

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=50m (singolo binario)**

SCALA:

-

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

RS3U    40    D    09    CL    VI0007    002    B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data
A	Emissione Esecutiva	L.Genca	Gen.2020	F.Bonifacio	Gen.2020	A. Barreca	Gen.2020
B	Emissione Esecutiva	L.Genca	feb.2020	F.Bonifacio	feb.2020	A. Barreca	feb.2020

ITALFERR S.p.A.  
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti  
Doct. Ing. Angelo Vittozzi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo  
N° A20783  
Autorizzato Data  
A. Vittozzi  
feb.2020

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>MATERIALI IMPIEGATI .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI UNITARI .....</b>	<b>8</b>
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
4.3	AZIONI CLIMATICHE .....	14
4.3.1	Variazione termica.....	14
4.3.2	Azione della neve.....	14
4.3.3	Azione del vento.....	14
4.4	RITIRO .....	16
4.5	AZIONI ECCEZIONALI .....	17
4.6	AZIONI INDIRETTE .....	17
4.7	AZIONI SISMICHE .....	18
<b>5</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO.....</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>EFFETTI GLOBALI .....</b>	<b>22</b>
6.1	MODELLO DI CALCOLO .....	22
6.2	TRAVI.....	23
6.3	ANALISI MODALE .....	29
6.4	VERIFICHE SLU .....	30
6.4.1	VERIFICHE TRAVI PRINCIPALI.....	30
6.4.2	VERIFICHE DIAFRAMMI .....	39
6.4.3	VERIFICA CONTROVENTI.....	45
6.5	VERIFICA A FATICA TRAVI PRINCIPALI.....	51
6.6	VERIFICHE SLE .....	52
6.6.1	VERIFICHE DI DEFORMABILITA' .....	52
6.7	REAZIONI AGLI APPOGGI .....	52
6.7.1	SCHEMA APPOGGI .....	52

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

*Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO
RS3U	40	D	09	CL	VI0007	002	B	3 di 69

6.7.2 REAZIONI APPOGGI .....53

**7 EFFETTI LOCALI ..... 55**

7.1 ANALISI DEI CARICHI ..... 55

7.1.1 CARICHI PERMANENTI .....55

7.1.2 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI .....55

7.1.3 AZIONI CLIMATICHE .....58

7.2 COMBINAZIONE DEI CARICHI ..... 59

7.3 VERIFICHE DI RESISTENZA ..... 62

7.4 VERIFICHE S.L.E. .... 66

## 1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione sono le verifiche principali (a livello globale) della travata metallica a sezione mista acciaio-clc di **portata teorica pari a 48 m a singolo binario**. Le travate presentano un pacchetto P.F.-sottotrave pari a 5.227 m con altezza delle travi metalliche massima pari a 4m (in appoggio pari a 2.8m); l'impalcato è composto da due travi con interasse delle anime pari a 3.6m. I diaframmi sono costituiti da angolari accoppiati, con diagonali a croce e correnti superiori ed inferiori con scansione di 4m ed infine sono stati previsti traversi chiusi in corrispondenza degli appoggi.

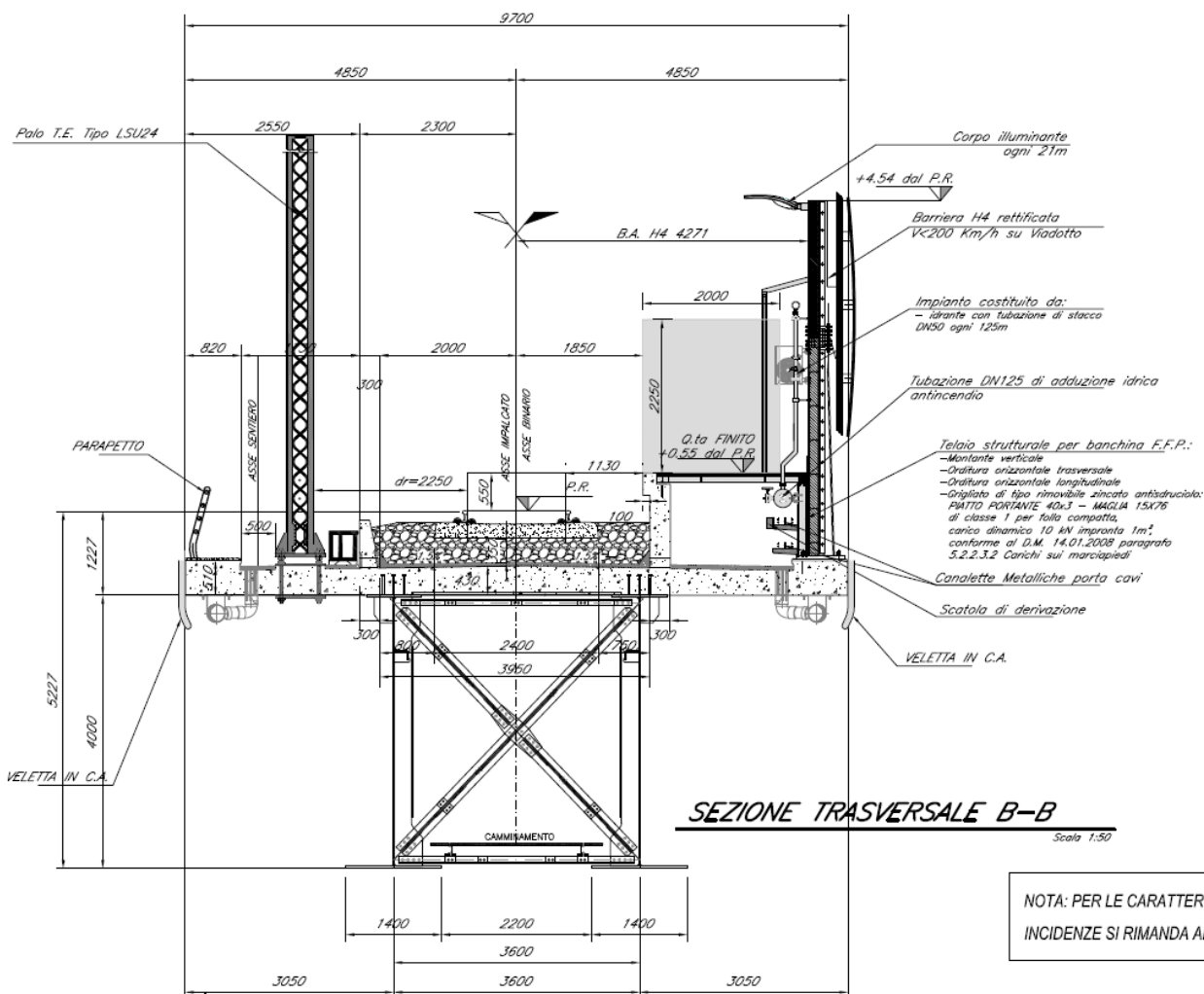


Figura 1\_ Sezione corrente

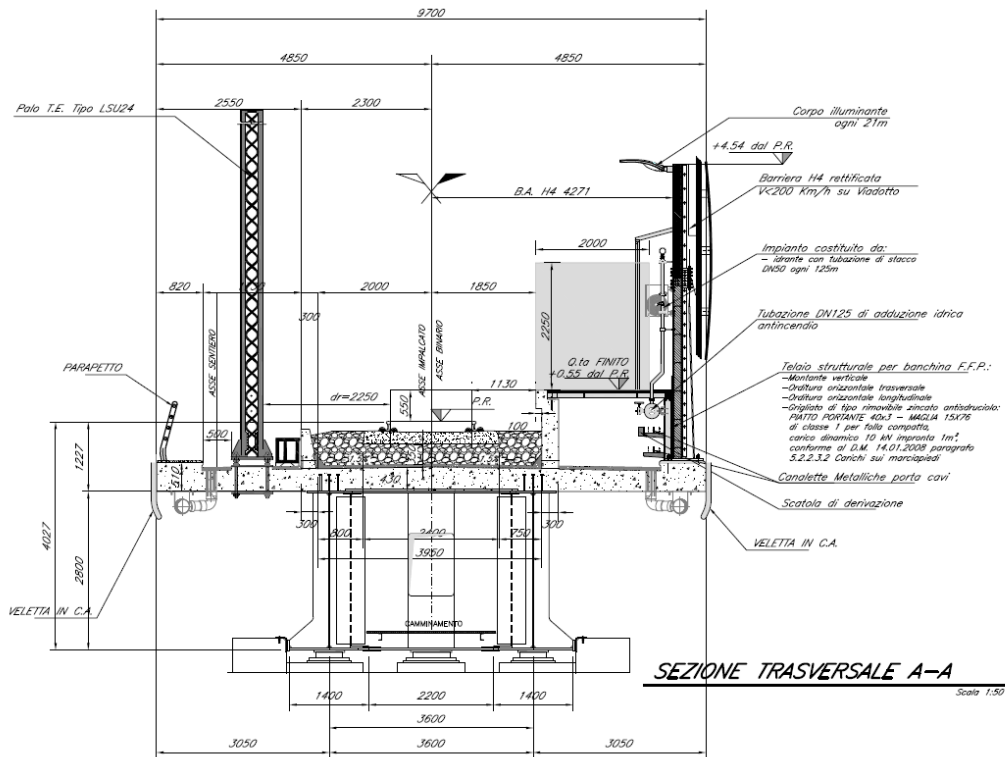


Figura 2\_Sezione in asse appoggi

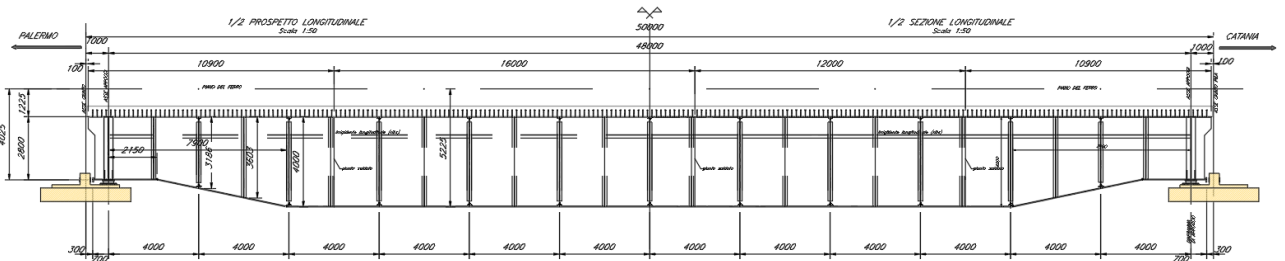


Figura 3\_Prospetto

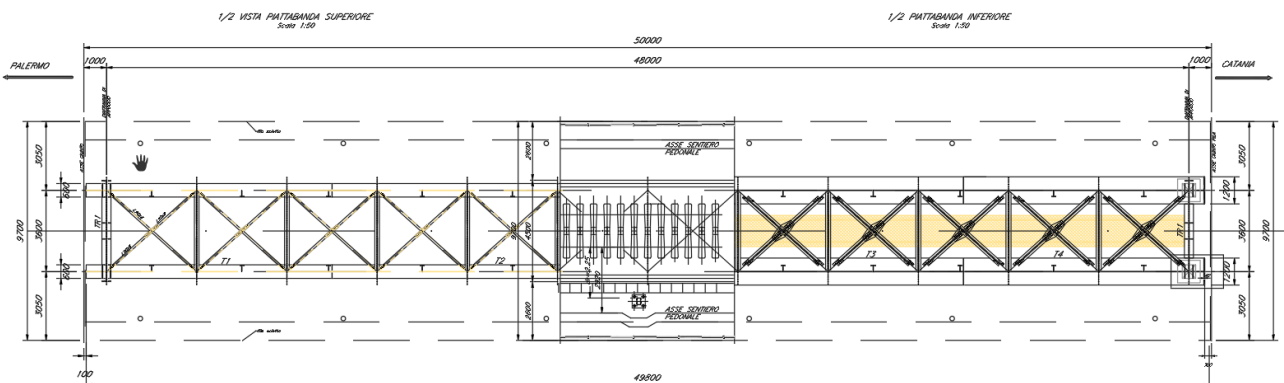


Figura 4\_Pianta

## 2 NORMATIVA 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 struttura 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 struttura per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti;*
- [N1] **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			
<b>C32/40</b>			
$R_{ck} =$	40	$N/mm^2$	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} =$	33.2	$N/mm^2$	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm} =$	41.2	$N/mm^3$	resistenza caratteristica cilindrica media
$\gamma_M =$	1.5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{cd} =$	18.8	$N/mm^2$	resistenza di progetto
$E_{cm} =$	33642.8	$N/mm^2$	modulo elastico BT
$E_{cm}^* =$	11846.0	$N/mm^2$	modulo elastico LT
$E_{cm} \text{ ritiro} =$	13609.5	$N/mm^2$	modulo elastico viscoso
<b>XC3+XD3+XF2</b>		Classe di esposizione	
$c =$	30	mm	copriferro minimo
ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE			
<b>B 450 C controllato in stabilimento</b>			
$f_{yk} =$	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			
<b>S355 J2 - lamiere e profili per elementi saldati</b>			
<b>S355 J0 - lamiere e profili per elementi non saldati</b>			
$f_{yk} =$	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			
<b>St 37-3K DIN 17100</b>			
$f_{yk} =$	355	$N/mm^2$	tensione caratteristica di snervamento
$E_s =$	210000	$N/mm^2$	modulo elastico
ACCIAIO bulloni e dadi			
<b>viti</b>	8.8; 10.9	Conformi per le caratteristiche dimensionali alle	
<b>dadi</b>	8; 10	UNI-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.			

## 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 delle 2 travi in acciaio (inclusi trasversi, irrigidimenti, ecc.) = 35 kN/m (valore stimato da modello);
- Peso proprio della soletta di spessore complessivo variabile = 102 kN/m

Totale Peso proprio = 138 kN/m

*Incidenza carpenteria metallica = 3.6 kN/m<sup>2</sup>*

#### 4.1.2 CARICHI PERMANENTI PORTATI (G2)

Valori complessivi per l'intera larghezza di impalcato:

Permanenti portati	Ripetizioni	Spessore	Larghezza	Area	p	Peso
	-	m	m	mq	kN/mc-mq	kN/ml
Muri paraballast	1			0.1433	25	3.6
Muri FFPP	1			0.44	25	11
Grigliato metallico FFPP	1					2.1
Cordolo in sx	1				25	3.5
Cordolo in dx	1				25	3.5
Velette	2				25	12
Ballast+ impermab. + armamento	1	0.8	4		18	57.6
Incremento per rialzo in curva	1			0.26	20	5.2
Canalette	1			0.1	25	2.5
Impermeabilizzazione marciapiedi	1	0.05	4		20	4
Impianti	2				1	2
Barriere antirumore	1	1	4		4	16

Totale permanenti portati = 123 kN/m



## 4.2 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI

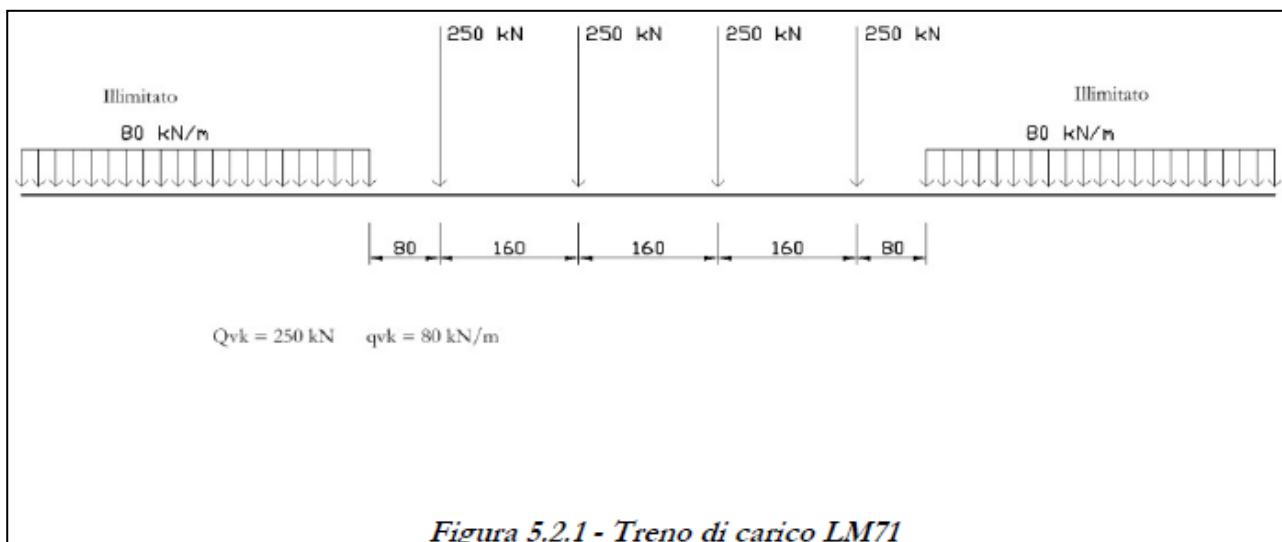
### 4.2.1 TRENI DI CARICO

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

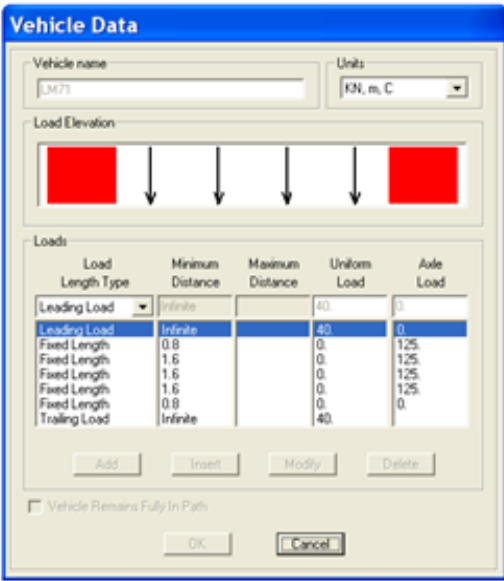
Questo treno di carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale e risulta costituito da:

- 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:  $e = \frac{s}{8} = \frac{143.5}{8} = 8 \text{ cm}$

Ogni rotaia è stata caricata con la seguente azione verticale:



Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Leading Load	Infinite		40	0
Leading Load	Infinite		40	0
Fixed Length	0.8		0	125
Fixed Length	1.6		0	125
Fixed Length	1.6		0	125
Fixed Length	1.6		0	125
Fixed Length	0.8		0	0
Trailing Load	Infinite		40	0

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

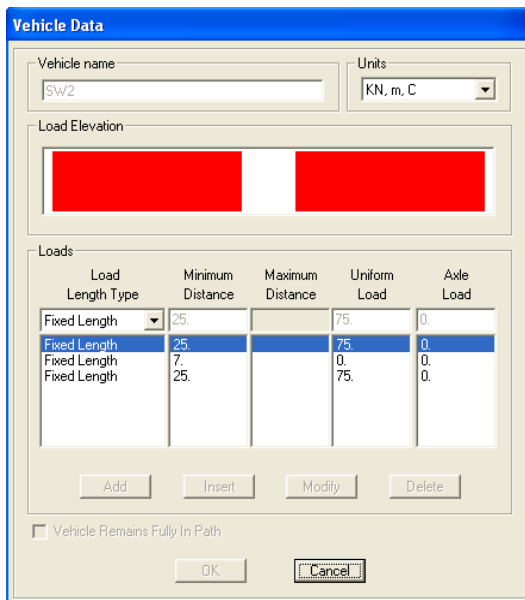
### Traffico pesante treno SW/2

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.



Sulla singola rotaia risulta:



Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	25.	75.	75.	0.
Fixed Length	25.	75.	75.	0.
Fixed Length	7.	25.	0.	0.
Fixed Length	25.	75.	75.	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  $L_\Phi$  valutata secondo *Manuale di progettazione delle opere civili RFI*:

- Travi principali ( $L_\Phi = 48\text{m}$ ):  $\Phi_3 = 1.05$
- Traversi intermedi ( $L_\Phi = 2 \cdot i = 2 \cdot 3.6\text{m}$ ):  $\Phi_3 = 1.6$
- 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 ( $L_\Phi = 48\text{m}$ ):  $\Phi_2 = 1.034$
- Traversi intermedi ( $L_\Phi = 2 \cdot i = 2 \cdot 3.6\text{m}$ ):  $\Phi_2 = 1.4$
- 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

$$Q_{ak} = 33 * 50 * 1.1 = 1815 \text{ kN};$$

Treno SW2

$$Q_{ak} = 33 * (50 - 7) * 1 = 1419 \text{ kN}$$

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

$$Q_{bk} = 20 * 50 * 1.1 = 1100 \text{ kN}$$

Treno SW2

$$Q_{bk} = 35 * (50 - 7) * 1 = 1505 \text{ kN}$$

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.

### 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..

*Raggio considerato: R= 500 m*

- **Per il treno di carico tipo SW/2 si considerano i seguenti parametri e valori:**

$$V = 100 \text{ km/h}$$

$$\alpha = 1$$

$$f = 1$$

$$Q_{tk} = 0 \text{ perché } Q_{vk} = 0$$

$$q_{tk} = V^2 / (127 R) \cdot f \cdot q_{vk} = 23.6 \text{ kN/m (da considerare per una lunghezza di 50 m)}$$

$$\text{Il traffico verticale associato è pari a } \Phi \cdot 1 \cdot SW/2 = 1.05 \cdot 1 \cdot 150 \text{ kN/m} = 157.7 \text{ kN/m}$$

- **Per il treno di carico tipo LM/71 occorre distinguere due casi:**

**V=120 km/h**

$$\alpha = 1.1$$

$$f = 1$$

$$Q_{tk} = 1.1 \cdot V^2 / (127 R) \cdot f \cdot Q_{vk} = 62.4 \text{ kN}$$

$$\text{Il traffico verticale associato è pari a } \Phi \cdot \alpha \cdot LM/71 = 1.05 \cdot 1.1 \cdot 250 \text{ kN} = 289 \text{ kN}$$

$$q_{tk} = 1.1 \cdot V^2 / (127 R) \cdot f \cdot q_{vk} = 20 \text{ kN/m}$$

$$\text{Il traffico verticale associato è pari a } \Phi \cdot \alpha \cdot LM/71 = 1.05 \cdot 1.1 \cdot 80 \text{ kN/m} = 92.5 \text{ kN/m}$$

**V=160 km/h**

$$\alpha = 1$$

$$f = 0.8 \text{ (considerando } L_f = 50 \text{ m)}$$

$$Q_{tk} = 1 \cdot V^2 / (127 R) \cdot f \cdot Q_{vk} = 79.8 \text{ kN}$$

$$\text{Il traffico verticale associato è pari a } \Phi \cdot LM/71 = 1.05 \cdot 250 \text{ kN} = 262.5 \text{ kN}$$

$$q_{tk} = 1 \cdot V^2 / (127 R) \cdot f \cdot q_{vk} = 25.5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Il traffico verticale associato è pari a } \Phi \cdot LM/71 = 1.05 \cdot 80 \text{ kN/m} = 84.1 \text{ kN/m}$$

## 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 sul MdP [N5]:

#### Variazione termica uniforme

La variazione termica uniforme volumetrica da considerare per un impalcato a sezione mista ed armamento su ballast 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  $5^{\circ}\text{C}$  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  $10^{\circ}\text{C}$ .

### 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
$v_{b0}$	28	m/s
a0	500	m
k <sub>S</sub>	0.36	1/s
$v_b(T_R)$	28	m/s
$\rho$	1.25	kg/m <sup>3</sup>
$q_b$	0.491	KN/m <sup>2</sup>

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario  
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 15 di 69

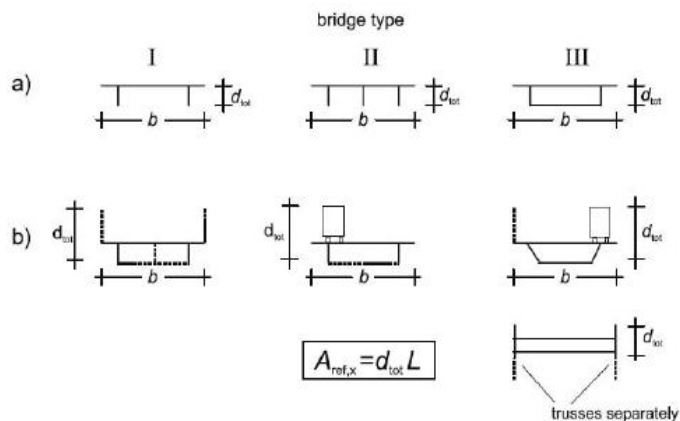
zona	4
rugosità	D
categoria di esposiz.	2
kr	0.19
z0	0.05 m
z min	4 m
$c_t$	1
z	10 m
$C_{e(10m)}$	2.99
$\phi=S/S_p$	1
$c_{pe}$	2.2
<b>b</b>	9.7
<b>d</b>	9.67

pressione esterna

$p_e = q_b c_p c_e c_t$	<b>2.5</b>	KN/m <sup>2</sup>
-------------------------	------------	-------------------

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.



tipo	b	
b	9.7	m
d	9.7	m
b/d	1.00	m
<b>cfx,0</b>	<b>2.20</b>	

## 4.4 RITIRO

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

	Rck	40	MPa
Concrete	$f_{ck} =$	33.2	Mpa
Mean compressive strength	$f_{cm} =$	41.2	MPa
Coeff. of thermal expansion	$\alpha =$	1.0E-05	
Concrete elastic modulus	$E_{cm} =$	33642778	kN/m <sup>2</sup>
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	$h_o = 2A_c/u =$	677	mm
element section	$A_c =$	3500000	mmq
perimeter in contact with the atmosphere	$u =$	10335	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	$\epsilon_{cd0} =$	3.00E-04	mm
drying shrinkage strain - time effect	$\beta_{ds} =$	1.000	
coefficient depending on the national size	$Kh =$	0.7	
drying shrinkage strain	$\epsilon_{cds} =$	2.097E-04	mm
autogenous shrinkage strain-time effect	$\beta_{as} =$	1.0	
autogenous shrinkage strain-infinity	$\epsilon_{ca}(\infty) =$	5.80E-05	mm
autogenous shrinkage strain	$\epsilon_{cas} =$	5.800E-05	
<b>total shrinkage strain</b>	$\epsilon_{cS}(t,t_s) =$	<b>2.68E-04</b>	<b>mm</b>
shrinkage coefficient	$\phi(t,t_0) =$	1.840	
	$E_{cm} =$	33642777.7	kN/m <sup>2</sup>
	$E^* =$	11846048.5	kN/m <sup>2</sup>
	$E_r =$	13609537.9	kN/m <sup>2</sup>



## 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  $80 \cdot 1.4$  kN/m, eccentrico di 1.5 s rispetto all'asse binari.

## 4.6 AZIONI INDIRETTE

### Resistenze parassite nei vincoli

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

## 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:  LATTITUDINE:

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



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 -  $P_{VR} = 81\%$ :
- SLD -  $P_{VR} = 63\%$ :

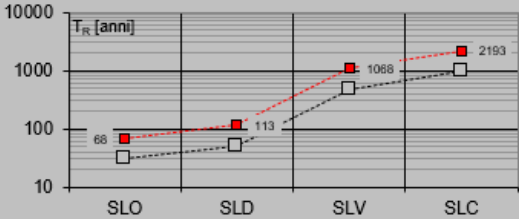
Stati limite ultimi - SLU

- SLV -  $P_{VR} = 10\%$ :
- SLC -  $P_{VR} = 5\%$ :

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3

### FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

**Stato Limite**

Stato Limite considerato **SLV** info

**Risposta sismica locale**

Categoria di sottosuolo **C** info

$S_s = 1.500$

$C_c = 1.310$  info

Categoria topografica **T1** info

$h/H = 0.000$

$S_T = 1.000$  info

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

**Compon. orizzontale**

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento  $\xi$  (%) **5**

$\eta = 1.000$  info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore  $q_0$  **1**

Regol. in altezza **si** info

**Compon. verticale**

Spettro di progetto

Fattore q **1**

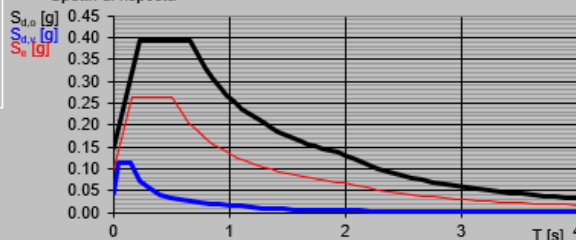
$\eta = 1.000$  info

**Elaborazioni**

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

**Spettri di risposta**



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

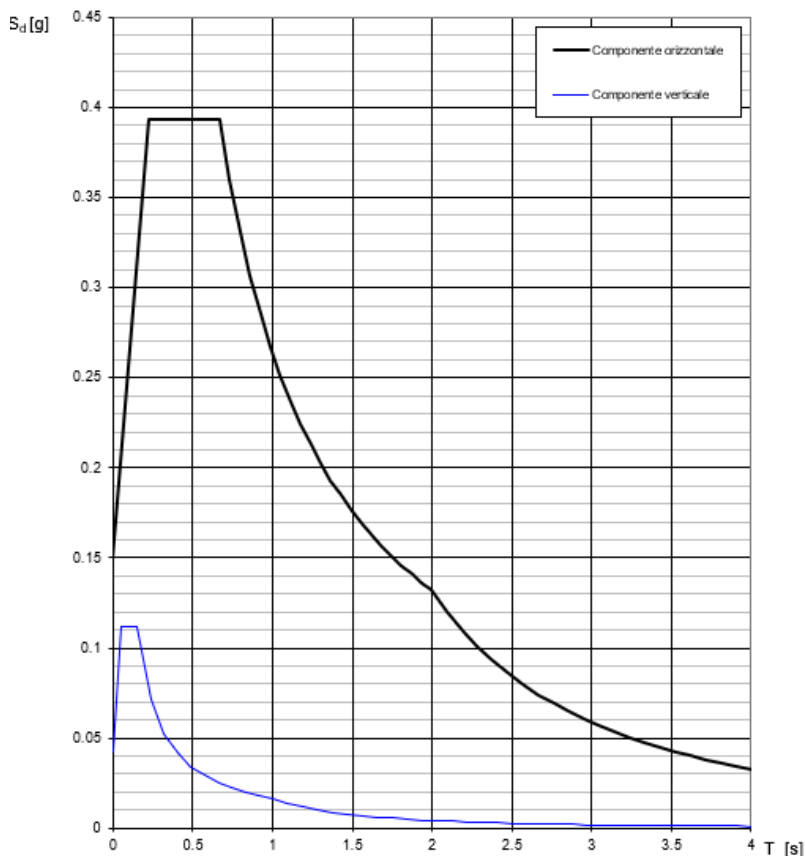
INTRO

FASE 1

FASE 2

**FASE 3**

**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
$F_o$	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
$\eta$	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)

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

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

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

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

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  $\eta$  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

## 5 COMBINAZIONI DI CARICO

Le singole azioni elementari vengono combinate come previsto da Manuale di progettazione [N5].

COEFFICIENTI DI COMB.			A1 STR
<b>Carichi permanenti</b>	<i>sfav</i>	Y <sub>G1</sub>	1.35
	<i>fav</i>		1
<b>Carichi permanenti non strutturali</b>	<i>sfav</i>	Y <sub>G2</sub>	1.5
	<i>fav</i>		0
<b>Traffico</b>	<i>sfav</i>	Y <sub>Q</sub>	1.45
	<i>fav</i>		0
<b>Variabili</b>	<i>sfav</i>	Y <sub>Qi</sub>	1.5
	<i>fav</i>		0

$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
<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						v <sub>Q</sub>			
		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>	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
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	GRUPPO3	GRUPPO1	GRUPPO3	GRUPPO1	GRUPPO3	GRUPPO1	GRUPPO3	SCARICA	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	0	0	0	0	0	0	1.16	1.16	0	0	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	0	0	0	0	0	0	1.16	0.58	0	0	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	0.725	0.73	1.45	1.45	0	0	0	0	0	0	0.58	1.16	0	0	0
F-A_LM71	0	0	0	0	0.725	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	0	0	0	0	0	0	1.16	0.58	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	1.5	1.5	0	0	0	0	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

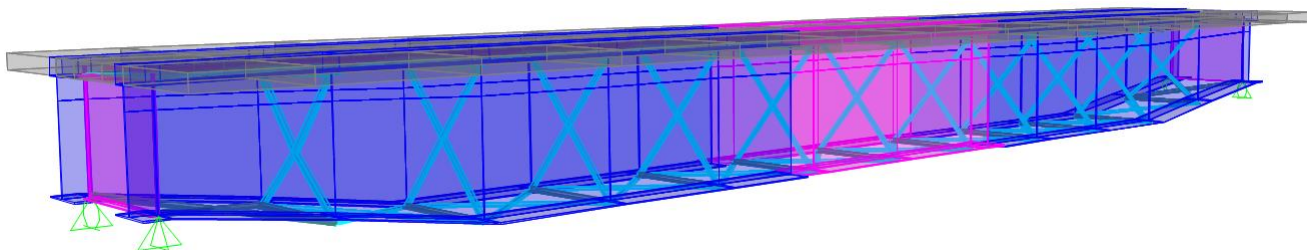
Per valutare a livello globale le sollecitazioni e le deformazioni delle varie parti che costituiscono il viadotto (travi, soletta, trasversi, ecc.) sotto le varie azioni di progetto, sono state effettuate modellazioni con il programma agli elementi finiti SAP2000.

Nello studio globale longitudinale dell'impalcato si sono utilizzati tre modelli le cui rigidezze 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.

Il modello di calcolo per ogni fase è stato ipotizzato come graticcio composto da 2 travi e da diaframmi di collegamento in carpenteria metallica.

La soletta è modellata con elementi trave che ne schematizzano il comportamento trasversale. Per ottenerne il corretto funzionamento si sono introdotti bracci fittizi, di rigidezza infinita, che connettono i baricentri delle membrature.

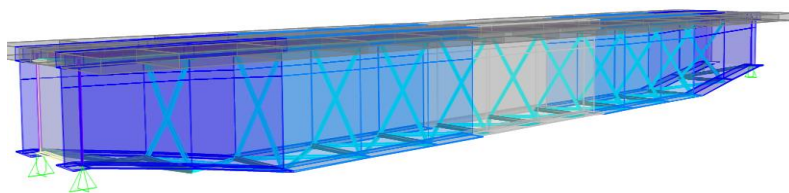
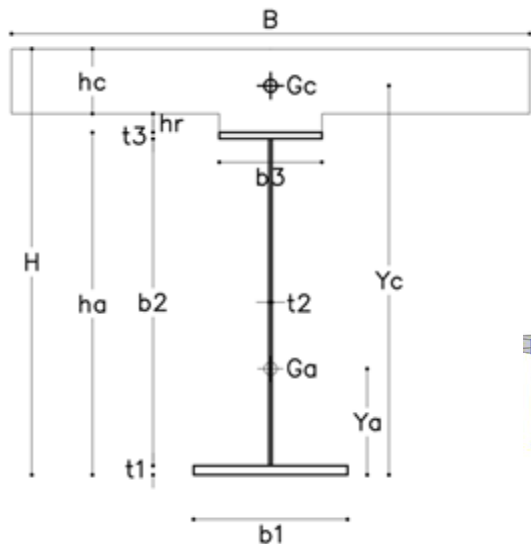
Per valutare correttamente gli effetti massimi dei carichi viaggianti previsti dalla normativa, essi sono stati definiti all'interno del modello agli elementi finiti come "moving load cases".



*Figura 5\_ Modello agli elementi finiti realizzato con programma di calcolo Sap2000*

## 6.2 TRAVI

La denominazione rispetta lo schema seguente:



Concio	centrale	laterale	var		
H	4430	4430	3230-4430	mm	altezza totale sezione
ha	4000	4000	2800-4000	mm	altezza totale trave
b3	800	800	800	mm	lunghezza piattab sup
t3	40	30	30	mm	spessore piattab sup
b2	3920	3940	2740-3940	mm	altezza anima
t2	22	26	26	mm	spessore anima
b1	1400	1400	1400	mm	lunghezza piattab inf
t1	40	30	30	mm	spessore piattab inf
	2	2	2		NUMERO TRAVI
i	3.6	3.6	3.6	m	INTERASSE ANIME

SOLETTA			
hr	50	mm	altezza cls su ala
hc	380	mm	altezza cls
B	4850	mm	larghezza collaborante

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

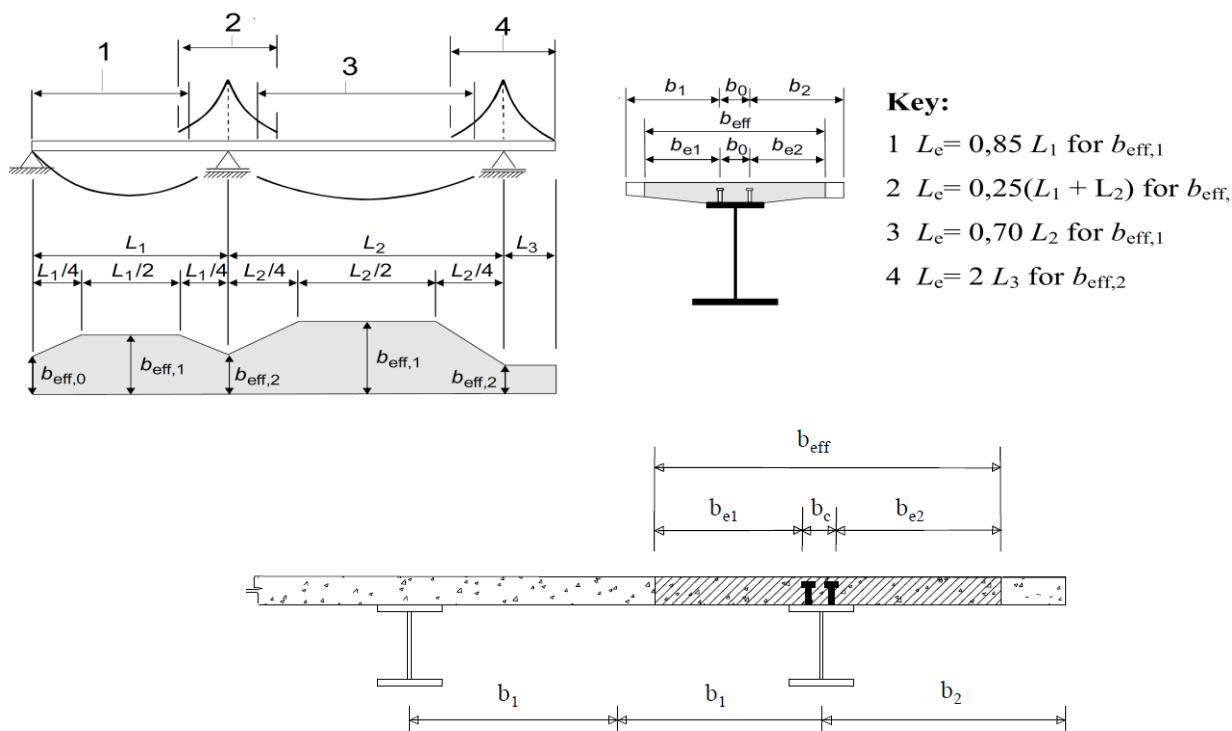


Figura 4.3.1. - Definizione della larghezza efficace  $b_{eff}$  e delle aliquote  $b_{ei}$ .

L1	48000	[mm]	lunghezza campata
2*b1	3600	[mm]	interassi travi
b1	1800	[mm]	semi interasse travi
b2	3050	[mm]	sbalzo laterale 1
b2	3050	[mm]	sbalzo laterale 2
b0	200	[mm]	distanza tra assi connettori
Le	48000	[mm]	lunghezza equivalente
be1	1700	[mm]	lato interno
be2	2950	[mm]	lato sbalzo
$\beta_{1-1}$	1.00	< 1	
$\beta_{2-1}$	1.00	< 1	
<b>b eff 1</b>	<b>4850</b>	[mm]	<b>trave laterale</b>



**Concio centrale:**

**CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE**

		d ; d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>		
Larghezza/spessore : Anima	d/t <sub>w</sub> =	45.45	132.73			α <sub>y</sub> =	<b>0.615</b>
Piattabande	c/t =	9.73				ψ <sub>y</sub> =	<b>-1.000</b>
	α <sub>d</sub> =	<b>1.000</b>	<b>0.483</b>				
asse neutro el. = cm 199.967	ψ <sub>d</sub> =	<b>0.490</b>	<b>-2.041</b>				
	c <sub>ψ</sub> =	<b>-0.490</b>	<b>2.041</b>				
Limite larghezza/spessore anima :	classe 1	26.85	60.65				
	classe 2	30.92	69.92				
	classe 3	41.09	69.92				
	k <sub>σ</sub> =						
						<b>classe dell'anima</b>	<b>4</b>
Limite larghezza/spessore piattab.	classe 1	7.32					
	classe 2	8.14					
	classe 3	11.39					
						<b>classe piattabanda</b>	<b>3</b>
	<b>CLASSE SEZIONE</b>	<b>4</b>					

1) larghezza efficace (bcf) della piattabanda superiore:

λπφ = χ / τφ / [28,4.ε (κσ)0,5]	λπ <sub>1</sub> =	0.641826
coeff. di imbozzamento	k <sub>s</sub> =	0.43
fattore di riduzione	ρφ =	1.000000
ceff = r <sub>f</sub> . c	ceff =	38.90 cm
larghezza efficace compr.	b <sub>eff</sub> =	<b>80.00</b> cm
<b>Area efficace piattab.</b>	<b>A<sub>c,eff</sub> =</b>	<b>320.00</b> cm <sup>2</sup>

2) altezza efficace dell'anima:

altezza efficace anima	H <sub>eff</sub> ANIMA =	<b>385.58</b> cm
<b>Area efficace anima</b>	<b>A<sub>eff</sub> ANIMA =</b>	<b>848.27</b> cm <sup>2</sup>

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**  
*Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 26 di 69

**Concio laterale:**

**CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE**

		d ; d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>		
Larghezza/spessore : Anima	d/t <sub>w</sub> =	38.46	112.69			α <sub>y</sub> =	<b>0.582</b>
Piattabande	c/t =	11.06				ψ <sub>y</sub> =	<b>-1.000</b>
	α <sub>d</sub> =	<b>1.000</b>	<b>0.439</b>				
asse neutro el. = cm 199.968	ψ <sub>d</sub> =	<b>0.491</b>	<b>-2.035</b>				
	c <sub>ψ</sub> =	<b>-0.491</b>	<b>2.036</b>				
Limite larghezza/spessore anima :	classe 1	26.85	66.66				
	classe 2	30.92	76.84				
	classe 3	41.07	76.84				
	k <sub>σ</sub> =						
						<b>classe dell'anima</b>	<b>4</b>
Limite larghezza/spessore piattab.	classe 1	7.32					
	classe 2	8.14					
	classe 3	11.39				<b>classe piattabanda</b>	<b>3</b>
	<b>CLASSE SEZIONE</b>	<b>4</b>					

1) larghezza efficace (bcf) della piattabanda superiore:

λπφ = χ / τφ / [28,4.ε. (κσ)0,5]	λππ =	0.729744	
coeff. di imbozzamento	k <sub>s</sub> =	0.43	
fattore di riduzione	ρφ =	1.000000	
ceff = r <sub>f</sub> . c	ceff =	38.70	cm
larghezza efficace compr.	b <sub>eff</sub> =	<b>80.00</b>	cm
<b>Area efficace piattab.</b>	<b>A<sub>c,eff</sub> =</b>	<b>280.00</b>	cm <sup>2</sup>

2) altezza efficace dell'anima:

altezza efficace anima	H <sub>eff</sub> ANIMA =	<b>393.60</b>	cm
<b>Area efficace anima</b>	<b>A<sub>eff</sub> ANIMA =</b>	<b>1023.36</b>	cm <sup>2</sup>

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**  
*Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 27 di 69

**Concio var. per h max (4m)**

**CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE**

	d ; d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>		
Larghezza/spessore : Anima	d/t <sub>w</sub> = 38.46	113.08			α <sub>y</sub> =	<b>0.567</b>
Piattabande	c/t = 12.90				ψ <sub>y</sub> =	<b>-1.000</b>
	α <sub>d</sub> =	<b>1.000</b>	<b>0.420</b>			
asse neutro el. = cm 199.967	ψ <sub>d</sub> =	<b>0.492</b>	<b>-2.030</b>			
	C <sub>ψ</sub> =	<b>-0.493</b>	<b>2.031</b>			
Limite larghezza/spessore anima :	classe 1	26.85	69.74			
	classe 2	30.92	80.40			
	classe 3	41.05	80.40			
	k <sub>σ</sub> =					
					<b>classe dell'anima</b>	<b>4</b>
Limite larghezza/spessore piattab.	classe 1	7.32				
	classe 2	8.14				
	classe 3	11.39				
					<b>classe piattabanda</b>	<b>4</b>
	<b>CLASSE SEZIONE</b>	<b>4</b>				

1) larghezza efficace (bcf) della piattabanda superiore:

λπφ = χ / τφ / [28,4.ε. (κσ)0,5]	λπ <sub>1</sub> =	0.851368	
coeff. di imbozzamento	k <sub>s</sub> =	0.43	
fattore di riduzione	ρφ =	0.915208	
ceff = r <sub>f</sub> . c	ceff =	35.42	cm
larghezza efficace compr.	b <sub>eff</sub> =	<b>73.44</b>	cm
<b>Area efficace piattab.</b>	<b>A<sub>c,eff</sub> =</b>	<b>220.31</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

2) altezza efficace dell'anima:

altezza efficace anima	H <sub>eff</sub> ANIMA =	<b>394.60</b>	cm
<b>Area efficace anima</b>	<b>A<sub>eff</sub> ANIMA =</b>	<b>1025.96</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

**Concio iniziale (var. altezza minima):**

**CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE**

	d ; d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>		
Larghezza/spessore : Anima	d/t <sub>w</sub> =	105.38				α <sub>y</sub> = <b>0.584</b>
Piattabande	c/t =	12.90				ψ <sub>y</sub> = <b>-1.000</b>
	α <sub>d</sub> =	<b>0.584</b>				
asse neutro el. = cm 139.969	ψ <sub>d</sub> =	<b>-1.000</b>				
	c <sub>ψ</sub> =	1.000				
Limite larghezza/spessore anima :	classe 1	48.84				
	classe 2	56.24				
	classe 3	100.46				
	k <sub>σ</sub> =					
					<b>classe dell'anima</b>	<b>4</b>
Limite larghezza/spessore piattab.	classe 1	7.32				
	classe 2	8.14				
	classe 3	11.39				
					<b>classe piattabanda</b>	<b>4</b>
	<b>CLASSE SEZIONE</b>	<b>4</b>				

1) larghezza efficace (bcf) della piattabanda superiore:

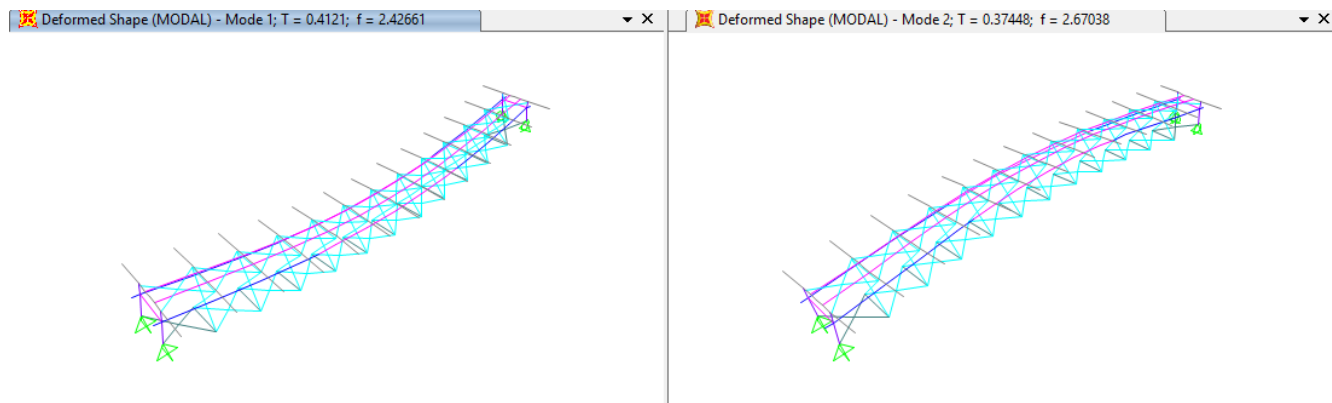
λπφ = χ / τφ / [28,4.ε (κσ)0,5]	λπ <sub>l</sub> =	0.851368	
coeff. di imbozzamento	k <sub>s</sub> =	0.43	
fattore di riduzione	ρφ =	0.915208	
ceff = r <sub>f</sub> . c	ceff =	35.42	cm
larghezza efficace compr.	b <sub>eff</sub> =	<b>73.44</b>	cm
<b>Area efficace piattab.</b>	<b>A<sub>c,eff</sub> =</b>	<b>220.31</b>	cm <sup>2</sup>

2) altezza efficace dell'anima:

altezza efficace anima	H <sub>eff ANIMA</sub> =	<b>251.08</b>	cm
<b>Area efficace anima</b>	<b>A<sub>eff ANIMA</sub> =</b>	<b>652.81</b>	cm <sup>2</sup>

## 6.3 ANALISI MODALE

L'analisi modale effettuata con programma di calcolo Sap2000, fornisce le frequenze proprie di vibrare dell'impalcato in esame: il primo modo proprio di vibrare dell'impalcato è flessionale verticale, il secondo traslazionale. Pertanto, la prima frequenza propria con la quale si effettua la verifica dei requisiti per analisi statica o dinamica è quella del primo modo proprio di vibrare:



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, si riportano i primi 12mdv:

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	0.412	3%	0%	81%	0.02793	0.000001346	0.80501	2.854E-09	0.00001316	4.771E-08	0%	0%	0%
MODAL	Mode	2	0.374	0%	72%	0%	0.02793	0.72176	0.80501	0.00586	0.000000297	0.00084	1%	0%	0%
MODAL	Mode	3	0.275	0%	0%	0%	0.02793	0.72183	0.80501	0.78807	1.33E-08	0.00012	79%	0%	0%
MODAL	Mode	4	0.162	0%	0%	0%	0.02793	0.72268	0.80501	0.00034	0.000005548	0.43044	79%	0%	43%
MODAL	Mode	5	0.135	17%	0%	0%	0.19381	0.72268	0.80882	6.543E-08	0.4857	0.00027	79%	49%	43%
MODAL	Mode	6	0.134	0%	0%	0%	0.19411	0.72281	0.80883	0.00001447	0.00074	0.16004	79%	49%	59%
MODAL	Mode	7	0.117	0%	0%	0%	0.19447	0.72281	0.8092	4.793E-09	0.00002353	1.108E-09	79%	49%	59%
MODAL	Mode	8	0.117	0%	0%	0%	0.1945	0.72281	0.8092	1.147E-09	0.0004	2.576E-10	79%	49%	59%
MODAL	Mode	9	0.117	0%	0%	0%	0.1945	0.72281	0.80926	4.669E-10	5.586E-07	1.003E-10	79%	49%	59%
MODAL	Mode	10	0.117	0%	0%	0%	0.1945	0.72281	0.80926	2.292E-10	0.00013	4.536E-11	79%	49%	59%
MODAL	Mode	11	0.117	0%	0%	0%	0.1945	0.72281	0.80929	9.843E-11	3.368E-08	2.064E-11	79%	49%	59%
MODAL	Mode	12	0.117	0%	0%	0%	0.1945	0.72281	0.80929	4.191E-11	0.00007931	8.502E-12	79%	49%	59%

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]*.

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

Come si evince da grafico seguente non è necessario effettuare analisi dinamiche.

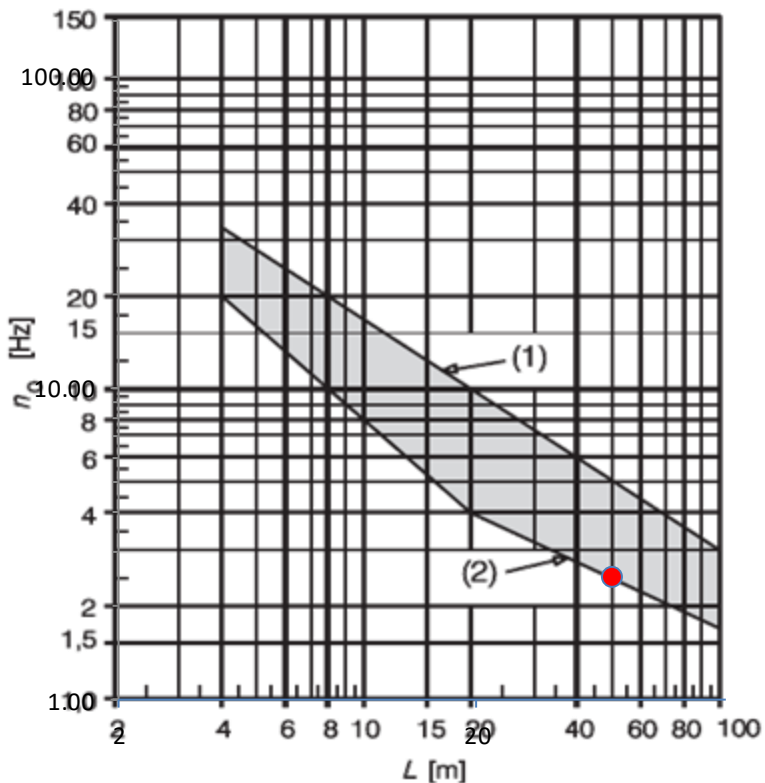
<b>L</b>	<b>48</b>	<i>m</i>
----------	-----------	----------

$\delta_0$	<b>51.0</b>	<i>mm</i>
$N_0$	<b>2.49</b>	<i>Hz</i>

$\delta_0$  è la freccia in mezzera dovuta alle azioni permanenti

$N_0$  è la prima frequenza naturale flessionale del ponte

(1)	5.24	<i>Hz</i>
(2)	2.38	<i>Hz</i>



(1) Limite superiore della frequenza naturale

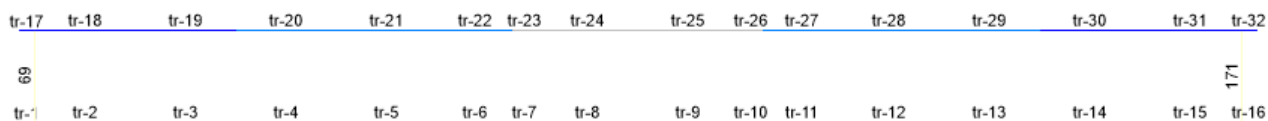
(2) Limite inferiore della frequenza naturale

## 6.4 VERIFICHE SLU

Si riportano di seguito le sollecitazioni flettenti e taglianti per la trave più sollecitata per le 3 fasi di carico.

### 6.4.1 VERIFICHE TRAVI PRINCIPALI

Di seguito la legenda dei conci di trave verificati (vista in pianta delle travi nel modello):



**SEZIONI EFFICACI:**

Si riduce la sezione resistente della piattabanda superiore per i conci "iniziale" (var.) come indicato al paragrafo 6.2, solo in fase 1 (soletta non reagente).

Si riduce la sezione resistente dell'anima per tutti i conci, come indicato al paragrafo 6.2, per tutte e tre le fasi di calcolo.

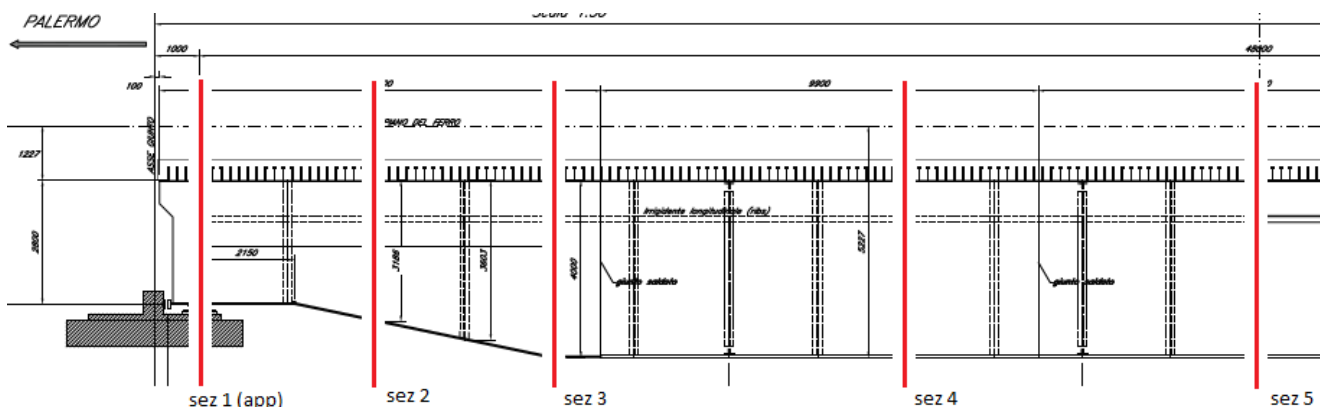
**SEZIONI DI VERIFICA:**

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

TABLE: Element Forces - Frames				2096.07	-2096	25034.06			
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
tr-1		0 fase 1	Combinat	-9.82E-12	1.84E-12	-1.20E-15	-2.35E-15	-2.40E-15	8.84E-11
tr-2		0 fase 1	Combinat	108.813	-2096	-0.506	0.0793	0.0281	-131.778
tr-3		0 fase 1	Combinat	152.217	-1747.21	2.132	0.0176	2.0964	7524.973
tr-4		0 fase 1	Combinat	0.231	-1412.86	-1.633	0.0328	-6.4154	13781.29
tr-5		0 fase 1	Combinat	0.696	-1059.54	0.145	0.0219	0.1186	18651.15
tr-6		0 fase 1	Combinat	0.814	-706.228	-0.085	0.0033	-0.4608	22178.08
tr-7		0 fase 1	Combinat	0.814	-534.222	-0.085	0.0033	-0.2903	23418.53
tr-8		0 fase 1	Combinat	0.637	-351.501	-0.089	-0.0022	-0.1193	24321.74
tr-9		0 fase 1	Combinat	0.727	4.639	0.09	0.0022	0.2367	25034.02
tr-10		0 fase 1	Combinat	1.088	360.778	0.089	-0.0033	-0.1239	24313.53
tr-11		0 fase 1	Combinat	1.088	534.198	0.089	-0.0033	-0.3024	23418.55
tr-12		0 fase 1	Combinat	1.16	715.503	-0.151	-0.0219	-0.4819	22201.29
tr-13		0 fase 1	Combinat	0.84	1068.814	1.593	-0.0327	0.1187	18744.83
tr-14		0 fase 1	Combinat	123.206	1406.868	-1.773	-0.0185	-6.3005	13859.85
tr-15		0 fase 1	Combinat	90.555	1763.465	0.181	-0.0704	0.7821	7609.423
tr-16		0 fase 1	Combinat	-1.84E-11	0.00E+00	-4.80E-15	4.51E-15	-1.20E-15	9.82E-11

Mmax. (fase I) = 25034 kN\*m  
 Tmax. (fase I) = 2096 KN

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**
*Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

 PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
 RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 32 di 69

**FASE II:** azioni di lunga durata (carichi: PERMANENTI PORTATI) = 1.5 \* G2 + 1.5 \* ritiro

TABLE: Element Forces - Frames				2826.42	-2885.213	40889.296			
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
tr-1	0	fase2	Combinat	-7.91E-11	6.22E-12	5.12E-13	-3.47E-14	6.66E-14	3.82E-11
tr-2	0	fase2	Combinat	-8510.91	-2885.213	62.705	12.0781	123.9563	8827.3747
tr-3	0	fase2	Combinat	-8478.97	-2410.976	61.973	8.849	125.5322	19532.024
tr-4	0	fase2	Combinat	-8558.47	-1533.089	50.598	6.9074	112.6975	28297.562
tr-5	0	fase2	Combinat	-8532.92	-1095.539	39.663	5.1324	91.7901	33689.616
tr-6	0	fase2	Combinat	-8504.35	-661.043	29.243	3.13	68.6905	37588.356
tr-7	0	fase2	Combinat	-8504.35	-661.043	29.243	3.13	10.2046	38910.441
tr-8	0	fase2	Combinat	-8470.58	-227.672	16.881	1.143	47.9077	39978.609
tr-9	0	fase2	Combinat	-8439.65	204.861	2.534	-0.8526	18.6406	40851.726
tr-10	0	fase2	Combinat	-8410.34	637.289	-10.614	-2.8783	-10.5343	40212.385
tr-11	0	fase2	Combinat	-8410.34	637.289	-10.614	-2.8783	10.6944	38937.807
tr-12	0	fase2	Combinat	-8377.94	1069.732	-22.147	-4.9674	-34.0743	38085.583
tr-13	0	fase2	Combinat	-8341.35	1503.636	-34.301	-6.8947	-59.9712	34499.675
tr-14	0	fase2	Combinat	-8201.38	2363.089	-47.481	-9.2122	-96.5541	29354.515
tr-15	0	fase2	Combinat	-8166.61	2826.42	-61.749	-12.0816	-124.354	20787.574
tr-16	0	fase2	Combinat	-3.55E-11	-1.45E-12	-2.88E-13	-6.49E-14	-1.97E-13	-1.36E-11

Mmax. (fase II) = 40890 kN\*m

Tmax. (fase II) = 2885 kN

**FASE III:** (carichi: SOVRACCARICHI ACCIDENTALI e AZIONI CLIMATICHE, si riporta l'involuppo delle combinazioni precedentemente descritte e depurate dei carichi G1 e G2)

TABLE: Element Forces - Frames				2950.086	-2966.99	28914.31			
Frame	Station	OutputCase		P	V MAX	V MIN	V2	M3	
Text	m	Text		KN	KN	KN	KN	KN-m	
tr-1	0	INVILUPPO_SLU		5.46E-12	8.85E-14	-1.48E-13	-1.484E-13	1.1E-11	
tr-2	0	INVILUPPO_SLU		740.687	-375.03	-2966.99	-2966.99	847.8996	
tr-3	0	INVILUPPO_SLU		2932.556	-128.76	-2177.94	-2177.935	13176.01	
tr-4	0	INVILUPPO_SLU		3915.713	-53.591	-1712.58	-1712.584	19302.94	
tr-5	0	INVILUPPO_SLU		4738.909	107.548	-1369.16	-1369.158	23886.66	
tr-6	0	INVILUPPO_SLU		5401.381	307.972	-1369.16	-1369.158	26972.06	
tr-7	0	INVILUPPO_SLU		5401.381	307.972	-1067.96	-1067.957	28407.71	
tr-8	0	INVILUPPO_SLU		5778.302	555.631	-764.28	-764.28	28591.92	
tr-9	0	INVILUPPO_SLU		5792.873	849.093	-468.607	-468.607	28782.84	
tr-10	0	INVILUPPO_SLU		5445.746	1151.639	-221.44	1151.639	28626.33	
tr-10	0	INVILUPPO_SLU		5445.746	1151.639	-221.44	1151.639	27989.42	
tr-12	0	INVILUPPO_SLU		4812.233	1452.172	-20.043	1452.172	27074.45	
tr-13	0	INVILUPPO_SLU		3886.247	1789.957	102.018	1789.957	24234.56	
tr-14	0	INVILUPPO_SLU		2776.64	2142.465	159.654	2142.465	19932.31	
tr-15	0	INVILUPPO_SLU		623.259	2950.086	287.551	2950.086	11563.74	
tr-16	0	INVILUPPO_SLU		0	8.39E-13	1.54E-13	8.385E-13	1.63E-11	

 Mmax. (fase III) = **28914** kN\*m

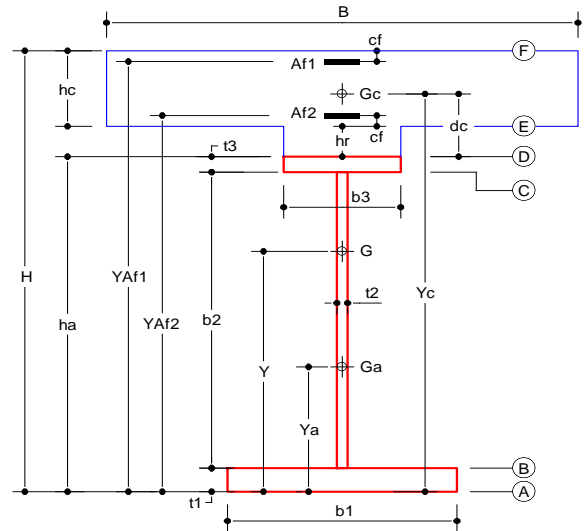
 Tmax. (fase II) = **2967** kN



**SEZ 1 (APP) - Tipo concio = VAR. H MIN**

*Dati sezione*

Trave in acciaio		
schema statico		trave appoggiata
H	3230	mm altezza totale sezione
ha	2800	mm altezza totale trave
b3	800	mm lunghezza piattab sup
t3	30	mm spessore piattab sup
b2	2740	mm altezza anima
t2	26	mm spessore anima
b1	1400	mm lunghezza piattab inf
t1	30	mm spessore piattab inf
	2	NUMERO TRAVI
i	3.6	m INTERASSE TRAVI
Aa	137240	mm <sup>2</sup> area acciaio
Ja	1.67E+11	mm <sup>4</sup> inerzia acciaio
ya	1218	mm baricentro trave
soletta		
hr	50	mm altezza cls su ala
hc	380	mm altezza cls
B	4850	mm larghezza collaborante
Ac	1.88E+06	mm <sup>2</sup> area cls
yc	3035	mm baricentro soletta
armatura		
nφ1	10	ferri sup in un metro
φ1	24	mm diametro ferri sup.
Af1	21941	mm <sup>2</sup> area armatura sup
if1	100	mm interfero
nφ2	5	ferri inf in un metro
φ2	24	mm diametro ferri inf.
Af2	21941	mm <sup>2</sup> area armatura inf
if2	100	mm interfero
cf	50	mm copriferro
yaf1	3180	mm baricentro ferri sup
yaf2	2912	mm baricentro ferri inf



195

n(L.T.)		n(B.T.)		BARICENTRI			
ya	1218	mm	baricentro trave	1196			
Y <sub>G</sub> BT	2521	mm	sez a mom positivo	2469			
Y <sub>G</sub> BT	1661	mm	sez a mom negativo	1661			
Y <sub>G</sub> LT	2171	mm	sez a mom positivo	2013			
Y <sub>G</sub> LT	1661	mm	sez a mom negativo	1661			
INERZIE							
Ja	1.67E+11	mm <sup>4</sup>	inerzia sola trave	1.62E+11			
Ja+s	4.96E+11	mm <sup>4</sup>	sez a mom positivo (BT)	4.65E+11			
Ja+f	2.79E+11	mm <sup>4</sup>	sez a mom negativo (BT)	2.79E+11			
Ja+s	4.07E+11	mm <sup>4</sup>	sez a mom positivo (LT)	3.35E+11			
Ja+f	2.79E+11	mm <sup>4</sup>	sez a mom negativo (LT)	2.79E+11			
			sez. lorda				sez. efficace

*Verifica*

1) sezione a momento flettente positivo (cls reagente)

		FASE 1	FASE 2	FASE 3	
mom. Flett.	M ed	-131.8	8827.4	847.9	kNm
taglio agente	T ed	-2096.0	-2885.2	-2967.0	kN

	fibra	σ FASE 1	σ FASE 2	σ FASE 3	σ TOT	σ limite	verificato	tasso di lavoro
ferri sup	Af1	0.00	-30.79	-1.30	-32.1	391.3	verificato	0.08
ferri inf	Af2	0.00	-23.71	-0.81	-24.5	391.3	verificato	0.06
cls sup	F	0.00	-1.82	-0.22	-2.0	18.8	verificato	0.11
cls inf	E	0.00	-1.25	-0.11	-1.4	18.8	verificato	0.07
piattab sup	D	1.31	-20.76	-0.60	-20.1	338.1	verificato	0.06
anima sup	C	1.28	-19.97	-0.55	-19.2	338.1	verificato	0.06
anima inf	B	-0.95	52.33	4.44	55.8	338.1	verificato	0.17
piattab inf	A	-0.97	53.12	4.50	56.6	338.1	verificato	0.17

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

σ id TOT	σ limite	verificato
32.1	391.3	verificato
24.5	391.3	verificato
2.0	18.8	verificato
1.4	18.8	verificato
22.7	338.1	verificato
196.0	338.1	verificato
210.8	338.1	verificato
58.6	338.1	verificato

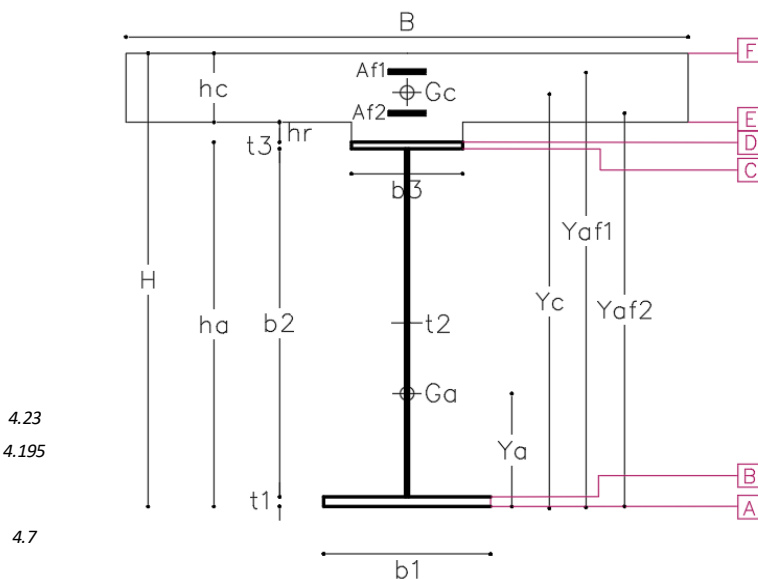
[Mpa] [Mpa]

		τ FASE 1	τ FASE 2	τ FASE 3	τ TOT	τ limite	verificato	tasso di lavoro
anima	C, D	-29.4	-40.5	-41.6	-111.6	195.2	verificato	0.57

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

**SEZ 2 - Tipo concio = VAR**
*Dati sezione*

Trave in acciaio		
schema statico		trave appoggiata
H	3530	mm altezza totale sezione
ha	3100	mm altezza totale trave
b3	800	mm lunghezza piattab sup
t3	30	mm spessore piattab sup
b2	3040	mm altezza anima
t2	26	mm spessore anima
b1	1400	mm lunghezza piattab inf
t1	30	mm spessore piattab inf
	2	NUMERO TRAVI
i	3.6	m INTERASSE TRAVI
Aa	149040	mm <sup>2</sup> area acciaio
Ja	2.18E+11	mm <sup>4</sup> inerzia acciaio
ya	1395	mm baricentro trave
soletta		
hr	50	mm altezza cls su ala
hc	380	mm altezza cls
B	4850	mm larghezza collaborante
Ac	1.88E+06	mm <sup>2</sup> area cls
yc	3335	mm baricentro soletta
armatura		
nφ1	10	ferri sup in un metro
φ1	24	mm diametro ferri sup.
Af1	21941	mm <sup>2</sup> area armatura sup
if1	100	mm interferro
nφ2	5	ferri inf in un metro
φ2	24	mm diametro ferri inf.
Af2	21941	mm <sup>2</sup> area armatura inf
if2	100	mm interferro
cf	50	mm copriferro
yaf1	3480	mm baricentro ferri sup
yaf2	3212	mm baricentro ferri inf


 4.23  
 4.195  
 4.7

	n(L.T.)	n(B.T.)	BARICENTRI			
ya	17.6	6.2	1395	mm	baricentro trave	1373
YG BT	soletta interam. reag.		2753	mm	sez a mom positivo	2696
YG BT	soletta interam. reag.		1839	mm	sez a mom negativo	1839
YG LT			2372	mm	sez a mom positivo	2205
YG LT			1839	mm	sez a mom negativo	1839
INERZIE						
Ja	0.22		2.18E+11	mm <sup>4</sup>	inerzia sola trave	2.12E+11
Ja+s	0.62		6.16E+11	mm <sup>4</sup>	sez a mom positivo (BT)	5.77E+11
Ja+f			3.48E+11	mm <sup>4</sup>	sez a mom negativo (BT)	3.48E+11
Ja+s	1.006E+12		5.03E+11	mm <sup>4</sup>	sez a mom positivo (LT)	4.16E+11
Ja+f			3.48E+11	mm <sup>4</sup>	sez a mom negativo (LT)	3.48E+11
			sez. lorda			sez. efficace

*Verifica*

1) sezione a momento flettente positivo (cls reagente)

		FASE 1	FASE 2	FASE 3	
mom. Flett.	Med	9236.6	21946.0	15102.6	kNm
taglio agente	Ted	-1662.9	-2411.0	-2177.9	kN

	fibra	σ FASE 1	σ FASE 2	σ FASE 3	σ TOT	σ limite	verificato	tasso di lavoro
ferri sup	Af1	0.00	-67.23	-20.53	-87.8	391.3	verificato	0.22
ferri inf	Af2	0.00	-53.10	-13.51	-66.6	391.3	verificato	0.17
cls sup	F	0.00	-3.96	-3.52	-7.5	18.8	verificato	0.40
cls inf	E	0.00	-2.82	-1.91	-4.7	18.8	verificato	0.25
piattab sup	D	-75.10	-47.19	-10.58	-132.9	338.1	verificato	0.39
anima sup	C	-73.79	-45.61	-9.80	-129.2	338.1	verificato	0.38
anima inf	B	58.39	114.69	69.82	242.9	338.1	verificato	0.72
piattab inf	A	59.69	116.27	70.60	246.6	338.1	verificato	0.73

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

σ id TOT	σ limite	verificato
87.8	391.3	verificato
66.6	391.3	verificato
7.5	18.8	verificato
4.7	18.8	verificato
132.9	338.1	verificato
200.8	338.1	verificato
279.7	338.1	verificato
246.6	338.1	verificato

[Mpa] [Mpa]

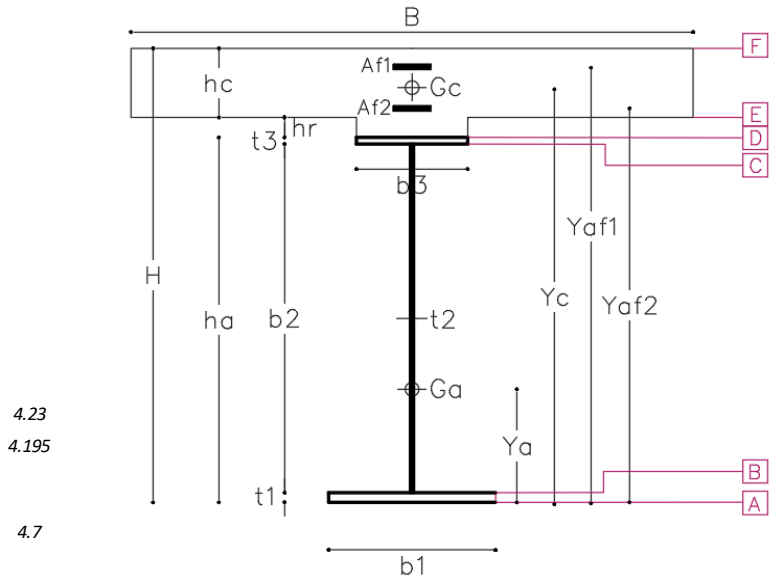
		τ FASE 1	τ FASE 2	τ FASE 3	τ TOT	τ limite	verificato	tasso di lavoro
anima	C, D	-21.0	-30.5	-27.6	-79.1	195.2	verificato	0.41

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

SEZ 3 - Tipo concio = VAR. Hmax

Dati sezione

Trave in acciaio			
schema statico		trave appoggiata	
H	4430	mm	altezza totale sezione
ha	4000	mm	altezza totale trave
b3	800	mm	lunghezza piattab sup
t3	30	mm	spessore piattab sup
b2	3940	mm	altezza anima
t2	26	mm	spessore anima
b1	1400	mm	lunghezza piattab inf
t1	30	mm	spessore piattab inf
	2		NUMERO TRAVI
i	3.6	m	INTERASSE TRAVI
Aa	172440	mm <sup>2</sup>	area acciaio
Ja	3.88E+11	mm <sup>4</sup>	inerzia acciaio
ya	1809	mm	baricentro trave
soletta			
hr	50	mm	altezza cls su ala
hc	380	mm	altezza cls
B	4850	mm	larghezza collaborante
Ac	1.88E+06	mm <sup>2</sup>	area cls
yc	4235	mm	baricentro soletta
armatura			
nφ1	10		ferri sup in un metro
φ1	24	mm	diametro ferri sup.
Af1	21941	mm <sup>2</sup>	area armatura sup
if1	100	mm	interferro
nφ2	5		ferri inf in un metro
φ2	24	mm	diametro ferri inf.
Af2	21941	mm <sup>2</sup>	area armatura inf
if2	100	mm	interferro
cf	50	mm	copriferro
yaf1	4380	mm	baricentro ferri sup
yaf2	4112	mm	baricentro ferri inf



4.23  
4.195  
4.7

n(L.T.)		n(B.T.)		BARICENTRI			
ya	1809	mm	baricentro trave	1809			
YG BT	3431	mm	sez a mom positivo	3431			
YG BT	2303	mm	sez a mom negativo	2303			
YG LT	2942	mm	sez a mom positivo	2942			
YG LT	2303	mm	sez a mom negativo	2303			
INERZIE							
Ja	3.88E+11	mm <sup>4</sup>	inerzia sola trave	3.88E+11			
Ja+s	1.07E+12	mm <sup>4</sup>	sez a mom positivo (BT)	1.07E+12			
Ja+f	5.97E+11	mm <sup>4</sup>	sez a mom negativo (BT)	5.97E+11			
Ja+s	8.65E+11	mm <sup>4</sup>	sez a mom positivo (LT)	8.65E+11			
Ja+f	5.97E+11	mm <sup>4</sup>	sez a mom negativo (LT)	5.97E+11			
			sez. lorda				sez. efficace

Verifica

1) sezione a momento flettente positivo (cls reagente)

		FASE 1	FASE 2	FASE 3		
mom. Flett.	M ed	15151.1	29830.7	20749.9	kNm	
taglio agente	T ed	-1326.9	-1533.1	-1712.6	kN	

fibra	σ FASE 1	σ FASE 2	σ FASE 3	σ TOT	σ limite	fibra	tasso di lavoro	
ferri sup	Af1	0.00	-49.61	-18.38	-68.0	391.3	verificato	0.17
ferri inf	Af2	0.00	-40.36	-13.19	-53.6	391.3	verificato	0.14
cls sup	F	0.00	-2.91	-3.11	-6.0	18.8	verificato	0.32
cls inf	E	0.00	-2.17	-1.93	-4.1	18.8	verificato	0.22
piattab sup	D	-85.50	-36.50	-11.02	-133.0	338.1	verificato	0.39
anima sup	C	-84.33	-35.47	-10.44	-130.2	338.1	verificato	0.39
anima inf	B	69.43	100.42	65.84	235.7	338.1	verificato	0.70
piattab inf	A	70.60	101.46	66.42	238.5	338.1	verificato	0.71

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

σ id TOT	σ limite	
68.0	391.3	verificato
53.6	391.3	verificato
6.0	18.8	verificato
4.1	18.8	verificato
133.0	338.1	verificato
177.0	338.1	verificato
256.9	338.1	verificato
238.5	338.1	verificato

[Mpa] [Mpa]

	τ FASE 1	τ FASE 2	τ FASE 3	τ TOT	τ limite			
anima	C, D	-16.8	-19.4	-21.7	-57.9	195.2	verificato	0.30

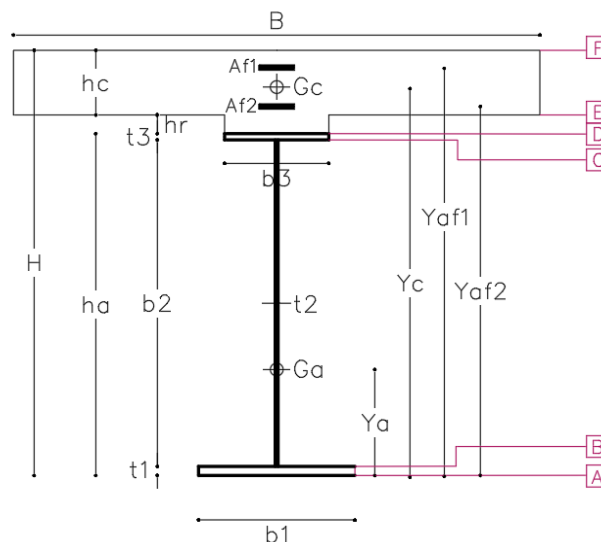
[Mpa] [Mpa] [Mpa] [Mpa] [Mpa]

**SEZ 4 - Tipo concio = laterale**

*Dati sezione*

Trave in acciaio			
schema statico		trave appoggiata	
H	4430	mm	altezza totale sezione
ha	4000	mm	altezza totale trave
b3	800	mm	lunghezza piattab sup
t3	35	mm	spessore piattab sup
b2	3930	mm	altezza anima
t2	26	mm	spessore anima
b1	1400	mm	lunghezza piattab inf
t1	35	mm	spessore piattab inf
	2		NUMERO TRAVI
i	3.6	m	INTERASSE TRAVI
Aa	183180	mm <sup>2</sup>	area acciaio
Ja	4.30E+11	mm <sup>4</sup>	inerzia acciaio
ya	1795	mm	baricentro trave
soletta			
hr	50	mm	altezza cls su ala
hc	380	mm	altezza cls
B	4850	mm	larghezza collaborante
Ac	1.88E+06	mm <sup>2</sup>	area cls
yc	4235	mm	baricentro soletta
armatura			
nφ1	10		ferri sup in un metro
φ1	24	mm	diametro ferri sup.
Af1	21941	mm <sup>2</sup>	area armatura sup
if1	100	mm	interferro
nφ2	5		ferri inf in un metro
φ2	24	mm	diametro ferri inf.
Af2	21941	mm <sup>2</sup>	area armatura inf
if2	100	mm	interferro
cf	50	mm	copriferro
yaf1	4380	mm	baricentro ferri sup
yaf2	4112	mm	baricentro ferri inf

irrigidimento long  
L 200  
sp 20  
yg 3000



armatura		n(L.T.)	n(B.T.)	BARICENTRI				
nφ1	10		17.6	6.2	ya	1795 mm	baricentro trave	1767
φ1	24 mm		soletta interam. reag.		Y <sub>G</sub> BT	3393 mm	sez a mom positivo	3316
Af1	21941 mm <sup>2</sup>		soletta interam. reag.		Y <sub>G</sub> BT	2268 mm	sez a mom negativo	2268
if1	100 mm				Y <sub>G</sub> LT	2897 mm	sez a mom positivo	2693
nφ2	5				Y <sub>G</sub> LT	2268 mm	sez a mom negativo	2268
φ2	24 mm				INERZIE			
Af2	21941 mm <sup>2</sup>		0.43		Ja	4.30E+11 mm <sup>4</sup>	inerzia sola trave	4.19E+11
if2	100 mm		1.15		Ja+s	1.15E+12 mm <sup>4</sup>	sez a mom positivo (BT)	1.07E+12
cf	50 mm				Ja+f	6.44E+11 mm <sup>4</sup>	sez a mom negativo (BT)	6.44E+11
yaf1	4380 mm				Ja+s	9.26E+11 mm <sup>4</sup>	sez a mom positivo (LT)	7.71E+11
yaf2	4112 mm		1.853E+12		Ja+f	6.44E+11 mm <sup>4</sup>	sez a mom negativo (LT)	6.44E+11
						sez. lorda		sez. efficace

*Verifica*

1) sezione a momento flettente positivo (cls reagente)

		FASE 1	FASE 2	FASE 3	
mom. Flett.	<b>M ed</b>	24122.3	39902.0	28661.0	kNm
taglio agente	<b>T ed</b>	-404.2	-661.0	-1068.0	kN

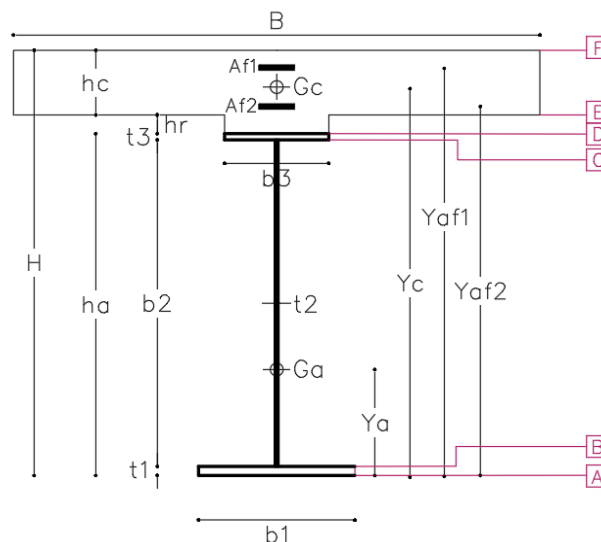
	fibra	σ FASE 1	σ FASE 2	σ FASE 3	σ TOT	σ limite	verificato	tasso di lavoro
ferri sup	Af1	0.00	-87.32	-28.41	-115.7	391.3	verificato	0.30
ferri inf	Af2	0.00	-73.45	-21.25	-94.7	391.3	verificato	0.24
cls sup	F	0.00	-5.10	-4.79	-9.9	18.8	verificato	0.53
cls inf	E	0.00	-3.98	-3.15	-7.1	18.8	verificato	0.38
piattab sup	D	-128.48	-67.65	-18.26	-214.4	338.1	verificato	0.63
anima sup	C	-126.47	-65.84	-17.33	-209.6	338.1	verificato	0.62
anima inf	B	99.63	137.60	87.60	324.8	338.1	verificato	0.96
piattab inf	A	101.64	139.42	88.54	329.6	338.1	verificato	0.97

σ id TOT	σ limite	verificato
115.7	391.3	verificato
94.7	391.3	verificato
9.9	18.8	verificato
7.1	18.8	verificato
214.4	338.1	verificato
218.5	338.1	verificato
327.4	338.1	verificato
329.6	338.1	verificato

		τ FASE 1	τ FASE 2	τ FASE 3	τ TOT	τ limite	verificato	tasso di lavoro
anima	C, D	-4.0	-6.5	-10.5	-20.9	195.2	verificato	0.11

**SEZ 5 - Tipo concio = CENTRALE**
*Dati sezione*

Trave in acciaio			
schema statico		trave appoggiata	
H	4430	mm	altezza totale sezione
ha	4000	mm	altezza totale trave
b3	800	mm	lunghezza piattab sup
t3	40	mm	spessore piattab sup
b2	3920	mm	altezza anima
t2	22	mm	spessore anima
b1	1400	mm	lunghezza piattab inf
t1	40	mm	spessore piattab inf
	2		NUMERO TRAVI
i	3.6	m	INTERASSE TRAVI
Aa	178240	mm <sup>2</sup>	area acciaio
Ja	4.50E+11	mm <sup>4</sup>	inerzia acciaio
ya	1758	mm	baricentro trave
soletta			
hr	50	mm	altezza cls su ala
hc	380	mm	altezza cls
B	4850	mm	larghezza collaborante
Ac	1.88E+06	mm <sup>2</sup>	area cls
yc	4235	mm	baricentro soletta
armatura			
nφ1	10		ferri sup in un metro
φ1	24	mm	diametro ferri sup.
Af1	21941	mm <sup>2</sup>	area armatura sup
if1	100	mm	interferro
nφ2	5		ferri inf in un metro
φ2	24	mm	diametro ferri inf.
Af2	21941	mm <sup>2</sup>	area armatura inf
if2	100	mm	interferro
cf	50	mm	copriferro
yaf1	4380	mm	baricentro ferri sup
yaf2	4112	mm	baricentro ferri inf

 irrigidimento long  
 L 200  
 sp 20  
 yg 3000


n(L.T.)		n(B.T.)		BARICENTRI			
ya	1758	mm	baricentro trave	1743			
Y <sub>G</sub> BT	3396	mm	sez a mom positivo	3324			
Y <sub>G</sub> BT	2250	mm	sez a mom negativo	2245			
Y <sub>G</sub> LT	2894	mm	sez a mom positivo	2688			
Y <sub>G</sub> LT	2250	mm	sez a mom negativo	2245			
INERZIE							
Ja	4.50E+11	mm <sup>4</sup>	inerzia sola trave	4.48E+11			
Ja+s	1.18E+12	mm <sup>4</sup>	sez a mom positivo (BT)	1.10E+12			
Ja+f	6.69E+11	mm <sup>4</sup>	sez a mom negativo (BT)	6.68E+11			
Ja+s	9.54E+11	mm <sup>4</sup>	sez a mom positivo (LT)	7.97E+11			
Ja+f	6.69E+11	mm <sup>4</sup>	sez a mom negativo (LT)	6.68E+11			
		sez. lorda					sez. efficace

*Verifica*

1) sezione a momento flettente positivo (cls reagente)

		FASE 1	FASE 2	FASE 3		
mom. Flett.	Med	25034.1	40889.3	28914.3	kNm	
taglio agente	Ted	360.8	637.3	1151.6	kN	

fibra	σ FASE 1	σ FASE 2	σ FASE 3	σ TOT	σ limite	verificato	tasso di lavoro
ferri sup	Af1	0.0	-86.8	-27.7	-114.5	391.3	0.29
ferri inf	Af2	0.0	-73.0	-20.7	-93.7	391.3	0.24
cls sup	F	0.0	-5.1	-4.7	-9.7	18.8	0.52
cls inf	E	0.0	-4.0	-3.1	-7.0	18.8	0.37
piattab sup	D	-126.2	-67.3	-17.7	-211.2	338.1	0.62
anima sup	C	-124.0	-65.2	-16.7	-205.9	338.1	0.61
anima inf	B	95.2	135.8	86.1	317.2	338.1	0.94
piattab inf	A	97.4	137.9	87.2	322.5	338.1	0.95

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

σ id TOT	σ limite	verificato
114.5	391.3	verificato
93.7	391.3	verificato
9.7	18.8	verificato
7.0	18.8	verificato
211.2	338.1	verificato
220.1	338.1	verificato
321.4	338.1	verificato
322.5	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	4.4	7.7	13.9	26.0	195.2	0.13

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

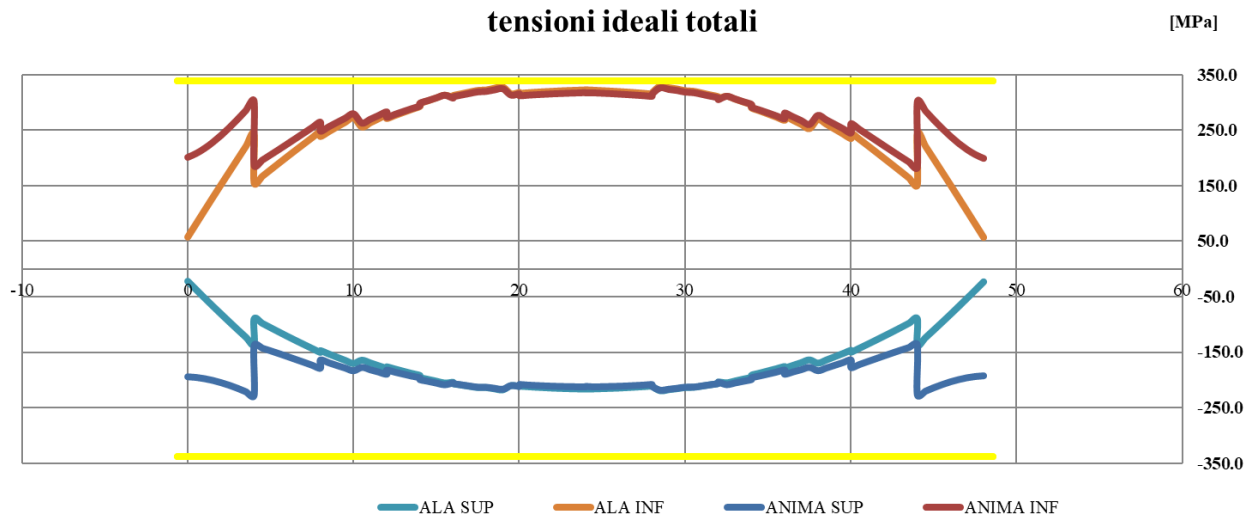
U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

*Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD. DOC.	PROG. REV.	FOGLIO
RS3U	40	D	09	CL VI0007	002 B	38 di 69

## FUSO DELLE TENSIONI

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



Le verifiche risultano soddisfatte.

## 6.4.2 VERIFICHE DIAFRAMMI

### 6.4.2.1 Diaframmi correnti

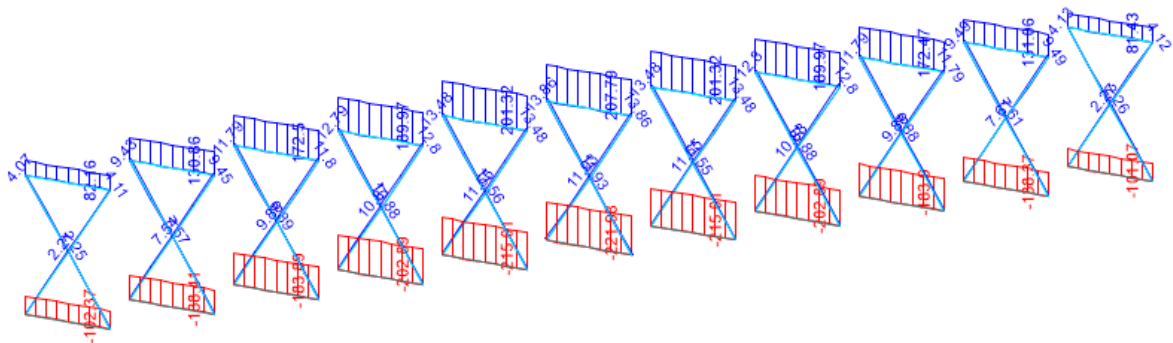
I correnti superiori ed i diagonali che compongono i diaframmi correnti sono profili 2L 100 x 10

I correnti inferiori sono profili 2L 120 x 12

Section Name	2L100X10/10/		Display Color	
<b>Properties</b>				
Cross-section (axial) area	3831.	Section modulus about 3 axis	49219.84	
Moment of Inertia about 3 axis	3533000.	Section modulus about 2 axis	73923.81	
Moment of Inertia about 2 axis	7762000.	Plastic modulus about 3 axis	90950.	
Product of Inertia about 2-3	0.	Plastic modulus about 2 axis	127300.	
Shear area in 2 direction	2000.	Radius of Gyration about 3 axis	30.368	
Shear area in 3 direction	1660.	Radius of Gyration about 2 axis	45.0123	
Torsional constant	126700.	Shear Center Eccentricity (x3)	0.	

Section Name	2L120X12/12/		
<b>Properties</b>			
Cross-section (axial) area	5508.	Section modulus about 3 axis	85460.25
Moment of Inertia about 3 axis	7353000.	Section modulus about 2 axis	128174.6
Moment of Inertia about 2 axis	16150000.	Plastic modulus about 3 axis	157200.
Product of Inertia about 2-3	0.	Plastic modulus about 2 axis	220100.
Shear area in 2 direction	2880.	Radius of Gyration about 3 axis	36.5372
Shear area in 3 direction	2390.	Radius of Gyration about 2 axis	54.1489
Torsional constant	262700.	Shear Center Eccentricity (x3)	0.

### Fase 1

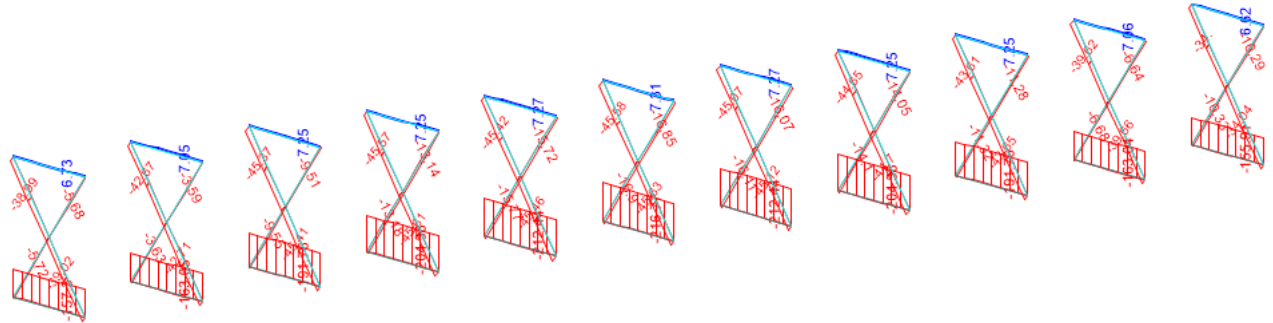


U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

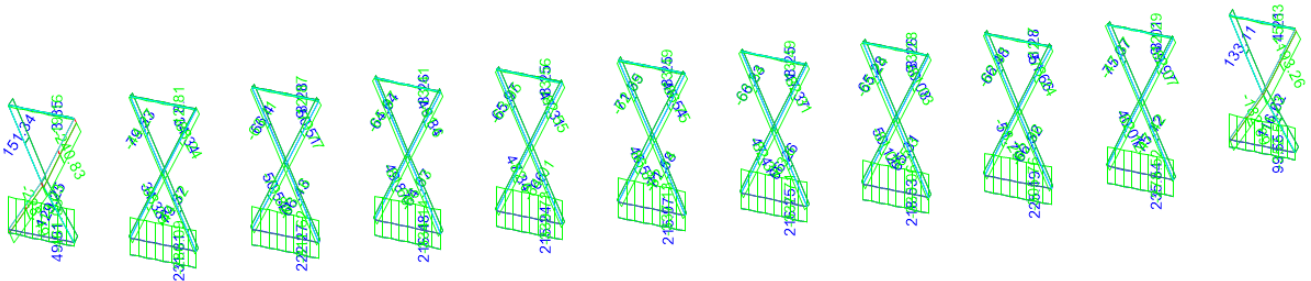
Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario  
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 40 di 69

### Fase 2



### Fase 3



## CORRENTI SUPERIORI

### Fase 1

$$N_{Ed\ 1t} = 207.8\ \text{kN}$$

$$N_{Ed\ 1c} = 0\ \text{kN}$$

### Fase 2

$$N_{Ed\ 2t} = 7\ \text{kN}$$

$$N_{Ed\ 2c} = 0\ \text{kN}$$

### Fase 3

$$N_{Ed\ 3t} = 8\ \text{kN}$$

$$N_{Ed\ 3c} = -19\ \text{kN}$$

TRAZIONE			
$N_{Ed}$	223	kN	sollecitazione agente
$f_{yk}$	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	3800	mm <sup>2</sup>	area sezione lorda
$A_n$	2850	mm <sup>2</sup>	area sezione netta (senza fori dei collegam.)
$N_{pl,Rd}$	1285	kN	res pl della sez lorda
$N_{u,Rd}$	1047	kN	res a rottura della sez netta

$N_{t,Rd}$	1047	kN	res a rottura per trazione della sez
$N_{Ed} / N_{t,Rd} \leq 1$	✓		verifica soddisfatta



**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

*Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 41 di 69

## CORRENTI INFRIORI

### Fase 1

$N_{Ed\ 1t} = 0$  kN

$N_{Ed\ 1c} = -122$  kN

### Fase 2

$N_{Ed\ 2t} = 0$  kN

$N_{Ed\ 2c} = -217$  kN

### Fase 3

$N_{Ed\ 3t} = 234$  kN

$N_{Ed\ 3c} = -461$  kN

La verifica a trazione sarà soddisfatta come riportato per il corrente sup.

Stabilità delle aste compresse - nel piano			
E =	210000	MPa	modulo elastico
$N_{ed}$ =	800	kN	sollecitazione agente
$f_{yk}$ =	355	MPa	resistenza di calcolo
A =	5508	mm <sup>2</sup>	area della sezione
L =	3600	mm	lunghezza dell'asta
J =	7353000	mm <sup>4</sup>	inerzia della sezione
$\gamma_{m1}$ =	1.05	-	coeff. SLU
A eff=	5508	mm <sup>2</sup>	area efficace della sezione
$\chi$ =	0.43	OK	
$\phi$ =	2		
$\alpha$ =	0.34	TAB 4.2.VI	fattore di imperfezione
$\lambda$ =	1.3		snellezza adimensionale
$\beta$ =	1.00		riduz lugh libera d'inflessione
$L_0$ =	3600	mm	lunghezza libera d'inflessione
Ncr =	1175922	N	carico critico euleriano
$\nu$ =	0.20		coeff di Poisson
non si possono trascurare i fenomeni di instabilità per aste compresse			
$N_{b,Rd}$ =	804.4	kN	
$N_{b,Rd} \geq N_{ed}$		✓	verifica soddisfatta

Stabilità delle aste compresse - fuori piano			
E =	210000	MPa	modulo elastico
$N_{ed}$ =	800	kN	sollecitazione agente
$f_{yk}$ =	355	MPa	resistenza di calcolo
A =	5508	mm <sup>2</sup>	area della sezione
L =	3600	mm	lunghezza dell'asta
J =	16150000	mm <sup>4</sup>	inerzia della sezione
$\gamma_{m1}$ =	1.05	-	coeff. SLU
A eff=	5508	mm <sup>2</sup>	area efficace della sezione
$\chi$ =	0.68	OK	
$\phi$ =	1		
$\alpha$ =	0.34	TAB 4.2.VI	fattore di imperfezione
$\lambda$ =	0.9		snellezza adimensionale
$\beta$ =	1.00		riduz lugh libera d'inflessione
$L_0$ =	3600	mm	lunghezza libera d'inflessione
Ncr =	2582775	N	carico critico euleriano
$\nu$ =	0.20		coeff di Poisson
non si possono trascurare i fenomeni di instabilità per aste compresse			
$N_{b,Rd}$ =	1267.0	kN	
$N_{b,Rd} \geq N_{ed}$		✓	verifica soddisfatta

## DIAGONALI

### Fase 1

$N_{Ed\ 1t} = 13.86$  kN

$N_{Ed\ 1c} = 0$  kN

### Fase 2

$N_{Ed\ 2t} = 0$  kN

$N_{Ed\ 2c} = -45.6$  kN

### Fase 3

$N_{Ed\ 3t} = 151$  kN

$N_{Ed\ 3c} = -241$  kN

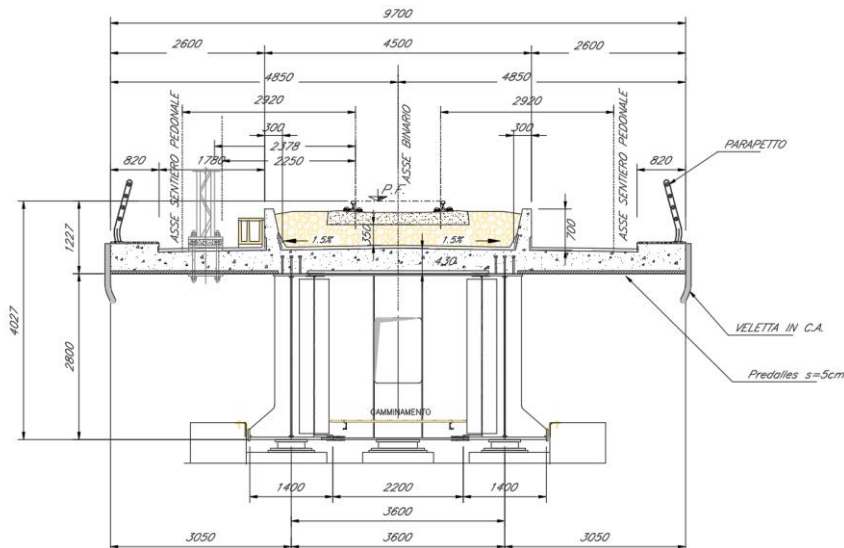
La verifica a trazione sarà soddisfatta come riportato per il corrente sup.

Stabilità delle aste compresse - nel piano			
E =	210000	MPa	modulo elastico
N <sub>ed</sub> =	301	kN	sollecitazione agente
f <sub>yk</sub> =	355	MPa	resistenza di calcolo
A =	3831	mm <sup>2</sup>	area della sezione
L =	5400	mm	lunghezza dell'asta
J =	3533000	mm <sup>4</sup>	inerzia della sezione
γ <sub>m1</sub> =	1.05	-	coeff. SLU
A eff =	3831	mm <sup>2</sup>	area efficace della sezione
χ =	0.50	OK	
φ =	1		
α =	0.34	<a href="#">TAB 4.2.VI</a>	fattore di imperfezione
λ =	1.2		snellezza adimensionale
β =	0.50		riduz lugh libera d'inflessione
L <sub>0</sub> =	2700	mm	lunghezza libera d'inflessione
N <sub>cr</sub> =	1004466	N	carico critico euleriano
ν =	0.20		coeff di Poisson
non si possono trascurare i fenomeni di instabilità per aste compresse			
N <sub>b,Rd</sub> =	645.4	kN	
N <sub>b,Rd</sub> ≥ N <sub>ed</sub>		✓	<b>verifica soddisfatta</b>

Stabilità delle aste compresse - fuori piano			
E =	210000	MPa	modulo elastico
N <sub>ed</sub> =	301	kN	sollecitazione agente
f <sub>yk</sub> =	355	MPa	resistenza di calcolo
A =	3831	mm <sup>2</sup>	area della sezione
L =	5400	mm	lunghezza dell'asta
J =	7762000	mm <sup>4</sup>	inerzia della sezione
γ <sub>m1</sub> =	1.05	-	coeff. SLU
A eff =	3831	mm <sup>2</sup>	area efficace della sezione
χ =	0.32	OK	
φ =	2		
α =	0.34	<a href="#">TAB 4.2.VI</a>	fattore di imperfezione
λ =	1.6		snellezza adimensionale
β =	1.00		riduz lugh libera d'inflessione
L <sub>0</sub> =	5400	mm	lunghezza libera d'inflessione
N <sub>cr</sub> =	551703	N	carico critico euleriano
ν =	0.20		coeff di Poisson
non si possono trascurare i fenomeni di instabilità per aste compresse			
N <sub>b,Rd</sub> =	411.5	kN	
N <sub>b,Rd</sub> ≥ N <sub>ed</sub>		✓	<b>verifica soddisfatta</b>

### 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 a una distanza dall'asse trave pari a circa 1m.



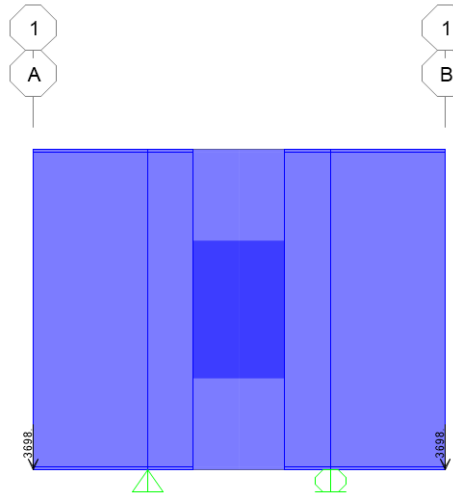
Il traverso pieno presenta un'anima con spessore 30mm e ali 400x20, passo d'uomo 800x1200mm<sup>2</sup>.

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

*Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

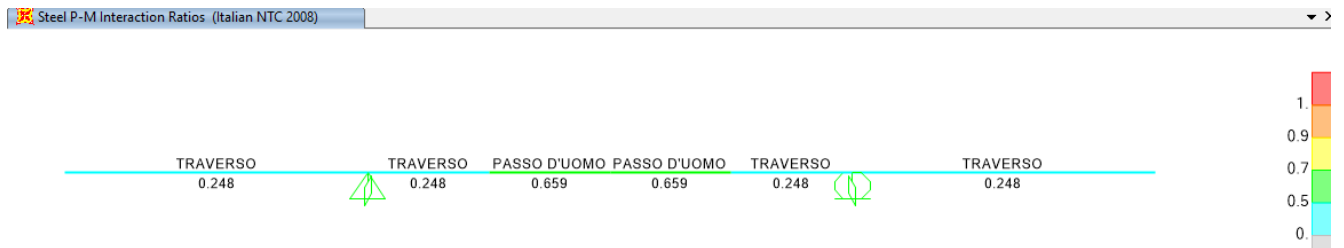
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD. DOC.	PROG. REV.	FOGLIO
RS3U	40	D	09	CL VI0007	002 B	43 di 69

Carichi perm travi:



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

Verifica:



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

Units : KN, m, C

Frame : 4	X Mid: 0.200	Combo: SLU	Design Type: Beam
Length: 0.400	Y Mid: 0.000	Shape: PASSO D'UOMO	Frame Type: DCH-MRF
Loc : 0.400	Z Mid: 0.000	Class: Class 3	Rolled : No

Interaction=Method B      MultiResponse=Envelopes      P-Delta Done? No

GammaM0=1.05	GammaM1=1.05	GammaM2=1.25	
An/Ag=1.00	RLLF=1.000	PLLF=0.750	D/C Lim=0.950

Aeff=0.063	eNy=0.000	eNz=0.000		
A=0.063	Iyy=0.079	iyz=1.123	Wel,yy=0.057	Weff,yy=0.057
It=1.623E-05	Izz=2.168E-04	izz=0.059	Wel,zz=0.001	Weff,zz=0.001
Iw=0.000	Iyz=0.000	h=2.800	Wpl,yy=0.069	Av,y=0.016
E=210000000.0	fy=355000.000	fu=510000.000	Wpl,zz=0.002	Av,z=0.063

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0.400	0.000	-4995.568	0.000	2.610	0.000	0.000

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

D/C Ratio: 0.659 = 0.000 + 0.659 + 0.000 < 0.950 OK  
= NEd/(Chi\_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi\_LT My,Rk/GammaM1)  
+ kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (NTC Eq C4.2.38)

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**
*Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

 PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
 RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 44 di 69

## AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc, Rd	Nt, Rd				
	Force	Capacity	Capacity				
Axial	0.000	21232.381	21232.381				
	Npl, Rd	Nu, Rd	Ncr, T	Ncr, TF	An/Ag		
	21232.381	23060.160	1037.045	1037.045	1.000		
Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb, Rd	
Major (y-y)	c 0.490	64085617.6	0.019	0.456	1.000	21232.381	
MajorB (y-y)	c 0.490	64085617.6	0.019	0.456	1.000	21232.381	
Minor (z-z)	c 0.490	175559.829	0.356	0.602	0.920	19537.498	
MinorB (z-z)	c 0.490	175559.829	0.356	0.602	0.920	19537.498	
Torsional TF	c 0.490	1037.045	4.637	12.336	0.042	893.355	

## MOMENT DESIGN

	Med	Med, span	Mm, Ed	Meq, Ed		
	Moment	Moment	Moment	Moment		
Major (y-y)	-4995.568	-4995.568	-4995.307	-4995.359		
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)	19115.802	19115.802	19115.802	19115.802		
Minor (z-z)	366.568	366.568	366.568			
Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	psi	Mcr
LTB	d 0.760	1.150	1.523	0.397	1.000	15170.044
	kyy	kzy	kzy	kzz		
Factors	1.000	1.000	1.000	1.000		

## SHEAR DESIGN

	Ved	Vc, Rd	Stress	Status	Ted
	Force	Capacity	Ratio	Check	Torsion
Major (z)	2.610	12258.515	0.000	OK	0.000
Minor (y)	0.000	3126.035	0.000	OK	0.000
	Vpl, Rd	Eta	LambdaBarW		
Reduction	12258.515	1.000	0.000		

## CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

	VMajor	VMajor
	Left	Right
Major (V2)	0.000	2.610

Come si evince dai tassi di lavoro, la verifica risulta soddisfatta.

## 6.4.3 VERIFICA CONTROVENTI

### 6.4.3.1 Controventi superiori

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.

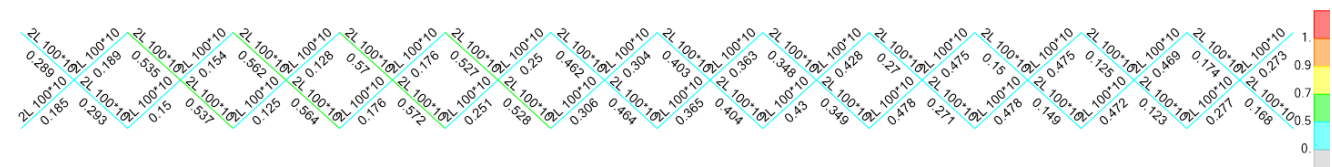
$$q_w = 2.6 \text{ kN/m}^2$$

Si riporta la verifica effettuata direttamente con software di calcolo sap2000 che risulta soddisfatta come si evince dai tassi di lavoro riportati anche in tabella.

I profili sono tutti 2L100\*10



VERIFICA SLU:



Frame	DesignSect	DesignType	Status	Ratio	Frame	DesignSect	DesignType	Status	Ratio
Text	Text	Text	Text	Unitless	Text	Text	Text	Text	Unitless
b189	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.185</b>	b213	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.365</b>
b190	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.189</b>	b214	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.363</b>
b191	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.289</b>	b215	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.403</b>
b192	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.293</b>	b216	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.404</b>
b193	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.150</b>	b217	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.430</b>
b194	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.154</b>	b218	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.428</b>
b195	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.535</b>	b219	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.348</b>
b196	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.537</b>	b220	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.349</b>
b197	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.125</b>	b221	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.478</b>
b198	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.128</b>	b222	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.475</b>
b199	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.562</b>	b223	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.270</b>
b200	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.564</b>	b224	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.271</b>
b201	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.176</b>	b225	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.478</b>
b202	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.176</b>	b226	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.475</b>
b203	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.570</b>	b227	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.150</b>
b204	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.572</b>	b228	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.149</b>
b205	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.251</b>	b229	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.472</b>
b206	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.250</b>	b230	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.469</b>
b207	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.527</b>	b231	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.125</b>
b208	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.528</b>	b232	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.123</b>
b209	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.306</b>	b233	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.277</b>
b210	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.304</b>	b234	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.273</b>
b211	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.462</b>	b235	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.174</b>
b212	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.464</b>	b236	2L 100*10	Beam	No Messages	<b>0.168</b>

### 6.4.3.2 Controventi inferiori

Si è effettuata la verifica nel modello globale tenendo conto delle sollecitazioni delle 3 fasi di calcolo.

Gli elementi di controvento saranno collegati attraverso bullonatura tra le ali dei profili ad L e un'apposita piastra da prevedersi in corrispondenza delle piattabande inferiori delle travi. Pertanto, lo sforzo assiale estratto da modello dovrà essere applicato al profilo, per le verifiche con un'eccentricità pari a 20 mm.

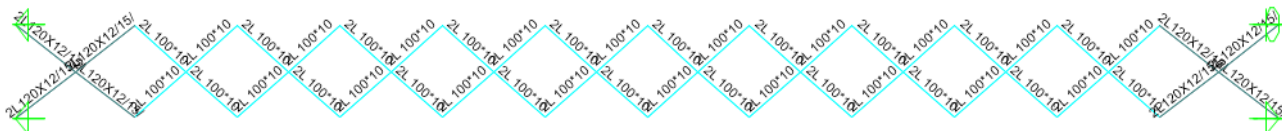
Verifica instabilità elementi soggetti a compressione e flessione - Sezioni di classe 1-2

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} A \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z M_{y,Sd}}{W_{pl,z} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2\beta_{My} - 4) + \left[ \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} \right] \quad \mu_z = \bar{\lambda}_z (2\beta_{Mz} - 4) + \left[ \frac{W_{pl,z} - W_{el,z}}{W_{el,z}} \right]$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Sd}}{\chi_v A f_v} \quad k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{Sd}}{\chi_z A f_y}$$

cv testata (2L 120x12)



#### FASE1

$N_{Ed\ 1t} = 78\text{ kN}$

$N_{Ed\ 1c} = 0\text{ kN}$

#### FASE2

$N_{Ed\ 2t} = 272\text{ kN}$

$N_{Ed\ 2c} = -61$

#### FASE3

$N_{Ed\ 3t} = 930\text{ kN}$

$N_{Ed\ 3c} = -505\text{ kN}$

TRAZIONE			
$N_{Ed} =$	1280	kN	sollecitazione agente
$f_{yk} =$	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
$A =$	5500	mm <sup>2</sup>	area sezione lorda
$A_n =$	4125	mm <sup>2</sup>	area sezione netta (senza fori dei collegam.)
$N_{pl,Rd} =$	1860	kN	res pl della sez lorda
$N_{u,Rd} =$	1515	kN	res a rottura della sez netta

$N_{t,Rd} =$	1515	kN	res a rottura per trazione della sez
$N_{Ed} / N_{t,Rd} \leq 1$	✓		verifica soddisfatta

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

*Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 47 di 69

### Stabilità delle aste compresse yy

E =	210000	MPa	modulo elastico		
N <sub>ed</sub> =	566.0	kN	sollecitazione agente		
f <sub>yk</sub> =	355	MPa	resistenza di calcolo		
A =	5508	mm <sup>2</sup>	area della sezione		
L =	5500	mm	lunghezza dell'asta		
J =	7.35E+06	mm <sup>4</sup>	inerzia della sezione		
γ <sub>m1</sub> =	1.05	-	coeff. SLU		
A eff=	5508	mm <sup>2</sup>	area efficace della sezione		
χ =	0.61	OK	dip da sezione e tipo di acciaio		
φ =	1.119				
α =	0.34	TAB 4.2.VI	fattore di imperfezione		
λ =	0.985		snellezza adimensionale		
β =	0.50		riduz lugh libera d'inflessione		
L <sub>0</sub> =	2750	mm	lunghezza libera d'inflessione	μ y	-0.935
N <sub>cr</sub> =	2014378	N	carico critico euleriano	W <sub>ply</sub> (cm <sup>3</sup> )	157.2
ν =	0.20		coeff di Poisson	W <sub>ely</sub> (cm <sup>3</sup> )	85.5
non si possono trascurare i fenomeni di instabilità per aste compresse				κ y	1.446
N <sub>b,Rd</sub> =	1129.3	kN			
$N_{b,Rd} \geq N_{ed}$			✓	verifica soddisfatta	

### Stabilità delle aste compresse zz

E =	210000	MPa	modulo elastico		
N <sub>ed</sub> =	566.0	kN	sollecitazione agente		
f <sub>yk</sub> =	355	MPa	resistenza di calcolo		
A =	5508	mm <sup>2</sup>	area della sezione		
L =	5500	mm	lunghezza dell'asta		
J =	1.62E+07	mm <sup>4</sup>	inerzia della sezione		
γ <sub>m1</sub> =	1.05	-	coeff. SLU		
A eff=	5508	mm <sup>2</sup>	area efficace della sezione		
χ =	0.80	OK	dip da sezione e tipo di acciaio		
φ =	0.799				
α =	0.34	TAB 4.2.VI	fattore di imperfezione		
λ =	0.664		snellezza adimensionale		
β =	0.50		riduz lugh libera d'inflessione		
L <sub>0</sub> =	2750	mm	lunghezza libera d'inflessione	μ z	-0.4776875
N <sub>cr</sub> =	4439854	N	carico critico euleriano	W <sub>plz</sub> (cm <sup>3</sup> )	220.1
ν =	0.20		coeff di Poisson	W <sub>elz</sub> (cm <sup>3</sup> )	128.2
non si possono trascurare i fenomeni di instabilità per aste compresse				κ z	1.1720
N <sub>b,Rd</sub> =	1496.9	kN			
$N_{b,Rd} \geq N_{ed}$			✓	verifica soddisfatta	

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

*Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 48 di 69

### Stabilità delle travi inflesse

E =	210000	MPa	modulo elastico
M <sub>ed</sub> =	11.32	kNm	max momento flettente di calcolo
f <sub>yk</sub> =	355	MPa	resistenza di calcolo
γ <sub>m</sub> =	1.05		coeff. SLU
f <sub>yd</sub> =	338	MPa	resistenza di progetto
W <sub>y</sub> =	157200	mm <sup>3</sup>	modulo res
χ <sub>LT</sub> =	0.957		dip da sezione e tipo di acciaio
f =	1.00		
φ =	0.57		
β =	1.00	min 0.75	riduz lugh libera d'inflexione
λ <sub>LT</sub> =	0.320		snellezza adimensionale
kc =	1.00	<u>TAB 4.2.VIII</u>	
M <sub>cr</sub> =	5.46E+08	Nmm	mom critico el di instab torsionale
λ <sub>LT,0</sub> =	0.2	max 0.4	
α =	0.34	<u>TAB 4.2.VI</u>	fattore di imperfezione
M <sub>bRd</sub> =	50.85	kNm	momento resistente
<i>M<sub>bRd</sub> ≥ M<sub>ed</sub></i> ✓ <b>verifica soddisfatta</b>			

Verifica instabilità elementi soggetti a compressione e flessione - Sezioni di classe 1 - 2

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} A \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z M_{y,Sd}}{W_{pl,z} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

I termine      II termine      III termine

0.501      +      0.213      +      0.018      =      **0.732**



**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

**Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario**  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 49 di 69

Cv 2L 100x10

Dalla somma delle 3 fasi:

TABLE: Element Forces - Frames					TABLE: Element Forces - Frames					TABLE: Element Forces - Frames					TABLE: Element Forces - Frames					IP max	IP min		
Frame	Station	OutputCase	P		Frame	Station	OutputCase	P		Frame	Station	OutputCase	StepType	P		Frame	Station	OutputCase	StepType	P		KN	KN
Text	m	Text	KN		Text	m	Text	KN		Text	m	Text	Text	KN		Text	m	Text	Text	KN			
b71	0	fase 1	77.5		b71	0	fase2	204.1		b71	0	INVILUPPO_SLU	Max	227.4		b71	0	INVILUPPO_SLU	Min	-294.67		599.0	-192.1
b72	0	fase 1	77.4		b72	0	fase2	204.1		b72	0	INVILUPPO_SLU	Max	227.5		b72	0	INVILUPPO_SLU	Min	-294.49		509.0	-13.0
b73	0	fase 1	77.6		b73	0	fase2	-65.7		b73	0	INVILUPPO_SLU	Max	317.0		b73	0	INVILUPPO_SLU	Min	-203.88		328.8	-192.1
b74	0	fase 1	77.5		b74	0	fase2	-65.7		b74	0	INVILUPPO_SLU	Max	316.9		b74	0	INVILUPPO_SLU	Min	-203.82		328.7	-192.0
b75	0	fase 1	123.3		b75	0	fase2	216.3		b75	0	INVILUPPO_SLU	Max	237.3		b75	0	INVILUPPO_SLU	Min	-258.44		576.8	81.1
b76	0	fase 1	123.3		b76	0	fase2	216.2		b76	0	INVILUPPO_SLU	Max	237.3		b76	0	INVILUPPO_SLU	Min	-258.37		576.8	81.1
b77	0	fase 1	123.4		b77	0	fase2	-2.7		b77	0	INVILUPPO_SLU	Max	348.1		b77	0	INVILUPPO_SLU	Min	-142.1		468.8	-21.4
b78	0	fase 1	123.3		b78	0	fase2	-2.7		b78	0	INVILUPPO_SLU	Max	348.0		b78	0	INVILUPPO_SLU	Min	-142.15		468.7	-21.5
b79	0	fase 1	143.0		b79	0	fase2	202.9		b79	0	INVILUPPO_SLU	Max	253.1		b79	0	INVILUPPO_SLU	Min	-219.69		599.0	126.2
b80	0	fase 1	143.0		b80	0	fase2	202.9		b80	0	INVILUPPO_SLU	Max	253.2		b80	0	INVILUPPO_SLU	Min	-219.62		599.0	126.3
b81	0	fase 1	143.1		b81	0	fase2	40.6		b81	0	INVILUPPO_SLU	Max	326.4		b81	0	INVILUPPO_SLU	Min	-141.42		510.1	42.3
b82	0	fase 1	143.0		b82	0	fase2	40.6		b82	0	INVILUPPO_SLU	Max	326.3		b82	0	INVILUPPO_SLU	Min	-141.47		510.0	42.2
b83	0	fase 1	150.6		b83	0	fase2	177.5		b83	0	INVILUPPO_SLU	Max	269.9		b83	0	INVILUPPO_SLU	Min	-187.41		598.1	140.7
b84	0	fase 1	150.6		b84	0	fase2	177.5		b84	0	INVILUPPO_SLU	Max	270.0		b84	0	INVILUPPO_SLU	Min	-187.34		598.1	140.8
b85	0	fase 1	150.7		b85	0	fase2	78.1		b85	0	INVILUPPO_SLU	Max	307.5		b85	0	INVILUPPO_SLU	Min	-145.37		536.3	83.4
b86	0	fase 1	150.7		b86	0	fase2	78.1		b86	0	INVILUPPO_SLU	Max	307.5		b86	0	INVILUPPO_SLU	Min	-145.42		536.3	83.4
b87	0	fase 1	160.4		b87	0	fase2	151.1		b87	0	INVILUPPO_SLU	Max	281.8		b87	0	INVILUPPO_SLU	Min	-164.92		593.3	146.6
b88	0	fase 1	160.4		b88	0	fase2	151.0		b88	0	INVILUPPO_SLU	Max	281.8		b88	0	INVILUPPO_SLU	Min	-164.86		593.3	146.6
b89	0	fase 1	160.5		b89	0	fase2	120.4		b89	0	INVILUPPO_SLU	Max	288.5		b89	0	INVILUPPO_SLU	Min	-156.84		569.5	124.1
b90	0	fase 1	160.5		b90	0	fase2	120.5		b90	0	INVILUPPO_SLU	Max	288.5		b90	0	INVILUPPO_SLU	Min	-156.9		569.5	124.1
b91	0	fase 1	160.4		b91	0	fase2	115.8		b91	0	INVILUPPO_SLU	Max	296.0		b91	0	INVILUPPO_SLU	Min	-149.55		572.3	126.7
b92	0	fase 1	160.4		b92	0	fase2	115.8		b92	0	INVILUPPO_SLU	Max	296.1		b92	0	INVILUPPO_SLU	Min	-149.5		572.3	126.7
b93	0	fase 1	160.5		b93	0	fase2	155.7		b93	0	INVILUPPO_SLU	Max	273.7		b93	0	INVILUPPO_SLU	Min	-173.51		589.9	142.7
b94	0	fase 1	160.5		b94	0	fase2	155.7		b94	0	INVILUPPO_SLU	Max	273.6		b94	0	INVILUPPO_SLU	Min	-173.58		589.8	142.6
b95	0	fase 1	150.6		b95	0	fase2	72.9		b95	0	INVILUPPO_SLU	Max	313.0		b95	0	INVILUPPO_SLU	Min	-140.77		536.5	82.7
b96	0	fase 1	150.6		b96	0	fase2	72.9		b96	0	INVILUPPO_SLU	Max	313.1		b96	0	INVILUPPO_SLU	Min	-140.72		536.6	82.8
b97	0	fase 1	150.7		b97	0	fase2	182.8		b97	0	INVILUPPO_SLU	Max	260.2		b97	0	INVILUPPO_SLU	Min	-196.71		593.6	136.7
b98	0	fase 1	150.7		b98	0	fase2	182.8		b98	0	INVILUPPO_SLU	Max	260.1		b98	0	INVILUPPO_SLU	Min	-196.77		593.6	136.7
b99	0	fase 1	143.0		b99	0	fase2	33.6		b99	0	INVILUPPO_SLU	Max	329.8		b99	0	INVILUPPO_SLU	Min	-138.69		506.3	37.9
b100	0	fase 1	143.0		b100	0	fase2	33.6		b100	0	INVILUPPO_SLU	Max	329.8		b100	0	INVILUPPO_SLU	Min	-138.64		506.4	37.9
b101	0	fase 1	143.0		b101	0	fase2	209.9		b101	0	INVILUPPO_SLU	Max	241.6		b101	0	INVILUPPO_SLU	Min	-229.62		594.6	123.4
b102	0	fase 1	143.0		b102	0	fase2	210.0		b102	0	INVILUPPO_SLU	Max	241.6		b102	0	INVILUPPO_SLU	Min	-229.68		594.6	123.3
b103	0	fase 1	123.3		b103	0	fase2	-12.9		b103	0	INVILUPPO_SLU	Max	350.9		b103	0	INVILUPPO_SLU	Min	-140.26		461.3	-29.9
b104	0	fase 1	123.3		b104	0	fase2	-12.9		b104	0	INVILUPPO_SLU	Max	351.0		b104	0	INVILUPPO_SLU	Min	-140.21		461.4	-29.8
b105	0	fase 1	123.3		b105	0	fase2	226.5		b105	0	INVILUPPO_SLU	Max	223.1		b105	0	INVILUPPO_SLU	Min	-270.24		572.8	79.5
b106	0	fase 1	123.3		b106	0	fase2	226.5		b106	0	INVILUPPO_SLU	Max	223.0		b106	0	INVILUPPO_SLU	Min	-270.31		572.9	79.5
b107	0	fase 1	77.7		b107	0	fase2	-80.9		b107	0	INVILUPPO_SLU	Max	337.8		b107	0	INVILUPPO_SLU	Min	-181.72		334.6	-184.9
b108	0	fase 1	77.7		b108	0	fase2	-80.9		b108	0	INVILUPPO_SLU	Max	337.9		b108	0	INVILUPPO_SLU	Min	-181.73		334.7	-184.9
b109	0	fase 1	77.7		b109	0	fase2	219.6		b109	0	INVILUPPO_SLU	Max	218.6		b109	0	INVILUPPO_SLU	Min	-307.44		515.9	-10.1
b110	0	fase 1	77.7		b110	0	fase2	219.6		b110	0	INVILUPPO_SLU	Max	218.5		b110	0	INVILUPPO_SLU	Min	-307.6		515.9	-10.3

**Stabilità delle aste compresse yy**

E =	210000	MPa	modulo elastico		
N <sub>ed</sub> =	192.1	kN	sollecitazione agente		
f <sub>yk</sub> =	355	MPa	resistenza di calcolo		
A =	3831	mm <sup>2</sup>	area della sezione		
L =	5400	mm	lunghezza dell'asta		
J =	3.53E+06	mm <sup>4</sup>	inerzia della sezione		
γ <sub>m1</sub> =	1.05	-	coeff. SLU		
A <sub>eff</sub> =	3831	mm <sup>2</sup>	area efficace della sezione		
χ =	0.50	OK	dip da sezione e tipo di acciaio		
φ =	1.341				
α =	0.34	TAB 4.2.VI	fattore di imperfezione		
λ =	1.164		snellezza adimensionale		
β =	0.50		riduz lugh libera d'inflessione		
L <sub>0</sub> =	2700	mm	lunghezza libera d'inflessione	μ y	-1.289
N <sub>cr</sub> =	1003613	N	carico critico euleriano	W <sub>ply</sub> (cm <sup>3</sup> )	90.5
ν =	0.20		coeff di Poisson	W <sub>ely</sub> (cm <sup>3</sup> )	50.1
non si possono trascurare i fenomeni di instabilità per aste compresse				κ y	1.366
N <sub>b,Rd</sub> =	645.0	kN			
N <sub>b,Rd</sub> ≥ N <sub>ed</sub>		✓	verifica soddisfatta		

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

*Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 50 di 69

### Stabilità delle aste compresse **ZZ**

E =	210000	MPa	modulo elastico		
N <sub>ed</sub> =	192.1	kN	sollecitazione agente		
f <sub>yk</sub> =	355	MPa	resistenza di calcolo		
A =	3831	mm <sup>2</sup>	area della sezione		
L =	5400	mm	lunghezza dell'asta		
J =	7.76E+06	mm <sup>4</sup>	inerzia della sezione		
γ <sub>m1</sub> =	1.05	-	coeff. SLU		
A <sub>eff</sub> =	3831	mm <sup>2</sup>	area efficace della sezione		
χ =	0.73	OK	dip da sezione e tipo di acciaio		
φ =	0.908				
α =	0.34	TAB 4.2.VI	fattore di imperfezione		
λ =	0.785		snellezza adimensionale		
β =	0.50		riduz lugh libera d'inflexione		
L <sub>0</sub> =	2700	mm	lunghezza libera d'inflexione	μ z	-0.6970186
N <sub>cr</sub> =	2206242	N	carico critico euleriano	Wplz (cm <sup>3</sup> )	117.8
ν =	0.20		coeff di Poisson	Welz (cm <sup>3</sup> )	68.6
non si possono trascurare i fenomeni di instabilità per aste compresse				κ z	1.1342
N <sub>b,Rd</sub> =	950.2	kN			
$N_{b,Rd} \geq N_{ed}$			✓	verifica soddisfatta	

### Stabilità delle travi inflesse

E =	210000	MPa	modulo elastico		
M <sub>ed</sub> =	3.84	kNm	max momento flettente di calcolo		
f <sub>yk</sub> =	355	MPa	resistenza di calcolo		
γ <sub>m</sub> =	1.05		coeff. SLU		
f <sub>yd</sub> =	338	MPa	resistenza di progetto		
W <sub>y</sub> =	49220	mm <sup>3</sup>	modulo res		
χ <sub>LT</sub> =	0.975		dip da sezione e tipo di acciaio		
f =	1.00				
φ =	0.55				
β =	1.00	min 0.75	riduz lugh libera d'inflexione		
λ <sub>LT</sub> =	0.270		snellezza adimensionale		
kc =	1.00	TAB 4.2.VIII			
M <sub>cr</sub> =	2.40E+08	Nmm	mom critico el di instab torsionale		
λ <sub>LT,0</sub> =	0.2	max 0.4			
α =	0.34	TAB 4.2.VI	fattore di imperfezione		
M <sub>bRd</sub> =	16.23	kNm	momento resistente		
$M_{bRd} \geq M_{ed}$			✓	verifica soddisfatta	

### INSTABILITA'

I termine      II termine      III termine

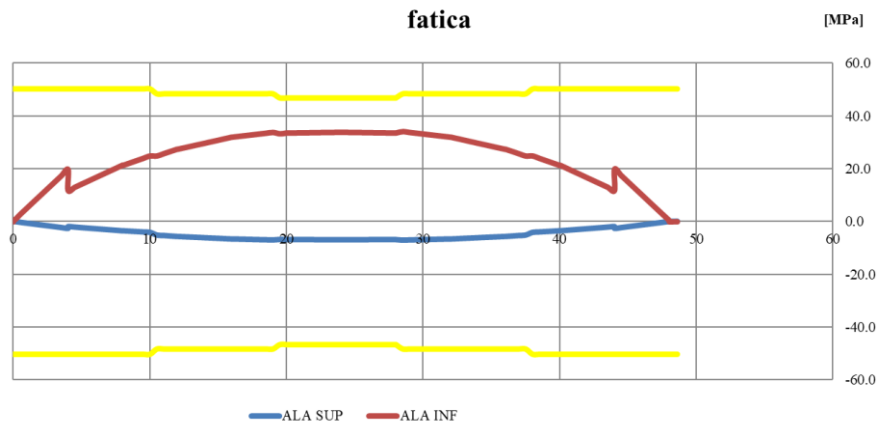
0.298      +      0.231      +      0.011      =      **0.540**

Le verifiche risultano soddisfatte.

## 6.5 VERIFICA A FATICA TRAVI PRINCIPALI

Viene di seguito riportata la verifica a fatica della trave maggiormente sollecitata nelle condizioni di traffico ferroviario comprensivo degli effetti dinamici.

Fuso delle tensioni lungo le piattabande della trave di progetto per lo stato limite di fatica:



La sezione maggiormente sollecitata è quella di transizione concio lat.- concio centr. Le caratteristiche geometriche utilizzate sono le medesime cui si è fatto riferimento per le verifiche di resistenza.

		FATICA		
Mom.flett	<b>M ed</b>	17816.9	kNm	
Taglio	<b>T ed</b>	1480.0	kN	

	fibra	ks	$\sigma_d$	$\sigma$	$\sigma * \lambda$	$\sigma$ limite	tasso di lavoro
piattab sup	D	0.92	71.0	-11.4	-7.2	48.3	verificato 0.15
anima sup	C	0.92	71.0	-10.8	-6.8	48.3	verificato 0.14
anima inf	B	0.92	71.0	54.5	34.3	48.3	verificato 0.71
piattab inf	A	0.92	71.0	55.0	34.7	48.3	verificato 0.72

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

		$\tau_d$	$\tau$	$\tau$	$\tau$ limite	
anima	B, C	0.99	80.0	14.5	14.5	58.7

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

$\lambda$	=	0.63
$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4$		
$\lambda_1$	=	0.63
$\lambda_2$	=	1
$\lambda_3$	=	1
$\lambda_4$	=	1
$\sigma_{MAX}$ [MPa]	=	55.0
$\tau_{MAX}$ [MPa]	=	14.5

ks	=	0.92
$\sigma_d$ [MPa]	=	71
$\sigma_{red}$ [MPa]	=	65.3
% di treni	n =	0.33
anni	VU =	100
$\gamma_m$	=	1.35

$\sigma_{MAX} * \lambda$ [MPa]	=	34.7	<	48.3	=	$\sigma_{red} / \gamma_m$ [MPa]
verifica soddisfatta						

La verifica risulta soddisfatta.

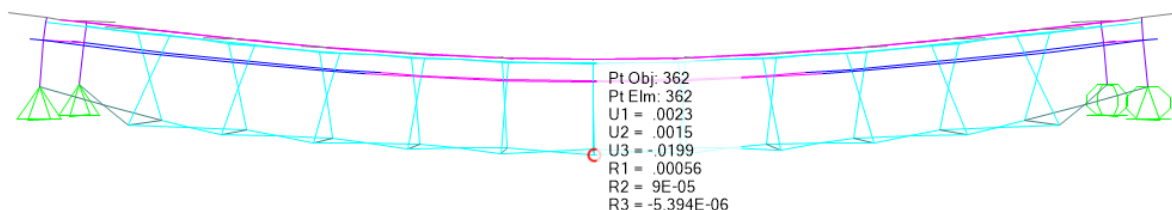
## 6.6 VERIFICHE SLE

### 6.6.1 VERIFICHE DI DEFORMABILITA'

Si verifica l'inflessione nel piano verticale dell'impalcato. Si considera agente il treno di carico con il corrispondente coefficiente dinamico e con il coefficiente  $\alpha$ .

LM71


Abbassamento 19.9 mm <  $L/1000 = 48$  mm








## 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-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 -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=50m (Lc=48m) singolo binario*
**RELAZIONE DI CALCOLO**

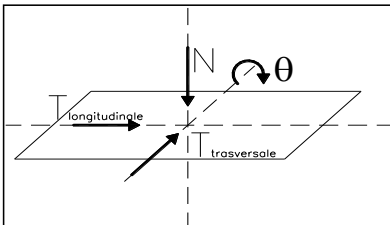
PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV.

FOGLIO

RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 53 di 69

## 6.7.2 REAZIONI APPOGGI

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

			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	1719	1719	-	-	-	-
1.2		permanenti	1979	1979	-	-	-	-
1.3		precompressione	-	-	-	-	-	-
1.4		ritiro e viscosità	-	-	-	-	-	-
2.1	variabili Q	treni di carico	1666	0	-	-	-	-
2.2		veicoli speciali	-	-	-	-	-	-
2.3		forza centrifuga	684	-684				
2.4		avviamento e frenatura	45	-45				
2.5		serpeggio	83	-83				
2.6		folia	-	-				
2.7		vento sulla struttura	518	-518				
2.8		vento sulla struttura e sui treni di carico	865	-865				
2.9		temperatura	0	0				
2.11		sisma						
2.12		cedimenti delle sottostrutture	-	-				
2.13		resistenze parassite nei vincoli	-	-				
5.1		combinazioni di esercizio	<b>Nmax</b>	<b>10137</b>	-			
5.2	<b>Nmin</b>		-	<b>2858</b>				
5.3	<b>Tl max</b>			-				
5.4	<b>Tt max</b>			-				

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

*Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 54 di 69

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

VN (anni)	75
Cu	1.5

<b>luce (m)</b>	<b>50</b>
-----------------	-----------

PP+ soletta+ predalles	G1 (kN)	6878
perm + fonoass	G2 (kN)	6179
0,2 traffico	Q (kN)	1578

	Masse (t)	Accelerazione m/s <sup>2</sup> (Spettro elastico SLV)	Fo (kN)
Pesi propri	701	0.394 g	2710
Permanenti portati (includere eventuali barriere a.r.)	630	0.394 g	2435
0,2 traffico	161	0.394 g	622
<b>TOTALE</b>			<b>5766</b>




AZIONE ORIZZONTALE SISMICA MAX 1 app

**3287**

VALORE APPROSSIMATO

**3400**

Si considerano come azioni di progetto le seguenti:

TIPOLOGIA IMPALCATO	LUCE ASSI GIUNTI	LARGHEZZA PIATTAFORMA	NUMERO BINARI	NUMERO TRAVI	UNIDIREZIONALE TRASVERSALE A RIGIDENZA VARIABILE		MULTIDIREZI ONALE	Dispositivo meccanico
								
-			-	-	Nmax	HLmax	Nmax	HTmax
	m	m			kN	kN	kN	kN
					SLU	SIS	SLU	SIS
SEZ MISTA	50	9.7	1	2	10200	3400	10200	3400

Non si è tenuto conto per la massima azione sismica delle rigidezze delle sottostrutture.

## 7 EFFETTI LOCALI

Sezione mista acc-clc: 2 travi alte 2.9m ad interasse 3.6m, soletta in cls Rck= 40 MPa con altezza variabile: 43cm - 37cm.

### 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 Peso propri

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

##### 7.1.1.2 Permanenti portati

- Armamento + impermeab. + rialzo in curva = 16 kN/m<sup>2</sup>
- Cordoli +impermeabilizzazione = 5.3 kN/m<sup>2</sup>
- Muretto paraballast = 3.6\* kN
- Canaletta +impianti = 3.5 kN \*
- Barriere antirumore = 16\* kN
- Velette = 6\* kN
- FFP = 2.1 kN/m<sup>2</sup>
- Muro ffp = 11\* 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 di copertura, la ruota da 250 kN si ripartisce trasversalmente su una larghezza pari a 2.98m.

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

<b>LM71</b>	171.88	carico unitario da ripartire su			2.98	->	57.77	kN/m
<b>L<sub>0</sub></b>	3	*	3.6	=	10.8	m		
<b>coeff amplificazione dinamica</b>	Φ3			=	1.43	m		

##### 7.1.2.2 Folla

10 kN/m<sup>2</sup>, applicata ove presenti camminamenti ed FFP.

### 7.1.2.3 Serpeggio

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

$\delta_h = 0.8 \text{ m}$ ; distanza fra piano ferro ed estradosso soletta

$$M_s = 100 * 0.8 = 80 \text{ kNm/m}; \text{ momento trasversale da serpeggio}$$

### 7.1.2.4 Centrifuga

Considerando una diffusione del carico secondo  $\frac{1}{4}$  nel ballast ed a  $45^\circ$  nella soletta e traversine 240x20 ad interasse 60 cm, il carico dovuto ai treni si ripartisce:

longitudinalmente su una larghezza di 1.60 m ( $L_{long}$ );

trasversalmente su una larghezza di 3.0 m ( $L_{trasv}$ );

centrifuga LM71

$$q_v = 250 * 1.1 / 1.60 = 171.88 \text{ kN/m} \quad (\text{carico verticale viaggiante al metro})$$

$$q_t = c * q_v = 0.3 * 171.8 = 55 \text{ kN/m} \quad (\text{azione orizzontale centrifuga al metro})$$

$$c = (V^2) / (127 * R) * f$$

La forza  $q_t$  applicata secondo normativa ad 1.8 m al di sopra del P.F., presenta un braccio rispetto al piano medio della soletta  $b = 2.8 \text{ m}$  e quindi il momento torcente sulla soletta risulta pari a:

$$M_{torc} = q_t * b = 55 * (1.8 + 0.8 + 0.2) = 154 \text{ kNm/m}$$

Nel calcolo delle sollecitazioni indotte dalla forza centrifuga sulla soletta è stata considerata la presenza di un solo treno di carico (LM71).

### 7.1.2.5 Deragliamento

$$s = \text{distanza di scartamento} = 1.435 \text{ m}$$

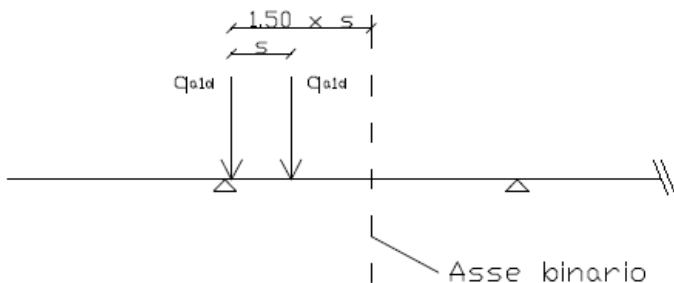
$$1.5 * s = 2.1525 \text{ m} \text{ distanza massima dell'asse di carico dall'asse del binario}$$

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

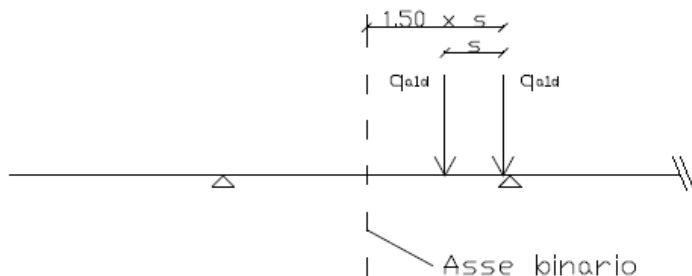
$$q_{a2d} = 80 \text{ kN/m} \text{ asse di carico caso 2 (stesa di carico} = 20.00 \text{ m)}$$



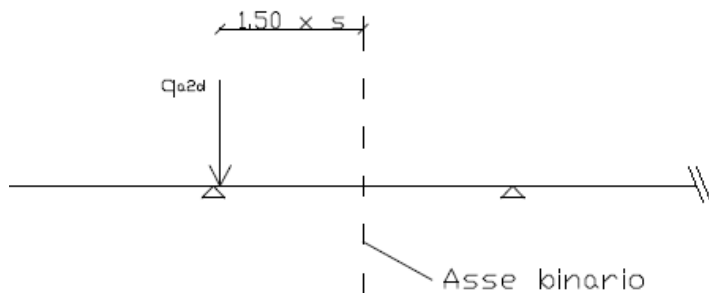
### Caso 1a



### 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.

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario  
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD. DOC.	PROG. REV.	FOGLIO
RS3U	40	D	09	CL VI0007	002 B	58 di 69

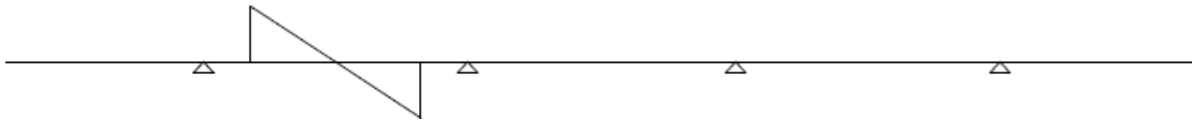
## 7.1.3 AZIONI CLIMATICHE

### 7.1.3.1 Vento

Vento su barriera antirumore alta 4m:  $q = 2.5 \text{ kN/m}^2$



Vento trasversale sul treno:  $v$  come calcolato di seguito:



$$v = \pm M_w/W = q_v \cdot (h/2) / (bL^2/6) = 21 \text{ kN/m}$$

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

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

$$L = 2.98 \text{ m}$$

*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 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=50m (Lc=48m) singolo binario*
**RELAZIONE DI CALCOLO**

 PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
 RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 59 di 69

## 7.2 COMBINAZIONE DEI CARICHI

 Per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali  $\gamma$  in Tab. 5.2.V e i coefficienti di combinazione  $\psi$  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 <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(5)</sup>	1,00 <sup>(6)</sup>	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	$\gamma_{Ce}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

 Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
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
	$g_{r1}$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
Gruppi di	$g_{r2}$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
carico	$g_{r3}$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$g_{r4}$	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	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  $\psi_0$  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=50m (Lc=48m) singolo binario  
 RELAZIONE DI CALCOLO

 PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
 RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 60 di 69

## • 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	0	0	0	0	0	0	1.16	1.16	0	0	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	0	0	0	0	0	0	1.16	0.58	0	0	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	0	0	0	0	0	0.58	1.16	0	0	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	0	0	0	0	0	0	1.16	0.58	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0.8	0.8	0.8	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0.8	0.4	0.8	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0.4	0.8	0.8	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0.8	0.4	0.8	0	0	0	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=50m (Lc=48m) singolo binario

RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV.

RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B

FOGLIO

61 di 69

S.L.E. frequente																	
VARIABILE PRINCIPALE:	TRAFFICO								VENTO		TEMPERATURA						
	SW2				LM71				STR.		SW2			LM71			STR.
	GRUPPO1	GRUPPO2	GRUPPO3	GRUPPO4	GRUPPO1	GRUPPO2	GRUPPO3	GRUPPO4	SCARICA	SCARICA	GR1	GR3	GR4	GR1	GR3	GR4	SCARICA
<b>combinazioni</b>	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	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LM71	0	0	0	0	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Serp_SW2	0.8	0.8	0.4	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Serp_LM71	0	0	0	0	0.8	0.8	0.4	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F-A_SW2	0.4	0.4	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F-A_LM71	0	0	0	0	0.4	0.4	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
centrifuga_SW2	0.8	0.8	0.4	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
centrifuga_LM71	0	0	0	0	0.8	0.8	0.4	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eff_aerodinamici	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0
Vento_scarico	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0
Vento_carico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temp_SLU	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1

S.L.E. quasi permanente																	
VARIABILE PRINCIPALE:	TRAFFICO								VENTO		TEMPERATURA						
	SW2				LM71				STR.		SW2			LM71			STR.
	GRUPPO1	GRUPPO2	GRUPPO3	GRUPPO4	GRUPPO1	GRUPPO2	GRUPPO3	GRUPPO4	SCARICA	SCARICA	GR1	GR3	GR4	GR1	GR3	GR4	SCARICA
<b>combinazioni</b>	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LM71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Serp_SW2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Serp_LM71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F-A_SW2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F-A_LM71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
centrifuga_SW2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
centrifuga_LM71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eff_aerodinamici	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vento_scarico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vento_carico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temp_SLU	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

### 7.3 VERIFICHE DI RESISTENZA

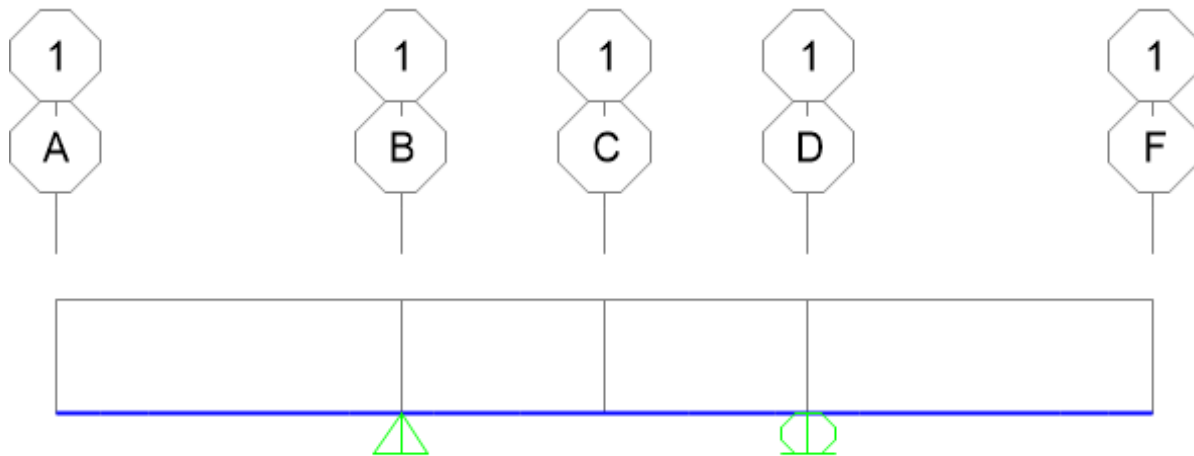


Figura 6 \_Schema soletta

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

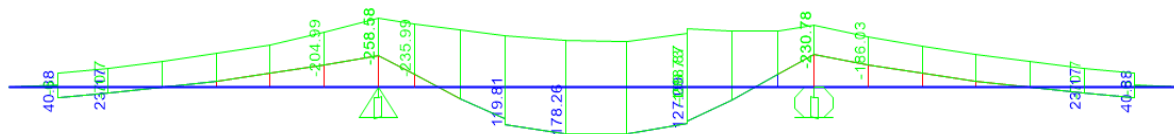


Figura 7 \_Involuppo sollecitazioni flettenti (S.L.U.)

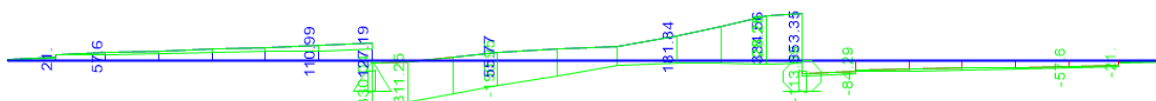


Figura 8 \_Involuppo sollecitazioni taglianti (S.L.U.)

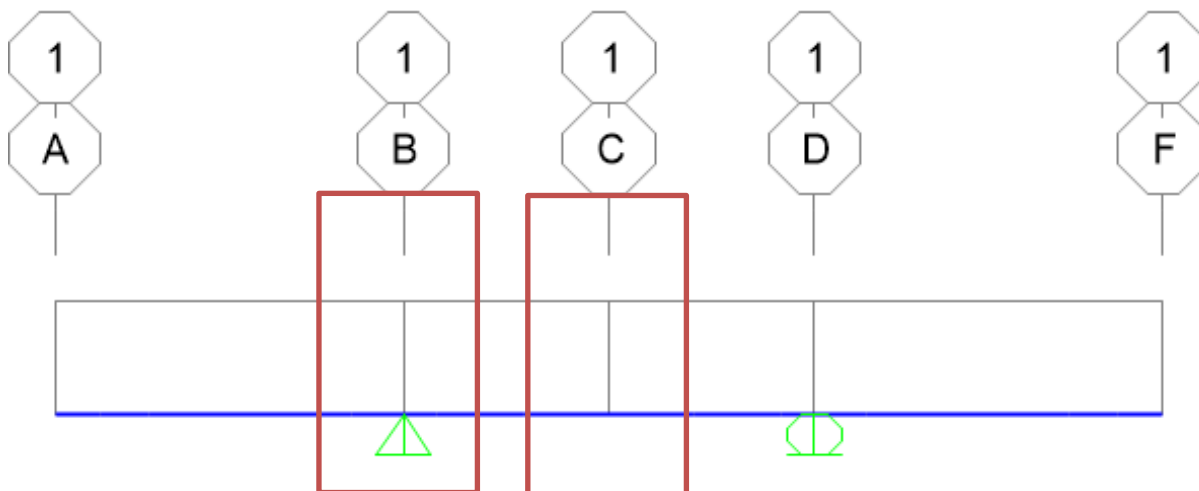


Figura 9 \_Sezioni di verifica

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI  
*Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 63 di 69

• **SEZIONE APPOGGI B, D:**

**Verifica a flessione**

$M_{max} (-) = -258.6 \text{ kNm}$

$T_{max} (-) = 354 \text{ kN}$

Ferri sup: **Φ24/10**

Ferri inf: **Φ24/20**

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

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

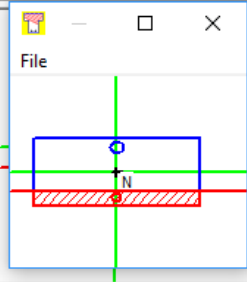
Titolo : \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	45.24	5
2	22.62	35

Tipologia sezione:  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

File: 

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>  kNm

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

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali: **B450C** **C30/37**

$\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$   ‰  
 $E_s$   N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$   ‰  
 $E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?  
 $\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$    
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$    
 $\tau_{c1}$

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
d  cm  
x  x/d   
 $\delta$

La verifica risulta soddisfatta.

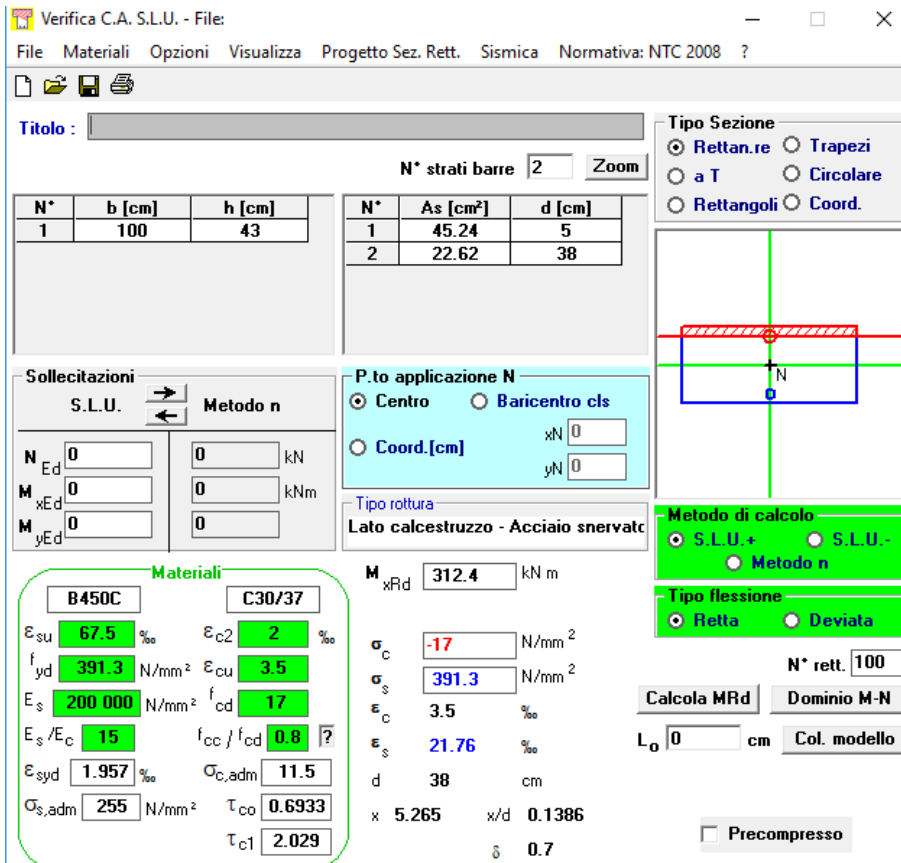
• **SEZIONE CAMPATA BD**

**Verifica a flessione**

$M_{max c(+)} = 178.3 \text{ kNm}$

Ferri sup:  $\Phi 24/10$

Ferri inf:  $\Phi 24/20$



**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	43	1	45.24	5
			2	22.62	38

**Sollecitazioni**  
S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN  
M<sub>xEd</sub>   kNm  
M<sub>yEd</sub>

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

**Materiali**  
B450C C30/37

$\epsilon_{su}$ 67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 391.3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰
$E_s$ 200 000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 17
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8
$\epsilon_{syd}$ 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 11.5
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0.6933
	$\tau_{c1}$ 2.029

**Tipi di rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  21.76 ‰  
d 38 cm  
x 5.265 x/d 0.1386  
 $\delta$  0.7

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

**Tipi di flessione**  
 Retta  Deviata

N° rett.   
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub>  cm Col. modello  
 Precompresso

La verifica risulta soddisfatta.



**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**
*Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario*  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD. DOC.	PROG. REV.	FOGLIO
RS3U	40	D	09	CL VI0007	002 B	65 di 69

**VERIFICHE A TAGLIO**
**Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

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

<b>b<sub>w</sub></b>	larghezza sezione	1000	[mm]		
<b>h</b>	altezza sezione	410	[mm]		
<b>d</b>	altezza utile	360	[mm]		
<b>A<sub>sl</sub></b>	armatura longitudinale TESA/1mΦ	24	100	4524	[mm <sup>2</sup> ]
	traliccio	0	0	0	[mm <sup>2</sup> ]
<b>ρ<sub>l</sub></b>	rappporto geometrico di armatura longitudinale	0.013			
<b>σ<sub>cp</sub></b>	tensione media di compressione nella sezione	0 [MPa]			
<b>γ<sub>m</sub></b>	1.5				
<b>R<sub>ck</sub></b>	40.0				
<b>f<sub>ck</sub></b>	resistenza caratteristica cilindrica	33.2 [MPa]			
<b>v<sub>min</sub></b>	0.47 [MPa]				
<b>K</b>	1.75 <=2				
	167.4				
<b>V<sub>Rd1</sub></b>	resistenza a taglio	261.5 [kN]			
<b>V<sub>ed</sub></b>	taglio sollecitante	365 [kN]			

**Elementi con armature trasversali resistenti a taglio**

<b>φ</b>	diametro staffe	10.0	[mm]
<b>n staffe</b>	5.0		
<b>s</b>	passo	200	[mm]
<b>A<sub>sw</sub></b>	area staffe	392.7 [mm <sup>2</sup> ]	
<b>γ<sub>m</sub></b>	1.50		
<b>f<sub>yk</sub></b>	450 [MPa]		
<b>f<sub>yd</sub></b>	391.3 [MPa]		
<b>α</b>	angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	45.0 [deg]	
<b>cot α</b>	1.0		

<b>θ</b>	angolo di inclinazione puntone compresso rispetto asse trave	21.8	[deg]
<b>cot θ</b>	2.5		

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

<b>V<sub>Rsd</sub></b>	<b>616.1</b>	[kN]
------------------------	--------------	------

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

<b>f<sub>cd</sub></b>	resistenza a compressione	18.8	[MPa]
<b>f'<sub>cd</sub></b>	resistenza a compressione ridotta del cls d'anima	9.4	[MPa]
<b>α<sub>c</sub></b>	per membrature non compresse	1	
<b>V<sub>Rcd</sub></b>	<b>1471.2</b>	[kN]	

<b>V<sub>Rd2</sub></b>	taglio resistente= min( V <sub>Rsd</sub> , V <sub>Rcd</sub> )	616.1	[kN]
<b>V<sub>ed</sub></b>	taglio affidato all' armatura	365.0	[kN]

**VERIFICATO**

## 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%.

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

Tensione nell'acciaio $\sigma_s$ [MPa]	Diametro massimo $\phi$ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ 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 $\sigma_s$ [MPa]	Spaziatura massima $s$ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ 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 Rara e Frequente ed il calcolo delle rispettive tensioni:

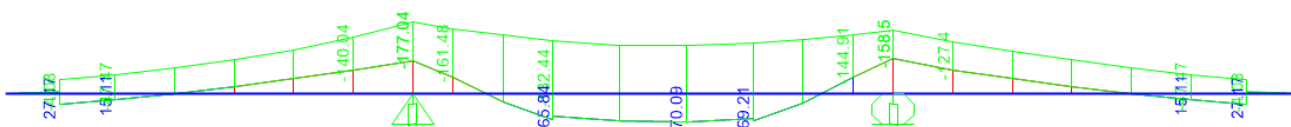


Figura 10 \_Soll. Flettenti SLE Combinazione rara

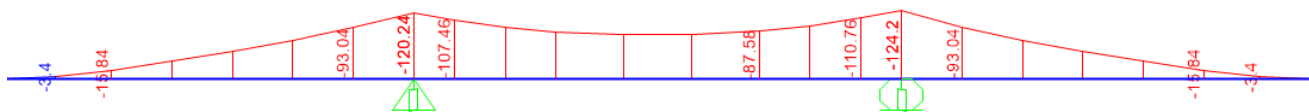


Figura 11 \_ Soll. Flettenti SLE Combinazione quasi permanente

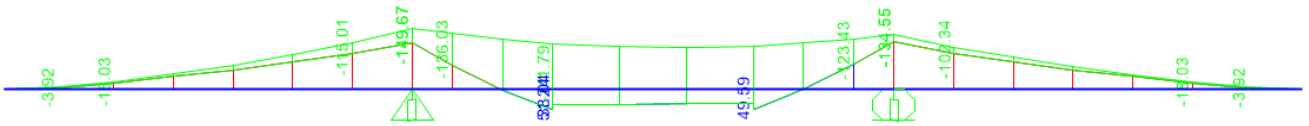


Figura 12\_ Soll. Flettenti SLE Combinazione frequente

• Sezione M(-)

<b>RARA</b>				tesa	compr			
n	b	h	x	As	As'	c	c'	d
15	1000	410	145.16	4524	2262	50	50	348
	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm

f.o.  
0.000474

M	x	J id
177040	145.2	4.12E+09
kNmm	mm	mm <sup>4</sup>

σ cls	σ acc
6.24E-03	0.13
kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
6.24	130.78
MPa	MPa
compress	traz

<b>QUASI PERMANENTE</b>				tesa	compr			
n	b	h	x	As	As'	c	c'	d
15	1000	410	145.16	4524	2262	50	50	348
	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm

f.o.  
0.000474

M	x	J id
124200	145.2	4.12E+09
kNmm	mm	mm <sup>4</sup>

σ cls	σ acc
4.38E-03	0.09
kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
4.38	91.75
MPa	MPa

<b>FREQUENTE</b>				tesa	compr			
n	b	h	x	As	As'	c	c'	d
15	1000	410	145.16	4524	2262	50	50	348
	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm

f.o.  
0.000474

M	x	J id
150000	145.2	4.12E+09
kNmm	mm	mm <sup>4</sup>

σ cls	σ acc
5.29E-03	0.11
kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
5.29	110.81
MPa	MPa

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

Impalcato a sezione mista L=50m (Lc=48m) singolo binario  
RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
RS3U 40 D 09 CL VI0007 002 B 68 di 69

**TENSIONE MASSIMA DI COMPRESSIONE DEL CLS**  
**IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO**

Rck	40	
h	410	mm
d	360	mm
c	50	mm
fck	33.2	N/mm <sup>2</sup>
fyk	450	N/mm <sup>2</sup>
n	15	c omogeneizzazione

As' sup	4524	mm <sup>2</sup>
As inf	2262	mm <sup>2</sup>
x	145.16	mm
Jid,x	4.12E+09	mm <sup>4</sup>

**mom.flettente**

comb.rara	177.04	kNm
0.60 fck-20%	19.9	N/mm <sup>2</sup>
σc	6.24	N/mm <sup>2</sup>

verifica

ok

comb quasi perman.	124.2	kNm
0.45 fck-20%	14.9	N/mm <sup>2</sup>
σc	4.38	N/mm <sup>2</sup>

verifica

ok

ACCIAIO (comb.rara)	177.04	kNm
0.8 fyk	360	N/mm <sup>2</sup>
σs	130.8	N/mm <sup>2</sup>

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	24	mm
SPAZIATURA	100	mm

**COMB RARA**

σs	130.8	Mpa
----	-------	-----

DIAMETRO MAX	25	mm
verifica	OK	

SPAZIATURA MAX	200	mm
verifica	OK	

• Sezione M(+)

**RARA**

tesa compr

n	b	h	x	As	As'	c	c'	d
15	1000	460	108.34	2262	4524	50	50	398
	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm

f.o.

-0.00066

M	x	J id
70090	108.3	3.50E+09
kNm	mm	mm <sup>4</sup>

σ cls	σacc
2.17E-03	0.09
kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>

2.17	86.97
MPa	MPa
compress	traz

**QUASI PERMANENTE**

tesa compr

n	b	h	x	As	As'	c	c'	d
15	1000	460	108.34	2262	4524	50	50	398
	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm

f.o.

-0.00066

M	x	J id
0	108.3	3.50E+09
kNm	mm	mm <sup>4</sup>

σ cls	σacc
0.00E+00	0.00
kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>

0.00	0.00
MPa	MPa

**FREQUENTE**

	tesa			compr				
n	b	h	x	As	As'	c	c'	d
15	1000	460	108.34	2262	4524	50	50	398
	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm

 f.o.  
 1.06E-05

M	x	J id
59000	108.3	3.50E+09
kNm	mm	mm <sup>4</sup>

σ cls	σ acc
1.83E-03	0.07
kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>

1.83	73.21
MPa	MPa

**TENSIONE MASSIMA DI COMPRESSIONE DEL CLS**  
**IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO**

Rck	40	
h	410	mm
d	360	mm
c	50	mm
fck	33.2	N/mm <sup>2</sup>
fyk	450	N/mm <sup>2</sup>
n	15	c omogeneizzazione

As' sup	4524	mm <sup>2</sup>
As inf	2262	mm <sup>2</sup>
x	145.16	mm
Jid,x	4.12E+09	mm <sup>4</sup>

**mom.flettente**

comb.rara	70.09	kNm
0.60 fck-20%	19.9	N/mm <sup>2</sup>
σc	2.17	N/mm <sup>2</sup>

verifica ok

comb quasi perman.	0	kNm
0.45 fck-20%	14.9	N/mm <sup>2</sup>
σc	0.00	N/mm <sup>2</sup>

verifica ok

ACCIAIO (comb.rara)	70.09	kNm
0.8 fyk	360	N/mm <sup>2</sup>
σs	87.0	N/mm <sup>2</sup>

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	24	mm
SPAZIATURA	200	mm

**COMB RARA**

σs	87.0	Mpa
----	------	-----

DIAMETRO MAX	25	mm
verifica	OK	

SPAZIATURA MAX	200	mm
verifica	OK	

**Armatura longitudinale di ripartizione**

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

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