

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

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

VI04 - Viadotto su Torrente Varatello da Km 77+516 e 77+616

Relazione di calcolo pila tipo – VI04

SCALA:

-

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

IV01 00 D 09 CL VI0405 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	G.Grimaldi 	Feb. 2022	D.Guerci 	Feb. 2022	G.Fadda 	Feb. 2022	A. Vitozzi A. Vitozzi Dot. Ing. Angelo Vitozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Genova N° A20783

File: IV0100D09CLVI0405001A.doc

n. Elab.: X

INDICE

1.	GENERALITA'	4
2.	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	7
2.1	ELABORATI DI RIFERIMENTO	8
3.	MATERIALI	9
3.1	CALCESTRUZZO PER GETTI IN OPERA SPALLE E PILE – FONDAZIONI E ELEVAZIONI.....	9
3.2	ACCIAIO PER C.A.....	9
3.3	VERIFICHE SLE	10
3.3.1	<i>Verifiche tensionali</i>	10
3.3.1	<i>Verifiche a fessurazione</i>	10
4.	MODELLO DI CALCOLO.....	13
5.	ANALISI DEI CARICHI	15
5.1	PESO PROPRIO.....	15
5.2	PESO PROPRIO DEL TERRENO	15
5.3	CARICHI VARIABILI.....	15
5.3.1	<i>Carichi da traffico ferroviario</i>	15
5.3.2	<i>Effetti dinamici</i>	17
5.3.3	<i>Disposizione treni di carico</i>	17
5.4	CARICHI DERIVANTI DALL'IMPALCATO	21
5.5	AZIONI SISMICHE	21
6.	COMBINAZIONI DI CARICO	26
7.	ANALISI DINAMICA LINEARE.....	30
8.	SOLLECITAZIONI.....	32
8.1	BASE PILA.....	32
8.1	FONDAZIONE	36
9.	VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI	39

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	3 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

9.1	PILA.....	39
9.2	FONDAZIONE	45
10.	SCARICHI SULLA PALIFICATA	55
11.	VALUTAZIONE DELLA ACCETTABILITA' DEI RISULTATI OTTENUTI (RIF.PAR.10.2 DM 17/01/2018)	57

1. GENERALITA'

Oggetto della presente relazione e' il calcolo delle sollecitazioni e le conseguenti verifiche di resistenza della pila tipologica del viadotto sul Torrente Varatello, da costruirsi per il raddoppio della linea Genova - Ventimiglia, nella tratta Finale Ligure - Andora.

Il viadotto in esame si sviluppa su 4 campate di luce pari a 25.00 m. Delle 4 campate 2 sono risolte con due impalcati a singolo binario mentre le altre 2 sono risolte con un impalcato a doppio binario.

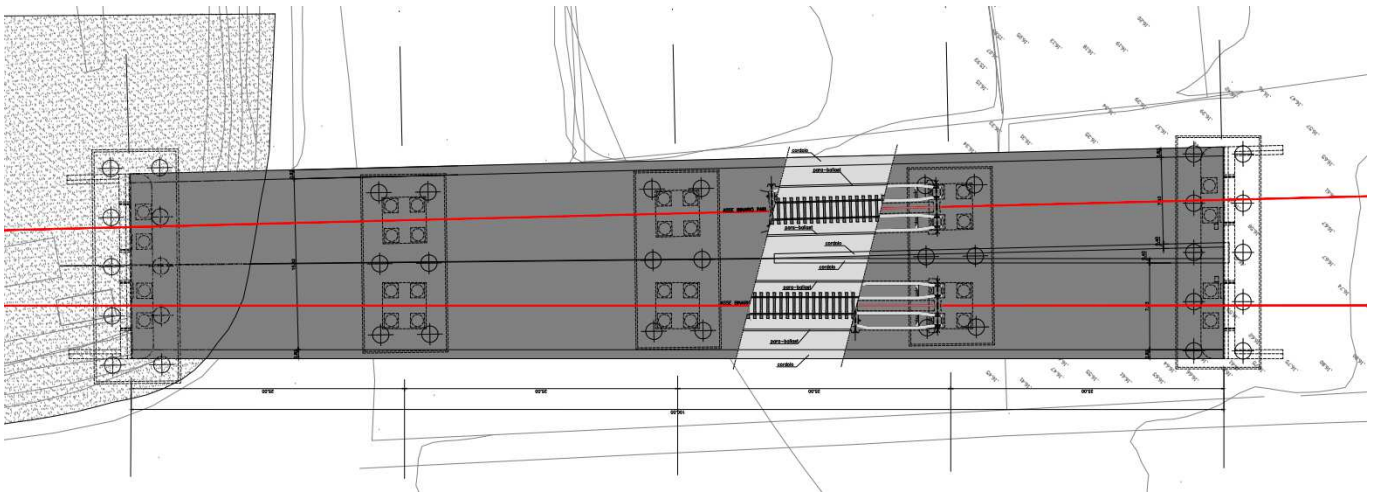


Figura 1: planimetria generale

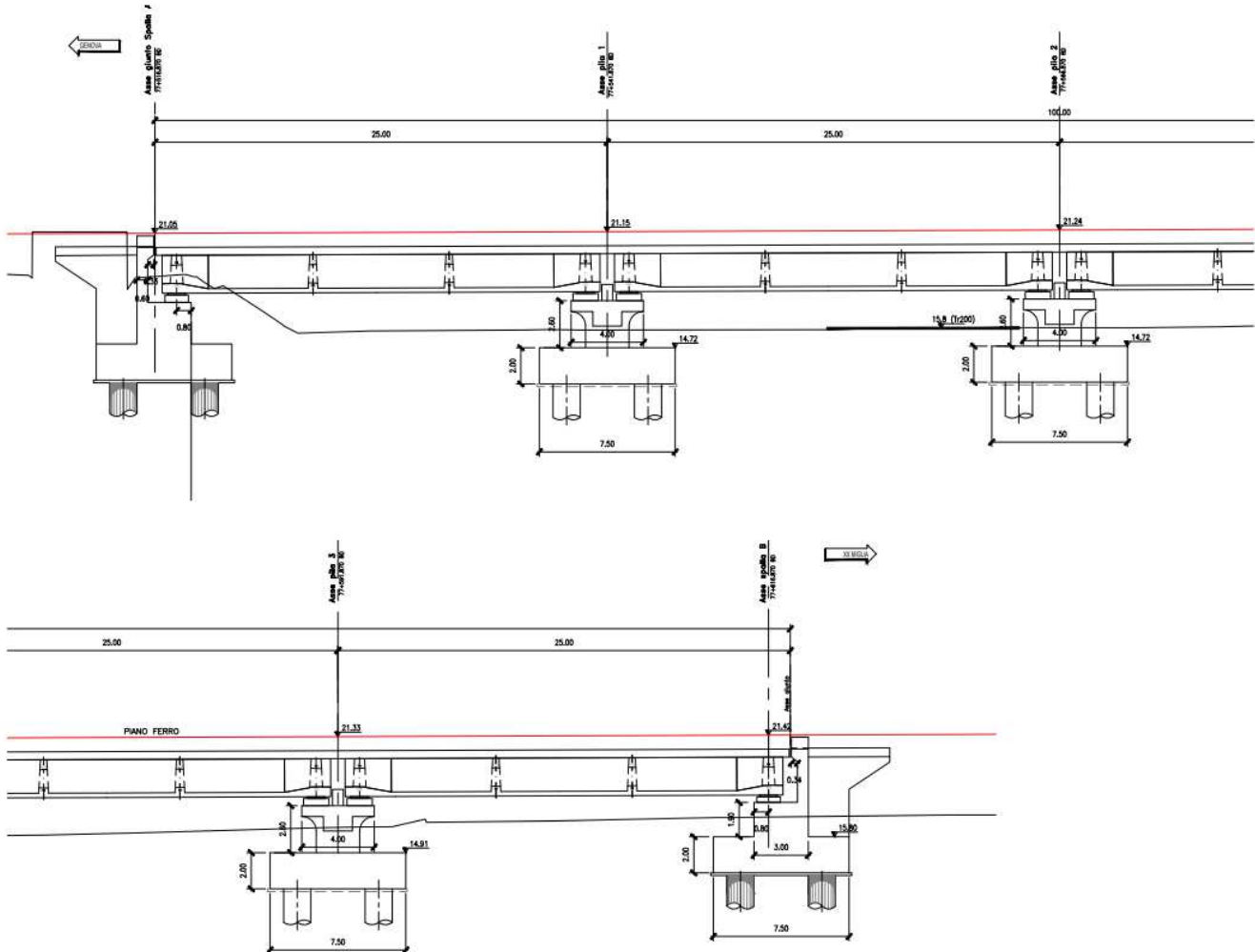


Figura 2: Profilo longitudinale

Le pile del viadotto sono composte da due fusti distinti a sezione rettangolare di dimensioni 230x240 cm in cui gli angoli sono raccordati da un tratto circolare di raggio 40 cm. Il plinto di fondazione, comune ai due fusti, ha le dimensioni in pianta di 16.00x7.50m ed un'altezza di 2.00m. Il plinto di fondazione poggia su una palificata costituita da 6 pali.

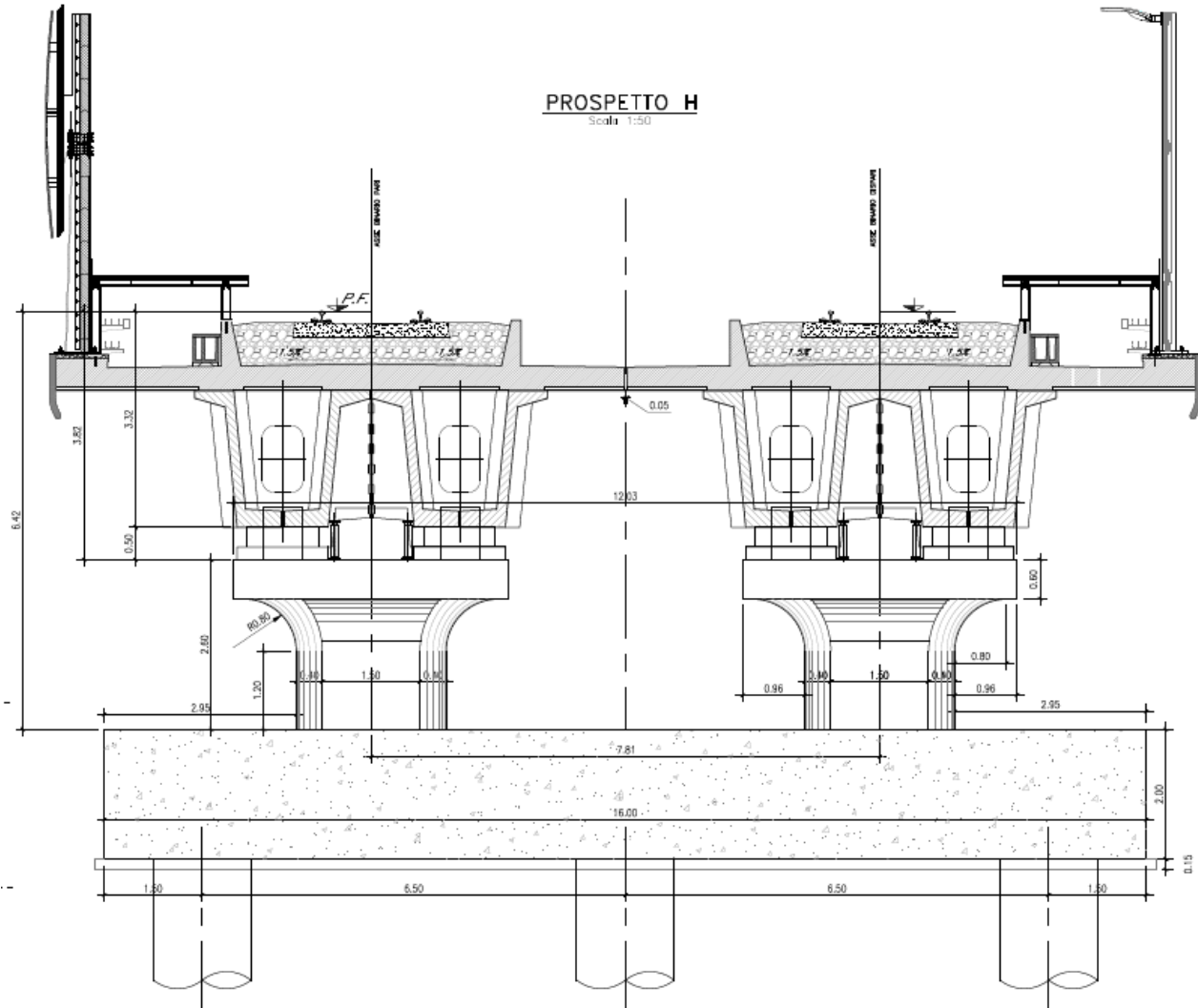


Figura 5: prospetto frontale pila

Unità di misura

- lunghezza [m]
- forze [kN]
- angoli [rad]
- tensioni [N/mm²]

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo pila tipo - VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0405 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 7 di 56</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 tipo - VI04

IV01 00 D 09 CL VI0405 001 A 8 di 56

2.1 Elaborati di riferimento

Viadotto su Torrente Varatello da Km 77+389 a Km 77+619																						
Relazione descrittiva viadotto VI04	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	R	H	V	I	0	4	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	4	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	4	0	4	0	0	2	A
Relazione di calcolo pila tipo	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	5	0	0	1	A
Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	5	0	0	2	A
Relazione di calcolo impalcato c.a.p. binario singolo L=25m (P3-SPB)	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	8	0	0	2	A
Relazione di calcolo opere provvisionali	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	3	0	0	1	A
Carpenteria impalcato c.a.p. binario singolo L=25m (P3-SPB)	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	4	0	8	0	0	1	B
Carpenteria spalla A TAV.1/2	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	4	0	0	1	A
Carpenteria spalla A TAV.2/2	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	4	0	0	2	A
Carpenteria spalla B TAV.1/2	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	4	0	0	3	A
Carpenteria spalla B TAV.2/2	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	4	0	0	4	A
Carpenteria pila P1	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	4	0	5	0	0	1	A
Carpenteria pila P2	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	4	0	5	0	0	2	A
Carpenteria pila P3	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	4	0	5	0	0	3	A
Opere provvisionali	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	3	0	0	1	A
Particolari, dettagli e finiture	varie	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	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	4	0	7	0	0	1	A
Prospetto longitudinale BINARIO DISPARI	1:100	I	V	0	I	0	0	D	0	9	A	Z	V	I	0	4	0	0	0	0	1	B
Prospetto longitudinale BINARIO PARI	1:100	I	V	0	I	0	0	D	0	9	A	Z	V	I	0	4	0	0	0	0	2	B
Planimetria generale dell'intervento	1:200	I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	9	V	I	0	4	0	0	0	0	1	B
Planimetria opere di fondazione	1:100	I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	A	V	I	0	4	0	3	0	0	1	B
Planimetria scavi ed opere provvisionali	1:100	I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	A	V	I	0	4	0	3	0	0	2	B
Carpenteria trave in c.a.p.	varie	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	8	0	0	1	B

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	9 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

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
α_{cc} =	0.85		coef. rid. Per carichi di lunga durata
γ_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
ν =	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>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo pila tipo - VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0405 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 10 di 56</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:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo pila tipo - VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0405 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>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo pila tipo - VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0405 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 12 di 56</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.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo pila tipo - VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0405 001	REV. A	FOGLIO 13 di 56

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.

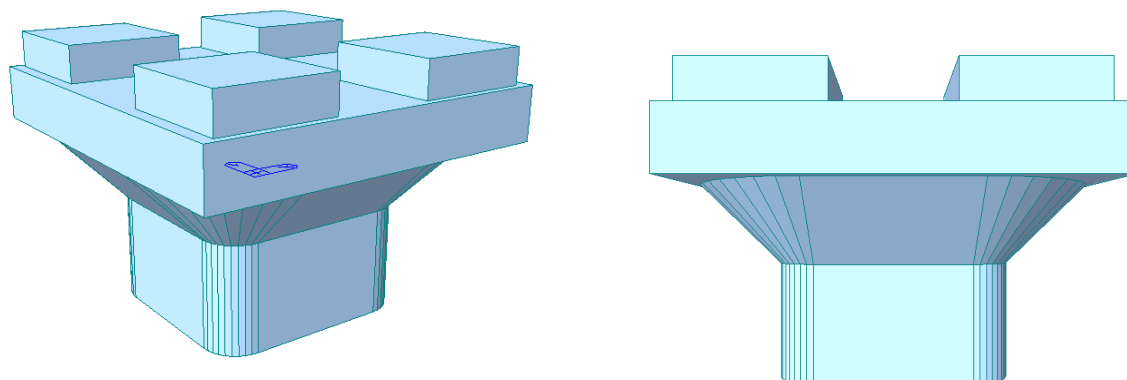


Figura 2 –Viste 3d del modello di calcolo pila

Il nodo superiore dell’elemento beam costituente la pila è stato collegato ai quattro baggioli attraverso braccetti rigidi che ne vincola rigidamente gli spostamenti.

Un secondo modello di calcolo è stato realizzato modellando entrambe le pile che condividono la stessa 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 pila tipo - VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	14 di 56

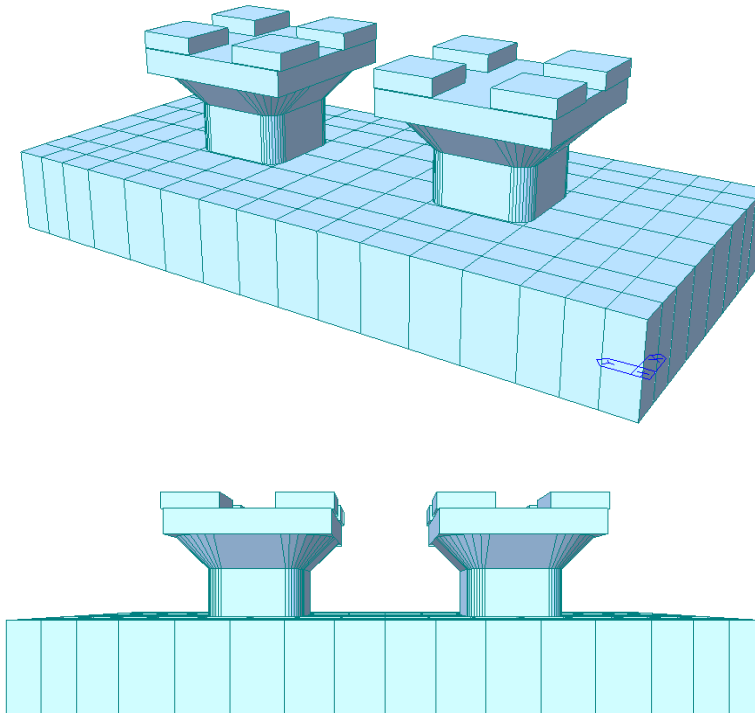


Figura 3 –Viste 3d del modello di calcolo pile

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>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo pila tipo - VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0405 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 15 di 56</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/m³ e grava sulla fondazione della pila.

Il carico applicato è dunque pari a

$$q_{\text{terr}} = 20 \text{ kN/mc} \cdot 1.00 \text{ m} = 20.0 \text{ kN/m}^2$$

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.

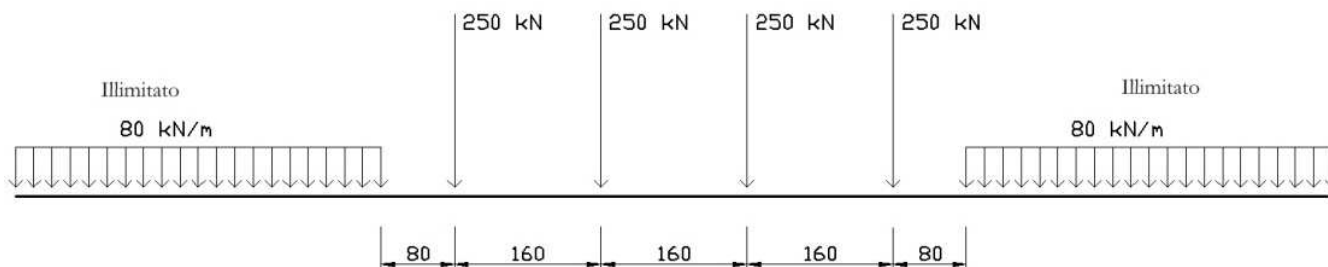


Figura 4 – Treno di carico LM71

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 " α " che deve assumersi come da tabella seguente:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo pila tipo - VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0405 001	REV. A

Tabella 4 - coefficienti α per modelli di carico

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE " α "
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 $F_z = 3289.1 \text{ kN}$

SW/2 $F_z = 4507.5 \text{ kN}$

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

Si riportano i medesimi schemi graficamente per un caso rappresentativo:

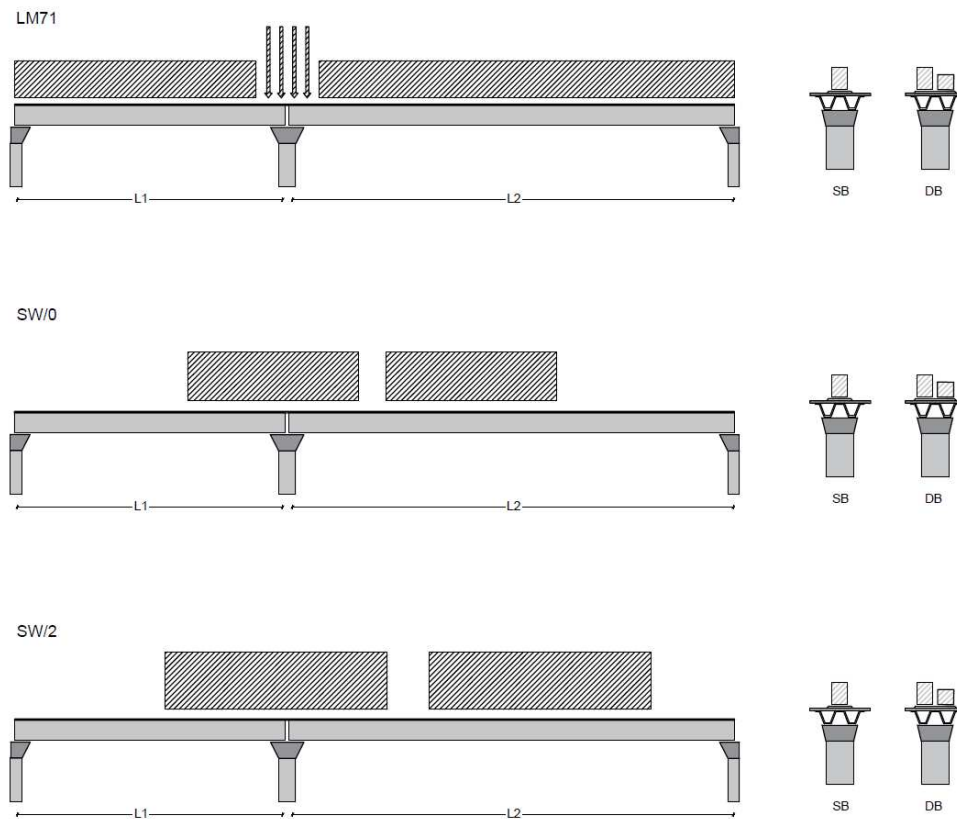


Figura 6- Posizione treni di carico - massimo sforzo assiale

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	19 di 56

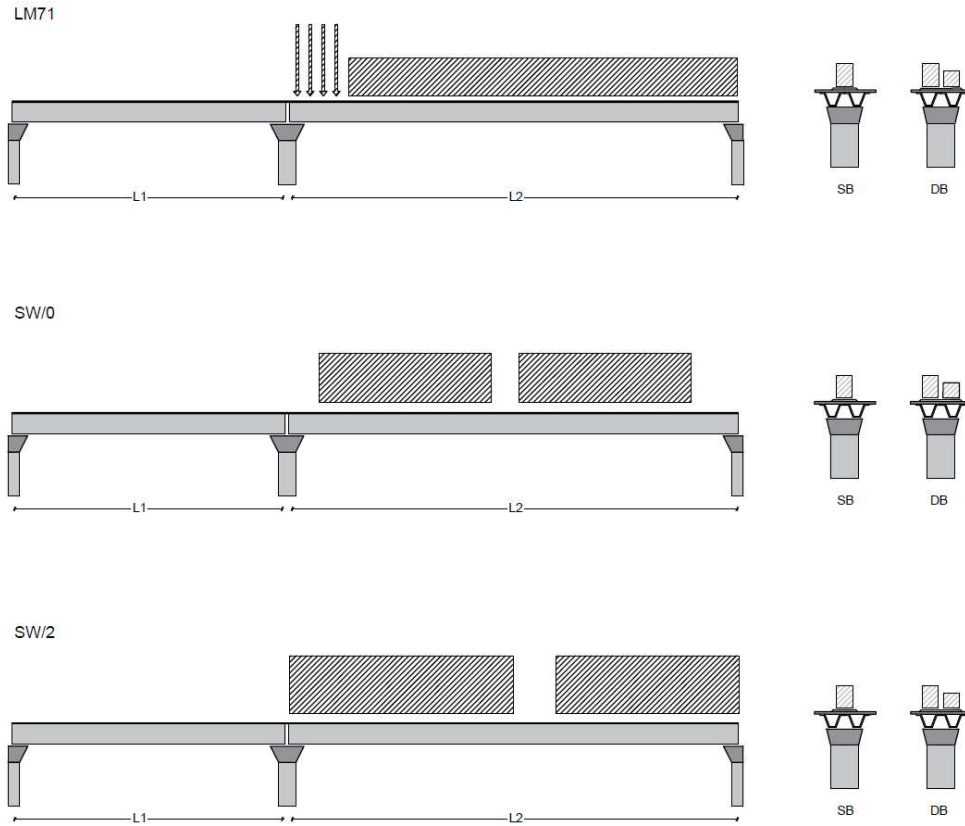


Figura 7- Posizione treni di carico – massimo momento longitudinale

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IV01

00

D 09 CL

VI0405 001

A

20 di 56

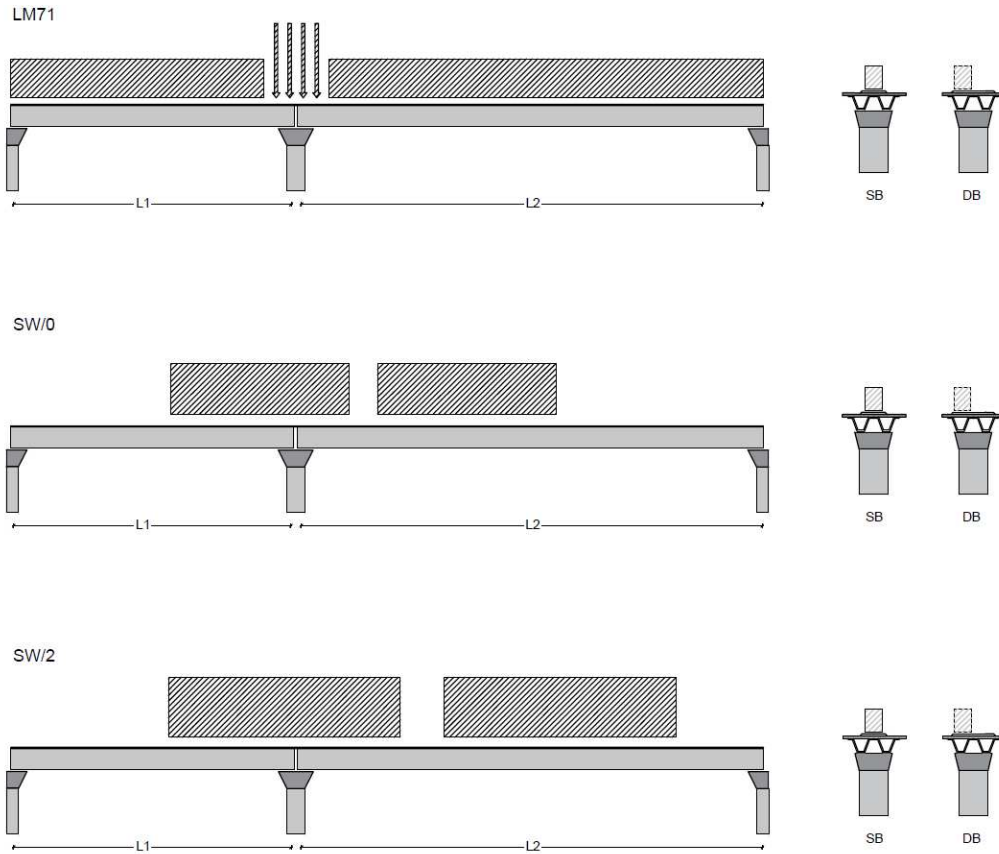


Figura 8- Posizione treni di carico – massimo momento trasversale

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo pila tipo - VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0405 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 fissi – Esterni (2)	Appoggi fissi- Interni (2)	Totale
PESO PROPRIO	900 kN	763 kN	3368 kN
PERMANENTI N.S.	1058 kN	14 kN	2148 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>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo pila tipo - VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0405 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 22 di 56</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: 8.186776

Latitudine: 44.074091

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: C

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 tipo - VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	23 di 56

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	0.041	2.574	0.223
SLD	113	0.056	2.559	0.243
SLV	1068	0.179	2.461	0.300
SLC	2193	0.238	2.485	0.316

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo **C** info $S_s = 1.436$ $C_c = 1.562$ info
 Categoria topografica **T1** info $h/H = 0.000$ $S_T = 1.000$ info
(frequenza sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) **5** $\eta = 1.000$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_s **1.36** Regol. in altezza **si** info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q_v **1** $\eta = 1.000$ info

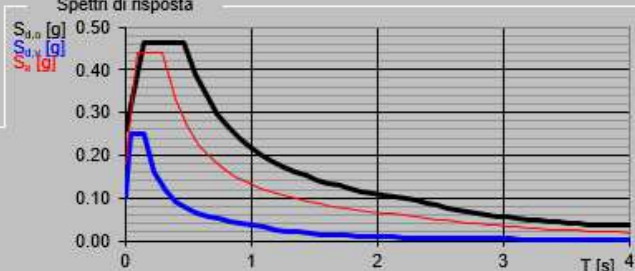
Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta >>>
 Parametri e punti spettri di risposta >>>

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

Spettri di risposta



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

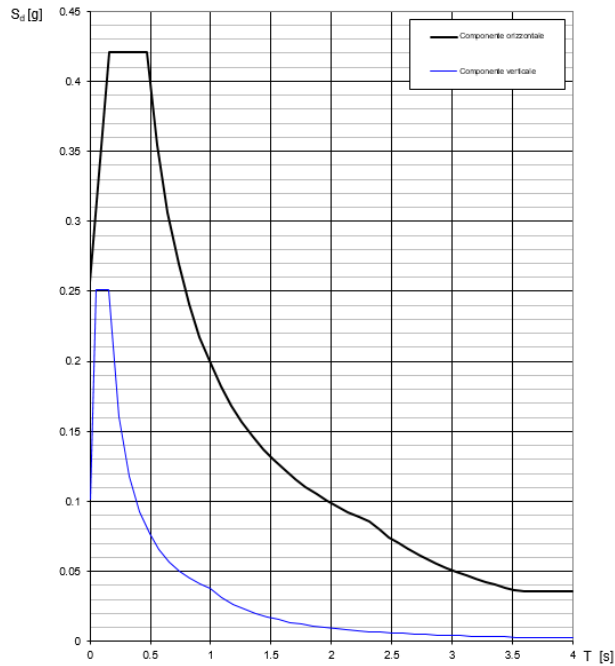


Figura 9: Spettro di risposta orizzontale e verticale allo SLV ($q=1.5$)

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

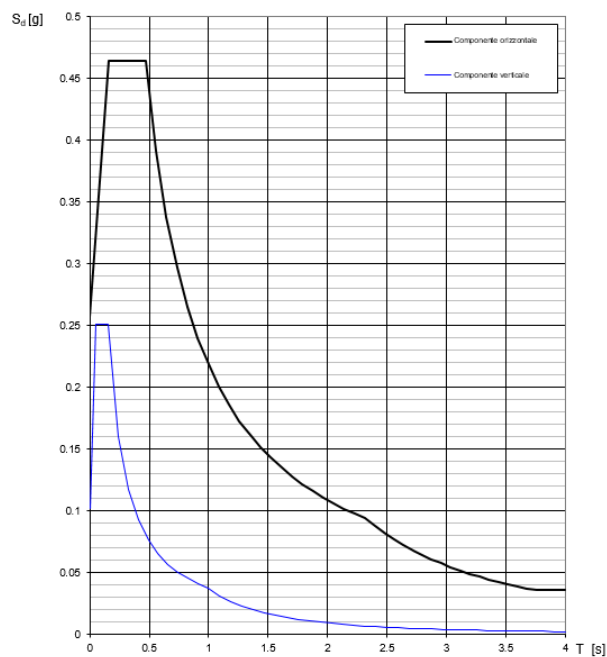


Figura 10: Spettro di risposta orizzontale e verticale allo SLV ($q=1.36$)

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	25 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

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%): $E = \pm 0.30 \cdot E_x \pm 0.30 \cdot E_y \pm 1.00 \cdot E_z$

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

IV01 00 D 09 CL VI0405 001 A 26 di 56

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 caricati e (0,4) per impalcati con tre o più binari caricati.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	27 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04
Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

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

⁽¹⁾ 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 Ψ delle azioni

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr_1	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_2	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr_3	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

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

⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

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	VI0405 001	A	28 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

- 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 pila tipo - VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	29 di 56

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo pila tipo - VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0405 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%.

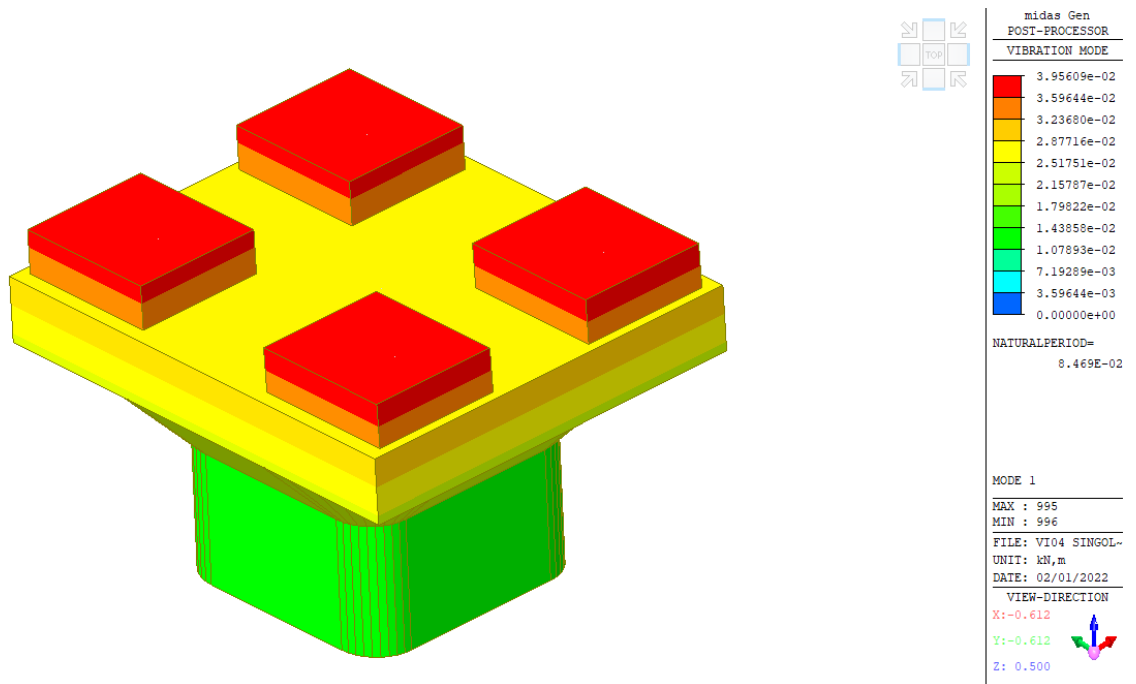


Figura 11: Primo modo di vibrare (50% rigidezza)

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	31 di 56

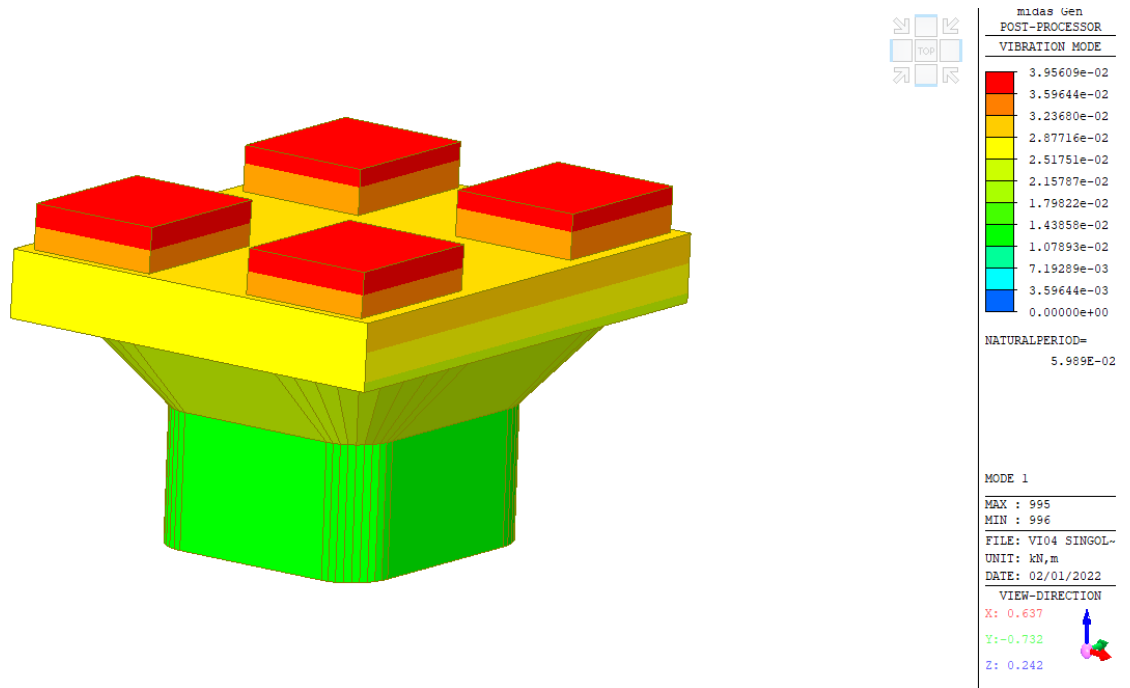



Figura 12: Primo modo di vibrare (100% rigidezza)

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo pila tipo - VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0405 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 32 di 56</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 tipo - VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	33 di 56

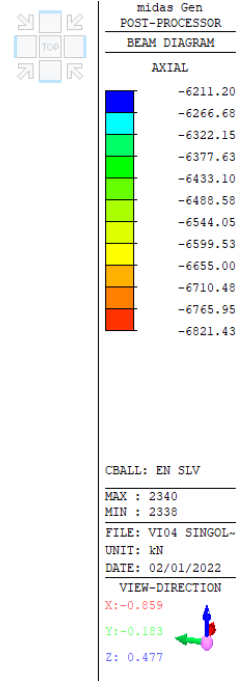


Figura 14: Azione assiale Inviluppo SLV

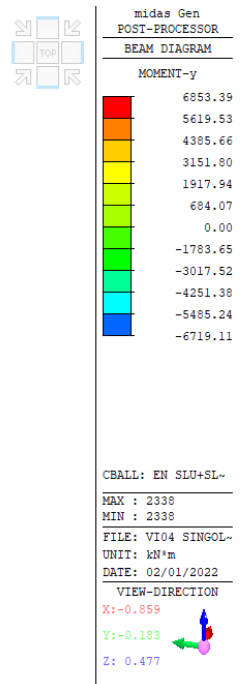
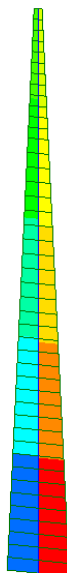


Figura 15: Momento flettente in direzione Y (inviluppo SLV)

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	34 di 56

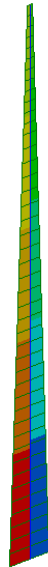
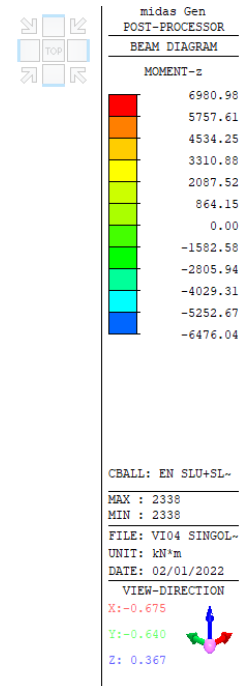


Figura 16: Momento flettente in direzione Z (involuppo SLV)

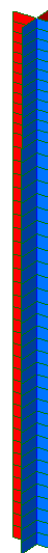
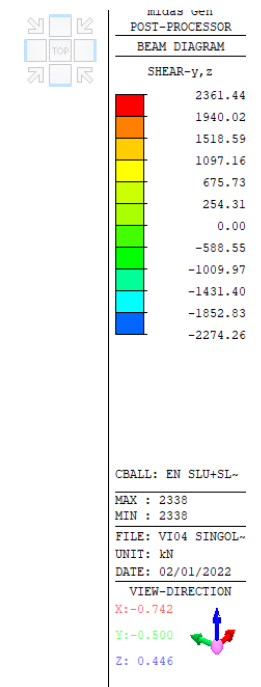


Figura 17: Taglio nelle due direzioni (involuppo SLV)

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO

Relazione di calcolo pila tipo - VI04


IV01 00 D 09 CL VI0405 001 A 35 di 56

Sollecitazioni agli Stati Limite Ultimi

Elem	Load	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
2338	SLU01	-13581.31	610.08	543.92	1631.77	1830.24
2338	SLU02	-9144.32	-0.06	541.16	1623.49	-0.18
2338	SLU03	-12374.21	1205.07	465.12	1395.37	3615.2
2338	SLU04	-12744.34	488.05	765.92	2297.76	1464.16
2338	SLU05	-9194.75	-0.06	763.71	2291.14	-0.18
2338	SLU06	-11778.67	964.04	702.88	2108.64	2892.13
2338	SLU07	-13581.3	610.14	543.93	1631.79	1830.42
2338	SLU08	-8930.26	-0.06	636.11	1908.34	-0.18
2338	SLU09	-8813.71	-0.06	381.66	1144.99	-0.18
2338	SLU10	-11197.51	610.07	465.97	1397.9	1830.22
2338	SLU11	-8813.71	-0.06	381.66	1144.99	-0.18
2338	SLU12	-10562.92	1205.07	429.72	1289.15	3615.19
2338	SLV01	-6821.43	2361.44	711.37	2103.02	6980.98
2338	SLV02	-6821.43	2361.44	-666.61	-1968.73	6980.98
2338	SLV03	-6821.43	767.34	2319.02	6853.39	2271.02
2338	SLV04	-6821.43	-599.03	2319.02	6853.39	-1766.08
2338	SLV05	-6821.43	-2193.13	-666.61	-1968.73	-6476.04
2338	SLV06	-6821.43	-2193.13	711.37	2103.02	-6476.04
2338	SLV07	-6821.43	-599.03	-2274.26	-6719.11	-1766.08
2338	SLV08	-6821.43	767.34	-2274.26	-6719.11	2271.02

Sollecitazioni agli Stati Limite di Esercizio

Elem	Load	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
2338	QPERM	-6821.43	84.16	22.38	67.14	252.47
2338	RARA01	-9568.39	420.75	366.34	1099.03	1262.24
2338	RARA02	-6508.39	-0.04	364.44	1093.33	-0.12
2338	RARA03	-8735.91	831.08	312.00	936.00	2493.25
2338	RARA04	-9568.39	667.65	344.82	1034.46	2002.93
2338	RARA05	-6358.09	-0.04	424.08	1272.23	-0.12
2338	RARA06	-9646.09	667.65	514.45	1543.36	2002.93
2338	RARA07	-8910.79	336.56	343.96	1031.88	1009.69
2338	RARA08	-6462.8	-0.07	342.44	1027.32	-0.2
2338	RARA09	-8244.81	664.83	300.49	901.46	1994.5
2338	RARA10	-6280.39	-0.04	254.44	763.33	-0.12
2338	RARA11	-7924.39	420.74	312.58	937.75	1262.22
2338	RARA12	-6280.39	-0.04	254.44	763.33	-0.12
2338	RARA13	-7486.74	831.08	287.58	862.75	2493.24

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo pila tipo - VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0405 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 36 di 56</p>

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 (ortogonale all’asse impalcato)

Il momento positivo tende le fibre inferiori della fondazione.

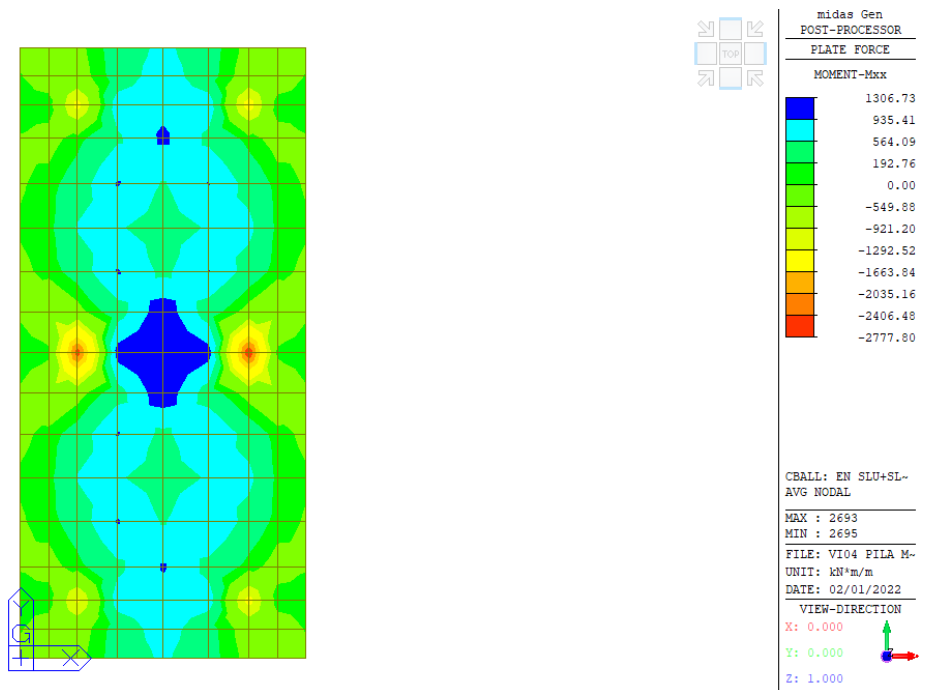


Figura 18: Momento flettente in direzione X (involuppo SLU+SLV)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	37 di 56

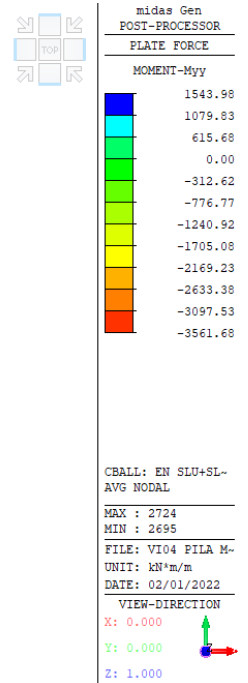
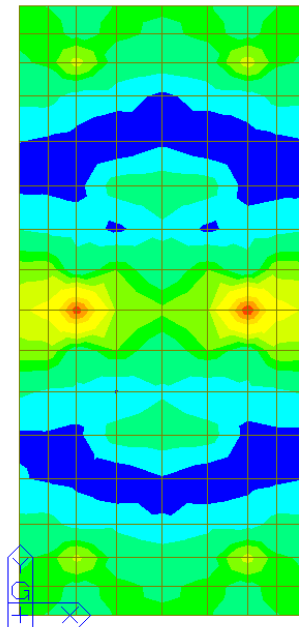


Figura 19: Momento flettente in direzione Y (involuppo SLU+SLV)

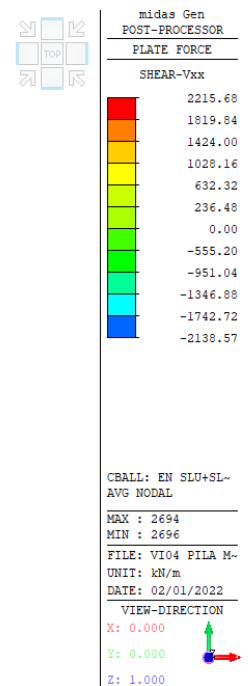
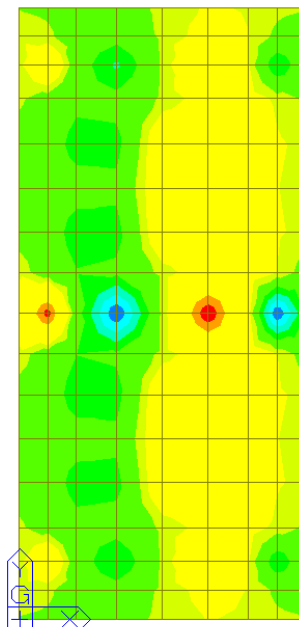


Figura 20: Taglio in direzione X (involuppo SLU+SLV)

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	38 di 56

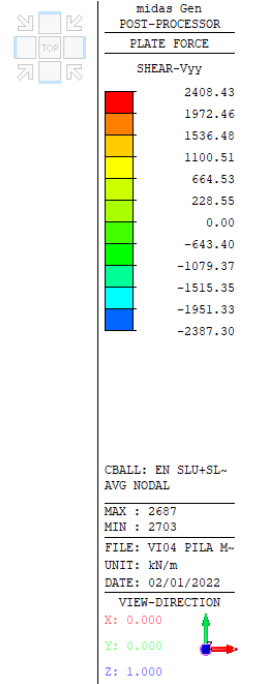
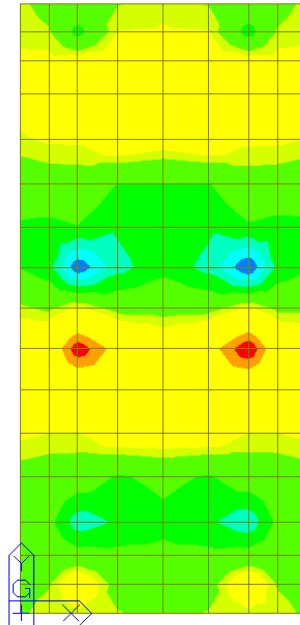


Figura 21: Taglio in direzione Y (involuppo SLU+SLV)

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo pila tipo - VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0405 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 39 di 56</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	VI0405 001	A	40 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

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

Direzione		Longitudinale	Trasversale	
		Mz, Fy	My, Fz	
Altezza pila	H	2.60	2.60	m
Fattore di struttura	q	1.5	1.5	-
Fattore di sovraresistenza (eq. 7.9.7)	γ_{Rd}	1.00	1.00	-
Fattore di sovraresistenza filtrato (eq. 7.9.7)	γ_{Rd}	1.00	1.00	-
Taglio agente da analisi (q=1.5)	V Ed	2361	2319	kN
Momento flettente (q=1.5)	M Ed	6981	6854	kNm
Momento resistente	M Rd	10335	10040	kNm
Rapporto di sovraresistenza	M Rd / M Ed	1.48	1.46	-
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	3541.5	3478.5	kN
Taglio di progetto per la gerarchia della resistenza (eq. 7.9.12)	V gr (cal.)	3495.3	3397.0	kN
	V gr	3495.3	3397.0	kN
Fattore di sicurezza aggiuntivo per la verifica a taglio (eq. 7.9.10)	γ_{Bd}	1.25	1.25	-
Domanda a taglio per gerarchia delle resistenze (eq. 7.9.10a)	V Ed	4968.8	4826.9	kN
Riassumendo				
Taglio di calcolo	V Ed	4968.8	4826.9	kN
Fattore di sicurezza aggiuntivo per la verifica a taglio (eq. 7.9.10)	γ_{Bd}	1.25	1.25	-
Angolo inclinazione bielle compresse	Theta	variabile	variabile	

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	41 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

Verifica a presso-flessione

L'armatura della pila è pari a ϕ 20/15 che equivale a 16 ϕ 20 su ognuno dei quattro lati della pila. Il copriferro netto è pari a 50 mm.

A taglio si utilizzano staffe più bracci interni, per un totale di 8 bracci ϕ 12 / 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 VI04

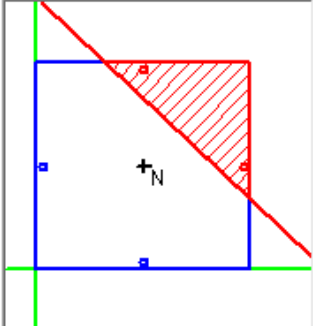
File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° Vertici Zoom N° barre Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	1	50.27	120	7.2
2	240	0	2	50.27	120	222.8
3	240	230	3	50.27	7.2	115
4	0	230	4	50.27	232.8	115

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.



Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	<input type="text" value="6821"/>	<input type="text" value="0"/>	kN
M _{xEd}	<input type="text" value="6854"/>	<input type="text" value="0"/>	kNm
M _{yEd}	<input type="text" value="6980"/>	<input type="text" value="0"/>	

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

Tipo rottura
 Lato acciaio - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio Mx-My

angolo asse neutro θ°

Precompresso

Materiali
 B450 Yd C32/40 EL
 ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} ‰
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$ ‰
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} ‰
 τ_{c1} ‰

M_{xRd} kN m
 M_{yRd} kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c ‰
 ϵ_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	42 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04
Verifica a taglio direzione Y
Caratteristiche dei materiali:

Resistenza caratteristica a compressione cubica cls	R_{ck}	=	40	N/mm ²
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica cls	f_{ck}	=	33	N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione del cls	f_{cd}	=	18.81	N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio	f_{yd}	=	391.30	N/mm ²

Sollecitazioni di verifica (S.L.U.):

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	V_{Ed}	=	4968.80	kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a V_{Ed}	$N(V_{Ed})$	=	0.00	kN
Valore di calcolo del momento flettente associato a V_{Ed}	$M(V_{Ed})$	=	0.00	kNm

Caratteristiche geometriche della sezione:

Altezza utile della sezione	d	=	2328	mm
Larghezza minima della sezione	b_w	=	2300	mm

Armatura della sezione in zona tesa:

Diametro ferri longitudinali	\varnothing	=	20	mm
Numero tondini longitudinali utilizzati	n	=	16	--
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa	A_{sl}	=	5024	mm ²
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale (≤ 0.02)	ρ_l	=	0.0009	--

VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2)	k	=	1.29	--
Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls	v_{min}	=	0.30	N/mm ²
Tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 \times f_{cd}$)	σ_{cp}	=	0.00	N/mm ²
Resistenza ultima a taglio minima	$V_{Rd,min}$	=	1587.81	kN
Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$)	V_{Rd}	=	1587.81	kN

VERIFICA NON SODDISFATTA:

occorre procedere al dimensionamento dell'armatura trasversale resistente a taglio.

VERIFICA CON ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO
Armatura aggiuntiva resistente a taglio:

Angolo di inclinazione armatura trasv. su asse dell'elemento	α	=	90	°
Diametro ferri a taglio	\varnothing_{sw}	=	12	mm
Numero dei bracci in sezione trasversale	n_{sw}	=	8	--

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	43 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

Passo in direzione asse elemento	s	=	200	mm
Area totale di armatura a taglio	A_{sw}	=	904	mm ²
Fattori di resistenza a compressione:				
Controllo duttilità (SI = duttile)	0.77	<	9.41	SI
Angolo di inclinazione dei puntoni di cls	θ	=	22.00	°
Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima	f'_{cd}	=	9.41	N/mm ²
Tensione media di compressione nella sezione	σ_{cp}	=	0.00	N/mm ²
Coefficiente maggiorativo per membrature compresse	α_c	=	1.00	--
Resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura	V_{Rsd}	=	9172.11	kN
Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls	V_{Rcd}	=	15744.55	kN
Resistenza ultima a taglio	V_{Rd}	=	9172.11	kN

VERIFICA SODDISFATTA.
Verifica a taglio direzione Z
Caratteristiche dei materiali:

Resistenza caratteristica a compressione cubica cls	R_{ck}	=	40	N/mm ²
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica cls	f_{ck}	=	33	N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione del cls	f_{cd}	=	18.81	N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio	f_{yd}	=	391.30	N/mm ²

Sollecitazioni di verifica (S.L.U.):

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	V_{Ed}	=	4826.90	kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a V _{Ed}	N (V_{Ed})	=	0.00	kN
Valore di calcolo del momento flettente associato a V _{Ed}	M (V_{Ed})	=	0.00	kNm

Caratteristiche geometriche della sezione:

Altezza utile della sezione	d	=	2228	mm
Larghezza minima della sezione	b_w	=	2400	mm

Armatura della sezione in zona tesa:

Diametro ferri longitudinali	∅	=	20	mm
Numero tondini longitudinali utilizzati	n	=	16	--
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa	A_{sl}	=	5024	mm ²
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale (≤ 0.02)	ρ_l	=	0.0009	--

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	44 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04
VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2)	k	=	1.30	--
Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls	v_{min}	=	0.30	N/mm ²
Tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 \times f_{cd}$)	σ_{cp}	=	0.00	N/mm ²
Resistenza ultima a taglio minima	V_{Rd,min}	=	1597.66	kN
Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$)	V_{Rd}	=	1597.66	kN

VERIFICA NON SODDISFATTA:
occorre procedere al dimensionamento dell'armatura trasversale resistente a taglio.
VERIFICA CON ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO
Armatura aggiuntiva resistente a taglio:

Angolo di inclinazione armatura trasv. su asse dell'elemento	α	=	90	°
Diametro ferri a taglio	\varnothing_{sw}	=	12	mm
Numero dei bracci in sezione trasversale	n_{sw}	=	8	--
Passo in direzione asse elemento	s	=	200	mm
Area totale di armatura a taglio	A_{sw}	=	904	mm ²

Fattori di resistenza a compressione:

Controllo duttilità (SI = duttile)	0.74	<	9.41	SI
Angolo di inclinazione dei puntoni di cls	θ	=	22.00	°
Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima	f'_{cd}	=	9.41	N/mm ²
Tensione media di compressione nella sezione	σ_{cp}	=	0.00	N/mm ²
Coefficiente maggiorativo per membrature compresse	α_c	=	1.00	--

Resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura	V_{Rsd}	=	8778.11	kN
Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls	V_{Rcd}	=	15723.38	kN
Resistenza ultima a taglio	V_{Rd}	=	8778.11	kN

VERIFICA SODDISFATTA.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo pila tipo - VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0405 001	REV. A

9.2 Fondazione

La fondazione è armata con maglie di $\phi 18/10 \times 10$ 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 $\phi 12/30 \times 30$.

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	2000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copriferro	d'	79	[mm]
Altezza utile della sezione	d	1921	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	18	[mm]
Numero dei ferri correnti	n ₁	10	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n ₂	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A _s	2545	[mm ²]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	18	[mm]
Numero dei ferri correnti	n' ₁	10	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n' ₂	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A' _s	2545	[mm ²]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	1834.17	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	1306.7	[kNm]

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	46 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

Verifica a taglio

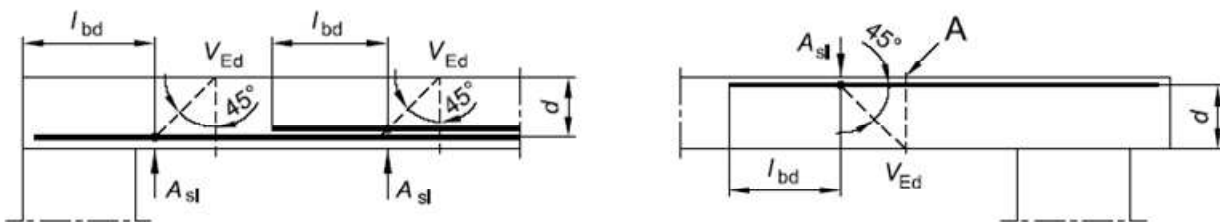
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO

Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	1507	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0.12	[-]
Coefficiente k	k	1.32	[-]
		1.32	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_l	0.0013247	[-]
		0.0013247	[-]

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

Legenda

A Sezione considerata



Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	499.54	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	589.30	[kN]

Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso V_{Rd} **589.30** [kN]

§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO

Diametro delle staffe	ϕ_{sw}	12	[mm]
Numero di braccia	n_b	3.3	[-]
Passo delle staffe	s	300	[mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	θ	22	[°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α	90	[°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	A_{sw}	373	[mm ²]
Braccio della coppia interna	z	1728.9	[mm]
Cotangente di θ	cot θ	2.48	[-]
		2.48	[-]
Cotangente di α	cot α	0.00	[-]
Seno di α	sin α	1.00	[-]

Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione) V_{Rsd} **2083.15** [kN]

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

Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione) V_{Rcd} **5648.68** [kN]

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

Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente V_{Rd} **2083.15** [kN]

§ 4.1.2.1.3.3 - TAGLIO MASSIMO SOPPORTABILE DALLA TRAVE
Resistenza massima a taglio della trave V_{Rd} **9035.10** [kN]

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	47 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

Verifiche delle tensioni (SLE)

Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	729.0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	2000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copriferro	d'	79	[mm]
Altezza utile della sezione	d	1921	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	2545	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	2545	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	321.79	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	1.10977E+11	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	19.92	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	2.11	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	157.58	[MPa]

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

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	705.3	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	2000	[-]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[-]
Copriferro	d'	79	[-]
Altezza utile della sezione	d'	1921	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	2545	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	2545	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	321.79	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	1.10977E+11	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	14.94	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	2.05	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	152.46	[MPa]

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	48 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

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

Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Caratteristica

Momento sollecitante per la combinazione Caratteristica	$M_{Ed,caratt.}$	711 [kNm]
Durata del carico		lunga [-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	321.79 [mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	153.69 [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	$h_{c,eff}$	197.5 [mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	$A_{c,eff}$	197500 [mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	$\rho_{p,eff}$	0.01288 [-]
Rapporto tra E_s/E_{cm}	α_e	5.94 [-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0.000251 [-]
		0.000461 [-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	ϕ_{eq}	18.00 [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	$s_{r,max}$	380.29 [mm]
		380.29 [mm]
Ampiezza delle fessure	w_k	0.1753 [mm]
Ampiezza massima delle fessure	w_{max}	0.2 [mm]

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	49 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04
Verifiche in direzione Y

Verifica a flessione

SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	2000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copriferro	d'	61	[mm]
Altezza utile della sezione	d	1939	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	18	[mm]
Numero dei ferri correnti	n ₁	10	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n ₂	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A _s	2545	[mm ²]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	18	[mm]
Numero dei ferri correnti	n' ₁	10	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n' ₂	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A' _s	2545	[mm ²]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	1870.02	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	1543.0	[kNm]

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	50 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

Verifica a taglio

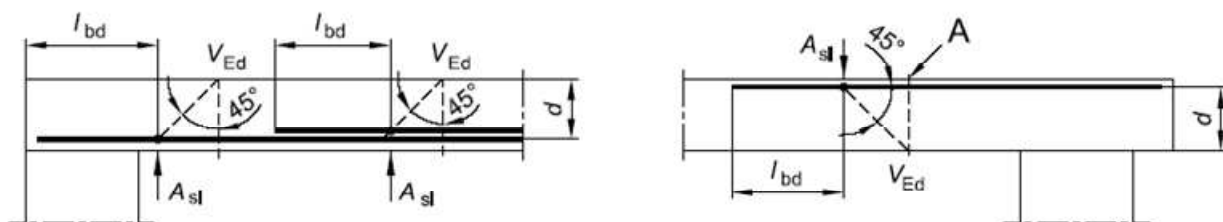
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO

Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	1467	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0.12	[-]
Coefficiente k	k	1.32	[-]
		1.32	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_l	0.0013124	[-]
		0.0013124	[-]

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

Legenda

A Sezione considerata



Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	502.09	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	593.81	[kN]

Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso V_{Rd} **593.81** [kN]

§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO

Diametro delle staffe	ϕ_{sw}	12	[mm]
Numero di braccia	n_b	3.3	[-]
Passo delle staffe	s	300	[mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	θ	22	[°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α	90	[°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	A_{sw}	373	[mm ²]
Braccio della coppia interna	z	1745.1	[mm]
Cotangente di θ	cot θ	2.48	[-]
		2.48	[-]
Cotangente di α	cot α	0.00	[-]
Seno di α	sin α	1.00	[-]

Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione) V_{Rsd} **2102.67** [kN]

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

Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione) V_{Rcd} **5701.61** [kN]

Massima area efficace di armatura a taglio per cot $\theta = 1$ $A_{sw,max}$ 4327.07 [mm²]

Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente V_{Rd} **2102.67** [kN]

§ 4.1.2.1.3.3 - TAGLIO MASSIMO SOPPORTABILE DALLA TRAVE

Resistenza massima a taglio della trave V_{Rd} **9119.76** [kN]

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	51 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

Verifica delle tensioni (SLE)

Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	916.0 [kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0 [-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	2000 [mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000 [mm]
Copriferro	d'	61 [mm]
Altezza utile della sezione	d	1939 [mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	2545 [mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	2545 [mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	321.79 [mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	1.13533E+11 [mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	19.92 [MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360 [MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	2.60 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	195.72 [MPa]

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

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	664.0 [kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0 [-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	2000 [-]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000 [-]
Copriferro	d'	61 [-]
Altezza utile della sezione	d'	1939 [-]
Area dell'armatura tesa	A_s	2545 [mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	2545 [mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	321.79 [mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	1.13533E+11 [mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	14.94 [MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360 [MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	1.88 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	141.87 [MPa]

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	52 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

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

Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Caratteristica

Momento sollecitante per la combinazione Caratteristica	$M_{Ed,caratt.}$	812 [kNm]
Durata del carico		lunga [-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	321.79 [mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	173.50 [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	$h_{c,eff}$	152.5 [mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	$A_{c,eff}$	152500 [mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	$\rho_{p,eff}$	0.01669 [-]
Rapporto tra E_s/E_{cm}	α_e	5.94 [-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0.000459 [-] 0.000520 [-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	ϕ_{eq}	18.00 [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	$s_{r,max}$	326.18 [mm] 326.18 [mm]
Ampiezza delle fessure	w_k	0.1698 [mm]
Ampiezza massima delle fessure	w_{max}	0.2 [mm]

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	53 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

Verifica a punzonamento (SLU)

Caratteristiche del cls della piastra

Resistenza caratteristica a compressione cubica del cls	R_{ck}	=	40	N/mm ²
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica del cls	f_{ck}	=	33.20	N/mm ²
Resistenza caratteristica a compressione di calcolo del cls	f_{cd}	=	18.81	N/mm ²
Spessore della piastra	t_p	=	2000	mm
Copriferro nominale	c_s	=	40	mm

Caratteristiche dell'acciaio d'armatura

Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	=	391.30	N/mm ²
Diametro dei tondini tesi in direzione y	ϕ_{sly}	=	18	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	ϕ_{slz}	=	18	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	=	1933	mm
Altezza utile della sezione in direzione z	d_z	=	1951	mm
Altezza utile di calcolo della sezione	d_{eff}	=	1942	mm

Calcolo del perimetro critico

Tipologia del pilastro

Dimensione del pilastro in direzione y	c_y	=	1200	mm
Dimensione del pilastro in direzione z	c_z	=		mm
Perimetro critico attorno al pilastro	u_0	=	3770	mm
Perimetro critico massimo	u_1	=	28174	mm

Sollecitazioni di progetto

Pilastro superiore: azione assiale	$N_{Ed,sup}$	=	10638	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}	=	10638	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
Eccentricità dell'azione di punzonamento in direzione y	e_y	=	0	mm
Eccentricità dell'azione di punzonamento in direzione z	e_z	=	0	mm

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	54 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

Dimensione del perimetro di verifica in direzione y	b_y	=	14087	mm
Dimensione del perimetro di verifica in direzione z	b_z	=	14087	mm
Coefficiente amplificativo	β	=	1.00	
Tensione massima di punzonamento su perimetro critico minimo	$v_{Ed,0}$	=	1.45	N/mm ²
Tensione massima di punzonamento su perimetro critico massimo	$v_{Ed,1}$	=	0.19	N/mm ²
Resistenze a punzonamento				
Coefficiente di riduzione della resistenza del cls fessurato per taglio	v	=	0.52	
Resistenza a punzonamento massima	$v_{Rd,max}$	=	4.89	N/mm ²
Verifica a punzonamento sullo spessore della piastra	ρ_{max}	=	0.30	OK
Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione	k	=	1.32	
Rapporto geometrico dell'armatura tesa	ρ_{ly}	=	0.001	
Rapporto geometrico dell'armatura tesa	ρ_{lz}	=	0.001	
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale tesa	ρ_l	=	0.001	
Tensione massima di punzonamento del cls	$v_{Rd,c}$	=	0.26	N/mm ²
Verifica a punzonamento senza armatura a punzonamento	ρ_c	=	0.75	<1 OK

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	55 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

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	-841	-733	27302	2198	-2524	0
RARA02	0	-729	21182	2187	0	0
RARA03	-1662	-624	25637	1872	-4986	0
RARA04	-1335	-690	27302	2069	-4006	0
RARA05	0	-848	20881	2544	0	0
RARA06	-1335	-1029	27457	3087	-4006	0
RARA07	-673	-688	25986	2064	-2019	0
RARA08	0	-685	21090	2055	0	0
RARA09	-1330	-601	24654	1803	-3989	0
RARA10	-421	-621	24014	12647	-1262	1380
RARA11	-841	-625	24014	1875	-2524	0
RARA12	-831	-566	23181	9753	-2493	2726
RARA13	-1662	-575	23138	1725	-4986	0

PILE SLU-SLV

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU01	-1220	-1088	38185	3264	-3660	0
SLU02	0	-1082	29311	3247	0	0
SLU03	-2410	-930	35771	2791	-7230	0
SLU04	-976	-1532	36511	4596	-2928	0
SLU05	0	-1527	29412	4582	0	0
SLU06	-1928	-1406	34580	4217	-5784	0
SLU07	-1220	-1088	38185	3264	-3661	0
SLU08	0	-1272	28883	3817	0	0
SLU09	-610	-926	33417	18414	-1830	2001
SLU10	-1220	-932	33417	2796	-3660	0
SLU11	-1205	-847	32210	14219	-3615	3953
SLU12	-2410	-859	32148	2578	-7230	0
SLV01	4732	1411	21808	4435	13976	0
SLV02	4732	-1500	21808	-4166	13976	0

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 001	A	56 di 56

Relazione di calcolo pila tipo - VI04

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLV03	1302	4806	21808	14469	3839	0
SLV04	-1638	4806	21808	14469	-4849	0
SLV05	-5068	-1500	21808	-4166	-14986	0
SLV06	-5068	1411	21808	4435	-14986	0
SLV07	-1638	-4896	21808	-14200	-4849	0
SLV08	1302	-4896	21808	-14200	3839	0

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo pila tipo - VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0405 001	REV. A	FOGLIO 57 di 56

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.