

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**U.O. OPERE CIVILI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA  
TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

VI06 - Viadotto su Torrente Neva da Km 84+888 a Km 85+348

Relazione di calcolo pila campate da 48 m – VI06

SCALA:

-

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

IV01 00 D 09 CL VI0605 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	G.Grimaldi 	Gen. 2022	D.Guerci 	Gen. 2022	G.Fadda 	Gen. 2022	A. Vitozzi 

ITALFERR S.p.A.  
U.O. Opere Civili e gestione delle varianti  
Dot. Ing. Angelo Vitozzi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Genova  
N° A20783

File: IV0100D09CLVI0605001A.doc

n. Elab.: X

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	2 di 58

**INDICE**

1.	GENERALITA' .....	4
2.	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	8
2.1	ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	9
3.	MATERIALI .....	10
3.1	CALCESTRUZZO PER GETTI IN OPERA SPALLE E PILE – FONDAZIONI E ELEVAZIONI.....	10
3.2	ACCIAIO PER C.A.....	10
3.3	VERIFICHE SLE .....	11
3.3.1	<i>Verifiche tensionali.....</i>	<i>11</i>
3.3.1	<i>Verifiche a fessurazione .....</i>	<i>11</i>
4.	MODELLO DI CALCOLO.....	14
5.	ANALISI DEI CARICHI .....	16
5.1	PESO PROPRIO.....	16
5.2	PESO PROPRIO DEL TERRENO .....	16
5.3	CARICHI VARIABILI.....	16
5.3.1	<i>Carichi da traffico ferroviario.....</i>	<i>16</i>
5.3.2	<i>Effetti dinamici .....</i>	<i>18</i>
5.3.3	<i>Disposizione treni di carico.....</i>	<i>18</i>
5.4	CARICHI DERIVANTI DALL'IMPALCATO .....	22
5.5	AZIONI SISMICHE .....	22
5.6	AZIONI IDRODINAMICHE .....	26
6.	COMBINAZIONI DI CARICO .....	28
7.	ANALISI DINAMICA LINEARE.....	32
8.	SOLLECITAZIONI.....	34
8.1	BASE PILA.....	34
8.1	FONDAZIONE .....	39

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	3 di 58

**Relazione di calcolo pile campate da 48 m VI06**

9.	VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI .....	42
9.1	PILA.....	42
9.2	FONDAZIONE .....	47
10.	SCARICHI SULLA PALIFICATA .....	57
11.	VALUTAZIONE DELLA ACCETTABILITA' DEI RISULTATI OTTENUTI (RIF.PAR.10.2 DM 17/01/2018) .....	59

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	4 di 58

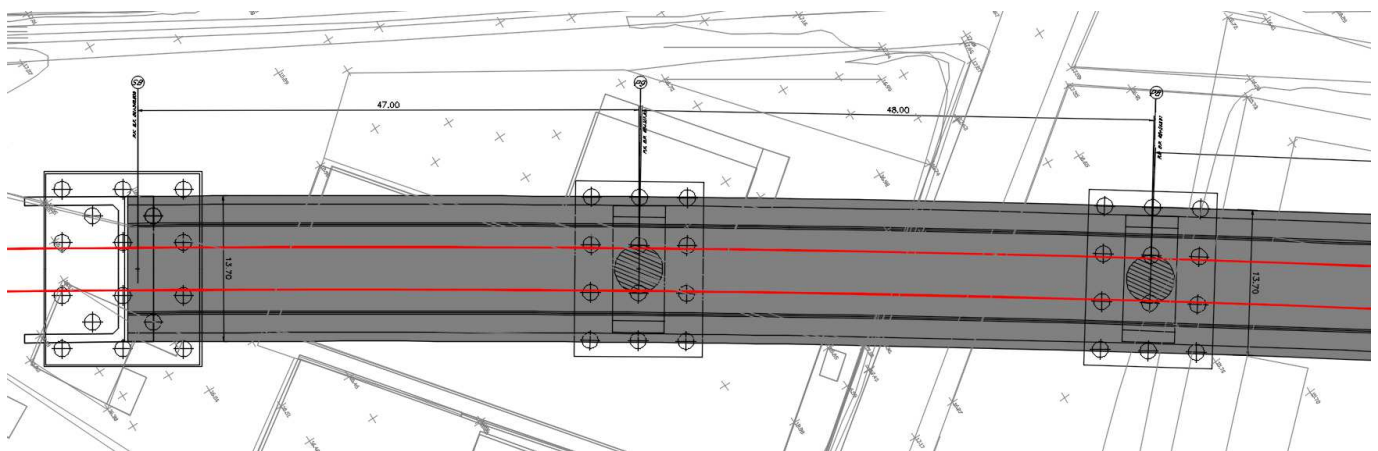
## 1. GENERALITA'

Il viadotto in esame si sviluppa su 10 campate a doppio binario con luci comprese tra 43.50 e 48.00 m.

Essendo il viadotto a ridosso del torrente Neva, per il quale viene prevista un'opportuna sistemazione idraulica, è stato necessario prevedere adeguate opere provvisorie per la realizzazione delle pile P3 e P4.

Si tratta, in particolare di paratie costituite da pali secanti  $\varnothing 1200$  posti ad interasse 0.9 m con lunghezza pari a 18 m e caratterizzati da una trave di coronamento in C.A. a sezione rettangolare 200 cm x 100cm.

Preliminarmente alla realizzazione dello scavo è prevista l'esecuzione di un tappo di fondo con modalità Jet-Grouting di spessore pari a 6 m.

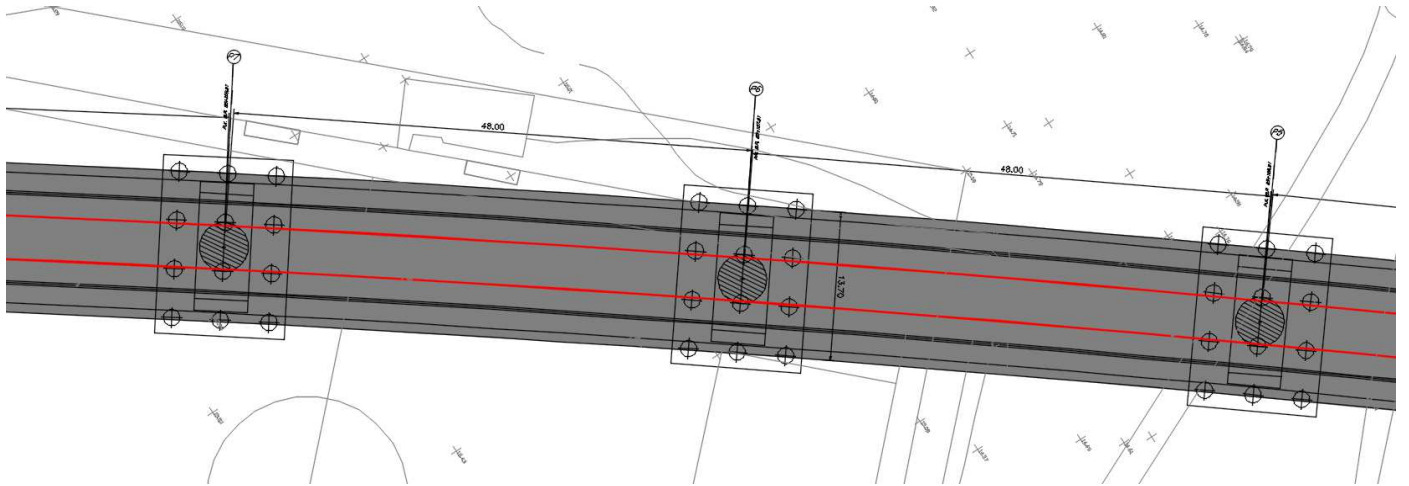


**Figura 1: planimetria generale tra spalla B e Pila 8**

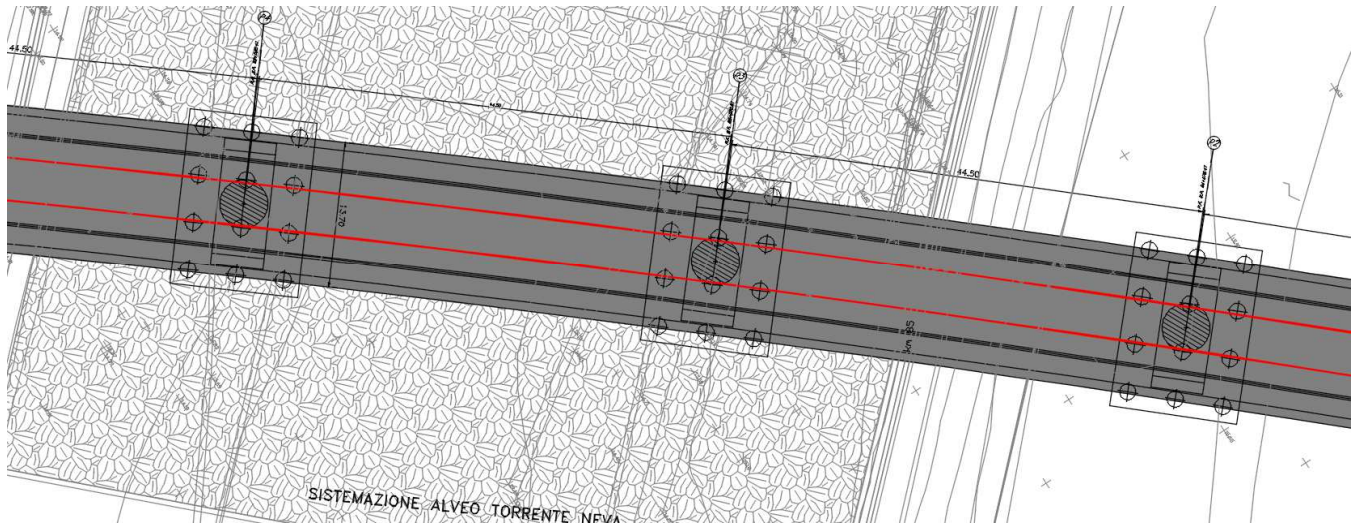
**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	5 di 58



**Figura 2: planimetria generale tra Pila7 e Pila 5**

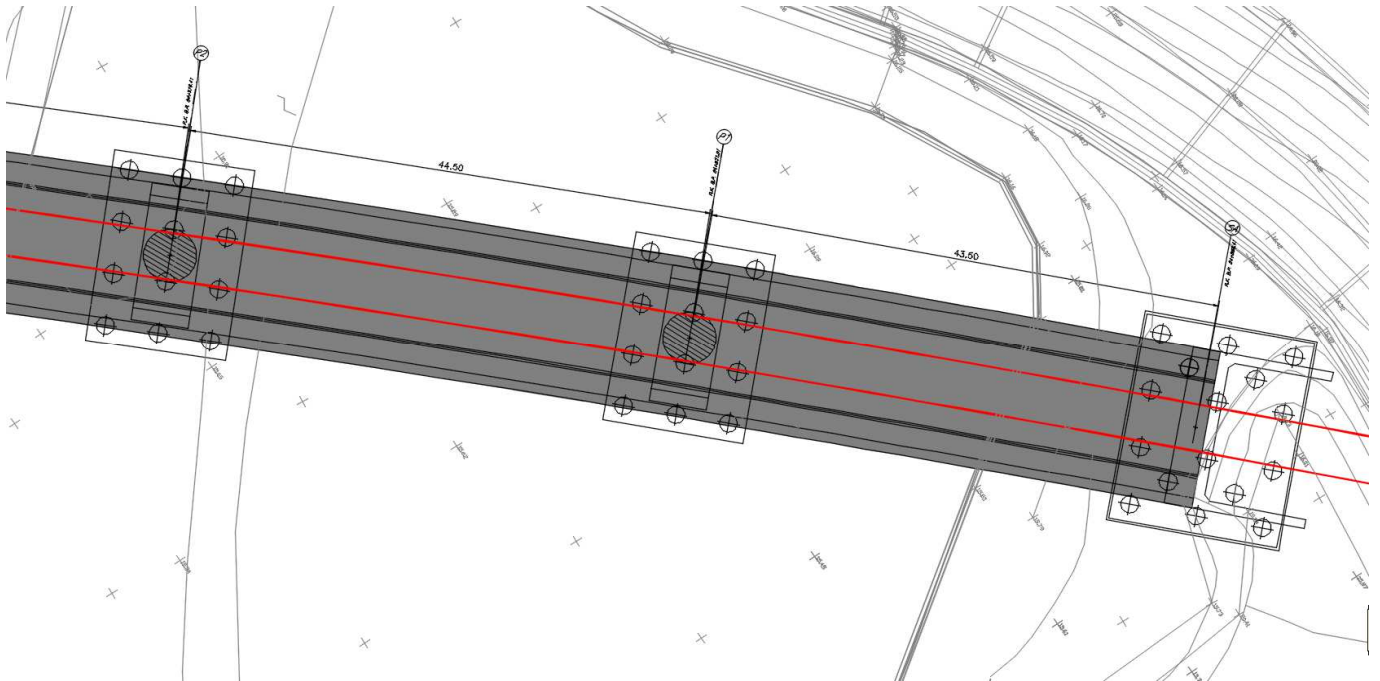


**Figura 3: planimetria generale tra Pila4 e Pila 2**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	6 di 58



**Figura 4: planimetria generale tra Pila2 e Spalla A**

Le pile hanno un'altezza del fusto variabile e un pulvino di dimensioni in pianta 11.90 x 4.90 e altezza 3 m. La sezione del fusto è circolare di diametro  $\phi 4.50\text{m}$ .

Tutte le pile sono fondate su 12 pali, con un plinto di dimensioni 16.50 x 12.00 x 3.00m.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	7 di 58

Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06

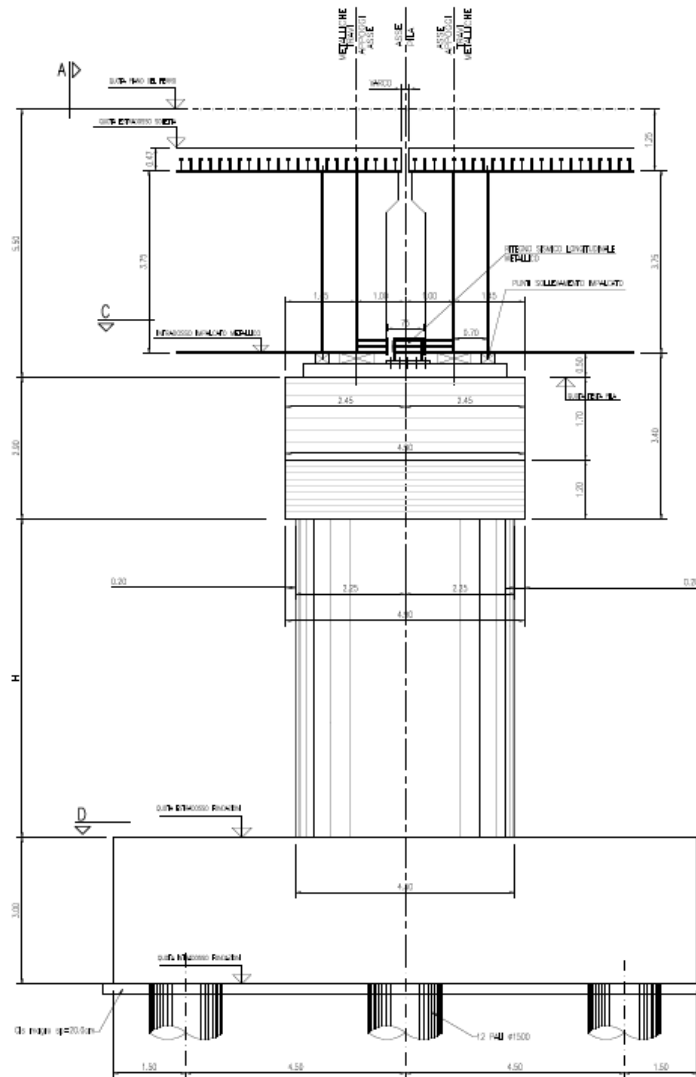


Figura 7: sezione pila

Unità di misura

- lunghezza [m]
- forze [kN]
- angoli [rad]
- tensioni [N/mm<sup>2</sup>]

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</b></p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0605 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 8 di 58</p>

## 2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Rif. [1] Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, «Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”»
- Rif. [2] Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP., Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- Rif. [3] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 001 - Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario
- Rif. [4] Istruzione RFI DTC INC CS SP IFS 001 - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- Rif. [5] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 002 - Specifica per la progettazione e l’esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria
- Rif. [6] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 003 - Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari
- Rif. [7] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 005 - Specifica per il progetto, la produzione, il controllo della produzione e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprigiunti degli impalcati ferroviari e dei cavalcavia
- Rif. [8] Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento (UNI EN 1991-1-4)
- Rif. [9] 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
- Rif. [10] EC2-1-1-2005\_Eurocodice 2 Progettazione delle strutture di calcestruzzo



**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA      LOTTO      CODIFICA      DOCUMENTO      REV.      FOGLIO

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

IV01      00      D 09 CL      VI0605 001      A      9 di 58

**2.1 Elaborati di riferimento**

<b>Viadotto su Torrente Neva da Km 84+883 a Km 85+346</b>																						
Relazione descrittiva viadotto VI06		I	V	0	I	0	0	D	0	9	R	H	V	I	0	6	0	0	0	0	1	B
Relazione di calcolo spalla A	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	6	0	4	0	0	1	A
Relazione di calcolo spalla B		I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	6	0	4	0	0	2	A
Relazione di calcolo opere provvisionali	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	6	0	3	0	0	1	A
Relazione di calcolo pila campate da 48m	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	6	0	5	0	0	1	A
Relazione di calcolo pila campate da 44.50m	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	6	0	5	0	0	2	A
Relazione di calcolo impalcato in acc/cls L=48m	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	6	0	9	0	0	1	A
Relazione di calcolo impalcato in acc/cls L=44.50m	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	6	0	9	0	0	2	A
Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	6	0	3	0	0	2	A
Planimetria generale dell'intervento 1/2	1:200	I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	9	V	I	0	6	0	0	0	0	1	B
Planimetria generale dell'intervento 2/2	1:200	I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	9	V	I	0	6	0	0	0	0	2	B
Prospetto e Sezione longitudinale tav. 1/4	1:100	I	V	0	I	0	0	D	0	9	A	Z	V	I	0	6	0	0	0	0	1	B
Prospetto e Sezione longitudinale tav. 2/4	1:100	I	V	0	I	0	0	D	0	9	A	Z	V	I	0	6	0	0	0	0	2	B
Prospetto e Sezione longitudinale tav. 3/4	1:100	I	V	0	I	0	0	D	0	9	A	Z	V	I	0	6	0	0	0	0	3	B
Prospetto e Sezione longitudinale tav. 4/4	1:100	I	V	0	I	0	0	D	0	9	A	Z	V	I	0	6	0	0	0	0	4	B
Planimetria scavi ed opere provvisionali tav. 1/2	1:100	I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	A	V	I	0	6	0	3	0	0	1	B
Planimetria scavi ed opere provvisionali tav. 2/2	1:100	I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	A	V	I	0	6	0	3	0	0	2	B
Planimetria opere di fondazione tav. 1/4		I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	A	V	I	0	6	0	3	0	0	3	B
Planimetria opere di fondazione tav. 2/4		I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	A	V	I	0	6	0	3	0	0	4	B
Opere provvisionali tav. 1/2		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	6	0	3	0	0	1	A
Opere provvisionali tav. 2/2		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	6	0	3	0	0	2	A
Carpenteria pila tipo 1	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	6	0	5	0	0	1	A
Carpenteria pila tipo 2		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	6	0	5	0	0	2	A
Carpenteria spalla A tav.1/2	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	6	0	4	0	0	1	A
Carpenteria spalla A tav.2/2		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	6	0	4	0	0	2	A
Carpenteria spalla B tav.1/2		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	6	0	4	0	0	3	A
Carpenteria spalla B tav.2/2		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	6	0	4	0	0	4	A
Carpenteria impalcato in acc/cls L=48m	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	6	0	9	0	0	1	B
Carpenteria impalcato in acc/cls L=44.50m	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	6	0	9	0	0	2	B
Fasi realizzative e opere provvisionali 1/2	varie	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	6	0	0	0	0	2	A
Fasi realizzative e opere provvisionali 2/2	varie	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	6	0	0	0	0	3	A
Particolari, dettagli e finiture e appoggi	varie	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	6	0	0	0	0	1	B
Schema di vincolo appoggi e giunti		I	V	0	I	0	0	D	0	9	D	Z	V	I	0	6	0	7	0	0	1	A
Schema di montaggio e varo		I	V	0	I	0	0	D	0	9	D	Z	V	I	0	6	0	0	0	0	1	A

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	10 di 58

**Relazione di calcolo pile campate da 48 m VI06**

### 3. MATERIALI

Si riportano di seguito i materiali previsti per la realizzazione delle strutture, suddivisi per elemento costruttivo.

#### 3.1 Calcestruzzo per getti in opera spalle e pile – fondazioni e elevazioni

Classe	C32/40		
Rck =	40	MPa	resistenza caratteristica cubica
fck =	32	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
fcm =	40	MPa	valor medio resistenza cilindrica
$\alpha_{cc}$ =	0.85		coef. rid. Per carichi di lunga durata
$\gamma_M$ =	1.5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
fcd =	18.13	MPa	resistenza di progetto
fctm =	3.02	MPa	resistenza media a trazione semplice
fcfm =	3.63	MPa	resistenza media a trazione per flessione
fctk =	2.12	MPa	valore caratteristico resistenza a trazione
Ecm =	33346	MPa	Modulo elastico di progetto
$\nu$ =	0.2		Coefficiente di Poisson
Gc =	13894	MPa	Modulo elastico Tangenziale di progetto

#### 3.2 Acciaio per c.a.

B450C

$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} \geq$	540	MPa	tensione caratteristica di rottura
$(f_i/f_y)_{k \geq}$	1,15		
$(f_i/f_y)_{k <}$	1,35		
$\gamma_s =$	1,15	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{yd} =$	391,3	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$E_s =$	200000	MPa	Modulo elastico di progetto
$\epsilon_{yd} =$	0,196%		deformazione di progetto a snervamento
$\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k$	7,50%		deformazione caratteristica ultima

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</b></p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0605 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 11 di 58</p>

### 3.3 Verifiche SLE

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio il tasso di Lavoro nei Materiali e l'ampiezza delle fessure attesa, secondo quanto di seguito specificato.

#### 3.3.1 Verifiche tensionali

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento, trattandosi nel caso in specie di opere Ferroviarie, quelli indicati nel documento "Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario", ovvero:

##### tensione massima di compressione del calcestruzzo

- per combinazione caratteristica (rara) : 0.55  $f_{ck}$
- per combinazione quasi permanente : 0.40  $f_{ck}$
- per spessori minori di 5cm tali valori devono essere decrementati del 30%.

##### tensione massima di trazione dell'acciaio

- per combinazione caratteristica (rara) : 0.75  $f_{yk}$

Per il caso in esame risulta in particolare per l'elevazione:

$$\sigma_{c \max QP} = (0,40 f_{ck}) = 12.8 \quad \text{MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Quasi Permanente})$$

$$\sigma_{c \max R} = (0,55 f_{ck}) = 17.6 \quad \text{MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Caratteristica - Rara})$$

$$\sigma_{s \max R} = (0,75 f_{yk}) = 337.5 \quad \text{MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Caratteristica - Rara})$$

#### 3.3.1 Verifiche a fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV]. In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0605 001	REV. A

**Tabella 1 - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e Condizioni Ambientali**

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	wk	Stato limite	wk
A	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
C	Molto Aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

**Tabella 2 - Descrizione delle condizioni ambientali**

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Risultando:

- $w_1 = 0.2$  mm
- $w_2 = 0.3$  mm
- $w_3 = 0.4$  mm

Alle prescrizioni normative presenti in NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite dal “Manuale di Progettazione delle Opere Civili” secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</b></p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0605 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 13 di 58</p>

Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, qual è il caso delle strutture in esame così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 17.1.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

- Combinazione Caratteristica (Rara)  $\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$

Riguardo infine il valore di calcolo delle fessure da confrontare con i valori limite fissati dalla norma, si è utilizzata la procedura del D.M. 9 gennaio 1996, in accordo a quanto previsto al punto "C4.1.2.2.4.5 Verifica allo stato limite di fessurazione" della Circolare 21 gennaio 2019 n.7/C.S.L.L:PP.

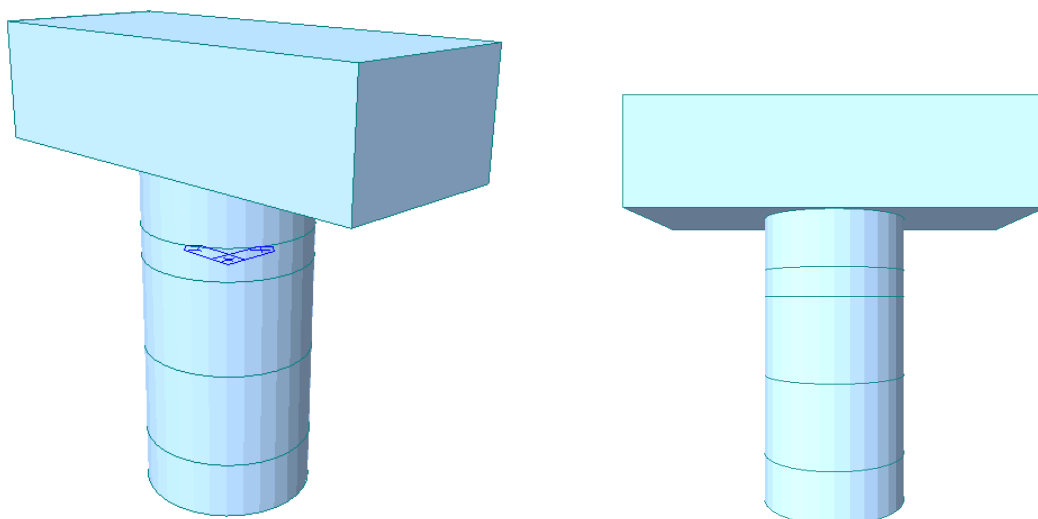
 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</b></p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0605 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 14 di 58</p>

#### 4. MODELLO DI CALCOLO

Lo studio del comportamento strutturale delle pile viene effettuato tramite un modello tridimensionale “a mensola” realizzato con l’ausilio del programma di calcolo ad elementi finiti *Midas Gen*.

Gli elementi costituenti la spalla vengono schematizzati mediante elementi monodimensionale di tipo “*Beam*”.

Si riporta di seguito una immagine illustrativa della modellazione realizzata.



**Figura 2 –Viste 3d del modello di calcolo pila**

Un secondo modello di calcolo è stato realizzato modellando la pila e la fondazione, in cui i pali di fondazione sono stati schematizzati come vincoli fissi (cerniere). Tale modello di calcolo è utile al dimensionamento della fondazione.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo pile campate da 48 m VI06

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	15 di 58

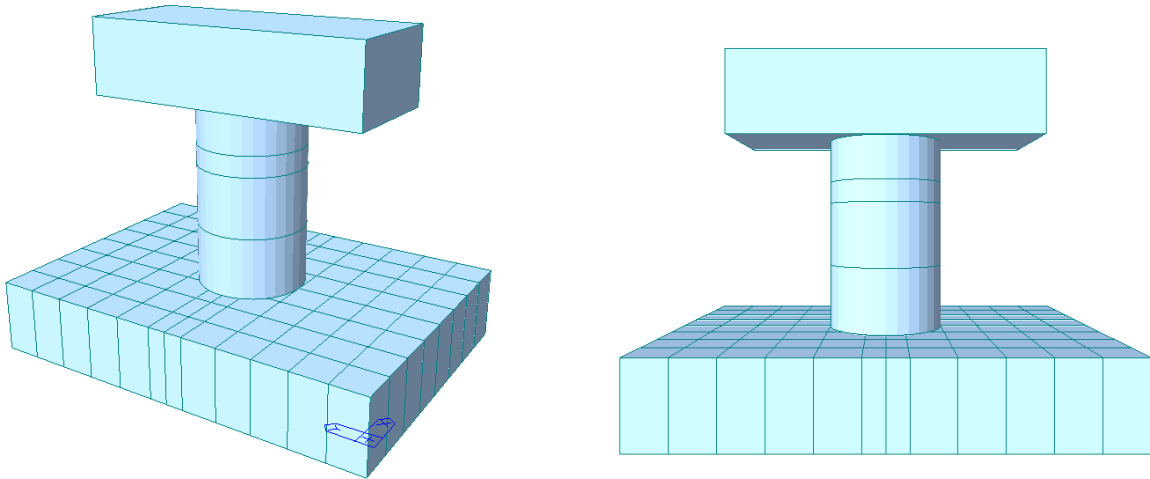


Figura 3 –Viste 3d del modello di calcolo pile

Per l'estrazione degli scarichi da applicare sulla palificata, è stato realizzato un terzo modello con l'applicazione di un vincolo rigido a tutti i nodi della fondazione (zattera infinitamente rigida) e un unico vincolo incastro al baricentro della palificata.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</b></p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0605 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 16 di 58</p>

## 5. ANALISI DEI CARICHI

Nel presente paragrafo si descrivono i carichi agenti sull'impalcato, utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni agenti negli elementi strutturali dell'impalcato.

### 5.1 Peso proprio

Il peso proprio delle strutture viene considerato automaticamente dal software di calcolo utilizzato. Il carico delle strutture in c.a. e c.a.p. viene valutato considerando un peso di volume pari a 25 kN/mc.

### 5.2 Peso proprio del terreno

Il peso proprio del terreno da rilevato è valutato in ragione di 20.0 kN/m<sup>3</sup> e grava sulla fondazione della pila.

Il carico applicato è dunque pari a

$$q_{\text{terr}} = 20\text{kN/mc} \cdot 2.00 \text{ m} = 40.0 \text{ kN/m}^2$$

### 5.3 Carichi variabili

#### 5.3.1 Carichi da traffico ferroviario

Per quanto riguarda le azioni prodotte dai sovraccarichi verticali da traffico, vista la geometria dell'opera e la presenza del singolo binario, sono state esaminate, separatamente, le condizioni di carico corrispondenti al passaggio di ciascuno dei treni di carico previsti dalla normativa; di seguito si riportano una descrizione dei treni ed i risultati ottenuti.

##### 5.3.1.1 Treno di carico LM71

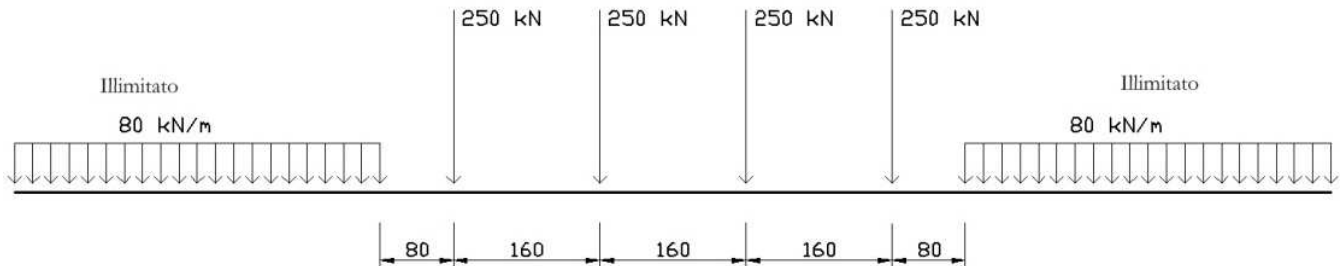
Il Treno di carico LM71 è schematizzato nella figura seguente.



**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	17 di 58

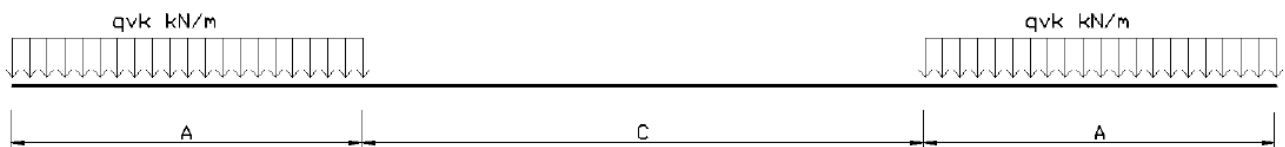


**Figura 4 – Treno di carico LM71**

Per questo modello di carico è prevista una eccentricità del carico rispetto all'asse del binario pari a  $s/18$ , con  $s=1435$  mm. Quindi, l'eccentricità considerata nel modo più sfavorevole per le strutture è pari a:  $e = \sim 80$  mm

#### 5.3.1.2 Treno di carico SW

Il Treno di carico SW/2 è schematizzato nella figura seguente.



**Figura 5 – Treno di carico SW**

**Tabella 3 - caratterizzazione treni di carico SW**

Tipo di carico	Qvk [kN/m]	A [m]	C [m]
SW/0	133	15.0	5.3
SW/2	150	25.0	7.0

**Nel presente documento, si è considerato solo il modello di carico SW/2.**

I valori caratteristici dei carichi attribuiti ai modelli di carico debbono moltiplicarsi per il coefficiente " $\alpha$ " che deve assumersi come da tabella seguente:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0605 001	REV. A

**Tabella 4 - coefficienti  $\alpha$  per modelli di carico**

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE " $\alpha$ "
LM71	1.1
SW/0	1.1
SW/2	1.0

### 5.3.1.3 Valori risultanti

I risultati ottenuti applicando tali schemi di carico sull'area di influenza della pila sono sintetizzati nel seguito.

LM71 + LM71  $F_z = 10075.6$  kN

SW/2 + LM71  $F_z = 11545.6$  kN

### 5.3.2 *Effetti dinamici*

Per la definizione del coefficiente dinamico si segue quanto contenuto nel par.5.2.2.2.3 del DM 17.1.2018 che per l'opera in esame riporta:

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\Phi - 0.2}} + 0.73 \quad \text{con limitazione} \quad 1.00 \leq \Phi_3 \leq 2.00$$

### 5.3.3 *Disposizione treni di carico*

La disposizione dei treni di carico è stata individuata per ottenere le seguenti massime sollecitazioni:

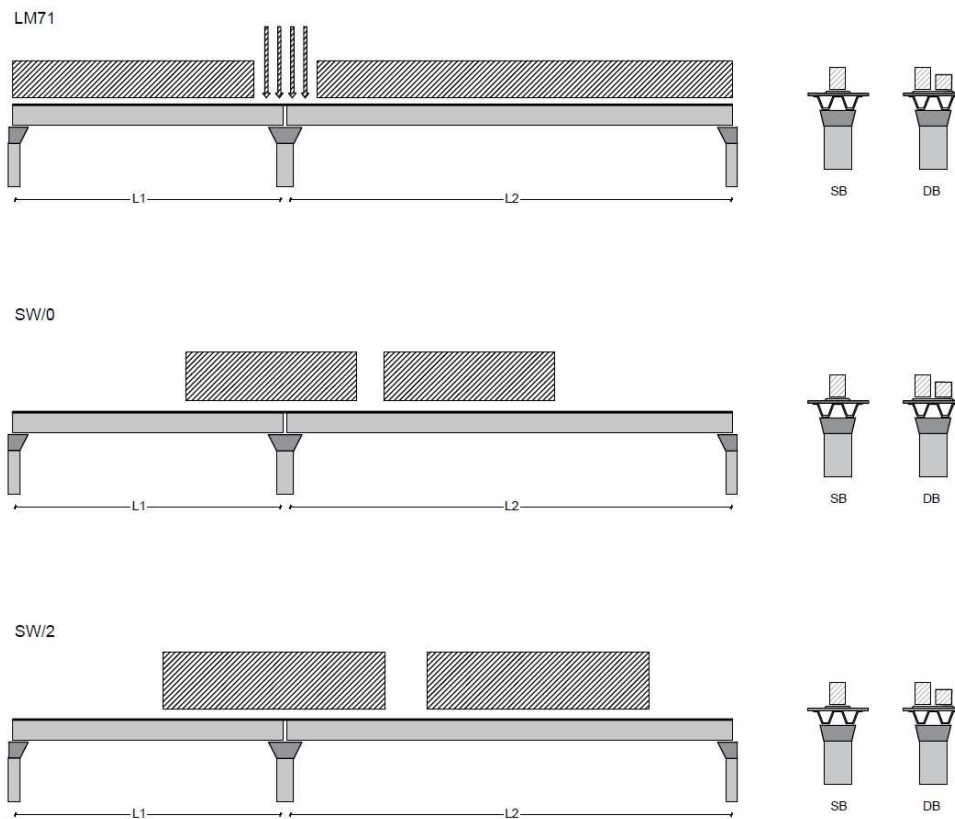
- Sforzo Assiale: il convoglio è localizzato sostanzialmente al di sopra della pila in esame
- Momento Longitudinale: il convoglio è localizzato sulla campata di luce maggiore, più o meno centrato a seconda dei rapporti di lunghezza del treno di carico e della campata.
- Momento Trasversale: è fornito dallo stesso schema di posizionamento del massimo sforzo

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	19 di 58

Si riportano i medesimi schemi graficamente per un caso rappresentativo:

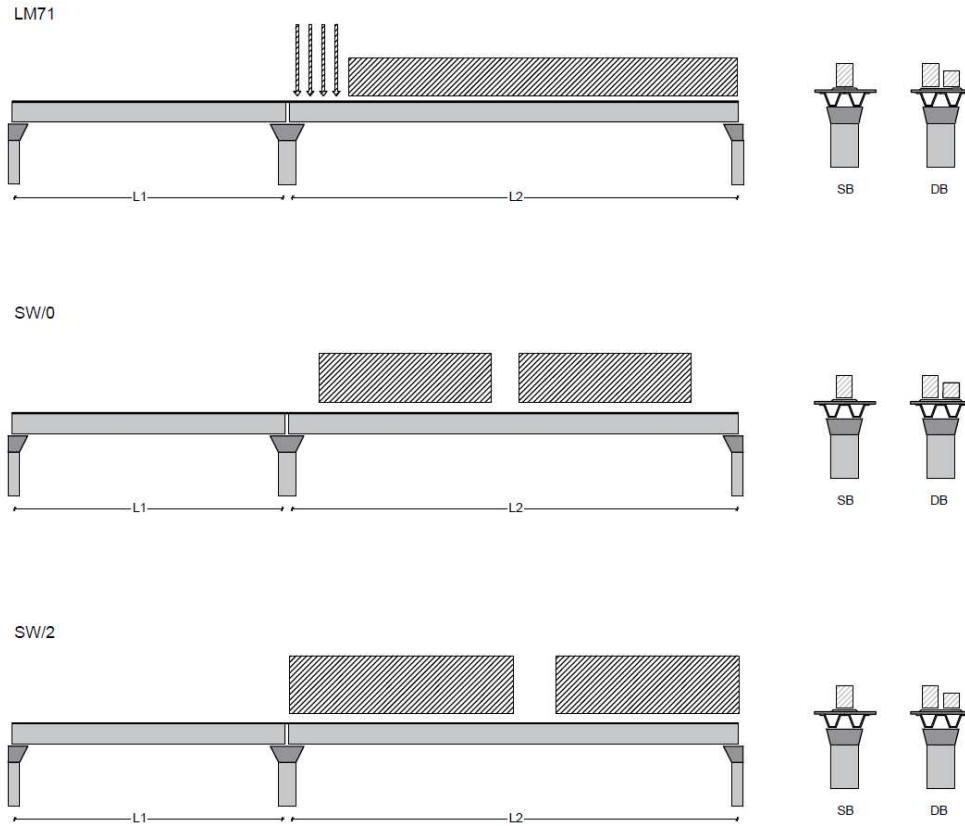


**Figura 6- Posizione treni di carico - massimo sforzo assiale**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	20 di 58

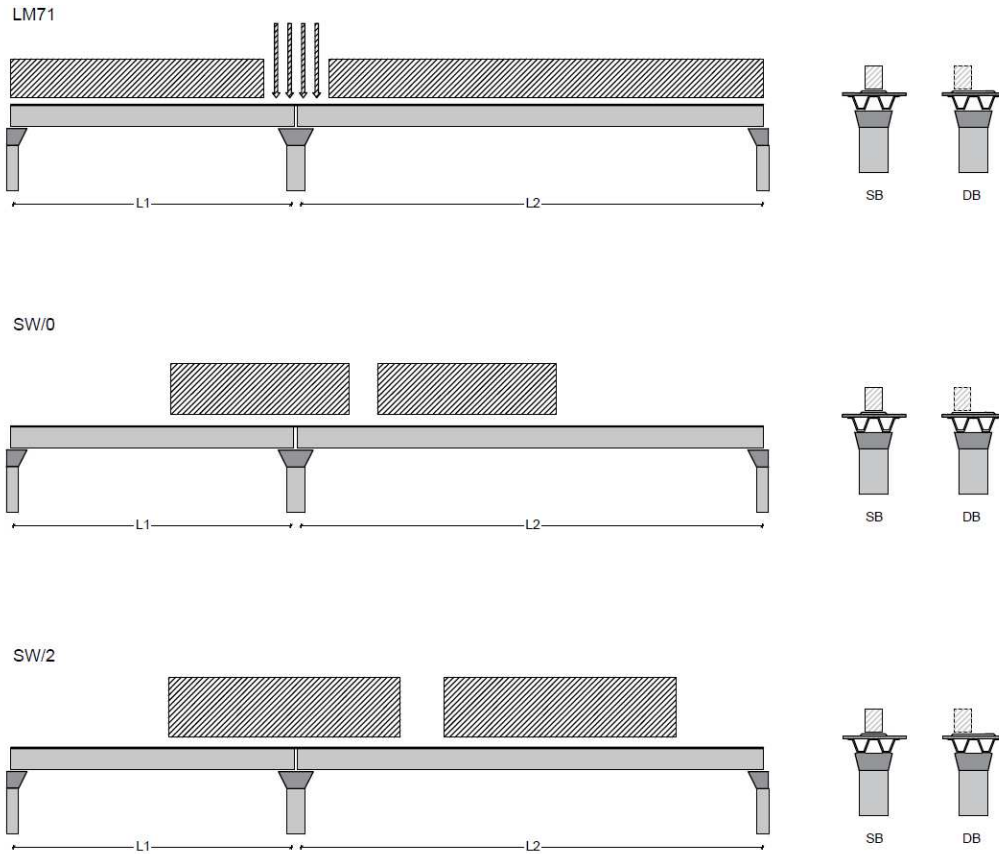


**Figura 7- Posizione treni di carico – massimo momento longitudinale**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	21 di 58



**Figura 8- Posizione treni di carico – massimo momento trasversale**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0605 001	REV. A

#### 5.4 Carichi derivanti dall'impalcato

Le azioni derivanti dall'impalcato per i vari casi di carico sono stati assegnati alla pila in corrispondenza dei dispositivi di appoggio.

Si riportano di seguito i carichi dovuti al peso proprio dell'impalcato e ai carichi permanenti non strutturali. Per consultare il riepilogo completo degli scarichi provenienti dall'impalcato si rimanda alla relazione di calcolo dell'impalcato.

	Appoggi Esterni (4)	Appoggi Interni (4)	Totale
PESO PROPRIO	1280 kN	1207 kN	9948 kN
PERMANENTI N.S.	1200 kN	1200 kN	9600 kN

#### 5.5 Azioni sismiche

In accordo al § 7.9 delle NTC2018 e al MdP 2021, per determinare le sollecitazioni sismiche di progetto sulle pile viene eseguita un'analisi sismica "lineare dinamica" con spettro di risposta.

Si adotta un comportamento strutturale dissipativo con classe di duttilità "Bassa".

Si considerano inoltre i seguenti criteri di calcolo.

Analisi semplificata o dinamica modale considerando solo l'inerzia dell'elevazione e dell'impalcato, con l'incastro a terra, senza considerare la massa del plinto.

Il modulo elastico del calcestruzzo è stato ridotto al 50% per tenere conto della fessurazione, come da MdP al 2.5.1.8.3.3.

Fattore di struttura pari a

$$q = 1.5 \text{ (elevazione)}$$

$$q = 1.5/1.1 = 1.36 \text{ (fondazioni: pali e plinto);}$$

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</b></p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0605 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 23 di 58</p>

### Criteria di calcolo

Dimensionamento nelle zone dissipative con il criterio

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

dove  $M_{Rd}$  è la capacità flessionale, calcolata sul relativo dominio di resistenza allo SLU in corrispondenza della sollecitazione assiale agente

Nelle zone al di fuori delle zone dissipative, si adotta il criterio di progettazione in capacità

$$M_{prc} \leq M_{yd}$$

dove  $M_{yd}$  è la capacità flessionale corrispondente alla curvatura convenzionale di prima plasticizzazione di cui al § 7.4.4.1.2, in corrispondenza della sollecitazione assiale agente.

Dimensionamento a taglio con azione di taglio derivante dalla Progettazione in capacità (cap.7.9.5.1.1 NTC18)

### Inquadramento sismico

La pericolosità sismica di base è stata definita sulla base delle coordinate geografiche del sito di realizzazione del viadotto e sono pari a:

Longitudine: 8.173959

Latitudine: 44.06403

I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono riportati di seguito.

Vita nominale  $V_N = 75$  anni

Classe d'uso: III

Coefficiente d'uso  $C_U = 1.5$

Categoria di suolo: B

Condizione topografica: T1

Fattore di struttura componente orizzontale  $q = 1.5$  per la struttura della pila

Fattore di struttura componente orizzontale  $q = 1.5 / 1.1 = 1.36$  per le fondazioni

Fattore di struttura componente verticale  $q = 1$

Le masse considerate sono quelle dovute a tutti i carichi permanenti e al 20% dei carichi da traffico.

PROGETTO DEFINITIVO

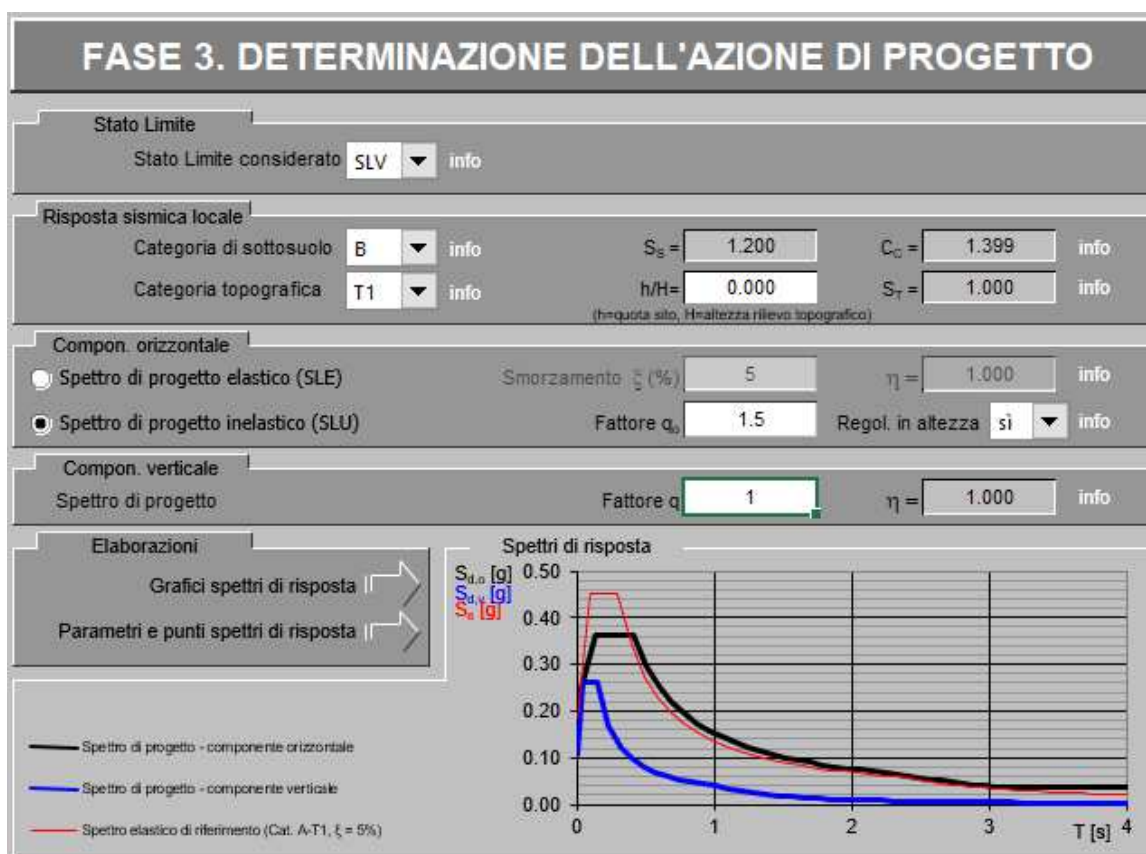
Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	24 di 58

L'azione sismica è stata calcolata per mezzo del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

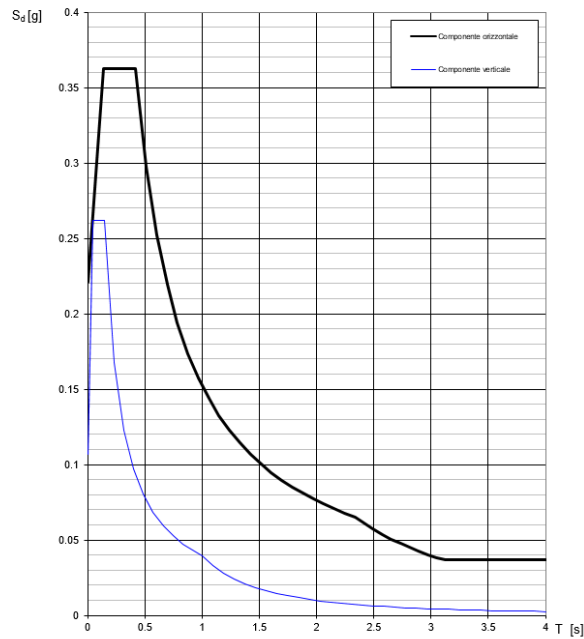
I parametri per la determinazione dei punti dello spettro di risposta sono:

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	68	0.042	2.573	0.225
SLD	113	0.058	2.560	0.244
SLV	1068	0.184	2.461	0.300
SLC	2193	0.245	2.485	0.316



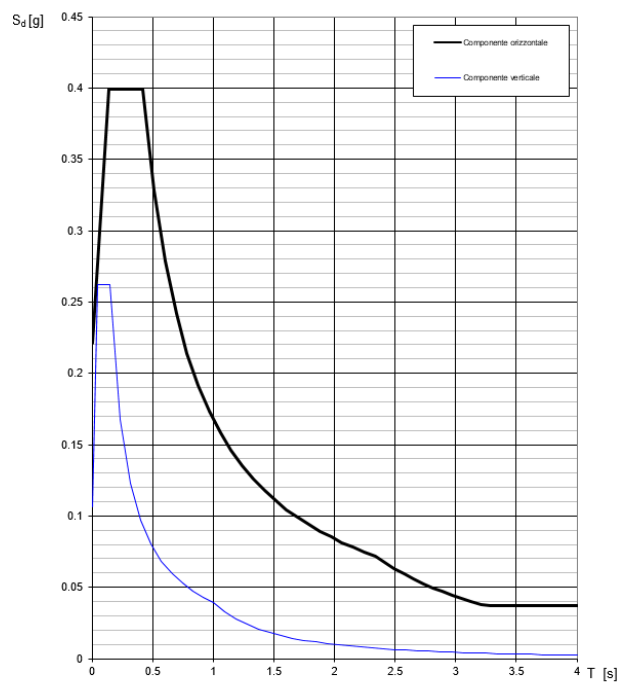


**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**



**Figura 9: Spettro di risposta orizzontale e verticale allo SLV ( $q=1.5$ )**

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**



**Figura 10: Spettro di risposta orizzontale e verticale allo SLV ( $q=1.36$ )**

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</b></p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0605 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 26 di 58</p>

Per le verifiche della struttura si opererà sommando gli effetti delle tre componenti  $E_x$ ,  $E_y$  e  $E_z$  ponendo alternativamente una al 100% e le due restanti al 30%, secondo le seguenti espressioni:

Caso 1 (Sisma X al 100%):  $E = \pm 1.00 \cdot E_x \pm 0.30 \cdot E_y \pm 0.30 \cdot E_z$

Caso 2 (Sisma Y al 100%):  $E = \pm 0.30 \cdot E_x \pm 1.00 \cdot E_y \pm 0.30 \cdot E_z$

Caso 3 (Sisma Z al 100%):  $E = \pm 0.30 \cdot E_x \pm 0.30 \cdot E_y \pm 1.00 \cdot E_z$

## 5.6 Azioni idrodinamiche

Trattandosi di pile in alveo, le azioni idrodinamiche sono state tenute in considerazione per il dimensionamento della pila e delle fondazioni, come da NTC 2018 par. 5.1.2.3 “Compatibilità idraulica” e par. 5.1.3.8 “Azioni Idrodinamiche:  $q_6$ ”

Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d’acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione.

Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associate al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno (si assuma  $Tr = 1,001$ ) devono essere combinate con le altre azioni variabili adottando valori del coefficiente  $\psi_0$  unitario.

Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associati all’evento di piena di progetto devono essere combinate esclusivamente con le altre azioni variabili da traffico, adottando per queste ultime i coefficienti di combinazione  $\psi_1$ .

### 5.1.3.8 AZIONI IDRODINAMICHE: $q_6$

Le azioni idrodinamiche sulle pile poste nell’alveo dei fiumi devono essere calcolate secondo le prescrizioni del § 5.1.2.3 tenendo conto, oltre che dell’orientamento e della forma della pila, anche degli effetti di modificazioni locali dell’alveo, dovute, per esempio, allo scalzamento.

La pressione dovuta all’azione idrodinamica è stata calcolata con la seguente formula

$$p = \frac{1}{2} \rho C_D V^2 \text{ in kN/m}^2$$

con  $\rho$  = densità dell’acqua pari a  $1 \text{ kN s}^2/\text{m}^4$

$C_D$  coefficiente di forma, in funzione della sezione trasversale dell’elemento

$V$  = velocità dell’acqua in m/sec

Considerata 3.7 m/s per  $Tr = 200$  anni e 2.6 m/s per  $Tr=1,001$  anni

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	27 di 58

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

Di seguito si riporta in sintesi i valori di calcolo di tale azione sulla pila, sul plinto di fondazione e sui pali, considerando la profondità di scalzamento.

 Per  $T_r = 200$  anni

 Per  $T_r = 1,001$  anni

<b>PLINTO FONDAZIONE</b>			
pressione	p	<b>8.1</b>	kN/mq
altezza	h	3.00	m
larghezza	b	12.00	m
coeff. forma	Cd	<b>1.190</b>	rettang.
forza risultante	F ris.	<b>293.2</b>	kN

<b>PLINTO FONDAZIONE</b>			
pressione	p	<b>4.0</b>	kN/mq
altezza	h	3.00	m
larghezza	b	12.00	m
coeff. forma	Cd	<b>1.190</b>	rettang.
forza risultante	F ris.	<b>144.8</b>	kN

<b>FUSTO PILA</b>			
pressione	p	<b>4.4</b>	kN/mq
diametro	D	4.50	m
lunghezza impatt.	L	5.85	m
coeff. forma	Cd	<b>0.645</b>	circolare
forza risultante	F ris.	<b>116.2</b>	kN

<b>FUSTO PILA</b>			
pressione	p	<b>2.2</b>	kN/mq
diametro	D	4.50	m
lunghezza impatt.	L	5.85	m
coeff. forma	Cd	<b>0.645</b>	circolare
forza risultante	F ris.	<b>57.4</b>	kN

<b>PALI DI FONDAZIONE</b>			
pressione	p	<b>5.2</b>	kN/mq
diametro	D	1.5	m
lunghezza impatt.	L	8.7	m
coeff. forma	Cd	<b>0.760</b>	circolare
F singolo palo	F palo	<b>67.9</b>	kN
Nr. Pali	n pali	12	
F risultante	F tot	<b>814.7</b>	kN

<b>PALI DI FONDAZIONE</b>			
pressione	p	<b>2.6</b>	kN/mq
diametro	D	1.5	m
lunghezza impatt.	L	8.7	m
coeff. forma	Cd	<b>0.760</b>	circolare
F singolo palo	F palo	<b>33.5</b>	kN
Nr. Pali	n pali	12	
F risultante	F tot	<b>402.3</b>	kN

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA      LOTTO      CODIFICA      DOCUMENTO      REV.      FOGLIO

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

IV01      00      D 09 CL      VI0605 001      A      28 di 58

## 6. COMBINAZIONI DI CARICO

Gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli vanno sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati nella seguente tabella:

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.

Il gruppo 4 è da considerarsi esclusivamente per le verifiche a fessurazione. I valori indicati fra parentesi si assumeranno pari a: (0,6) per impalcati con 2 binari carichi e (0,4) per impalcati con tre o più binari carichi.

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	29 di 58

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**
**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	$\gamma_{Ced}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole		1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

**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
Gruppi di carico	$gr_1$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$gr_2$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	$gr_3$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$gr_4$	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

<sup>(1)</sup> 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.

<sup>(2)</sup> 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.

**Tabella 5 - Valutazione dei carichi da traffico (da “Istruzioni per la progettazione e l’esecuzione dei font ferroviari”)**

Le azioni di cui ai paragrafi precedenti sono combinate tra loro, al fine di ottenere le sollecitazioni di progetto relative agli elementi strutturali di volta in volta considerati in base a quanto prescritto dal D.M. 17 Gennaio 2018 ai paragrafi § 2.5.3 e §5.2.3.

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	30 di 58

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Nella tabella seguente si riportano i valori di combinazioni adottati per analisi e verifiche. I valori riportati in tabella considerano già i coefficienti di combinazione previsti dalla normativa.

Tipo Combinazione	Azione dominante	G1	G2	gr_traffico	Sp_var	Fw_Vento	Tk_ΔT	Peso_terr	Sp_terr
SLU 01	gr1	1.35	1.5	1.45	1.45	0.9	0.9	1.35	1.35
SLU 02	gr2	1.35	1.5	1.45	1.45	0.9	0.9	1.35	1.35
SLU 03	gr3	1.35	1.5	1.45	1.45	0.9	0.9	1.35	1.35
SLU 04	Fw	1.35	1.5	1.16	1.16	1.5	0.9	1.35	1.35
SLU 05	Fw	1.35	1.5	1.16	1.16	1.5	0.9	1.35	1.35
SLU 06	Fw	1.35	1.5	1.16	1.16	1.5	0	1.35	1.35
SLU 07	Fw	1.35	1.5	1.16	1.16	1.5	0.9	1.35	1.35
SLU 08	Tk	1.35	1.5	1.16	1.16	0.9	1.5	1.35	1.35


RARA (Caratteristica) 01	gr1	1	1	1	1	0.6	0.6	1	1
RARA 02(Caratteristica)	gr2	1	1	1	1	0.6	0.6	1	1
RARA 03(Caratteristica)	gr3	1	1	1	1	0.6	0.6	1	1
RARA (Caratteristica) 04	gr4	1	1	1	1	0.6	0.6	1	1
RARA (Caratteristica) 05	Fw	1	1	0	0	1	0.6	1	1
RARA (Caratteristica) 06	Fw	1	1	1	1	1	0.6	1	1
RARA (Caratteristica) 07	Fw	1	1	0.8	0.8	1	0.6	1	1
RARA (Caratteristica) 08	Tk	1	1	0.8	0.8	1	0.6	1	1

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione di calcolo pile campate da 48 m VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	31 di 58

RARA (Caratteristica)	09	gr1	1	1	0.8	0.8	0.6	1	1	1
--------------------------	----	-----	---	---	-----	-----	-----	---	---	---

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0605 001	REV. A

## 7. ANALISI DINAMICA LINEARE

Per applicare l'analisi statica lineare secondo NTC 7.9.4.1 devono essere soddisfatti i seguenti requisiti :

- per entrambe le direzioni longitudinale e trasversale, in ponti a travate semplicemente appoggiate e purché la massa efficace di ciascuna pila non sia superiore ad 1/5 della massa di impalcato da essa portata;
- nella direzione longitudinale, per ponti rettilinei a travata continua e purché la massa efficace complessiva delle pile facenti parte del sistema resistente al sisma non sia superiore ad 1/5 della massa dell'impalcato;
- nella direzione trasversale, per ponti che soddisfino la condizione b) e siano simmetrici rispetto alla mezzeria longitudinale, o abbiano un'eccentricità non superiore al 5% della lunghezza del ponte. L'eccentricità è la distanza tra baricentro delle masse e centro delle rigidezze delle pile facenti parte del sistema resistente al sisma nella direzione trasversale.

Non essendo soddisfatti i suddetti criteri per l'analisi statica si svolge una Analisi Dinamica Lineare. L'analisi viene svolta considerando per la pila una rigidezza non fessurata e fessurata con riduzione della rigidezza pari ad 50%.

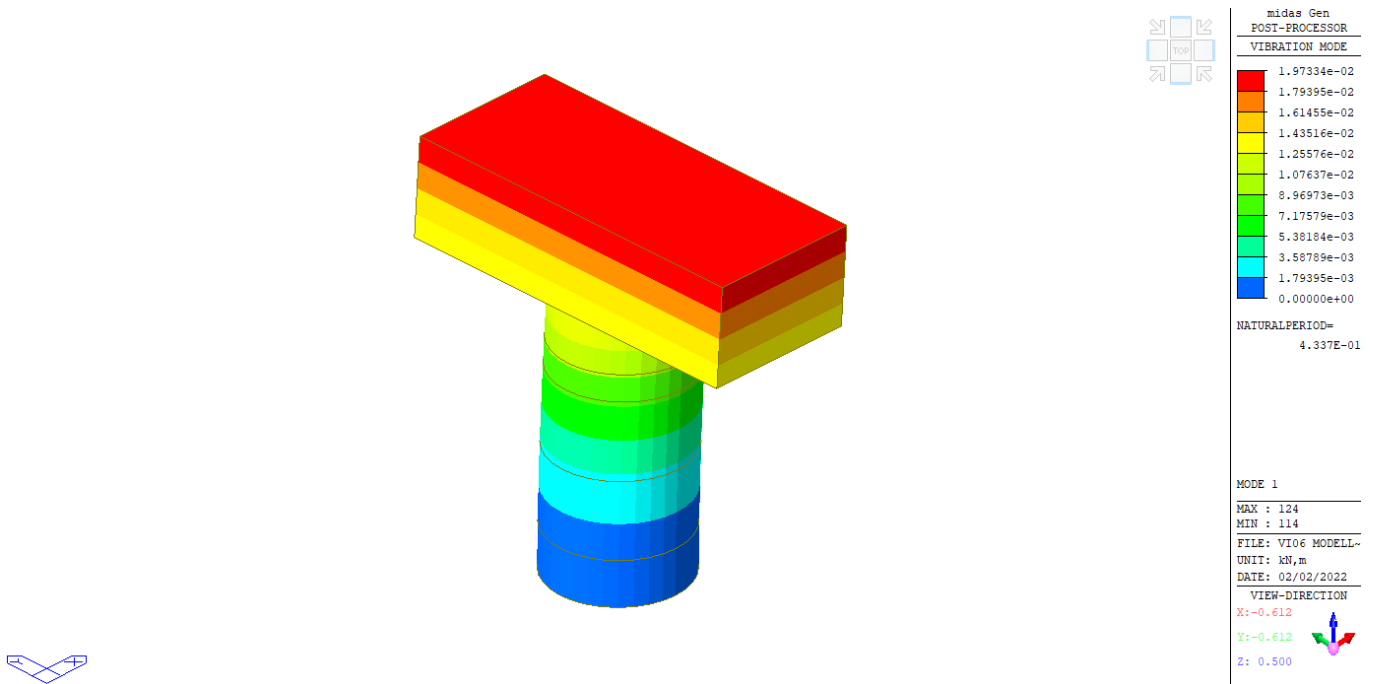


Figura 11: Primo modo di vibrare (50% rigidezza)



PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo pile campate da 48 m VI06

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	33 di 58

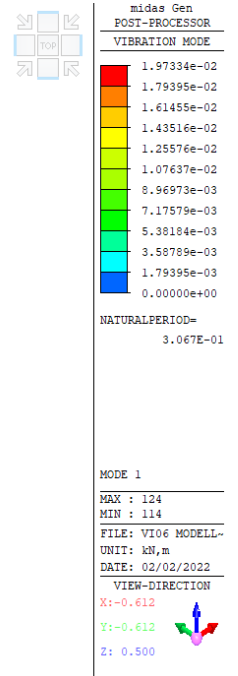
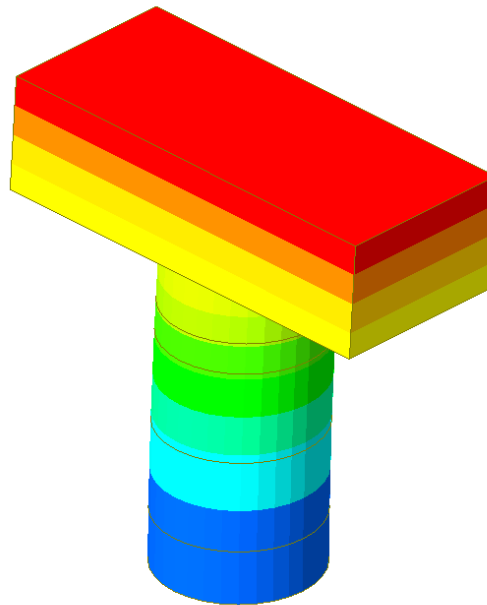



Figura 12: Primo modo di vibrare (100% rigidezza)

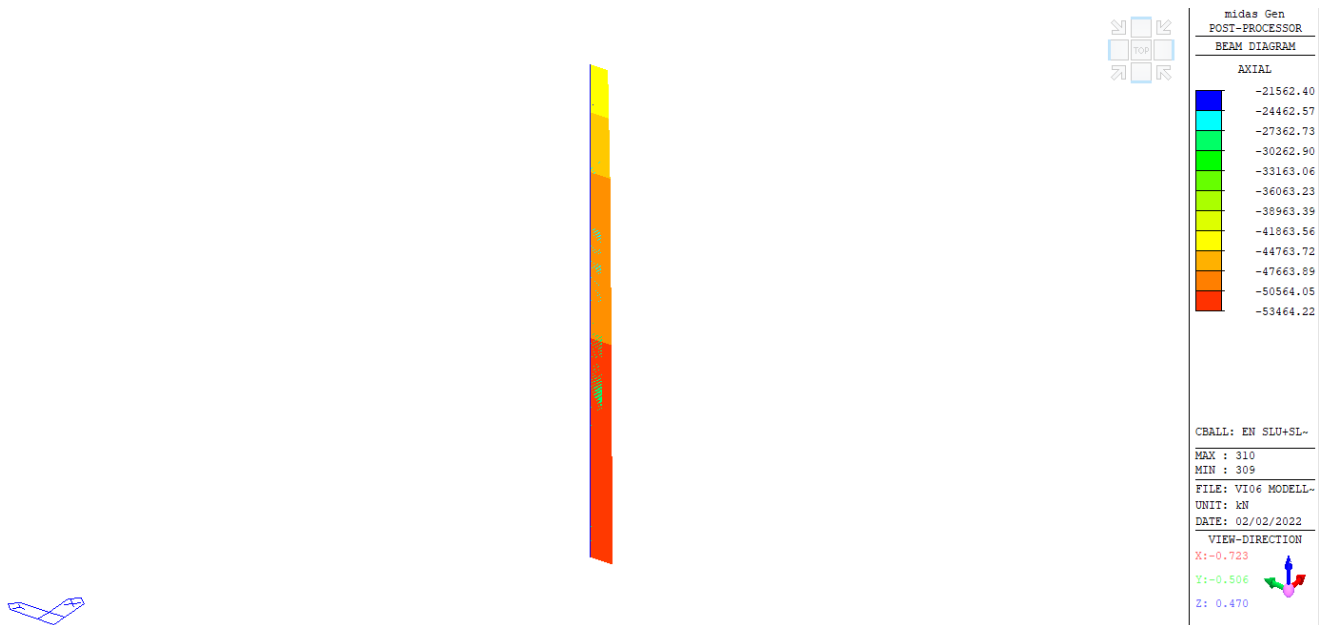
 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0605 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 34 di 58</p>

## 8. SOLLECITAZIONI

### 8.1 Base pila

Si riportano, in forma grafica e tabellare, le sollecitazioni agenti sulla pila in esame.

Il sistema di riferimento è quello locale, in cui X coincide con la direzione assiale dell'elemento beam, Y coincide con la direzione longitudinale (asse impalcato) e Z la direzione trasversale (ortogonale all'asse impalcato).



**Figura 13: Azione assiale Inviluppo SLU**

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	35 di 58

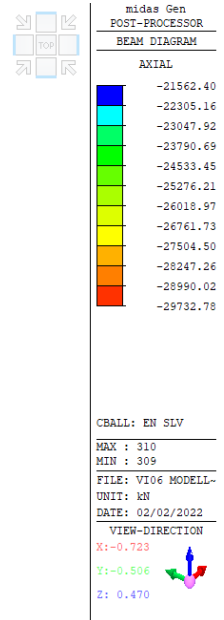


Figura 14: Azione assiale Inviluppo SLV

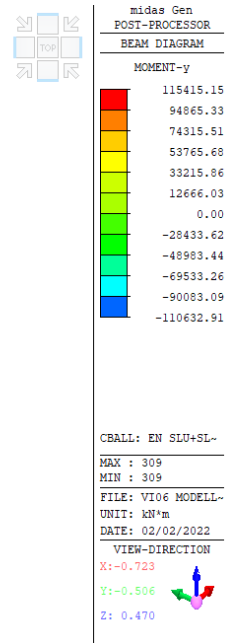


Figura 15: Momento flettente in direzione Y (inviluppo SLV)

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	36 di 58

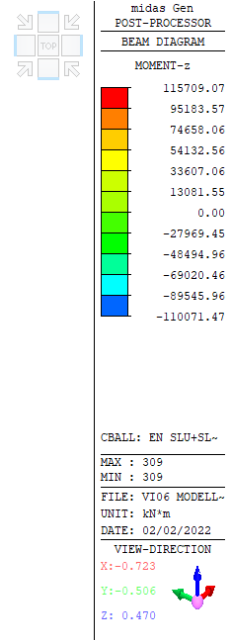


Figura 16: Momento flettente in direzione Z (involuppo SLV)

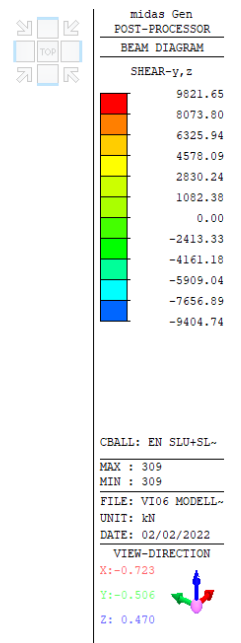


Figura 17: Taglio nelle due direzioni (involuppo SLV)

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	37 di 58

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

## Sollecitazioni agli Stati Limite Ultimi

Load	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
SLU01	-53464.22	1682	2326.8	28270.63	20436.31
SLU02	-41005.82	0	2228.2	27072.64	0
SLU03	-53464.22	3248	1271.2	15445.09	39463.22
SLU04	-50543.34	1345.6	2641.44	32093.51	16349.05
SLU05	-40576.62	0	2562.56	31135.12	0
SLU06	-50543.34	2598.4	1796.96	21833.07	31570.57
SLU07	-53464.22	1682	2326.8	28270.63	20436.31
SLU08	-38859.82	0	1500	18225.01	0
SLU09	-46162.02	1682	1625	19743.76	20436.31
SLU10	-46162.02	0	1601.8	19461.88	0
SLU11	-46162.02	3248	900	10935	39463.22
SLU12	-46162.02	812	1271.2	15445.09	9865.8
SLV01	-29732.78	9821.65	3077.26	36298.33	115709.07
SLV02	-29732.78	9821.65	-2683.66	-31516.09	115709.07
SLV03	-29732.78	3108.9	9798.34	115415.15	36685.88
SLV04	-29732.78	-2644.9	9798.34	115415.15	-31048.28
SLV05	-29732.78	-9357.65	-2683.66	-31516.09	-110071.47
SLV06	-29732.78	-9357.65	3077.26	36298.33	-110071.47
SLV07	-29732.78	-2644.9	-9404.74	-110632.91	-31048.28
SLV08	-29732.78	3108.9	-9404.74	-110632.91	36685.88
SLU13	-46162.02	841	1638.9	18556.91	10218.15
SLU14	-50543.34	1345.6	2127.44	25184.03	16349.05

## Sollecitazioni agli Stati Limite di Esercizio


Load	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
QPERM	-29732.78	232	196.8	2391.12	2818.8
RARA01	-37790.38	1160	1584	19245.61	14094.01
RARA02	-29198.38	0	1516	18419.41	0
RARA03	-37790.38	2240	856	10400.4	27216.01
RARA04	-37790.38	1840	1394	16937.11	22356.01
RARA05	-27718.38	0	1000	12150.01	0
RARA06	-37790.38	1840	1794	21797.11	22356.01

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	38 di 58

**Relazione di calcolo pile campate da 48 m VI06**

RARA07	-35775.98	928	1387.2	16854.49	11275.2
RARA08	-28902.38	0	1332.8	16193.53	0
RARA09	-35775.98	1792	804.8	9778.32	21772.81
RARA10	-32754.38	1160	1100	13365.01	14094.01
RARA11	-32754.38	0	1084	13170.61	0
RARA12	-32754.38	2240	600	7290	27216.01
RARA13	-32754.38	560	856	10400.4	6804
RARA14	-35775.98	928	1444.53	17108.17	11275.2

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0605 001	REV. A

## 8.1 Fondazione

Di seguito si riportano i diagrammi delle sollecitazioni agenti nella fondazione, derivanti dallo studio del modello completo di due pile più la fondazione comune, con fattore di struttura pari a  $q = 1.5/1.10 = 1.36$ .

Le sollecitazioni vengono riportate con un sistema di riferimento locale (degli elementi bidimensionali “plate”). La direzione X coincide con quella longitudinale (asse impalcato) e la direzione Y con quella trasversale.

Il momento positivo tende le fibre inferiori della fondazione.

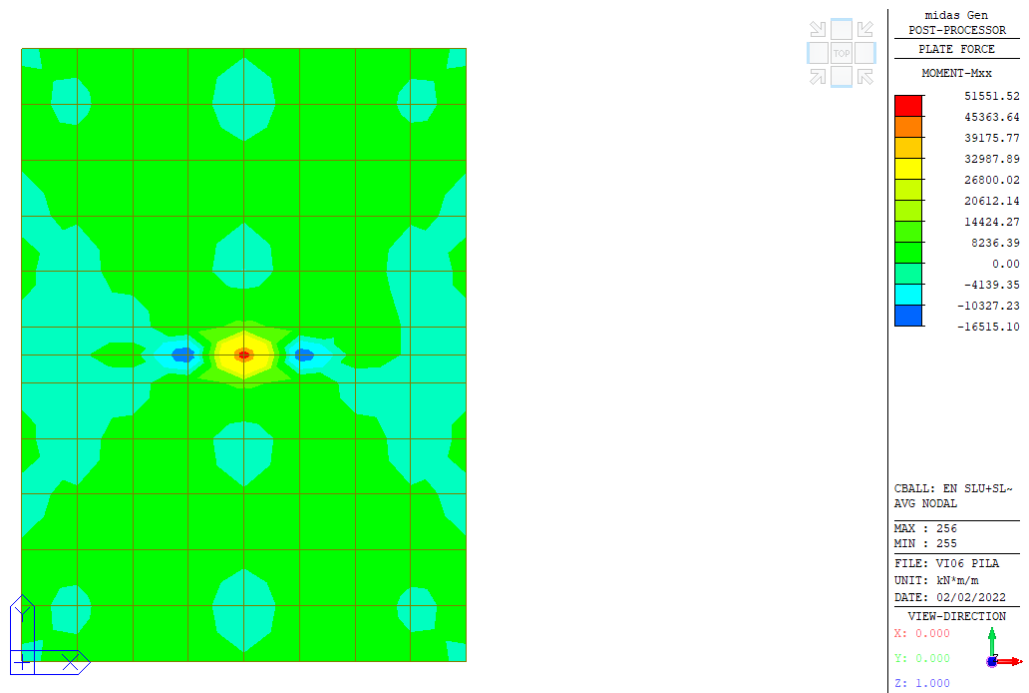


Figura 18: Momento flettente in direzione X (involuppo SLU+SLV)

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	40 di 58

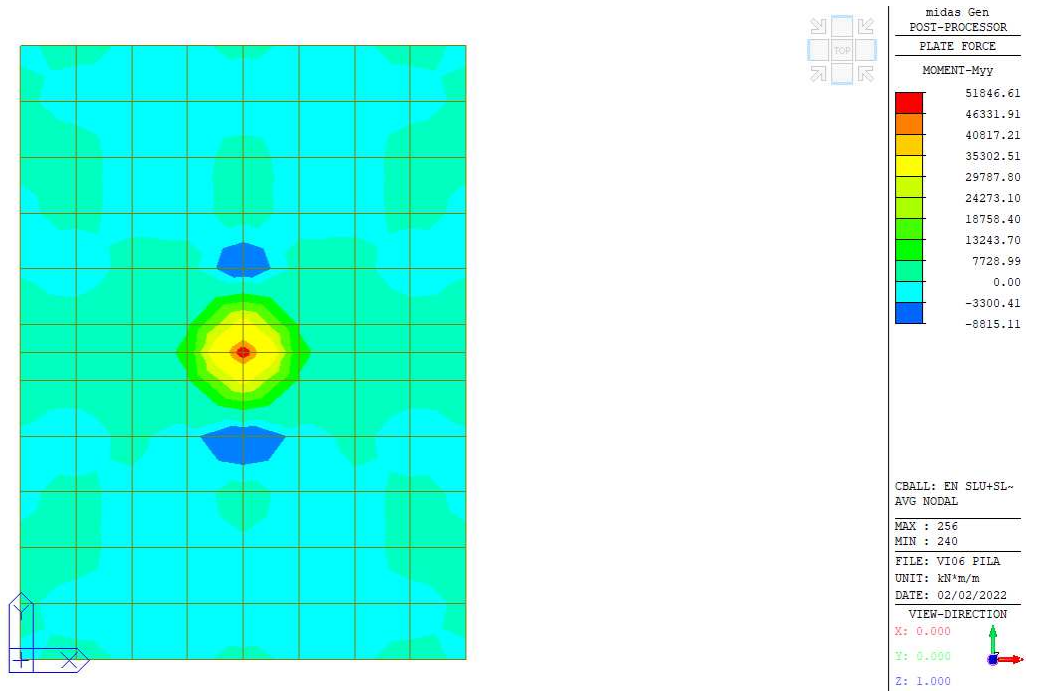


Figura 19: Momento flettente in direzione Y (involuppo SLU+SLV)

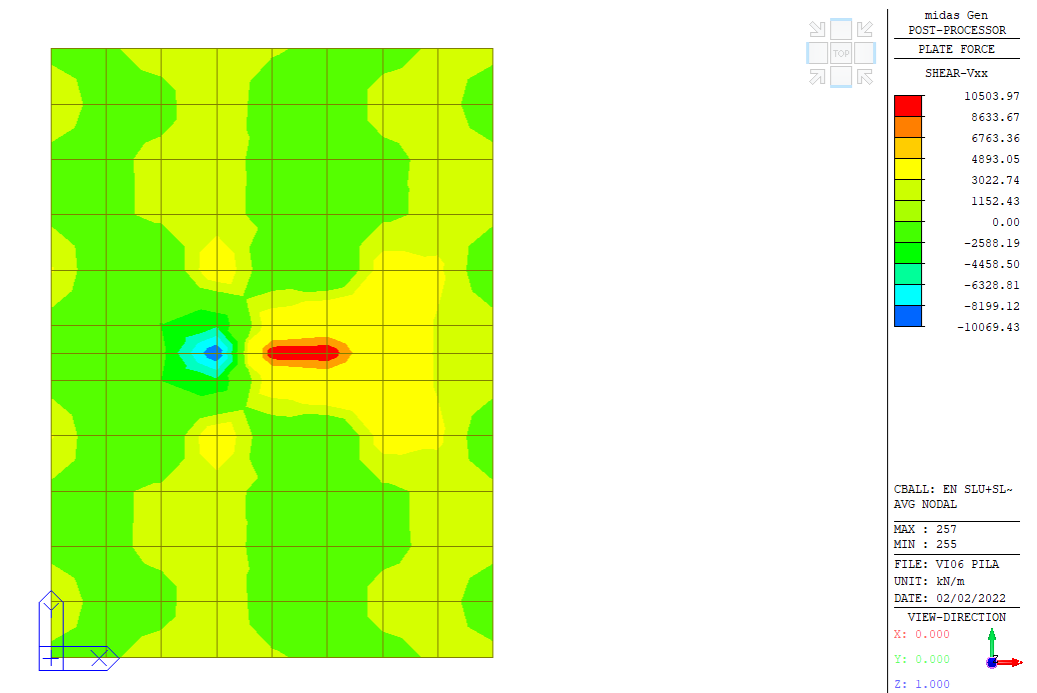


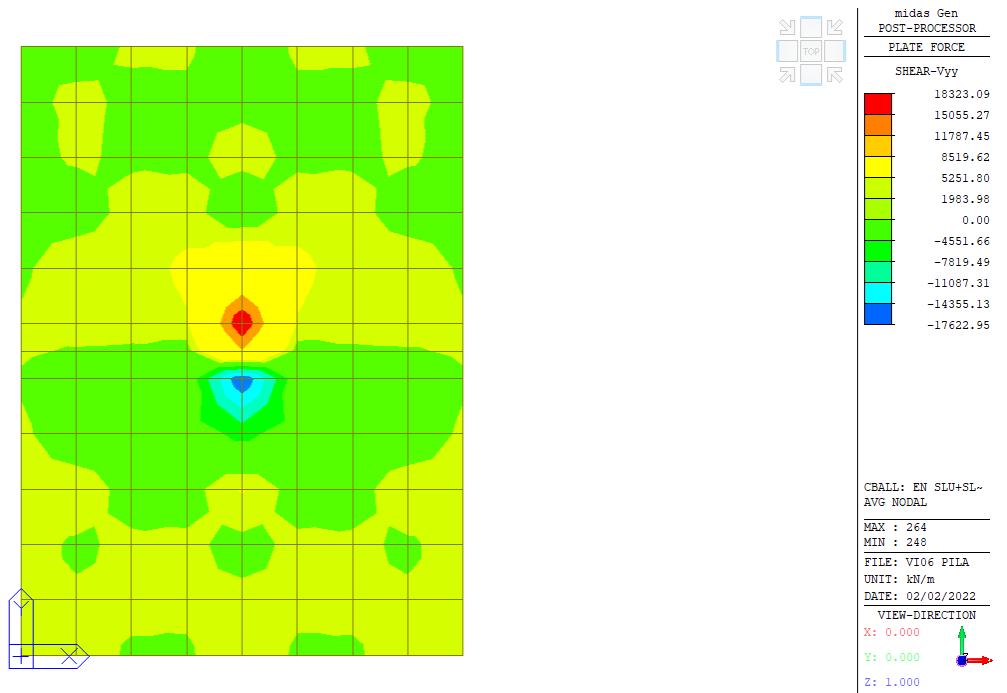
Figura 20: Taglio in direzione X (involuppo SLU+SLV)



PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	41 di 58



**Figura 21: Taglio in direzione Y (involuppo SLU+SLV)**

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</b></p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0605 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 42 di 58</p>

## 9. VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Per tutti gli elementi strutturali della pila vengono svolte le seguenti verifiche:

- verifiche a rottura (pressoflessione e taglio) per le combinazioni allo stato limite ultimo (SLU).
- verifiche tensionali per le combinazioni rare, frequenti e quasi permanenti (SLE)
- verifiche a fessurazione per le combinazioni rara (SLE)

### 9.1 Pila

Si riportano i criteri di progettazione delle pile come da NTC 2018 per classe di duttilità “Bassa”

Dimensionamento nelle zone dissipative con il criterio

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

dove  $M_{Rd}$  è la capacità flessionale, calcolata sul relativo dominio di resistenza allo SLU in corrispondenza della sollecitazione assiale agente

Nelle zone al di fuori delle zone dissipative, si adotta il criterio di progettazione in capacità

$$M_{prc} \leq M_{yd}$$

dove  $M_{yd}$  è la capacità flessionale corrispondente alla curvatura convenzionale di prima plasticizzazione di cui al § 7.4.4.1.2, in corrispondenza della sollecitazione assiale agente.

Dimensionamento a taglio con azione di taglio derivante dalla Progettazione in capacità (cap.7.9.5.1.1 NTC18)

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	43 di 58

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

Si riportano in sintesi i dati principali del calcolo della pila.

<b>Direzione</b>		<b>Longitudinale</b>	<b>Trasversale</b>	
		<b>Mz, Fy</b>	<b>My, Fz</b>	
Altezza pila	H	7.75	7.75	m
Fattore di struttura	q	1.5	1.5	-
Fattore di sovraresistenza (eq. 7.9.7)	$\gamma_{Rd}$	1.00	1.00	-
Fattore di sovraresistenza filtrato (eq. 7.9.7)	$\gamma_{Rd}$	1.00	1.00	-
Taglio agente da analisi (q=1.5)	V Ed	9822	9798	kN
Momento flettente (q=1.5)	M Ed	115709	115415.15	kNm
Momento resistente	M Rd	156185	150841	kNm
Rapporto di sovraresistenza	M Rd / M Ed	<b>1.350</b>	<b>1.307</b>	-
Tipo sezione (EC 8-2; eq. 6.11)		<i>Non critica</i>	<i>Non critica</i>	
Angolo inclinazione bielle compresse	Theta	variabile	variabile	
Limite superiore V gr,max =V Ed x q	V gr,max	14733	14697	kN
Taglio di progetto per la gerarchia della resistenza (eq. 7.9.12)	V gr (cal.)	13257.8	12805.4	kN
	V gr	13257.8	12805.4	kN
Fattore di sicurezza aggiuntivo per la verifica a taglio (eq. 7.9.10)	$\gamma_{Bd}$	1.25	1.25	-
Domanda a taglio per gerarchia delle resistenze (eq. 7.9.10a)	V Ed	<b>25191.1</b>	<b>24329.2</b>	kN
<b>Riassumendo</b>				
Taglio di calcolo nelle due direzioni	V Ed	<b>25191.1</b>	<b>24329.2</b>	kN
Taglio di calcolo pila circolare $(V_y^2 + V_z^2)^{0.5}$	V Ed	<b>35021.5</b>		kN
Fattore di sicurezza aggiuntivo per la verifica a taglio (eq. 7.9.10)	$\gamma_{Bd}$	1.250	1.250	-
Angolo inclinazione bielle compresse	Theta	variabile	variabile	

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	44 di 58

### Verifica a presso-flessione

L'armatura verticale della pila è pari a 142  $\phi$  30 (passo circa 10) sulla circonferenza. Il copriferro netto è pari a 50 mm.

A taglio si utilizzano staffe più bracci interni, per un totale di 10 bracci  $\phi$  16 / passo 20 cm.

Si riporta la schermata di verifica a presso-flessione. Per effettuare il calcolo del momento corrispondente alla curvatura di prima plasticizzazione, le deformazioni ultime dei materiali si limitano alle loro deformazioni elastiche.

Verifica C.A. S.L.U. - File: pila VI06

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

Titolo :

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 450 [cm]

Raggio interno: 0 [cm]

N° barre uguali: 142

Diametro barre: 3 [cm]

Copriferro (baric.): 8.1 [cm]

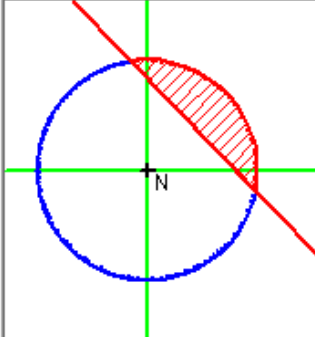
N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.



**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 29732 0 kN

M<sub>xEd</sub>: 115415 0 kNm

M<sub>yEd</sub>: 115709 0

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Tipo rottura**

Lato acciaio - Acciaio elastico

**Materiali**

B450 Yd C32/40 EL

$\epsilon_{su}$ : 2 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰

$f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 2 ‰

$E_s$ : 195,000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 22.13

$E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8

$\epsilon_{syd}$ : 2.007 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 12.25

$\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0.7333

$\tau_{c1}$ : 2.114

M<sub>xRd</sub>: 150,841 kN m

M<sub>yRd</sub>: 156,185 kN m

$\sigma_c$ : -10.37 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$ : 390 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_c$ : 0.5422 ‰

$\epsilon_s$ : 2 ‰

d: 891.5 cm

x: 190.1 x/d: 0.2133

$\delta$ : 0.7066

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Devia

Vertici: 52 N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

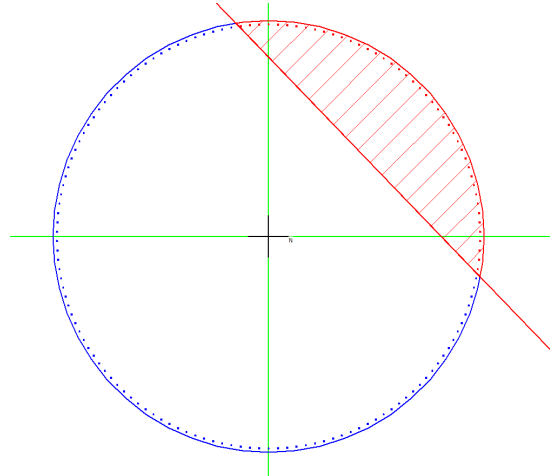
angolo asse neutro  $\theta^\circ$ : 314

Precompresso

PROGETTO DEFINITIVO

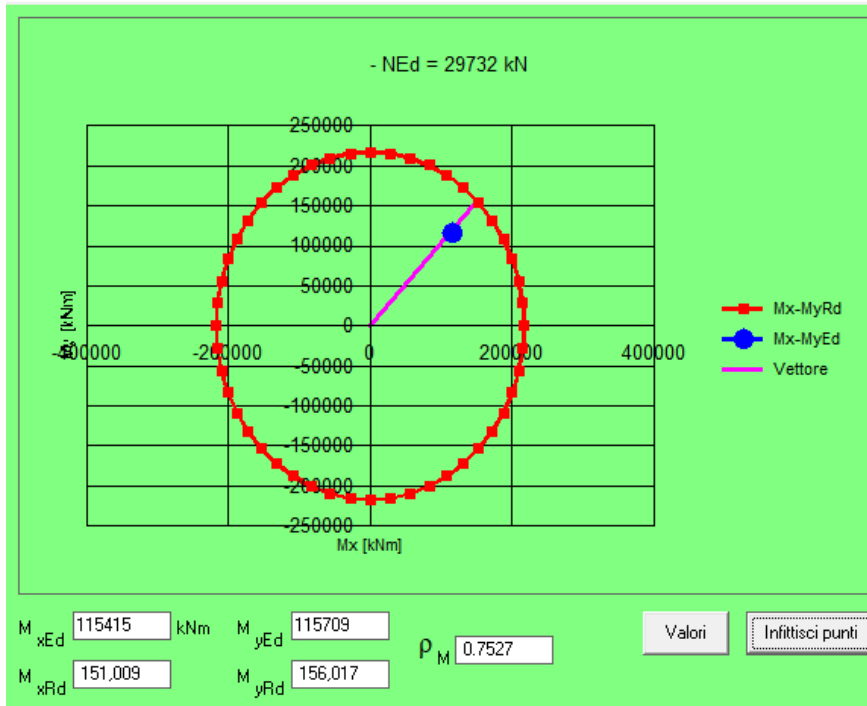
Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	45 di 58



Domínio Mx-My

File



**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

IV01    00    D 09 CL    VI0605 001    A    46 di 58

Verifica a taglio

<b>GEOMETRIA DELLA SEZIONE</b>	TIPO ELEMENTO		<b>PILASTRO</b>	
	LARGHEZZA MINIMA DELLA SEZIONE ( $b_w$ )	$b_w =$	<b>318.2</b>	cm
	ALTEZZA SEZIONE	$h =$	<b>323.3</b>	cm
	COPRIFERRO (riferito all'asse barra)	$c =$	<b>5.1</b>	cm
	DIAMETRO SEZIONE	$d =$	<b>450.0</b>	cm
<b>GEOMETRIA EQUIVALENTE DELLA SEZIONE CIRCOLARE</b>		$D =$	<b>450.0</b>	cm
	METODO DI CLARKE E BIRJANDI	$b_w =$	<b>378.6</b>	cm
		$h =$	<b>370.1</b>	cm
	METODO DEL QUADRATO INSCRITTO	$b_w =$	<b>318.2</b>	cm
		$h =$	<b>323.3</b>	cm

<b>ARMATURA A TAGLIO</b>	DIAMETRO STAFFE ( $\phi$ )	$\phi =$	<b>16.00</b>	mm
	NUMERO BRACCI STAFFE	$n_{st} =$	<b>10.00</b>	-
	PASSO STAFFE	$s =$	<b>20.0</b>	cm
	AREA TOTALE STAFFE " $A_{sw}$ "	$A_{sw} =$	<b>2010.62</b>	mm <sup>2</sup>
	ARMATURA A TAGLIO AL METRO	$A_{sw/s} =$	<b>10053.10</b>	mm <sup>2</sup> /m
	INCLINAZIONE DELL'ARMATURA TRASVERSALE RISPETTO ALL'ASSE DELL'ELEMENTO	$\alpha =$	<b>90</b>	°
<b>PARAMETRI DI CALCOLO PER ELEMENTI COMPRESI</b>	SFORZO NORMALE " $N_{Ed}$ "	$N_{Ed} =$	<b>0.00</b>	kN
	TENSIONE MEDIA DI COMPRESSIONE NELLA SEZIONE ( $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$ )	$d$	<b>0.000</b>	N/mm <sup>2</sup>
	COEFFICIENTE MAGGIORATIVO " $\alpha_{cw}$ "	$\alpha_{cw} =$	<b>1.000</b>	-
<b>CALCOLO <math>ctg\theta</math></b>	INCLINAZIONE OTTIMALE DEI PUNTONI DI CALCESTRUZZO RISPETTO ALL'ASSE DELL'ELEMENTO	$ctg\theta$ teorico	<b>2.858</b>	<b>19.29°</b>
	$ctg\theta$ DI CALCOLO	$1 \leq ctg\theta \leq 2,5$	<b>2.500</b>	<b>21.80°</b>
<b>CALCOLO RESISTENZA A TAGLIO</b>	RESISTENZA A TAGLIO TRAZIONE: $V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot (A_{sw/s}) \cdot f_{yd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) \cdot \sin\alpha$	$V_{Rsd} =$	<b>39829.93</b>	kN
	RESISTENZA A TAGLIO COMPRESSIONE: $V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_{cw} \cdot f'_{cd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta)$	$V_{Rcd} =$	<b>50363.38</b>	kN
	TIPO ROTTURA		<b>Lato ACCIAIO</b>	
<b>PILASTRO in C.A. (bxh) = 318.2x323.3 [cm] con staffe <math>\phi 16/20''</math> a 10 bracci</b>				
<b>RESISTENZA A TAGLIO DEL PILASTRO: <math>V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})</math></b>			$V_{Rd} =$	<b>39829.93 kN</b>
<b>TAGLIO SOLLECITANTE</b>			$V_{Ed} =$	<b>35021.50 kN</b> <span style="float: right; color: green;">V</span>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0605 001	REV. A

## 9.2 Fondazione

La fondazione è armata con maglie di  $\phi 26/10 \times 10$  disposte al lembo superiore ed inferiore. Il copriferro netto è pari a 40 mm. Lo strato di armatura esterno viene posato in direzione Y e quello interno in direzione X.

A taglio si utilizzano spilli  $\phi 16/30 \times 30$ .

Si riportano nel seguito le verifiche strutturali agli stati limite ultimi e di esercizio.

Le verifiche si effettuano con le sollecitazioni mediate per una lunghezza confrontabile all'altezza utile della piastra.

### Verifiche in direzione X

Verifica a flessione

SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	3000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copriferro	d'	95	[mm]
Altezza utile della sezione	d	2905	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	$\phi_1$	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	n <sub>1</sub>	10	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	$\phi_2$	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n <sub>2</sub>	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A <sub>s</sub>	5309	[mm <sup>2</sup> ]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	$\phi_1$	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	n' <sub>1</sub>	10	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	$\phi_2$	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n' <sub>2</sub>	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A' <sub>s</sub>	5309	[mm <sup>2</sup> ]
<b>Momento resistente della sezione</b>	<b>M<sub>Rd</sub></b>	<b>5837.91</b>	<b>[kNm]</b>
<b>Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto</b>	<b>M<sub>Ed</sub></b>	<b>4489.0</b>	<b>[kNm]</b>

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	48 di 58

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

## Verifica a taglio

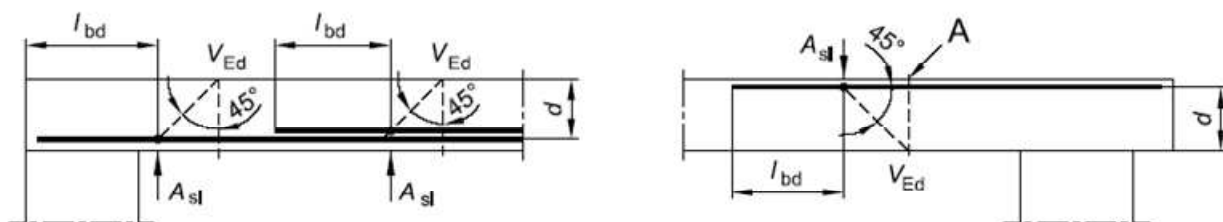
**§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO**

Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	$V_{Ed}$	4247	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0.12	[-]
Coefficiente k	k	1.26	[-]
		1.26	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	$\rho_l$	0.0018276	[-]
		0.0018276	[-]

 figura 6.3 Definizione di  $A_{sl}$  nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata



Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	802.66	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	830.94	[kN]

<b>Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>830.94</b>	<b>[kN]</b>
--	----------------------------	---------------	-------------

**§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO**

Diametro delle staffe	$\phi_{sw}$	16	[mm]
Numero di braccia	$n_b$	3.3	[-]
Passo delle staffe	s	300	[mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	$\theta$	22	[°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	$\alpha$	90	[°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	$A_{sw}$	664	[mm <sup>2</sup> ]
Braccio della coppia interna	z	2614.5	[mm]
Cotangente di $\theta$	cot $\theta$	2.48	[-]
		2.48	[-]
Cotangente di $\alpha$	cot $\alpha$	0.00	[-]
Seno di $\alpha$	sin $\alpha$	1.00	[-]

<b>Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)</b>	<b><math>V_{Rsd}</math></b>	<b>5600.37</b>	<b>[kN]</b>
---	-----------------------------	----------------	-------------

Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	$f'_{cd}$	9.41	[MPa]
--	-----------	------	-------

<b>Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)</b>	<b><math>V_{Rcd}</math></b>	<b>8542.12</b>	<b>[kN]</b>
--	-----------------------------	----------------	-------------

Massima area efficace di armatura a taglio per cot $\theta = 1$	$A_{sw,max}$	4327.07	[mm <sup>2</sup> ]
---	--------------	---------	--------------------

<b>Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>5600.37</b>	<b>[kN]</b>
---	----------------------------	----------------	-------------

**§ 4.1.2.1.3.3 - TAGLIO MASSIMO SOPPORTABILE DALLA TRAVE**

<b>Resistenza massima a taglio della trave</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>13663.18</b>	<b>[kN]</b>
--	----------------------------	-----------------	-------------



**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	49 di 58

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

## Verifiche delle tensioni (SLE)

**Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica**

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	$M_{Ed}$	2375.0 [kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	$n$	15.0 [-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	$h$	3000 [mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	$b$	1000 [mm]
Copriferro	$d'$	95 [mm]
Altezza utile della sezione	$d$	2905 [mm]
Area dell'armatura tesa	$A_s$	5309 [mm <sup>2</sup> ]
Area dell'armatura compressa	$A's$	5309 [mm <sup>2</sup> ]
Posizione dell'asse neutro	$x$	550.09 [mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	$J$	5.13628E+11 [mm <sup>4</sup> ]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	19.92 [MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	$\sigma_s$	360 [MPa]
<b>Tensione nel calcestruzzo</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b>2.54 [MPa]</b>
<b>Tensione nell'armatura tesa</b>	<b><math>\sigma_s</math></b>	<b>163.34 [MPa]</b>

**DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS**
**Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente**

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	$M_{Ed}$	1881.0 [kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	$n$	15.0 [-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	$j$	3000 [-]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	$b$	1000 [-]
Copriferro	$d'$	95 [-]
Altezza utile della sezione	$d'$	2905 [-]
Area dell'armatura tesa	$A_s$	5309 [mm <sup>2</sup> ]
Area dell'armatura compressa	$A's$	5309 [mm <sup>2</sup> ]
Posizione dell'asse neutro	$x$	550.09 [mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	$J$	5.13628E+11 [mm <sup>4</sup> ]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	14.94 [MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	$\sigma_s$	360 [MPa]
<b>Tensione nel calcestruzzo</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b>2.01 [MPa]</b>
<b>Tensione nell'armatura tesa</b>	<b><math>\sigma_s</math></b>	<b>129.36 [MPa]</b>

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	50 di 58

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

Verifica della fessurazione (comb. rara con Gr.4)

**Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Caratteristica**

Momento sollecitante per la combinazione Caratteristica	$M_{Ed,caratt.}$	2249 [kNm]
Durata del carico		lunga [-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	$x$	550.09 [mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	$\sigma_s$	154.67 [MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.1 [MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	$k_t$	0.4 [-]
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	237.5 [mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	$A_{c,eff}$	237500 [mm <sup>2</sup> ]
Rapporto geometrico sull'area efficace	$\rho_{p,eff}$	0.02235 [-]
Rapporto tra $E_s/E_{cm}$	$\alpha_e$	5.94 [-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0.000459 [-] 0.000464 [-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	$\phi_{eq}$	26.00 [mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	$k_1$	0.8 [-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	$k_2$	0.5 [-]
	$k_3$	3.4 [-]
	$k_4$	0.425 [-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max}$	340.52 [mm] 340.52 [mm]
<b>Ampiezza delle fessure</b>	<b><math>w_k</math></b>	<b>0.1580 [mm]</b>
<b>Ampiezza massima delle fessure</b>	<b><math>w_{max}</math></b>	<b>0.2 [mm]</b>

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	51 di 58

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**
**Verifiche in direzione Y**

## Verifica a flessione

SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	3000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copriferro	d'	69	[mm]
Altezza utile della sezione	d	2931	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	$\phi_1$	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	n <sub>1</sub>	10	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	$\phi_2$	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n <sub>2</sub>	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A <sub>s</sub>	5309	[mm <sup>2</sup> ]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	$\phi'_1$	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	n' <sub>1</sub>	10	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	$\phi'_2$	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n' <sub>2</sub>	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A' <sub>s</sub>	5309	[mm <sup>2</sup> ]
<b>Momento resistente della sezione</b>	<b>M<sub>Rd</sub></b>	<b>5945.95</b>	<b>[kNm]</b>
<b>Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto</b>	<b>M<sub>Ed</sub></b>	<b>4988.0</b>	<b>[kNm]</b>

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	52 di 58

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

Verifica a taglio

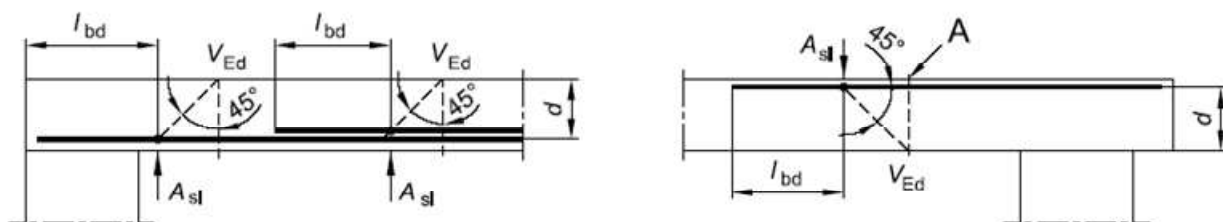
**§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO**

Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	$V_{Ed}$	5565	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0.12	[-]
Coefficiente k	k	1.26	[-]
		1.26	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	$\rho_l$	0.0018114	[-]
		0.0018114	[-]

 figura 6.3 Definizione di  $A_{sl}$  nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata



Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	806.69	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	837.22	[kN]

<b>Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>837.22</b>	<b>[kN]</b>
--	----------------------------	---------------	-------------

**§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO**

Diametro delle staffe	$\phi_{sw}$	16	[mm]
Numero di braccia	$n_b$	3.3	[-]
Passo delle staffe	s	300	[mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	$\theta$	22	[°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	$\alpha$	90	[°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	$A_{sw}$	664	[mm <sup>2</sup> ]
Braccio della coppia interna	z	2637.9	[mm]
Cotangente di $\theta$	cot $\theta$	2.48	[-]
		2.48	[-]
Cotangente di $\alpha$	cot $\alpha$	0.00	[-]
Seno di $\alpha$	sin $\alpha$	1.00	[-]

<b>Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)</b>	<b><math>V_{Rsd}</math></b>	<b>5650.49</b>	<b>[kN]</b>
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	$f'_{cd}$	9.41	[MPa]
<b>Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)</b>	<b><math>V_{Rcd}</math></b>	<b>8618.57</b>	<b>[kN]</b>
Massima area efficace di armatura a taglio per cot $\theta = 1$	$A_{sw,max}$	4327.07	[mm <sup>2</sup> ]

<b>Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>5650.49</b>	<b>[kN]</b>
---	----------------------------	----------------	-------------

**§ 4.1.2.1.3.3 - TAGLIO MASSIMO SOPPORTABILE DALLA TRAVE**

<b>Resistenza massima a taglio della trave</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>13785.47</b>	<b>[kN]</b>
--	----------------------------	-----------------	-------------

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	53 di 58

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

## Verifica delle tensioni (SLE)

**Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica**

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	$M_{Ed}$	2689.0 [kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	$n$	15.0 [-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	$h$	3000 [mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	$b$	1000 [mm]
Copriferro	$d'$	69 [mm]
Altezza utile della sezione	$d$	2931 [mm]
Area dell'armatura tesa	$A_s$	5309 [mm <sup>2</sup> ]
Area dell'armatura compressa	$A's$	5309 [mm <sup>2</sup> ]
Posizione dell'asse neutro	$x$	550.09 [mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	$J$	5.25372E+11 [mm <sup>4</sup> ]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	19.92 [MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	$\sigma_s$	360 [MPa]
<b>Tensione nel calcestruzzo</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b>2.82 [MPa]</b>
<b>Tensione nell'armatura tesa</b>	<b><math>\sigma_s</math></b>	<b>182.79 [MPa]</b>

**DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS**
**Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente**

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	$M_{Ed}$	2375.0 [kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	$n$	15.0 [-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	$j$	3000 [-]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	$b$	1000 [-]
Copriferro	$d'$	69 [-]
Altezza utile della sezione	$d'$	2931 [-]
Area dell'armatura tesa	$A_s$	5309 [mm <sup>2</sup> ]
Area dell'armatura compressa	$A's$	5309 [mm <sup>2</sup> ]
Posizione dell'asse neutro	$x$	550.09 [mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	$J$	5.25372E+11 [mm <sup>4</sup> ]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	14.94 [MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	$\sigma_s$	360 [MPa]
<b>Tensione nel calcestruzzo</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b>2.49 [MPa]</b>
<b>Tensione nell'armatura tesa</b>	<b><math>\sigma_s</math></b>	<b>161.45 [MPa]</b>

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	54 di 58

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

Verifica della fessurazione (comb. rara con Gr. 4)

<b>Momento sollecitante per la combinazione Caratteristica</b>	<b><math>M_{Ed,caratt.}</math></b>	<b>2571 [kNm]</b>
Durata del carico		lunga [-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	550.09 [mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	$\sigma_s$	174.77 [MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.1 [MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	$k_t$	0.4 [-]
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	172.5 [mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	$A_{c,eff}$	172500 [mm <sup>2</sup> ]
Rapporto geometrico sull'area efficace	$\rho_{p,eff}$	0.03078 [-]
Rapporto tra $E_s/E_{cm}$	$\alpha_e$	5.94 [-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0.000636 [-]
		0.000636 [-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	$\phi_{eq}$	26.00 [mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	$k_1$	0.8 [-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	$k_2$	0.5 [-]
	$k_3$	3.4 [-]
	$k_4$	0.425 [-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max}$	286.41 [mm]
		286.41 [mm]
<b>Ampiezza delle fessure</b>	<b><math>w_k</math></b>	<b>0.1821 [mm]</b>
<b>Ampiezza massima delle fessure</b>	<b><math>w_{max}</math></b>	<b>0.2 [mm]</b>

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	55 di 58

Verifica a punzonamento (SLU)

**Caratteristiche del cls della piastra**

Resistenza caratteristica a compressione cubica del cls	$R_{ck}$	=	40	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica del cls	$f_{ck}$	=	33.20	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a compressione di calcolo del cls	$f_{cd}$	=	18.81	N/mm <sup>2</sup>
Spessore della piastra	$t_p$	=	3000	mm
Copriferro nominale	$c_s$	=	56	mm

**Caratteristiche dell'acciaio d'armatura**

Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	$f_{yd}$	=	391.30	N/mm <sup>2</sup>
Diametro dei tondini tesi in direzione y	$\phi_{sly}$	=	26	mm
Passo dei tondini tesi in direzione y	$p_y$	=	100	mm
Diametro dei tondini tesi di raffittimento in direzione y	$\phi_{sly,add}$	=	0	mm
Passo dei tondini tesi di raffittimento in direzione y	$p_{y,add}$	=	0	mm
Diametro dei tondini tesi in direzione z	$\phi_{slz}$	=	26	mm
Passo dei tondini tesi in direzione z	$p_z$	=	100	mm
Diametro dei tondini tesi di raffittimento in direzione z	$\phi_{slz,add}$	=	0	mm
Passo dei tondini tesi di raffittimento in direzione z	$p_{z,add}$	=	0	mm
Altezza utile della sezione in direzione y	$d_y$	=	2905	mm
Altezza utile della sezione in direzione z	$d_z$	=	2931	mm
Altezza utile di calcolo della sezione	$d_{eff}$	=	2918	mm

**Calcolo del perimetro critico**

Tipologia del pilastro

Dimensione del pilastro in direzione y	$c_y$	=	1500	mm
Dimensione del pilastro in direzione z	$c_z$	=		mm
Perimetro critico attorno al pilastro	$u_0$	=	4712	mm
Perimetro critico massimo	$u_1$	=	41381	mm

**Sollecitazioni di progetto**

Pilastro superiore: azione assiale	$N_{Ed,sup}$	=	28144	kN
Pilastro superiore: momento flettente in direzione y	$M_{Ed,y,sup}$	=	0	kNm
Pilastro superiore: momento flettente in direzione z	$M_{Ed,z,sup}$	=	0	kNm
Pilastro inferiore: azione assiale	$N_{Ed,inf}$	=		kN
Pilastro inferiore: momento flettente in direzione y	$M_{Ed,y,inf}$	=		kNm
Pilastro inferiore: momento flettente in direzione z	$M_{Ed,z,inf}$	=		kNm

**Azioni di punzonamento**

Azione di progetto di punzonamento	$V_{Ed}$	=	28144	kN
Momento flettente di progetto in direzione y	$M_{Ed,y}$	=	0	kNm
Momento flettente di progetto in direzione z	$M_{Ed,z}$	=	0	kNm

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	56 di 58

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

Eccentricità dell'azione di punzonamento in direzione y	$e_y$	=	0	mm
Eccentricità dell'azione di punzonamento in direzione z	$e_z$	=	0	mm
Dimensione del perimetro di verifica in direzione y	$b_y$	=	20691	mm
Dimensione del perimetro di verifica in direzione z	$b_z$	=	20691	mm
Coefficiente amplificativo	$\beta$	=	1.00	
Tensione massima di punzonamento su perimetro critico minimo	$v_{Ed,0}$	=	2.05	N/mm <sup>2</sup>
Tensione massima di punzonamento su perimetro critico massimo	$v_{Ed,1}$	=	0.23	N/mm <sup>2</sup>
<b>Resistenze a punzonamento</b>				
Coefficiente di riduzione della resistenza del cls fessurato per taglio	$v$	=	0.52	
Resistenza a punzonamento massima	$v_{Rd,max}$	=	4.89	N/mm <sup>2</sup>
Verifica a punzonamento sullo spessore della piastra	$\rho_{max}$	=	<b>0.42</b>	
Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione	$k$	=	1.26	
Rapporto geometrico dell'armatura tesa	$\rho_{ly}$	=	0.002	
Rapporto geometrico dell'armatura tesa	$\rho_{lz}$	=	0.002	
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale tesa	$\rho_l$	=	0.002	
Tensione massima di punzonamento del cls	$v_{Rd,c}$	=	0.28	N/mm <sup>2</sup>
Verifica a punzonamento senza armatura a punzonamento	$\rho_c$	=	<b>0.85</b>	<1 OK



**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	57 di 58

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

## 10. SCARICHI SULLA PALIFICATA

Nella seguente tabella si riportano gli scarichi della struttura sulla palificata di fondazione, derivanti dallo studio della sovrastruttura con fattore di struttura pari a  $q=1.5/1.10 = 1.36$ , con zattera di fondazione infinitamente rigida.

### PILE SLE

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
RARA01	-1160	-1584	60560	19246	-14094	-1160
RARA02	0	-1516	51968	18419	0	0
RARA03	-2240	-856	60560	10400	-27216	-2240
RARA04	-1840	-1394	60560	16937	-22356	-1840
RARA05	0	-1000	50488	12150	0	0
RARA06	-1840	-1794	60560	21797	-22356	-1840
RARA07	-928	-1387	58546	16854	-11275	-928
RARA08	0	-1333	51672	16194	0	0
RARA09	-1792	-805	58546	9778	-21773	-1792
RARA10	-1160	-1100	55524	13365	-14094	-1160
RARA11	0	-1084	55524	13171	0	0
RARA12	-2240	-600	55524	7290	-27216	-2240
RARA13	-560	-856	55524	10400	-6804	-560
RARA 14	-928	-1842	58546	17108	-11275	-928

### PILE SLU-SLV

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU01	-1682	-2327	84204	28271	-20436	-1682
SLU02	0	-2228	71745	27073	0	0
SLU03	-3248	-1271	84204	15445	-39463	-3248
SLU04	-1346	-2641	81283	32094	-16349	-1346
SLU05	0	-2563	71316	31135	0	0
SLU06	-2598	-1797	81283	21833	-31571	-2598
SLU07	-1682	-2327	84204	28271	-20436	-1682
SLU08	0	-1500	69599	18225	0	0
SLU09	-1682	-1625	76902	19744	-20436	-1682
SLU10	0	-1602	76902	19462	0	0
SLU11	-3248	-900	76902	10935	-39463	-3248
SLU12	-812	-1271	76902	15445	-9866	-812
SLU13	-841	-3343	76902	18557	-10218	-841

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0605 001	A	58 di 58

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU14	-1346	-3608	81283	25184	-16349	-1346
SLV01	10343	2980	52503	39789	121692	10343
SLV02	10343	-3373	52503	-35006	121692	10343
SLV03	2940	10391	52503	127049	34534	2940
SLV04	-3404	10391	52503	127049	-40172	-3404
SLV05	-10807	-3373	52503	-35006	-127329	-10807
SLV06	-10807	2980	52503	39789	-127329	-10807
SLV07	-3404	-10785	52503	-122267	-40172	-3404
SLV08	2940	-10785	52503	-122267	34534	2940

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo pila campate da 48 m VI06</b></p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0605 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 59 di 58</p>

## 11. VALUTAZIONE DELLA ACCETTABILITA' DEI RISULTATI OTTENUTI (RIF.PAR.10.2 DM 17/01/2018)

Le analisi della struttura sono state condotte con un programma agli elementi finiti (MIDAS).

L'affidabilità del codice di calcolo è confermata dai test di validazione allegati alla release del programma e dalla sua ampia diffusione che lo pone tra i software specialistici standard previsti dalla specifica tecnica Italferr PPA.0002851.

I risultati ottenuti sono stati considerati attendibili dallo scrivente a fronte di verifiche condotte con metodi semplificati o con altri codici di calcolo nonché dal confronto critico con i risultati presentati dai documenti di progettazione definitiva.