

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP:J34H16000620009

## U.O. OPERE CIVILI

### PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

#### POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA-TRIESTE

Posti di Movimento e Varianti di Tracciato

LOTTO 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo

#### VARIANTE ISONZO – OPERE CIVILI

Viadotto Isonzo – Relazione di predimensionamento pile Impalcato 40m

SCALA

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA / DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I Z 0 4	4 0	R	0 9	C L	V I 0 1 0 0	0 0 1	A

Revis	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Aut. autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	Luciani	Giugno 2021	Franchinotti	Giugno 2021	S. Lo Presti	Giugno 2021	ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti Dott. Ing. Angelo Vittozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma N° A20783 Vittozzi 2021

File: 61-IZ0440R09CLVI0100001A.doc

n. Elab.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A	FOGLIO 2 di 19

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>9</b>
4.1	Calcestruzzo .....	9
4.1.1	Strutture di elevazione .....	9
4.1.2	Plinto di fondazione.....	10
4.1.3	Pali di fondazione.....	10
4.2	Acciaio per armature ordinarie .....	11
4.3	Copriferri.....	11
<b>5</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI E CONDIZIONI DI CARICO .....</b>	<b>12</b>
5.1	Carichi trasmessi dall'impalcato .....	12
5.2	Azione del vento sulla pila $q_6$ .....	12
5.3	Azioni sismiche $q_7$ .....	13
5.3.1	Spettri di risposta elastici .....	22
5.3.2	Spettri di risposta di progetto .....	25
5.3.3	Combinazione delle componenti dell'azione sismica e valutazione delle masse 30	
5.4	Variazioni termiche $\varepsilon_3$ .....	30
<b>6</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>CRITERI DI VERIFICA.....</b>	<b>38</b>
7.1	Verifiche agli stati limite di esercizio .....	38
7.1.1	Verifica a fessurazione.....	38

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A	FOGLIO 3 di 19

7.1.2	Verifica delle tensioni in esercizio .....	39
7.2	Verifiche agli stati limite ultimi .....	41
7.2.1	Sollecitazioni flettenti .....	41
7.2.2	Sollecitazioni taglianti.....	41
<b>8</b>	<b>CRITERI DI MODELLAZIONE.....</b>	<b>44</b>
8.1	modello strutturale di analisi.....	44
<b>9</b>	<b>ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE DELLA PILA.....</b>	<b>46</b>
9.1	SOLLECITAZIONI AGENTI .....	49
9.2	VERIFICA DEL FUSTO .....	56
<b>10</b>	<b>ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE DEL SISTEMA DI FONDAZIONE .....</b>	<b>69</b>
10.1	SOLLECITAZIONI AGENTI.....	71
10.2	VERIFICHE STRUTTURALI.....	76
10.2.1	Plinto di fondazione.....	76
10.2.2	Pali – Verifica Strutturale.....	88
10.2.3	Pali – Verifica Geotecnica – carichi verticali .....	100
10.2.4	Pali – Verifica Geotecnica – carichi orizzontali .....	103
<b>11</b>	<b>INDICE DELLE FIGURE.....</b>	<b>105</b>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	4 di 19

## 1 PREMESSA

La presente relazione afferisce ai calcoli e alle verifiche strutturali della pile di sostegno degli impalcati tipologici di luce  $L=40m$ , nell'ambito del progetto di prefattibilità tecnico-economica del potenziamento della linea Venezia-Trieste.

Le strutture sono state progettate coerentemente con quanto previsto dalla normativa vigente, "Norme Tecniche per le Costruzioni"- DM 14.1.2018 e relativa Circolare "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni".

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVIO100001	REV. A	FOGLIO 5 di 19

## 2 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La tipologia di pila in esame prevede una sezione pseudorettangolare cava biconnessa, con larghezza pari a 3.40m in direzione longitudinale rispetto all'asse del viadotto e lunghezza di 11.80m in direzione trasversale rispetto all'asse del viadotto; i setti esterni prevedono uno spessore di 0.55m; quello centrale uno spessore pari a 0.80m (Geometria tipo A).

Geometria fusto pila		Proprietà geometriche						
Sigla	Descrizione	A	Ap	s	ly	lz	BT	BL
		Sezione fusto	Sezione pulvino	Spessore pulvino	Inerzia dir. trasversale	Inerzia dir. longitudinale	Lunghezza pila	Larghezza pila
[-]	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[m]	[m]
A	Cava biconnessa 3,4x11,8	16.32	38.47	2.00	1.997E+14	2.603E+13	11.8	3.4

L'altezza di calcolo delle pile tipo in oggetto è assunta pari a 6.70m.

Il sistema di fondazione previsto è del tipo indiretto, con plinti di spessore pari a 2.50m e dimensioni in pianta 11.5x16.0m, su n.12 pali di diametro  $\phi$ 1500 (Pilnto tipo F1).

Tipologia sistema di fondazione		Geometria plinto			Pali	
Sigla	Descrizione	BL	BT	s	n	$\phi$
		Dimensione in pianta in direz.parallela all'asse del viadotto	Dimensione in pianta in direz. trasversale rispetto all'asse del viadotto	Spessore	Numero pali	Diametro
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[mm]
F1	11.5x16x2.5	11.5	16	2.5	12	1500

La tipologia di impalcati afferenti il tipo di pile in esame è individuata nel prospetto di seguito:

Coppia impalcati afferenti					
Sigla	Impalcato lato fisso pila			Impalcato lato mobile pila	
[-]	Luce [m]	Tipo [-]		Luce [m]	Tipo [-]
7	40	Acciaio-cls (travi)		40	Acciaio-cls (travi)

Si rimanda agli elaborati grafici per l'ottenimento di dettagli ulteriori.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	6 di 19

### 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'analisi delle opere e le verifiche degli elementi strutturali sono state condotte in accordo con le vigenti disposizioni legislative e in particolare con le seguenti norme e circolari:

- **RFI DTC SI PS MA IFS 001 E – Dicembre 2020:** *Manuale di progettazione delle Opere Civili - Emissione per applicazione*
- **RFI DTC SI PS SP IFS 001 E – Dicembre 2020:** *Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 6 – Opere in conglomerato cementizio e in acciaio - Emissione per applicazione;*
- **D.M. del 17 gennaio 2018:** *Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;*
- **C.M. 21/01/2019 n.7:** *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018;*
- **Legge 05/01/1971 n°1086:** *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica;*
- **Legge 02/02/1974 n°64:** *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;*

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

- **UNI EN 1990: 2006:** *Eurocodice 0: Criteri generali di progettazione strutturale;*

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A	FOGLIO 7 di 19

- **UNI EN 1991-1-1:2004:** *Eurocodice 1 –Azioni in generale– Parte 1-1: Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi variabili;*
- **UNI EN 1991-1-4:2005:** *Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento;*
- **UNI EN 1992-1-1:2005:** *Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;*
- **UNI EN 1992-2:2006:** *Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti;*
- **UNI EN 1993-1-1:2005:** *Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;*
- **UNI EN 1993-2:2007:** *Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 2: Ponti;*
- **UNI EN 1997-1: 2005:** *Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica. Parte 1: Regole generali.*
- **UNI EN 1998-1:2005:** *Eurocodice 8 – Progettazione delle struttura per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici;*
- **UNI EN 1998-2:2006:** *Eurocodice 8 – Progettazione delle struttura per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti;*
- **UNI EN 1998-5:2005:** *Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici:*
- **STI 2014 – REGOLAMENTO UE N.1299/2014** *della commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;*

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA  IZ04	LOTTO  40	CODIFICA  R09	DOCUMENTO  CLVI0100001	REV.  A	FOGLIO  8 di 19

- **UNI EN 206-1-2016** - Calcestruzzo. “Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- **UNI 11104/2016** - Calcestruzzo Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	9 di 19

## 4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali impiegati, ricavate con riferimento alle indicazioni contenute NTC 2018. Le classi di esposizione dei calcestruzzi sono coerenti con la UNI EN 206-1-2016.

### 4.1 Calcestruzzo

#### 4.1.1 Strutture di elevazione

Per il getto in opera del fusto della pila si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC4

C32/40  $f_{ck} \geq 32$  MPa  $R_{ck} \geq 40$  MPa

Classe minima di consistenza: S4

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	33.20	N/mm <sup>2</sup>
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	41.20	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	22.13	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	18.81	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3}$ [Rck<50/60]	3.10	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	2.17	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	3.72	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1.45	N/mm <sup>2</sup>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	10 di 19

Modulo di Young  $E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$  33643 N/mm<sup>2</sup>

#### 4.1.2 Plinto di fondazione

Per il getto in opera del plinto di fondazione della pila si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC2

C28/35  $f_{ck} \geq 28$  MPa  $R_{ck} \geq 35$  MPa

Classe minima di consistenza: S4

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	$R_{ck}$	<b>35</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	29.05	N/mm <sup>2</sup>
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	37.05	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	19.37	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	16.46	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3}$ [Rck<50/60]	2.83	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	1.98	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	3.40	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1.32	N/mm <sup>2</sup>
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	32588	N/mm <sup>2</sup>

#### 4.1.3 Pali di fondazione

Per il getto in opera dei pali di fondazione della pila si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC2

C25/30  $f_{ck} \geq 25$  MPa  $R_{ck} \geq 30$  MPa

Classe minima di consistenza: S4-S5

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	11 di 19

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	$R_{ck}$	<b>30</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	24.90	N/mm <sup>2</sup>
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	32.90	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	16.60	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	14.11	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} \quad [R_{ck} < 50/60]$	2.56	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	1.79	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	3.07	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1.19	N/mm <sup>2</sup>
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	31447	N/mm <sup>2</sup>

## 4.2 Acciaio per armature ordinarie

Classe acciaio per armature ordinarie	B450C
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di rottura	$f_t \geq 540 \text{ MPa}$
Modulo di elasticità	$E_a = 210000 \text{ MPa}$

## 4.3 Copriferrì

Si riportano di seguito i copriferrì per le strutture in calcestruzzo armato:

Strutture di elevazione	4.0 cm
Plinto di fondazione	4.0 cm
Pali di fondazione	6.0 cm

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	12 di 19

## 5 ANALISI DEI CARICHI E CONDIZIONI DI CARICO

L'analisi dei carichi che interessano la pila è stata effettuata considerando le azioni provenienti dagli impalcati afferenti e quelle direttamente applicate sulla pila.

I carichi trasmessi dagli impalcati sono relativi alle condizioni di carico elementari, opportunamente combinate secondo le vigenti normative, analizzate nel dettaglio nelle rispettive relazioni di calcolo degli impalcati tipo che afferiscono alla pila in esame.

Si riportano di seguito la sintesi delle azioni provenienti dagli impalcati e l'analisi dei carichi elementari che interessano direttamente la pila.

### 5.1 Carichi trasmessi dall'impalcato

Per la sintesi degli scarichi espletati dagli appoggi d'impalcato sulla pila, relativamente ai due lati, fisso e mobile, per ciascuna delle condizioni di carico elementari analizzate, si faccia riferimento al capitolo relativo alle sollecitazioni e alle verifiche della pila, presentato nell'analisi dei risultati.

In particolare, per quanto riguarda i carichi da traffico ferroviario trasmessi dall'impalcato, si sono considerati coefficienti dinamici unitari, conformemente con quanto prescritto nel par.2.5.1.4.2.5.2 del "Manuale di progettazione delle opere civili", poiché le pile in esame presentano un valore di snellezza  $\lambda < 30$ .

### 5.2 Azione del vento sulla pila $q_6$

Si riporta di seguito il calcolo dell'azione del vento sul fusto della pila in direzione trasversale e longitudinale rispetto all'asse del viadotto. La sezione della pila è assimilata, per questo calcolo, a un rettangolo di dimensioni  $B_L \times B_T$ .

Si assume cautelativamente una pressione di progetto pari a  $2,5 \text{ kN/m}^2$ .

Risulta pertanto sui due lati del fusto della pila:

$$q_{T,\text{vento}} = 2,5 \text{ kN/m}^2 \times B_L - \text{Carico unitario in direzione trasversale all'asse del viadotto}$$

$$q_{L,\text{vento}} = 2,5 \text{ kN/m}^2 \times B_T - \text{Carico unitario in direzione parallela all'asse del viadotto}$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A	FOGLIO 13 di 19

### 5.3 Azioni sismiche $q_7$

Nel presente paragrafo si riportano la descrizione e la valutazione dell'azione sismica secondo le specifiche del NTC 2018.

L'azione sismica è descritta mediante spettri di risposta elastici e di progetto. In particolare nel NTC 2018, vengono presentati gli spettri di risposta in termini di accelerazioni orizzontali e verticali.

L'espressione analitica dello spettro di risposta elastico in termini di accelerazione orizzontale è la seguente:

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

$$T_B \leq T \leq T_C \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T \leq T_D \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T} \right)$$

In cui:

$$S = S_s \cdot S_T;$$

$S_s$ : coefficiente di amplificazione stratigrafico;

$S_T$ : coefficiente di amplificazione topografica;

$\eta$ : fattore che tiene conto di un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi$ , espresso in punti percentuali diverso da 5 ( $\eta=1$  per  $\xi=5$ ):

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$$

$F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A	FOGLIO 14 di 19

$a_g$ : accelerazione massima al suolo;

T: periodo di vibrazione dell'oscillatore semplice;

$T_B, T_C, T_D$ : periodi che separano i diversi rami dello spettro, e che sono pari a:

$$T_C = C_C \cdot T^*_C$$

$$T_B = \frac{T_C}{3}$$

$$T_D = 4.0 + \frac{a_g}{g} + 1.6$$

In cui :

$C_C$ : coefficiente che tiene conto della categoria del terreno;

$T^*_C$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

L'espressione analitica dello spettro di risposta elastico in termini di accelerazione verticale è la seguente:

$$0 \leq T \leq T_B \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T \leq T_D \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T} \right)$$

nelle quali:

$S = S_S \times S_T$ : con  $S_S$  pari sempre a 1 per lo spettro verticale;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A	FOGLIO 15 di 19

$\eta$ : fattore che tiene conto di un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi$ , espresso in punti percentuali diverso da 5 ( $\eta=1$  per  $\xi=5$ ):

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$$

T: periodo di vibrazione dell'oscillatore semplice;

$T_B, T_C, T_D$ : periodi che separano i diversi rami dello spettro, e che sono pari a:

$$T_C = 0.05 \quad T_B = 0.15 \quad T_D = 1.0$$

$F_V$ : fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima mediante la relazione:

$$F_V = 1.35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0.5}$$

Di seguito si riporta il calcolo dei parametri per la valutazione degli spettri in accelerazione orizzontale e verticale, effettuata mediante l'utilizzo del software "Spettri NTC ver. 1.0.3" reperibile presso il sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

### Vita Nominale

La vita nominale di un'opera strutturale ( $V_N$ ), è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale delle infrastrutture ferroviarie può, di norma, assumersi come indicato nella seguente tabella.

TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale (VN)
Opere nuove su infrastrutture ferroviarie progettate con le norme vigenti prima del DM14/1/2008 a velocità convenzionale $V < 250$ Km/h	50

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A	FOGLIO 16 di 19

Altre opere nuove a velocità V<250 Km/h	75
Altre opere nuove a velocità V>250 Km/h	100
Opere di grandi dimensioni: ponti e viadotti con campate di luce maggiore di 150 m	≥100

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale  $VN = 75$  anni.

### Classi D'uso

Il Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 prevede quattro categorie di classi d'uso riportate nel seguito:

<p><b>Classe I:</b> Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.</p>
<p><b>Classe II:</b> Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe III o in Classe IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.</p>
<p><b>Classe III:</b> Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.</p>
<p><b>Classe IV:</b> Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione di strade", e di tipo quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti o reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.</p>

Per l'opera in oggetto si considera una **Classe d'uso III**.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A	FOGLIO 17 di 19

### Periodo di Riferimento dell'Azione Sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_n$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_u$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella tabella seguente:

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0.7	1	1.5	2

Pertanto per l'opera in oggetto il periodo di riferimento è pari a  $75 \times 1,5 = 112.5$  anni.

### Stati limite e relative probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

La probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportati nella tabella successiva.

<u>Stati Limite</u>		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A	FOGLIO 18 di 19

Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

### Accelerazione ( $a_g$ ), fattore ( $F_0$ ) e periodo ( $T_c^*$ )

Ai fini del NTC 2018 le forme spettrali, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , sono definite a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$ : accelerazione orizzontale massima sul sito;

$F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I parametri prima elencati dipendono dalle coordinate geografiche, espresse in termini di latitudine e longitudine, del sito interessato dall'opera, dal periodo di riferimento ( $V_R$ ), e quindi dalla vita nominale ( $V_N$ ) e dalla classe d'uso ( $C_u$ ) e dallo stato limite considerato. Si riporta nel seguito la valutazione di detti parametri per i vari stati limite.

Latitudine: 45.81118°

Longitudine: 13.42855°

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	90	0.064	2.517	0.286
SLD	151	0.079	2.509	0.308
SLV	1424	0.185	2.587	0.364
SLC	2475	0.223	2.629	0.372

Tabella 1: Valutazione dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  per i periodi di ritorno associati a ciascuno stato limite

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	19 di 19

I parametri ai quali si è fatto riferimento nella definizione dell'azione sismica di progetto, indicati nella tabella precedente, corrispondono, cautelativamente, a quei parametri che danno luogo al sisma di massima entità, fra tutti quelli individuati lungo le progressive dell'opera in progetto.

Sono stati presi in esame, secondo quanto previsto dal NTC 2018 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, cap. 7.1, i seguenti Stati Limite sismici:

- SLV: Stato Limite di Salvaguardia della Vita (Stato Limite Ultimo)
- SLD: Stato Limite di Danno (Stato Limite di Esercizio)
- SLC: Stato Limite di Collasso (Stato Limite Ultimo)
- SLO: Stato Limite di Operatività (Stato Limite di Esercizio)

Le azioni sismiche relative allo stato limite di operatività (SLO) e allo stato limite di danno (SLD) non sono state considerate perché poco significative in relazione alle combinazioni di natura statica. Per quanto riguarda lo stato limite di collasso (SLC), questo è stato considerato per le combinazioni sismiche di verifica dei ritegni sismici; si faccia pertanto riferimento alle considerazioni presentate nelle rispettive relazioni di calcolo di impalcato.

Si riportano al termine dell'analisi, i parametri ed i punti dello spettro di risposta elastici e di progetto per il restante stato limite (SLV).

### Classificazione dei terreni

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, la valutazione dell'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, deve essere basata su studi specifici di risposta sismica locale esistenti nell'area di intervento. In mancanza di tali studi la normativa prevede la classificazione, riportata nella tabella seguente, basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio  $V_{s30}$ , ovvero sul numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica (per terreni prevalentemente granulari), ovvero sulla coesione non drenata media  $c_u$  (per terreni prevalentemente coesivi).

Categoria di suolo di	Descrizione

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A	FOGLIO 20 di 19

fondazione	
Cat. A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.
Cat. B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)
Cat. C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)
Cat. D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)
Cat. E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)

Si considera una **categoria C** di suolo di fondazione.

### Amplificazione stratigrafica

I due coefficienti prima definiti,  $S_s$  e  $C_c$ , dipendono dalla categoria del sottosuolo come mostrato nel prospetto seguente.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CLVIO100001	A	21 di 19

Per i terreni di categoria A, entrambi i coefficienti sono pari a 1, mentre per le altre categorie i due coefficienti sono pari a:

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Nel caso in esame (categoria di sottosuolo C) allo SLV risulta:

$$S_s = 1.413$$

$$C_c = 1.465$$

### Amplificazione topografica

Per poter tenere conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella seguente tabella.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	22 di 19

T3	In corrispondenza della cresta del rilievo con inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo con inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4

Nel caso in esame  $S_T = 1$

### 5.3.1 Spettri di risposta elastici

In accordo con le prescrizioni normative, lo spettro di risposta elastico è stato considerato solo ai fini della valutazione delle azioni in fondazione e delle azioni sugli apparecchi di appoggio.

#### Stato limite di salvaguardia della vita

Di seguito si forniscono lo spettro di risposta elastico per lo stato limite di salvaguardia della vita e la tabella dei parametri rispettivi.

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

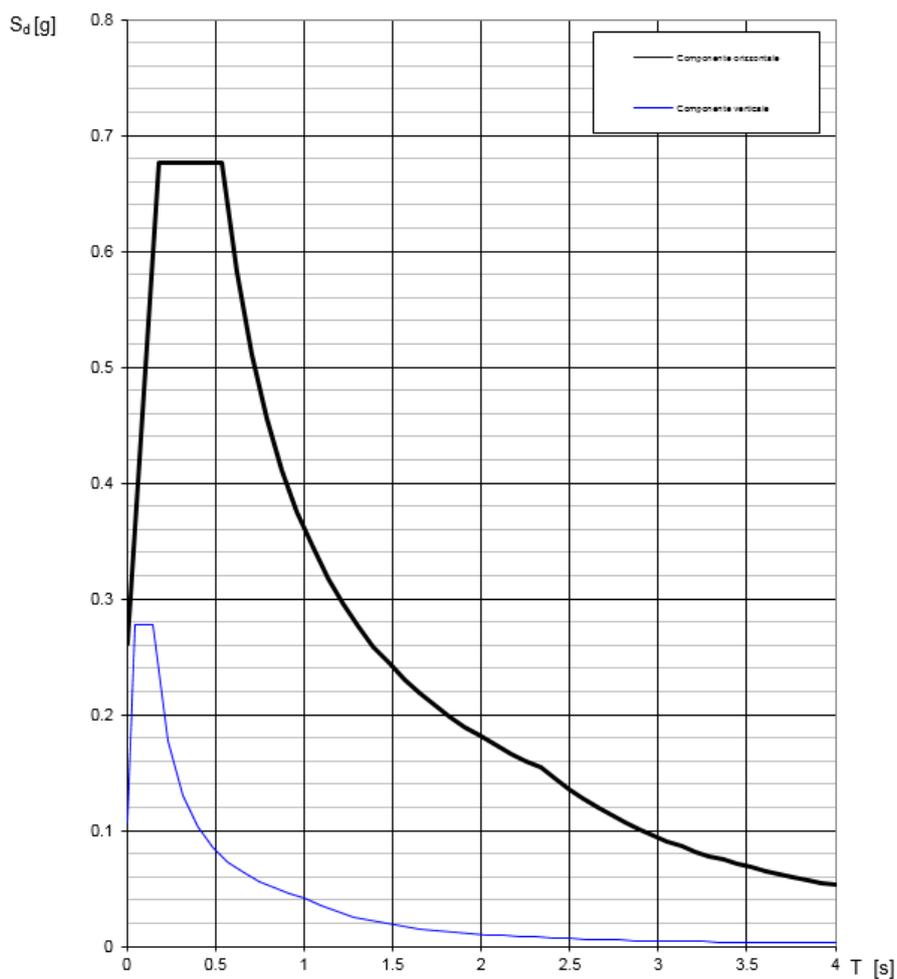


Figura 1: Spettri di risposta elastici\_SLV (Componente orizzontale e verticale)

Relazione di calcolo pile –  
impalcato 40m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	24 di 19

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.185 g
$F_o$	2.587
$T_c$	0.364 s
$S_s$	1.413
$C_c$	1.465
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.413
$\eta$	1.000
$T_B$	0.178 s
$T_C$	0.534 s
$T_D$	2.340 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

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

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

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

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

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

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

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

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

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

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

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

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.261
$T_B$	0.178	0.676
$T_C$	0.534	0.676
	0.620	0.582
	0.706	0.511
	0.792	0.456
	0.878	0.411
	0.964	0.375
	1.050	0.344
	1.136	0.318
	1.222	0.295
	1.308	0.276
	1.394	0.259
	1.480	0.244
	1.566	0.231
	1.652	0.219
	1.738	0.208
	1.824	0.198
	1.910	0.189
	1.996	0.181
	2.082	0.173
	2.168	0.166
	2.254	0.160
$T_D$	2.340	0.154
	2.419	0.144
	2.498	0.135
	2.577	0.127
	2.656	0.120
	2.735	0.113
	2.814	0.107
	2.893	0.101
	2.973	0.096
	3.052	0.091
	3.131	0.086
	3.210	0.082
	3.289	0.078
	3.368	0.074
	3.447	0.071
	3.526	0.068
	3.605	0.065
	3.684	0.062
	3.763	0.060
	3.842	0.057
	3.921	0.055
	4.000	0.053

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	25 di 19

### 5.3.2 Spettri di risposta di progetto

In accordo con il par. 3.2.3.5 del NTC 2018 le capacità dissipative delle strutture possono essere prese in considerazione attraverso una riduzione delle forze elastiche. Tale riduzione tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovrarresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni. Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  che ne risulta, sia per le componenti orizzontali, che per la componente verticale, deriva dunque dallo spettro elastico con le ordinate ridotte e lo si ottiene sostituendo, nelle espressioni che lo definiscono, il termine  $\eta$  con il termine  $1/q$ , dove  $q$  è il cosiddetto fattore di struttura.

Il fattore di struttura è definito in accordo con il par. 7.3.1 del NTC 2018:

$$q = q_0 \cdot K_R$$

dove:

$q_0$  è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto  $\alpha_u/\alpha_1$  tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;

$K_R$  è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Nel caso di pile da ponte in c.a. in **classe di duttilità "B" (CD "B")**, in accordo con il par. 7.9.2.1 (Tabella 7.9.I) NTC 2018 (Tabella 7.9.I), il valore di  $q_0$  è pari ad 1.5 mentre il valore di  $K_R$  è pari ad 1, per cui, in definitiva, per le componenti orizzontali dell'azione sismica si adotta:

$$q = 1.5$$

Per la componente verticale, il fattore di struttura per i ponti è unitario ( $q = 1$ ), quindi si utilizza lo spettro elastico.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A	FOGLIO 26 di 19

L'utilizzo di uno spettro di risposta di progetto ( $q > 1$ ) implica il rispetto di quelli che sono i requisiti normativi della gerarchia delle resistenze, descritti nello specifico nei paragrafi relativi al calcolo e alla verifica dei singoli elementi strutturali.

### Stato limite di salvaguardia della vita

Secondo quanto riportato nel DM 14/01/2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, cap. 3.2.3.5, lo spettro di progetto delle componenti orizzontali per lo SLV è stato determinato secondo le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\frac{1}{q} \cdot F_0} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{15}{q} \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

In cui:

$$S = S_s \cdot S_T;$$

$S_s$ : coefficiente di amplificazione stratigrafico;

$S_T$ : coefficiente di amplificazione topografica;

$F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_C$ : periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro ed è ottenuto mediante la seguente relazione:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	27 di 19

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

In cui :

$C_C$ : coefficiente che tiene conto della categoria del terreno;

$T_C^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

$T_B$ : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante ed è ottenuto mediante la seguente relazione:

$$T_B = \frac{T_C}{3}$$

$T_D$ : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante ed è ottenuto mediante la seguente relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$$

$q$ : fattore di struttura.

Sulla base delle coordinate geografiche del sito su cui sorge l'opera in esame, sono stati determinati gli spettri di risposta di progetto ed i parametri per lo *SLV*, riportati di seguito:

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

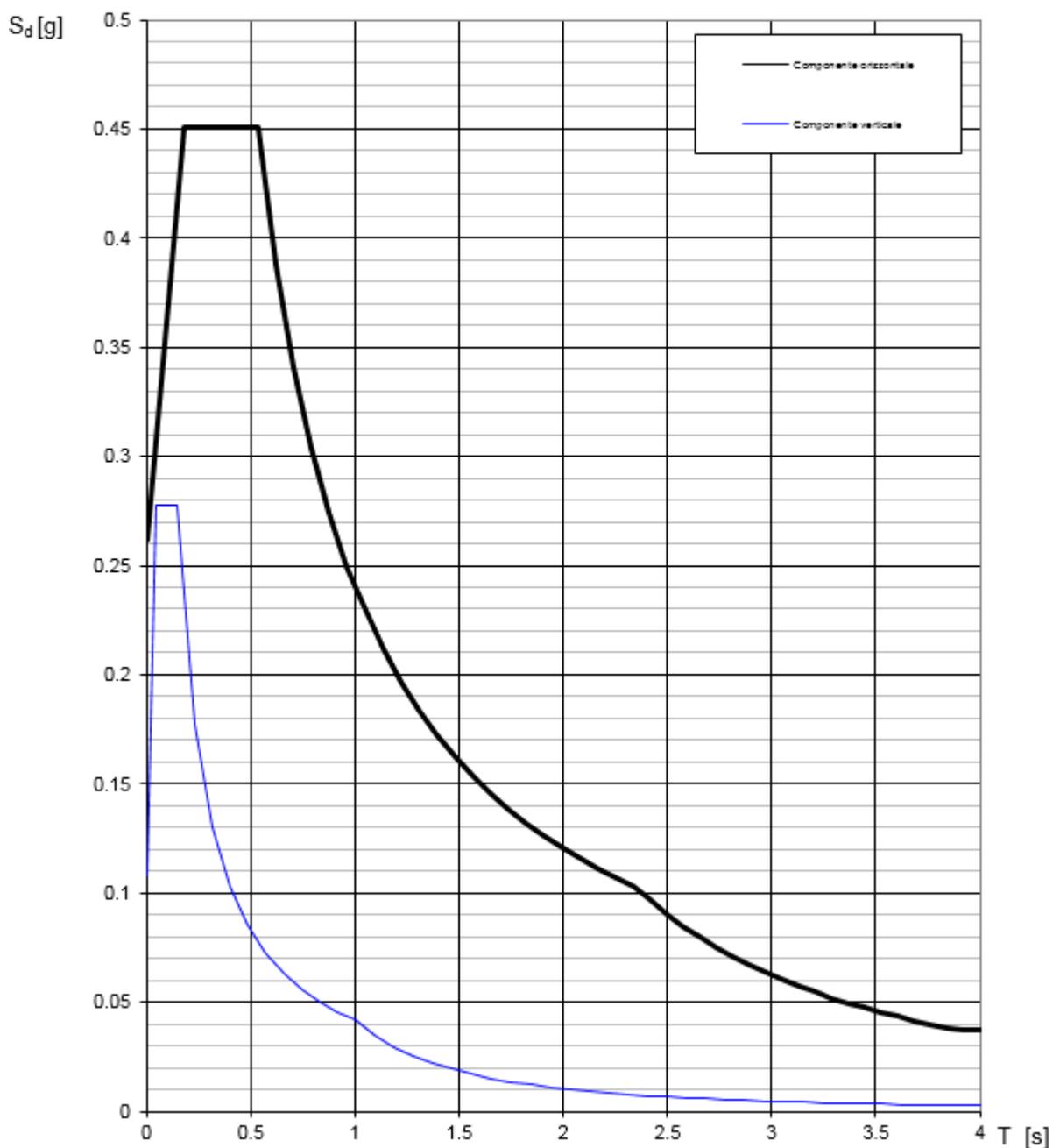


Figura 2: Spettri di risposta di progetto ( $q=1,5$ )\_SLV (Componente orizzontale e verticale)

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.185 g
$F_0$	2.587
$T_c$	0.364 s
$S_s$	1.413
$C_c$	1.465
$S_T$	1.000
$q$	1.500

**Parametri dipendenti**

$S$	1.413
$\eta$	0.667
$T_B$	0.178 s
$T_C$	0.534 s
$T_D$	2.340 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

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

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

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

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

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

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

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

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

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

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

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

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.261
$T_B$	0.178	0.451
$T_C$	0.534	0.451
	0.620	0.388
	0.706	0.341
	0.792	0.304
	0.878	0.274
	0.964	0.250
	1.050	0.229
	1.136	0.212
	1.222	0.197
	1.308	0.184
	1.394	0.173
	1.480	0.163
	1.566	0.154
	1.652	0.146
	1.738	0.138
	1.824	0.132
	1.910	0.126
	1.996	0.121
	2.082	0.116
	2.168	0.111
	2.254	0.107
$T_D$	2.340	0.103
	2.419	0.096
	2.498	0.090
	2.577	0.085
	2.656	0.080
	2.735	0.075
	2.814	0.071
	2.893	0.067
	2.973	0.064
	3.052	0.060
	3.131	0.057
	3.210	0.055
	3.289	0.052
	3.368	0.050
	3.447	0.047
	3.526	0.045
	3.605	0.043
	3.684	0.042
	3.763	0.040
	3.842	0.038
	3.921	0.037
	4.000	0.037

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	30 di 19

### 5.3.3 Combinazione delle componenti dell'azione sismica e valutazione delle masse

Il sisma viene convenzionalmente considerato come agente separatamente in due direzioni tra loro ortogonali prefissate (direzione longitudinale rispetto all'asse del viadotto e trasversale); per tenere conto che nella realtà il moto del terreno durante l'evento sismico ha direzione casuale e in accordo con le prescrizioni normative, per ottenere l'effetto complessivo del sisma, a partire dagli effetti delle direzioni calcolati separatamente, si è provveduto a sommare i massimi ottenuti in una direzione con il 30% dei massimi ottenuti per l'azione applicata nell'altra direzione.

Per quanto riguarda la valutazione delle masse sismiche, nel caso di ponti, in accordo con il par. 3.2.4 del D.M. 14/01/2008, oltre alla massa efficace dell'impalcato e della pila, è stata considerata un'aliquota pari al 20% del carico dovuto al transito dei treni: questo è stato ottenuto tenendo conto dello scenario più gravoso tra quello che vede la presenza sui due binari di due treni di carico LM71 e quello caratterizzato da un treno LM71 e da un treno tipo SW/2.

In direzione longitudinale rispetto all'asse del viadotto, la lunghezza di impalcato di competenza della pila, per il calcolo delle masse sismiche, è quella relativa all'impalcato "lato fisso"; in direzione trasversale, è pari alla somma della metà della luce dell'impalcato "lato fisso" e della metà di quella dell'impalcato "lato mobile".

La valutazione delle masse sismiche è esplicitata nell'analisi dei risultati, per ciascuna delle due direzioni di verifica.

### 5.4 Variazioni termiche $\epsilon_3$

Per l'analisi termica delle pile cave, eseguita in accordo con quanto previsto nel par. 5.2.2.5.2 del NTC 2018, si rimanda alla successiva fase di progetto.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	31 di 19

## 6 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni delle azioni sono state definite in accordo con quanto riportato al par. 2.5.3 del NTC 2018:

- 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 (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

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

- 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 (v. § 3.2):

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

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto  $A_d$  (v. § 3.6):

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

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qi}$  e quelli dei coefficienti di combinazione  $\Psi_{ij}$  sono stati desunti dal par. 5.2.3.3.1 del NTC 2018, relativo al capitolo sui 'Ponti ferroviari'. Di seguito si riportano le Tabelle di riferimento.

Per quanto riguarda il coefficiente di combinazione  $\Psi_{2j}$  relativo ai carichi dovuti al transito dei treni, come anticipato in precedenza, questo si assume pari a 0,2 nelle combinazioni sismiche, conformemente a quanto prescritto nel par. 3.2.4 del NTC 2018.

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.  
<sup>(3)</sup> Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.  
<sup>(4)</sup> Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico  $\mathcal{G}$  della Tab. 5.2.IV.  
<sup>(5)</sup> Aliquota di carico da traffico da considerare.  
<sup>(6)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(7)</sup> 1,20 per effetti locali

Figura 3: Valori dei coefficienti parziali di sicurezza – Tabella 5.2.V del NTC 2018

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	$\mathcal{G}1$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$\mathcal{G}2$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	$\mathcal{G}3$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$\mathcal{G}4$	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{Wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

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

<sup>(2)</sup> Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	33 di 19

Figura 4: Valori dei coefficienti di combinazione– Tabella 5.2.VI del NTC 2018

Azioni		$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 <sup>(3)</sup>	<sup>(1)</sup>	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 <sup>(3)</sup>	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,0 <sup>(3)</sup>	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 <sup>(3)</sup>	-	-
	Centrifuga	<sup>(2)</sup>	<sup>(2)</sup>	<sup>(2)</sup>
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 <sup>(3)</sup>	0,80	0,0

(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) Si usano gli stessi coefficienti  $\Psi$  adottati per i carichi che provocano dette azioni.

(3) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\Psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Figura 5: Ulteriori valori dei coefficienti di combinazione – Tabella 5.2.VII del NTC 2018

Conformemente con quanto prescritto al par.5.2.3.1.3 del NTC 2018, 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 Tabella 5.2.IV del NTC 2018, riportata di seguito.

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo.2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0(0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	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

Azione dominante  
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi ( $\Phi, \alpha$ , ecc...)  
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

Figura 6: Valutazione dei carichi da traffico – Tabella 5.2.IV del NTC 2018

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A	FOGLIO 34 di 19

Sulla base dei criteri esposti sopra, si riportano nel prospetto di seguito i coefficienti dedotti per ciascuna delle combinazioni di carico adottate nell'analisi strutturale, per i diversi stati limite.



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA**

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE**

**Relazione di calcolo pile –  
impalcato 40m**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO

IZ04 40 R09 CLVI0100001 A 35 di 19

Combinazione	Gruppo	Traffico	G1	G2	Q3,a B1-SW2	Q3,a B1-LM71	Q3,a B2-LM71	Q3,f B1-SW2	Q3,f B1-LM71	Q3,f B2-LM71	Q4 B1-SW2	Q4 B1-LM71	Q4 B2-LM71	Q5 B1-SW2	Q5 B1-LM71	Q5 B2-LM71	Q6	LM71_B1	LM71_B2	SW2_B1	A_Gk	A_Qk	
SLU-Gr.1(N)	Gr.1	(N)	1.35	1.5	0	0.725	0	0	0	0.725	0	1.45	1.45	0	1.45	1.45	0.9	1.45	1.45	0	-1.35	-1.45	
SLU-Gr.3(N)	Gr.3	(N)	1.35	1.5	0	1.45	0	0	0	1.45	0	0.725	0.725	0	0.725	0.725	0.9	1.45	1.45	0	-1.35	-1.45	
SLU-Gr.1(P)	Gr.1	(P)	1.35	1.5	0	0	0.725	0.725	0	0	1.45	0	1.45	1.45	0	1.45	0.9	0	1.45	1.45	1.45	-1.35	-1.45
SLU-Gr.3(P)	Gr.3	(P)	1.35	1.5	0	0	1.45	1.45	0	0	0.725	0	0.725	0.725	0	0.725	0.9	0	1.45	1.45	1.45	-1.35	-1.45
SLU-Gr.1-1SW/2	Gr.1	1SW/2	1.35	1.5	0	0	0	0.725	0	0	1.45	0	0	1.45	0	0	0.9	0	0	1.45	-1.35	-0.725	
SLU-Gr.3-1SW/2	Gr.3	1SW/2	1.35	1.5	0	0	0	1.45	0	0	0.725	0	0	0.725	0	0	0.9	0	0	1.45	-1.35	-0.725	
SLU-Gr.1-MaxML(P)	Gr.1	MaxML	1.35	1.5	0	0	0.725	0.725	0	0	1.45	0	1.45	1.45	0	1.45	0.9	0	1.45	1.45	-1.35	-0.725	
SLU-Gr.3-MaxML(P)	Gr.3	MaxML	1.35	1.5	0	0	1.45	1.45	0	0	0.725	0	0.725	0.725	0	0.725	0.9	0	1.45	1.45	-1.35	-0.725	
SLU-Gr.1(N)-Gk=1.00	Gr.1	(N)	1	1	0	0.725	0	0	0	0.725	0	1.45	1.45	0	1.45	1.45	0.9	1.45	1.45	0	-1	-1.45	
SLU-Gr.3(N)-Gk=1.00	Gr.3	(N)	1	1	0	1.45	0	0	0	1.45	0	0.725	0.725	0	0.725	0.725	0.9	1.45	1.45	0	-1	-1.45	
SLU-Gr.1(P)-Gk=1.00	Gr.1	(P)	1	1	0	0	0.725	0.725	0	0	1.45	0	1.45	1.45	0	1.45	0.9	0	1.45	1.45	-1	-1.45	
SLU-Gr.3(P)-Gk=1.00	Gr.3	(P)	1	1	0	0	1.45	1.45	0	0	0.725	0	0.725	0.725	0	0.725	0.9	0	1.45	1.45	-1	-1.45	
SLU-Gr.1-1SW/2-Gk=1.00	Gr.1	1SW/2	1	1	0	0	0	0.725	0	0	1.45	0	0	1.45	0	0	0.9	0	0	1.45	-1	-0.725	
SLU-Gr.3-1SW/2-Gk=1.00	Gr.3	1SW/2	1	1	0	0	0	1.45	0	0	0.725	0	0	0.725	0	0	0.9	0	0	1.45	-1	-0.725	
SLU-Gr.1-MaxML(P)-Gk=1.00	Gr.1	MaxML	1	1	0	0	0.725	0.725	0	0	1.45	0	1.45	1.45	0	1.45	0.9	0	1.45	1.45	-1	-1.45	
SLU-Gr.3-MaxML(P)-Gk=1.00	Gr.3	MaxML	1	1	0	0	1.45	1.45	0	0	0.725	0	0.725	0.725	0	0.725	0.9	0	1.45	1.45	-1	-1.45	
SLV-EL+0.3ET	\	\	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	
SLV-0.3EL+ET	\	\	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	
SLE-C-Gr.1(N)	Gr.1	(N)	1	1	0	0.5	0	0	0	0.5	0	1	1	0	1	1	0.6	1	1	0	-1	-1	
SLE-C-Gr.3(N)	Gr.3	(N)	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.6	1	1	0	-1	-1	
SLE-C-Gr.1(P)	Gr.1	(P)	1	1	0	0	0.5	0.5	0	0	1	0	1	1	0	1	0.6	0	1	1	-1	-1	
SLE-C-Gr.3(P)	Gr.3	(P)	1	1	0	0	1	1	0	0	0.5	0	0.5	0.5	0	0.5	0.6	0	1	1	-1	-1	
SLE-C-Gr.1-1SW/2	Gr.1	1SW/2	1	1	0	0	0	0.5	0	0	1	0	0	1	0	0	0.6	0	0	1	-1	-0.5	
SLE-C-Gr.3-1SW/2	Gr.3	1SW/2	1	1	0	0	0	1	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0.6	0	0	1	-1	-0.5	
SLE-C-Gr.1-MaxML(P)	Gr.1	MaxML	1	1	0	0	0.5	0.5	0	0	1	0	1	1	0	1	0.6	0	1	1	-1	-1	
SLE-C-Gr.3-MaxML(P)	Gr.3	MaxML	1	1	0	0	1	1	0	0	0.5	0	0.5	0.5	0	0.5	0.6	0	1	1	-1	-1	
SLE-F-Gr.1(N)	Gr.1	(N)	1	1	0	0.4	0	0	0	0.4	0	0.8	0.8	0	0.8	0.8	0	0.8	0.8	0	-1	-0.8	
SLE-F-Gr.3(N)	Gr.3	(N)	1	1	0	0.8	0	0	0	0.8	0	0.4	0.4	0	0.4	0.4	0	0.8	0.8	0	-1	-0.8	
SLE-F-Gr.1(P)	Gr.1	(P)	1	1	0	0	0.4	0.4	0	0	0.8	0	0.8	0.8	0	0.8	0	0	0.8	0.8	-1	-0.8	
SLE-F-Gr.3(P)	Gr.3	(P)	1	1	0	0	0.8	0.8	0	0	0.4	0	0.4	0.4	0	0.4	0	0	0.8	0.8	-1	-0.8	
SLE-F-Gr.1-1SW/2	Gr.1	1SW/2	1	1	0	0	0	0.4	0	0	0.8	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0.8	-1	-0.4	
SLE-F-Gr.3-1SW/2	Gr.3	1SW/2	1	1	0	0	0	0.8	0	0	0.4	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0.8	-1	-0.4	
SLE-F-Gr.1-MaxML(P)	Gr.1	MaxML	1	1	0	0	0.4	0.4	0	0	0.8	0	0.8	0.8	0	0.8	0	0	0.8	0.8	-1	-0.8	
SLE-F-Gr.3-MaxML(P)	Gr.3	MaxML	1	1	0	0	0.8	0.8	0	0	0.4	0	0.4	0.4	0	0.4	0	0	0.8	0.8	-1	-0.8	
SLE-QP	\	\	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabella 2: Combinazioni di carico

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A

I casi di carico che figurano nelle combinazioni sopra riportate, fanno riferimento alle seguenti azioni.

CASI DI CARICO		
Sigla	Tipologia	Descrizione
-	-	-
G1	Carichi permanenti strutturali	Peso proprio travi+soletta
G2 (G2,1+G2,2+G2,3+G2,4)	Carichi permanenti non strutturali	Ballast e armamento-velette-paraballast-canalette e impianti-barriere antirumore
Q3,a B1-SW2	Avviamento treno	Azione di avviamento per treno SW/2 su binario 1
Q3,a B1-LM71	Avviamento treno	Azione di avviamento per treno LM71 su binario 1
Q3,a B2-LM71	Avviamento treno	Azione di avviamento per treno LM71 su binario 2
Q3,f B1-SW2	Frenatura treno	Azione di frenatura per treno SW/2 su binario 1
Q3,f B1-LM71	Frenatura treno	Azione di frenatura per treno LM71 su binario 1
Q3,f B2-LM71	Frenatura treno	Azione di frenatura per treno LM71 su binario 2
Q4 B1-SW2	Azione centrifuga	Azione centrifuga per treno SW/2 su binario 1
Q4 B1-LM71	Azione centrifuga	Azione centrifuga per treno LM71 su binario 1
Q4 B2-LM71	Azione centrifuga	Azione centrifuga per treno LM71 su binario 2
Q5 B1-SW2	Serpeggio	Azione di serpeggio per treno SW/2 su binario 1
Q5 B1-LM71	Serpeggio	Azione di serpeggio per treno LM71 su binario 1
Q5 B2-LM71	Serpeggio	Azione di serpeggio per treno LM71 su binario 2
Q6	Vento	Azione del vento
LM71_B1	Traffico ferroviario	Carico verticale per treno LM71 su binario 1
LM71_B2	Traffico ferroviario	Carico verticale per treno LM71 su binario 2
SW2_B1	Traffico ferroviario	Carico verticale per treno SW/2 su binario 1
A_Gk	Resistenze parassite	Resistenze parassite dei vincoli (aliquota dovuta ai carichi permanenti)
A_Qk	Resistenze parassite	Resistenze parassite dei vincoli (aliquota dovuta ai carichi variabili)

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A

Tabella 3 – Casi di carico

Per quanto riguarda le condizioni di traffico indicate nel prospetto dei coefficienti di combinazioni adottati, queste fanno riferimento rispettivamente a:

- **(N)**: Condizioni di traffico normale (modello di carico LM71 su binario 1 e 2) su entrambe le campate afferenti;
- **(P)**: Condizioni di traffico pesante (modello di carico SW/2 su binario 1 e LM71 su binario 2) su entrambe le campate afferenti;
- **1SW/2**: Condizioni di traffico pesante con un solo binario carico (SW/2 su binario 1) su entrambe le campate afferenti;
- **Max ML**: Condizioni di traffico pesante (SW/2 su binario 1, LM71 su binario 2) solo sulla campata lato appoggi fissi.

Per quanto riguarda i gruppi di carico analizzati, come visibile nel prospetto dei coefficienti di combinazioni adottati, le azioni agenti sull'impalcato sono state combinate secondo i gruppi 1 e 3 (Gr.1-3), che danno luogo a sollecitazioni maggiori per le strutture in elevazione e in fondazione.

Inoltre, in accordo con la Tabella 5.2.V del NTC 2018, le combinazioni allo SLU sono state duplicate considerando sia il possibile effetto sfavorevole che quello favorevole dei carichi permanenti strutturali e non. Nel secondo caso si sono quindi assunti valori unitari per i coefficienti  $\gamma_{Gk}$ .

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A

## 7 CRITERI DI VERIFICA

Le verifiche di sicurezza sono state effettuate sulla base dei criteri definiti nelle vigenti norme tecniche - “Norme tecniche per le costruzioni”- NTC 2018 -, tenendo inoltre conto delle integrazioni riportate nel “Manuale di progettazione delle opere civili” - RFI DTC SI MA IFS 001 A .

In particolare vengono effettuate le verifiche agli stati limite di servizio ed allo stato limite ultimo. Le combinazioni di carico considerate ai fini delle verifiche sono quelle indicate nei precedenti paragrafi.

Si espongono di seguito i criteri di verifica adottati per le verifiche degli elementi strutturali.

### 7.1 Verifiche agli stati limite di esercizio

#### 7.1.1 Verifica a fessurazione

Le verifiche a fessurazione sono eseguite adottando i criteri definiti nel paragrafo 4.1.2.2.4.5 del NTC 2018, tenendo inoltre conto delle ulteriori prescrizioni riportate nel “Manuale di progettazione delle opere civili”.

Con riferimento alle classi di esposizione delle varie parti della struttura (si veda il paragrafo relativo alle caratteristiche dei materiali impiegati), alle corrispondenti condizioni ambientali ed alla sensibilità delle armature alla corrosione (armature sensibili per gli acciai da precompresso; poco sensibili per gli acciai ordinari), si individua lo stato limite di fessurazione per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture, in accordo con il NTC 2018:

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
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 4: Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione - Tabella 4.1.IV del NTC 2018

Nella Tabella sopra riportata,  $w_1=0.2\text{mm}$ ,  $w_2=0.3\text{mm}$ ;  $w_3=0.4\text{mm}$ .

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A

Più restrittivi risultano i limiti di apertura delle fessure riportati nel “Manuale di progettazione delle opere civili”. L’apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica (rara) per gli SLE, deve risultare:

Si assume pertanto per tutti gli elementi strutturali analizzati nel presente documento:

- *Stato limite di fessurazione*:  $w_d \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$  - combinazione di carico rara

In accordo con la vigente normativa, il valore di calcolo di apertura delle fessure  $w_d$  è dato da:

$$w_d = 1,7 w_m$$

dove  $w_m$  rappresenta l’ampiezza media delle fessure calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d’armatura  $\varepsilon_{sm}$  per la distanza media tra le fessure  $\Delta_{sm}$ :

$$w_m = \varepsilon_{sm} \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di  $\varepsilon_{sm}$  e  $\Delta_{sm}$  vanno utilizzati i criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.

### 7.1.2 Verifica delle tensioni in esercizio

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si verifica che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti, di seguito riportati.

Le prescrizioni riportate di seguito fanno riferimento al par. 2.5.1.8.3.2.1 del “Manuale di progettazione delle opere civili”.

La massima tensione di compressione del calcestruzzo  $\sigma_c$ , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0,55 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica (rara)}$$

$$\sigma_c < 0,40 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente.}$$

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A	FOGLIO 40 di 19

Per l'acciaio ordinario, la tensione massima  $\sigma_s$  per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0,75 f_{yk}$$

dove  $f_{yk}$  per armatura ordinaria è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A

## 7.2 Verifiche agli stati limite ultimi

### 7.2.1 Sollecitazioni flettenti

La verifica di resistenza (SLU) è stata condotta attraverso il calcolo dei domini di interazione N-M, ovvero il luogo dei punti rappresentativi di sollecitazioni che portano in crisi la sezione di verifica secondo i criteri di resistenza da normativa.

Nel calcolo dei domini sono state mantenute le consuete ipotesi, tra cui:

- conservazione delle sezioni piane;
- legame costitutivo del calcestruzzo parabolo-rettangolo non reagente a trazione, con plateau ad una deformazione pari a 0.002 e a rottura pari a 0.0035 ( $\sigma_{max} = 0.85 \times 0.83 \times R_{ck} / 1.5$ );
- legame costitutivo dell'armatura d'acciaio elastico-perfettamente plastico con deformazione limite di rottura a 0.01 ( $\sigma_{max} = f_{yk} / 1.15$ )

### 7.2.2 Sollecitazioni taglianti

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi sprovvisti di specifica armatura è stata calcolata sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza al taglio si valuta con:

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

con:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

e dove:

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot x_d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ( $\leq 0,02$ );

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A

$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$  è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ );

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione  $\theta$  dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" è stata calcolata con:

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

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" è stata calcolata con:

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

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

In cui:

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A	FOGLIO 43 di 19

- d            è l'altezza utile della sezione;
- $b_w$         è la larghezza minima della sezione;
- $\sigma_{cp}$     è la tensione media di compressione della sezione;
- $A_{sw}$       è l'area dell'armatura trasversale;
- S            è interasse tra due armature trasversali consecutive;
- $\theta$          è l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;
- $f'_{cd}$         è la resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $f'_{cd}=0.5f_{cd}$ );
- $\alpha$         è un coefficiente maggiorativo, pari ad 1 per membrature non compresse.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A

## 8 CRITERI DI MODELLAZIONE

### 8.1 modello strutturale di analisi

Conformemente con quanto prescritto nel par.7.9.4.1 del NTC 2018, risulta applicabile, nel caso in esame di ponte a travate semplicemente appoggiate, per entrambe le direzioni di verifica della pila (longitudinale e trasversale rispetto all'asse del viadotto), un'analisi statica lineare, sviluppata riconducendo la pila allo schema di oscillatore semplice con incastro alla base, a quota estradosso plinto di fondazione.

L'analisi prevede l'applicazione sulla pila di forze statiche equivalenti alle forze di inerzia indotte dall'azione sismica. L'entità di queste forze si ottiene desumendo l'accelerazione corrispondente al periodo della pila nella direzione considerata dallo spettro elastico/di progetto. Il periodo fondamentale  $T_1$ , in corrispondenza del quale valutare la risposta spettrale in accelerazione  $S_d(T_1)$  è dato in entrambi i casi dall'espressione:

$$T_1 = 2 \pi \sqrt{M/K}$$

in cui la massa  $M$ , da considerare concentrata in testa alla pila, in corrispondenza dell'impalcato, vale la massa di impalcato afferente alla pila, più la massa della metà superiore della pila (massa efficace) e  $K$  consiste nella rigidezza laterale della pila nella direzione considerata.

La massa efficace della pila non risulta superiore ad 1/5 della massa di impalcato da essa portata, requisito necessario per l'applicabilità dell'analisi statica lineare.

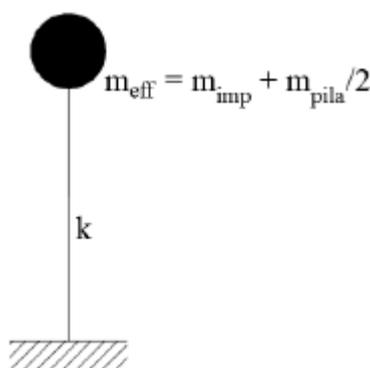


Figura 7: Modello della pila ad oscillatore semplice

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA  IZ04	LOTTO  40	CODIFICA  R09	DOCUMENTO  CLVI0100001	REV.  A	FOGLIO  45 di 19

Per tener conto dell'influenza della fessurazione sulla rigidità, in accordo con il par.7.2.6 del NTC 2018, si è considerato un abbattimento del modulo elastico pari al 50%, rispetto al valore iniziale  $E_{cm}$  con conseguente abbattimento delle rigidità flessionali della pila nelle due direzioni e corrispondente aumento dei periodi di vibrazione. Questa condizione rappresenta lo scenario più gravoso per la struttura in esame: in condizioni iniziali non fessurate, le pile sono caratterizzate da rigidità molto alte, dunque periodi di vibrazione molto bassi (spesso  $T_1 < T_B$  o al più  $T_B < T_1 \ll T_C$ ) ai quali corrispondono ordinate spettrali prossime o uguali a quelle di massima amplificazione (plateau dello spettro di risposta). In definitiva, in questo ramo dello spettro, un aumento del periodo di vibrazione, legato ad un abbattimento della rigidità, comporta un aumento dell'accelerazione sismica considerata.

Inoltre, secondo quanto anticipato nel paragrafo relativo alle azioni sismiche, la valutazione degli effetti dell'azione sismica viene effettuata considerando uno spettro di progetto, ottenuto riducendo lo spettro elastico mediante un fattore di struttura pari ad 1.5, in modo da tener conto in maniera semplificata della capacità dissipativa anelastica della struttura.

Per questioni legate al criterio di gerarchia delle resistenze, gli spettri elastici ( $q=1$ ) verranno utilizzati solo nel caso della verifica degli apparecchi di appoggio e per la valutazione delle azioni in fondazione; si rimanda ai relativi paragrafi per approfondimenti in merito all'applicazione del criterio di gerarchia delle resistenze per i diversi elementi strutturali.

Si ribadisce inoltre che per la valutazione delle masse sismiche del viadotto, oltre alla massa efficace dell'impalcato e della pila, è stata considerata anche un'aliquota pari al 20% del carico dovuto al transito dei mezzi.

Nel paragrafo relativo all'analisi dei risultati si riportano tutte le valutazioni effettuate per l'analisi sismica della pila in esame, sia in ipotesi di sezione fessurata che non fessurata, con riferimento allo spettro elastico ( $q=1$ ) e allo spettro di progetto ( $q=1.5$ ).

Oltre alle sollecitazioni destinate in condizioni sismiche, desunte seguendo i criteri sopra elencati, le sollecitazioni di verifica della pila indotte in condizioni statiche, sono state determinate a partire dai valori delle azioni trasmesse dagli impalcati afferenti, alla quota degli apparecchi di appoggio. Queste sono state trasportate in corrispondenza della testa della pila per le singole condizioni di carico e quindi alla base della pila, facendo riferimento a uno schema a mensola.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CLVI0100001	REV. A

## 9 ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE DELLA PILA

Nei paragrafi successivi si esibiscono le sollecitazioni e le verifiche strutturali relative al fusto della pila in esame.

I dati identificativi della pila di cui si mostrano le verifiche strutturali, sono sintetizzati nel prospetto di seguito.

	<b>VI. X</b>	-	WBS viadotto
	<b>P 1</b>	-	Numero pila
Sigla geometria	A		Codice pila per tipologia geometria
Sigla impalcati afferenti	7	-	Codice pila per tipologia impalcati afferenti
$H_p$	6.70	m	Altezza pila

Si riportano di seguito la sintesi delle proprietà geometriche e meccaniche delle pile di calcolo, nonché le valutazioni effettuate per l'analisi sismica, sia in ipotesi di sezione fessurata che non fessurata, con riferimento allo spettro elastico ( $q=1$ ) e allo spettro di progetto ( $q=1.5$ ): come anticipato nei criteri di modellazione, l'analisi è stata sviluppata riconducendo la pila allo schema di oscillatore semplice con incastro alla base.

**PROPRIETA' MECCANICHE E GEOMETRICHE PILA**

	<b>VI. X</b>	-	WBS viadotto
	<b>P 1</b>	-	Numero pila
Sigla pila	A	-	Tipologia pila per geometria
H <sub>p</sub>	6.7	m	Altezza pila
γ	25	kN/m <sup>3</sup>	Peso per unità di volume
f <sub>ck</sub>	32	MPa	Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni
s	2.00	m	Altezza sezione piena estremità superiore pila
s*	0.7	m	Altezza protuberanze pila
A	16.32	m <sup>2</sup>	Sezione trasversale fusto pila
A <sub>sup</sub>	38.47	m <sup>2</sup>	Sezione trasversale estremità superiore pila
A <sub>sup</sub> *	5.58	m <sup>2</sup>	Sezione protuberanze testa pila (2 totali)
I <sub>y</sub>	2.00E+14	mm <sup>4</sup>	Inerzia mensola direzione trasversale
I <sub>z</sub>	2.60E+13	mm <sup>4</sup>	Inerzia mensola longitudinale
E	33346	MPa	Modulo di elasticità
K <sub>T</sub>	66409252	N/mm	Rigidezza flessionale direzione trasversale
K <sub>L</sub>	8657883	N/mm	Rigidezza flessionale direzione longitudinale
K <sub>T,fess</sub>	33204626	N/mm	Rigidezza flessionale in condizioni fessurate direzione trasversale
K <sub>L,fess</sub>	4328941	N/mm	Rigidezza flessionale in condizioni fessurate direzione longitudinale
P <sub>pila_tot</sub>	3939	kN	Peso proprio pila (include l'eventuale magrone di riempimento)
P <sub>sup.pila</sub>	2980	kN	Peso proprio della metà superiore della pila (Peso metà fusto+Peso pulvino)
P <sub>inf.pila</sub>	959	kN	Peso proprio della metà inferiore della pila (Peso metà fusto)
m <sub>pila_tot</sub>	402	kN/m/s <sup>2</sup>	Massa pila
m <sub>sup.pila</sub>	304	kN/m/s <sup>2</sup>	Massa della metà superiore della pila
m <sub>inf.pila</sub>	98	kN/m/s <sup>2</sup>	Massa della metà inferiore della pila
Applicabilità analisi statica lineare		<b>Analisi statica lineare applicabile</b>	

**CALCOLO MASSA EFFICACE PILA/IMPALCATO**

Sigla impalcato afferenti	7	-	
<u>Direzione longitudinale</u>			
P <sub>impalcato</sub>	8200	kN	Peso dell'impalcato (travi+soletta)
P <sub>permanenti portati</sub>	8900	kN	Carichi permanenti portati totali
P <sub>traffico ferroviario</sub>	10600	kN	Carico ferroviario
0.2xP <sub>traffico ferroviario</sub>	2120	kN	20% del carico dovuto al transito dei mezzi
m <sub>impalcato</sub>	1960	kN/m/s <sup>2</sup>	Massa impalcato (PP+PERM.+0.2ACC) - direzione longitudinale
<b>m<sub>efficace tot - longitudinale</sub></b>	<b>2274</b>	<b>kN/m/s<sup>2</sup></b>	<b>Massa efficace pila sup.+impalcato - direzione longitudinale</b>
<u>Direzione trasversale</u>			
P <sub>impalcato</sub>	8200	kN	Peso dell'impalcato (travi+soletta)
P <sub>permanenti portati</sub>	8950	kN	Carichi permanenti portati totali
P <sub>traffico ferroviario</sub>	10650	kN	Carico ferroviario
0.2xP <sub>traffico ferroviario</sub>	2130	kN	20% del carico dovuto al transito dei mezzi
m <sub>impalcato</sub>	1966	kN/m/s <sup>2</sup>	Massa impalcato (PP+PERM.+0.2ACC) - direzione trasversale
<b>m<sub>efficace tot - trasversale</sub></b>	<b>2280</b>	<b>kN/m/s<sup>2</sup></b>	<b>Massa efficace pila sup.+impalcato - direzione trasversale</b>

**PARAMETRI SPETTRALI**

a <sub>g</sub>	0.185	g	PGA
S <sub>S</sub>	1.413		Coefficiente stratigrafico
a <sub>g</sub> (T=0)	0.261	g	Accelerazione spettrale al suolo (a <sub>g</sub> *S)

**Relazione di calcolo pile –  
impalcato 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	48 di 19

**CALCOLO PERIODO DI VIBRAZIONE PILA IN DIREZIONE LONGITUDINALE**

Ipotesi sezione non fessurata ( $E = E_m$ )

TL 0.102 s Periodo di vibrazione

**Spettro di progetto ( $q = 1.5$ )**

ag(T) 0.368 g Accelerazione spettrale in direzione longitudinale ( $q=1.5$ )

FL 8203 kN Taglio longitudinale base pila

ML 54959 kNm Flessione nel piano parallelo all'asse longitudinale dell'impalcato

**Spettro elastico ( $q = 1$ )**

ag(T) 0.494 g Accelerazione spettrale in direzione longitudinale ( $q=1$ )

FL 11027 kN Taglio longitudinale

ML 73881 kNm Flessione nel piano parallelo all'asse longitudinale dell'impalcato

Ipotesi sezione fessurata ( $E_f = 0.5E$ )

TL,fess 0.144 s

**Spettro di progetto ( $q = 1.5$ )**

ag(T) 0.413 g Accelerazione spettrale in direzione longitudinale ( $q=1.5$ )

FL 9212 kN Taglio longitudinale base pila

ML 61717 kNm Flessione nel piano parallelo all'asse longitudinale dell'impalcato

**Spettro elastico ( $q = 1$ )**

ag(T) 0.594 g Accelerazione spettrale in direzione longitudinale ( $q=1$ )

Fi,sup 13236 kN Forza di inerzia parte superiore

Fi,inf 3256 kN Forza di inerzia parte inferiore

FL 16492 kN Taglio longitudinale intradosso plinto

ML 125841 kNm Flessione nel piano parallelo all'asse longitudinale dell'impalcato

**CALCOLO PERIODO DI VIBRAZIONE PILA IN DIREZIONE TRASVERSALE**

Ipotesi sezione non fessurata ( $E = E_m$ )

Tt 0.037 s

**Spettro di progetto ( $q = 1.5$ )**

ag(T) 0.299 g Accelerazione spettrale in direzione trasversale ( $q=1.5$ )

FT 6678 kN Taglio trasversale

MT 44744 kNm Flessione nel piano ortogonale all'asse longitudinale dell'impalcato

**Spettro elastico ( $q = 1$ )**

ag(T) 0.343 g Accelerazione spettrale in direzione longitudinale ( $q=1$ )

FT 7669 kN Taglio trasversale

MT 51384 kNm Flessione nel piano ortogonale all'asse longitudinale dell'impalcato

Ipotesi sezione fessurata ( $E_f = 0.5E$ )

TT,fess 0.052

**Spettro di progetto ( $q = 1.5$ )**

ag(T) 0.315 g Accelerazione spettrale in direzione trasversale ( $q=1.5$ )

FT 7035 kN Taglio trasversale

MT 47135 kNm Flessione nel piano ortogonale all'asse longitudinale dell'impalcato

**Spettro elastico ( $q = 1$ )**

ag(T) 0.378 g Accelerazione spettrale in direzione trasversale ( $q=1$ )

Fi,sup 8451 kN Forza di inerzia parte superiore

Fi,inf 3256 kN Forza di inerzia parte inferiore

FT 11707 kN Taglio trasversale

MT 81819 kNm Flessione nel piano ortogonale all'asse longitudinale dell'impalcato

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b></p> <p><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b></p>					
<p><b>Relazione di calcolo pile – impalcato 40m</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>IZ04</p>	<p>LOTTO</p> <p>40</p>	<p>CODIFICA</p> <p>R09</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>CLVI0100001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>49 di 19</p>

## 9.1 SOLLECITAZIONI AGENTI

Si riporta di seguito la sintesi degli scarichi espletati dagli appoggi d'impalcato sulla pila, relativamente ai due lati, fisso e mobile, per ciascuna delle condizioni di carico elementari analizzate. Le grandezze che figurano nella Tabella di seguito fanno riferimento alle seguenti azioni trasmesse dagli appoggi:

N: Reazione verticale (positiva, se diretta verso l'alto)

Ht: Reazione orizzontale, in direzione trasversale rispetto all'asse del viadotto

Hl: Reazione orizzontale, in direzione parallela all'asse del viadotto



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA**

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE**

**Relazione di calcolo pile –  
impalcato 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	50 di 19

CASI DI CARICO		APPOGGIO 1			APPOGGIO 2			APPOGGIO 3			APPOGGIO 4		
Sigla	Tipologia	N	Ht	HI	N	Ht	HI	N	Ht	HI	N	Ht	HI
-	-	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
G1	Carichi permanenti strutturali	1100.0	0.0	0.0	950.0	0.0	0.0	950.0	0.0	0.0	1100.0	0.0	0.0
G2 (G2,1+G2,2+G2,3+G2,4)	Carichi permanenti non strutturali	1250.0	0.0	0.0	900.0	0.0	40.0	900.0	0.0	70.0	1400.0	0.0	0.0
Q3,a B1-SW2	Aviamento treno	-50.0	0.0	0.0	-100.0	40.0	520.0	-100.0	40.0	540.0	-50.0	0.0	0.0
Q3,a B1-LM71	Aviamento treno	-50.0	0.0	0.0	-100.0	50.0	580.0	-100.0	50.0	590.0	-50.0	0.0	0.0
Q3,a B2-LM71	Aviamento treno	50.0	0.0	0.0	100.0	50.0	-590.0	100.0	50.0	-580.0	50.0	0.0	0.0
Q3,f B1-SW2	Frenatura treno	50.0	0.0	0.0	100.0	-60.0	-710.0	150.0	-60.0	-720.0	50.0	0.0	0.0
Q3,f B1-LM71	Frenatura treno	50.0	0.0	0.0	100.0	-40.0	-450.0	100.0	-40.0	-450.0	50.0	0.0	0.0
Q3,f B2-LM71	Frenatura treno	-50.0	0.0	0.0	-100.0	-40.0	450.0	-100.0	-40.0	450.0	-50.0	0.0	0.0
Q4 B1-SW2	Azione centrifuga	-100.0	0.0	0.0	-50.0	110.0	0.0	50.0	110.0	0.0	150.0	0.0	0.0
Q4 B1-LM71	Azione centrifuga	-150.0	0.0	0.0	-100.0	170.0	30.0	100.0	170.0	-20.0	200.0	0.0	0.0
Q4 B2-LM71	Azione centrifuga	-200.0	0.0	0.0	-100.0	170.0	20.0	100.0	170.0	-30.0	150.0	0.0	0.0
Q5 B1-SW2	Serpeggio	-50.0	0.0	0.0	-50.0	60.0	0.0	100.0	60.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Q5 B1-LM71	Serpeggio	-50.0	0.0	0.0	-50.0	60.0	0.0	100.0	60.0	0.0	150.0	0.0	0.0
Q5 B2-LM71	Serpeggio	-150.0	0.0	0.0	-100.0	60.0	0.0	50.0	60.0	0.0	50.0	0.0	0.0
Q6	Vento	-150.0	0.0	0.0	-50.0	190.0	30.0	50.0	190.0	-30.0	200.0	0.0	0.0
LM71_B1	Traffico ferroviario	50.0	0.0	0.0	400.0	0.0	120.0	1000.0	0.0	110.0	1050.0	0.0	0.0
LM71_B2	Traffico ferroviario	850.0	0.0	0.0	1000.0	0.0	90.0	500.0	0.0	100.0	100.0	0.0	0.0
SW2_B1	Traffico ferroviario	50.0	0.0	0.0	500.0	0.0	130.0	1100.0	0.0	130.0	1200.0	0.0	0.0
A_Gk	Resistenze parassite	0.0	120.0	120.0	0.0	230.0	100.0	0.0	100.0	100.0	0.0	130.0	130.0
A_Qk	Resistenze parassite	0.0	30.0	30.0	0.0	90.0	50.0	0.0	50.0	50.0	0.0	40.0	40.0

Tabella 5: Scarichi espletati dagli appoggi per le singole condizioni di carico – **Lato fisso**

**Relazione di calcolo pile –  
impalcato 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CLVI0100001	A	51 di 19

CASI DI CARICO		APPOGGIO 5			APPOGGIO 6			APPOGGIO 7			APPOGGIO 8		
Sigla	Tipologia	N	Ht	HI									
-	-	kN	kN	kN									
G1	Carichi permanenti strutturali	1100.0	0.0	0.0	950.0	0.0	0.0	950.0	0.0	0.0	1100.0	0.0	0.0
G2 (G2,1+G2,2+G2,3+G2,4)	Carichi permanenti non strutturali	1300.0	0.0	0.0	900.0	0.0	0.0	900.0	0.0	0.0	1400.0	0.0	0.0
Q3,a B1-SW2	Aviamento treno	50.0	0.0	0.0	0.0	-80.0	0.0	50.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0
Q3,a B1-LM71	Aviamento treno	50.0	0.0	0.0	0.0	-90.0	0.0	50.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0
Q3,a B2-LM71	Aviamento treno	0.0	0.0	0.0	-50.0	-90.0	0.0	-50.0	0.0	0.0	-50.0	0.0	0.0
Q3,f B1-SW2	Frenatura treno	-50.0	0.0	0.0	0.0	110.0	0.0	-50.0	0.0	0.0	-50.0	0.0	0.0
Q3,f B1-LM71	Frenatura treno	-50.0	0.0	0.0	0.0	70.0	0.0	-50.0	0.0	0.0	-50.0	0.0	0.0
Q3,f B2-LM71	Frenatura treno	0.0	0.0	0.0	50.0	70.0	0.0	50.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0
Q4 B1-SW2	Azione centrifuga	-150.0	0.0	0.0	-50.0	230.0	0.0	0.0	0.0	0.0	200.0	0.0	0.0
Q4 B1-LM71	Azione centrifuga	-200.0	0.0	0.0	-50.0	330.0	0.0	50.0	0.0	0.0	250.0	0.0	0.0
Q4 B2-LM71	Azione centrifuga	-350.0	0.0	0.0	-50.0	330.0	0.0	100.0	0.0	0.0	150.0	0.0	0.0
Q5 B1-SW2	Serpeggio	-50.0	0.0	0.0	-50.0	110.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Q5 B1-LM71	Serpeggio	-50.0	0.0	0.0	-50.0	120.0	0.0	150.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Q5 B2-LM71	Serpeggio	-150.0	0.0	0.0	-100.0	120.0	0.0	50.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0
Q6	Vento	-200.0	0.0	0.0	-50.0	400.0	0.0	50.0	0.0	0.0	150.0	0.0	0.0
LM71_B1	Traffico ferroviario	50.0	0.0	0.0	450.0	0.0	0.0	950.0	0.0	0.0	1050.0	0.0	0.0
LM71_B2	Traffico ferroviario	850.0	0.0	0.0	1000.0	0.0	0.0	500.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
SW2_B1	Traffico ferroviario	50.0	0.0	0.0	550.0	0.0	0.0	1050.0	0.0	0.0	1250.0	0.0	0.0
A_Gk	Resistenze parassite	0.0	120.0	120.0	0.0	120.0	225.0	0.0	130.0	225.0	0.0	130.0	130.0
A_Qk	Resistenze parassite	0.0	30.0	30.0	0.0	30.0	85.0	0.0	40.0	85.0	0.0	40.0	40.0

Tabella 6: Scarichi espletati dagli appoggi per le singole condizioni di carico – **Lato mobile**

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b> <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CL VI01 001	REV. A

Si riporta di seguito la sintesi delle sollecitazioni indotte nella sezione a quota testa pila, desunte dagli scarichi espletati dagli appoggi. I momenti flettenti nei due piani di verifica sono ricavati tenendo in considerazione le eccentricità, rispetto all'asse pila, dei singoli appoggi su ciascun lato, in direzione longitudinale e in direzione trasversale.

I tagli agenti in condizioni sismiche, riportati nella seguente Tabella sono ricavati, come anticipato in precedenza, dallo schema di oscillatore semplice, considerando lo spettro di risposta di progetto.

Le grandezze che figurano nelle Tabelle riportate di seguito fanno riferimento al seguente gruppo di sollecitazioni:

N: Sforzo normale (negativo, se di compressione)

Ht: Taglio in direzione trasversale rispetto all'asse del viadotto

Hl: Taglio in direzione parallela all'asse del viadotto

Mt: Momento flettente che produce flessione nel piano ortogonale all'asse del viadotto

Ml: Momento flettente che produce flessione nel piano parallelo all'asse del viadotto

Combinazioni di carico	SOLLECITAZIONI TESTA PILA				
	N	Ht	HI	Mt	MI
-	kN	kN	kN	kNm	kNm
SLU-Gr.1(N)	-38488	5307	2874	25179	493
SLU-Gr.3(N)	-38343	3987	4375	16755	1218
SLU-Gr.1(P)	-39829	4973	3229	25027	849
SLU-Gr.3(P)	-40264	3820	5107	17211	1429
SLU-Gr.1-1SW/2	-33340	3393	2345	27412	378
SLU-Gr.3-1SW/2	-33304	2892	3381	24215	704
SLU-Gr.1-MaxML(P)	-31781	3153	1813	14166	8099
SLU-Gr.3-MaxML(P)	-31274	2559	3691	10715	8606
SLU-Gr.1(N)-Gk=1.00	-31143	4929	2526	24654	468
SLU-Gr.3(N)-Gk=1.00	-30998	3609	4027	16230	1193
SLU-Gr.1(P)-Gk=1.00	-32484	4595	2882	24502	874
SLU-Gr.3(P)-Gk=1.00	-32919	3442	4759	16686	1454
SLU-Gr.1-1SW/2-Gk=1.00	-25995	3015	1997	26887	403
SLU-Gr.3-1SW/2-Gk=1.00	-25959	2514	3034	23690	729
SLU-Gr.1-MaxML(P)-Gk=1.00	-24436	2623	1834	13641	8124
SLU-Gr.3-MaxML(P)-Gk=1.00	-23929	2029	3711	10190	8631
SLV-EL+0.3ET	-16573	2204	9216	0	0
SLV-0.3EL+ET	-16457	7063	2777	0	0
SLE-C-Gr.1(N)	-26800	3718	2065	17262	340
SLE-C-Gr.3(N)	-26700	2808	3100	11452	840
SLE-C-Gr.1(P)	-27725	3488	2310	17157	585
SLE-C-Gr.3(P)	-28025	2693	3605	11767	985
SLE-C-Gr.1-1SW/2	-23250	2398	1700	18802	260
SLE-C-Gr.3-1SW/2	-23225	2053	2415	16597	485
SLE-C-Gr.1-MaxML (P)	-22175	2128	1370	9667	5585
SLE-C-Gr.3-MaxML (P)	-21825	1718	2665	7287	5935
SLE-F-Gr.1(N)	-24870	2816	1860	12474	330
SLE-F-Gr.3(N)	-24790	2088	2688	7826	730
SLE-F-Gr.1(P)	-25610	2632	2056	12390	410
SLE-F-Gr.3(P)	-25850	1996	3092	8078	730
SLE-F-Gr.1-1SW/2	-22030	1760	1568	13706	150
SLE-F-Gr.3-1SW/2	-22010	1484	2140	11942	330
SLE-F-Gr.1-MaxML (P)	-21170	1544	1164	6398	4410
SLE-F-Gr.3-MaxML (P)	-20890	1216	2200	4494	4690
SLE-QP	-17150	0	110	1050	50

Tabella 7: Sollecitazioni nella sezione a quota testa pila

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
<b>Relazione di Predimensionamento</b> <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CL VI01 001	REV. A	FOGLIO 54 di 115

Il calcolo delle massime sollecitazioni agenti a quota spiccato plinto è stato effettuato trasportando le azioni relative alla sezione di testa pila e considerando i carichi aggiuntivi relativi al peso proprio della pila e all'azione del vento sulla pila.

Di seguito se ne riporta una sintesi.

Le grandezze che figurano nelle Tabelle riportate di seguito fanno riferimento al medesimo gruppo di sollecitazioni individuato in precedenza per la sezione a quota testa pila.

Combinazioni di carico	SOLLECITAZIONI BASE PILA				
	N	Ht	HI	Mt	MI
-	kN	kN	kN	kNm	kNm
SLU-Gr.1(N)	-43805	5358	3052	60904	20343
SLU-Gr.3(N)	-43660	4038	4552	43639	31123
SLU-Gr.1(P)	-45146	5024	3407	58518	23079
SLU-Gr.3(P)	-45581	3872	5285	42979	36240
SLU-Gr.1-1SW/2	-38657	3444	2522	50313	16682
SLU-Gr.3-1SW/2	-38621	2944	3559	43765	23954
SLU-Gr.1-MaxML(P)	-37099	3205	1991	35465	20840
SLU-Gr.3-MaxML(P)	-36591	2610	3868	28031	33929
SLU-Gr.1(N)-Gk=1.00	-35081	4980	2704	57847	17989
SLU-Gr.3(N)-Gk=1.00	-34936	3660	4205	40582	28769
SLU-Gr.1(P)-Gk=1.00	-36423	4646	3059	55460	20776
SLU-Gr.3(P)-Gk=1.00	-36858	3494	4937	39921	33937
SLU-Gr.1-1SW/2-Gk=1.00	-29934	3066	2175	47256	14378
SLU-Gr.3-1SW/2-Gk=1.00	-29898	2566	3212	40707	21651
SLU-Gr.1-MaxML(P)-Gk=1.00	-28375	2674	2011	31387	21004
SLU-Gr.3-MaxML(P)-Gk=1.00	-27868	2080	3889	23953	34093
SLV-EL+0.3ET	-20512	2204	9216	17767	64381
SLV-0.3EL+ET	-20395	7063	2777	59222	19102
SLE-C-Gr.1(N)	-30739	3752	2184	42287	14573
SLE-C-Gr.3(N)	-30639	2842	3219	30380	22007
SLE-C-Gr.1(P)	-31664	3522	2429	40641	16459
SLE-C-Gr.3(P)	-31964	2727	3724	29925	25536
SLE-C-Gr.1-1SW/2	-27189	2432	1819	34983	12047
SLE-C-Gr.3-1SW/2	-27164	2087	2534	30467	17063
SLE-C-Gr.1-MaxML (P)	-26114	2162	1489	24039	15161
SLE-C-Gr.3-MaxML (P)	-25764	1752	2784	18912	24188
SLE-F-Gr.1(N)	-28809	2816	1860	31341	12792
SLE-F-Gr.3(N)	-28729	2088	2688	21816	18740
SLE-F-Gr.1(P)	-29549	2632	2056	30024	14185
SLE-F-Gr.3(P)	-29789	1996	3092	21451	21446
SLE-F-Gr.1-1SW/2	-25969	1760	1568	25498	10656
SLE-F-Gr.3-1SW/2	-25949	1484	2140	21885	14668
SLE-F-Gr.1-MaxML (P)	-25109	1544	1164	16743	12209
SLE-F-Gr.3-MaxML (P)	-24829	1216	2200	12641	19430
SLE-QP	-21089	0	110	1050	787

Tabella 8: Sollecitazioni nella sezione di spiccato

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b> <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CL VI01 001	REV. A

## 9.2 VERIFICA DEL FUSTO

Le verifiche strutturali allo stato limite ultimo e allo stato limite di esercizio sono state svolte, seguendo i criteri esposti in precedenza, con il codice di calcolo RC-SEC, per ciascuna delle combinazioni di carico considerate.

La sezione di verifica è quella relativa allo spiccato della pila (quota estradosso plinto).

L'armatura longitudinale del fusto della pila prevede ferri distribuiti lungo il perimetro, sia lungo il lato interno che quello esterno.

Una sintesi delle caratteristiche dell'armatura longitudinale e a taglio (staffe) previste è esibita nei prospetti di seguito. Il valore del copriferro  $c$  che figura è valutato in asse barra; l'area di armatura minima da garantire, rispetto alla sezione di calcestruzzo, segue le prescrizioni riportate nel par.2.5.2.2.6 del "Manuale di progettazione delle opere civili".

ARMATURA LONGITUDINALE FUSTO								
n°strati	c (cm)	$\phi$ (mm)	$s_{ext}$ (cm)	$s_{int}$ (cm)	n°tot	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$A_s/A_{cls}$ (%)	$A_{min}/A_{cls}$ (%)
1	7.7	26	20	20	306	1623.8	1.42	0.6

ARMATURA TRASVERSALE FUSTO (STAFFE)							
Direzione longitudinale				Direzione trasversale			
nb	$\phi$ (mm)	s (cm)	$A_{v, st}/s$ (cm <sup>2</sup> /m)	nb	$\phi$ (mm)	s (cm)	$A_{v, st}/s$ (cm <sup>2</sup> /m)
6	16	20	60.32	4	16	20	40.21

e grandezze che figurano nelle verifiche riportate di seguito fanno riferimento al seguente gruppo di sollecitazioni:

N: Sforzo normale (positivo, se di compressione)

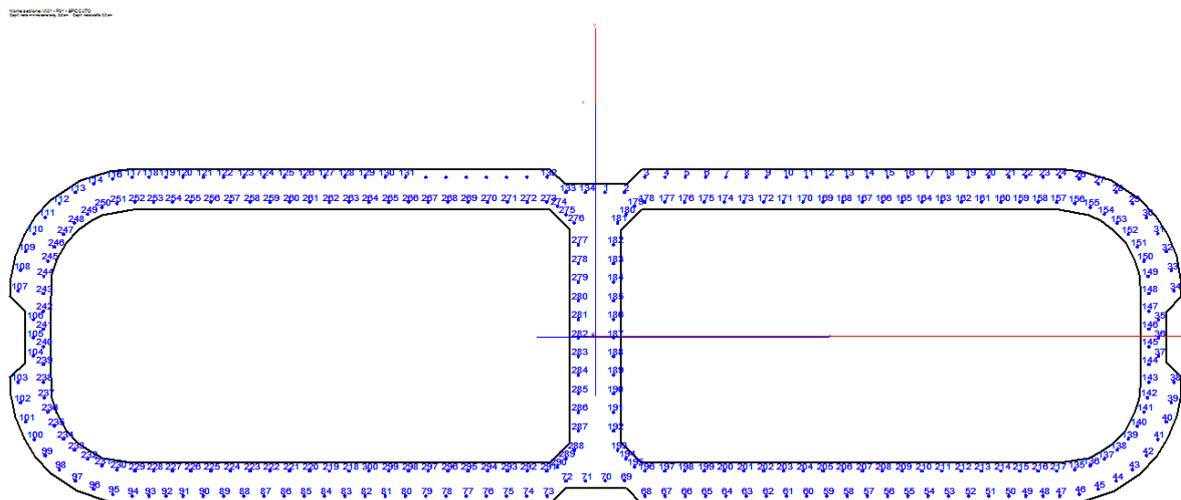
Vx: Taglio in direzione trasversale rispetto all'asse del viadotto

Vy: Taglio in direzione parallela all'asse del viadotto

My: Momento flettente che produce flessione nel piano ortogonale all'asse del viadotto

Mx: Momento flettente che produce flessione nel piano parallelo all'asse del viadotto

Di seguito le verifiche strutturali relative alla sezione di spiccato della pila.



**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	8.9	142.3	26
2	28.2	142.3	26
3	48.1	157.3	26
4	68.0	157.3	26
5	87.8	157.3	26
6	107.7	157.3	26
7	127.5	157.3	26
8	147.4	157.3	26
9	167.2	157.3	26
10	187.1	157.3	26
11	206.9	157.3	26
12	226.8	157.3	26
13	246.6	157.3	26
14	266.5	157.3	26
15	286.3	157.3	26
16	306.2	157.3	26
17	326.0	157.3	26
18	345.9	157.3	26
19	365.8	157.3	26

20	385.6	157.3	26
21	405.5	157.3	26
22	422.2	157.3	26
23	438.9	157.3	26
24	455.5	157.3	26
25	474.4	155.6	26
26	474.4	155.6	26
27	493.2	150.6	26
28	510.8	142.4	26
29	526.7	131.3	26
30	540.5	117.5	26
31	551.6	101.6	26
32	559.8	84.0	26
33	564.8	65.2	26
34	567.4	45.0	26
35	552.3	16.7	26
36	552.3	-1.3	26
37	552.3	-19.2	26
38	567.4	-45.0	26
39	564.8	-65.2	26
40	559.8	-84.0	26
41	551.6	-101.6	26
42	540.5	-117.5	26
43	526.7	-131.3	26
44	510.8	-142.4	26
45	493.2	-150.6	26
46	474.4	-155.6	26
47	455.4	-157.3	26
48	438.9	-157.3	26
49	422.2	-157.3	26
50	405.5	-157.3	26
51	385.6	-157.3	26
52	365.8	-157.3	26
53	345.9	-157.3	26
54	326.0	-157.3	26
55	306.2	-157.3	26
56	286.3	-157.3	26
57	266.5	-157.3	26

58	246.6	-157.3	26
59	226.8	-157.3	26
60	206.9	-157.3	26
61	187.1	-157.3	26
62	167.2	-157.3	26
63	147.4	-157.3	26
64	127.5	-157.3	26
65	107.7	-157.3	26
66	87.8	-157.3	26
67	68.0	-157.3	26
68	48.1	-157.3	26
69	28.2	-142.3	26
70	8.9	-142.3	26
71	-10.4	-142.4	26
72	-29.6	-142.4	26
73	-48.0	-157.4	26
74	-67.9	-157.4	26
75	-87.8	-157.4	26
76	-107.6	-157.4	26
77	-127.5	-157.4	26
78	-147.3	-157.4	26
79	-167.2	-157.4	26
80	-187.0	-157.4	26
81	-206.9	-157.4	26
82	-226.7	-157.4	26
83	-246.6	-157.4	26
84	-266.4	-157.4	26
85	-286.3	-157.4	26
86	-306.1	-157.4	26
87	-326.0	-157.4	26
88	-345.8	-157.4	26
89	-365.7	-157.4	26
90	-385.5	-157.4	26
91	-405.4	-157.4	26
92	-422.2	-157.3	26
93	-438.9	-157.3	26
94	-455.4	-157.3	26
95	-474.4	-155.6	26

**Relazione di Predimensionamento**  
**Pila – impalcati 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	60 di 115

96	-493.2	-150.6	26
97	-510.8	-142.4	26
98	-526.7	-131.3	26
99	-540.5	-117.5	26
100	-551.6	-101.6	26
101	-559.8	-84.0	26
102	-564.8	-65.2	26
103	-567.4	-45.0	26
104	-552.3	-19.2	26
105	-552.3	-1.3	26
106	-552.3	16.7	26
107	-567.4	45.0	26
108	-564.8	65.2	26
109	-559.8	84.0	26
110	-551.6	101.6	26
111	-540.5	117.5	26
112	-526.7	131.3	26
113	-510.8	142.4	26
114	-493.2	150.6	26
115	-474.4	155.6	26
116	-474.4	155.6	26
117	-455.5	157.3	26
118	-438.9	157.3	26
119	-422.2	157.3	26
120	-405.5	157.3	26
121	-385.5	157.3	26
122	-365.6	157.3	26
123	-345.8	157.3	26
124	-325.9	157.3	26
125	-306.0	157.3	26
126	-286.2	157.3	26
127	-266.3	157.3	26
128	-246.5	157.3	26
129	-226.6	157.3	26
130	-206.8	157.3	26
131	-186.9	157.3	26
132	-48.0	157.3	26
133	-29.5	142.3	26

134	-10.3	142.3	26
135	470.2	-131.4	26
136	485.1	-127.4	26
137	499.1	-120.8	26
138	511.7	-112.0	26
139	522.7	-101.1	26
140	531.5	-88.4	26
141	538.0	-74.4	26
142	541.3	-60.2	26
143	542.7	-45.0	26
144	542.7	-27.5	26
145	542.7	-10.0	26
146	542.7	7.5	26
147	542.7	25.0	26
148	542.7	42.5	26
149	542.0	59.5	26
150	538.0	74.4	26
151	531.5	88.4	26
152	522.7	101.1	26
153	511.7	112.0	26
154	499.1	120.8	26
155	485.1	127.4	26
156	470.2	131.4	26
157	452.5	132.7	26
158	434.2	132.7	26
159	416.0	132.7	26
160	397.7	132.7	26
161	378.3	132.7	26
162	358.9	132.7	26
163	339.4	132.7	26
164	320.0	132.7	26
165	300.6	132.7	26
166	281.2	132.7	26
167	261.7	132.7	26
168	242.3	132.7	26
169	222.9	132.7	26
170	203.5	132.7	26
171	184.1	132.7	26

172	164.6	132.7	26
173	145.2	132.7	26
174	125.8	132.7	26
175	106.4	132.7	26
176	87.0	132.7	26
177	67.5	132.7	26
178	48.1	132.7	26
179	37.8	128.7	26
180	29.6	120.4	26
181	21.3	112.2	26
182	17.3	90.5	26
183	17.3	72.1	26
184	17.3	53.8	26
185	17.3	35.4	26
186	17.3	17.1	26
187	17.3	-1.3	26
188	17.3	-19.6	26
189	17.3	-37.9	26
190	17.3	-56.3	26
191	17.3	-74.6	26
192	17.3	-93.0	26
193	21.3	-112.2	26
194	29.6	-120.4	26
195	37.8	-128.7	26
196	48.1	-132.7	26
197	67.5	-132.7	26
198	87.0	-132.7	26
199	106.4	-132.7	26
200	125.8	-132.7	26
201	145.2	-132.7	26
202	164.6	-132.7	26
203	184.1	-132.7	26
204	203.5	-132.7	26
205	222.9	-132.7	26
206	242.3	-132.7	26
207	261.7	-132.7	26
208	281.2	-132.7	26
209	300.6	-132.7	26

210	320.0	-132.7	26
211	339.4	-132.7	26
212	358.9	-132.7	26
213	378.3	-132.7	26
214	397.7	-132.7	26
215	416.0	-132.7	26
216	434.2	-132.7	26
217	452.5	-132.7	26
218	-242.3	-132.7	26
219	-261.7	-132.7	26
220	-281.2	-132.7	26
221	-300.6	-132.7	26
222	-320.0	-132.7	26
223	-339.4	-132.7	26
224	-358.9	-132.7	26
225	-378.3	-132.7	26
226	-397.7	-132.7	26
227	-416.0	-132.7	26
228	-434.2	-132.7	26
229	-452.5	-132.7	26
230	-470.2	-131.4	26
231	-485.1	-127.4	26
232	-499.1	-120.8	26
233	-511.7	-112.0	26
234	-522.7	-101.1	26
235	-531.5	-88.4	26
236	-538.0	-74.4	26
237	-541.3	-60.2	26
238	-542.7	-45.0	26
239	-542.7	-27.5	26
240	-542.7	-10.0	26
241	-542.7	7.5	26
242	-542.7	25.0	26
243	-542.7	42.5	26
244	-542.0	59.5	26
245	-538.0	74.4	26
246	-531.5	88.4	26
247	-522.7	101.1	26

248	-511.7	112.0	26
249	-499.1	120.8	26
250	-485.1	127.4	26
251	-470.2	131.4	26
252	-452.5	132.7	26
253	-434.2	132.7	26
254	-416.0	132.7	26
255	-397.7	132.7	26
256	-378.3	132.7	26
257	-358.9	132.7	26
258	-339.4	132.7	26
259	-320.0	132.7	26
260	-300.6	132.7	26
261	-281.2	132.7	26
262	-261.7	132.7	26
263	-242.3	132.7	26
264	-222.9	132.7	26
265	-203.5	132.7	26
266	-184.1	132.7	26
267	-164.6	132.7	26
268	-145.2	132.7	26
269	-125.8	132.7	26
270	-106.4	132.7	26
271	-87.0	132.7	26
272	-67.5	132.7	26
273	-48.1	132.7	26
274	-37.8	128.7	26
275	-29.6	120.4	26
276	-21.3	112.2	26
277	-17.3	90.5	26
278	-17.3	72.1	26
279	-17.3	53.8	26
280	-17.3	35.4	26
281	-17.3	17.1	26
282	-17.3	-1.3	26
283	-17.3	-19.6	26
284	-17.3	-37.9	26
285	-17.3	-56.3	26

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b> <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CL VI01 001	REV. A

286	-17.3	-74.6	26
287	-17.3	-93.0	26
288	-21.3	-112.2	26
289	-29.6	-120.4	26
290	-37.8	-128.7	26
291	-48.1	-132.7	26
292	-67.5	-132.7	26
293	-87.0	-132.7	26
294	-106.4	-132.7	26
295	-125.8	-132.7	26
296	-145.2	-132.7	26
297	-164.6	-132.7	26
298	-184.1	-132.7	26
299	-203.5	-132.7	26
300	-222.9	-132.7	26

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	131	132	6	26

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [daNm] 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

**Relazione di Predimensionamento**  
**Pila – impalcati 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	66 di 115

Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
- 1	20395.00	59222.00	19102.00	0.00	0.00
- 2	43805.00	60904.00	20343.00	0.00	0.00

**COMB. RARE/FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	30739.00	42287.00 (106415.61)	14573.00 (36673.08)

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	21089.00	0.00 (0.00)	110.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**
**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.4 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn	Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult	Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	20395.00	100725.05	14550.18	20395.02	124272.11	1139834.80	2.098	-----
2	S	43805.00	128307.21	27799.70	43804.71	154749.85	52532.68	2.548	-----

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	4.51	-45.0	125.0	-36.0	-455.4	-157.3	6726	106.2	16.6	1.00

<b>Relazione di Predimensionamento</b> <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	68 di 115

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$

Ver.	Esito della verifica
S1	Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
S2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k2	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
k3	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica
Ø	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace $A_{c\ eff}$
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi	$= 1 - \text{Beta}12 \cdot (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 \cdot (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 \cdot (M_{fess}/M)^2$
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure . Il valore limite = $0.4 \cdot Ss/Es$ è tra parentesi
srm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 \cdot e \cdot sm \cdot srm$ . Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess	
1	S	-1.2	0	0.125	26	64	-5.3330.00007	(0.00007)	243	0.030	(0.20)	106415.61	36673.08

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	1.52	-45.0	-125.0	22.8	-493.2	150.6	---	---	---	---

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	1.5	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00	0.00

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b> <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CL VI01 001	REV. A

## 10 ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE DEL SISTEMA DI FONDAZIONE

Nei paragrafi successivi si forniscono le sollecitazioni e le verifiche strutturali relative al sistema di fondazione. In particolare, le verifiche strutturali esibite riguardano il plinto di fondazione e la palificata relativi alla pila di altezza massima, fra quelle in esame aventi medesima tipologia di armatura.

I dati identificativi del sistema di fondazione sono sintetizzati nei prospetti di seguito:

PROPRIETA' MECCANICHE E GEOMETRICHE PLINTO DI FONDAZIONE			
Sigla plinto	F1	-	Tipologia plinto per geometria
$\gamma$	25	kN/m <sup>3</sup>	Peso per unità di volume
$f_{ck}$	28	MPa	Resistenza cilindrica caratteristica del calcestruzzo
$B_T$	16.0	m	Dimensione plinto in pianta in direz. trasversale rispetto all'asse del viadotto
$B_L$	11.5	m	Dimensione plinto in pianta in direz. longitudinale rispetto all'asse del viadotto
s	2.5	m	Spessore del plinto
$P_{plinto}$	11500	kN	Peso del plinto
$m_{plinto}$	1172	kN/m/s <sup>2</sup>	Massa del plinto
$S_{terr}$	1.50	m	Spessore medio ricoprimento

PROPRIETA' MECCANICHE E GEOMETRICHE PALI DI FONDAZIONE			
$\gamma$	25	kN/m <sup>3</sup>	Peso per unità di volume
$f_{ck}$	25	MPa	Resistenza cilindrica caratteristica del calcestruzzo
$n_L$	3	-	Numero file in direzione longitudinale
$n_T$	4	-	Numero file in direzione trasversale
n	12	-	Numero pali
$\phi$	1500	mm	Diametro pali

Le coordinate dei pali, rispetto al baricentro del plinto di fondazione, sono riportate di seguito; il sistema di riferimento adottato fa riferimento alle seguenti direzioni:

x: Direzione trasversale rispetto all'asse del viadotto

y: Direzione parallela all'asse del viadotto

L'origine del sistema di riferimento coincide con il baricentro del plinto di fondazione.

**Coordinate pali**

x(m)	y(m)
6.75	-4.50
2.25	-4.50
-2.25	-4.50
-6.75	-4.50
6.75	0.00
2.25	0.00
-2.25	0.00
-6.75	0.00
6.75	4.50
2.25	4.50
-2.25	4.50
-6.75	4.50

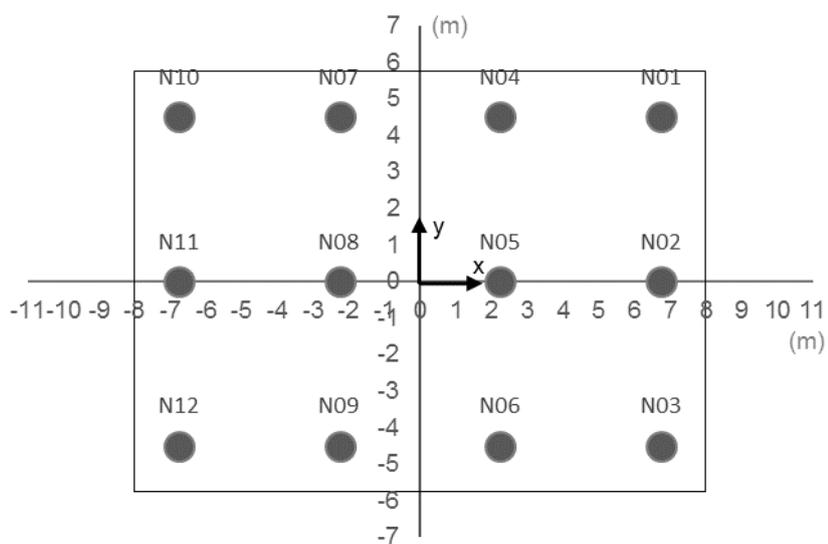


Figura 8: Disposizione dei pali di fondazione

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b>  <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA  IZ04	LOTTO  40	CODIFICA  R09	DOCUMENTO  CL VI01 001	REV.  A

## 10.1 SOLLECITAZIONI AGENTI

Per le combinazioni di carico statiche, le sollecitazioni ad intradosso plinto sono state ottenute a partire da quelle indotte a base pila, tenendo conto del peso del plinto di fondazione, del carico permanente dovuto al peso del ricoprimento sul plinto, valutato considerandone uno spessore medio, e dell'eccentricità tra la sezione di spiccato e quella di intradosso del plinto (spessore della fondazione).

In condizione sismica, invece, secondo quanto prescritto nel par.7.2.5 del NTC 2018, per le strutture progettate in CD "B" il dimensionamento delle strutture di fondazione e la verifica di sicurezza del complesso fondazione-terreno devono essere eseguiti assumendo come azioni in fondazione le resistenze degli elementi strutturali soprastanti.

Più precisamente, la forza assiale negli elementi strutturali verticali derivante dalla combinazione delle azioni deve essere associata al concomitante valore resistente del momento flettente del taglio; si richiede tuttavia che tali azioni risultino non maggiori di quelle trasferite dagli elementi soprastanti, amplificate con un  $\gamma_{Rd}$  pari a 1,1 in CD "B", e comunque non maggiori di quelle derivanti da una analisi elastica della struttura in elevazione eseguita con un fattore di struttura  $q$  pari a 1.

Ciò significa che le azioni di taglio e momento di verifica della fondazione devono essere pari ai valori minimi risultanti da questi tre casi sopraelencati.

In favore di sicurezza si sono considerate le azioni derivanti da una analisi elastica della struttura in elevazione eseguita con un fattore di struttura  $q$  pari a 1.

SOLLECITAZIONI SISMICHE BASE PILA PER $q=1$					
Combinazioni di carico	N	Ht	HI	Mt	MI
SLV-EL+0.3ET	-20512	2535	13236	22426	92676
SLV-0.3EL+ET	-20395	8451	3971	74752	27484

Alle sollecitazioni sismiche base pila, di progetto per il calcolo del plinto, va sommata la forza di inerzia relativa alla parte inferiore della pila (semialtezza inferiore del fusto e plinto), calcolata con riferimento allo spettro di risposta elastico.

Di seguito sono sintetizzate le sollecitazioni ad intradosso plinto ricavate per ciascuna delle combinazioni di carico considerate.

Combinazioni di carico	SOLLECITAZIONI INTRADOSSO PLINTO				
	N	Ht	HI	Mt	MI
-	kN	kN	kN	kNm	kNm
SLU-Gr.1(N)	-65224	5358	3052	74299	27972
SLU-Gr.3(N)	-65079	4038	4552	53735	42504
SLU-Gr.1(P)	-66565	5024	3407	71078	31596
SLU-Gr.3(P)	-67000	3872	5285	52657	49451
SLU-Gr.1-1SW/2	-60076	3444	2522	58923	22988
SLU-Gr.3-1SW/2	-60040	2944	3559	51123	32852
SLU-Gr.1-MaxML(P)	-58518	3205	1991	43476	25817
SLU-Gr.3-MaxML(P)	-58010	2610	3868	34556	43599
SLU-Gr.1(N)-Gk=1.00	-50947	4980	2704	70296	24750
SLU-Gr.3(N)-Gk=1.00	-50802	3660	4205	49732	39282
SLU-Gr.1(P)-Gk=1.00	-52288	4646	3059	67076	28424
SLU-Gr.3(P)-Gk=1.00	-52723	3494	4937	48655	46279
SLU-Gr.1-1SW/2-Gk=1.00	-45800	3066	2175	54920	19816
SLU-Gr.3-1SW/2-Gk=1.00	-45763	2566	3212	47121	29680
SLU-Gr.1-MaxML(P)-Gk=1.00	-44241	2674	2011	38073	26033
SLU-Gr.3-MaxML(P)-Gk=1.00	-43733	2080	3889	29152	43815
SLV-EL+0.3ET	-38452	3854	17633	31097	133545
SLV-0.3EL+ET	-38335	12848	5290	103658	39745
SLE-C-Gr.1(N)	-46605	3752	2184	51667	20032
SLE-C-Gr.3(N)	-46505	2842	3219	37485	30054
SLE-C-Gr.1(P)	-47530	3522	2429	49446	22531
SLE-C-Gr.3(P)	-47830	2727	3724	36742	34845
SLE-C-Gr.1-1SW/2	-43055	2432	1819	41063	16594
SLE-C-Gr.3-1SW/2	-43030	2087	2534	35684	23397
SLE-C-Gr.1-MaxML (P)	-41980	2162	1489	29444	18883
SLE-C-Gr.3-MaxML (P)	-41630	1752	2784	23292	31147
SLE-F-Gr.1(N)	-44675	2816	1860	38381	17442
SLE-F-Gr.3(N)	-44595	2088	2688	27036	25460
SLE-F-Gr.1(P)	-45415	2632	2056	36604	19325
SLE-F-Gr.3(P)	-45655	1996	3092	26441	29176
SLE-F-Gr.1-1SW/2	-41835	1760	1568	29898	14576
SLE-F-Gr.3-1SW/2	-41815	1484	2140	25595	20018
SLE-F-Gr.1-MaxML (P)	-40975	1544	1164	20603	15119
SLE-F-Gr.3-MaxML (P)	-40695	1216	2200	15681	24930
SLE-QP	-36955	0	110	1050	1062

Tabella 9: Sollecitazioni a quota intradosso plinto

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b>  <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA  IZ04	LOTTO  40	CODIFICA  R09	DOCUMENTO  CL VI01 001	REV.  A

Per ricavare le sollecitazioni agenti nei pali di fondazione è stata considerato un modello di plinto rigido, in cui l'azione assiale nei pali viene valutata assumendo una rotazione rigida del plinto (palo impedito di ruotare in testa), tenendo poi conto, in maniera approssimata mediante la definizione di un apposito coefficiente, degli effetti flessionali sui pali dovuti ai carichi trasmessi dalla pila, come mostrato nelle immagini riportate di seguito.

Lo sforzo normale nei pali è quindi calcolato come segue:

$$N_i = \frac{N_{Ed}}{n} \pm \frac{(M_{Ed})d_i}{\sum_i d_i^2}$$

Le azioni di taglio sono suddivise equamente tra i pali, mentre il momento agente a quota testa pali è direttamente proporzionale al taglio mediante un coefficiente  $\alpha$  (espresso in metri):

$$M_i(V_{Ed}) = \alpha \frac{V_{Ed}}{n}$$

Il coefficiente  $\alpha$  dipende dalle caratteristiche di rigidezza relative palo-terreno e dunque dall'eventuale liquefacibilità del suolo. Generalmente, la sua applicazione fornisce un valore del momento sollecitante conservativo. Fissato il diametro del palo, si assume un valore cautelativo di tale parametro pari a  $\alpha=3.5m$ .

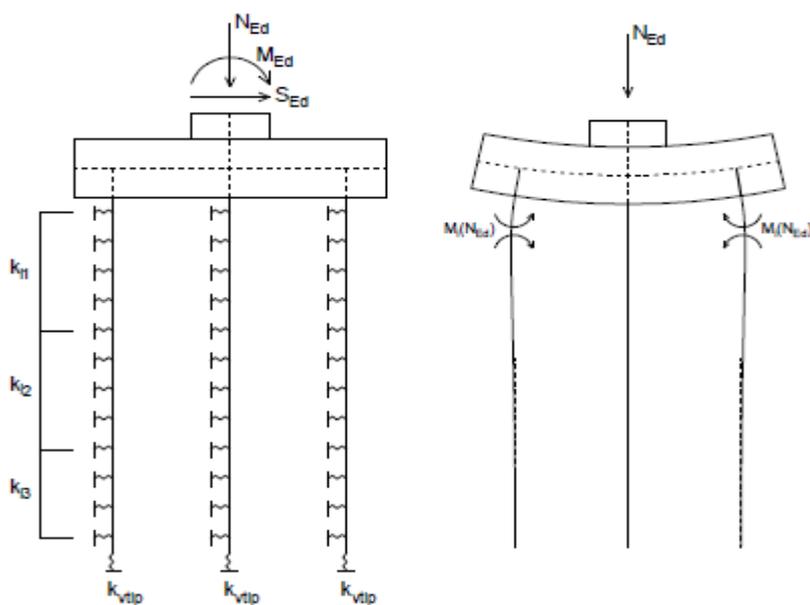


Figura 9: Modello del plinto su pali (a sinistra) ed effetto flessionale su pali dovuto al carico assiale agente sul plinto (a destra)

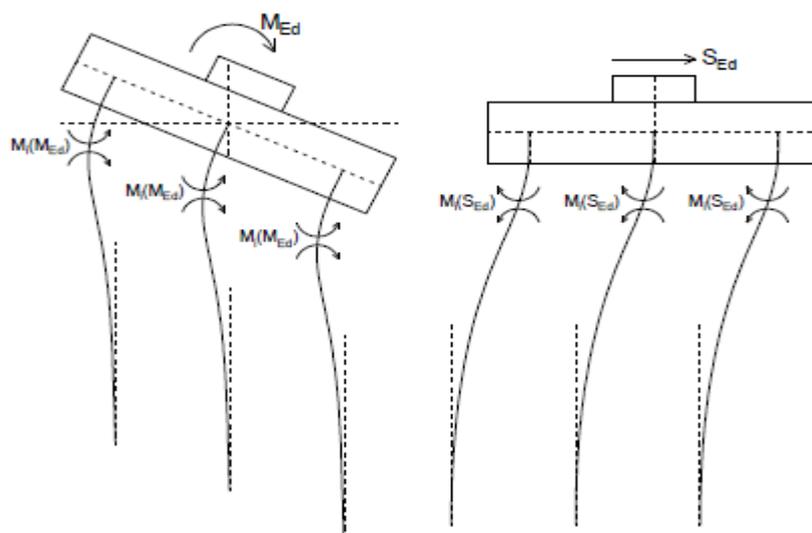


Figura 10: Effetto flessionale sui pali dovuti al momento flettente (a sinistra) e al taglio (a destra) agenti sul plinto

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b>  <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA  IZ04	LOTTO  40	CODIFICA  R09	DOCUMENTO  CL VI01 001	REV.  A

Di seguito si mostrano le sollecitazioni relative al palo più sollecitato.

Combinazioni di carico	SOLLECITAZIONI MASSIME NEI PALI DI FONDAZIONE						
	$N_{Ed}/n$	$(Mt \cdot di / \sum di^2)$	$(MI \cdot di / \sum di^2)$	$N_{min}$	$N_{max}$	$V_{ris,max}$	$M_{max}$
-	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kNm
SLU-Gr.1(N)	-5435	-1651	-777	-7863	-3007	514	1798
SLU-Gr.3(N)	-5423	-1194	-1181	-7798	-3048	507	1775
SLU-Gr.1(P)	-5547	-1580	-878	-8004	-3090	506	1771
SLU-Gr.3(P)	-5583	-1170	-1374	-8127	-3040	546	1911
SLU-Gr.1-1SW/2	-5006	-1309	-639	-6954	-3058	356	1245
SLU-Gr.3-1SW/2	-5003	-1136	-913	-7052	-2955	385	1347
SLU-Gr.1-MaxML(P)	-4876	-966	-717	-6560	-3193	314	1100
SLU-Gr.3-MaxML(P)	-4834	-768	-1211	-6813	-2855	389	1361
SLU-Gr.1(N)-Gk=1.00	-4246	-1562	-687	-6495	-1996	472	1653
SLU-Gr.3(N)-Gk=1.00	-4234	-1105	-1091	-6430	-2037	465	1626
SLU-Gr.1(P)-Gk=1.00	-4357	-1491	-790	-6637	-2077	464	1623
SLU-Gr.3(P)-Gk=1.00	-4394	-1081	-1286	-6760	-2027	504	1764
SLU-Gr.1-1SW/2-Gk=1.00	-3817	-1220	-550	-5588	-2046	313	1096
SLU-Gr.3-1SW/2-Gk=1.00	-3814	-1047	-824	-5685	-1942	343	1199
SLU-Gr.1-MaxML(P)-Gk=1.00	-3687	-846	-723	-5256	-2118	279	976
SLU-Gr.3-MaxML(P)-Gk=1.00	-3644	-648	-1217	-5509	-1780	368	1286
SLV-EL+0.3ET	-3252	-691	-3710	-7653	1148	1504	5264
SLV-0.3EL+ET	-3252	-2304	-1104	-6660	155	1158	4052
SLE-C-Gr.1(N)	-3884	-1148	-556	-5588	-2179	362	1266
SLE-C-Gr.3(N)	-3875	-833	-835	-5543	-2208	358	1252
SLE-C-Gr.1(P)	-3961	-1099	-626	-5685	-2236	357	1248
SLE-C-Gr.3(P)	-3986	-816	-968	-5770	-2201	385	1346
SLE-C-Gr.1-1SW/2	-3588	-913	-461	-4961	-2214	253	886
SLE-C-Gr.3-1SW/2	-3586	-793	-650	-5029	-2143	274	957
SLE-C-Gr.1-MaxML (P)	-3498	-654	-525	-4677	-2319	219	766
SLE-C-Gr.3-MaxML (P)	-3469	-518	-865	-4852	-2086	274	959
SLE-F-Gr.1(N)	-3723	-853	-485	-5060	-2385	281	984
SLE-F-Gr.3(N)	-3716	-601	-707	-5024	-2408	284	993
SLE-F-Gr.1(P)	-3785	-813	-537	-5135	-2434	278	974
SLE-F-Gr.3(P)	-3805	-588	-810	-5203	-2407	307	1073
SLE-F-Gr.1-1SW/2	-3486	-664	-405	-4555	-2417	196	688
SLE-F-Gr.3-1SW/2	-3485	-569	-556	-4609	-2360	217	760
SLE-F-Gr.1-MaxML (P)	-3415	-458	-420	-4292	-2537	161	564
SLE-F-Gr.3-MaxML (P)	-3391	-348	-693	-4432	-2350	209	733
SLV-QP	-3080	-23	-30	-3132	-3027	9	32
Comb. dimensionante strutturali	Comb. dimensionante portanza			$N_{min}$	$N_{max}$	$V_{ris,max}$	$M_{max}$
<b>SLV-EL+0.3ET</b>	<b>SLU-Gr.3(P)</b>			<b>-8127</b>	<b>1148</b>	<b>1504</b>	<b>5264</b>
<b>SLE-C-Gr.3(P)</b>	<b>SLE-C-Gr.3(P)</b>			<b>-5770</b>	<b>-2086</b>	<b>385</b>	<b>1346</b>

Figura 11: Sollecitazioni massime nei pali di fondazione

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b> <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CL VI01 001	REV. A

## 10.2 VERIFICHE STRUTTURALI

### 10.2.1 Plinto di fondazione

Per le verifiche strutturali il plinto di fondazione è stato schematizzato con una mensola incastrata in corrispondenza della sezione di attacco con il fusto della pila e con l'estremità libera posta in corrispondenza della fila di pali più esterna, nella direzione di verifica considerata. Le azioni che intervengono sono rappresentate dalla pressione esercitata dal peso proprio del plinto (contributo favorevole) e dalle forze esplicate sulla mensola per la reazione vincolare dei pali. Non viene considerata l'eventualità che all'interno del plinto possa instaurarsi uno schema tirante-puntone in quanto la geometria del plinto non è tale da creare un meccanismo di mensola tozza. Si fa l'ipotesi che le reazioni del suolo siano esplicate esclusivamente dalla palificata e che siano trasmesse sul plinto come forze concentrate. Per la valutazione delle sollecitazioni sulla mensola viene presa in considerazione la combinazione di carico che dà luogo alle massime reazioni dei pali, sia in compressione che in trazione.

Per la verifica in direzione longitudinale rispetto all'asse del viadotto, si considera una mensola di larghezza pari alla dimensione del plinto nella direzione trasversale e di altezza pari allo spessore della fondazione. L'azione applicata sull'estremo libero è posta pari alla somma delle reazioni dei pali della fila più esterna.

In direzione trasversale, la mensola è caratterizzata da una luce inferiore, pertanto cautelativamente si dispongono le stesse armature verificate in direzione longitudinale.

Si esibiscono quindi le sollecitazioni e le verifiche a flessione e taglio della mensola in direzione longitudinale, relativamente alla sezione di incastro, corrispondente all'attacco plinto-fusto.

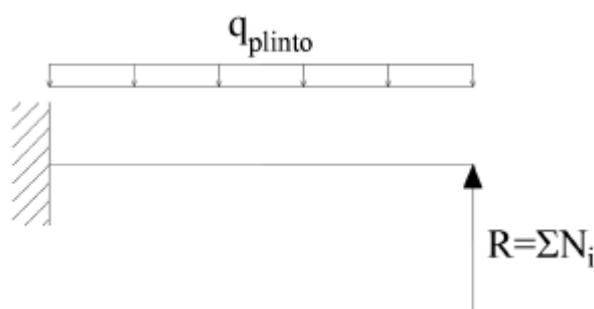


Figura 12: Schema a mensola del plinto su pali

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b> <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CL VI01 001	REV. A

I dati utili per la verifica del plinto in direzione longitudinale rispetto all'asse del viadotto sono sintetizzati nel prospetto di seguito.

DATI PER VERIFICA PLINTO (IN DIREZ.LONGITUDINALE)		
L	2.9 m	Lunghezza mensola di calcolo
B	16.5 m	Base sezione di calcolo
s	2.0 m	Altezza sezione di calcolo
R=?Ni_SLU	-26385 kN	Somma delle reazioni dei pali sulla fila più esterna (SLU)
R=?Ni_SLE	-18228 kN	Somma delle reazioni dei pali sulla fila più esterna (SLE)
q	825 kN/m	Peso proprio del plinto di competenza della striscia di calcolo
M <sub>i_SLU</sub>	76515 kNm	Momento dovuto all'azione della palificata sul plinto
M <sub>s_SLU</sub>	-3469 kNm	Momento dovuto al peso proprio del plinto
M <sub>ris_SLU</sub>	73046 kNm	Momento risultante nella sezione di attacco plinto-fusto pila
V <sub>ris_SLU</sub>	23992 kN	Taglio risultante nella sezione di attacco plinto-fusto pila
<b>M<sub>ris_SLU/m</sub></b>	4427 kNm/m	Momento risultante nella sezione di attacco plinto-fusto pila (striscia di 1m)
<b>V<sub>ris_SLU/m</sub></b>	1454 kN/m	Taglio risultante nella sezione di attacco plinto-fusto pila (striscia di 1m)
M <sub>i_SLE</sub>	52861 kNm	Momento dovuto all'azione della palificata sul plinto
M <sub>s_SLE</sub>	-3469 kNm	Momento dovuto al peso proprio del plinto
M <sub>ris_SLE</sub>	49392 kNm	Momento risultante nella sezione di attacco plinto-fusto pila
<b>M<sub>ris_SLE/m</sub></b>	2993 kNm/m	Momento risultante nella sezione di attacco plinto-fusto pila (striscia di 1m)

I dati sopra riportati prendono in considerazione le massime reazioni di compressione dei pali. Il prospetto di seguito tiene conto dell'eventuale sollecitazione di trazione sui pali.

R=?Ni_SLU	4091 kN	Somma delle reazioni dei pali sulla fila più esterna (SLU)
R=?Ni_SLE	-9326 kN	Somma delle reazioni dei pali sulla fila più esterna (SLE)
q	1221 kN/m	Peso proprio del plinto di competenza della striscia di calcolo
M <sub>i_SLU</sub>	-11863 kNm	Momento dovuto all'azione della palificata sul plinto
M <sub>s_SLU</sub>	-5134 kNm	Momento dovuto al peso proprio del plinto
M <sub>ris_SLU</sub>	-16997 kNm	Momento risultante nella sezione di attacco plinto-fusto pila
V <sub>ris_SLU</sub>	7631 kN	Taglio risultante nella sezione di attacco plinto-fusto pila
<b>M<sub>ris_SLU/m</sub></b>	-1030 kNm/m	Momento risultante nella sezione di attacco plinto-fusto pila (striscia di 1m)
<b>V<sub>ris_SLU/m</sub></b>	463 kN/m	Taglio risultante nella sezione di attacco plinto-fusto pila (striscia di 1m)
M <sub>i_SLE</sub>	- kNm	Momento dovuto all'azione della palificata sul plinto
M <sub>s_SLE</sub>	- kNm	Momento dovuto al peso proprio del plinto
M <sub>ris_SLE</sub>	- kNm	Momento risultante nella sezione di attacco plinto-fusto pila
<b>M<sub>ris_SLE/m</sub></b>	- kNm/m	Momento risultante nella sezione di attacco plinto-fusto pila (striscia di 1m)

Entrambi i gruppi di sollecitazioni dedotti saranno sottoposti a verifica.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b>  <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA  IZ04	LOTTO  40	CODIFICA  R09	DOCUMENTO  CL VI01 001	REV.  A

Una sintesi delle caratteristiche dell'armatura longitudinale e a taglio previste è esibita nei prospetti di seguito. Il numero totale dei ferri fa riferimento ad una sezione di larghezza pari a 1m, posta in corrispondenza dell'attacco con il fusto della pila.

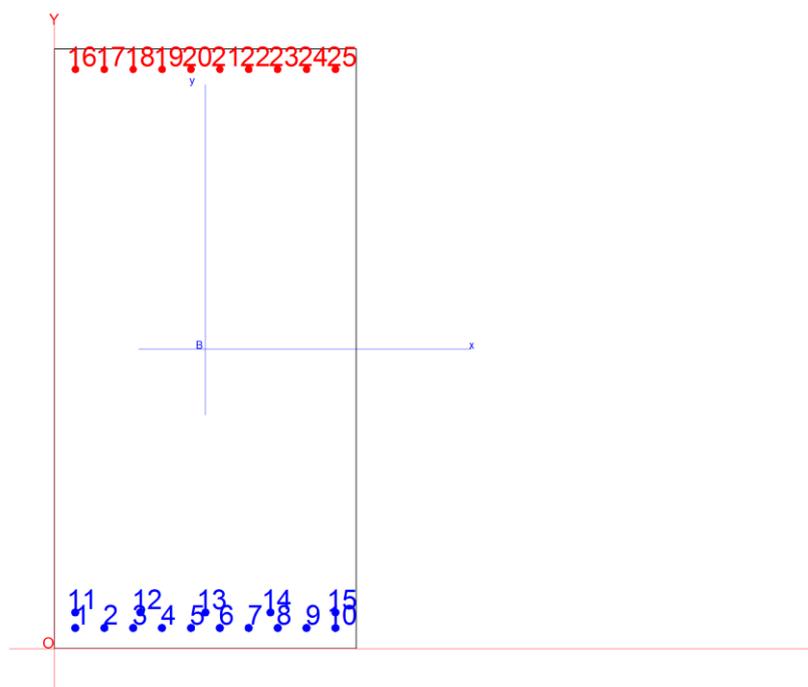
Il valore della distanza "Dist." che figura di seguito è valutata tra l'estremo inferiore della sezione e l'asse barra; l'area di armatura minima da garantire, rispetto alla sezione di calcestruzzo  $bxd$ , con  $d$  pari all'altezza utile della sezione, segue le prescrizioni riportate nel par.4.1.6.1.1 del NTC 2018.

ARMATURA LONGITUDINALE PLINTO							
Direzione longitudinale							
Lato	n°strati	Dist.(cm)	n°	$\phi$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$A_s/bxd$ (%)	$A_{min}/bxd$ (%)
$A_s$ tesa	1	6.9	10	26	53.07	0.4	0.2
$A_s$ tesa	2	12.1	5	26	26.53		
$A_s$ tesa	3	-	-	-	-		
$A_s'$ compressa	1	193.2	10	24	45.22	-	-

ARMATURA TRASVERSALE PLINTO			
Direzione longitudinale			
nb	$\phi$ (mm)	s (cm)	$A_{v,st}/s$ (cm <sup>2</sup> /m)
5	16	40	25.13

Di seguito le verifiche strutturali relative al plinto di fondazione, eseguite secondo i criteri sopra esplicitati, per una striscia di larghezza pari ad 1m.

Nome sezione: VI.01 - P31 - FOND



#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C28/35

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	100.0	200.0
2	100.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	200.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	6.9	6.9	26
2	16.5	6.9	26
3	26.1	6.9	26

4	35.6	6.9	26
5	45.2	6.9	26
6	54.8	6.9	26
7	64.4	6.9	26
8	73.9	6.9	26
9	83.5	6.9	26
10	93.1	6.9	26
11	6.9	12.1	26
12	28.5	12.1	26
13	50.0	12.1	26
14	71.6	12.1	26
15	93.1	12.1	26
16	6.9	193.2	24
17	16.5	193.2	24
18	26.1	193.2	24
19	35.6	193.2	24
20	45.2	193.2	24
21	54.8	193.2	24
22	64.4	193.2	24
23	73.9	193.2	24
24	83.5	193.2	24
25	93.1	193.2	24

**ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [daNm] 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	0.00	4427.05	0.00	0.00	0.00
2	0.00	-1030.11	0.00	0.00	0.00

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b> <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CL VI01 001	REV. A

### COMB. RARE/FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	2993.45 (2324.23)	0.00 (0.00)

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.6 cm

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
 Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
 Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
 As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	5409.35	0.00	0.00	5808.45	0.00	1.312	79.6(31.1)
2	S	0.00	-3222.49	0.00	0.00	-3362.37	0.00	3.264	45.2(31.1)

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

**Relazione di Predimensionamento**  
**Pila – impalcati 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	82 di 115

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
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.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00148	-0.00362	100.0	200.0	0.00108	6.9	193.2	-0.01000	6.9	6.9
2	0.00095	-0.00391	0.0	0.0	0.00056	6.9	6.9	-0.01000	6.9	193.2

**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 a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000059449	-0.010410199	0.129	0.700
2	0.000000000	-0.000056687	0.000951859	0.087	0.700

**COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $Beta1 \cdot Beta2$

**Relazione di Predimensionamento**  
**Pila – impalcati 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	83 di 115

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	5.32	100.0	200.0	-216.2	93.1	6.9	2500	79.6	5.2	1.00

**COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$

Ver.	Esito della verifica
S1	Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
S2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k2	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
k3	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica
Ø	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace $A_{c\ eff}$
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi	$= 1 - \text{Beta}12 * (S_{sr} / S_s)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (f_{ctm} / S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (M_{fess} / M)^2$
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure . Il valore limite = $0.4 * S_s / E_s$ è tra parentesi
srm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e\ sm * srm$ . Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-3.6	0	0.125	26	56	0.397	0.00043 (0.00043)	163	0.120 (0.20)	2324.23	0.00

**VERIFICA A TAGLIO IN DIREZIONE Y**

bw	=	100	cm
h	=	200	cm
c	=	4.8	cm
d	=	h-c	= 195.2 cm

**MATERIALI**

fywd	=	391.30	MPa
Rck	=	35	MPa
gc	=	1.5	
fck	=	0.83xRck	= 29.05 MPa
fcd	=	0.85xfck/gc	= 16.46 MPa

**ARMATURE A TAGLIO**

øst	=	16
-----	---	----

**Relazione di Predimensionamento**  
**Pila – impalcati 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	84 di 115

braccia = 5  
 øst2 = 0  
 braccia = 0  
 passo = 40 cm  
 (Asw / s) = 25.13 cm<sup>2</sup> / m  
 a = 90 ° (90° staffe verticali)

**ARMATURE LONGITUDINALI**

øl = 26  
 Numero = 15  
 Asl = 79.639 cm<sup>2</sup>

TAGLIO AGENTE VEd = 1454 (KN)  
 SFORZO NORMALE Ned = 0 (KN)

**ELEMENTI SENZA ARMATURA A TAGLIO**

k = 1.32  
 vmin = 0.286  
 rl = 0.0041  
 scp = 0.0000 (Mpa)  
 VRd = 705.01 (KN) >= OK 558.5053317 (KN)  
 VRd = 705.01 (KN)  
 ac = 1.0000 Ned/Ac= 0.0000 (Mpa)

**ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO**

**IIPOTESI 1** Cot q = 2,5 q = 21,8°  
 Armatura trasversale

VRsd = 4319.33 (KN)  
 VRcd = 4986.18 (KN)  
 VRd = 4319.33 (KN) min(VRsd, VRcd)

**IIPOTESI 2** Cot q = 1 q = 45°  
 Armatura trasversale

VRsd = 1727.73 (KN)  
 VRcd = 7229.96 (KN)  
 VRd = 1727.73 (KN) min(VRsd, VRcd)

**IIPOTESI 3** Cot q in cui VRsd=VRcd :Rottura bilanciata  
 cot(q) = 2.71 (calcolato) cot(q) = 2.50 (limitato)  
 q = 20.22 °  
 VRsd = 4690.19 (KN)

VRcd = 4690.19 (KN)

VRd = 4690.19 (KN)

**MASSIMO TAGLIO RESISTENTE**

VRd = 4320 (KN)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b> <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CL VI01 001	REV. A

Di seguito la verifica del taglio-punzonamento del plinto, lato pali (caso palo d'angolo), eseguita in accordo a quanto prescritto nei paragrafi 6.4.3 – 6.4.4 – 6.4.5 della norma UNI EN1992-1-1 (Eurocodice 2). L'azione di taglio sul plinto, trasferita dal palo, presa in considerazione per la verifica, è stata dedotta sottraendo al massimo sforzo normale registrato in testa al palo d'angolo, il carico all'interno del perimetro di verifica, che contribuisce alla resistenza del sistema strutturale (par. 6.4.1 – UNI EN1992-1-1 – (5)).

Il perimetro di verifica di base  $u_1$  è stato valutato secondo quanto prescritto per le aree caricate in prossimità di angoli (par. 6.4.2 – UNI EN1992-1-1 – (4)).

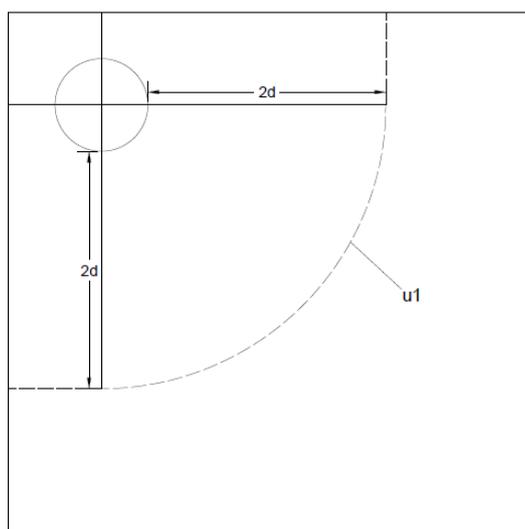


Figura 13: Perimetro di verifica di base per punzonamento nel caso di palo d'angolo

**Relazione di Predimensionamento**  
**Pila – impalcati 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	86 di 115

**DATI PALO**

D	=	1500	mm		
Hp (piastra)	=	2500	mm		
cx (copriferro asse)	=	68	mm		
cy (copriferro asse)	=	116	mm		
dx	=	Hp-cx	=	2432	mm
dy	=	Hp-cy	=	2384	mm
deff (altezza utile media)	=	(dx+dy)/2	=	2408	mm
d1x (dist. asse colonna-bordo)	=	1500	mm		
d1y (dist. asse colonna-bordo)	=	1500	mm		
u1 (perimetro di verifica)	=	$((2\pi((D/2)+2deff))/4)+d1x+d1y$	=	11738.6	mm

**TIPOLOGIA COLONNA**

UBICAZIONE		A
$\beta$	=	1.5

**MATERIALI**

$f_{ywd}$	=	391.30	MPa	acciaio	
$R_{ck}$	=	35	MPa	cls	
$\gamma_c$	=	1.5			
$f_{ck}$	=	$0.83 \times R_{ck}$	=	29.05	MPa
$f_{cd}$	=	$0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$	=	16.46	MPa
$f_{ctm}$	=	$0.3 \times (f_{ck})^{2/3}$	=	2.83	MPa
$f_{ctk}$	=	$0.7 \times f_{ctm}$	=	1.98	MPa
$f_{ctd}$	=	$f_{ctk} / \gamma_c$	=	1.32	MPa

**ARMATURE LONGITUDINALI PER FLESSIONE PRESENTI NELLA PIASTRA**

$\varnothing_{lx}$	=	26	mm	diametro barre X
Numero arm x	=	10	1/m	numero barre X a ml
$A_{slx}$	=	5309.29	mm <sup>2</sup> /m	area barre X a ml
leff <sub>y</sub>	=	15.95	m	larghezza efficace dir Y
$A_{slx}$	=	84672.58	mm <sup>2</sup>	acciaio X nella largh. efficace
$\varnothing_{ly}$	=	26	mm	diametro barre Y
Numero arm y	=	10	1/m	numero barre Y a ml
$A_{sly}$	=	5309.29	mm <sup>2</sup> /m	area barre Ya ml
leff <sub>x</sub>	=	15.95	mm	larghezza efficace dir X
$A_{sly}$	=	84672.58	mm <sup>2</sup>	acciaio Y nella largh. efficace

**SOLLECITAZIONE DI CALCOLO**

SFORZO NORMALE PALO	$V_{Ed} =$	5583	(KN)
MOMENTO FLETTENTE RISULTANTE	$M_{yEd} =$	0	(KNm)
SFORZO NORMALE PIASTRA	$N_{ed} =$	0	(KN)

**TENSIONE TANGENZIALE DI CALCOLO**

tensione tangenziale	$v_{Ed} = \beta \cdot V_{ed} / (u1 \cdot d)$	0.30	MPa
----------------------	--	------	-----

**ELEMENTI SENZA ARMATURA A TAGLIO**

Cr <sub>rdc</sub>	=	0.12	0,18/γ <sub>c</sub>
k	=	1.29	$1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$
v <sub>min</sub>	=	0.276	$0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$
ρ <sub>lx</sub>	=	0.0022	percentuale armatura tesa X
ρ <sub>ly</sub>	=	0.0022	percentuale armatura tesa Y
ρ <sub>l</sub>	=	0.0022	percentuale media geometrica
σ <sub>cp</sub>	=	0.0000	(MPa) tensione di compressione cls

**TENSIONE TANGENZIALE LIMITE SENZA ARMATURA**

$V_{Rd,c}$	=	0.29	(MPa)	$V_{min+0.15 \cdot \sigma_{cp}}$	0.28	(MPa)
$V_{Rd,c}$	=	<b>0.29</b>	(MPa)	resistenza a taglio cls non armato		
<b>Esito verifica</b>	=	<b>Verifica a punzonamento non soddisfatta. Armatura necessaria a taglio</b>				
<b>Fattore di sicurezza</b>	FS =	$V_{Rd,c}/V_{Ed}$	<b>0.97</b>			

**ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO**

ø <sub>st</sub>	=	16	mm	diametro spille
passo x spilli (il minore dei due)	=	25	cm	
passo y spilli	=	50	cm	
n <sub>br</sub>	=	42		numero di spille su un perimetro
d	=	2408	mm	altezza utile media
α	=	90	°	(spille verticali)
f <sub>ywdeff</sub>	=	391.3	Mpa	tensione limite acciaio
A <sub>sw</sub>	=	8524.2	mm <sup>2</sup>	area di acciaio su un perimetro
s <sub>r</sub>	=	500	mm	passo radiale

$V_{Rd,cs}$	=	1.07	(MPa)	resistenza a taglio cls con armatura
<b>Esito verifica</b>	=	<b>Ok. Verifica soddisfatta</b>		
<b>Fattore di sicurezza</b>	FS =	$V_{Rd,cs}/V_{Ed}$	<b>3.60</b>	

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b> <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CL VI01 001	REV. A

## 10.2.2 Pali – Verifica Strutturale

Si riportano di seguito, per ciascuna delle combinazioni di carico analizzate, le verifiche strutturali dei pali di fondazione relativi alla pila di altezza massima fra quelle del tipo in esame aventi la medesima tipologia di armatura.

Una sintesi delle caratteristiche dell'armatura longitudinale e a taglio (spirale) disposta è esibita nei prospetti di seguito. Il valore del copriferro  $c$  che figura è valutato in asse barra; l'area di armatura minima da garantire, rispetto alla sezione di calcestruzzo, segue le prescrizioni riportate nel par.2.5.2.2.6 del "Manuale di progettazione delle opere civili".

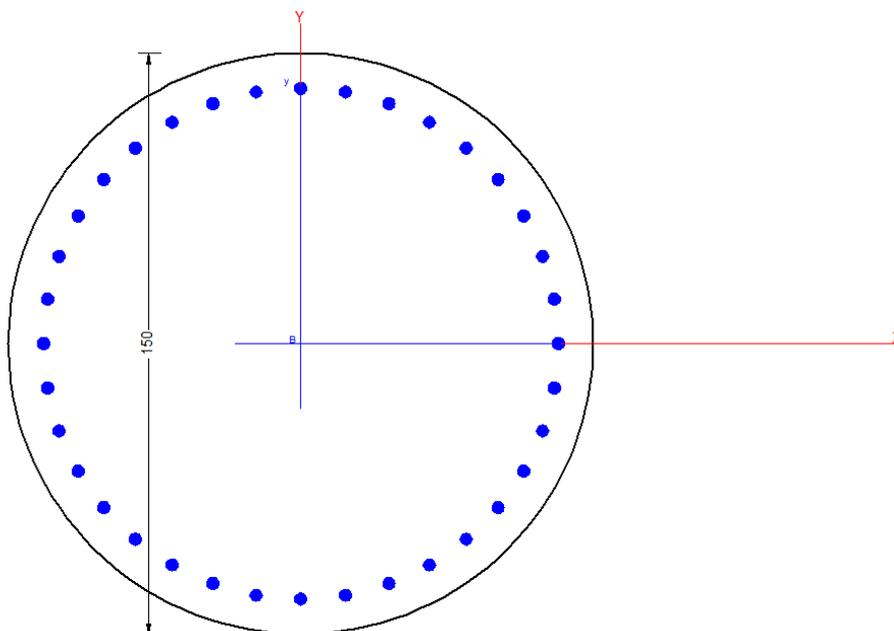
### Prima gabbia (estensione 7.0m)

Quota sezione di verifica: testa palo

ARMATURA LONGITUDINALE PALI							
D (m)	n°strati	c (cm)	n°	$\phi$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$A_s/A_{cls}$ (%)	$A_{min}/A_{cls}$ (%)
1.5	1	9	36	32	289.38	1.6	1.0

ARMATURA TRASVERSALE PALI (SPIRALE)			
nb	$\phi$ (mm)	s (cm)	$A_{v, st}/s$ (cm <sup>2</sup> /m)
2	14	10	30.77

Nome sezione: VI.01 - P31 - PALO  
Coprif. netto minimo barre long.: 7.4 cm    Coprif. netto staffe: 6.0 cm



**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Diametro sezione:	150.0	cm
Barre circonferenza:	36Ø32	(289.5 cm <sup>2</sup> )
Coprif.(dal baric. barre):	9.0	cm

**ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	3804.43	844.87	206.07	0.00
2	3648.23	941.84	229.72	0.00
3	3882.45	834.77	203.60	0.00
4	3677.23	1104.66	269.43	0.00

<b>Relazione di Predimensionamento</b> <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	90 di 115

5	3558.86	496.39	121.07	0.00
6	3424.21	617.34	150.57	0.00
7	3629.47	522.86	127.53	0.00
8	3095.75	1032.13	251.74	0.00
9	2721.51	848.73	207.01	0.00
10	2565.32	950.53	231.84	0.00
11	2799.53	839.74	204.81	0.00
12	2594.32	1113.91	271.68	0.00
13	2475.94	500.92	122.17	0.00
14	2341.29	625.99	152.68	0.00
15	2523.89	530.75	129.45	0.00
16	1990.17	1042.02	254.15	0.00
17	-1234.34	4869.02	1187.57	0.00
18	-557.42	4479.52	1092.57	0.00
19	6211.99	844.87	206.07	0.00
20	6350.06	941.84	229.72	0.00
21	6363.55	834.77	203.60	0.00
22	6635.23	1104.66	269.43	0.00
23	5617.77	496.39	121.07	0.00
24	5764.50	617.34	150.57	0.00
25	5251.11	522.86	127.53	0.00
26	5706.29	1032.13	251.74	0.00
27	5115.41	848.73	207.01	0.00
28	5253.48	950.53	231.84	0.00
29	5266.97	839.74	204.81	0.00
30	5538.64	1113.91	271.68	0.00
31	4521.19	500.92	122.17	0.00
32	4667.92	625.99	152.68	0.00
33	4177.20	530.75	129.45	0.00
34	4632.37	1042.02	254.15	0.00
35	6861.47	4869.02	1187.57	0.00
36	6184.55	4479.52	1092.57	0.00

**COMB. RARE/FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N

Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b>  <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA  IZ04	LOTTO  40	CODIFICA  R09	DOCUMENTO  CL VI01 001	REV.  A

Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	2750.66	577.56 (113163.70)
2	2642.94	645.92 (7821.42)
3	2804.47	570.74 (0.00)
4	2662.94	758.65 (4327.84)
5	2581.30	337.31 (0.00)
6	2488.44	422.10 (0.00)
7	2630.97	356.50 (0.00)
8	2262.89	709.41 (3473.48)
9	2900.43	336.01 (0.00)
10	2814.25	422.04 (0.00)
11	2943.48	331.90 (0.00)
12	2830.25	521.69 (0.00)
13	2764.94	144.43 (0.00)
14	2690.65	247.29 (0.00)
15	2816.41	185.07 (0.00)
16	2521.94	502.47 (0.00)
17	2759.23	20.50 (0.00)
18	4400.63	577.56 (0.00)
19	4495.85	645.92 (0.00)
20	4505.16	570.74 (0.00)
21	4692.52	758.65 (0.00)
22	3990.82	337.31 (0.00)
23	4092.02	422.10 (0.00)
24	3736.99	356.50 (0.00)
25	4050.91	709.41 (0.00)
26	3950.03	336.01 (0.00)
27	4026.21	422.04 (0.00)
28	4033.65	331.90 (0.00)
29	4183.54	521.69 (0.00)
30	3622.19	144.43 (0.00)
31	3703.14	247.29 (0.00)
32	3407.39	185.07 (0.00)
33	3658.52	502.47 (0.00)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b> <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CL VI01 001	REV. A

34                      2867.90                      20.50 (0.00)

## RISULTATI DEL CALCOLO

### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.4	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	8.3	cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.0	cm

## METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
Yneutro	Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.
Mx sn.	Momento flettente allo snervamento [kNm]
x/d	Rapp. di duttilità a rottura solo se N = 0 (travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Ult	Mx Ult	Mis.Sic.	Yn	M sn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	3804.43	844.87	3804.47	7297.41	8.637	20.5	5719.26	---	---	---
2	S	3648.23	941.84	3648.24	7257.17	7.705	21.1	5666.12	---	---	---
3	S	3882.45	834.77	3882.58	7317.40	8.766	20.2	5745.63	---	---	---
4	S	3677.23	1104.66	3677.34	7264.70	6.576	21.0	5676.13	---	---	---
5	S	3558.86	496.39	3558.93	7234.02	14.573	21.4	5635.59	---	---	---
6	S	3424.21	617.34	3424.20	7198.86	11.661	21.9	5589.37	---	---	---
7	S	3629.47	522.86	3629.76	7252.39	13.871	21.1	5659.78	---	---	---
8	S	3095.75	1032.13	3095.60	7112.10	6.891	23.1	5475.38	---	---	---
9	S	2721.51	848.73	2721.32	7011.64	8.261	24.4	5343.43	---	---	---
10	S	2565.32	950.53	2565.08	6969.22	7.332	25.0	5287.83	---	---	---
11	S	2799.53	839.74	2799.76	7032.83	8.375	24.2	5371.12	---	---	---
12	S	2594.32	1113.91	2594.35	6977.19	6.264	24.9	5298.27	---	---	---
13	S	2475.94	500.92	2476.03	6944.93	13.864	25.3	5255.77	---	---	---

**Relazione di Predimensionamento**  
**Pila – impalcati 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	93 di 115

14	S	2341.29	625.99	2341.16	6907.98	11.035	25.8	5207.24	---	---	---
15	S	2523.89	530.75	2523.82	6957.98	13.110	25.1	5273.03	---	---	---
16	S	1990.17	1042.02	1990.25	6809.97	6.535	27.0	5079.75	---	---	---
17	S	-1234.34	4869.02	-1234.38	5659.18	1.162	38.9	3818.15	---	---	---
18	S	-557.42	4479.52	-557.59	5931.19	1.324	36.5	4096.44	---	---	---
19	S	6211.99	844.87	6212.07	7765.89	9.192	11.7	6490.16	---	---	---
20	S	6350.06	941.84	6350.06	7784.90	8.266	11.2	6531.65	---	---	---
21	S	6363.55	834.77	6363.34	7786.71	9.328	11.2	6535.77	---	---	---
22	S	6635.23	1104.66	6635.44	7823.53	7.082	10.2	6616.32	---	---	---
23	S	5617.77	496.39	5617.56	7666.17	15.444	13.9	6308.42	---	---	---
24	S	5764.50	617.34	5764.42	7693.23	12.462	13.3	6353.77	---	---	---
25	S	5251.11	522.86	5251.18	7597.33	14.530	15.2	6193.44	---	---	---
26	S	5706.29	1032.13	5706.42	7682.58	7.443	13.6	6335.84	---	---	---
27	S	5115.41	848.73	5115.29	7571.33	8.921	15.7	6150.21	---	---	---
28	S	5253.48	950.53	5253.23	7597.72	7.993	15.2	6194.08	---	---	---
29	S	5266.97	839.74	5267.09	7600.35	9.051	15.2	6198.42	---	---	---
30	S	5538.64	1113.91	5538.66	7651.50	6.869	14.2	6283.72	---	---	---
31	S	4521.19	500.92	4521.23	7454.99	14.883	17.9	5958.19	---	---	---
32	S	4667.92	625.99	4668.09	7484.14	11.956	17.4	6006.15	---	---	---
33	S	4177.20	530.75	4176.96	7385.75	13.916	19.1	5844.59	---	---	---
34	S	4632.37	1042.02	4632.41	7477.08	7.176	17.5	5994.57	---	---	---
35	S	6861.47	4869.02	6861.68	7853.48	1.613	9.4	6682.44	---	---	---
36	S	6184.55	4479.52	6184.83	7762.11	1.733	11.8	6482.02	---	---	---

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

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
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)
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 compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

**Relazione di Predimensionamento**  
**Pila – impalcati 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	94 di 115

1	0.00350	-0.00063	75.0	0.00292	66.0	-0.00555	-66.0
2	0.00350	-0.00067	75.0	0.00292	66.0	-0.00565	-66.0
3	0.00350	-0.00060	75.0	0.00293	66.0	-0.00550	-66.0
4	0.00350	-0.00066	75.0	0.00292	66.0	-0.00563	-66.0
5	0.00350	-0.00070	75.0	0.00291	66.0	-0.00571	-66.0
6	0.00350	-0.00074	75.0	0.00291	66.0	-0.00579	-66.0
7	0.00350	-0.00068	75.0	0.00292	66.0	-0.00566	-66.0
8	0.00350	-0.00083	75.0	0.00289	66.0	-0.00601	-66.0
9	0.00350	-0.00095	75.0	0.00288	66.0	-0.00626	-66.0
10	0.00350	-0.00100	75.0	0.00287	66.0	-0.00637	-66.0
11	0.00350	-0.00092	75.0	0.00288	66.0	-0.00621	-66.0
12	0.00350	-0.00099	75.0	0.00287	66.0	-0.00635	-66.0
13	0.00350	-0.00103	75.0	0.00287	66.0	-0.00643	-66.0
14	0.00350	-0.00107	75.0	0.00286	66.0	-0.00652	-66.0
15	0.00350	-0.00101	75.0	0.00287	66.0	-0.00640	-66.0
16	0.00350	-0.00119	75.0	0.00284	66.0	-0.00678	-66.0
17	0.00350	-0.00274	75.0	0.00263	66.0	-0.01018	-66.0
18	0.00350	-0.00234	75.0	0.00268	66.0	-0.00931	-66.0
19	0.00350	-0.00006	75.0	0.00300	66.0	-0.00430	-66.0
20	0.00350	-0.00003	75.0	0.00301	66.0	-0.00424	-66.0
21	0.00350	-0.00003	75.0	0.00301	66.0	-0.00423	-66.0
22	0.00350	0.00003	75.0	0.00301	66.0	-0.00412	-66.0
23	0.00350	-0.00018	75.0	0.00298	66.0	-0.00457	-66.0
24	0.00350	-0.00015	75.0	0.00299	66.0	-0.00450	-66.0
25	0.00350	-0.00027	75.0	0.00297	66.0	-0.00476	-66.0
26	0.00350	-0.00016	75.0	0.00299	66.0	-0.00453	-66.0
27	0.00350	-0.00030	75.0	0.00297	66.0	-0.00483	-66.0
28	0.00350	-0.00026	75.0	0.00297	66.0	-0.00476	-66.0
29	0.00350	-0.00026	75.0	0.00297	66.0	-0.00475	-66.0
30	0.00350	-0.00020	75.0	0.00298	66.0	-0.00461	-66.0
31	0.00350	-0.00044	75.0	0.00295	66.0	-0.00514	-66.0
32	0.00350	-0.00040	75.0	0.00295	66.0	-0.00506	-66.0
33	0.00350	-0.00053	75.0	0.00294	66.0	-0.00533	-66.0
34	0.00350	-0.00041	75.0	0.00295	66.0	-0.00508	-66.0
35	0.00350	0.00007	75.0	0.00302	66.0	-0.00403	-66.0
36	0.00350	-0.00006	75.0	0.00300	66.0	-0.00431	-66.0

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b>  <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA  IZ04	LOTTO  40	CODIFICA  R09	DOCUMENTO  CL VI01 001	REV.  A

#### ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER TUTTE LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe:	14	mm	
Passo staffe:	10.0	cm	[Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	30.8	cm <sup>2</sup> /m	[Area Staffe Minima NTC = 2.3 cm <sup>2</sup> /m]

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.14)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.19)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.18)NTC]
bw	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro
Teta	Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm <sup>2</sup> /m]

N°Comb	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	AST
1	S	206.07	1220.11	4119.71	3232.28	136.5	21.80	1.152	2.0
2	S	229.72	1198.53	4097.39	3232.28	136.5	21.80	1.146	2.2
3	S	203.60	1230.88	4130.86	3232.28	136.5	21.80	1.155	1.9
4	S	269.43	1202.54	4101.53	3232.28	136.5	21.80	1.147	2.6
5	S	121.07	1186.18	4084.62	3232.28	136.5	21.80	1.142	1.2
6	S	150.57	1167.58	4065.37	3232.28	136.5	21.80	1.137	1.4
7	S	127.53	1195.94	4094.71	3232.28	136.5	21.80	1.145	1.2
8	S	251.74	1117.46	3998.65	3243.98	135.3	21.80	1.124	2.4
9	S	207.01	1066.01	3945.43	3243.98	135.3	21.80	1.109	2.0
10	S	231.84	1044.54	3923.22	3243.98	135.3	21.80	1.103	2.2
11	S	204.81	1076.74	3956.53	3243.98	135.3	21.80	1.112	1.9
12	S	271.68	1048.53	3927.34	3243.98	135.3	21.80	1.104	2.6
13	S	122.17	1032.25	3910.51	3243.98	135.3	21.80	1.099	1.2
14	S	152.68	1008.96	3869.52	3256.40	134.0	21.80	1.094	1.4
15	S	129.45	1038.84	3917.33	3243.98	135.3	21.80	1.101	1.2
16	S	254.15	960.97	3819.87	3256.40	134.0	21.80	1.080	2.4
17	S	1187.57	0.00	3379.89	3337.51	124.9	21.80	1.000	11.0

**Relazione di Predimensionamento**  
**Pila – impalcati 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	96 di 115

18	S	1092.57	0.00	3439.21	3309.86	128.2	21.80	1.000	10.2
19	S	206.07	1395.02	4496.66	3212.65	138.3	21.80	1.248	2.0
20	S	229.72	1395.02	4502.95	3212.65	138.3	21.80	1.250	2.2
21	S	203.60	1395.02	4502.95	3212.65	138.3	21.80	1.250	2.0
22	S	269.43	1395.02	4502.95	3212.65	138.3	21.80	1.250	2.6
23	S	121.07	1395.02	4411.11	3212.65	138.3	21.80	1.225	1.2
24	S	150.57	1395.02	4432.24	3212.65	138.3	21.80	1.230	1.4
25	S	127.53	1391.03	4344.43	3221.64	137.5	21.80	1.210	1.2
26	S	251.74	1395.02	4423.86	3212.65	138.3	21.80	1.228	2.4
27	S	207.01	1391.03	4324.96	3221.64	137.5	21.80	1.204	2.0
28	S	231.84	1391.03	4344.77	3221.64	137.5	21.80	1.210	2.2
29	S	204.81	1391.03	4346.71	3221.64	137.5	21.80	1.210	2.0
30	S	271.68	1395.02	4399.72	3212.65	138.3	21.80	1.221	2.6
31	S	122.17	1323.98	4239.69	3221.64	137.5	21.80	1.181	1.2
32	S	152.68	1344.33	4260.74	3221.64	137.5	21.80	1.187	1.5
33	S	129.45	1276.26	4190.32	3221.64	137.5	21.80	1.167	1.2
34	S	254.15	1339.40	4255.64	3221.64	137.5	21.80	1.185	2.4
35	S	1187.57	1395.02	4502.95	3212.65	138.3	21.80	1.250	11.4
36	S	1092.57	1395.02	4492.71	3212.65	138.3	21.80	1.247	10.5

**COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.51	-75.0	0.00	75.0	2.1	66.0	0.0	0	0.0	----
2	S	2.62	-75.0	0.00	75.0	-0.8	66.0	0.0	0	0.0	----
3	S	2.52	-75.0	0.03	75.0	2.6	66.0	0.0	0	0.0	----
4	S	2.90	-75.0	0.00	75.0	-4.6	66.0	31.4	1084	24.1	----

**Relazione di Predimensionamento**
**Pila – impalcati 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	97 di 115

5	S	1.91	-75.0	0.44	75.0	7.9	66.0	0.0	0	0.0	----
6	S	2.05	-75.0	0.21	75.0	4.8	66.0	0.0	0	0.0	----
7	S	1.97	-75.0	0.42	75.0	7.6	66.0	0.0	0	0.0	----
8	S	2.64	-75.0	0.00	75.0	-6.6	66.0	31.4	1806	40.2	----
9	S	2.05	-75.0	0.58	75.0	10.1	66.0	0.0	0	0.0	----
10	S	2.20	-75.0	0.36	75.0	7.0	66.0	0.0	0	0.0	----
11	S	2.06	-75.0	0.61	75.0	10.5	66.0	0.0	0	0.0	----
12	S	2.43	-75.0	0.15	75.0	4.2	66.0	0.0	0	0.0	----
13	S	1.57	-75.0	0.94	75.0	14.7	66.0	0.0	0	0.0	----
14	S	1.76	-75.0	0.68	75.0	11.2	66.0	0.0	0	0.0	----
15	S	1.68	-75.0	0.87	75.0	13.8	66.0	0.0	0	0.0	----
16	S	2.24	-75.0	0.05	75.0	2.7	66.0	0.0	0	0.0	----
17	S	1.30	-75.0	1.21	75.0	18.2	66.0	0.0	0	0.0	----
18	S	3.26	-75.0	0.74	75.0	13.3	66.0	0.0	0	0.0	----
19	S	3.45	-75.0	0.63	75.0	12.0	66.0	0.0	0	0.0	----
20	S	3.29	-75.0	0.80	75.0	14.2	66.0	0.0	0	0.0	----
21	S	3.79	-75.0	0.47	75.0	10.1	66.0	0.0	0	0.0	----
22	S	2.55	-75.0	1.08	75.0	17.5	66.0	0.0	0	0.0	----
23	S	2.78	-75.0	0.94	75.0	15.7	66.0	0.0	0	0.0	----
24	S	2.48	-75.0	0.92	75.0	15.2	66.0	0.0	0	0.0	----
25	S	3.39	-75.0	0.29	75.0	7.1	66.0	0.0	0	0.0	----
26	S	2.53	-75.0	1.06	75.0	17.2	66.0	0.0	0	0.0	----
27	S	2.75	-75.0	0.91	75.0	15.3	66.0	0.0	0	0.0	----
28	S	2.56	-75.0	1.11	75.0	17.9	66.0	0.0	0	0.0	----
29	S	3.04	-75.0	0.76	75.0	13.5	66.0	0.0	0	0.0	----
30	S	1.96	-75.0	1.33	75.0	20.5	66.0	0.0	0	0.0	----
31	S	2.22	-75.0	1.14	75.0	18.1	66.0	0.0	0	0.0	----
32	S	1.95	-75.0	1.14	75.0	17.9	66.0	0.0	0	0.0	----
33	S	2.76	-75.0	0.56	75.0	10.4	66.0	0.0	0	0.0	----
34	S	1.35	-75.0	1.26	75.0	18.9	66.0	0.0	0	0.0	----

**COMBINAZIONI RARE/FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc <sub>lmax</sub>	Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]
Sc <sub>lmin</sub>	Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [Mpa]
K3	=0,125 per flessione; = 0,25 (Sc <sub>lmin</sub> + Sc <sub>lmax</sub> )/(2 Sc <sub>lmin</sub> ) per trazione eccentrica
Beta12	Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2

**Relazione di Predimensionamento**  
**Pila – impalcati 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	98 di 115

$\Psi$  =  $1 - \text{Beta}12^2 \cdot (\text{Ssr}/\text{Ss})^2 = 1 - \text{Beta}12^2 \cdot (\text{fctm}/\text{Sc}l\text{min})^2 = 1 - \text{Beta}12^2 \cdot (\text{Mfess}/\text{M})^2$   
 e sm Deformazione unitaria media tra le fessure . Tra parentesi il valore minimo = 0.4 Ss/Es  
 srm Distanza media in mm tra le fessure  
 wk Apertura delle fessure in mm =  $1,7 \cdot \text{Eps} \cdot \text{Srm}$ . Tra parentesi è indicato il valore limite.  
 M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

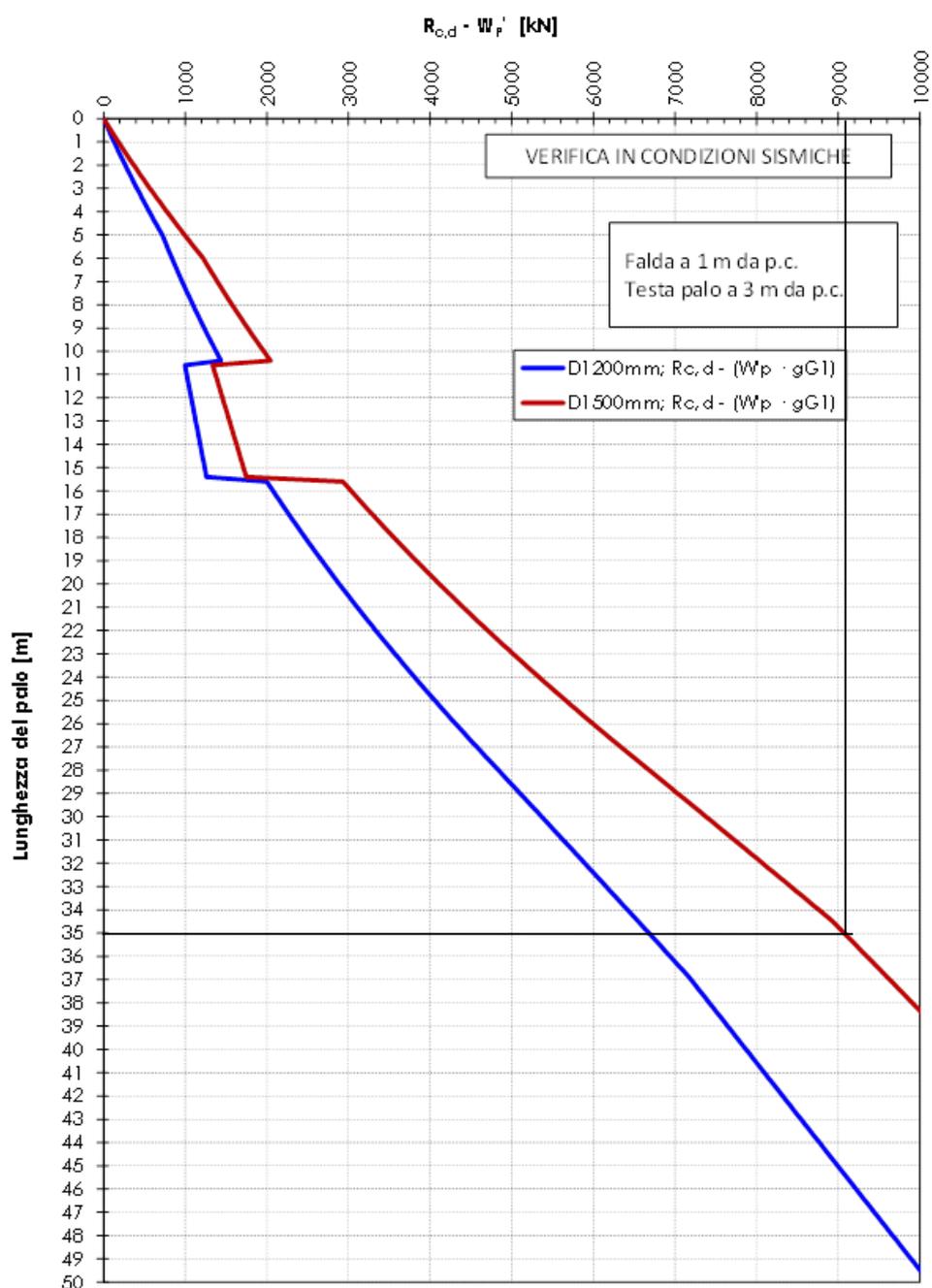
N°Comb	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Ψ	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	2.51	-0.01	---	---	---	0.400	---	0	---	113163.70
2	S	2.61	-0.21	---	---	---	0.400	---	0	---	7821.42
3	S	2.52	0.03	---	---	---	0.000	---	0	---	----
4	S	2.87	-0.45	---	0.125	1.00	0.400	0.000009 (0.000009)	243	0.004 (0.20)	4327.84
5	S	1.91	0.44	---	---	---	0.000	---	0	---	----
6	S	2.05	0.21	---	---	---	0.000	---	0	---	----
7	S	1.97	0.42	---	---	---	0.000	---	0	---	----
8	S	2.58	-0.52	---	0.125	1.00	0.400	0.000013 (0.000013)	243	0.005 (0.20)	3473.48
9	S	2.05	0.58	---	---	---	0.000	---	0	---	----
10	S	2.20	0.36	---	---	---	0.000	---	0	---	----
11	S	2.06	0.61	---	---	---	0.000	---	0	---	----
12	S	2.43	0.15	---	---	---	0.000	---	0	---	----
13	S	1.57	0.94	---	---	---	0.000	---	0	---	----
14	S	1.76	0.68	---	---	---	0.000	---	0	---	----
15	S	1.68	0.87	---	---	---	0.000	---	0	---	----
16	S	2.24	0.05	---	---	---	0.000	---	0	---	----
17	S	1.30	1.21	---	---	---	0.000	---	0	---	----
18	S	3.26	0.74	---	---	---	0.000	---	0	---	----
19	S	3.45	0.63	---	---	---	0.000	---	0	---	----
20	S	3.29	0.80	---	---	---	0.000	---	0	---	----
21	S	3.79	0.47	---	---	---	0.000	---	0	---	----
22	S	2.55	1.08	---	---	---	0.000	---	0	---	----
23	S	2.78	0.94	---	---	---	0.000	---	0	---	----
24	S	2.48	0.92	---	---	---	0.000	---	0	---	----
25	S	3.39	0.29	---	---	---	0.000	---	0	---	----
26	S	2.53	1.06	---	---	---	0.000	---	0	---	----
27	S	2.75	0.91	---	---	---	0.000	---	0	---	----
28	S	2.56	1.11	---	---	---	0.000	---	0	---	----
29	S	3.04	0.76	---	---	---	0.000	---	0	---	----
30	S	1.96	1.33	---	---	---	0.000	---	0	---	----
31	S	2.22	1.14	---	---	---	0.000	---	0	---	----

<b>Relazione di Predimensionamento</b> <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	99 di 115

32	S	1.95	1.14	---	----	----	0.000	----	0	----	-----
33	S	2.76	0.56	---	----	----	0.000	----	0	----	-----
34	S	1.35	1.26	---	----	----	0.000	----	0	----	-----

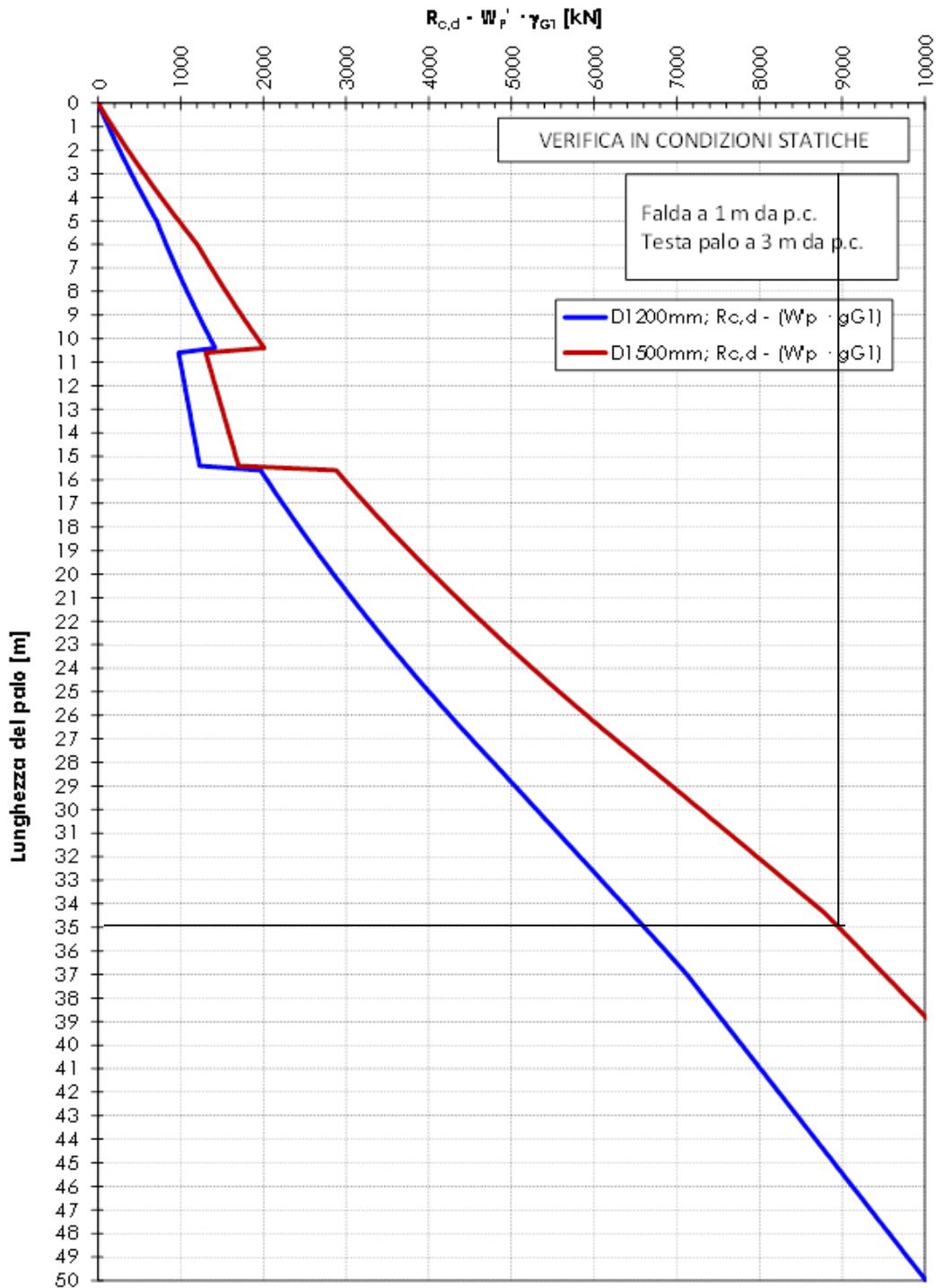
### 10.2.3 Pali – Verifica Geotecnica – carichi verticali

Di seguito si riportano le curve di capacità portante per i pali D1500.



**Relazione di Predimensionamento**  
**Pila – impalcati 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	101 di 115



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b> <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R09	DOCUMENTO CL VI01 001	REV. A

VERIFICHE DI CAPACITA' PORTANTE VERTICALE			
DATI SISTEMA DI FONDAZIONE			
D <sub>pali</sub>	1500	mm	Diametro pali
n <sub>pali</sub>	12	-	Numero pali
L <sub>pali</sub>	35	m	Lunghezza pali
SFORZI NEI PALI SLU			
N <sub>minSLU</sub>	8127	kN	Massimo sforzo normale di compressione sui pali
N <sub>minSLV</sub>	7653	kN	Massimo sforzo normale di compressione sui pali
RESISTENZE			
Q <sub>d,c</sub> SLU	8950	kN	Portata di progetto in compressione (in valore assoluto) SLU/SLV
Q <sub>d,TSLV</sub>	9050	kN	Portata di progetto in trazione SLV
VERIFICA DI PORTANZA VERTICALE			
$FS_{cSLU} = Q_{d,cSLU} / N_{minSLU} > 1$	1.10	-	Fattore di sicurezza carico limite a compressione SLU
$FS_{cSLV} = Q_{d,cSLV} / N_{minSLV} > 1$	1.17	-	Fattore di sicurezza carico limite a compressione SLV

### 10.2.4 Pali – Verifica Geotecnica – carichi orizzontali

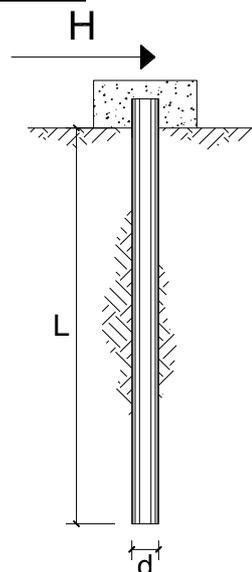
Per i pali di fondazione, le verifiche di capacità portante laterale dei pali di fondazione vengono eseguite secondo la consolidata metodologia di Broms (1964) per terreni incoerenti sotto falda attraverso un apposito foglio di calcolo, nell'ipotesi di palo incastrato in sommità. Le verifiche, riportate nelle pagine seguenti, risultano soddisfatte.

#### CARICO LIMITE ORIZZONTALE DI UN PALO IN TERRENI INCOERENTI PALI CON ROTAZIONE IN TESTA IMPEDITA

**OPERA:** VIADOTTO ISONZO

**TEORIA DI BASE:**

(Broms, 1964)



coefficienti parziali			A		M	R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	$\gamma_\phi$	$\gamma_\tau$
			$\gamma_G$	$\gamma_Q$		
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.00	1.60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.30
	SISMA	<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88		<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.25	1.00

n	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$	T.A.	prog.
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.40
$\xi_4$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.40

Palo corto: 
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2$$

Palo intermedio: 
$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo: 
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left( 3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4} \right)^2}$$

**Relazione di Predimensionamento**  
**Pila – impalcati 40m**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R09	CL VI01 001	A	104 di 115

**DATI DI INPUT:**

Lunghezza del palo	L =	35.00	(m)		
Diametro del palo	d =	1.50	(m)		
Momento di plasticizzazione della sezione	My =	8180.24	(kN m)		
Angolo di attrito del terreno	$\varphi'_{med} =$	35.00	(°)	$\varphi'_{min} =$	35.00 (°)
Angolo di attrito di calcolo del terreno	$\varphi'_{med,d} =$	35.00	(°)	$\varphi'_{min,d} =$	35.00 (°)
Coeff. di spinta passiva ( $k_p = (1 + \sin\varphi') / (1 - \sin\varphi')$ )	$k_{p_{med}} =$	3.69	(-)	$k_{p_{min}} =$	3.69 (-)
Peso di unità di volume (con falda $\gamma = \gamma'$ )	$\gamma =$	10.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
Carico Assiale Permanente (G):	G =	1504	(kN)		
Carico Assiale variabile (Q):	Q =		(kN)		

Palo corto:

$$H1_{med} = 101710.37 \text{ (kN)} \qquad H1_{min} = 101710.37 \text{ (kN)}$$

Palo intermedio:

$$H2_{med} = 34137.18 \text{ (kN)} \qquad H2_{min} = 34137.18 \text{ (kN)}$$

Palo lungo:

$$H3_{med} = 3685.31 \text{ (kN)} \qquad H3_{min} = 3685.31 \text{ (kN)}$$

$$H_{med} = 3685.31 \text{ (kN)} \quad \text{palo lungo} \qquad H_{min} = 3685.31 \text{ (kN)} \quad \text{palo lungo}$$

$$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) = 2167.83 \text{ (kN)}$$

$$H_d = H_k / \gamma_T = 1667.56 \text{ (kN)}$$

$$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 1504.00 \text{ (kN)}$$

$$FS = H_d / F_d = 1.11$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA VENEZIA TRIESTE</b>					
	<b>Relazione di Predimensionamento</b>  <b>Pila – impalcati 40m</b>	COMMESSA  IZ04	LOTTO  40	CODIFICA  R09	DOCUMENTO  CL VI01 001	REV.  A

## 11 INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Spettri di risposta elastici_SLV (Componente orizzontale e verticale) .....	23
Figura 2: Spettri di risposta di progetto (q=1,5)_SLV (Componente orizzontale e verticale) .....	28
Figura 3: Valori dei coefficienti parziali di sicurezza – Tabella 5.2.V del NTC 2018.....	32
Figura 4: Valori dei coefficienti di combinazione– Tabella 5.2.VI del NTC 2018 .....	33
Figura 5: Ulteriori valori dei coefficienti di combinazione – Tabella 5.2.VII del NTC 2018 .....	33
Figura 6: Valutazione dei carichi da traffico – Tabella 5.2.IV del NTC 2018 .....	33
Figura 7: Modello della pila ad oscillatore semplice.....	44
Figura 8: Disposizione dei pali di fondazione .....	70
Figura 9: Modello del plinto su pali (a sinistra) ed effetto flessionale su pali dovuto al carico assiale agente sul plinto (a destra).....	74
Figura 10: Effetto flessionale sui pali dovuti al momento flettente (a sinistra) e al taglio (a destra) agenti sul plinto .....	74
Figura 11: Sollecitazioni massime nei pali di fondazione .....	75
Figura 12: Schema a mensola del plinto su pali.....	76
Figura 13: Perimetro di verifica di base per punzonamento nel caso di palo d'angolo .....	85