

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A)

RELAZIONE DI CALCOLO

IMPALCATO A SEZIONE MISTA L=60m (doppio binario)

SCALA:

-

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

RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Aut. autorizzato	Data
A	Emissione Esecutiva	L.Genca	Gen.2020	F.Bonifacio	Gen.2020	A. Barreca	Gen.2020	ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti Dott. Ing. Angelo Vittozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo N° A2078	A. Vittozzi
B	Emissione Esecutiva	L.Genca	feb.2020	F.Bonifacio	feb.2020	A. Barreca	feb.2020		feb.2020

File: RS3U40D09CLVI0007005B.doc

n. Elaborazione: 09_004_20

<p>U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI <i>Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario</i> RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<table> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>FASE</td> <td>ENTE</td> <td>COD.</td> <td>DOC.</td> <td>PROG.</td> <td>REV.</td> <td></td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D</td> <td>09</td> <td>CL</td> <td>VI0007</td> <td>005</td> <td>B</td> <td></td> <td>2 di 62</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.		FOGLIO	RS3U	40	D	09	CL	VI0007	005	B		2 di 62
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.		FOGLIO												
RS3U	40	D	09	CL	VI0007	005	B		2 di 62												

INDICE

1. PREMESSA	4
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	6
3. MATERIALI IMPIEGATI	7
4. ANALISI DEI CARICHI UNITARI	8
4.1 CARICHI PERMANENTI	8
4.1.1 Pesi propri (G1).....	8
4.1.2 Carichi permanenti portati (G2).....	8
4.2 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI	9
4.2.1 Treni di carico.....	9
4.2.2 Azioni orizzontali	12
4.2.2.1 Serpeggio	12
4.2.2.2 Avviamento e frenatura.....	12
4.2.2.3 Forza centrifuga.....	13
4.3 AZIONI CLIMATICHE	13
4.3.1 Variazione termica	13
4.3.2 Azione della neve.....	13
4.3.3 Azione del vento	13
4.4 RITIRO	15
4.5 AZIONI ECCEZIONALI	16
4.6 AZIONI INDIRETTE	16
4.7 AZIONI SISMICHE	17
5. COMBINAZIONI DI CARICO.....	20
6. EFFETTI GLOBALI	21
6.1 MODELLO DI CALCOLO	21
6.2 TRAVI	22
6.3 ANALISI MODALE	27
6.4 VERIFICHE SLU	29
6.4.1 VERIFICHE TRAVI PRINCIPALI	29
6.4.2 VERIFICHE DIAFRAMMI.....	36
6.4.2.1 DIAFRAMMI CORRENTI	36
6.4.2.2 DIAFRAMMI DI TESTATA.....	38
6.4.3 VERIFICA CONTROVENTI	40
6.5 VERIFICHE A FATICA TRAVI PRINCIPALI	41
6.6 VERIFICHE SLE	42

<p>U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI <i>Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario</i> RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<table> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>FASE</td> <td>ENTE</td> <td>COD.</td> <td>DOC.</td> <td>PROG.</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D</td> <td>09</td> <td>CL</td> <td>VI0007</td> <td>005</td> <td>B</td> <td>3 di 62</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D	09	CL	VI0007	005	B	3 di 62
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO											
RS3U	40	D	09	CL	VI0007	005	B	3 di 62											

6.6.1	VERIFICHE DI DEFORMABILITA'	42
6.7	REAZIONI AGLI APPOGGI	43
6.7.1	SCHEMA APPOGGI	43
6.7.2	REAZIONI APPOGGI	44
7.	EFFETTI LOCALI	47
7.1	ANALISI DEI CARICHI	47
7.1.1	CARICHI PERMANENTI	47
7.1.1.1	PESI PROPRI	47
7.1.1.2	PERMANENTI PORTATI	47
7.1.2	SOVRACCARICHI ACCIDENTALI	48
7.1.2.1	TRENI DI CARICO	48
7.1.2.2	FOLLA	48
7.1.2.3	SERPEGGIO	48
7.1.2.4	CENTRIFUGA	48
7.1.2.5	DERAGLIAMENTO	49
7.1.3	AZIONI CLIMATICHE	50
7.1.3.1	VENTO	50
7.2	COMBINAZIONE DEI CARICHI	51
7.3	VERIFICHE DI RESISTENZA	54
7.4	VERIFICHE S.L.E.	58

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione sono le verifiche principali (a livello globale) della travata metallica a sezione mista acciaio-clt di **portata teorica pari a 58 m**. La travata, a cassone metallico e soletta in c.a., presenta un pacchetto P.F.-sottotrave pari a 5,28 m con altezza cassone massima pari a 4m. L'impalcato comprende nella piattaforma due binari. I diaframmi sono costituiti da angolari accoppiati, con diagonali a croce e correnti superiori con scansione di 3.625m, e traversi chiusi in corrispondenza degli appoggi, di altezza 2,45m.

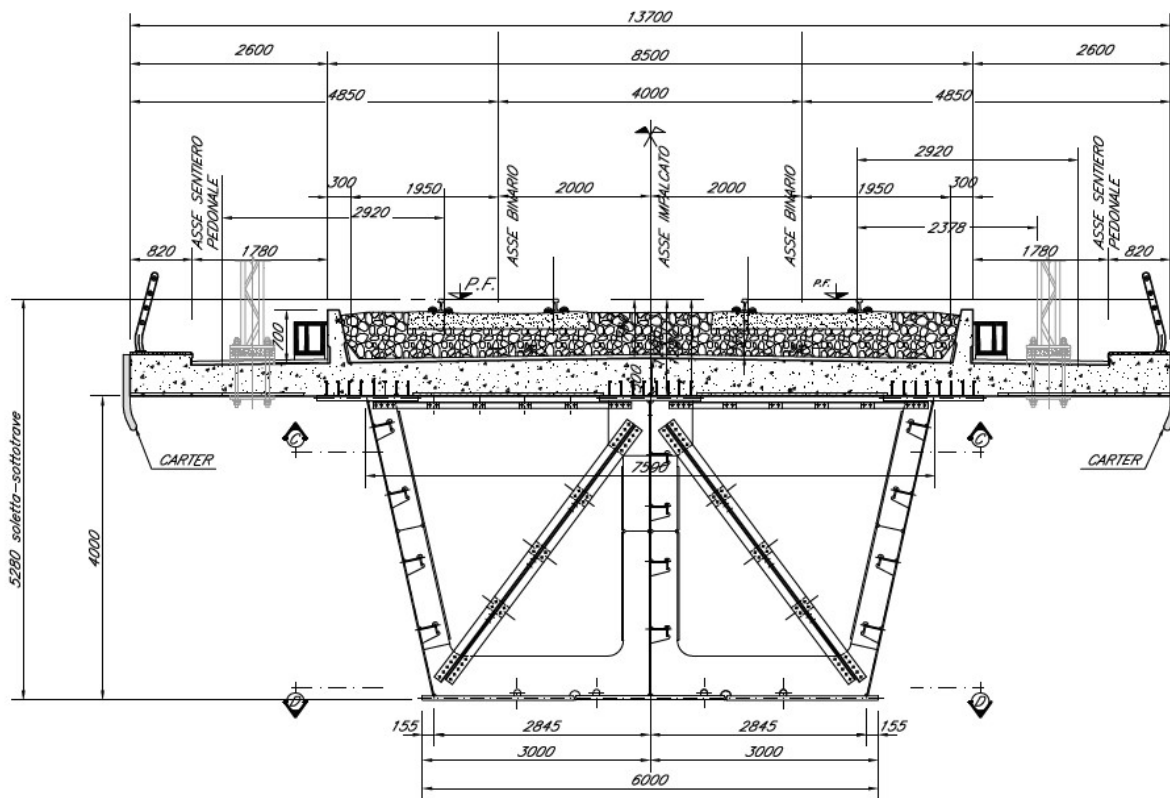


Figura 1 _Sezioni correnti

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV.
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B

FOGLIO
5 di 62

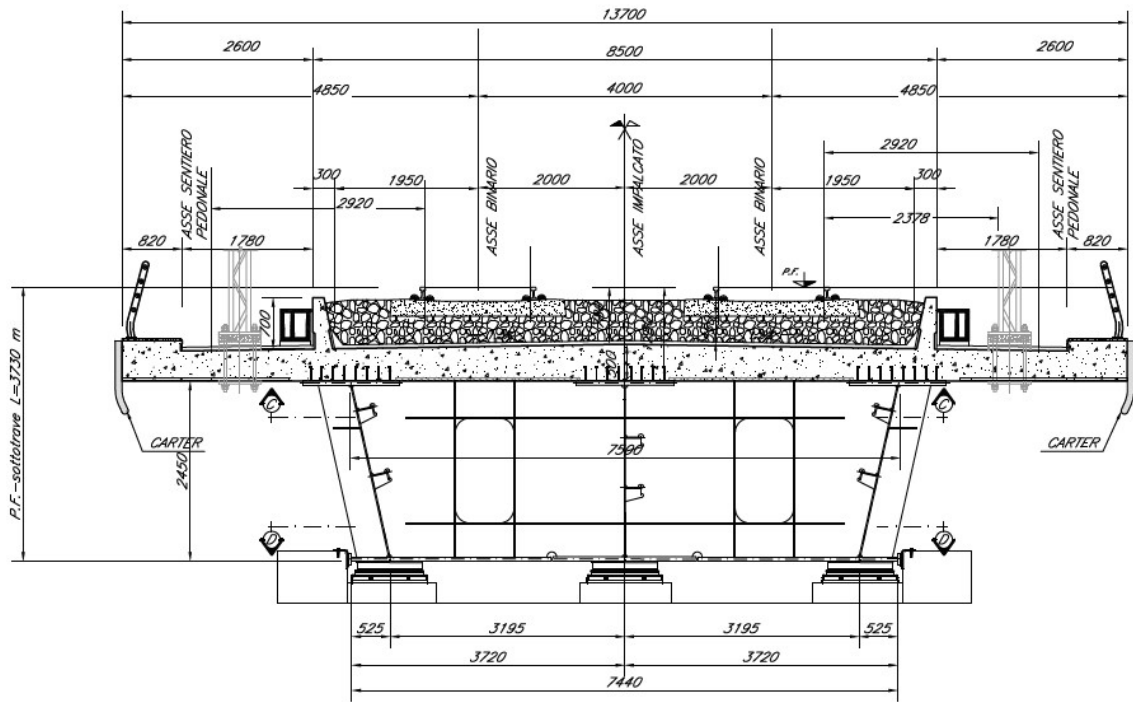


Figura 2_Sezione in asse appoggi

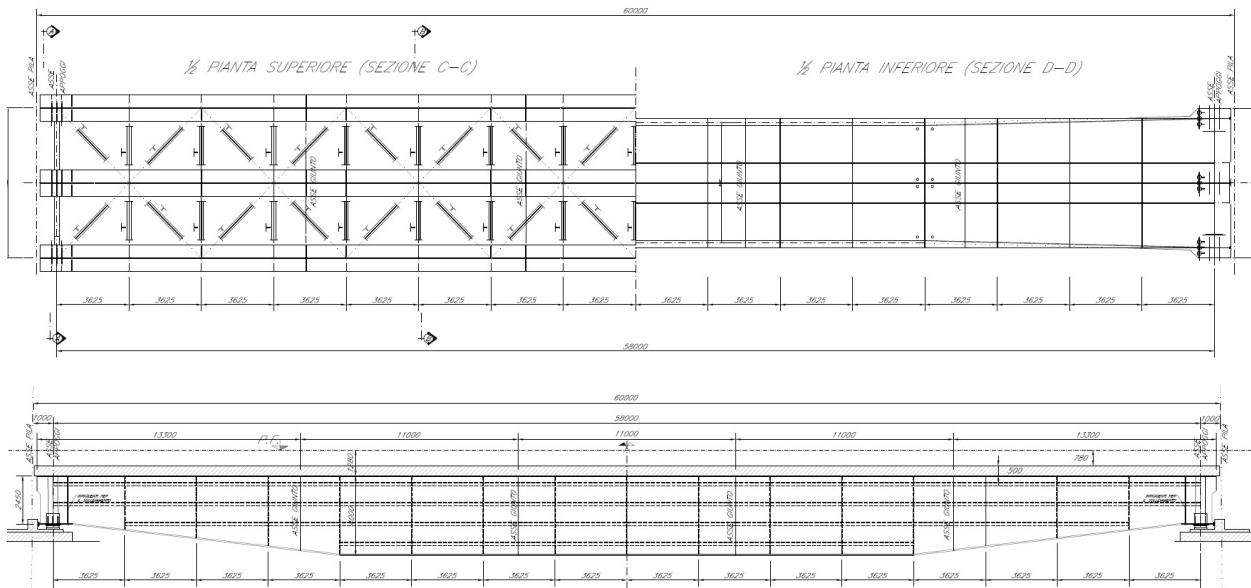


Figura 3_Pianta e prospetto

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Il progetto è redatto secondo i metodi classici della scienza delle costruzioni e nel rispetto della seguente normativa:

- [N1] **Legge 05/01/1971 n°1086:** *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica;*
- [N2] **Legge 02/02/1974 n°64:** *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;*
- [N3] **D.M. del 17 gennaio 2018:** *Nuove norme tecniche per le costruzioni;*
- [N4] **C.M. 21/01/2019 n.7:** *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";*
- [N5] **RFI DTC SI PS MA IFS 001 C:** *Manuale di progettazione delle Opere Civili. Emissione per applicazione del 21/12/2018;*
- [N6] **RFI DTC SI PS SP IFS 001 C del 21/12/2018:** *Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 6 – Opere in conglomerato cementizio e in acciaio;*

Nella redazione dei progetti e nelle verifiche strutturali si è inoltre fatto riferimento alla normativa Europea di seguito specificata:

- [N1] **UNI EN 1991-1-4:2005:** *Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento;*
- [N2] **UNI EN 1992-1-1:2005:** *Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;*
- [N3] **UNI EN 1992-2:2006:** *Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti;*
- [N4] **UNI EN 1993-1-1:2005:** *Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;*
- [N5] **UNI EN 1993-2:2007:** *Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 2: Ponti;*
- [N6] **UNI EN 1998-1:2005:** *Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici;*
- [N7] **UNI EN 1998-2:2006:** *Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti;*
- [N7] **STI 2014 – 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, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;*

Tutti gli elementi lavorati dovranno essere controllati ed accettati in accordo al [N6] ed alla **UNI EN 1090-2** (classe di esecuzione exc3 eccetto camminamenti e grigliati per i quali, come previsto sull'Appendice B, si può utilizzare la classe di esecuzione exc2).

3. MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO PER SOLETTA			
C35/45			
$R_{ck} =$	45	N/mm^2	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} =$	37.35	N/mm^2	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm} =$	45.35	N/mm^3	resistenza caratteristica cilindrica media
$\gamma_M =$	1.5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{cd} =$	21.2	N/mm^2	resistenza di progetto
$E_{cm} =$	34625.5	N/mm^2	modulo elastico BT
$E_{cm}^* =$	11846.0	N/mm^2	modulo elastico LT
$E_{cm} \text{ ritiro} =$	13609.0	N/mm^2	modulo elastico viscoso
XC3+XD3+XF2		Classe di esposizione	
$c =$	30	mm	copriferro minimo
ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE			
B 450 C controllato in stabilimento			
$f_{yk} =$	450	N/mm^2	tensione caratteristica di snervamento
$\gamma_M =$	1.15	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU elastico
$f_{yd} =$	391.3	N/mm^2	resistenza di progetto
$E_s =$	210000	N/mm^2	modulo elastico
ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA			
S355 J2 - lamiere e profili per elementi saldati			
S355 J0 - lamiere e profili per elementi non saldati			
$f_{yk} =$	355	MPa	Resistenza di calcolo ($t \leq 40$ mm)
$f_{yk} =$	335	MPa	Resistenza di calcolo ($t > 40$ mm)
$\gamma_M =$	1.05	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU elastico
$f_{yd} =$	338.1	N/mm^2	resistenza di progetto ($t \leq 40$ mm)
$f_{yd} =$	319.0	N/mm^3	resistenza di progetto ($t > 40$ mm)
$E_s =$	209000	MPa	modulo elastico
ACCIAIO PIOLI NELSON			
St 37-3K DIN 17100			
$f_{yk} =$	355	N/mm^2	tensione caratteristica di snervamento
$E_s =$	210000	N/mm^2	modulo elastico
ACCIAIO bulloni e dadi			
viti	8.8; 10.9	Conformi per le caratteristiche dimensionali alle UNI-	
dadi	8; 10	EN ISO 898-1:2013 e UNI 20898 -2	
SALDATURE			
Procedimenti di saldatura omologati e qualificati (tipo automatico ad arco sommerso o altri che verranno concordati e accettati dall'ente appaltante) conformi a D.M. 17.01.2018.			

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO
RS3U	40	D	09	CL	VI0007	005	B	8 di 62

4. ANALISI DEI CARICHI UNITARI

Le verifiche dell'opera vengono effettuate in base ai seguenti carichi unitari.

4.1 CARICHI PERMANENTI

4.1.1 PESI PROPRI (G1)

- Peso proprio del cassone (inclusi trasversi, irrigidimenti, ecc.) = 65 kN/m (valore stimato da modello);
- Peso proprio della soletta di spessore complessivo variabile = 156 kN/m

Totale Peso proprio G1 = **220 kN/m**

[58m]

Incidenza carpenteria metallica = 5 kN/m²

4.1.2 CARICHI PERMANENTI PORTATI (G2)

Valori complessivi per l'intera larghezza di impalcato:

[58m]

<u>carichi distrib</u>	Ripetizioni	Spessore m	Larghezza m	Area mq	Lunghezza m	Volume mc	p kN/mc-mq	Peso kN/ml
Muri paraballast	2			0.1433	1	0.2866	25	7.2
Muri FFPP	0			0.55	1	0.0000	25	0.0
Muri e banchina stazione	0				1	0.0000	78.5	0.0
Grigliato metallico e telaio FFPP	0		2.2	0	1	0.0000	1.15	0.0
Cordolo in sx	1			0.14	1	0.1400	25	3.5
Cordolo in dx	1			0.14	1	0.1400	25	3.5
carter	0			0.1	1	0.0000	25	0.0
Ballast+ impermab. sottoballast + armamento	1	0.8	8.2	6.56	1	6.5600	18	118.1
Incremento per rialzo in curva	2			0.20	1	0.4000	20	8.0
Canalette	1			0.1	1	0.1000	25	2.5
Impermeabilizzazione marciapiedi	1	0.05	5.1	0.255	1	0.2550	20	5.1
Velette	2				1	2.0000	6	12.0
Impianti	2				1	2.0000	1	2.0
Barriere antirumore	2	1	4	4	1	4.0000	4	32.0
Totale permanenti portati G2								193.8

4.2 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI

4.2.1 TRENI DI CARICO

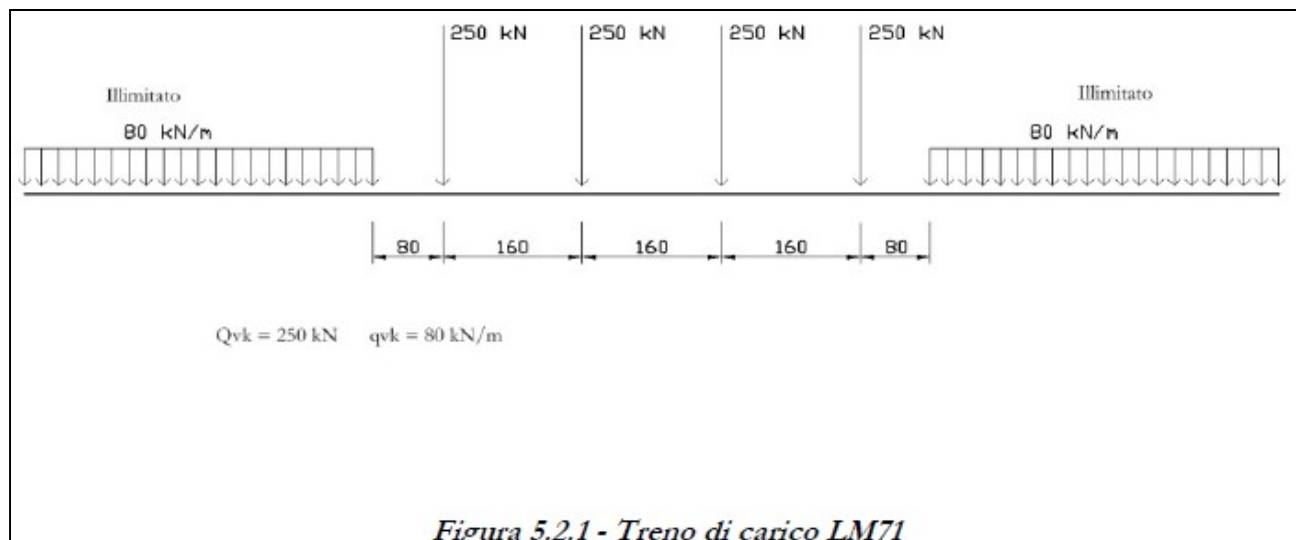
I carichi verticali sono definiti attraverso dei modelli di carico; in particolare, sono forniti due treni di carico distinti: il primo rappresentativo del traffico normale (LM 71) ed il secondo di quello pesante (SW2).

Traffico normale: Treno LM71

Questo treno di carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale e risulta costituito

da:

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




È stata considerata un'eccentricità di carico pari a 1/8 dello scartamento: $e = \frac{g}{8} = \frac{143.5}{8} = 8 \text{ cm}$

Ogni binario è stato caricato con la seguente azione verticale:

Vehicle Data

Nome veicolo: LM71 Unità: KN, m, C

Prospetto del Carico



Carichi

Carico	Minimo Distanza	Massimo Distanza	Uniforme Carico	Assale Carico
Leading Load	Infinite		80.	0.
Leading Load	Infinite		80	0
Fixed Length	0.8		0.	250.
Fixed Length	1.6		0.	250.
Fixed Length	1.6		0.	250.
Fixed Length	1.6		0.	250.
Fixed Length	0.8		0.	0.
Trailing Load	Infinite		80.	

Buttons: Agg., Inserisci, Modif., Canc., OK, Annulla

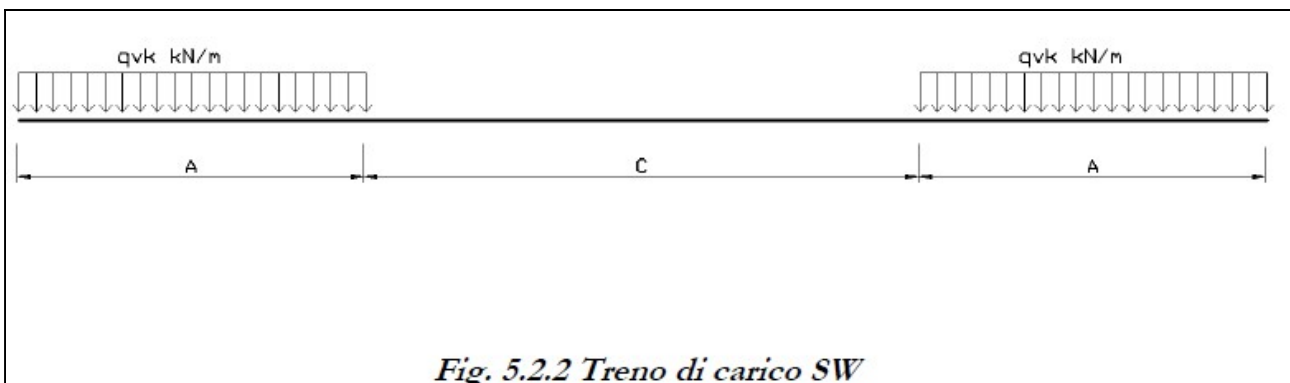
Vehicle Remains Fully In Path

I valori caratteristici dei carichi mobili (LM71) attribuiti ai modelli di carico sono stati moltiplicati per un coefficiente di adattamento $\alpha = 1.10$.

Traffico pesante treno SW/2

Tale carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante. Per tale modello di carico è stata considerata la seguente configurazione:

- due stese di carico di intensità 150 kN/m, lunghe 25.00 m distanziate da un lasco di 7.00 m.

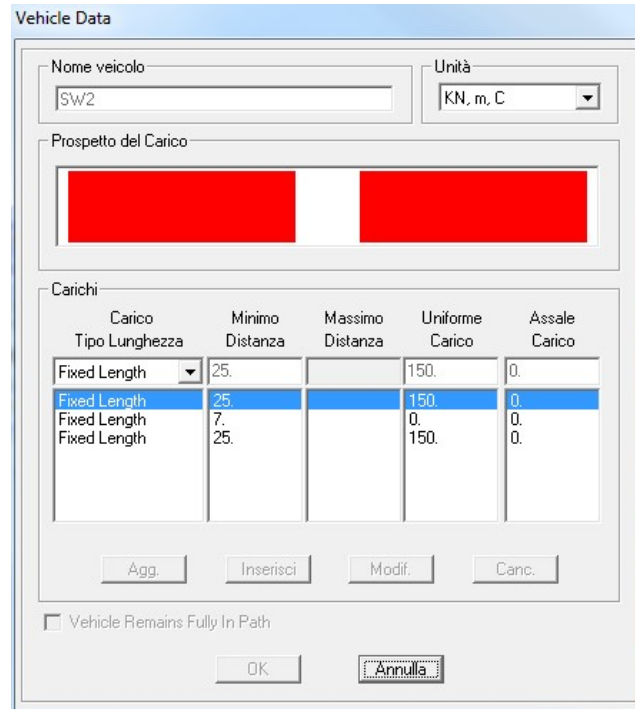


U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD. DOC.	PROG. REV.	FOGLIO
RS3U	40	D	09	CL VI0007	005 B	11 di 62

Ogni binario è stato caricato con la seguente azione verticale:



Carico	Minimo Distanza	Massimo Distanza	Uniforme Carico	Assale Carico
Tipo	Lunghezza			
Fixed Length	25.		150.	0.
Fixed Length	25.		150.	0.
Fixed Length	7.		0.	0.
Fixed Length	25.		150.	0.

Coefficienti dinamici

I coefficienti di incremento dinamico per linee con normale standard manutentivo sono stati determinati con la seguente equazione:

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\phi - 0.2}} + 0.73 \quad \text{con la limitazione} \quad 1 \leq \Phi_3 \leq 2$$

con la lunghezza L_ϕ valutata secondo *Manuale di progettazione delle opere civili RFI*:

- Travi principali ($L_\phi = 58\text{m}$): $\Phi_3 = 1.02$
- Traversi intermedi ($L_\phi = 2 \cdot i = 2 \cdot 6\text{m}$): $\Phi_3 = 1.39$
- Traversi di estremità ($L_\phi = 3.6\text{m}$): $\Phi_3 = 2$

Per la verifica a fatica invece, il coefficiente di incremento dinamico del sovraccarico teorico è stato valutato mediante la seguente formula, in accordo al *Manuale di progettazione delle opere civili RFI*:

$$\Phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{L_\phi - 0.2}} + 0.82 \quad \text{con la limitazione} \quad 1 \leq \Phi_2 \leq 1.67$$

- Travi principali ($L_\phi = 58\text{m}$): $\Phi_2 = 1.02$
- Traversi intermedi ($L_\phi = 2 \cdot i = 2 \cdot 6\text{m}$): $\Phi_2 = 1.26$
- Traversi di estremità ($L_\phi = 3.6\text{m}$): $\Phi_2 = 1.67$

4.2.2 AZIONI ORIZZONTALI

4.2.2.1 SERPEGGIO

Si assume una forza orizzontale di 100 kN applicata alla sommità delle rotaie.

4.2.2.2 AVVIAMENTO E FRENATURA

Avviamento: $Q_{ak} = 33 * L \leq 1000 \text{ kN}$

Treno LM71

$$Q_{ak} = 33 \times 58 \times 1.1 = 2105.4 \text{ kN};$$

Treno SW2

$$Q_{ak} = 33 \times 43^* = 1419 \text{ kN};$$

Pertanto si assumerà:

$$Q_{ak} = 1000 \text{ kN}$$

Frenatura: Treno LM71 $Q_{bk} = 20 * L \leq 6000 \text{ kN}$

Treno SW2 $Q_{bk} = 35 * L$

Treno LM71

$$Q_{bk} = 20 \times 58 \times 1.1 = 1276 \text{ kN};$$

Treno SW2

$$Q_{bk} = 35 \times 43^* = 1505 \text{ kN};$$

Nel modello di calcolo sono state considerate per ciascun treno di carico solamente le azioni (frenatura o avviamento) che determinano le sollecitazioni massime sulla struttura.

* lunghezza di impalcato caricato con SW/2

4.2.2.3 FORZA CENTRIFUGA

Nei ponti ferroviari al di sopra dei quali il binario presenta un tracciato in curva deve essere considerata la forza centrifuga agente su tutta l'estensione della curva.

L'azione 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..

Non è presente forza centrifuga in quanto il ponte è in rettilineo.

4.3 AZIONI CLIMATICHE

4.3.1 VARIAZIONE TERMICA

Nelle verifiche dei singoli elementi è stata considerata una variazione termica uniforme, una variazione volumetrica ed una variazione termica non uniforme secondo quanto indicato sulla "Specificazione per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario".

Variazione termica uniforme

La variazione termica uniforme volumetrica da considerare per un impalcato a struttura mista acciaio-clc risulta pari a $\pm 15^{\circ}\text{C}$.

Variazione termica non uniforme

In aggiunta alla variazione termica uniforme è stata considerata una differenza pari a 5°C tra trave metallica e soletta in c.a..

Per la verifica delle deformazioni orizzontali e verticali dell'impalcato sono state considerate delle differenze di temperatura tra estradosso ed intradosso e fra le superfici laterali più esterne degli impalcati di 10°C .

4.3.2 AZIONE DELLA NEVE

Per l'opera oggetto della presente relazione il carico risulta non dimensionante.

4.3.3 AZIONE DEL VENTO

Il calcolo della pressione del vento è stato effettuato secondo quanto

previsto dalle NTC 18:

pressione statica equivalente

zona	4	
T_R	50	anni
as	220	m
a0	500	m
vb0	28	m/s
a0	500	m
ks	0.36	1/s
vb (T_R)	28	m/s
ρ	1.25	kg/m ³
q_b	0.491	KN/m²
zona	4	
rugosità	D	
categoria di esposiz.	2	
kr	0.19	
z0	0.05	m
z min	4	m
c_t	1	
z	16	m
c_e	2.66	
$\phi=S/S_p$	1	
c_{pe}	2.1	
b	13.70	
d	9.28	

pressione esterna

$p_e = q_b c_p c_e c_t$	2.68	KN/m ²
-------------------------	-------------	-------------------

Cautelativamente è stata considerata sulla travata, una pressione uniforme pari a **2.7 kN/m²**.

L'azione del vento è stata distinta in:

- Vento su struttura scarica, ossia azione del vento sul ponte senza carichi mobili;
- Vento su struttura carica, ossia azione del vento sul ponte durante il transito dei veicoli.

4.4 RITIIRO

Per la valutazione dell'effetto del ritiro del cls, sulla sezione mista dell'impalcato si è fatto riferimento al D.M.'18

	Rck	45	MPa
Concrete	$f_{ck} =$	37.4	Mpa
Mean compressive strength	$f_{cm} =$	45.4	MPa
Coeff. of thermal expansion	$\alpha =$	1.0E-05	
Concrete elastic modulus	$E_{cm} =$	34625485	kN/m ²
exposed surfaces	$n^{\circ} =$	1	
Concrete type	$cls =$	n	
age of concrete at beginning of drying	$t_s =$	2	gg
age of concrete at loading in days	$t_o =$	28	gg
age of concrete in days	$t =$	25550000	gg
member' s notional size	$h_o = 2A_c/u =$	788	mm
element section	$A_c =$	5680000	mmq
perimeter in contact with the atmosphere	$u =$	14420	mm
relative humidity	$RH =$	75	%
	$RH_0 =$	100	%
reference mean compressive strength	$f_{cm0} =$	10	MPa
coeff. which depends on the type of cement	$\alpha_{ds1} =$	4	
coeff. which depends on the type of cement	$\alpha_{ds2} =$	0.12	
coefficient for UR%	$\beta_{RH} =$	0.896	
deformation basic	$\epsilon_{cd0} =$	2.85E-04	mm
drying shrinkage strain - time effect	$\beta_{ds} =$	1.000	
coefficient depending on the national size	$Kh =$	0.7	
drying shrinkage strain	$\epsilon_{cdS} =$	1.992E-04	mm
autogenous shrinkage strain-time effect	$\beta_{as} =$	1.0	
autogenous shrinkage strain-infinity	$\epsilon_{ca}(\infty) =$	6.84E-05	mm
autogenous shrinkage strain	$\epsilon_{cas} =$	6.838E-05	
total shrinkage strain	$\epsilon_{cS}(t,t_s) =$	2.68E-04	mm
shrinkage coefficient	$\phi(t,t_0) =$	1.840	
	$E_{cm} =$	34625485.2	kN/m ²
	$E^* =$	12192072.3	kN/m ²
	$E_r =$	14007073.3	kN/m ²

4.5 AZIONI ECCEZIONALI

Deragliamento schema 1

Si considerano due stese di carico di lunghezza 6.40 m, intensità di 60 kN/m, ad una distanza pari allo scartamento S ed eccentriche rispettivamente 1.5 s e s.

Deragliamento schema 2

Si considera un carico lineare di lunghezza 20.00 m, intensità 80*1.4 kN/m, eccentrico di 1.5 s rispetto all'asse binari.

4.6 AZIONI INDIRECTE

Resistenze parassite nei vincoli

Si considera, convenzionalmente, una resistenza pari al 6% del carico verticale totale (permanenti + accidentali dinamizzati).

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI
Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD. DOC.	PROG. REV.	FOGLIO
RS3U	40	D	09	CL VI0007	005 B	17 di 62

4.7 AZIONI SISMICHE

Lo spettro di progetto è stato ottenuto utilizzando il foglio di calcolo elettronico messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:

LATITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:

PROVINCIA:

COMUNE:

Elaborazioni grafiche

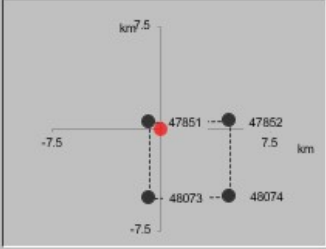
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri


Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione:

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_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

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

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	68
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	113
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	1068
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	2193

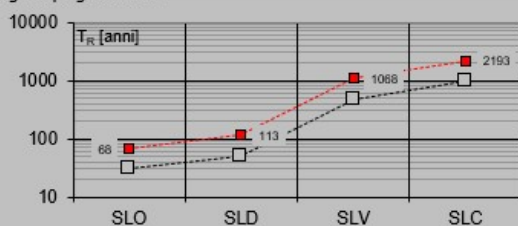
Elaborazioni

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

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI
Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD. DOC.	PROG. REV.	FOGLIO
RS3U	40	D	09	CL VI0007	005 B	18 di 62

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **C** info

$S_b = 1.500$ info

$C_c = 1.310$ info

Categoria topografica **T1** info

$h/H = 0.000$ info

$S_r = 1.000$ info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento ξ (%) **5** info

$\eta = 1.000$ info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore q_o **1** info

Regol. in altezza **si** info

Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore q **1** info

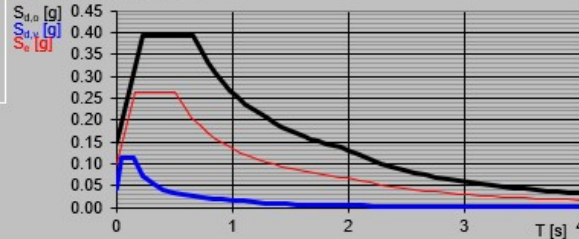
$\eta = 1.000$ info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



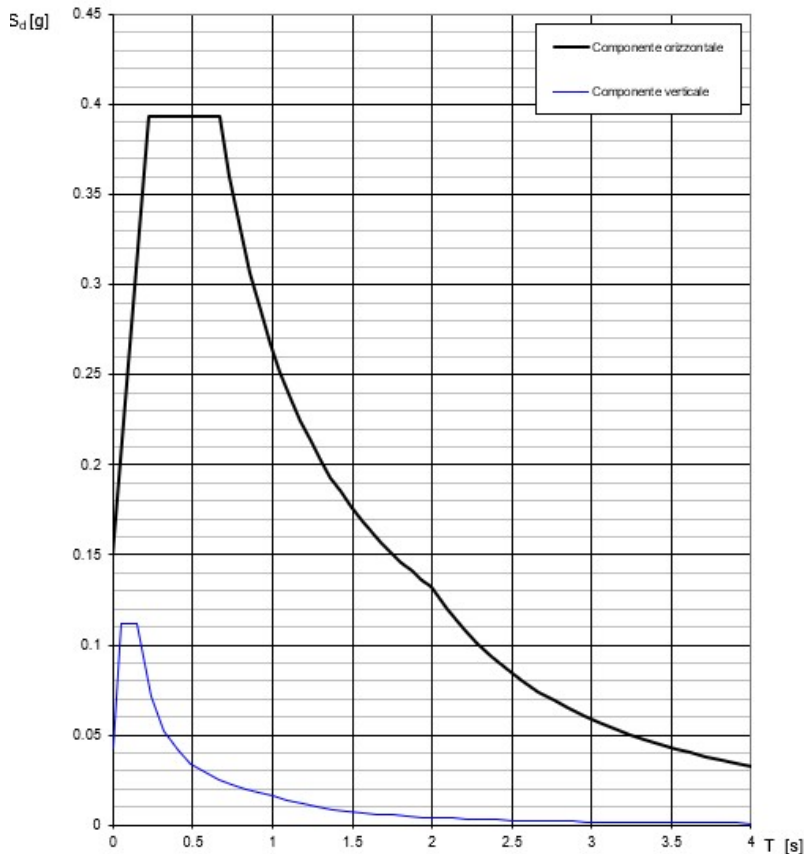
INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato li SLV



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SL1

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.099 g
F_0	2.638
T_C^*	0.511 s
S_S	1.500
C_C	1.310
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.500
η	1.000
T_B	0.223 s
T_C	0.670 s
T_D	1.998 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C/3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_o(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.149
$T_B \leftarrow$	0.223	0.394
$T_C \leftarrow$	0.670	0.394
	0.733	0.360
	0.796	0.331
	0.860	0.307
	0.923	0.286
	0.986	0.267
	1.049	0.251
	1.113	0.237
	1.176	0.224
	1.239	0.213
	1.302	0.203
	1.366	0.193
	1.429	0.185
	1.492	0.177
	1.555	0.170
	1.619	0.163
	1.682	0.157
	1.745	0.151
	1.808	0.146
	1.871	0.141
	1.935	0.136
$T_D \leftarrow$	1.998	0.132
	2.093	0.120
	2.189	0.110
	2.284	0.101
	2.379	0.093
	2.475	0.086
	2.570	0.080
	2.665	0.074
	2.761	0.069
	2.856	0.065
	2.951	0.061
	3.047	0.057
	3.142	0.053
	3.237	0.050
	3.333	0.047
	3.428	0.045
	3.523	0.042
	3.619	0.040
	3.714	0.038
	3.809	0.036
	3.905	0.035
	4.000	0.033

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 20 di 62

5. COMBINAZIONI DI CARICO

Le singole azioni elementari vengono combinate come previsto dal [N5]:

COEFFICIENTI DI COMB.			A1 STR
Carichi permanenti	<i>sfav</i>	YG1	1.35
	<i>fav</i>		1
Carichi permanenti non strutturali	<i>sfav</i>	YG2	1.5
	<i>fav</i>		0
Traffico	<i>sfav</i>	Yq	1.45
	<i>fav</i>		0
Variabili	<i>sfav</i>	Yqi	1.5
	<i>fav</i>		0

Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
<i>treno scarico</i>		
1	0	0
<i>serpeggio</i>		
1	0.8	0
<i>Eff_aerodinamici</i>		
0.8	0.5	0
<i>vento</i>		
0.6	0.5	0
<i>temperatura</i>		
0.6	0.6	0.5

VALUTAZIONE DEI CARICHI DA TRAFFICO													
Commenti	TIPO DI CARICO	Azioni Verticali			Azioni Orizzontali						Yq		
	GRUPPO DI CARICO	Carico verticale		Treno scarico	Frenatura e avviamento		Centrifuga		Serpeggio		1.45		
		<i>sfav</i>	<i>fav</i>		<i>sfav</i>	<i>fav</i>	<i>sfav</i>	<i>fav</i>	<i>sfav</i>	<i>fav</i>	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
massima azione verticale e laterale	<i>Gruppo1</i>	1	1	0	0.5	0	1	0	1	0	0.8	0.8	0
stabilità laterale	<i>Gruppo2</i>	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0.8	0.8	0
massima azione longitudinale	<i>Gruppo3</i>	1	0.5	0	1	1	0.5	0	0.5	0	0.8	0.8	0
fessurazione	<i>Gruppo4</i>	0.8	0.6	0	0.8	0.6	0.8	0.6	0.8	0.6	1	1	0

S.L.U															
VARIABILE PRINCIPALE:	TRAFFICO								VENTO		TEMPERATURA				
CARICHI	SW2				LM71				STR.		SW2		LM71		STR.
	GRUPPO1	GRUPPO2	GRUPPO3	GRUPPO4	GRUPPO1	GRUPPO2	GRUPPO3	GRUPPO4	SCARICA	STR.	GR1	GR3	GR1	GR3	SCARICA
<i>combinazioni</i>	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Peso Proprio (G1)	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
Permanenti Portati (G2)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
SW2	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	0	0	1.16	1.16	1.16	1.16	0
LM71	0	0	0	0	1.45	1.45	1.45	1.45	0	0	0	0	1.16	1.16	0
Serp_SW2	1.45	1.45	0.73	0.73	1.45	1.45	0.73	0.73	0	0	1.16	0.58	1.16	0.58	0
Serp_LM71	0	0	0	0	1.45	1.45	0.73	0.73	0	0	0	0	1.16	0.58	0
F-A_SW2	0.73	0.73	1.45	1.45	0.73	0.73	1.45	1.45	0	0	0.58	1.16	0.58	1.16	0
F-A_LM71	0	0	0	0	0.73	0.73	1.45	1.45	0	0	0	0	0.58	1.16	0
centrifuga_SW2	1.45	1.45	0.73	0.73	1.45	1.45	0.73	0.73	0	0	1.16	0.58	1.16	0.58	0
centrifuga_LM71	0	0	0	0	1.45	1.45	0.73	0.73	0	0	0	0	1.16	0.58	0
Eff aerodinamici	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1.20	1.20	1.20	1.20	0
Vento scarico	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.5	1.5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Vento carico	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0	0	0.9	0.9	0.9	0.9	0
Temp_SLU	0	0.9	0	0.9	0	0.9	0	0.9	0	0.9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

6. EFFETTI GLOBALI

6.1 MODELLO DI CALCOLO

Per valutare a livello globale le sollecitazioni e le deformazioni delle varie parti che costituiscono il viadotto (travi, soletta, trasversi, ecc.) sotto le varie azioni di progetto, sono state effettuate modellazioni con il programma agli elementi finiti SAP2000.

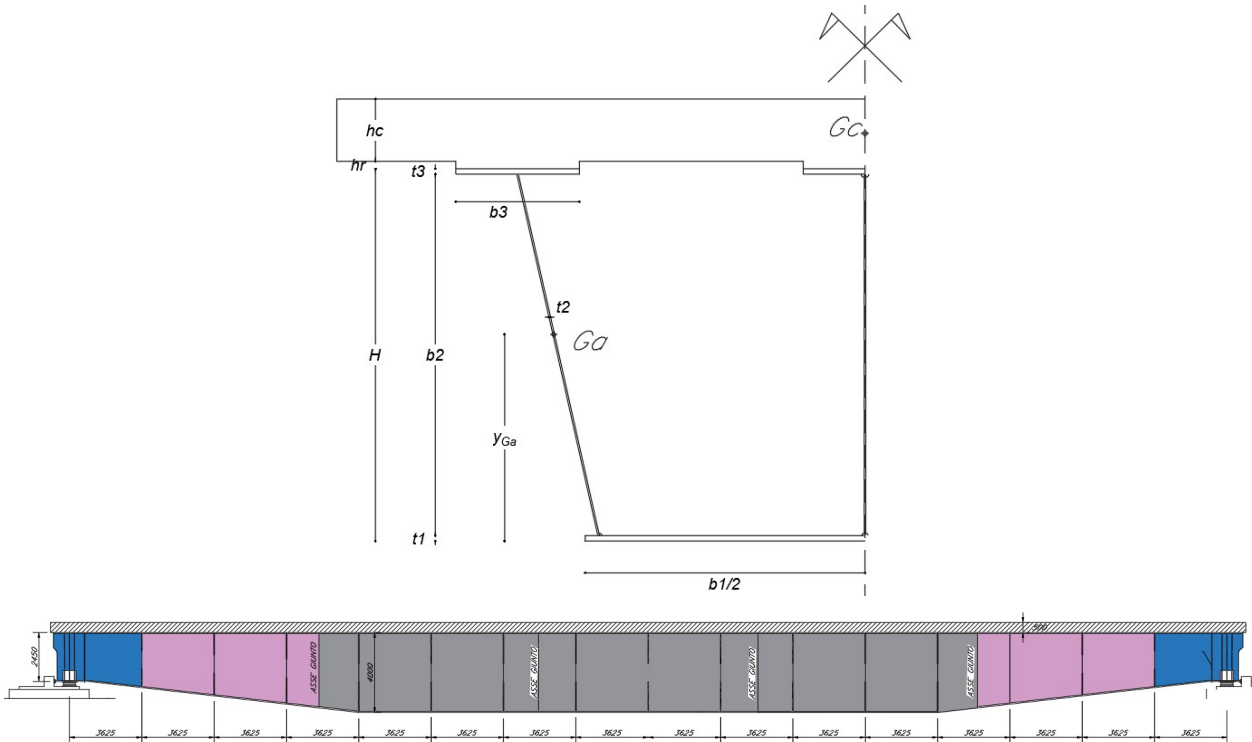
Nello studio globale longitudinale dell'impalcato si sono utilizzati tre modelli le cui rigidità si differenziano nei tre casi di sezione costituita da solo acciaio, sezione composta omogeneizzata per azioni istantanee e sezione composta omogeneizzata per azioni di lunga durata.

In accordo alla normativa vigente in materia di strutture composte in acciaio e calcestruzzo, nei suddetti modelli il viadotto all'oggetto è schematizzato attraverso elementi di tipo frame, cui sono attribuite caratteristiche inerziali equivalenti a quelle della sezione omogeneizzata costituita dal cassone bicellulare in acciaio e dalla parte di soletta collaborante.

I vincoli esterni disposti all'altezza degli apparecchi d'appoggio della struttura sono stati modellati in maniera tale da riprodurre lo schema di vincolo riportato negli elaborati grafici. Il collegamento degli elementi frame con vincoli è effettuato mediante elementi link infinitamente rigidi introdotti al fine di tener conto della differenza di quota tra il baricentro della sezione dell'impalcato e gli apparecchi d'appoggio.

Per valutare correttamente gli effetti massimi dei carichi viaggianti previsti dalla normativa, essi sono stati definiti all'interno del modello agli elementi finiti come "moving load cases".

6.2 TRAVI



Concio	TESTATE	laterale	centrale		
H	2450-Var	Var-4000	4000	mm	altezza totale trave
b3	1200(*3)	1200(*3)	1400(*3)	mm	lunghezza piattab sup
t3	30	30	35	mm	spessore piattab sup
b2	2390-var	Var-3940	3930	mm	altezza anima
t2	30(*3)	30(*3)	26(*3)	mm	spessore anima
b1	6000	6000	6000	mm	lunghezza piattab inf
t1	35	35	40	mm	spessore piattab inf
					CASSONE
i	2.85-3.73	2.85-3.73	2.85-3.73	m	INTERASSE ANIME (inf-sup)

SOLETTA			
hr	50	mm	altezza cls su ala/ predalle
hc	450	mm	altezza cls
B	13370	mm	larghezza collaborante

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 23 di 62

Per la valutazione della **larghezza collaborante della soletta** sono state prese a riferimento le prescrizioni della Normativa Nazionale D.M.'18.

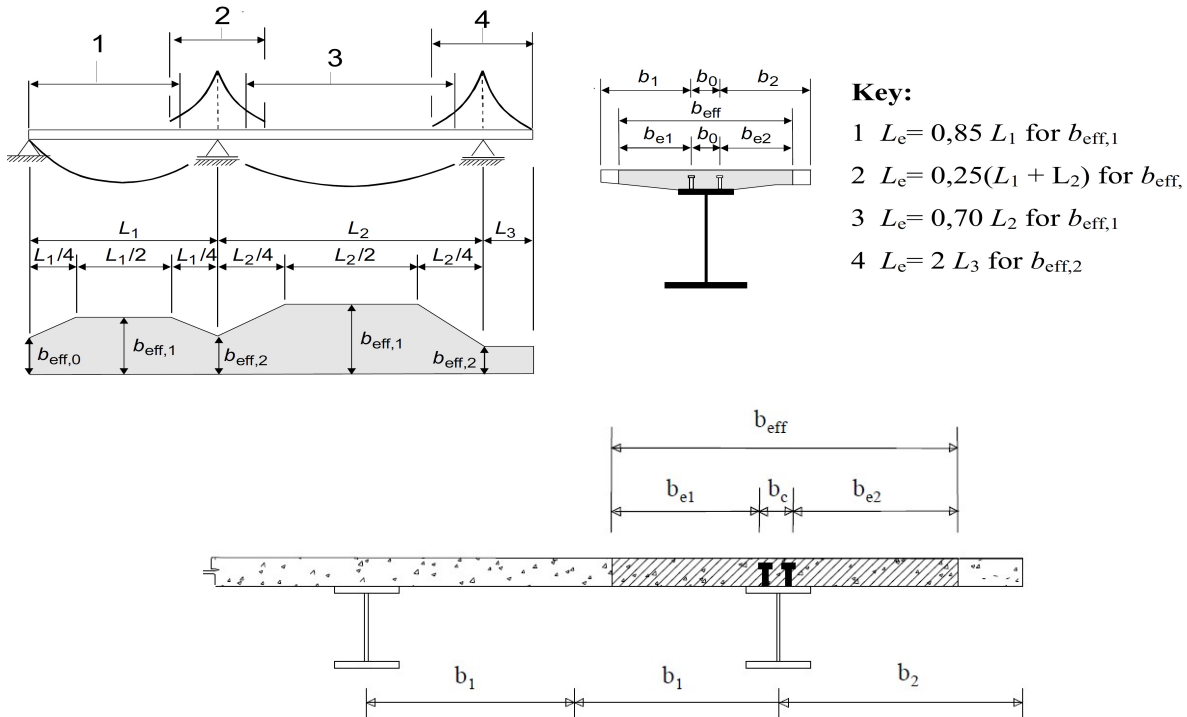


Figura 4.3.1. - Definizione della larghezza efficace b_{eff} e delle aliquote b_{ei} .

L1	60000	[mm]	lunghezza campata
2*b1	6100	[mm]	interassi travi
b1	3050	[mm]	semi interasse travi
b2	3800	[mm]	sbalzo laterale 1
b2	3800	[mm]	sbalzo laterale 2
b0	200	[mm]	distanza tra assi connettori
Le	60000	[mm]	lunghezza equivalente
be1	2950	[mm]	lato interno
be2	3700	[mm]	lato sbalzo
β1-1	1.00	< 1	
β2-1	0.96	< 1	
b eff 1	6685	[mm]	trave laterale 1
b eff 1	6685	[mm]	trave laterale 2
b eff 1	13370	[mm]	cassone

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI
Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 24 di 62

Concio testata:

Anima irrigidita ?	<u>y</u>	N° irrigid.	4	<= 4	d1 = cm	71.00
					d2 = cm	71.00
					d3 = cm	71.00
					d4 = cm	71.00

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

somma distanze > d

		d ; d ₁	d ₂	d ₃	d ₄		
Larghezza/spessore : Anima	d/t _w =	23.67	23.67	23.67		α _y =	0.738
Piattabande	c/t =	19.50				ψ _y =	-1.000
	α _d =	1.000	1.000	0.480			
asse neutro el. = cm 122.480	ψ _d =	0.406	-0.463				
	c _ψ =	-0.406	0.463				
Limite larghezza/spessore anima :	classe 1	26.85	26.85	61.00			
	classe 2	30.92	30.92	70.32			
	classe 3	42.50	66.08	70.32			
	k _σ =						

classe dell'anima

1

Limite larghezza/spessore piattab.	classe 1	7.32
	classe 2	8.14
	classe 3	11.39

classe piattabanda

4

CLASSE SEZIONE

4

1) larghezza efficace (bcf) della piattabanda superiore:

λπφ = χ / τφ / [28,4.ε (κσ)0,5]	λππ =	1.286952
coeff. di imbozzamento	ks =	0.43
fattore di riduzione	ρφ =	0.663520
ceff = rf . c	ceff =	38.82 cm
larghezza efficace compr.	bfeff =	80.63 cm
Area efficace piattab.	Ac,eff =	241.90 cm ²

2) altezza efficace dell'anima:

altezza efficace anima	H _{eff} ANIMA =	238.50 cm
Area efficace anima	A _{eff} ANIMA =	715.50 cm ²

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV.
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B

FOGLIO
25 di 62

Concio laterale:

Anima irrigidita ?	\underline{y}	N° irrigid.	4	≤ 4	d1 = cm	71.00
					d2 = cm	71.00
					d3 = cm	71.00
					d4 = cm	71.00

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

		d ; d ₁	d ₂	d ₃	d ₄			
Larghezza/spessore : Anima	d/t _w =	23.67	23.67	23.67		$\alpha_y =$	0.608	
Piattabande	c/t =	19.50				$\psi_y =$	-1.000	
	$\alpha_d =$	1.000	1.000	1.000	0.370			
asse neutro el. = cm 199.976	$\psi_d =$	0.640	0.437	-0.290				
	$c_w =$	-0.640	-0.437	0.290				
Limite larghezza/spessore anima :	classe 1	26.85	26.85	26.85				
	classe 2	30.92	30.92	30.92				
	classe 3	38.78	41.98	59.51				
	$k_\sigma =$							
						classe dell'anima	1	
Limite larghezza/spessore piattab.	classe 1	7.32						
	classe 2	8.14						
	classe 3	11.39						
						classe piattabanda	4	
	CLASSE SEZIONE	4						

1) larghezza efficace (bcf) della piattabanda superiore:

$\lambda\pi\phi = \chi / \tau\phi / [28,4.\varepsilon. (\kappa\sigma)0,5]$	$\lambda\pi =$	1.286952
coeff. di imbozzamento	$k_s =$	0.43
fattore di riduzione	$\rho\phi =$	0.663520
ceff = rf . c	ceff =	38.82 cm
larghezza efficace compr.	bfeff =	80.63 cm
Area efficace piattab.	$A_{c,eff} =$	241.90 cm ²

2) altezza efficace dell'anima:

altezza efficace anima	$H_{eff} ANIMA =$	393.50 cm
Area efficace anima	$A_{eff} ANIMA =$	1180.50 cm ²

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI
Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 26 di 62

Concio centrale:

Anima irrigidita ?	<u>y</u>	N° irrigid.	4	<= 4	d1 = cm	71.00
					d2 = cm	71.00
					d3 = cm	71.00
					d4 = cm	71.00

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

		d ; d ₁	d ₂	d ₃	d ₄		
Larghezza/spessore :	Anima	d/t _w =	27.31	27.31	27.31		α _y = 0.611
	Piattabande	c/t =	19.63				ψ _y = -1.000
		α _d =	1.000	1.000	1.000	0.376	
asse neutro el. = cm	199.977	ψ _d =	0.639	0.434	-0.302		
		c _w =	-0.639	-0.434	0.302		
Limite larghezza/spessore anima :	classe 1		26.85	26.85	26.85		
	classe 2		30.92	30.92	30.92		
	classe 3		38.80	42.01	59.92		
		k _σ =					
						classe dell'anima	2
Limite larghezza/spessore piattab.	classe 1		7.32				
	classe 2		8.14				
	classe 3		11.39				
						classe piattabanda	4
	CLASSE SEZIONE		4				

1) larghezza efficace (bcf) della piattabanda superiore:

λπφ = χ / τφ / [28,4.ε. (κσ)0,5]	λππ =	1.295437
coeff. di imbozzamento	ks =	0.43
fattore di riduzione	ρφ =	0.659913
ceff = rf . c	ceff =	45.34 cm
larghezza efficace compr.	bfeff =	93.27 cm
Area efficace piattab.	Ac,eff =	326.45 cm ²

2) altezza efficace dell'anima:

altezza efficace anima	H _{eff} ANIMA =	392.50 cm
Area efficace anima	A_{eff} ANIMA =	1020.50 cm ²

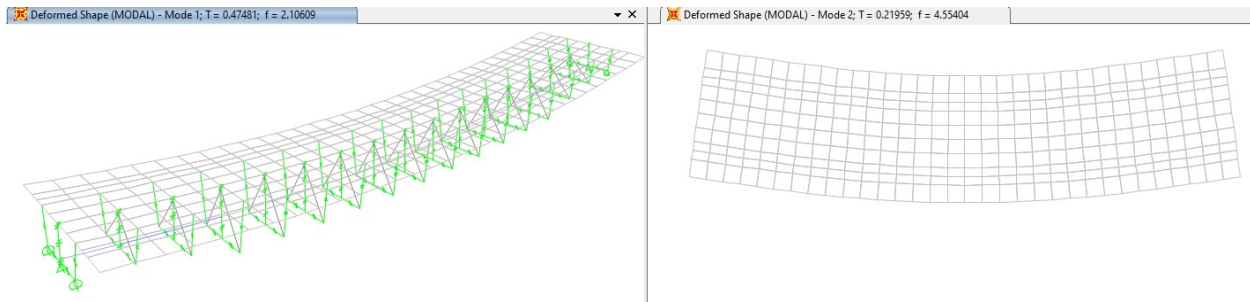
U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 27 di 62

6.3 ANALISI MODALE

L'analisi modale effettuata con programma di calcolo Sap2000 fornisce le frequenze proprie di vibrare dell'impalcato in esame: la prima è flessionale verticale, la seconda torsionale.



Si riportano solo i primi 12 modi di vibrare, ma l'analisi è stata condotta verificando che il numero totale di mdv consentisse l'eccitazione dell'85% della massa in tutte le componenti di spostamento.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.475	0.01666	1.47E-09	0.82657	0.01666	1.47E-09	0.82657	5.647E-12	0.000006245	1.178E-11	0%	0%	0%
MODAL	Mode	2	0.220	9.291E-08	0.81642	3.857E-08	0.01666	0.81642	0.82657	0.00359	4.754E-09	1.076E-11	0%	0%	0%
MODAL	Mode	3	0.179	1.648E-08	0.00272	1.646E-09	2%	82%	83%	0.8771	3.572E-09	1.205E-12	88%	0%	0%
MODAL	Mode	4	0.155	0.11377	1.184E-07	0.00098	13%	82%	83%	1.374E-08	0.61371	2.134E-10	88%	61%	0%
MODAL	Mode	5	0.106	0.68608	0.000001248	0.00077	82%	82%	83%	4.025E-08	0.05357	4.965E-08	88%	67%	0%
MODAL	Mode	6	0.102	2.814E-08	3.67E-12	2.268E-10	82%	82%	83%	1.003E-13	1.726E-09	0.00201	88%	67%	0%
MODAL	Mode	7	0.088	0.11514	1.411E-07	0.08231	93%	82%	91%	2.72E-09	0.00245	1.332E-08	88%	67%	0%
MODAL	Mode	8	0.084	1.249E-09	0.00016	1.635E-10	93%	82%	91%	0.0619	2.797E-11	4.384E-12	94%	67%	0%
MODAL	Mode	9	0.076	0.00217	8.731E-10	0.00012	93%	82%	91%	2.147E-11	0.08106	1.027E-08	94%	75%	0%
MODAL	Mode	10	0.076	1.349E-09	5.833E-12	1.616E-11	93%	82%	91%	2.994E-13	4.253E-10	0.00102	94%	75%	0%
MODAL	Mode	11	0.071	0.00252	1.494E-09	0.00047	94%	82%	91%	5.621E-11	0.00002666	8.64E-08	94%	75%	0%
MODAL	Mode	12	0.068	7.08E-10	0.00001742	1.489E-13	94%	82%	91%	0.00961	1.612E-11	9.731E-12	95%	75%	0%

Considerando la prima frequenza propria flessionale dell'impalcato, si valuta la necessità o meno di effettuare analisi dinamiche piuttosto che statiche, in base alle indicazioni del [N5], verificando che essa ricada nel fuso dei *Limiti della frequenza naturale del ponte n_0 [Hz] in funzione di L [m]*.

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV.
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B

FOGLIO
28 di 62

La suddetta frequenza calcolata analiticamente corrisponde a quella fornita dal modello.

Come si evince dal grafico non è necessario effettuare analisi dinamiche.

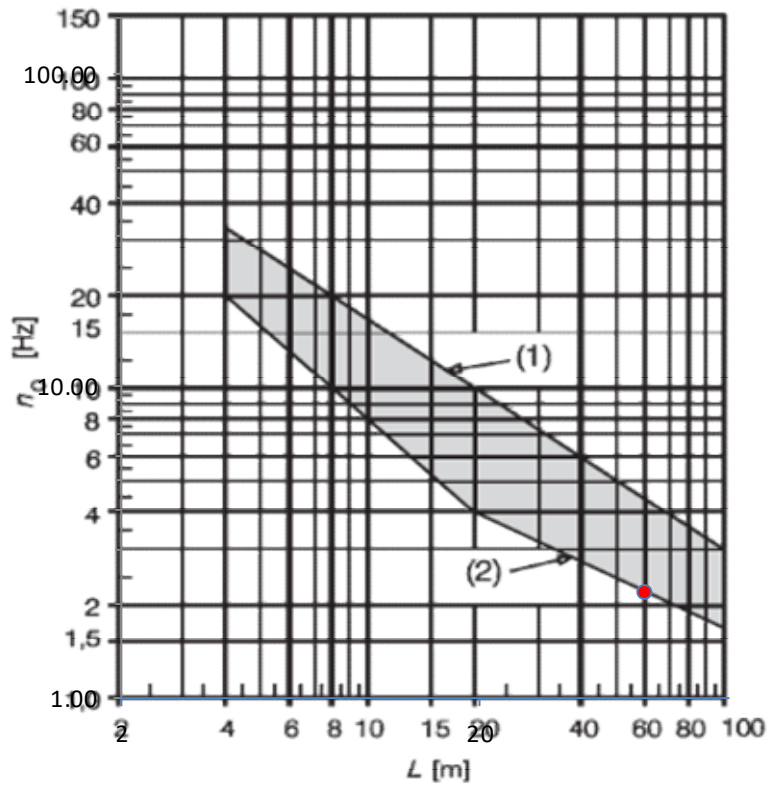
L	58	m
---	----	---

δ_0	66.0	mm
N_0	2.18	Hz

δ_0 è la freccia in mezzeria dovuta alle azioni permanenti

N_0 è la prima frequenza naturale flessionale del ponte

(1)	4.55	Hz
(2)	2.13	Hz



(1) Limite superiore della frequenza naturale

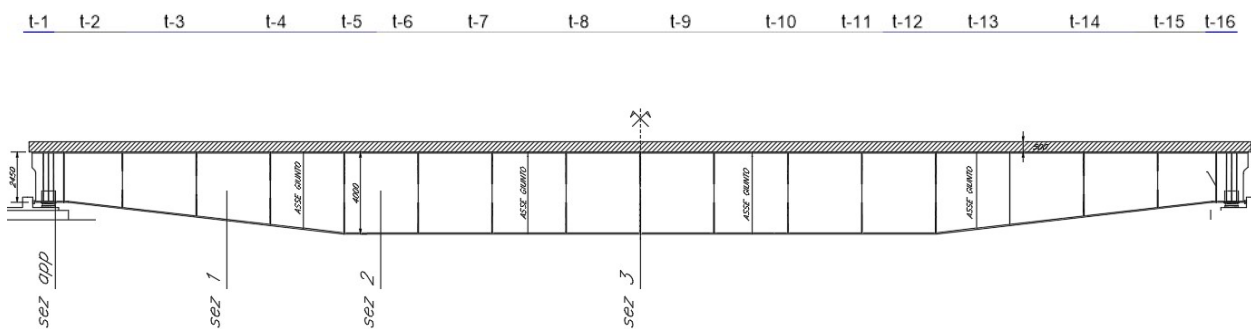
(2) Limite inferiore della frequenza naturale

6.4 VERIFICHE SLU

Si riportano di seguito le sollecitazioni flettenti e taglianti per le 3 fasi di carico.

6.4.1 VERIFICHE TRAVI PRINCIPALI

Di seguito la denominazione nel modello vista in pianta (monofilare) e il prospetto con indicazione delle sezioni di trave verificati:



SEZIONI EFFICACI:

Per tutti i conci si effettua la riduzione della sezione resistente della piattabanda superiore per calcolo e verifica delle tensioni nella sola fase1 (sezione resistente solo acciaio).

Non si effettua la riduzione della sezione resistente dell'anima per calcolo e verifica delle tensioni in tutte e tre le fasi di calcolo per la presenza di 4 irrigidenti lungo l'altezza di ciascuna anima.

FASE I (carichi: pesi propri G1: ACCIAIO + SOLETTA C.A.) = 1.35*G1

TABLE: Element Forces - Frames				7972.286	-7972.29	123732.1				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3	
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
t-1		0 FASE1	Combinat	-9.53E-10	-7972.29	3.33E-11	5.78E-10	-1.46E-10	348.6308	
t-2		0 FASE1	Combinat	-5.65E-10	-6986.73	2.43E-11	5.93E-10	-1.16E-09	28863.87	
t-3		0 FASE1	Combinat	-6.53E-10	-5992.27	3.51E-11	5.70E-10	-1.46E-09	53791.12	
t-4		0 FASE1	Combinat	-1.21E-09	-4963.14	9.78E-12	5.66E-10	-1.31E-09	75052.32	
t-5		0 FASE1	Combinat	-1.09E-09	-3913.99	-7.69E-11	3.20E-10	-1.76E-09	92546.64	
t-6		0 FASE1	Combinat	-1.06E-09	-2838.63	-3.84E-13	3.06E-10	-1.56E-09	106190.3	
t-7		0 FASE1	Combinat	-1.01E-09	-1763.27	-2.37E-10	3.25E-10	-1.82E-09	115935.8	
t-8		0 FASE1	Combinat	-8.94E-10	-687.906	-1.74E-10	1.36E-10	-1.20E-09	121783	
t-9		0 FASE1	Combinat	-9.42E-10	387.455	-1.57E-11	-2.16E-11	-7.47E-10	123732.1	
t-10		0 FASE1	Combinat	-1.19E-09	1462.817	2.29E-10	-2.35E-10	-3.74E-10	121783	
t-11		0 FASE1	Combinat	-1.28E-09	2538.179	-2.18E-11	-5.02E-10	-1.13E-09	115935.8	
t-12		0 FASE1	Combinat	-1.66E-09	3613.541	1.43E-11	-5.69E-10	-1.53E-09	106190.3	
t-13		0 FASE1	Combinat	-1.75E-09	4688.902	3.99E-11	-6.94E-10	-1.15E-09	92546.64	
t-14		0 FASE1	Combinat	-1.62E-09	5738.045	-3.50E-11	-4.36E-10	-1.32E-09	75052.32	
t-15		0 FASE1	Combinat	-1.50E-09	6766.235	-1.30E-11	-5.12E-10	-1.22E-09	53791.12	
t-16		0 FASE1	Combinat	-1.97E-09	7760.258	1.50E-11	-5.20E-10	-8.46E-11	28863.87	

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 30 di 62

FASE II (carichi: PERMANENTI PORTATI E RITIRO) = 1.5 * G2 + 1.5 * ritiro

TABLE: Element Forces - Frames				8131.781	-8131.781	161078.03			
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
t-1	0	FASE2	Combinat	-26916	-8131.781	-8.18E-10	1.04E-09	-2.53E-10	19156.875
t-2	0	FASE2	Combinat	-26916	-7047.544	-6.20E-10	1.67E-09	4.20E-09	54017.782
t-3	0	FASE2	Combinat	-26916	-5963.306	-9.40E-11	-4.90E-10	5.19E-09	84948.328
t-4	0	FASE2	Combinat	-26916	-4879.069	-6.80E-10	-4.39E-10	5.25E-09	111948.51
t-5	0	FASE2	Combinat	-26916	-3794.831	4.95E-10	-6.31E-09	7.61E-09	129635.14
t-6	0	FASE2	Combinat	-26916	-2710.594	3.38E-10	-9.69E-09	5.12E-09	143391.4
t-7	0	FASE2	Combinat	-26916	-1626.356	2.12E-09	-1.89E-08	3.97E-09	153217.3
t-8	0	FASE2	Combinat	-26916	-542.119	7.61E-10	-1.41E-08	-3.34E-09	159112.84
t-9	0	FASE2	Combinat	-26916	542.119	8.19E-10	-1.33E-08	-5.93E-09	161078.03
t-10	0	FASE2	Combinat	-26916	1626.356	7.43E-10	-8.85E-09	-8.65E-09	159112.84
t-11	0	FASE2	Combinat	-26916	2710.594	6.58E-10	-1.19E-08	-1.19E-08	153217.3
t-12	0	FASE2	Combinat	-26916	3794.831	6.41E-10	-4.55E-09	-1.44E-08	143391.4
t-13	0	FASE2	Combinat	-26916	4879.069	-1.19E-10	-4.53E-09	-1.78E-08	129635.14
t-14	0	FASE2	Combinat	-26916	5963.306	-1.54E-09	-3.99E-09	-1.80E-08	106565.31
t-15	0	FASE2	Combinat	-26916	7047.544	-2.01E-09	-1.22E-09	-1.21E-08	79565.128
t-16	0	FASE2	Combinat	-26916	8131.781	-1.54E-09	-2.90E-10	-5.54E-09	48634.582

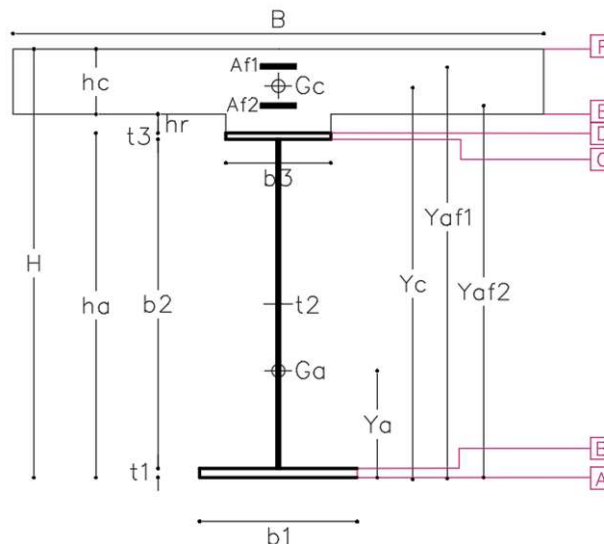
FASE III (carichi: SOVRACCARICHI ACCIDENTALI e AZIONI CLIMATICHE, si riporta l'involuppo delle combinazioni precedentemente descritte e depurate dei carichi G1 e G2 considerati rispettivamente in Fase I e Fase II)

TABLE: Element Forces - Frames					-9696.09	137379.6			
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V MIN	V2	M3
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN	KN-m
t-1	0	INVILUPP	Combinat	Max	305.195	0.007357	-9696.09	-9696.09	210.5933
t-2	0	INVILUPP	Combinat	Max	329.479	6.94E-07	-8517.12	-8517.12	31055.25
t-3	0	INVILUPP	Combinat	Max	334.925	151.619	-7422.79	-7422.79	61139.02
t-4	0	INVILUPP	Combinat	Max	335.12	415.461	-6413.45	-6413.45	85946.37
t-5	0	INVILUPP	Combinat	Max	335.196	762.876	-5489.14	-5489.14	105838.9
t-6	0	INVILUPP	Combinat	Max	335.196	1195.266	-4649.89	-4649.89	120917.5
t-7	0	INVILUPP	Combinat	Max	335.196	1712.724	-3895.71	-3895.71	131150.2
t-8	0	INVILUPP	Combinat	Max	335.196	2307.848	-3222.38	-3222.38	136578.5
t-9	0	INVILUPP	Combinat	Max	335.196	2940.006	-2590.25	2940.006	137266.4
t-10	0	INVILUPP	Combinat	Max	335.196	3613.067	-1995.4	3613.067	137028.6
t-11	0	INVILUPP	Combinat	Max	335.196	4367.263	-1477.94	4367.263	132059.4
t-12	0	INVILUPP	Combinat	Max	335.196	5206.517	-1045.55	5206.517	122291.6
t-13	0	INVILUPP	Combinat	Max	335.12	6130.83	-698.117	6130.83	107665.9
t-14	0	INVILUPP	Combinat	Max	334.925	7140.159	-434.243	7140.159	88143.45
t-15	0	INVILUPP	Combinat	Max	329.479	8234.467	-257.326	8234.467	63760.3
t-16	0	INVILUPP	Combinat	Max	305.707	9413.477	-187.91	9413.477	34529.66

SEZ 1 (Tipo concio = laterale):

Dati sezione

Trave in acciaio			
schema statico		trave appoggiata	
H	3775	mm	altezza totale sezione
ha	3275	mm	altezza totale trave
b3	3600	mm	lunghezza piattab sup
t3	30	mm	spessore piattab sup
b2	3210	mm	altezza anima
t2	90	mm	spessore anima
b1	6000	mm	lunghezza piattab inf
t1	35	mm	spessore piattab inf
	1		NUMERO TRAVI
i	2.85-3.73	m	INTERASSE ANIME
Aa	606900	mm ²	area acciaio
Ja	1.04E+12	mm ⁴	inerzia acciaio
ya	1367	mm	baricentro trave
soletta			
hr	50	mm	altezza cls su ala
hc	450	mm	altezza cls
B	13370	mm	larghezza collaborante
Ac	6.20E+06	mm ²	area cls
yc	3543	mm	baricentro soletta
armatura			
nφ1	10		ferri sup in un metro
φ1	24	mm	diametro ferri sup.
Af1	60484	mm ²	area armatura sup
if1	100	mm	interferro
nφ2	5		ferri inf in un metro
φ2	24	mm	diametro ferri inf.
Af2	60484	mm ²	area armatura inf
if2	100	mm	interferro
cf	50	mm	copriferro
yaf1	3725	mm	baricentro ferri sup
yaf2	3387	mm	baricentro ferri inf



n(L.T.)		n(B.T.)		BARICENTRI			
ya	1367	mm	baricentro trave	1249			
ya BT	2789	mm	sez a mom positivo	2789			
ya BT	1731	mm	sez a mom negativo	1731			
ya LT	2330	mm	sez a mom positivo	2330			
ya LT	1731	mm	sez a mom negativo	1731			
INERZIE							
Ja	1.04E+12	mm ⁴	inerzia sola trave	9.04E+11			
Ja+s	2.94E+12	mm ⁴	sez a mom positivo (BT)	2.94E+12			
Ja+f	1.53E+12	mm ⁴	sez a mom negativo (BT)	1.53E+12			
Ja+s	2.32E+12	mm ⁴	sez a mom positivo (LT)	2.32E+12			
Ja+f	1.53E+12	mm ⁴	sez a mom negativo (LT)	1.53E+12			
			sez. lorda				sez. efficace

Verifica

1) sezione a momento flettente positivo (cls reagente)

		FASE 1	FASE 2	FASE 3	
mom. Flett.	M ed	53791.1	79565.1	48634.6	kNm
taglio agente	T ed	-6766.2	-7047.5	8234.5	kN

fibra	σ FASE 1	σ FASE 2	σ FASE 3	σ TOT	σ limite	tasso di lavoro		
ferri sup	Af1	0.00	-47.78	-15.48	-63.3	391.3	verificato	0.16
ferri inf	Af2	0.00	-36.20	-9.89	-46.1	391.3	verificato	0.12
cls sup	F	0.00	-2.87	-2.69	-5.6	21.2	verificato	0.26
cls inf	E	0.00	-1.98	-1.46	-3.4	21.2	verificato	0.16
piattab sup	D	-120.50	-32.37	-8.04	-160.9	338.1	verificato	0.48
anima sup	C	-118.71	-31.34	-7.55	-157.6	338.1	verificato	0.47
anima inf	B	72.25	78.61	45.55	196.4	338.1	verificato	0.58
piattab inf	A	74.33	79.81	46.13	200.3	338.1	verificato	0.59

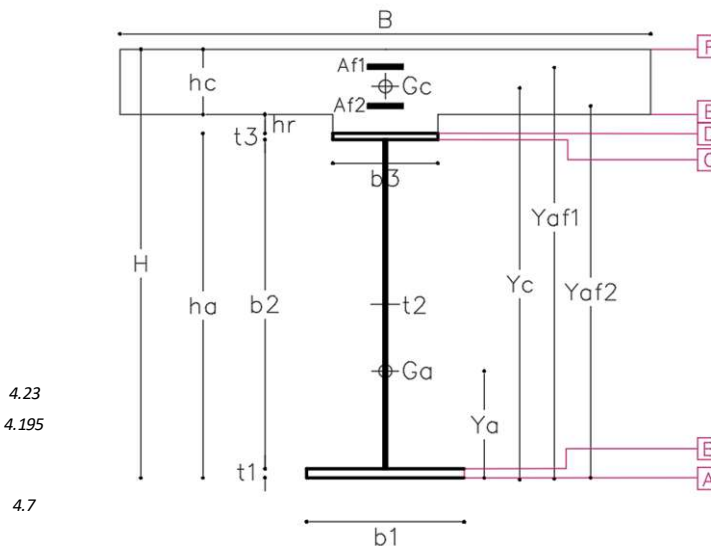
σ id TOT	σ limite	
63.3	391.3	verificato
46.1	391.3	verificato
5.6	21.2	verificato
3.4	21.2	verificato
160.9	338.1	verificato
228.0	338.1	verificato
228.0	338.1	verificato
200.3	338.1	verificato

	τ FASE 1	τ FASE 2	τ FASE 3	τ TOT	τ limite			
anima	C, D	-23.4	-24.4	28.5	-19.3	195.2	verificato	0.10

SEZ 2 (Tipo concio = laterale):

Dati sezione

Trave in acciaio			
schema statico		trave appoggiata	
H	4500	mm	altezza totale sezione
ha	4000	mm	altezza totale trave
b3	3600	mm	lunghezza piattab sup
t3	30	mm	spessore piattab sup
b2	3935	mm	altezza anima
t2	90	mm	spessore anima
b1	6000	mm	lunghezza piattab inf
t1	35	mm	spessore piattab inf
	1		NUMERO TRAVI
i	2.85-3.73	m	INTERASSE ANIME
Aa	708150	mm ²	area acciaio
Ja	1.65E+12	mm ⁴	inerzia acciaio
ya	1716	mm	baricentro trave
soletta			
hr	50	mm	altezza cls su ala
hc	450	mm	altezza cls
B	13370	mm	larghezza collaborante
Ac	6.20E+06	mm ²	area cls
yc	4268	mm	baricentro soletta
armatura			
nφ1	10		ferri sup in un metro
φ1	24	mm	diametro ferri sup.
Af1	60484	mm ²	area armatura sup
if1	100	mm	interferro
nφ2	5		ferri inf in un metro
φ2	24	mm	diametro ferri inf.
Af2	60484	mm ²	area armatura inf
if2	100	mm	interferro
cf	50	mm	copriferro
yaf1	4450	mm	baricentro ferri sup
yaf2	4112	mm	baricentro ferri inf



4.23
4.195
4.7

armatura		n(L.T.)	n(B.T.)	BARICENTRI				
nφ1	10	17.2	6.1	ya	1716	mm	baricentro trave	1597
φ1	24	soletta interam. reag.		ya BT	3292	mm	sez a mom positivo	3292
Af1	60484			ya BT	2090	mm	sez a mom negativo	2090
if1	100	soletta interam. reag.		ya LT	2749	mm	sez a mom positivo	2749
nφ2	5			ya LT	2090	mm	sez a mom negativo	2090
φ2	24	1.65		INERZIE				
Af2	60484			Ja	1.65E+12	mm ⁴	inerzia sola trave	1.46E+12
if2	100	4.52		Ja+s	4.52E+12	mm ⁴	sez a mom positivo (BT)	4.52E+12
cf	50			Ja+f	2.33E+12	mm ⁴	sez a mom negativo (BT)	2.33E+12
yaf1	4450	7.06E+12		Ja+s	3.53E+12	mm ⁴	sez a mom positivo (LT)	3.53E+12
yaf2	4112			Ja+f	2.33E+12	mm ⁴	sez a mom negativo (LT)	2.33E+12
				sez. lorda		sez. efficace		

Verifica

1) sezione a momento flettente positivo (cls reagente)

		FASE 1	FASE 2	FASE 3		
mom. Flett.	M ed	75052.3	106565.3	88143.4	kNm	
taglio agente	T ed	-5738.0	-5963.3	7140.2	kN	

fibra	σ FASE 1	σ FASE 2	σ FASE 3	σ TOT	σ limite	tasso di lavoro		
ferri sup	Af1	0.00	-51.34	-22.56	-73.9	391.3	verificato	0.19
ferri inf	Af2	0.00	-41.14	-15.98	-57.1	391.3	verificato	0.15
cls sup	F	0.00	-3.07	-3.88	-6.9	21.2	verificato	0.33
cls inf	E	0.00	-2.28	-2.43	-4.7	21.2	verificato	0.22
piattab sup	D	-123.65	-37.76	-13.79	-175.2	338.1	verificato	0.52
anima sup	C	-122.10	-36.85	-13.21	-172.2	338.1	verificato	0.51
anima inf	B	80.34	81.93	63.48	225.8	338.1	verificato	0.67
piattab inf	A	82.14	82.99	64.16	229.3	338.1	verificato	0.68
		[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]		

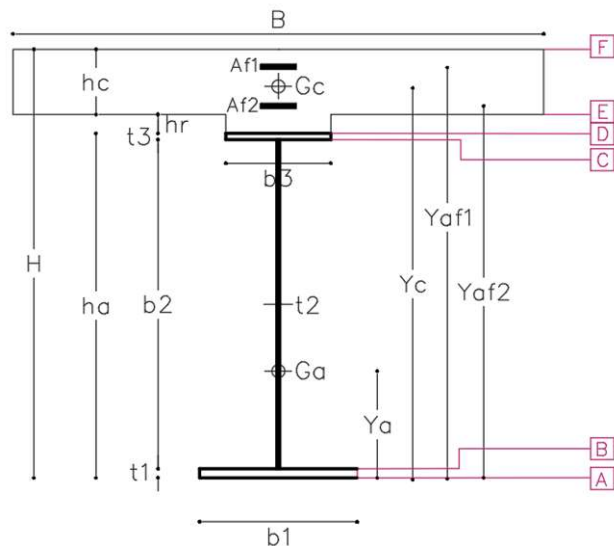
σ id TOT	σ limite	verificato
73.9	391.3	verificato
57.1	391.3	verificato
6.9	21.2	verificato
4.7	21.2	verificato
175.2	338.1	verificato
209.6	338.1	verificato
209.6	338.1	verificato
229.3	338.1	verificato
		[Mpa] [Mpa]

		τ FASE 1	τ FASE 2	τ FASE 3	τ TOT	τ limite	verificato
anima	C, D	-16.2	-16.8	20.2	-12.9	195.2	verificato
		[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	

SEZ 3 (Tipo concio = centrale):

Dati sezione

Trave in acciaio			
schema statico		trave appoggiata	
H	4500	mm	altezza totale sezione
ha	4000	mm	altezza totale trave
b3	4200	mm	lunghezza piattab sup
t3	35	mm	spessore piattab sup
b2	3925	mm	altezza anima
t2	78	mm	spessore anima
b1	6000	mm	lunghezza piattab inf
t1	40	mm	spessore piattab inf
	1		NUMERO TRAVI
i	2.85-3.73	m	INTERASSE ANIME
Aa	729150	mm ²	area acciaio
Ja	1.88E+12	mm ⁴	inerzia acciaio
ya	1700	mm	baricentro trave
soletta			
hr	50	mm	altezza cls su ala
hc	450	mm	altezza cls
B	13370	mm	larghezza collaborante
Ac	6.23E+06	mm ²	area cls
yc	4267	mm	baricentro soletta
armatura			
nφ1	10		ferri sup in un metro
φ1	24	mm	diametro ferri sup.
Af1	60484	mm ²	area armatura sup
if1	100	mm	interferro
nφ2	5		ferri inf in un metro
φ2	24	mm	diametro ferri inf.
Af2	60484	mm ²	area armatura inf
if2	100	mm	interferro
cf	50	mm	copriferro
yaf1	4450	mm	baricentro ferri sup
yaf2	4112	mm	baricentro ferri inf



n(L.T.)		n(B.T.)		BARICENTRI			
ya	1700	mm	baricentro trave	1535			
ya BT	3270	mm	sez a mom positivo	3270			
ya BT	2067	mm	sez a mom negativo	2067			
ya LT	2723	mm	sez a mom positivo	2723			
ya LT	2067	mm	sez a mom negativo	2067			
ARMATURA				INERZIE			
Ja	1.88E+12	mm ⁴	inerzia sola trave	1.61E+12			
Ja+s	4.85E+12	mm ⁴	sez a mom positivo (BT)	4.85E+12			
Ja+f	2.58E+12	mm ⁴	sez a mom negativo (BT)	2.58E+12			
Ja+s	3.81E+12	mm ⁴	sez a mom positivo (LT)	3.81E+12			
Ja+f	2.58E+12	mm ⁴	sez a mom negativo (LT)	2.58E+12			
			sez. lorda				sez. efficace

Verifica

1) sezione a momento flettente positivo (cls reagente)

		FASE 1	FASE 2	FASE 3	
mom. Flett.	M ed	123732.1	161078.0	137379.6	kNm
taglio agente	T ed	-387.5	-542.1	2307.8	kN

fibra	σ FASE 1	σ FASE 2	σ FASE 3	σ TOT	σ limite	verificato	tasso di lavoro
ferri sup	Af1	0.0	-73.0	-33.4	-106.4	391.3	0.27
ferri inf	Af2	0.0	-58.7	-23.9	-82.6	391.3	0.21
cls sup	F	0.0	-4.4	-5.7	-10.1	21.2	0.48
cls inf	E	0.0	-3.3	-3.6	-6.9	21.2	0.33
piattab sup	D	-189.7	-54.0	-20.7	-264.3	338.1	0.78
anima sup	C	-187.0	-52.5	-19.7	-259.2	338.1	0.77
anima inf	B	115.0	113.4	91.6	320.0	338.1	0.95
piattab inf	A	118.1	115.1	92.7	325.9	338.1	0.96
		[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	

σ id TOT	σ limite	verificato
106.4	391.3	verificato
82.6	391.3	verificato
10.1	21.2	verificato
6.9	21.2	verificato
264.3	338.1	verificato
263.2	338.1	verificato
321.0	338.1	verificato
325.9	338.1	verificato
	[Mpa]	[Mpa]

	τ FASE 1	τ FASE 2	τ FASE 3	τ TOT	τ limite	verificato	tasso di lavoro
anima	C, D	-1.3	-1.8	7.5	4.5	195.2	0.02
		[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	

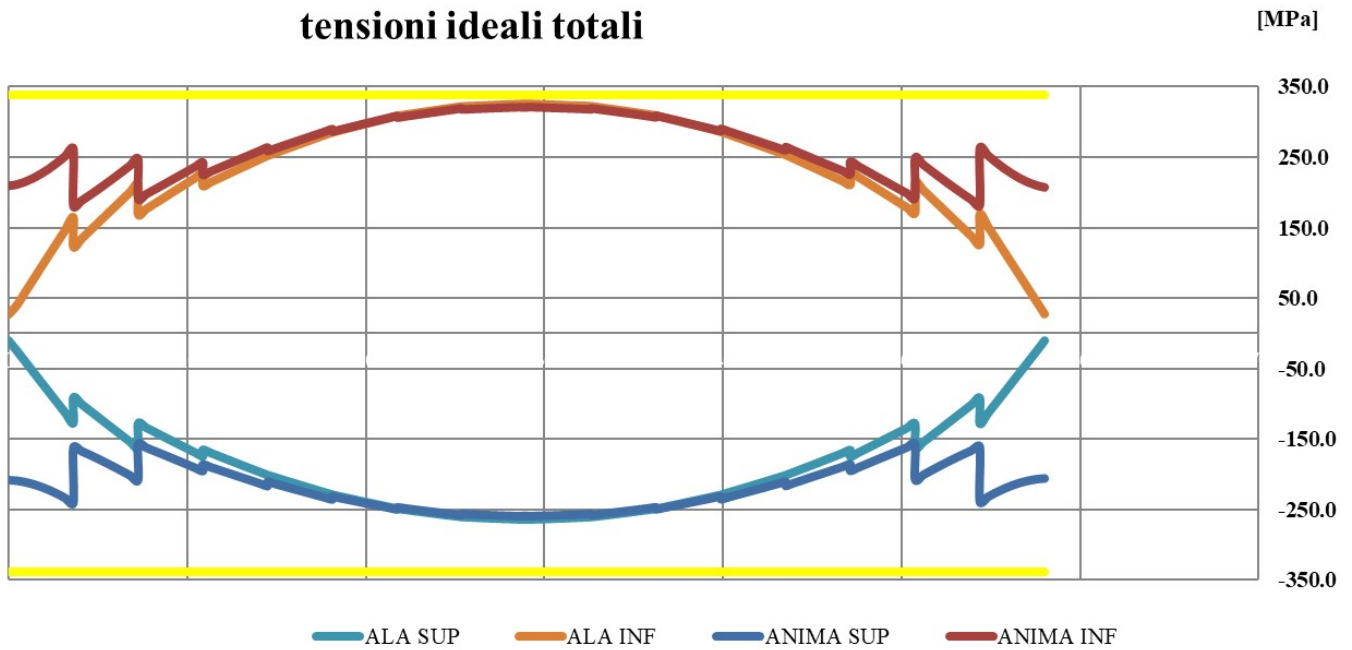
U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD. DOC.	PROG. REV.	FOGLIO
RS3U	40	D	09	CL VI0007	005 B	35 di 62

FUSO DELLE TENSIONI

Si riporta il fuso delle tensioni lungo le fibre A (piattab. inf.), B (anima inf), C (anima. sup.), D (piattab. sup.)



Le verifiche risultano soddisfatte

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 36 di 62

6.4.2 VERIFICHE DIAFRAMMI

6.4.2.1 DIAFRAMMI CORRENTI

La funzione svolta dai diaframmi interni è quella di impedire la perdita di forma della sezione scatolare del cassone quando sono trasmesse dalla soletta azioni verticali eccentriche, ovvero che porterebbero all'abbassamento di una parte e al sollevamento dell'altra non solo mediante rotazione della sezione trasversale ma anche mediante distorsione della sezione.

Per la verifica dei diaframmi, ciascuno costituito da due diagonali, vengono considerate le azioni che massimizzano il momento torcente lungo il cassone, in combinazione con i coefficienti SLU precedentemente descritti (carichi da traffico, vento, centrifuga, serpeggio).

Si fa riferimento al modello di fase 3 in quanto carichi permanenti e permanenti portati sono simmetrici rispetto alla sezione trasversale.

Torsion Diagram (torsione max)

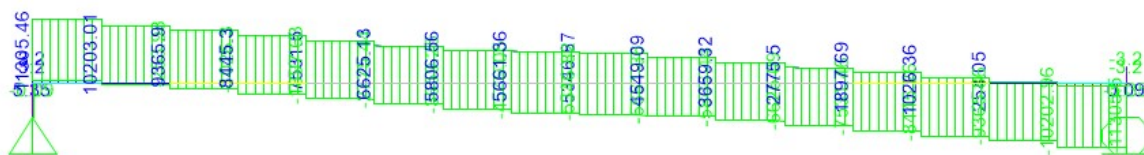


TABLE: Element Forces - Frames												
Frame	Statio	OutputCas	CaseType	StepTy	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameEle	ElemStati
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text	m
t-1	0	torsione max	Combination	Max	30.208	-9.912E-07	607.969	11305.4634	0.4752	185.2287	t-1-1	0
t-1	0.45313	torsione max	Combination	Max	30.208	-9.912E-07	598.467	11296.7362	-272.1598	2641.9578	t-1-1	0.45313
t-1	0.90625	torsione max	Combination	Max	30.208	-9.912E-07	588.965	11288.0091	-540.4891	5098.6869	t-1-1	0.90625
t-1	1.35938	torsione max	Combination	Max	30.208	-9.912E-07	579.463	11279.2819	-804.5129	7555.416	t-1-1	1.35938
t-1	1.8125	torsione max	Combination	Max	30.208	-9.912E-07	569.961	11270.5547	-1064.231	10012.1451	t-1-1	1.8125
t-1	2.26563	torsione max	Combination	Max	30.208	-9.912E-07	560.459	11261.8275	-1319.6435	12468.8742	t-1-1	2.26563
t-1	2.71875	torsione max	Combination	Max	30.208	-9.912E-07	550.957	11253.1003	-1570.7505	14925.6033	t-1-1	2.71875
t-1	3.17188	torsione max	Combination	Max	30.208	-9.912E-07	541.455	11244.3731	-1817.5518	17382.3324	t-1-1	3.17188
t-1	3.625	torsione max	Combination	Max	30.208	-9.912E-07	531.953	11235.6459	-2060.0475	19839.0615	t-1-1	3.625
t-2	0	torsione max	Combination	Max	55.255	27.707	532.108	10203.0067	-2062.0688	19828.7334	t-2-1	0 1102.457
t-2	0.45313	torsione max	Combination	Max	55.255	27.707	522.606	10194.2795	-2301.0261	21918.5192	t-2-1	0.45313
t-2	0.90625	torsione max	Combination	Max	55.255	27.707	513.104	10185.5523	-2535.6778	24008.305	t-2-1	0.90625
t-2	1.35938	torsione max	Combination	Max	55.255	27.707	503.602	10176.8251	-2766.0239	26098.0908	t-2-1	1.35938
t-2	1.8125	torsione max	Combination	Max	55.255	27.707	494.1	10168.098	-2992.0644	28187.8765	t-2-1	1.8125
t-2	2.26563	torsione max	Combination	Max	55.255	27.707	484.598	10159.3708	-3213.7993	30277.6623	t-2-1	2.26563
t-2	2.71875	torsione max	Combination	Max	55.255	27.707	475.096	10150.6436	-3431.2286	32367.4481	t-2-1	2.71875
t-2	3.17188	torsione max	Combination	Max	55.255	27.707	465.594	10141.9164	-3644.3523	34457.2339	t-2-1	3.17188
t-2	3.625	torsione max	Combination	Max	55.255	27.707	456.092	10133.1892	-3853.1703	36547.0197	t-2-1	3.625
t-3	0	torsione max	Combination	Max	77.052	110.879	456.095	9365.9022	-3850.9287	36517.4866	t-3-1	0 837.1045
t-3	0.45313	torsione max	Combination	Max	77.052	110.879	446.593	9357.175	-4055.4422	38238.355	t-3-1	0.45313
t-3	0.90625	torsione max	Combination	Max	77.052	110.879	437.091	9348.4478	-4255.6501	39959.2235	t-3-1	0.90625
t-3	1.35938	torsione max	Combination	Max	77.052	110.879	427.589	9339.7207	-4451.5523	41680.0919	t-3-1	1.35938
t-3	1.8125	torsione max	Combination	Max	77.052	110.879	418.087	9330.9935	-4643.149	43400.9604	t-3-1	1.8125
t-3	2.26563	torsione max	Combination	Max	77.052	110.879	408.585	9322.2663	-4830.4401	45121.8288	t-3-1	2.26563
t-3	2.71875	torsione max	Combination	Max	77.052	110.879	399.083	9313.5391	-5013.4255	46842.6973	t-3-1	2.71875
t-3	3.17188	torsione max	Combination	Max	77.052	110.879	389.581	9304.8119	-5192.1054	48563.5657	t-3-1	3.17188
t-3	3.625	torsione max	Combination	Max	77.052	110.879	380.079	9296.0847	-5366.4796	50284.4342	t-3-1	3.625
...

I diaframmi, posizionati a passo 3.625m prenderanno la quota parte di momento torcente data dalle differenze sopra riportate:

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

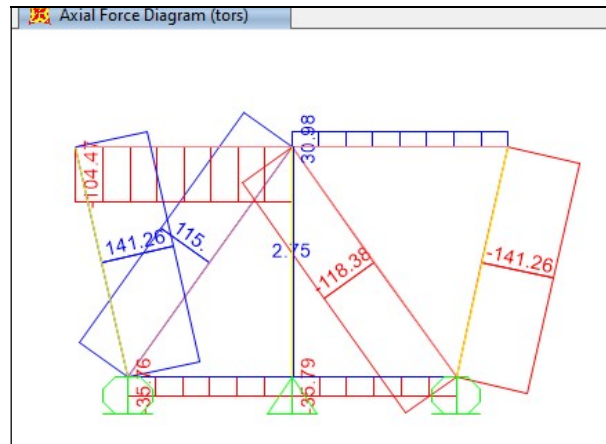
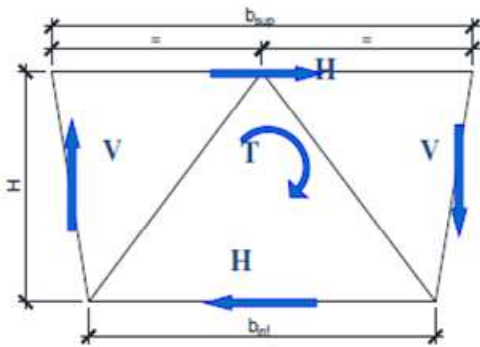
Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 37 di 62

$$\Delta Mt_{\max} = 1102.5 \text{ kNm}$$

Il cassone è bicellulare ma data la simmetria il momento torcente si distribuisce sul cassone come se fosse monocellulare:

b (m)	H (m)	H (kN)	V (kN)
7.5	4	73.5	137.8



VERIFICA: profili diagonali 2L120x10

$f_{yk} =$	355	MPa	resistenza di calcolo
$f_{tk} =$	510	MPa	resistenza di calcolo
$\gamma_{m0} =$	1.05	-	coeff. SLU
$\gamma_{m2} =$	1.25	-	coeff. SLU
$f_{yd} =$	338	MPa	resistenza di progetto
A =	4600	mm ²	area sezione lorda
A _n =	3450	mm ²	area sezione netta (senza fori dei collegam.)
N _{pl,Rd} =	1555	kN	res pl della sez lorda
N _{u,Rd} =	1267	kN	res a rottura della sez netta

N _{t,Rd} =	1267	kN	res a rottura per trazione della sez
$N_{Ed} / N_{t,Rd} \leq 1$ ✓ verifica soddisfatta			

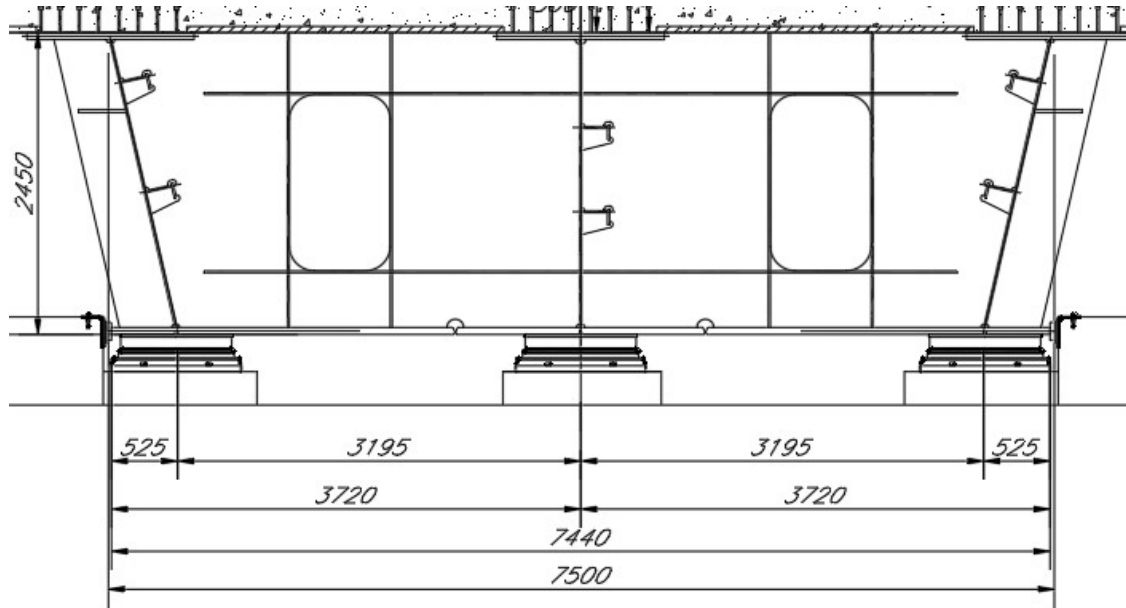
Stabilità delle aste compresse - nel piano			
E =	210000	MPa	modulo elastico
N _{ed} =	120	kN	sollecitazione agente
$f_{yk} =$	355	MPa	resistenza di calcolo
A =	4600	mm ²	area della sezione
L =	4900	mm	lunghezza dell'asta
J =	6370507	mm ⁴	inerzia della sezione
$\gamma_{m1} =$	1.05	-	coeff. SLU
A _{eff} =	4600	mm ²	area efficace della sezione
$\chi =$	0.27	OK	
$\phi =$	2		
$\alpha =$	0.34	TAB 4.2.VI	fattore di imperfezione
$\lambda =$	1.7		snellezza adimensionale
$\beta =$	1.00		riduz lugh libera d'inflessione
L ₀ =	4900	mm	lunghezza libera d'inflessione
N _{cr} =	549922	N	carico critico euleriano
$\nu =$	0.20		coeff di Poisson
non si possono trascurare i fenomeni di instabilità per aste compresse			
N _{b,Rd} =	422.5	kN	
$N_{b,Rd} \geq N_{ed}$ ✓ verifica soddisfatta			

Stabilità delle aste compresse - fuori piano			
E =	210000	MPa	modulo elastico
N _{ed} =	120	kN	sollecitazione agente
$f_{yk} =$	355	MPa	resistenza di calcolo
A =	4600	mm ²	area della sezione
L =	4900	mm	lunghezza dell'asta
J =	14177083	mm ⁴	inerzia della sezione
$\gamma_{m1} =$	1.05	-	coeff. SLU
A _{eff} =	4600	mm ²	area efficace della sezione
$\chi =$	0.50	OK	
$\phi =$	1		
$\alpha =$	0.34	TAB 4.2.VI	fattore di imperfezione
$\lambda =$	1.2		snellezza adimensionale
$\beta =$	1.00		riduz lugh libera d'inflessione
L ₀ =	4900	mm	lunghezza libera d'inflessione
N _{cr} =	1223809	N	carico critico euleriano
$\nu =$	0.20		coeff di Poisson
non si possono trascurare i fenomeni di instabilità per aste compresse			
N _{b,Rd} =	782.4	kN	
$N_{b,Rd} \geq N_{ed}$ ✓ verifica soddisfatta			

La verifica risulta soddisfatta.

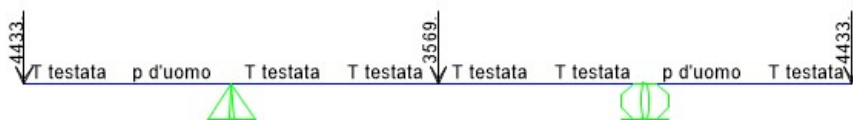
6.4.2.2 DIAFRAMMI DI TESTATA

Si riporta la verifica a sollevamento dell'impalcato in caso di sostituzione degli apparecchi d'appoggio. I carichi agenti saranno quelli permanenti (pesi propri e permanenti portati) e i vincoli sono stati ipotizzati sotto l'irrigidente del passo d'uomo.



Il traverso pieno presenta un'anima con spessore 30mm e ali 300x30, passo d'uomo 800x1000mm².

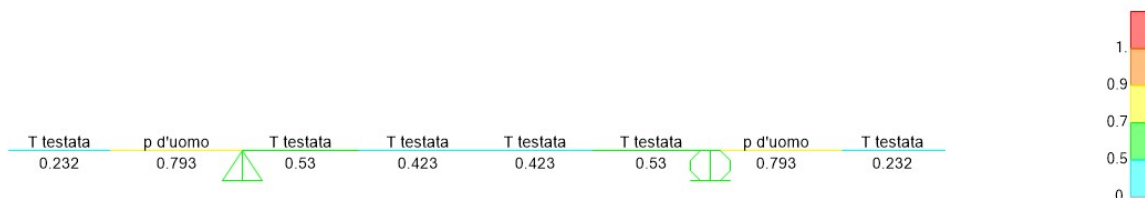
Carichi perm travi:



Verifica:

Comb SLU (carico perm su travi + peso proprio) *1.35

Steel P-M Interaction Ratios (Italian NTC 2018)



Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : KN, m, C

Frame : 3	X Mid: 21.750	Combo: testata	Design Type: Beam
Length: 0.800	Y Mid: 15.025	Shape: p d'uomo	Frame Type: DCH-MRF
Loc : 0.800	Z Mid: -2.210	Class: Class 3	Rolled : No

Interaction=Method B	MultiResponse=Envelopes	P-Delta Done? No
Consider Torsion? No		
GammaM0=1.05	GammaM1=1.05	GammaM2=1.25

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario

RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD. DOC.	PROG. REV.	FOGLIO
RS3U	40	D	09	CL VI0007	005 B	39 di 62

An/Ag=1.00	RLLF=1.000	PLLF=0.750	D/C Lim=0.950			
Aeff=0.060	eNy=0.000	eNz=0.000				
A=0.060	Iyy=0.058	iyz=0.986	Wel,yy=0.047	Weff,yy=0.047		
It=1.800E-05	Izz=1.381E-04	izz=0.048	Wel,zz=9.208E-04	Weff,zz=9.208E-04		
Iw=0.000	Iyz=0.000	h=2.450	Wpl,yy=0.057	Av,y=0.019		
E=210000000.0	fy=355000.000	fu=510000.000	Wpl,zz=0.002	Av,z=0.060		

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0.800	0.000	-8843.835	0.000	6206.200	0.000	0.000

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)

D/C Ratio: 0.793 = 0.000 + 0.793 + 0.000 < 0.950 OK

$$= \frac{NED}{(Chi_z NRk/GammaM1)} + kzy \frac{(My,Ed+NED eNy)}{(Chi_LT My,Rk/GammaM1)} + kzz \frac{(Mz,Ed+NED eNz)}{(Mz,Rk/GammaM1)} \quad (NTC Eq C4.2.38)$$

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd				
	Force	Capacity	Capacity				
Axial	0.000	20184.286	20184.286				
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	20184.286	21921.840	1493.016	1493.016	1.000		
Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd	
Major (y-y)	c 0.490	187782161.8	0.011	0.454	1.000	20184.286	
MajorB(y-y)	c 0.490	187782161.8	0.011	0.454	1.000	20184.286	
Minor (z-z)	c 0.490	447320.928	0.218	0.528	0.991	20002.600	
MinorB(z-z)	c 0.490	447320.928	0.218	0.528	0.991	20002.600	
Torsional TF	c 0.490	1493.016	3.768	8.472	0.062	1256.858	

MOMENT DESIGN

	Med	Med,span	Mm,Ed	Meq,Ed			
	Moment	Moment	Moment	Moment			
Major (y-y)	-8843.835	-8843.835	-6361.355	-6857.851			
Minor (z-z)	0.000	0.000	0.000	0.000			
	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd			
	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity			
Major (y-y)	16003.620	15935.731	16003.620	16003.620			
Minor (z-z)	311.335	311.335	311.335				

Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	psi	Mcr
LTB	d 0.760	0.699	0.934	0.697	1.347	34352.298

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz		
	0.775	1.000	1.000	1.000		

SHEAR DESIGN

	Ved	Ted	Vc,Rd	Stress	Status
	Force	Torsion	Capacity	Ratio	Check
Major (z)	6206.200	0.000	11653.397	0.533	OK
Minor (y)	0.000	0.000	3738.304	0.000	OK

Reduction	Vpl,Rd	Eta	LambdabarW
	11653.397	1.000	0.000

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

	VMajor	VMajor
	Left	Right
Major (V2)	6206.200	6206.200

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

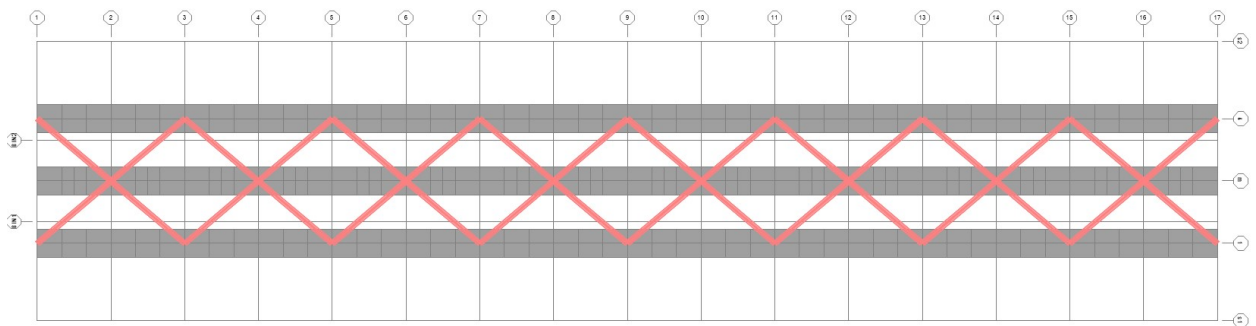
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD. DOC.	PROG. REV.	FOGLIO
RS3U	40	D	09	CL VI0007	005 B	40 di 62

6.4.3 VERIFICA CONTROVENTI

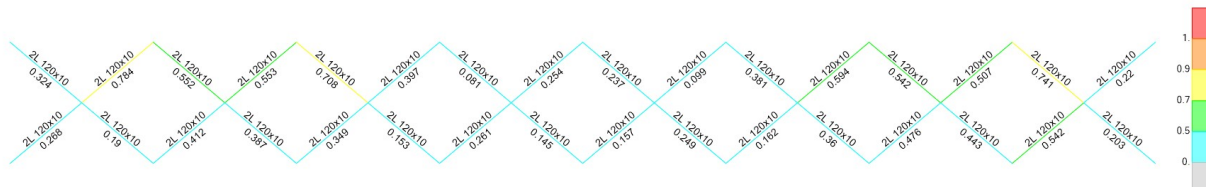
La verifica si sviluppa in FASE 1 + carico da VENTO*1.5, in quanto alla maturazione del getto ci sarà la soletta a prendere le sollecitazioni trasversali.

$$q_w = 2.7 \text{ kN/m}^2$$

I profili sono tutti 2L120*10



Steel P-M Interaction Ratios (Italian NTC 2018)



Dai tassi di lavoro si evince che la verifica risulta soddisfatta.

6.5 VERIFICHE A FATICA TRAVI PRINCIPALI

Viene di seguito riportata la verifica a fatica nelle condizioni di traffico ferroviario comprensivo degli effetti dinamici. Le caratteristiche geometriche utilizzate sono le medesime cui si è fatto riferimento per le verifiche di resistenza.

La classe di fatica del dettaglio più critico è: $\Delta\sigma_d = 71$ Mpa

Si calcola il fattore di correzione: $\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 = 0.63 < 1.4$

La sezione di mezzera risulta quella con sollecitazione maggiore:

		FATICA				
mom. Flett. taglio agente	Med	95276.3	kNm			
	Ted	4959.6	kN			

	fibra	σ FASE 3	σ TOT	σ TOT* λ	σ limite	
piattab sup	D	-13.9	-13.9	-8.8	48.3	verificato
anima sup	C	-13.2	-13.2	-8.3	48.3	verificato
anima inf	B	66.4	66.4	41.8	46.8	verificato
piattab inf	A	67.2	67.2	42.3	46.8	verificato

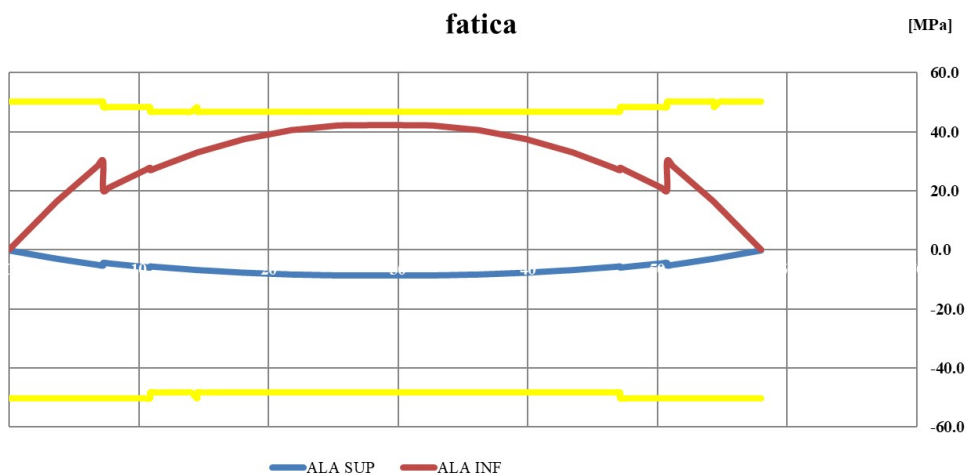
[Mpa] [Mpa] [Mpa] [Mpa]

		τ FASE 3	τ TOT	τ limite	
anima	C, D	24.4	24.4	59.3	verificato

[Mpa] [Mpa] [Mpa]

σ MAX [MPa]	=	67.2
ks s	=	0.92
ks i	=	0.89
σ_d [MPa]	=	71
σ_d red [MPa]	=	65.3
σ_d red/ γ_m	=	48.3
		>
σ MAX * λ [MPa]	=	42.3
		OK

Lungo tutto il cassone la verifica risulta soddisfatta:



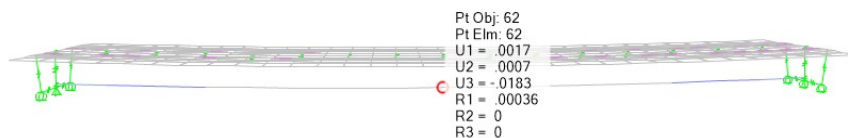
6.6 VERIFICHE SLE

6.6.1 VERIFICHE DI DEFORMABILITA'

Si verifica l'inflessione nel piano verticale dell'impalcato. Si considerano agenti i treni di carico LM71 e SW2 incrementati con il corrispondente coefficiente dinamico e con il coefficiente α .

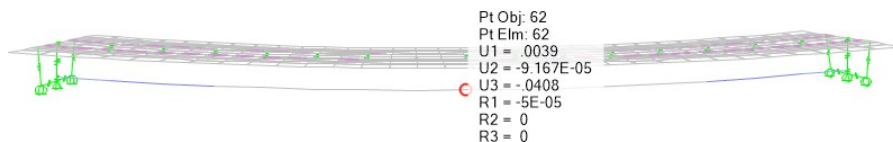
LM71

Abbassamento 18.3 mm < $L/1000 = 58$ mm



SW2 + LM71

Abbassamento 40.8 mm < $L/600 = 96.6$ mm



Le verifiche risultano soddisfatte

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario

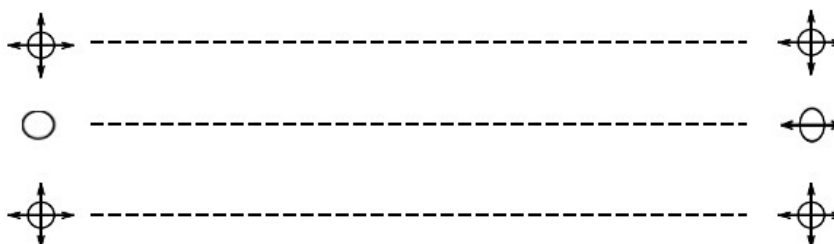
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 43 di 62

6.7 REAZIONI AGLI APPOGGI

6.7.1 SCHEMA APPOGGI

Lo schema dei vincoli della travata metallica è il seguente:



	MD	APP. D'APPOG. MULTIDIREZIONALE -calotta sferica
	F	APP. D'APPOG. FISSO -disco elastomerico confinato
	MD	APP. D'APPOG. MULTIDIREZIONALE -disco elastomerico confinato
	UL	APP. D'APPOG. UNIDIREZIONALE LONGITUDINALE -disco elastomerico confinato
	F-RV	APP. D'APPOG. FISSO A RIGIDEZZA VARIABILE -calotta sferica
	UT-RV	APP. D'APPOG. UNIDIREZIONALE TRASVERSALE A RIGIDEZZA VARIABILE -calotta sferica
	UL-RV	APP. D'APPOG. UNIDIREZIONALE LONGITUDINALE A RIGIDEZZA VARIABILE -calotta sferica
	HL	VINCOLO MECCANICO PER SOLI CARICHI ORIZZONTALI -scorrevole in senso longitudinale

SCHEMA APPOGGI

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

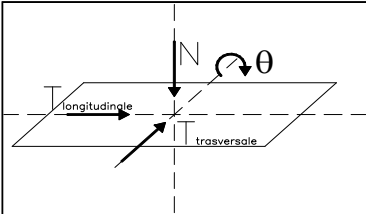
PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV.
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B

FOGLIO
44 di 62

6.7.2 REAZIONI APPOGGI

Le azioni verticali massime derivano dalle combinazioni SLU, si riporta di seguito la tabella come da Manuale RFI:

MULTI:

			Reazioni degli apparecchi di appoggio					
			max N	min N	max Tl	min Tl	max Tt	min Tt
			(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
Azioni (valori caratteristici)								
1.1	permanenti G, P	peso proprio	2299	2299	-	-	-	-
1.2		permanenti	2135	2135	-	-	-	-
1.3		precompressione	-	-	-	-	-	-
1.4		ritiro e viscosità	-	-	-	-	-	-
2.1	variabili Q	treni di carico	3021	-722	-	-	-	-
2.2		veicoli speciali	-	-	-	-	-	-
2.3		forza centrifuga	0	0	0	0	0	0
2.4		aviamento e frenatura	16	-16	0	0	0	0
2.5		serpeggio	83	-83	0	0	0	0
2.6		folia	-	-	-	-	-	-
2.7		vento sulla struttura	79	-79	0	0	0	0
2.8		vento sulla struttura e sui treni di carico	471	-471	0	0	0	0
2.9		temperatura	119	-119	0	0	0	0
2.1								
2.11								
2.12		cedimenti delle sottostrutture	-	-	-	-	-	-
2.13		resistenze parassite nei vincoli	-	-	-	-	-	-
5.1	combinazioni di esercizio	Nmax	11620	-	0	-	0	-
5.2		Nmin	-	4325	0	-	0	-
5.3		TI max		-	0	-	0	-
5.4		Ttmax		-		-	0	-

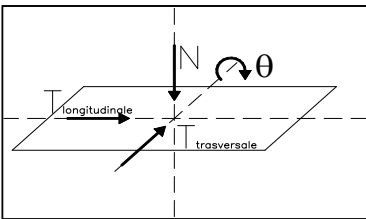
U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV.
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B

FOGLIO
45 di 62

UNI:

			Reazioni degli apparecchi di appoggio					
			max N	min N	max Tl	min Tl	max Tt	min Tt
			(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
Azioni (valori caratteristici)								
1.1	permanenti G, P	peso proprio	1984	1984	-	-	-	-
1.2		permanenti	1829	1829	-	-	-	-
1.3		precompressione	-	-	-	-	-	-
1.4		ritiro e viscosità	-	-	-	-	-	-
2.1	variabili Q	treni di carico	2752	0	-	-	-	-
2.2		veicoli speciali	-	-	-	-	-	-
2.3		forza centrifuga	0	0	0	0		0
2.4		avviamento e frenatura	50	-50	0	0	52	-52
2.5		serpeggio	0	0	0	0	100	-100
2.6		folia	-	-	-	-	-	-
2.7		vento sulla struttura	35	-35	0	0	290	-290
2.8		vento sulla struttura e sui treni di carico	78	-78	0	0	609	-609
2.9		temperatura	205	-205	0	0	0	0
2.1								
2.11								
2.12		cedimenti delle sottostrutture	-	-	-	-	-	-
2.13		resistenze parassite nei vincoli	-	-	-	-	-	-
5.1	combinazioni di esercizio	Nmax	9783	-	0	-	769	-
5.2		Nmin	-	5050	0	-	769	-
5.3		Tl max		-	0	-	769	-
5.4		Ttmax		-		-	769	-

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 46 di 62

L'azione sismica statica equivalente, calcolata considerando la massima accelerazione dello spettro sarà:

PP+ soletta+ predalles	G1 (kN)	12815
perm + fonoass	G2 (kN)	11711
0,2 (traffico)	Q (kN)	2642

	Masse (t)	Accelerazione m/s ² (Spettro elastico SLV)	Fo (kN)
Pesi propri	1306	0.394 g	5049
Permanenti portati (incluse eventuali barriere a.r.)	1194	0.394 g	4614
0,2 (LM71+a/f+ cf)	269	0.394 g	1041
TOTALE			10704

AZIONE ORIZZONTALE SISMICA MAX

12205

VALORE APPROSSIMATO

12300

Si considerano come azioni di progetto per i dispositivi di vincolo le seguenti:

LOTTO	TIPOLOGIA IMPALCATO	LUCE ASSI GIUNTI	LARGHEZZA PIATTAFORMA	NUMERO BINARI	NUMERO TRAVI	FISSO			UNIDIREZIONALE LONGITUDINALE		MULTIDIREZI ONALE
						Nmax	HL	Ht	Nmax	HTmax	Nmax
	-	m	m	-	-	kN	kN	kN	kN	kN	kN
						SLU	SIS		SLU	SIS	SLU
4a	SEZ MISTA	60	13.7	2	CASS	9800	12300	6200	9800	6200	11700

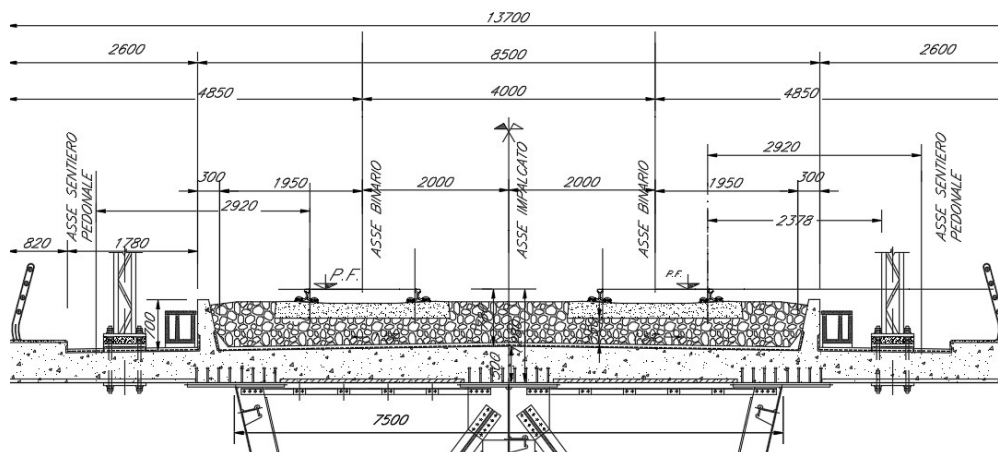
U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD. DOC.	PROG. REV.	FOGLIO
RS3U	40	D	09	CL VI0007	005 B	47 di 62

7. EFFETTI LOCALI

Sezione mista acc-clc: interasse anime 7.5 m, soletta in clc Rck= 45 MPa con altezza variabile: 50cm – 42cm



7.1 ANALISI DEI CARICHI

I carichi adottati per le verifiche di resistenza e deformabilità della soletta in c.a. sono i seguenti.

7.1.1 CARICHI PERMANENTI

7.1.1.1 PESI PROPRI

Valutati direttamente dalla geometria inserita nel modello di calcolo considerando $Y_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$.

7.1.1.2 PERMANENTI PORTATI

- Armamento + impermeab. + rialzo in curva = 16 kN/m^2
- Cordoli +impermeabilizzazione = 5.3 kN/m^2
- Muretto paraballast = 3.6^* KN
- Canaletta +impianti = 3.5 kN^*
- Barriere antirumore = 16^* kN
- Velette = 6^* kN

* il valore indicato è per l'elemento singolo

Si sta considerando una striscia di soletta di 1m.

7.1.2 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI

7.1.2.1 TRENI DI CARICO

Considerando una diffusione del carico secondo $\frac{1}{4}$ nel ballast ed a 45° nella soletta, la ruota da 250 kN si ripartisce trasversalmente su una larghezza pari a 3m.

$$q_{LM71} = 250 \text{ kN} \cdot \alpha / 1.6 \text{ m}$$

LM71	171.88	carico unitario da ripartire su		3.0	->	56.63	kN/m
Lϕ	3	*	3.75 =	11.25	m		
coeff amplificazione dinamica	$\Phi 3$		=	1.41	m		
SW2	93.75	carico unitario da ripartire su		3.0	->	30.89	kN/m
Lϕ	3	*	3.75 =	11.25	m		
coeff amplificazione dinamica	$\Phi 3$		=	1.41	m		

7.1.2.2 FOLLA

10 kN/m², applicata ove presenti i camminamenti e l'FFP.

7.1.2.3 SERPEGGIO

$$Q_{sk} = 100 \text{ kN}$$

$\delta_h = 0.80 \text{ m}$; distanza fra piano ferro ed estradosso soletta.

$$M_s = 100 \cdot 0.80 = 80 \text{ kNm/m}; \text{ ; momento trasversale da serpeggio.}$$

7.1.2.4 CENTRIFUGA

Non presente.

7.1.2.5 DERAGLIAMENTO

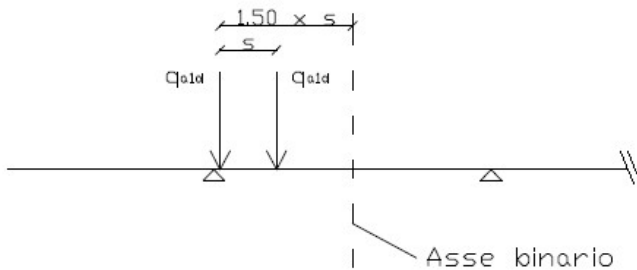
$s =$ distanza di scartamento = 1.435m

$1.5 \times s = 2.1525$ m distanza massima dell'asse di carico dall'asse del binario

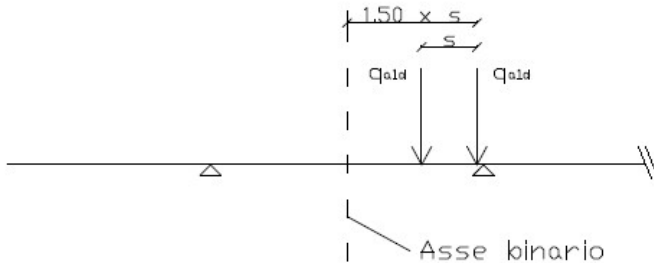
$q_{a1d} = 50$ kN/m asse di carico caso 1a e 1b (stesa di carico = 6.40 m)

$q_{a2d} = 80$ kN/m asse di carico caso 2 (stesa di carico = 20.00 m)

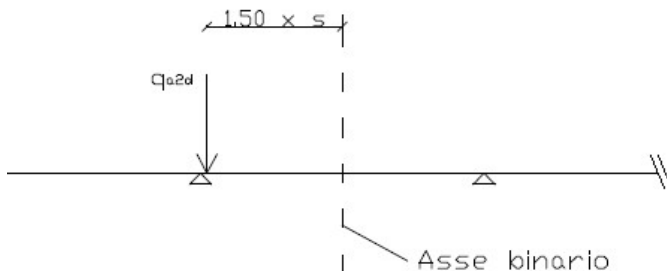
Caso 1a



Caso 1b



Caso 2



Per ragioni di semplicità (l'assunzione tuttavia non ha alcuna conseguenza sul dimensionamento strutturale), gli effetti del deragliamento del treno sono assimilati ad una condizione d'esercizio e pertanto vengono confrontati in alternativa agli effetti prodotti dal treno di progetto.

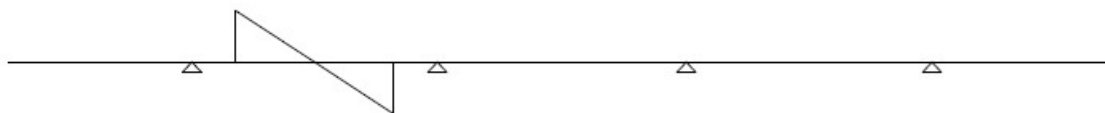
7.1.3 AZIONI CLIMATICHE

7.1.3.1 VENTO

Vento su barriera antirumore alta 4m: $q = 2.7 \text{ kN/m}^2$



Vento trasversale sul treno: v come calcolato di seguito:



$$v = \pm M_w/W = q_v \cdot (h/2) / (bL^2/6) = 22 \text{ kN/m}$$

$$h = 5 \text{ m}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$L = 3 \text{ m}$$

In presenza della barriera antirumore e di un treno sul binario più vicino alla barriera si ammetterà in alternativa:

- *il vento trasversale sulla barriera antirumore diretto verso il treno (+ q_v),*
- *il vento trasversale sul treno diretto verso la barriera antirumore (- v).*

In presenza della barriera antirumore e di un treno sul binario più lontano alla barriera si ammetterà la presenza contemporanea di q_v e v (con lo stesso segno).

Nell'ipotesi di assenza di barriere antirumore si assumerà ovviamente il verso sfavorevole del vento trasversale sul treno ($\pm v$).

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 51 di 62

7.2 COMBINAZIONE DEI CARICHI

Per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali in Tab. 5.2.V e i coefficienti di combinazione Ψ in Tab. 5.2.VI.

Tab. 5.2.IV - Valutazione dei carichi da traffico

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,0	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,0	0,0	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,0	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

(1) Includendo tutti i valori (F; a; etc...)

(2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1,0), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1,2 e 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali

I valori campiti in grigio rappresentano l'azione dominante.

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

Azioni		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	g_{f1}	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	g_{f2}	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	g_{f3}	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	g_{f4}	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.

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV.
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B

FOGLIO
52 di 62

• **COMBINAZIONE S.L.U.**

S.L.U															
VARIABILE PRINCIPALE:	TRAFFICO								VENTO		TEMPERATURA				
CARICHI	SW2				LM71				STR.		SW2		LM71		STR.
	GRUPPO1	GRUPPO3	GRUPPO1	GRUPPO3	GRUPPO1	GRUPPO3	GRUPPO1	GRUPPO3	SCARICA	SCARICA	GR1	GR3	GR1	GR3	SCARICA
combinazioni	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Peso Proprio (G1)	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
Permanenti Portati (G2)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
SW2	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	0	0	1.16	1.16	1.16	1.16	0
LM71	0	0	0	0	1.45	1.45	1.45	1.45	0	0	0	0	1.16	1.16	0
Serp_SW2	1.45	1.45	0.73	0.73	1.45	1.45	0.73	0.73	0	0	1.16	0.58	1.16	0.58	0
Serp_LM71	0	0	0	0	1.45	1.45	0.73	0.73	0	0	0	0	1.16	0.58	0
F-A_SW2	0.73	0.73	1.45	1.45	0.73	0.73	1.45	1.45	0	0	0.58	1.16	0.58	1.16	0
F-A_LM71	0	0	0	0	0.73	0.73	1.45	1.45	0	0	0	0	0.58	1.16	0
centrifuga_SW2	1.45	1.45	0.73	0.73	1.45	1.45	0.73	0.73	0	0	1.16	0.58	1.16	0.58	0
centrifuga_LM71	0	0	0	0	1.45	1.45	0.73	0.73	0	0	0	0	1.16	0.58	0
Eff_aerodinamici	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1.20	1.20	1.20	1.20	0
Vento_scarico	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.5	1.5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Vento_carico	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0	0	0.9	0.9	0.9	0.9	0
Temp_SLU	0	0.9	0	0.9	0	0.9	0	0.9	0	0.9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

• **COMBINAZIONI S.L.E.**

S.L.E. rara																	
VARIABILE PRINCIPALE:	TRAFFICO								VENTO		TEMPERATURA						
CARICHI	SW2				LM71				STR.		SW2			LM71			STR.
	GRUPPO1	GRUPPO3	GRUPPO1	GRUPPO3	GRUPPO1	GRUPPO3	GRUPPO1	GRUPPO3	SCARICA	SCARICA	GR1	GR3	GR4	GR1	GR3	GR4	SCARICA
combinazioni	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17
Peso Proprio (G1)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Permanenti Portati (G2)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SW2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0
LM71	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0.8	0.8	0.6	0
Serp_SW2	1	1	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	0	0	0.8	0.4	0.8	0.8	0.4	0.6	0
Serp_LM71	0	0	0	0	1	1	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0.8	0.4	0.6	0
F-A_SW2	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	1	1	0	0	0.4	0.8	0.8	0.4	0.8	0.6	0
F-A_LM71	0	0	0	0	0.5	0.5	1	1	0	0	0	0	0	0.4	0.8	0.6	0
centrifuga_SW2	1	1	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	0	0	0.8	0.4	0.8	0.8	0.4	0.6	0
centrifuga_LM71	0	0	0	0	1	1	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0.8	0.4	0.6	0
Eff_aerodinamici	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0.8	0.8	1	0.8	0.8	1	0
Vento_scarico	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1	1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Vento_carico	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0	0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0
Temp_SLU	0	0.6	0	0.6	0	0.6	0	0.6	0	0.6	1	1	1	1	1	1	1

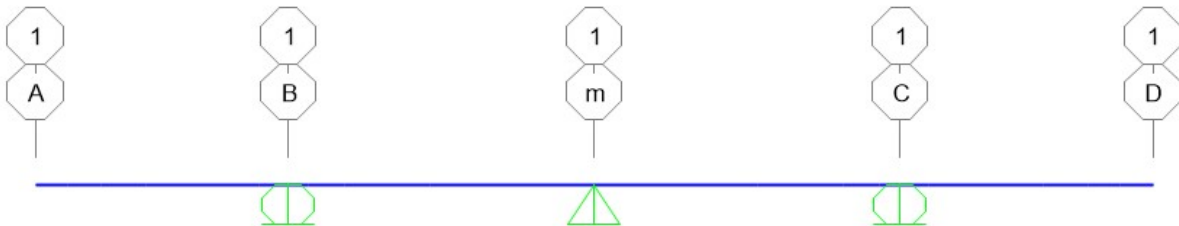
U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

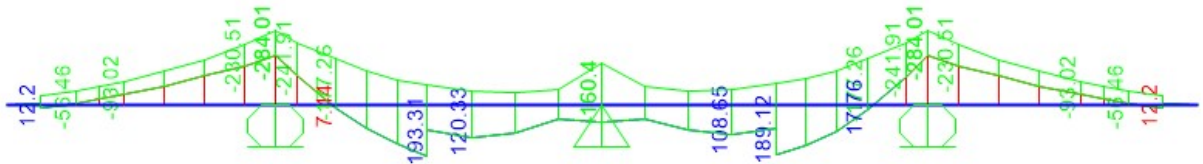
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO
RS3U	40	D	09	CL	VI0007	005	B	54 di 62

7.3 VERIFICHE DI RESISTENZA

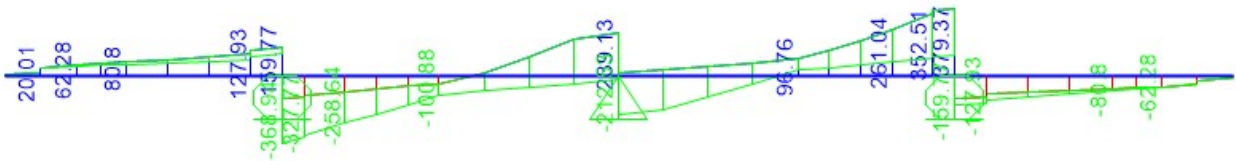
L'involuppo delle sollecitazioni come da combinazione allo S.L.U. è il seguente:



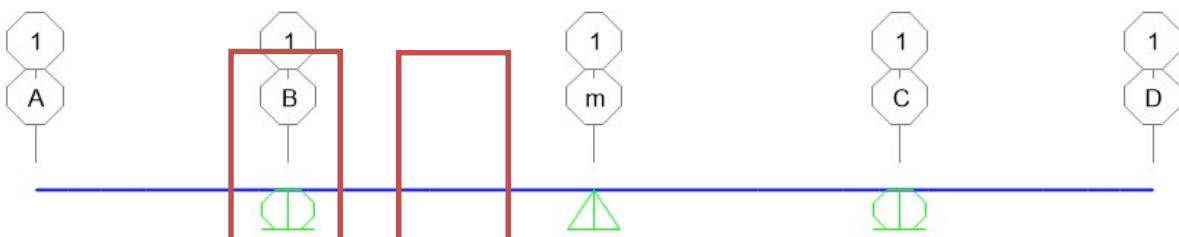
Schema soletta



Involuppo sollecitazioni flettenti (S.L.U.)



Involuppo sollecitazioni taglianti (S.L.U.)



Sezioni di verifica

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI
Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 55 di 62

• SEZIONE APPOGGI B, C:

Verifica a flessione

Mmax (-) = -284kNm

Tmax (-) = 379.4 kN

Ferri sup: $\Phi 24/10$

Ferri inf: $\Phi 20/20$

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

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

Titolo : _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	46	1	45.24	5
			2	15.71	41

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd}

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
σ_s N/mm²
ε_c ‰
ε_s ‰
d cm
x x/d
δ

Materiali: B450C C35/45
ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰
f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰
E_s N/mm² f_{cd} ‰
E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
ε_{syd} ‰ σ_{c,adm}
σ_{s,adm} N/mm² τ_{co}
τ_{c1}

Tipo Sezione: Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

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

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N
L_o cm Col. modello

Precompresso

La verifica risulta soddisfatta.

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 56 di 62

SEZIONE CAMPATA Bm

Verifica a flessione

Mmax (+) = 193.3 kNm

Ferri sup: **Φ24/10**

Ferri inf: **Φ20/20**

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

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

Titolo : _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	45.24	5
			2	15.71	41

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd}

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

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd

L₀ cm

Precompresso

Materiali

B450C		C35/45	
ε _{su}	67.5 ‰	ε _{c2}	2 ‰
f _{yd}	391.3 N/mm²	ε _{cu}	3.5 ‰
E _s	200 000 N/mm²	f _{cd}	19.83
E _s /E _c	15	f _{cc} /f _{cd}	0.8
ε _{syd}	1.957 ‰	σ _{c,adm}	13.5
σ _{s,adm}	255 N/mm²	τ _{co}	0.8
		τ _{cl}	2.257

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
σ_s N/mm²
ε_c ‰
ε_s ‰
d cm
x x/d
δ

La verifica risulta soddisfatta.

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 57 di 62

VERIFICHE A TAGLIO

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Rd1} = \left[0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

b_w	larghezza sezione	1000	[mm]
h	altezza sezione	460	[mm]
d	altezza utile	410	[mm]
A_{sl}	armatura longitudinale TESA/1mΦ	24	100
	traliccio	0	0
		4524	[mm ²]
ρ_l	rapporto geometrico di armatura longitudinale	0.011	
σ_{cp}	tensione media di compressione nella sezione	0	[MPa]
γ_m		1.5	
R_{ck}		45.0	
f_{ck}	resistenza caratteristica cilindrica	37.4	[MPa]
v_{min}		0.47	[MPa]
K		1.70	<=2
		194.1	
V_{Rd1}	resistenza a taglio	288.6	[kN]
V_{ed}	taglio sollecitante	379	[kN]

NON VERIFICATO

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

φ	diametro staffe	10.0	[mm]
n staffe		5.0	
s	passo	200	[mm]
A_{sw}	area staffe	392.7	[mm ²]
γ_m		1.50	
f_{yk}		450	[MPa]
f_{yd}		391.3	[MPa]
α	angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	45.0	[deg]
cot α		1.0	

θ	angolo di inclinazione puntone compresso rispetto asse trave	21.8	[deg]
cot θ		2.5	

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

V_{Rsd}		701.7	[kN]
------------------------	--	-------	------

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

f_{cd}	resistenza a compressione	21.2	[MPa]
f'_{cd}	resistenza a compressione ridotta del cls d'anima	10.6	[MPa]
α_c	per membrature non compresse	1	
V_{Rcd}		1885.0	[kN]

V_{Rd2}	taglio resistente= min(V _{Rsd} , V _{Rcd})	701.7	[kN]
V_{ed}	taglio affidato all' armatura	379.0	[kN]

VERIFICATO

Armatura longitudinale di ripartizione

Come armatura longitudinale di ripartizione si adottano Φ 16/20 cm inferiormente e superiormente.

Dalle verifiche risulta giustificata un'incidenza di acciaio d'armatura nella soletta pari a 200 kg/m^3 .

7.4 VERIFICHE S.L.E.

4.1.2.2.5.1 Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

La massima tensione di compressione del calcestruzzo $\sigma_{c,max}$, deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_{c,max} \leq 0,60 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica} \quad [4.1.15]$$

$$\sigma_{c,max} \leq 0,45 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente.} \quad [4.1.16]$$

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori di calcestruzzo minori di 50 mm i valori limite sopra prescritti vanno ridotti del 20%.

4.1.2.2.5.2 Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

La tensione massima, $\sigma_{s,max}$, per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_{s,max} \leq 0,8 f_{yk} \quad [4.1.17]$$

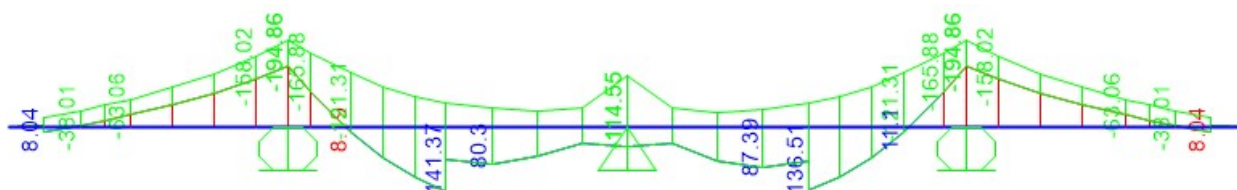
Tabella C4.1.II Diametri massimi delle barre per il controllo di fessurazione

Tensione nell'acciaio σ_s [MPa]	Diametro massimo ϕ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4 \text{ mm}$	$w_2 = 0,3 \text{ mm}$	$w_1 = 0,2 \text{ mm}$
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	-

Tabella C4.1.III -Spaziatura massima delle barre per il controllo di fessurazione

Tensione nell'acciaio σ_s [MPa]	Spaziatura massima s delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4 \text{ mm}$	$w_2 = 0,3 \text{ mm}$	$w_1 = 0,2 \text{ mm}$
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Si riportano di seguito gli involuipi delle sollecitazioni flettenti per le combinazioni SLE ed il calcolo delle rispettive tensioni:



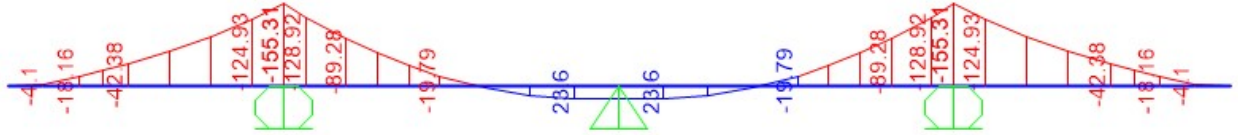
Sollecitazioni flettenti S.L.E. RARA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

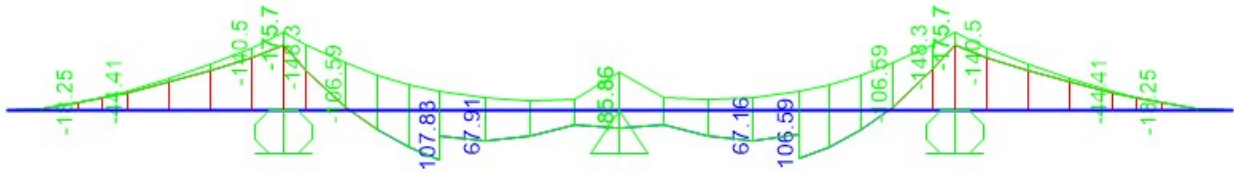
Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV.
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B

FOGLIO
59 di 62



Sollecitazioni flettenti S.L.E. quasi perm



Sollecitazioni flettenti S.L.E. FREQUENTE

• **SEZIONE APPOGGI (M-)**

RARA

tesa compr

n	b	h	x	As	As'	c	c'	d
15	1000	460	163.00	4524	1571	50	50	398
	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm	mm	mm

f.o.

0.000

M	x	J id
195000	163.0	5.49E+09
kNmm	mm	mm ⁴

σ cls	σ acc
5.79E-03	0.13
kN/mm ²	kN/mm ²

5.79	125.16
MPa	MPa
compress	traz

QUASI PERMANENTE

tesa compr

n	b	h	x	As	As'	c	c'	d
15	1000	460	163.00	4524	1571	50	50	398
	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm	mm	mm

f.o.

1.65E-06

M	x	J id
155310	163.0	5.49E+09
kNmm	mm	mm ⁴

σ cls	σ acc
4.61E-03	0.10
kN/mm ²	kN/mm ²

4.61	99.69
MPa	MPa

FREQUENTE

tesa compr

n	b	h	x	As	As'	c	c'	d
15	1000	460	163.00	4524	1571	50	50	398
	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm	mm	mm

f.o.

1.65E-06

M	x	J id
175700	163.0	5.49E+09
kNmm	mm	mm ⁴

σ cls	σ acc
5.21E-03	0.11
kN/mm ²	kN/mm ²

5.21	112.77
MPa	MPa

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 60 di 62

TENSIONE MASSIMA DI COMPRESIONE DEL CLS
IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO

Rck	45	
h	460	mm
d	410	mm
c	50	mm
fck	37.35	N/mm ²
fyk	450	N/mm ²
n	15	c omogeneizzazione

As' sup	4524	mm ²
As inf	1571	mm ²
x	163.00	mm
Jid,x	5.49E+09	mm ⁴

mom.flettente

comb.rara	195	kNm
0.60 fck-20%	22.4	N/mm ²
σc	5.79	N/mm ²

verifica	ok	
comb quasi perman.	155.31	kNm
0.45 fck-20%	16.8	N/mm ²
σc	4.61	N/mm ²

verifica	ok	
ACCIAIO (comb.rara)	195	kNm
0.8 fyk	360	N/mm ²
σs	125.2	N/mm ²

verifica ok

CONDIZIONI AMBIENTALI

molto aggressive

Nei nostro caso abbiamo acciaio ordinario (non precompresso), pertanto è classificato come "poco sensibile"

lo stato limite da considerare è quello di **APERTURA DELLE FESSURE**

COMBINAZIONE DELLE AZIONI *frequente quasi permanente*
limiti (w1)

0.2	0.2
-----	-----

 [mm]

La verifica può essere condotta senza calcolo diretto, limitando la tensione di trazione nell'armatura, valutata nella sezione parzializzata, per la combinazione di carico pertinente, ad un massimo correlato al diametro delle barre ed alla loro spaziatura.

DIAMETRO BARRE	24	mm
SPAZIATURA	100	mm

COMB RARA

σs	125.2	Mpa
----	-------	-----

DIAMETRO MAX	25	mm
verifica	OK	

SPAZIATURA MAX	200	mm
verifica	OK	

La verifica risulta soddisfatta.

• **SEZIONE mezzeria (M+)**

RARA

tesa compr

n	b	h	x	As	As'	c	c'	d
15	1000	500	97.75	1571	4524	50	50	438
	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm	mm	mm

f.o.
-0.00069

M	x	J id
141370	97.7	3.19E+09
kNm	mm	mm ⁴

σ cls	σacc
4.33E-03	0.23
kN/mm ²	kN/mm ²
4.33	225.91
MPa	MPa
compress	traz

QUASI PERMANENTE

tesa compr

n	b	h	x	As	As'	c	c'	d
15	1000	460	163.0	4524	1571	50	50	398
	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm	mm	mm

f.o.
1.65E-06

M	x	J id
23600	163.0	5.49E+09
kNm	mm	mm ⁴

σ cls	σacc
7.00E-04	0.02
kN/mm ²	kN/mm ²
0.70	15.15
MPa	MPa

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 61 di 62

FREQUENTE

n	b	h	x	As	As'	c	c'	d
15	1000	500	97.75	1571	4524	50	50	438
	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm	mm	mm

f.o.

-0.00069

M	x	J id	σ cls	σ acc
107880	97.7	3.19E+09	3.30E-03	0.17
kNm	mm	mm ⁴	kN/mm ²	kN/mm ²
			3.30	172.40
			MPa	MPa

TENSIONE MASSIMA DI COMPRESSIONE DEL CLS
IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO

Rck	45	
h	500	mm
d	450	mm
c	50	mm
fck	37.35	N/mm ²
fyk	450	N/mm ²
n	15	c omogeneizzazione

As' sup	4524	mm ²
As inf	1571	mm ²
x	163.00	mm
Jid,x	5.49E+09	mm ⁴

mom.flettente

comb.rara	141.37	kNm
0.60 fck-20%	22.4	N/mm ²
σc	4.33	N/mm ²

verifica ok

comb quasi perman.	23.6	kNm
0.45 fck-20%	16.8	N/mm ²
σc	-0.70	N/mm ²

verifica ok

ACCIAIO (comb.rara)	141.37	kNm
0.8 fyk	360	N/mm ²
σs	225.9	N/mm ²

verifica ok

CONDIZIONI AMBIENTALI

molto aggressive

Nel nostro caso abbiamo acciaio ordinario (non precompresso), pertanto è classificato come "poco sensibile"

lo stato limite da considerare è quello di **APERTURA DELLE FESSURE**

COMBINAZIONE DELLE AZIONI *frequente quasi permanente*
limiti (w1) 0.2 0.2 [mm]

La verifica può essere condotta senza calcolo diretto, limitando la tensione di trazione nell'armatura, valutata nella sezione parzializzata, per la combinazione di carico pertinente, ad un massimo correlato al diametro delle barre ed alla loro spaziatura.

DIAMETRO BARRE	20	mm
SPAZIATURA	200	mm

COMB RARA

σs	225.9	Mpa
----	-------	-----

DIAMETRO MAX	14	mm
verifica	NO	

SPAZIATURA MAX	120	mm
verifica	NO	

È necessaria la verifica di apertura delle fessure:

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=60m (Lc=58m) doppio binario
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO
RS3U 40 D 09 CL VI0007 005 B 62 di 62

Sollecitazioni di verifica	
M_{Ed} = momento sollecitante massimo	141.37 [kNm]
f_{ck}	37.4 [MPa]
Determinazione del valore di calcolo di apertura delle fessure	
B= base sezione	1000 [mm]
h= altezza sezione	500 [mm]
d= altezza utile	440 [mm]
c = ricoprimento armatura compressa	50 [mm]
d' = ricoprimento armatura tesa	50 [mm]
Armatura tesa	
n= numero barre	5
ϕ = diametro della barra	20 [mm]
n= numero barre	6
ϕ = diametro della barra	12 [mm]
ϕ_{eq} = diametro equivalente	17 [mm]
A_s = area armatura tesa	2249.4 [mm ²]
Armatura compressa	
A'_s = area armatura compressa	4523.9 [mm ²]
Durata carichi	Breve
k_T = coefficiente durata carichi	0.4
Tipo di barre	Aderenza migliorata
k_1 = coefficiente aderenza barre	0.8
Sollecitazione	Flessione
k_2 = coefficiente stato sollecitazione	0.5
k_3	3.4
k_4	0.425
α_e = rapporto modulo acciaio/calcestruzzo	6.1
n= coefficiente omogeneizzazione acciaio-cls	15.0
x= distanza asse neutro - lembo compresso	97.75 [mm]
h_{eff} = altezza area efficace di cls teso attorno all'armatura	134 [mm]
$A_{c\ eff}$ = b h_{eff} = area efficace di cls teso attorno all'armatura	134085 [mm ²]
$\rho_{eff} = A_s/A_{c\ eff}$	0.0168
f_{CTK}	3.352 [MPa]
Spaziatura barre	90.9 [mm]
$5(c+\phi/2)$	291.6 [mm]
$\Delta_s\ max$ = distanza massima tra le fessure	338.74 [mm]
J_{dd} = momento inerzia sezione omogeneizzata parzializzata	4.42E+09 [mm ⁴]
σ_c = tensione di compressione nel cls nella fibra più sollecitata	-3.13 [MPa]
σ_t = tensione di trazione nel cls nella fibra più sollecitata	12.87 [MPa]
σ_s = tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	164.3 [MPa]
ϵ_{sm} = deformazione unitaria media delle barre di armatura	0.000363 NO, allora =
	0.000469
w_d = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.16 [mm]
w= valore limite di apertura delle fessure	0.20 [mm]
	Verificato

La verifica risulta soddisfatta.