 + 2.00 \times 0.25 \times 2.325 = 2.7656 \text{ m}^3$$

$$Y_i = 1.492 \text{ m} ; Y_s = 0.958 \text{ m}$$

$$J_{id} = 1.29 \times (0.7102 + 1.0492 \times 0.308^2) + 2.00 \times \frac{0.25^3}{12} + 2.00 \times 0.25 \times 0.633^2 = 1.3941 \text{ m}^4$$

Sezione omogeneizzata x = 5.50 m

n. 66 trefoli Ø 0.6"

16 x 5 = 80
16 x 10 = 160
16 x 15 = 240
3 x 88 = 264
3 x 93 = 279
3 x 98 = 294
3 x 103 = 309
3 x 108 = 324
3 x 113 = 339
66 2.289

$$Y_{ia} = 0.347 \text{ m}$$

$$A_{id} = 1.04292 \text{ m}^2$$

$$S_{iid} = 1.21287 + 5 \times 66 \times 1.4 \times 10^{-4} \times 0.347 = 1.2289 \text{ mc}$$

$$Y_i = 1.171 \text{ m} ; Y_s = 1.029 \text{ m}$$

$$J_{id} = 0.664751 + 1.04292 \times 0.038^2 + 5 \times 66 \times 1.4 \times 10^{-4} \times 0.824^2 = 0.6976 \text{ m}^4$$

$$W_s = 0.6780 \text{ mc}$$

$$W_i = 0.5958 \text{ mc}$$



Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

Verifiche di sicurezza con treni reali C3 - Impalcato ferroviario precompresso preteso Lc=28m

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
IA5F	03	D09	VI0009001	A	28 di 53

7.1.1.5 Sezione mista (trave+soletta) x=5.50m

Sezione mista (trave + soletta) x = 5.50 m

$$A_{id} = 1.8535 \text{ m}^2$$

$$S_{iid} = 1.29 \times 1.2289 + 2.00 \times 0.25 \times 2.325 = 2.7478 \text{ mc}$$

$$Y_i = 1.482 \text{ m} ; \quad Y_s = 0.967 \text{ m}$$

$$J_{id} = 1.29 \times (0.6976 + 1.0492 \times 0.311^2) + 2.00 \times 0.25^3 / 12 + 2.00 \times 0.25 \times 0.842^2 = 1.3879 \text{ m}^4$$

$$W_c = 1.4353 \text{ mc}$$

$$W_s = 1.9357 \text{ mc}$$

$$W_i = 0.9365 \text{ mc}$$

7.1.2 Quadro normativo vigente

Nel seguito è riassunto il quadro delle azioni considerate le le ipotesi di fasizzazione.

<i>Impalcato c.a.p. preteso $L_{calcolo} = 28m / L_{tot} = 29m$ - Singolo Binario</i>			
<i>Confronto azioni</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Relazione di calcolo 1987</i>	<i>Quadro Normativo Vigente</i>
<i>G1travi</i>	-	25.1 kN/m per trave	25.1 kN/m per trave
<i>G1traversi</i>	-	125 kN (campata)	122 kN (campata) / 72 kN (appoggio)
<i>G1soletta</i>	-	47 kN/m	47 kN/m
<i>G2pp</i>	Ballast, imperm, canalette	74 kN/m	74 kN/m
<i>Qvk</i>	Carico verticale da traffico	Treno A (eq.FL. $q = 129.2$ kN/m) Treno A (eq.TA. $q = 143.4$ kN/m)	C3 (eq.FL. $q = 73.32$ kN/m) C3 (eq.TA. $q = 83.67$ kN/m)
<i>QLk</i>	Frenatura/avviamento	Non considerata	Sì $Q_{LK C3} = 12.2$ kN/m
<i>QTk</i>	Centrifuga	Non considerata	Sì ($r=800, v=125$ km/h) $C_{LC3} = 0.156 Q_{vk} C3$
<i>Folla</i>		4 kN/m ²	non considerata
<i>S</i>	Serpeggio	Non considerata	Sì (C3 - 100 kN/)
<i>Azione sismica</i>		Non considerata	Sì, influente per SLV verticale ($V_n = 50$ anni C.u.=1.0)
<i>Vento</i>		Non considerata	Sì (cautel. 2.50 kN/m ²)
<i>Azione termica uniforme</i>		Non considerata	Non considerata
<i>Perdute di carico lente</i>	Rilassamento, fluage, ritiro..	100% I fase	100% rilassamento I fase/ 40%-30%-30% rimanenti perdite
<i>Ritiro differenziale soletta</i>		Non considerata	Considerata
<i>Termica differenziale soletta</i>		Non considerata	Considerata

Fasizzazione 1	Fasizzazione 2
· Fase 0 peso proprio + precoppressione	· Fase 0 peso proprio + precoppressione
Prima percentuale di perdite in corrispondenza della fase 1:	Prima percentuale di perdite in corrispondenza della fase 1:
cadute di tensione per deformazione elastica: 100%	cadute di tensione per deformazione elastica: 100%
cadute di tensione lente per rilassamento: 40%	cadute di tensione lente per rilassamento: 100%
cadute di tensione lente per ritiro: 40%	cadute di tensione lente per ritiro: 100%
cadute di tensione lente per fluage: 40%	cadute di tensione lente per fluage: 100%
· Fase 1: getto della soletta	· Fase 1: getto della soletta
Seconda percentuale di perdite in corrispondenza della fase 2:	
cadute di tensione lente per rilassamento: 30%	
cadute di tensione lente per ritiro: 30%	
cadute di tensione lente per fluage: 30%	
· Fase 2:	· Fase 2:
Permanenti portati	Permanenti portati
· Fase 3	· Fase 3
Terza percentuale di perdite	(per memoria)
cadute di tensione lente per rilassamento: 30%	
cadute di tensione lente per ritiro: 30%	
cadute di tensione lente per fluage: 30%	
· Ritiro differenziale	· Ritiro differenziale
· Fase 4:	· Fase 4:
carichi accidentali	carichi accidentali
· Termica differenziale	· Termica differenziale

Cautelativamente, nella verifica non è considerata l'armatura lenta.



Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

Verifiche di sicurezza con treni reali C3 - Impalcato ferroviario precompresso preteso Lc=28m

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
IA5F	03	D09	VI0009001	A	30 di 53

Nel seguito sono richiamati i materiali e i principali parametri relativi alle perdite lente.

Materiali

	t=0	t=inf	t=inf	
caratteristiche trave al rilascio trefoli	fck (MPa) 35	fcm (MPa) 43	fcfm (MPa) 3.82	Ec (MPa) 33 977
caratteristiche trave	32	40	3.63	33 346
caratteristiche soletta	25	33	3.08	31 476

modulo elastico	Ep =	195000.00 MPa		
resistenza a rottura	fptk =	1500.00 MPa	1800/1,2	
resistenza a snervamento	fp1k =	1250.00 MPa	1500/1,2	
tensione iniziale	sigma-spi =	1108.00 MPa	1330/1,2	
coef. di omogeneizzazione acciaio	n =	5.85 -		
caduta a 1000h		2.50 % di 0.75 fptk		

Viscosità

umidità relativa	UR =	75 %	
tempo di applicazione della precompressione	t0 =	7 giorni	
calcolo perdite		1=somma; 2=interdipendenza EC	

7.1.1 Trave esterna Sezione di campata - C3 - Fasizzazione 1

Sezione n°5 - x=14.00m							
FASE	SOLLECITAZIONI PARZIALI (kN;kNm)			TENSIONI PARZIALI (MPa)			
	N	N	M	sigma_i	sigma_s	sigma_si	sigma_ss
O) precompressione		-10 238	-8 817	-22.11	5.61		
O) peso proprio trave			2 943	4.13	-5.12		
A) peso proprio+prec		-10 238	-5 874	-17.98	0.48		
B) perdite (fase 1)		1 589	1 368	3.43	-0.87		
C) getto soletta			1 508	2.12	-2.63		
D) perdite (fase 2)		643	833	1.30	-0.06	-0.04	-0.18
E) permanenti			2 552	2.69	-1.49	-1.40	-1.85
F) perdite (fase 3)		492	638	1.00	-0.05	-0.03	-0.14
G) ritiro diff.	453	-453	438	0.16	-0.55	0.37	0.29
H) accidentali		0	3 011	3.17	-1.76	-1.66	-2.19
I) termica diff.	944	-944	914	0.34	-1.15	0.77	0.60
Sez.5, x=14.00m ,NS=E							
FASE				TENSIONI TOTALI (MPa)			
h(m)				sigma_i	sigma_s	sigma_si	sigma_ss
				0.00	2.20	2.20	2.45
A) peso proprio+prec				-17.98	0.48		
B) perdite (fase 1)				-14.55	-0.39		
C) getto soletta				-12.44	-3.01		
D) perdite (fase 2)				-11.14	-3.08	-0.04	-0.18
E) permanenti				-8.45	-4.56	-1.44	-2.04
F) perdite (fase 3)				-7.45	-4.61	-1.47	-2.18
G) ritiro diff.				-7.29	-5.16	-1.10	-1.89
H) accidentali				-4.11	-6.92	-2.76	-4.07
I) termica diff.				-3.77	-8.07	-1.99	-3.47
LIMITI TENSIONALI							
h(m)				0.00	2.20	2.20	2.45
compr.limite t=0				-20.75	-20.75		
trazi.limite t=0				0.00	0.00		
compr.limite t=inf				-17.60	-17.60	-13.75	-13.75
trazi.limite t=inf				0.00	0.00	0.00	0.00

7.1.2 Trave esterna Sezione di campata - C3 - Fasizzazione 2

Sezione n°5 - x=14.00m

FASE	SOLLECITAZIONI PARZIALI (kN;kNm)			TENSIONI PARZIALI (MPa)			
	N	N	M	sigma_i	sigma_s	sigma_si	sigma_ss
O) precompressione		-10 238	-8 817	-22.11	5.61		
O) peso proprio trave			2 943	4.13	-5.12		
A) peso proprio+prec		-10 238	-5 874	-17.98	0.48		
B) perdite (fase 1)		3 261	2 809	7.04	-1.79		
C) getto soletta			1 508	2.12	-2.63		
D) perdite (fase 2)		0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
E) permanenti			2 552	2.69	-1.49	-1.40	-1.85
F) perdite (fase 3)		0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
G) ritiro diff.	453	-453	438	0.16	-0.55	0.37	0.29
H) accidentali		0	3 011	3.17	-1.76	-1.66	-2.19
I) termica diff.	944	-944	914	0.34	-1.15	0.77	0.60
Sez.5, x=14.00m ,NS=E FASE				TENSIONI TOTALI (MPa)			
h(m)				sigma_i	sigma_s	sigma_si	sigma_ss
				0.00	2.20	2.20	2.45
A) peso proprio+prec				-17.98	0.48		
B) perdite (fase 1)				-10.94	-1.30		
C) getto soletta				-8.82	-3.93		
D) perdite (fase 2)				-8.82	-3.93	0.00	0.00
E) permanenti				-6.13	-5.42	-1.40	-1.85
F) perdite (fase 3)				-6.13	-5.42	-1.40	-1.85
G) ritiro diff.				-5.97	-5.97	-1.04	-1.56
H) accidentali				-2.79	-7.72	-2.69	-3.75
I) termica diff.				-2.45	-8.88	-1.93	-3.14
LIMITI TENSIONALI							
h(m)				0.00	2.20	2.20	2.45
compr.limite t=0				-20.75	-20.75		
trazi.limite t=0				0.00	0.00		
compr.limite t=inf				-17.60	-17.60	-13.75	-13.75
trazi.limite t=inf				0.00	0.00	0.00	0.00

7.2 Confronto tensioni trave precompressa

Con tre distinti colori si evidenziano le tensioni raffrontabili, riferibili:

- In azzurro: alla fase in cui si scontano le perdite lente prima del getto della soletta
- In rosa: alla fase di getto della soletta
- In verde: alla fase conclusiva scontando tutte le fasi e le perdite

Relazione di calcolo 1987

Sezione Mezzeria					
Sezione x=14m	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
trazione (+) positiva	pp	precompressione	Cadute 100%	soletta	eserc
	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
Sigma sup trave	-4.23	2.59	-0.11	-2.3	-7.61
Sigma int trave	4.73	-27.68	-14.88	-12.44	-1.63

Sezione x=5.50m					
Sezione x=5.50m	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
trazione (+) positiva	pp	precompressione	Cadute 100%	soletta	eserc
	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
Sigma sup trave	-2.63	0.59	-0.96	-2.36	-5.76
Sigma int trave	2.99	-25.7	-15.31	-13.71	-6.69

Sezione appoggio					
Sezione x=0.00m	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
trazione (+) positiva	pp	precompressione	Cadute 100%	soletta	eserc
	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
Sigma sup trave	10.73	-0.98	-2.03	-2.03	-2.03
Sigma int trave	-12.52	-24.23	-15.36	-15.36	-15.36

Quadro normativo vigente

Trave Esterna - Sezione mezzeria - Fasizzazione 1 - C3										
FASE	h(m)	peso proprio + prec	perdite (fase 1)	getto soletta	perdite (fase 2)	permanenti	perdite (fase 3)	ritiro diff.	accidentali (fase 4)	termica diff.
sigma_s	2.2	0.48	-0.39	-3.01	-3.08	-4.56	-4.61	-5.16	-6.92	-8.07
sigma_i	0	-17.98	-14.55	-12.44	-11.14	-0.85	-7.45	-7.29	-4.11	-3.77

Trave Esterna - Sezione mezzeria - Fasizzazione 2 - C3										
FASE	h(m)	peso proprio + prec	perdite (fase 1)	getto soletta	perdite (fase 2)	permanenti	perdite (fase 3)	ritiro diff.	accidentali (fase 4)	termica diff.
sigma_s	2.2	0.48	-1.30	-3.93	-3.93	-5.42	-5.42	-5.97	-0.72	-8.88
sigma_i	0	-17.98	-10.94	-8.82	-8.82	-6.13	-6.13	-5.97	-2.79	-2.45

Si evidenzia la permanenza delle sezioni in compressione.

8 VERIFICHE SLU

8.1 Quadro normativo vigente – Combinazioni

Le verifiche di sicurezza strutturali sono state condotte utilizzando combinazioni di carico definite in ottemperanza alle NT2018, secondo quanto riportato nei paragrafi 2.5.3, 5.2. Di seguito sono mostrati i coefficienti parziali di sicurezza utilizzati allo SLU ed i coefficienti di combinazione adoperati per i carichi variabili nella progettazione delle strutture da ponte.

2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

– Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

– Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

– Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

– Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

– Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

– Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omessi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.).

Nelle formule sopra riportate il simbolo “+” vuol dire “combinato con”.

I valori dei coefficienti ψ_{0j} , ψ_{1j} e ψ_{2j} sono dati nella Tab. 2.5.I oppure nella Tab. 5.1.VI per i ponti stradali e nella Tab. 5.2.VII per i ponti ferroviari. I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_{Gi} e γ_{Qi} sono dati nel § 2.6.1.

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.

⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

⁽⁵⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.

⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
IA5F	03	D09	VI0009001	A	35 di 53

Azioni		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	g ^{r1}	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	g ^{r2}	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	g ^{r3}	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	g ^{r4}	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F _{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T _k	0,60	0,60	0,50

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

 (2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti Ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Azioni		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 ⁽³⁾	⁽¹⁾	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,0 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 ⁽³⁾	-	-
Azioni da traffico	Centrifuga	⁽²⁾ ⁽³⁾	⁽²⁾	⁽²⁾
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 ⁽³⁾	0,80	0,0

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

 (2) Si usano gli stessi coefficienti Ψ adottati per i carichi che provocano dette azioni.

 (3) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti Ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Nel seguito si riportano le azioni considerate ai fini della valutazione delle sollecitazioni agenti e, quindi, alle verifiche strutturali.

Combinazioni SLU

Sono state sviluppate complessivamente 54 combinazioni. Per sintesi si riportano le prime 18 combinazioni che vedono centrifuga e serpeggio in "Posizione 1".

Combinazioni SLU 001-018 (per le rimanenti vedi legenda)	Coefficienti di combinazione SLU																		
	SLU_001_C3_p1	SLU_002_C3_p1	SLU_003_C3_p1	SLU_004_C3_p1	SLU_005_C3_p1	SLU_006_C3_p1	SLU_007_C3_p1	SLU_008_C3_p1	SLU_009_C3_p1	SLU_010_C3_p1	SLU_011_C3_p1	SLU_012_C3_p1	SLU_013_C3_p1	SLU_014_C3_p1	SLU_015_C3_p1	SLU_016_C3_p1	SLU_017_C3_p1	SLU_018_C3_p1	
Carichi caratteristici																			
G1trave, trasversi, soletta permanenti portati	G1k	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	G2k	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	QV _k -C3	1,45		1,45	1,02	1,16	0,00	1,16		1,16	0,81	1,16	1,45		1,45	1,02		1,16	
Carichi verticali da traffico	Qtrenoscarico		1,45							1,16				1,45				1,16	1,16
frenatura avviamento	QL _k -P1-LM71	0,73	0,00	1,45	1,45	0,73	0,00	0,58	0,58	1,16	1,16	0,58	0,73	0,00	1,45	1,45	0,73	0,58	0,58
vento	Q5 _q	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,00	0,90	0,90	0,90	0,90	1,50	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	1,50	1,50
centrifuga	C-LM71-B1-P1	1,45	1,45	0,73	0,73	1,45	0,00	1,16	1,16	0,58	0,58	1,16	1,45	1,45	0,73	0,73	1,45	1,16	1,16
serpeggio	S-LM71-B1-P1	1,45	1,45	0,73	0,73	1,45	0,00	1,16	1,16	0,58	0,58	0,58	1,45	1,45	0,73	0,73	1,45	0,58	0,58
P1 = centrifuga e serpeggio in posizione 1																			
P2 = centrifuga e serpeggio in posizione 2																			
P3 = centrifuga e serpeggio in posizione 3																			
Lo sviluppo complessivo combinazioni segue lo schema seguente																			
Gruppo di combinazioni	n.																		
SLU_001-018_C3_p1	18																		
SLU_019-036_C3_p2	18																		
SLU_037-054_C3_p3	18																		
totale	54																		

Combinazioni SLV

E1	Ex	1	E4	Ex	1	E7	Ex	1	E10	Ex	-1	E13	Ex	1	E16	Ex	-1		
	Ey	0.3		Ey	-0.3		Ey	0.3		Ey	-0.3		Ey	-0.3		Ey	-0.3	Ey	-0.3
	Ez	0.3		Ez	0.3		Ez	-0.3		Ez	0.3		Ez	0.3		Ez	-0.3	Ez	-0.3
E2	Ex	0.3	E5	Ex	0.3	E8	Ex	0.3	E11	Ex	-0.3	E14	Ex	0.3	E17	Ex	-0.3		
	Ey	1		Ey	-1		Ey	1		Ey	-1		Ey	-1		Ey	-1		
	Ez	0.3		Ez	0.3		Ez	-0.3		Ez	0.3		Ez	-0.3		Ez	-0.3		
E3	Ex	0.3	E6	Ex	0.3	E9	Ex	0.3	E12	Ex	-0.3	E15	Ex	0.3	E18	Ex	0.3		
	Ey	0.3		Ey	-0.3		Ey	0.3		Ey	-0.3		Ey	-0.3		Ey	-0.3		
	Ez	1		Ez	1		Ez	-1		Ez	1		Ez	-1		Ez	1		

Combinazioni SLV - C3		SLV_C3_001-018	SLV_C3_019-036	SLV_C3_037-054	SLV_C3_101-118	SLV_C3_119-136	SLV_C3_137-154
		Carichi caratteristici		Coefficienti di combinazione			
G1trave, trasversi, soletta	G1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Permanenti portati	G2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sovraccarico sismico	E 1-18	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
frenatura avviamento	Qlk-P1-C3	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10
Centrifuga	C-C3-B1-P1	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20
serpeggio in P1	S-C3-B1-P1	0,10	-	-	0,20	-	-
serpeggio in P2	S-C3-B1-P2	-	0,10	-	-	0,20	-
serpeggio in P3	S-C3-B1-P3	-	-	0,10	-	-	0,20

8.2 Verifica massima azione flettente SLU in campata

8.2.1 Relazione di calcolo 1987

Verifica a rottura:

$$\mu \% = \frac{100 \times 66 \times 1.4 \times 10^{-4}}{2.00 \times 2.34} = 0.197$$

$$\frac{R_{ck}}{\mu} = \frac{300}{0.197} = 1.523 \quad ; \quad \delta = 0.892$$

$$M_r = 66 \times 1.4 \times 18 \times 0.892 \times 2.34 = 3471 \text{ tm}$$

$$\eta_r = 3471 / 1251 = 2.77$$

$$FS = 2.77$$

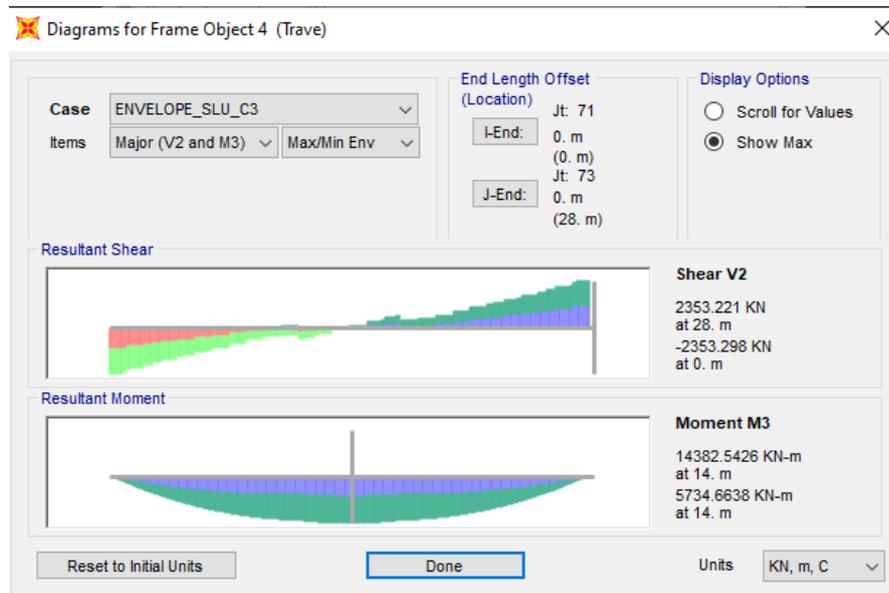
8.2.2 Quadro normativo vigente – treni reali

Alle sollecitazioni appena calcolate devono essere sommati gli effetti della precompressione, considerata come carico esterno, al netto delle perdite di precompressione totali. Tali sollecitazioni sono valutate di seguito.

$$N_{prec} = \sigma_p \times A_p = 8702 \text{ kN}$$

$$M_{prec} = N_{prec} \times e_p = -8702 \times (0.98 - 0.12) = -7494 \text{ kNm}$$

Di seguito si valutano momento e sforzo assiale compressivo nella condizione più gravosa.



$$M_{Ed,SLU} = 14382 - 7484 = 6898 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,SLU} = 8702 \text{ kN}$$

Verifica C.A. S.L.U. - File: MATEFER_Campata_SLU_C3_20210108

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO : _____

N° Vertici Zoom N° barre Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	-100	220
2	100	220
3	100	210
4	45	205
5	12	190
6	12	50

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	92,4	0	12
2	0	0	0

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	8702	5.801	kN
M _{xEd}	6898	4.599	kNm
M _{yEd}	0	0	

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio elastico

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Devia

N° rett.

Calcola MRd

L₀ cm

Precompresso

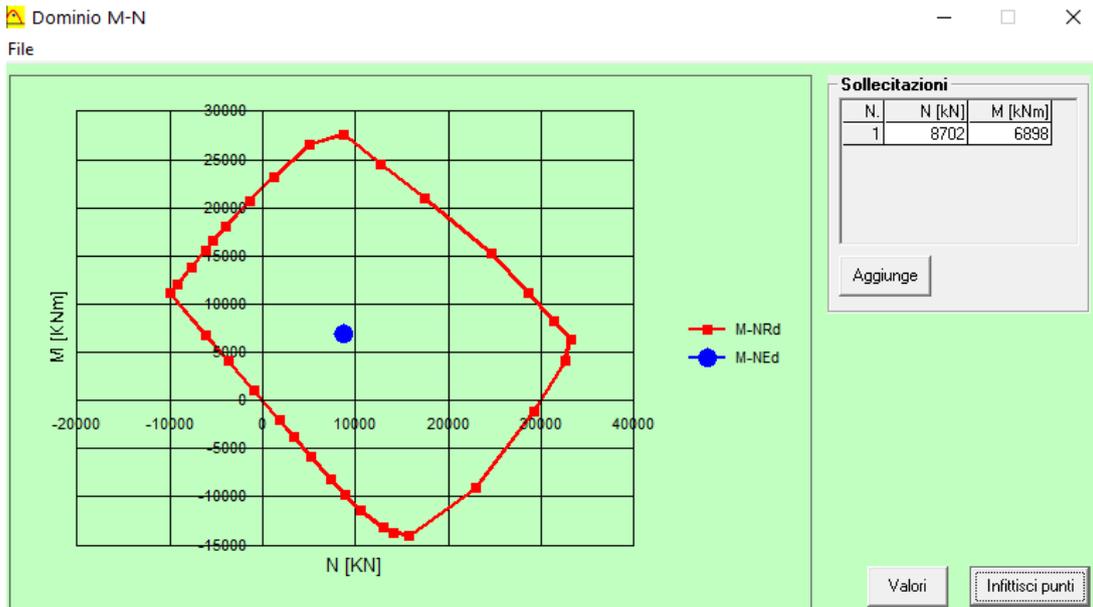
Materiali

TRE_CL2	rck50
ε _{su} 67,5 ‰	ε _{c2} 2 ‰
f _{yd} 1.087 N/mm²	ε _{cu} 3,5 ‰
E _s 200.000 N/mm²	f _{cd} 19,6
E _s /E _c 15	f _{cc} /f _{cd} 0,8
ε _{syd} 5,435 ‰	σ _{c,adm} 12,68
σ _{s,adm} 1500 N/mm²	τ _{co} 0,756
	τ _{c1} 2,163

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_s 3,5 ‰
 ε_s 5,404 ‰
 d 245 cm
 x 96,3 x/d 0,3931
 δ 0,9313

FS = 4.00



8.3 Verifica massima azione tagliante SLU all'appoggio

8.3.1 Relazione di calcolo 1987

La verifica condotta nella r.d.c. originale riporta il confronto tra le tensioni di taglio (τ_1) e i limiti ammissibili (τ_{c0}).

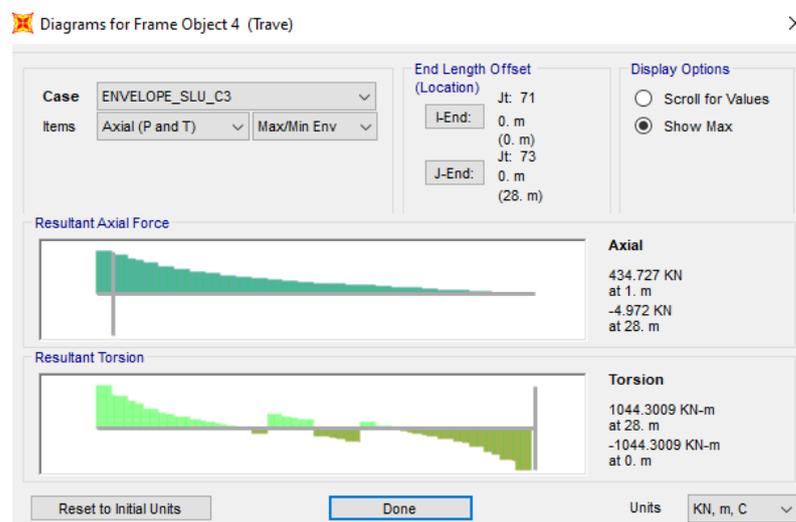
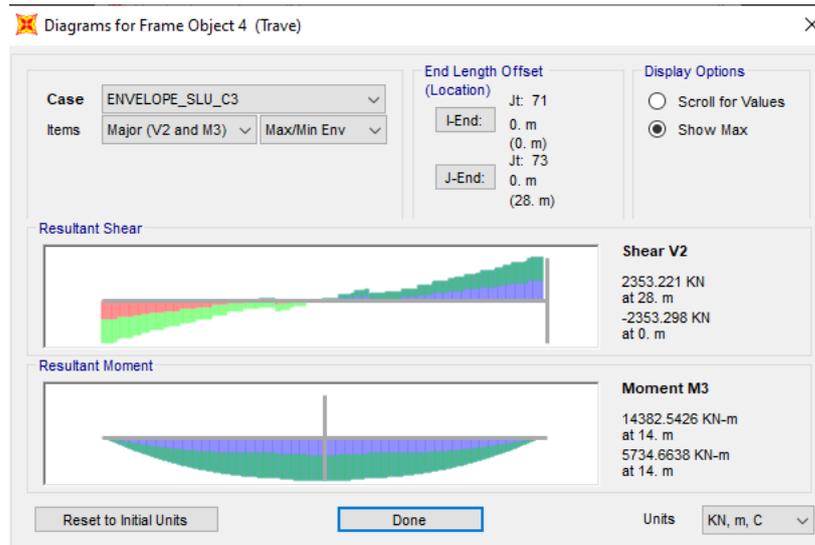
Per la trave isolata:

$$S_o = 0.529444 \times 0.7328 + 5 \times 18 \times 1.4 \times 10^{-4} \times 0.6506 = 0.3961 \text{ mc}$$

$$T_1 = 39.3 + 21.5 - 18 \times 1.4 \times (13.3 - 1.778) \times \sin 8^\circ 58' = 17.4 \text{ t}$$

$$\tau_1 = (17.4 \times 0.3961) / (0.7102 \times 0.24) = 40 \text{ t/mq}$$

8.3.2 Quadro normativo vigente – treni reali



Si considera cautelativamente un passo di armatura pari a 200mm nella zona d'appoggio.

V_{Ed}	2353	kN	Taglio SLU agente sulla sezione
T_{Ed}	1044	kNm	Torsione SLU agente sulla sezione
Verifica a taglio - NTC08 par #4.1.2.1.3.2			
f_{ck}	34,583	MPa	Resistenza cilindrica caratteristica
f_{cd}	19,60	MPa	Resistenza cilindrica di progetto
f_{yk}	312,50		tensione caratteristica di snervamento
f_{yd}	271,7	MPa	tensione caratteristica di progetto
Inc.staffe	90,0	°	
Φ_{staffe}	14	mm	Disposizione armatura trasversale taglio
n.bracci	4	[-]	
S_{staffe}	200	mm	
A_{sw}	616	mm ²	
h_{anima}	2200	mm	altezza sezione
$b_{w,sp\ anima}$	900	mm	larghezza minima sezione
c	50	mm	copriferro
$d=h-c$	2150	mm	altezza sezione
Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio			
$n_{barre\ arm\ long}$	24	[-]	Disposizione armatura longitudinale
$\Phi_{arm,long}$	8	mm	
A_{sl}	1206	mm ²	
k	1,305	[-]	
ρ_l	0,0006	[-]	
$V_{Rd'}$	300	[kN]	
$V_{min} * b_w * d$	594	[kN]	
$V_{Rd, anima}$	300	[kN]	NTC08 4.1.2.1.3.1
$V_{Ed, anima}$	2353	[kN]	Occorre Asw a taglio
$1 \leq \cotg \theta \leq 2,5$			NTC08 4.1.2.1.3.2
V_{Rsd} "taglio trazione"			
A_{sw}/s	3,079	mm ² /mm	Armatura trasversale a taglio
$\cot \theta$	2,5	[-]	CRISI LATO ACCIAIO
V_{Rds}	4047	[kN]	NTC08 (4.1.18)
V_{Rdc}	5884	[kN]	NTC08 (4.1.19)
$V_{Rd, anima}$	4047	[kN]	
$V_{Ed, anima}$	2353	[kN]	$V_{Ed, anima} = V_{Ed, sez}$
FS	1,72	[-]	
$V_{Rd, sezione}$	4047	[kN]	$V_{Rd, sezione} = V_{Rd, anima}$ (x verif. NTC08 4.1.32)

Verifica a torsione			
0.4 ≤ ctg θ ≤ 2,5			NTC08 (4.1.30)
cot θ	2,500	[-]	
Inc.staffe	90,0	°	
Φ _{staffe}	14	mm	Armatura trasversale a torsione
n.bracci	4	[-]	
S _{staffe}	200	mm	
A _{sw}	616	mm ²	
um	6,675	m	
um	6,675	m	perimetro medio sezione cava
A _c	2,6376	m ²	Area all'interno del perimetro medio
t	348	mm	sp.sezione cava (min sp. Ala/anima)
T _{Rcd}	6203	kNm	NTC08 (4.1.27)
T _{Rsd}	11033	kNm	NTC08 (4.1.28)
T _{Rld}	104	kNm	NTC08 (4.1.29)
T _{Rd}	104	kNm	NTC08 (4.1.31)
T _{Ed}	1044	kNm	
FS	0,10		
Sollecitazioni composte - Torsione e Taglio			
Verifica crisi lato calcestruzzo			
$\frac{T_{Ed}}{T_{Rcd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rcd}} \leq 1$			NTC08 (4.1.32)
1044	+	2353	0,750
6203		4047	
0,168	+	0,581	

Verifica a taglio - NTC18 par #4.1.2.1.3.2			
f_{ck}	34.583	MPa	Resistenza cilindrica caratteristica
f_{cd}	19.60	MPa	Resistenza cilindrica di progetto
f_{yk}	312.50	MPa	tensione caratteristica di snervamento
f_{yd}	271.7	MPa	tensione caratteristica di progetto
Inc.staffe	90.0	°	Disposizione armatura trasversale taglio
Φ_{staffe}	12	mm	
n.bracci	2	[-]	
S_{staffe}	200	mm	
A_{sw}	226	mm ²	
h_{anima}	2200	mm	altezza sezione
$b_{w,sp\ anima}$	240	mm	larghezza minima sezione
c	50	mm	copriferro
d=h-c	2150	mm	altezza sezione
Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio			
n barre arm long	24	[-]	Disposizione armatura longitudinale
$\Phi_{arm,long}$	8	mm	
A_{sl}	1206	mm ²	
k	1.305	[-]	
ρ_l	0.0023	[-]	
V_{Rd}'	124	[kN]	
$V_{min} * b_w * d$	158	[kN]	
$V_{Rd, anima}$	124	[kN]	NTC18 4.1.2.1.3.1
$V_{Ed, anima}$	1488	[kN]	Occorre Asw a taglio
$1 \leq ctg \theta \leq 2,5$			NTC18 4.1.2.1.3.2
V_{Rsd} "taglio trazione"			
A_{sw}/s	1.131	mm ² /mm	Armatura trasversale a taglio
cot θ	2.5	[-]	CRISI LATO ACCIAIO
V_{Rds}	1493	[kN]	NTC18 (4.1.18)
V_{Rdc}	1565	[kN]	NTC18 (4.1.19)
$V_{Rd, anima}$	1493	[kN]	
$V_{Ed, anima}$	1488	[kN]	$V_{Ed, anima} = V_{Ed, sez}$
FS	1.003	[-]	
$V_{Rd, sezione}$	1493	[kN]	$V_{Rd, sezione} = V_{Rd, anima}$ (x verific. NTC18 4.1.32)

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	Verifiche di sicurezza con treni reali C3 - Impalcato ferroviario precompresso preteso Lc=28m					
<i>Relazione di calcolo</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 03	ENTE D09	DOCUMENTO VI0009001	REV A	Foglio 44 di 53

9 VERIFICHE TRAVI TRASVERSALI

Si riportano di seguito le verifiche di resistenza per i traversi. Si considera solamente il traverso di testata, nella condizione di sollevamento che è la più gravosa per questo elemento strutturale. Tale scenario è stato considerato come condizione eccezionale.

Si riportano di seguito le caratteristiche principali del traverso:

Altezza: 1.90 m

Spessore soletta: 0.25 m

Spessore : 0.55-0.50 m

Precompressione superiore: 1 cavo da 3 trefoli da 0.6"

Precompressione inferiore: 1 cavo da 6 trefoli da 0.6"

Si riportano di seguito le verifiche relative alle seguenti fasi:

- T=0
- T=∞
- Esercizio

Nelle fasi T=0 e T=∞ si considera la sola porzione del traverso composta dal prefabbricato. In esercizio si considera anche il contributo della soletta. Nella figura seguente è riportata la geometria della sezione considerata in fase di esercizio.

Per il calcolo del coefficiente di amplificazione dinamica per i treni teorici si considera una lunghezza caratteristica in accordo alla Tabella 2.5.1.4.2.5.3-1 del Manuale RFI per travi trasversali

4.1 Solette superiori di impalcati a sezione scatolare o a graticcio di travi.

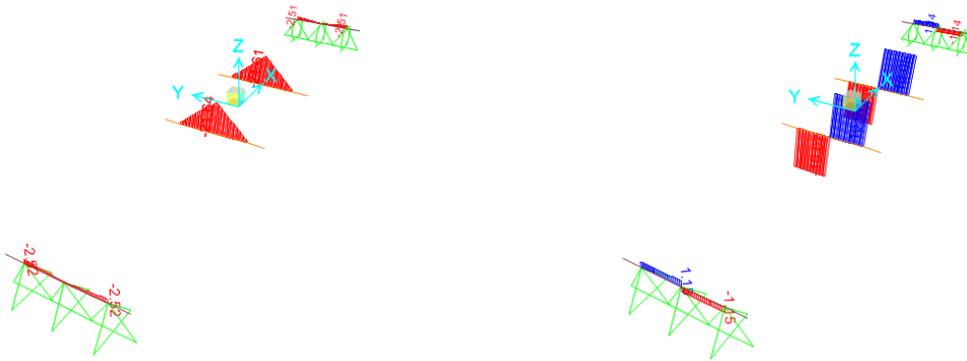
- nella direzione trasversale alle travi principali
- nella direzione longitudinale
- travi trasversali

- 3 volte la luce della soletta
- 3 volte la luce della soletta d'impalcato o, se minore, la lunghezza caratteristica della trave Principale
- 2 volte la luce delle travi trasversali

Da cui $\varphi_{reale}=1.450$.

9.1 Sollecitazioni

G1s (momento e taglio)



G2 (momento e taglio)



Treno C3 (momento e taglio)



9.2 Verifiche trasverso appoggi

9.2.1 C3

h trasverso	1850	mm	
Sp. Traverso	550	mm	
Sp. Soletta	250	mm	
Verifica Traverso T=0			
Geometria			
A _{sez.piena}	1017500	mm ²	area sezione piena
W _{sup}	313729166.7	mm ³	modulo di resistenza superiore
W _{inf}	313729166.7	mm ³	modulo di resistenza inferiore
A _{sez.cava}	287000	mm ²	area sezione cava
W _{sup}	170134639	mm ³	modulo di resistenza superiore
W _{inf}	141260163	mm ³	modulo di resistenza inferiore
σ _{p0}	1108	MPa	tensione cavi
A _{trefoli}	140	mm ²	area trefolo
n _{trefoli,sup}	3	-	numero trefoli cavo sup
n _{trefoli,inf}	6	-	numero trefoli cavo inf
A _{cavo,sup}	420	mm ²	Area cavo sup
A _{cavo,inf}	840	mm ²	Area cavo inf
N _{cavo,sup}	465.5	kN	tiro cavo sup
N _{cavo,inf}	931	kN	tiro cavo inf
e _{cavo,sup}	610	mm	eccentricità cavo sup (>0)
e _{cavo,inf}	-710	mm	eccentricità cavo inf (<0)
Sollecitazioni a T=0			
N	1396.5	kN	N di precompressione totale
M	-377.1	kNm	M di precompressione totale
M _{est}	0	kNm	M di precompressione esterno
Tensioni a T=0			
sezione piena			
σ _{c,sup}	0.17	MPa	tensione lembo sup.
σ _{c,inf}	2.57	MPa	tensione lembo inf.
sezione cava			
σ _{c,sup}	2.65	MPa	tensione lembo sup.
σ _{c,inf}	2.20	MPa	tensione lembo inf.

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
IA5F	03	D09	VI0009001	A	47 di 53

Verifica Trasverso T=00

Geometria

$A_{sez.piena}$	1017500	mm ²	area sezione piena
W_{sup}	313729166.7	mm ³	modulo di resistenza superiore
W_{inf}	313729166.7	mm ³	modulo di resistenza inferiore
σ_{p0}	942.0833333	MPa	tensione cavi
$A_{trefoli}$	140	mm ²	area trefolo
$n_{trefoli,sup}$	3	-	numero trefoli cavo sup
$n_{trefoli,inf}$	6	-	numero trefoli cavo inf
$A_{cavo,sup}$	420	mm ²	Area cavo sup
$A_{cavo,inf}$	840	mm ²	Area cavo inf
$N_{cavo,sup}$	395.675	kN	tiro cavo sup
$N_{cavo,inf}$	791.35	kN	tiro cavo inf
$e_{cavo,sup}$	610	mm	eccentricità cavo sup (>0)
$e_{cavo,inf}$	-710	mm	eccentricità cavo inf (<0)

Sollecitazioni a T=∞

N	1187.025	kN	N di precompressione totale
M	-320.49675	kNm	M di precompressione totale
M_{est}	0	kNm	M esterno

Tensioni a T=∞

sezione piena			
$\sigma_{c,sup}$	0.15	MPa	tensione lembo sup.
$\sigma_{c,inf}$	2.19	MPa	tensione lembo inf.

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
IA5F	03	D09	VI0009001	A	48 di 53

Verifica Traverso M_{est}

h traverso	1850	mm			
Sp. Traverso	550	mm			
Sp. Soletta	250	mm			
Largh. Soletta	1500	mm			
Geometria					
A _{sez.piena}	1392500	mm ²	area sezione piena		
W _{sup,sol}	498420821.9	mm ³			
W _{sup}	925238324.7	mm ³	modulo di resistenza superiore		
W _{inf}	492039394.9	mm ³	modulo di resistenza inferiore		
Sollecitazioni a T=0					
N	0	kN	N di precompressione totale		
M	0	kNm	M di precompressione totale		
M _{est}	74	kNm	M esterno		
Tensioni					
sezione piena					
σ _{c,sup,sol}	0.148	MPa	compressione lembo sup.soletta		
σ _{c,sup}	0.080	MPa	tensione lembo sup.		
σ _{c,inf}	0.150	MPa	tensione lembo inf.		
Le tensioni totali sono le seguenti.					
σ _{c,sup,sol}				=	0.148
σ _{c,sup}	0.15	+	0.080	=	0.225
σ _{c,inf}	0.00	+	0.150	=	0.150

9.1 Verifiche trasverso campata

9.1.1 Treno C3

h trasverso	1850	mm	
Sp. Traverso	500	mm	
Sp. Soletta	250	mm	
Verifica Traverso T=0			
Geometria			
A _{sez.piena}	925000	mm ²	area sezione piena
W _{sup}	285208333.3	mm ³	modulo di resistenza superiore
W _{inf}	285208333.3	mm ³	modulo di resistenza inferiore
A _{sez.cava}	287000	mm ²	area sezione cava
W _{sup}	170134639	mm ³	modulo di resistenza superiore
W _{inf}	141260163	mm ³	modulo di resistenza inferiore
σ _{p0}	1108	MPa	tensione cavi
A _{trefoli}	140	mm ²	area trefolo
n _{trefoli,sup}	3	-	numero trefoli cavo sup
n _{trefoli,inf}	6	-	numero trefoli cavo inf
A _{cavo,sup}	420	mm ²	Area cavo sup
A _{cavo,inf}	840	mm ²	Area cavo inf
N _{cavo,sup}	465.5	kN	tiro cavo sup
N _{cavo,inf}	931	kN	tiro cavo inf
e _{cavo,sup}	610	mm	eccentricità cavo sup (>0)
e _{cavo,inf}	-710	mm	eccentricità cavo inf (<0)
Sollecitazioni a T=0			
N	1396.5	kN	N di precompressione totale
M	-377.1	kNm	M di precompressione totale
M _{est}	0	kNm	M di precompressione esterno
Tensioni a T=0			
sezione piena			
σ _{c,sup}	0.19	MPa	tensione lembo sup.
σ _{c,inf}	2.83	MPa	tensione lembo inf.
sezione cava			
σ _{c,sup}	2.65	MPa	tensione lembo sup.
σ _{c,inf}	2.20	MPa	tensione lembo inf.

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
IA5F	03	D09	VI0009001	A	50 di 53

Verifica Traverso T=00

Geometria

$A_{sez.piena}$	925000	mm ²	area sezione piena
W_{sup}	285208333.3	mm ³	modulo di resistenza superiore
W_{inf}	285208333.3	mm ³	modulo di resistenza inferiore

σ_{p0}	942.08	MPa	tensione cavi
$A_{trefoli}$	140	mm ²	area trefolo
$n_{trefoli,sup}$	3	-	numero trefoli cavo sup
$n_{trefoli,inf}$	6	-	numero trefoli cavo inf
$A_{cavo,sup}$	420	mm ²	Area cavo sup
$A_{cavo,inf}$	840	mm ²	Area cavo inf
$N_{cavo,sup}$	395.675	kN	tiro cavo sup
$N_{cavo,inf}$	791.35	kN	tiro cavo inf
$e_{cavo,sup}$	610	mm	eccentricità cavo sup (>0)
$e_{cavo,inf}$	-710	mm	eccentricità cavo inf (<0)

Sollecitazioni a T=∞

N	1187.025	kN	N di precompressione totale
M	-320.49675	kNm	M di precompressione totale
M_{est}	0	kNm	M esterno

Tensioni a T=∞

sezione piena			
$\sigma_{c,sup}$	0.16	MPa	tensione lembo sup.
$\sigma_{c,inf}$	2.41	MPa	tensione lembo inf.

Verifica Traverso M_{est}

h traverso	1850	mm
Sp. Traverso	500	mm
Sp. Soletta	250	mm
Largh. Soletta	1500	mm

Geometria

$A_{sez.piena}$	1300000	mm ²	area sezione piena
$W_{sup,sol}$	498994181.3	mm ³	
W_{sup}	900016646.4	mm ³	modulo di resistenza superiore
W_{inf}	456039916.9	mm ³	modulo di resistenza inferiore

Sollecitazioni a T=0

N	0	kN	N di precompressione totale
M	0	kNm	M di precompressione totale
M_{est}	543	kNm	M esterno

Tensioni

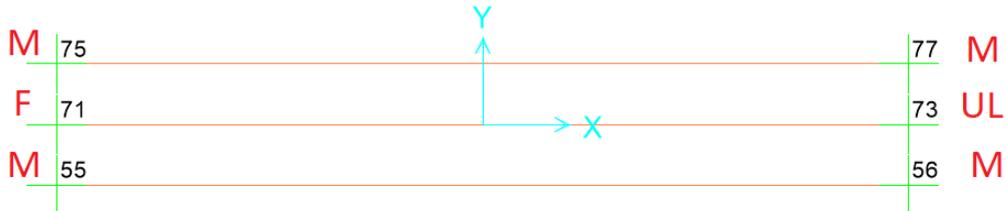
sezione piena			
$\sigma_{c,sup,sol}$	1.088	MPa	compressione lembo sup.soletta
$\sigma_{c,sup}$	0.603	MPa	tensione lembo sup.
$\sigma_{c,inf}$	1.191	MPa	tensione lembo inf.

Le tensioni totali sono le seguenti.

$\sigma_{c,sup,sol}$			=	1.088
$\sigma_{c,sup}$	0.16	+	0.603	= 0.763
$\sigma_{c,inf}$	0.00	+	1.191	= 1.191

10 DISPOSITIVI DI APPOGGIO

10.1 Schema appoggi



10.2 Scarichi appoggi Relazione di calcolo 1987

3.1.-Appoggi fissi

I dati di progetto sono i seguenti:

- carico verticale massimo $N = 2000 \text{ kN}$
- spinta trasversale massima $H_c = 310 \text{ kN}$
- spinta longitudinale massima $H_f = 560 \text{ kN}$

	F Long	F Trasv	F Vert
	F1	F2	F3
	KN	KN	KN
Max TA	-560	-310	2000

10.2.1 Treni reali

Si riportano nel seguito le reazioni vincolari massime e minime ottenute dagli involucri SLU e SLV.

	<i>APPOGGI CAMPATA IN C.A.</i>		
	<i>F vert. [kN]</i>	<i>F long. [kN]</i>	<i>F trasv. [kN]</i>
<i>APPOGGIO FISSO</i>	<i>2700</i>	<i>1600</i>	<i>800</i>
<i>APPOGGIO UNIDIREZIONALE TRASV.</i>	<i>2700</i>	<i>1600</i>	<i>0</i>
<i>APPOGGIO UNIDIREZIONALE LONG.</i>	<i>2700</i>	<i>0</i>	<i>800</i>
<i>APPOGGIO MULTIDIREZIONALE</i>	<i>2700</i>	<i>0</i>	<i>0</i>



Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

Verifiche di sicurezza con treni reali C3 - Impalcato ferroviario precompresso preteso Lc=28m

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	ENTE	DOCUMENTO	REV	Foglio
IA5F	03	D09	VI0009001	A	53 di 53

11 CONCLUSIONI

Tenuto conto degli interventi previsti nell'ambito del progetto di miglioramento sismico (che prevede la modifica dei sistemi di vincolo), si ritiene che le verifiche di sicurezza secondo DM 17 gennaio 2018 condotte per l'impalcato con i Treni Reali C3 siano soddisfatte.

Il confronto tra le analisi dei carichi ha evidenziato che le azioni da traffico derivanti dal Treno di tipo A del 1945 sono superiori a quelle derivanti dal Treno Reale C3.