

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J71H92000020011

## U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

## VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA

OPERE PRINCIPALI – PONTI E VIADOTTI

VI03 – VIADOTTO DI APPROCCIO ALLO SCAVALCO LATO TORTONA

Pile: Relazione specialistica di predimensionamento

SCALA:

-

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

I Q 0 1    0 1    R    2 6    R H    V I 0 3 0 0    0 0 2    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	G. Grimaldi 	Settembre 2021	A.Maran 	Settembre 2021	M. Berlingeri 	Settembre 2021	A. Perego Settembre 2021 

File: IQ0101R26RHVI0300002A

n. Elab.:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Pile: Relazione specialistica di predimensionamento	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 26	CODIFICA RH	DOCUMENTO VI0300 002	REV. A

## INDICE

1.	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	3
2.	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	4
2.1	Normative .....	4
2.2	Elaborati di riferimento.....	4
3.	MATERIALI.....	5
3.1	Calcestruzzo per fusto pila e pulvino .....	5
3.2	Calcestruzzo per plinto e pali .....	5
3.3	Acciaio per barre di armature .....	5
4.	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	5
5.	MODELLI DI ANALISI E VERIFICA.....	6
5.1	Sistemi di riferimento ed unità di misura.....	6
6.	ANALISI DEI CARICHI .....	7
6.1	Permanenti strutturali e non (G1 e G2).....	7
6.2	Carichi da traffico verticali (Q1) .....	7
6.3	Effetti dinamici .....	9
6.4	Disposizione treni di carico .....	9
6.5	Carichi da traffico orizzontali .....	10
6.5.1	Forza centrifuga (Q4).....	10
6.5.2	Serpeggio .....	11
6.5.3	Frenatura ed avviamento (Q3) .....	11
6.5.4	Forza d'attrito (Q8) .....	11
6.6	Azione del Vento (Q5) .....	12
6.7	Azione Sismica (E) .....	13
6.7.1	Inquadramento Sismico.....	13
6.7.2	Definizione della domanda sismica .....	13
6.7.3	Calcolo dell'azione Sismica .....	14
7.	COMBINAZIONI DI CARICO .....	15
7.1	Sollecitazione base pila .....	15
7.2	Sollecitazione intradosso fondazione .....	15
8.	VERIFICA ALLO SPICCATO DEL FUSTO.....	16
8.1	Verifica a presso flessione.....	16
9.	PALI DI FONDAZIONE.....	24

	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Pile: Relazione specialistica di predimensionamento	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 26	CODIFICA RH	DOCUMENTO VI0300 002	REV. A

## 1. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nell'ambito più generale degli interventi di velocizzazione della linea Milano – Genova si inserisce il quadruplicamento della linea Tortona – Voghera.

Oggetto della presente relazione è il predimensionamento delle pile del viadotto ferroviario, a doppio binario, *VI03*. In particolare, si analizza la pila *P15*.

Il *VI03* si sviluppa dal km 57+754,750 al km 58+152,550 della *Tratta Tortona – Voghera* per complessivi 397,80 m.

Il viadotto è costituito da:

- n° 16 campate isostatiche a doppio binario in c.a.p. di portata teorica pari a 22.80 m (interasse pile 25 m);

L'impalcato in c.a.p. è costituito da n° 4 travi a cassoncino prefabbricate di altezza 2.10 m (precompressione a fili aderenti), solidarizzate da 4 traversi (2 sull'asse appoggi e 2 in campata) prefabbricati insieme alle travi (precompressione con trefoli post-tesi) e da una soletta in c.a. gettata in opera, di spessore variabile da un minimo di 30 cm ad un massimo di 40 cm in corrispondenza dell'asse viadotto.

La pila in esame, su cui poggiano due impalcati in c.a.p. presenta un fusto a sezione cava in c.a., stonato alle estremità, di dimensioni esterne pari a 2.60 m x 8.60 m su cui grava un pulvino, di spessore pari a 1.45 m, avente dimensioni esterne pari a 3.70 m x 10.10 m. La fondazione è costituita da una platea di spessore pari a 2.50 m, di dimensioni 11.50 m x 11.50 m, fondata su 9 pali  $\phi$  1500 ad interasse 4.50 m. L'altezza complessiva della pila, misurata da estradosso fondazione a estradosso pulvino, è pari a 8.80 m.

	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b>					
	<b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</b>					
<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>						
Pile: Relazione specialistica di predimensionamento	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IQ01	01 R 26	RH	VI0300 002	A	4 di 25

## 2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normative

Sono state prese a riferimento le seguenti Normative nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento:

- [1] *Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 Gennaio 2018 – Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»;*
- [2] *Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 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;*
- [3] *RFI DTC SI PS MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture (31 Dicembre 2020);*
- [4] *RFI DTC SI CS MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 3 - Corpo Stradale (31 Dicembre 2020);*
- [5] *Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione europea modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 Maggio 2019.*

### 2.2 Elaborati di riferimento

Vengono presi a riferimento tutti gli elaborati grafici progettuali di pertinenza.

### 3. MATERIALI

#### 3.1 Calcestruzzo per fusto pila e pulvino

##### Classe C32/40

Rck =	40,00	MPa	Resistenza caratteristica cubica
fck = 0,83 Rck =	32,00	MPa	Resistenza caratteristica cilindrica

#### 3.2 Calcestruzzo per plinto e pali

##### Classe C25/30

Rck =	30,00	MPa	Resistenza caratteristica cubica
fck = 0,83 Rck =	25,00	MPa	Resistenza caratteristica cilindrica

#### 3.3 Acciaio per barre di armature

##### B450C

### 4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Le caratteristiche geotecniche sono state definite a seguito di sondaggi eseguiti nel sito in esame, e sono sintetizzate nella tabella di seguito riportata. Si rimanda alla relazione geotecnica per tutte le altre considerazioni.

Profondità (m da tp)		Unità geotecnica
da	a	
0	10	LAS
10	20	GLS
>20		LAS

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Pile: Relazione specialistica di predimensionamento	COMMESSA <b>IQ01</b>	LOTTO <b>01 R 26</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>VI0300 002</b>	REV. <b>A</b>

## 5. MODELLI DI ANALISI E VERIFICA

Le sollecitazioni di verifica della pila sono state determinate a partire dai valori delle risultanti delle azioni trasmesse dagli impalcati alla quota degli apparecchi di appoggio, alle quali sono state combinate le azioni determinate dalle azioni indotte dalle forze di inerzia e dal peso proprio delle sottostrutture.

Il modello a mensola della struttura è stato implementato in un foglio di calcolo appositamente realizzato per la valutazione delle azioni agenti sulle singole parti della struttura, quali fusto pila e plinto.

### 5.1 Sistemi di riferimento ed unità di misura

- Asse X parallelo all'asse trasversale dell'impalcato
- Asse Y parallelo all'asse longitudinale dell'impalcato
- Asse Z verticale
  
- [Lunghezze] m
- [Forze] KN

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Pile: Relazione specialistica di predimensionamento	COMMESSA <b>IQ01</b>	LOTTO <b>01 R 26</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>VI0300 002</b>	REV. <b>A</b>

## 6. ANALISI DEI CARICHI

### 6.1 Permanenti strutturali e non (G1 e G2)

I pesi degli elementi strutturali sono calcolati utilizzando un peso di volume del calcestruzzo pari a 25 kN/m<sup>3</sup>.

Per il rinterro del plinto si è considerato invece un peso specifico di 19 kN/m<sup>3</sup>.

Le caratteristiche dell'impalcato ed i relativi carichi G1 e G2 sono invece riassunti nella tabella riportata di seguito.

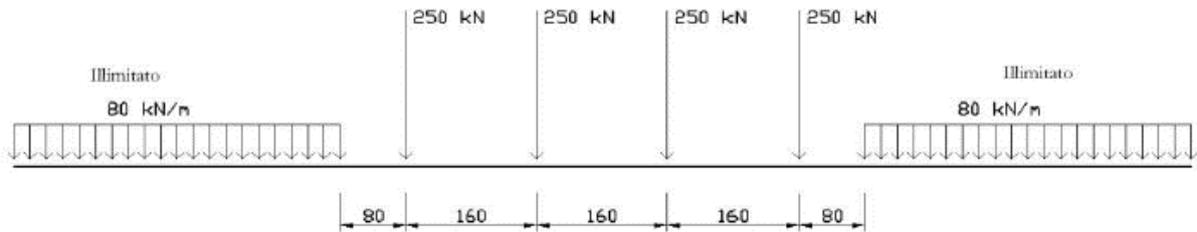
IMPALCATO					
lunghezza travata	L	<b>25.00</b>	m	<b>25.00</b>	m
luce appoggi travata	L <sub>a</sub>	<b>22.80</b>	m	<b>22.80</b>	m
larghezza totale impalcato	B	<b>13.70</b>	m	<b>13.70</b>	m
peso permanente strutturale	G <sub>1</sub>	<b>6340</b>	kN	<b>6340</b>	kN
peso permanenti non strutturali	G <sub>2</sub>	<b>5390</b>	kN	<b>5390</b>	kN

### 6.2 Carichi da traffico verticali (Q1)

L'opera è stata progettata considerando le sollecitazioni dovute al carico da traffico ferroviario, considerando i modelli LM71 e/o SW/2. Si riportano di seguito le caratteristiche dei modelli di traffico presi in esame.

➤ *Modello di carico LM71*

Sia le istruzioni RFI che le NTC 2018 (par. 5.2.2.2.1.1), definiscono questo modello di carico tramite carichi concentrati e carichi distribuiti, riferiti all'asse dei binari.



$$Q_{vk} = 250 \text{ kN} \quad q_{vk} = 80 \text{ kN/m}$$

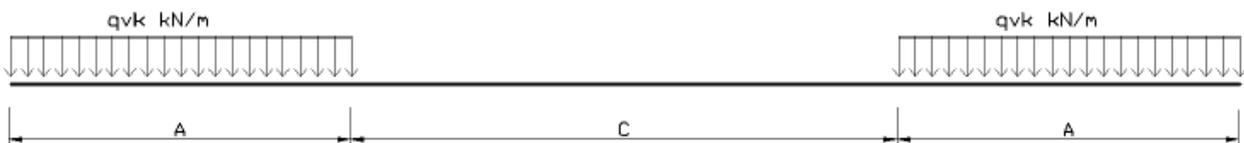
Carichi concentrati: quattro assi da 250 kN disposti ad interasse di 1,60 m;

Carico distribuito: 80 kN/m in entrambe le direzioni, a partire da 0,8 m dagli assi d'estremità e per una lunghezza illimitata.

Per questo modello di carico è prevista un'eccentricità del carico rispetto all'asse del binario.

➤ *Modello di carico SW/2*

Sia le istruzioni RFI che le NTC 2018 (par. 5.2.2.2.1.2), definiscono questo modello di carico tramite solo carichi distribuiti.



**SW/0**

Carico distribuito	$Q_{vk}$	133	KN/m
Lunghezza	A	15	m
Lunghezza	C	5.3	m

**SW/2**

Carico distribuito	$Q_{vk}$	150	KN/m
Lunghezza	A	25	m
Lunghezza	C	7	m

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Pile: Relazione specialistica di predimensionamento	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 26	CODIFICA RH	DOCUMENTO VI0300 002	REV. A

In questo modello di carico non è prevista alcuna eccentricità del carico ferroviario. Le azioni di entrambi i modelli dovranno essere moltiplicate per un coefficiente di adattamento definito dalla seguente tabella (tab. 2.5.1.4.1.1 - RFI DTC SI PS MA IFS 001).

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE “ $\alpha$ ”
LM/71	1.10
SW/0	1.10
SW/2	1.00

### 6.3 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:

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

### 6.4 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 assiale.

Questi schemi di base sono stati accoppiati nel caso di doppio binario, ottenendo le seguenti caratteristiche di sollecitazioni:

	N [kN]	Mlong [kN/m]	Mtrasv [kN/m]
COMBO N	<b>5992</b>	310	1265
COMBO ML	3529	<b>2759</b>	1055
COMBO MT	3162	206	<b>6641</b>

## 6.5 Carichi da traffico orizzontali

### 6.5.1 Forza centrifuga (Q4)

L'azione centrifuga è schematizzata come una forza agente in direzione orizzontale perpendicolarmente al binario e verso l'esterno della curva, applicata ad 1,80 m al di sopra del p.f.. Il valore caratteristico della forza centrifuga si determina in accordo con la seguente espressione:

$$Q_{tk} = V^2 \cdot f \cdot (\alpha \cdot Q_{vk}) / (127 \cdot R)$$

- dove
- V velocità di progetto espressa in km/h
  - $Q_{vk}$  valore caratteristico dei carichi verticali
  - R raggio di curvatura in m
  - f fattore di riduzione (rif. §2.5.1.4.3.1 [3])

raggio di curvatura	R	1500	m
velocità massima compatibile con il tracciato della linea	Vmax	200	km/h
		<b>SX</b>	<b>DX</b>
lunghezza di influenza della parte curva del binario	Lf	22.8	22.8 m
fattore di riduzione funzione della Lf e della V	f	0.70	0.70

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b>					
	<b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</b>					
<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>						
Pile: Relazione specialistica di predimensionamento	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IQ01	01 R 26	RH	VI0300 002	A	11 di 25

### 6.5.2 Serpeggio

La forza laterale indotta dal serpeggio si schematizza come una forza concentrata agente orizzontalmente perpendicolarmente all'asse del binario. Il valore caratteristico di tale forza è assunto pari a 100 kN. Tale valore deve essere moltiplicato per  $\alpha$  ma non per il coefficiente di amplificazione dinamica. Essa si applicherà sia in rettilineo che in curva.

### 6.5.3 Frenatura ed avviamento (Q3)

Le forze di frenatura e di avviamento agiscono sulla sommità del binario, nella direzione longitudinale dello stesso. Dette forze sono da considerarsi uniformemente distribuite su una lunghezza di binario  $L$  determinata per ottenere l'effetto più gravoso sull'elemento strutturale considerato. I valori da considerare sono i seguenti:

- ✓ avviamento:  $Q_{la,k} = 33 \text{ kN/m} \cdot L \leq 1000 \text{ kN}$  per i modelli di carico LM71, SW/2
- ✓ frenatura:  $Q_{lb,k} = 20 \text{ kN/m} \cdot L \leq 6000 \text{ kN}$  per i modelli di carico LM71  
 $Q_{lb,k} = 35 \text{ kN/m}$  per i modelli di carico SW/2

I valori caratteristici dell'azione di frenatura e di avviamento devono essere moltiplicati per  $\alpha$  e non devono essere moltiplicati per  $\Phi$ . Nel caso di ponti a doppio binario si devono considerare due treni in transito in versi opposti, uno in fase di avviamento e l'altro in fase di frenatura.

### 6.5.4 Forza d'attrito (Q8)

Le forze parassitarie dei vincoli si esplicano in corrispondenza degli apparecchi d'appoggio mobili e, per equilibrio, sui corrispondenti fissi, per traslazione relativa impalcato-apparecchi d'appoggio. Essendo funzione del carico verticale, la sua definizione è associata ai coefficienti moltiplicativi delle combinazioni  $\gamma$  e  $\psi$  dei carichi da peso proprio strutturali e non, e dei carichi verticali da traffico.

Per la valutazione delle coazioni generate è stato considerato un coefficiente d'attrito  $f$  pari a 0,04. Con riferimento a quanto riportato nel §2.5.1.6.3 [3] la forza agente sulle pile per impalcato a travate isostatiche, facendo riferimento all'apparecchio d'appoggio maggiormente caricato tra quelli presenti sulla pila, si considera pari a:

$$F_a = f (0,2 \cdot V_G + V_Q)$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Pile: Relazione specialistica di predimensionamento	COMMESSA <b>IQ01</b>	LOTTO <b>01 R 26</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>VI0300 002</b>	REV. <b>A</b>

dove  $V_G$  reazione verticale massima associata ai carichi permanenti

$V_Q$  reazione verticale massima associata ai carichi mobili dinamizzati

## 6.6 Azione del Vento (Q5)

L'azione del vento viene ricondotta ad un'azione statica equivalente costituita da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici. Ricadendo nella classificazione ordinaria di ponti l'azione del vento è valutata come agente su una superficie continua, convenzionalmente alta 4m dal paino del ferro rappresentante il convoglio. L'altezza effettiva è valutata sia in funzione della presenza o meno del convoglio sia in funzione dell'altezza delle barriere antirumore, convenzionalmente alte 5m.

In particolare, la pressione esercitata dal vento è stata assunta pari a 2.5 kN/m<sup>2</sup>.

	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Pile: Relazione specialistica di predimensionamento	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 26	CODIFICA RH	DOCUMENTO VI0300 002	REV. A

## 6.7 Azione Sismica (E)

L'azione sismica di progetto è rappresentata da spettri di risposta definiti in base alla pericolosità sismica di base del sito ove sorge l'opera in oggetto, la vita di riferimento e le caratteristiche del sottosuolo.

Di seguito si riportano i parametri di input utilizzati per la definizione degli spettri di progetto orizzontali e verticali e i grafici degli stessi.

### 6.7.1 Inquadramento Sismico

La determinazione della pericolosità sismica di base è definita a partire dall'ubicazione dell'opera e dalle sue caratteristiche progettuali come la vita nominale  $V_N$  e la classe d'uso  $C_u$ . Sulla base del "Manuale di Progettazione delle Opere Civili". I parametri identificativi dell'opera sono:

Vita Nominale	Classe d'Uso	Coeff. D'uso
75	III	1.5

La geo-localizzazione permette di ottenere le coordinate geografiche delle singole opere e individuare puntualmente la domanda sismica secondo gli spettri normativi rappresentativi delle due componenti (orizzontale e verticale), ovvero determinare i singoli parametri indipendenti di riferimento.

In particolare, si è fatto riferimento alle seguenti coordinate:

Latitudine: 44.9227

Longitudine: 8.8899

### 6.7.2 Definizione della domanda sismica

Secondo le NTC2018 l'azione sismica viene considerata mediante spettri di risposta elastici in accelerazione. Sulla base dello studio geologico, i terreni in esame sono di tipo C, pianeggianti, tali da ricadere nella categoria topografica T1. Risulta quindi possibile tracciare lo spettro di riferimento normativo.

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

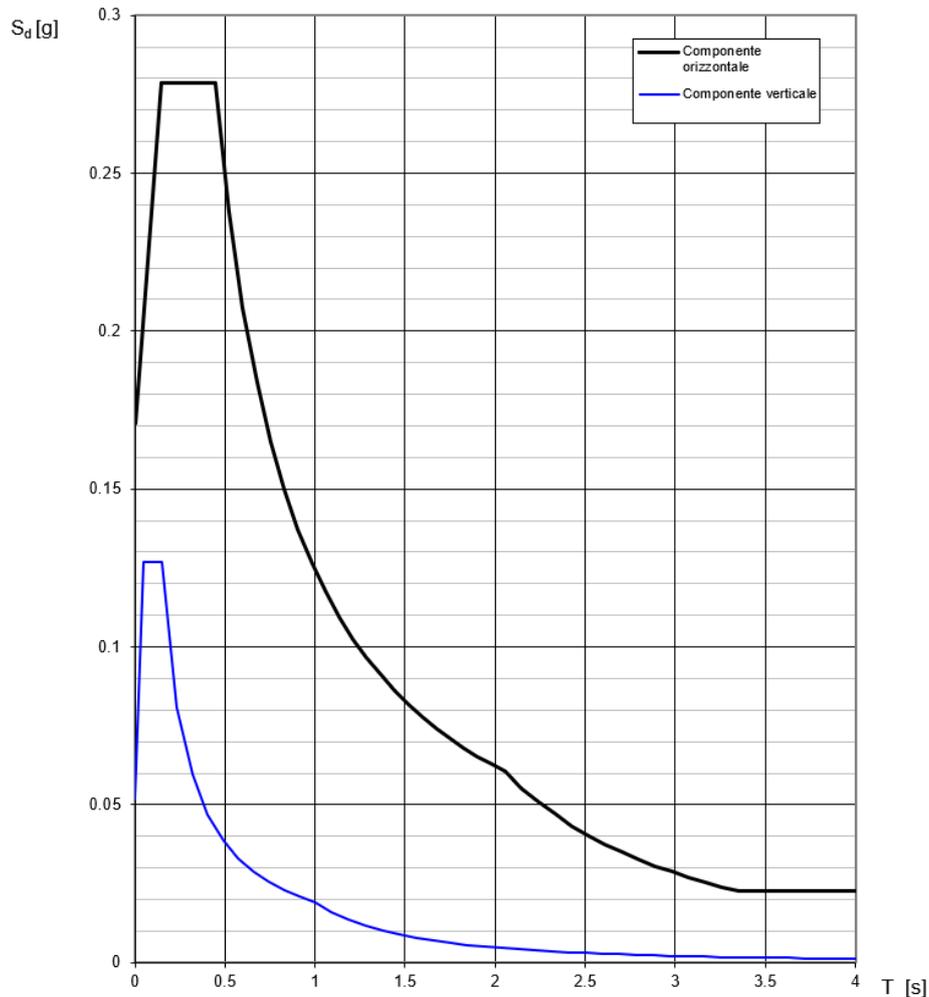


Figura 1 – Spettri di risposta per lo SLV

**6.7.3 Calcolo dell'azione Sismica**

Per il calcolo delle azioni sismiche si utilizza una Analisi Statica Lineare, come riportata nel cap. 7.9.4.1 delle NTC 2018.

Nei calcoli, per lo spettro orizzontale è stato applicato un fattore di struttura  $q=1.5$ .

L'accelerazione di progetto viene ricavata, a partire dallo spettro di risposta, in funzione dei periodi di vibrazione della pila nelle tre differenti direzioni (longitudinale, trasversale e verticale).

	<b>T [s]</b>	<b>a [g]</b>
<b>Direzione Longitudinale</b>	0.320	0.279
<b>Direzione Trasversale</b>	0.166	0.279
<b>Direzione Verticale</b>	0.045	0.116

## 7. COMBINAZIONI DI CARICO

Le sollecitazioni dovute ai carichi descritti nei paragrafi precedenti sono state combinate in ottemperanza alle NTC18, secondo quanto riportato nei paragrafi 2.5.3, 5.1.3.12.

In particolar modo, sia in condizioni statiche (SLU) che in condizioni sismiche (SLV) sono state definite 3 combinazioni di carico, in modo da massimizzare lo sforzo normale, il momento flettente in direzione longitudinale, e quello in direzione trasversale. Le sollecitazioni sono state calcolate alla base del fusto pila e all'intradosso della platea di fondazione.

### 7.1 Sollecitazione base pila

	N [kN]	Tlong [kN]	Ttrasv [kN]	Mlong [kNm]	Mtrasv [kNm]
SLU_1	30295	1827	1772	17774	27735
SLU_2	26724	2991	1071	32089	17663
SLU_3	26192	1679	1772	16257	35531

	N [kN]	Tlong [kN]	Ttrasv [kN]	Mlong [kNm]	Mtrasv [kNm]
SLV_1	17990	1338	1250	11819	14633
SLV_2	16288	4286	1250	39663	14591
SLV_3	16215	1327	4166	11793	49261

### 7.2 Sollecitazione intradosso fondazione

	N [kN]	Tlong [kN]	Ttrasv [kN]	Mlong [kNm]	Mtrasv [kNm]
SLU_1	44299	1827	1772	22342	32166
SLU_2	40728	2991	1071	39567	20342
SLU_3	40196	1679	1772	20455	39962

	N [kN]	Tlong [kN]	Ttrasv [kN]	Mlong [kNm]	Mtrasv [kNm]
SLV_1	28900	1762	1673	15694	18286
SLV_2	26822	5696	1673	52141	18244
SLV_3	26748	1750	5576	15640	61438

## 8. VERIFICA ALLO SPICCATO DEL FUSTO

La verifica allo SLU flessionale della sezione in oggetto viene effettuata mediante l'ausilio del programma RC-SEC. Di seguito viene riportato l'output del programma per la sezione in oggetto e per tutte le combinazioni considerate e descritte nei precedenti paragrafi.

L'armatura longitudinale è costituita da 220  $\phi 20$ .

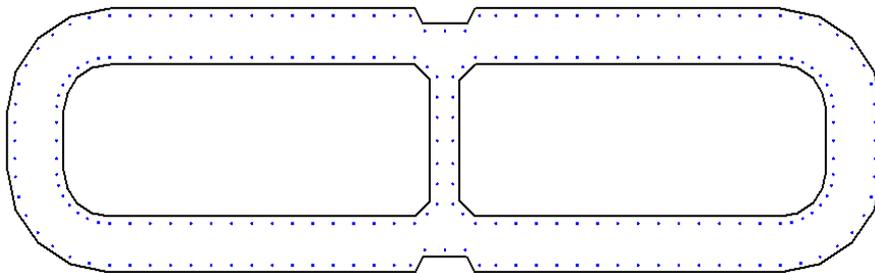


Figura 2 - Sezione implementata in RC-SEC

### 8.1 Verifica a presso flessione

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.  
NOME FILE SEZIONE: PILA\_2.6X8.6\_fi20\_VI03\_15

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Pilastro
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.130	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33346.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.020	MPa
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito		

**CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO**

**DOMINIO N° 1**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	330.0	130.0
2	368.3	122.4
3	400.7	100.7
4	422.4	68.3
5	430.0	30.0
6	430.0	-30.0
7	422.4	-68.3
8	400.7	-100.7
9	368.3	-122.4
10	330.0	-130.0
11	30.0	-130.0
12	21.3	-115.0
13	-21.3	-115.0
14	-30.0	-130.0
15	-330.0	-130.0
16	-368.3	-122.4
17	-400.7	-100.7
18	-422.4	-68.3
19	-430.0	-30.0
20	-430.0	30.0
21	-422.4	68.3
22	-400.7	100.7
23	-368.3	122.4
24	-330.0	130.0
25	-30.0	130.0
26	-21.3	115.0
27	21.3	115.0
28	30.0	130.0

**DOMINIO N° 2**

Forma del Dominio: Poligonale vuoto  
Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	330.0	75.0
2	347.2	71.6
3	361.8	61.8
4	371.6	47.2
5	375.0	30.0
6	375.0	-30.0
7	371.6	-47.2
8	361.8	-61.8
9	347.2	-71.6
10	330.0	-75.0
11	30.0	-75.0
12	15.0	-60.0
13	15.0	60.0
14	30.0	75.0

**DOMINIO N° 3**

Forma del Dominio: Poligonale vuoto

Pile: Relazione specialistica di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 26	RH	VI0300 002	A	18 di 25

Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-15.0	60.0
2	-15.0	-60.0
3	-30.0	-75.0
4	-330.0	-75.0
5	-347.2	-71.6
6	-361.8	-61.8
7	-371.6	-47.2
8	-375.0	-30.0
9	-375.0	30.0
10	-371.6	47.2
11	-361.8	61.8
12	-347.2	71.6
13	-330.0	75.0
14	-30.0	75.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-330.0	-123.0	20
2	-310.0	-123.0	20
3	-290.0	-123.0	20
4	-270.0	-123.0	20
5	-250.0	-123.0	20
6	-230.0	-123.0	20
7	-210.0	-123.0	20
8	-190.0	-123.0	20
9	-170.0	-123.0	20
10	-150.0	-123.0	20
11	-130.0	-123.0	20
12	-110.0	-123.0	20
13	-90.0	-123.0	20
14	-70.0	-123.0	20
15	-50.0	-123.0	20
16	-34.0	-123.0	20
17	-349.8	-120.9	20
18	-368.8	-114.5	20
19	-385.9	-104.3	20
20	-400.5	-90.7	20
21	-411.8	-74.2	20
22	-419.4	-55.7	20
23	-422.8	-36.1	20
24	-330.0	-82.0	20
25	-310.0	-82.0	20
26	-290.0	-82.0	20
27	-270.0	-82.0	20
28	-250.0	-82.0	20
29	-230.0	-82.0	20
30	-210.0	-82.0	20
31	-190.0	-82.0	20
32	-170.0	-82.0	20
33	-150.0	-82.0	20
34	-130.0	-82.0	20
35	-110.0	-82.0	20
36	-90.0	-82.0	20
37	-70.0	-82.0	20

Pile: Relazione specialistica di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 26	RH	VI0300 002	A	19 di 25

38	-50.0	-82.0	20
39	-30.0	-82.0	20
40	-341.1	-80.8	20
41	-351.7	-77.3	20
42	-361.3	-71.5	20
43	-369.4	-63.9	20
44	-375.7	-54.7	20
45	-380.0	-44.4	20
46	-381.9	-33.4	20
47	-423.0	0.0	20
48	-382.0	0.0	20
49	-423.0	-18.0	20
50	-382.0	-18.0	20
51	0.0	-108.0	20
52	-20.0	-108.0	20
53	-8.0	-62.9	20
54	-8.0	-42.9	20
55	-8.0	-22.9	20
56	-8.0	0.0	20
57	-17.6	-72.4	20
58	-330.0	123.0	20
59	-310.0	123.0	20
60	-290.0	123.0	20
61	-270.0	123.0	20
62	-250.0	123.0	20
63	-230.0	123.0	20
64	-210.0	123.0	20
65	-190.0	123.0	20
66	-170.0	123.0	20
67	-150.0	123.0	20
68	-130.0	123.0	20
69	-110.0	123.0	20
70	-90.0	123.0	20
71	-70.0	123.0	20
72	-50.0	123.0	20
73	-34.0	123.0	20
74	-349.8	120.9	20
75	-368.8	114.5	20
76	-385.9	104.3	20
77	-400.5	90.7	20
78	-411.8	74.2	20
79	-419.4	55.7	20
80	-422.8	36.1	20
81	-330.0	82.0	20
82	-310.0	82.0	20
83	-290.0	82.0	20
84	-270.0	82.0	20
85	-250.0	82.0	20
86	-230.0	82.0	20
87	-210.0	82.0	20
88	-190.0	82.0	20
89	-170.0	82.0	20
90	-150.0	82.0	20
91	-130.0	82.0	20
92	-110.0	82.0	20
93	-90.0	82.0	20
94	-70.0	82.0	20
95	-50.0	82.0	20
96	-30.0	82.0	20
97	-341.1	80.8	20

Pile: Relazione specialistica di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 26	RH	VI0300 002	A	20 di 25

98	-351.7	77.3	20
99	-361.3	71.5	20
100	-369.4	63.9	20
101	-375.7	54.7	20
102	-380.0	44.4	20
103	-381.9	33.4	20
104	-423.0	18.0	20
105	-382.0	18.0	20
106	0.0	108.0	20
107	-20.0	108.0	20
108	-8.0	62.9	20
109	-8.0	42.9	20
110	-8.0	22.9	20
111	-17.6	72.4	20
112	330.0	-123.0	20
113	310.0	-123.0	20
114	290.0	-123.0	20
115	270.0	-123.0	20
116	250.0	-123.0	20
117	230.0	-123.0	20
118	210.0	-123.0	20
119	190.0	-123.0	20
120	170.0	-123.0	20
121	150.0	-123.0	20
122	130.0	-123.0	20
123	110.0	-123.0	20
124	90.0	-123.0	20
125	70.0	-123.0	20
126	50.0	-123.0	20
127	34.0	-123.0	20
128	349.8	-120.9	20
129	368.8	-114.5	20
130	385.9	-104.3	20
131	400.5	-90.7	20
132	411.8	-74.2	20
133	419.4	-55.7	20
134	422.8	-36.1	20
135	330.0	-82.0	20
136	310.0	-82.0	20
137	290.0	-82.0	20
138	270.0	-82.0	20
139	250.0	-82.0	20
140	230.0	-82.0	20
141	210.0	-82.0	20
142	190.0	-82.0	20
143	170.0	-82.0	20
144	150.0	-82.0	20
145	130.0	-82.0	20
146	110.0	-82.0	20
147	90.0	-82.0	20
148	70.0	-82.0	20
149	50.0	-82.0	20
150	30.0	-82.0	20
151	341.1	-80.8	20
152	351.7	-77.3	20
153	361.3	-71.5	20
154	369.4	-63.9	20
155	375.7	-54.7	20
156	380.0	-44.4	20
157	381.9	-33.4	20

Pile: Relazione specialistica di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 26	RH	VI0300 002	A	21 di 25

158	423.0	0.0	20
159	382.0	0.0	20
160	423.0	-18.0	20
161	382.0	-18.0	20
162	20.0	-108.0	20
163	8.0	-62.9	20
164	8.0	-42.9	20
165	8.0	-22.9	20
166	8.0	0.0	20
167	17.6	-72.4	20
168	330.0	123.0	20
169	310.0	123.0	20
170	290.0	123.0	20
171	270.0	123.0	20
172	250.0	123.0	20
173	230.0	123.0	20
174	210.0	123.0	20
175	190.0	123.0	20
176	170.0	123.0	20
177	150.0	123.0	20
178	130.0	123.0	20
179	110.0	123.0	20
180	90.0	123.0	20
181	70.0	123.0	20
182	50.0	123.0	20
183	34.0	123.0	20
184	349.8	120.9	20
185	368.8	114.5	20
186	385.9	104.3	20
187	400.5	90.7	20
188	411.8	74.2	20
189	419.4	55.7	20
190	422.8	36.1	20
191	330.0	82.0	20
192	310.0	82.0	20
193	290.0	82.0	20
194	270.0	82.0	20
195	250.0	82.0	20
196	230.0	82.0	20
197	210.0	82.0	20
198	190.0	82.0	20
199	170.0	82.0	20
200	150.0	82.0	20
201	130.0	82.0	20
202	110.0	82.0	20
203	90.0	82.0	20
204	70.0	82.0	20
205	50.0	82.0	20
206	30.0	82.0	20
207	341.1	80.8	20
208	351.7	77.3	20
209	361.3	71.5	20
210	369.4	63.9	20
211	375.7	54.7	20
212	380.0	44.4	20
213	381.9	33.4	20
214	423.0	18.0	20
215	382.0	18.0	20
216	20.0	108.0	20
217	8.0	62.9	20

Pile: Relazione specialistica di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 26	RH	VI0300 002	A	22 di 25

218	8.0	42.9	20
219	8.0	22.9	20
220	17.6	72.4	20

### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	30295.00	17774.00	27735.00	0.00	0.00
2	26724.00	32089.00	17663.00	0.00	0.00
3	26192.00	16257.00	35531.00	0.00	0.00
4	17990.00	11819.00	14633.00	0.00	0.00
5	16288.00	39663.00	14591.00	0.00	0.00
6	16215.00	11793.00	49261.00	0.00	0.00

### RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	30295.00	17774.00	27735.00	30295.02	58645.07	91636.77	3.30691.2(321.1)	
2	S	26724.00	32089.00	17663.00	26723.98	59813.67	33232.44	1.87691.2(321.1)	
3	S	26192.00	16257.00	35531.00	26192.09	51851.29	111914.23	3.16691.2(321.1)	
4	S	17990.00	11819.00	14633.00	17990.23	49482.79	61168.20	4.18691.2(321.1)	
5	S	16288.00	39663.00	14591.00	16288.08	50199.83	18598.19	1.27691.2(321.1)	
6	S	16215.00	11793.00	49261.00	16214.87	32360.23	135658.38	2.75691.2(321.1)	

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

Pile: Relazione specialistica di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 26	RH	VI0300 002	A	23 di 25

Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	330.0	130.0	0.00323	349.8	120.9	-0.00989	-349.8	-120.9
2	0.00350	330.0	130.0	0.00303	330.0	123.0	-0.01514	-330.0	-123.0
3	0.00350	330.0	130.0	0.00332	349.8	120.9	-0.00931	-349.8	-120.9
4	0.00350	330.0	130.0	0.00308	330.0	123.0	-0.01443	-330.0	-123.0
5	0.00350	330.0	130.0	0.00287	330.0	123.0	-0.02035	-330.0	-123.0
6	0.00350	368.3	122.4	0.00333	368.8	114.5	-0.01082	-368.8	-114.5

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000004920	0.000040060	-0.003331480	----	----
2	0.000002403	0.000067423	-0.006057859	----	----
3	0.000006440	0.000033594	-0.002992322	----	----
4	0.000004282	0.000059691	-0.005672993	----	----
5	0.000001839	0.000089472	-0.008738386	----	----
6	0.000012350	0.000022020	-0.003743112	----	----

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Pile: Relazione specialistica di predimensionamento	COMMESSA <b>IQ01</b>	LOTTO <b>01 R 26</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>VI0300 002</b>	REV. <b>A</b>

## 9. PALI DI FONDAZIONE

La progettazione del plinto di fondazione vede la determinazione dello stato sollecitativo in funzione dell'interazione tra pali e terreno di fondazione. È lecito ipotizzare la platea come infinitamente rigida e dedurre le sollecitazioni agenti in testa palo attraverso la relazione:

$$R(x, y) = \frac{N}{n} + \frac{M_l}{J_l} \cdot y + \frac{M_t}{J_t} \cdot x$$

dove  $N$ ,  $M_l$ ,  $M_t$  sono lo sforzo normale e i momenti flettenti longitudinale e trasversale agenti nel baricentro della palificata,  $n$  è il numero di pali e  $J_l$ ,  $J_t$  sono le inerzie longitudinale e trasversale della palificata:

$$J_l = \sum y_i^2 \qquad J_t = \sum x_i^2$$

Per quanto riguarda le sollecitazioni orizzontali agenti in testa al palo, si assume che le azioni di taglio si ripartiscano uniformemente tra i pali, risultando:

$$T(x, y) = \frac{\sqrt{H_l^2 + H_t^2}}{n}$$

dove  $H_l$ ,  $H_t$  sono le azioni orizzontali nelle due direzioni principali del ponte.

Considerando le sollecitazioni riportate nel paragrafo 7.2 della presente relazione è possibile calcolare lo sforzo assiale massimo e minimo nei pali di fondazione per tutte le combinazioni analizzate.

Nella tabella seguente si riassumono i risultati ottenuti.

	<b>Nmax</b>	<b>Nmin</b>	<b>V</b>
	<b>[kN]</b>	<b>[kN]</b>	<b>[kN]</b>
<b>SLU_1</b>	<b>6941</b>	2903	283
<b>SLU_2</b>	6744	2306	353
<b>SLU_3</b>	6704	2229	271
<b>SLV_1</b>	4470	1953	270
<b>SLV_2</b>	5587	373	<b>660</b>
<b>SLV_3</b>	5827	<b>117</b>	649

Si riporta di seguito la curva di portanza per pali  $\phi$  1500, calcolata considerando la stratigrafia del sito in esame, descritta nel § 4 della presente relazione. La lunghezza assunta per il palo, in base a tale curva, è pari a 35 m.

