

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J71H92000020011

## U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

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

OPERE PRINCIPALI – PONTI E VIADOTTI  
IV01 – NUOVO CAVALCAFERROVIA S.R.10

Sottostrutture: Relazione di predimensionamento

SCALA:

-

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

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

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

File: IQ0101R26RHIV0100001A

n. Elab.:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 26	CODIFICA RH	DOCUMENTO IV0100 001	REV. A

## INDICE

1. DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	4
2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
2.1 Normative .....	5
2.2 Elaborati di riferimento.....	5
3. MATERIALI.....	6
3.1 Calcestruzzo per fusto pila, pulvino ed elevazione spalla.....	6
3.2 Calcestruzzo per plinto e pali .....	6
3.3 Acciaio per barre di armature .....	6
4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	6
5. PILA P1 .....	7
6. MODELLI DI ANALISI E VERIFICA.....	7
6.1 Sistemi di riferimento ed unità di misura.....	7
7. ANALISI DEI CARICHI .....	8
7.1 Permanenti strutturali e non (G1 e G2).....	8
7.2 Carichi da traffico verticali (Q1) .....	8
7.3 Carichi da traffico orizzontali .....	10
7.3.1 Forza centrifuga (Q4).....	10
7.3.2 Frenamento e accelerazione.....	10
7.4 Azione del Vento (Q5) .....	11
7.5 Azione Sismica (E) .....	12
7.5.1 Inquadramento Sismico.....	12
7.5.2 Definizione della domanda sismica .....	12
7.5.3 Calcolo dell'azione Sismica .....	13
8. COMBINAZIONI DI CARICO.....	14
8.1 Sollecitazione base pila .....	14
8.2 Sollecitazione intradosso fondazione .....	14
9. VERIFICA ALLO SPICCATO DEL FUSTO.....	15
9.1 Verifica a presso flessione.....	15
10. PALI DI FONDAZIONE.....	21
11. SPALLA B.....	23

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA <b>IQ01</b>	LOTTO <b>01 R 26</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>IV0100 001</b>	REV. <b>A</b>

12. MODELLI DI ANALISI E VERIFICA.....	23
12.1 Sistemi di riferimento ed unità di misura.....	23
13. ANALISI DEI CARICHI .....	24
13.1 Permanenti strutturali e non (G1 e G2).....	24
13.2 Carichi da traffico verticali (Q1) .....	24
13.3 Carichi da traffico orizzontali .....	26
13.3.1 Forza centrifuga (Q4).....	26
13.3.2 Frenamento e accelerazione.....	26
13.4 Azione del Vento (Q5) .....	27
13.5 Spinta litostatica del terrapieno .....	27
13.6 Spinta statica della pavimentazione sul terrapieno.....	27
13.7 Spinta statica del sovraccarico agente sul terrapieno.....	28
13.8 Azione Sismica (E) .....	29
13.8.1 Inquadramento Sismico.....	29
13.8.2 Definizione della domanda sismica .....	29
13.8.3 Calcolo dell'azione Sismica .....	30
14. COMBINAZIONI DI CARICO.....	36
14.1 Sollecitazione intradosso fondazione .....	36
15. PALI DI FONDAZIONE.....	37

	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IQ01	01 R 26	RH	IV0100 001	A	4 di 38

## 1. DESCRIZIONE DELL'OPERA

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

Oggetto della presente relazione è il predimensionamento delle sottostrutture del cavalcaferrovia *IV01*. In particolare, si analizzano la pila *P1* e la *Spalla B*.

L'*IV01* interseca la *Tratta Tortona – Voghera* in corrispondenza del km 56+149,997 e si sviluppa per complessivi 80,00 m.

L'opera è costituita da:

- n° 3 campate a trave continua, di luce rispettivamente 24.0 m, 32.0 m e 24.0 m, con vincoli mobili in direzione longitudinale sulle pile.

L'impalcato in struttura mista acciaio-clc è costituito da n° 4 travi in acciaio di altezza 1.50 m, e da una soletta in c.a. gettata in opera, di spessore variabile da un minimo di 30 cm ad un massimo di 35 cm in corrispondenza dell'asse del viadotto, resa solidale alle travi attraverso connettori a piolo.

	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 26	CODIFICA RH	DOCUMENTO IV0100 001	REV. A

## 2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normative

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

- [1] *Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 Gennaio 2018 – Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»;*
- [2] *Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 Gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018;*
- [3] *RFI DTC SI PS MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture (31 Dicembre 2020);*
- [4] *RFI DTC SI CS MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 3 - Corpo Stradale (31 Dicembre 2020);*
- [5] *Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione europea modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 Maggio 2019.*

### 2.2 Elaborati di riferimento

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

### 3. MATERIALI

#### 3.1 Calcestruzzo per fusto pila, pulvino ed elevazione spalla

Classe C32/40

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

#### 3.2 Calcestruzzo per plinto e pali

Classe C25/30

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

#### 3.3 Acciaio per barre di armature

B450C

### 4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

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

Profondità (m da tp)		Unità geotecnica
da	a	
0	2	LAS
2	12	GLS
12	22	LAS
>22		MAR

	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA <b>IQ01</b>	LOTTO <b>01 R 26</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>IV0100 001</b>	REV. <b>A</b>

## 5. PILA P1

La pila in esame presenta un fusto a sezione piena in c.a., stonato alle estremità, di dimensioni esterne pari a 1.20 m x 17.70 m. La fondazione è costituita da una platea di spessore pari a 1.50 m, di dimensioni 3.20 m x 20.70 m, fondata su 66 micropali  $\phi$  300 ad interasse 0.90 m. L'altezza complessiva della pila, misurata da estradosso fondazione, è pari a 7.80 m.

## 6. MODELLI DI ANALISI E VERIFICA

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

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

### 6.1 Sistemi di riferimento ed unità di misura

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA <b>IQ01</b>	LOTTO <b>01 R 26</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>IV0100 001</b>	REV. <b>A</b>

## 7. ANALISI DEI CARICHI

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

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

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

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

IMPALCATO					
lunghezza travata	L	<b>24.00</b>	m	<b>32.00</b>	m
luce appoggi travata	L <sub>a</sub>	<b>24.00</b>	m	<b>32.00</b>	m
larghezza totale impalcato	B	<b>12.80</b>	m	<b>12.80</b>	m
peso permanente strutturale	G <sub>1</sub>	<b>4300</b>	kN	<b>5700</b>	kN
peso permanenti non strutturali	G <sub>2</sub>	<b>1340</b>	kN	<b>1780</b>	kN

### 7.2 Carichi da traffico verticali (Q1)

L'opera è stata progettata considerando le sollecitazioni dovute al carico da traffico stradale, in accordo a quanto previsto nelle NTC 2018.

I carichi verticali da traffico sono stati definiti considerando lo Schema di Carico 1 descritto nel § 5.1.3 delle NTC 2018, costituito da carichi concentrati su due assi in tandem e da carichi uniformemente distribuiti. Questo schema è da assumere come riferimento sia per le verifiche globali, sia per quelle locali, considerando un solo carico tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa.

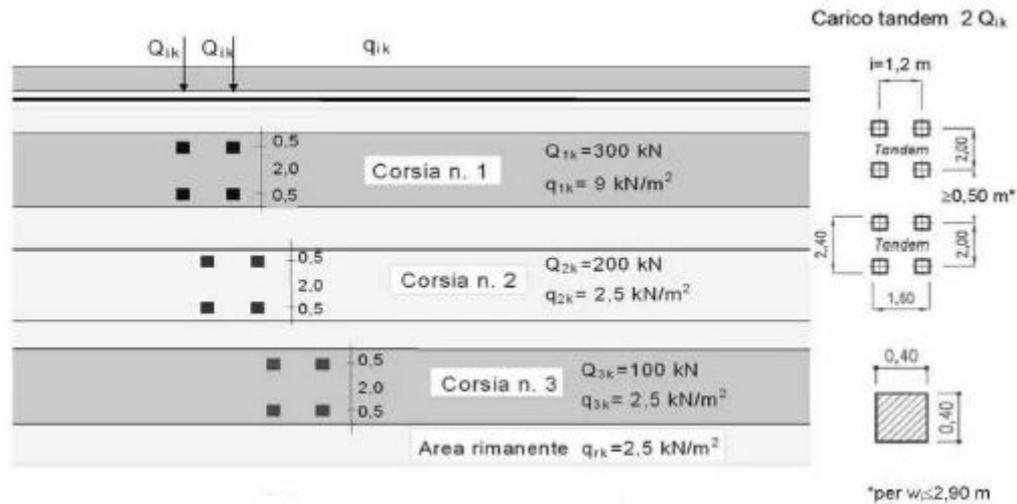


Figura 1 – Schema di Carico 1

La larghezza ed il numero delle corsie vengono definiti in maniera convenzionale. La disposizione delle corsie, inoltre, è stata determinata in modo da indurre le più sfavorevoli condizioni di progetto.

Larghezza della superficie carrabile "w"	Numero di corsie convenzionali	Larghezza di una corsia convenzionale [m]	Larghezza della zona rimanente [m]
$w < 5,40\text{ m}$	$n_y = 1$	3,00	$(w-3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0\text{ m}$	$n_y = 2$	$w/2$	0
$6,0\text{ m} \leq w$	$n_y = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - (3,00 \times n_y)$

Figura 2 – Numero e larghezza delle corsie

Compatibilmente con le larghezze precedentemente definite, sono state considerate le intensità dei carichi riportate di seguito.

Posizione	Carico asse $Q_{1k}$ [kN]	$q_{1k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Corsia Numero 1	300	9,00
Corsia Numero 2	200	2,50
Corsia Numero 3	100	2,50
Altre corsie	0,00	2,50

Figura 3 – Intensità dei carichi  $Q_{1k}$  e  $q_{1k}$  per le corsie

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA <b>IQ01</b>	LOTTO <b>01 R 26</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>IV0100 001</b>	REV. <b>A</b>

Si ottengono quindi, in testa alla pila, le seguenti caratteristiche di sollecitazione:

N	Mlong	Mtrasv	
[kN]	[kNm]	[kNm]	
2411	0	3275	<i>N max</i>
1966	0	4560	<i>M trasv max</i>

### 7.3 Carichi da traffico orizzontali

#### 7.3.1 Forza centrifuga (Q4)

Nei ponti con asse curvo di raggio R (in metri) l'azione centrifuga corrispondente ad ogni colonna di carico si valuta convenzionalmente come indicato nella tabella seguente, essendo  $Q_v = \sum_i 2Q_{ik}$  il carico totale dovuto agli assi tandem dello schema di carico 1 agenti sul ponte. Il carico concentrato, applicato a livello della pavimentazione, agisce in direzione normale all'asse del ponte.

Raggio di curvatura [m]	$q_4$ [kN]
$R < 200$	$0,2 Q_v$
$200 \leq R \leq 1500$	$40 Q_v/R$
$1500 \leq R$	0

Figura 4 – Valori caratteristici delle forze centrifughe

#### 7.3.2 Frenamento e accelerazione

La forza di frenamento o di accelerazione è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a:

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0.6 (2Q_{1k}) + 0.10 q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN}$$

essendo  $w_1$  la larghezza della corsia e L la lunghezza della zona caricata. La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione.

	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA <b>IQ01</b>	LOTTO <b>01 R 26</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>IV0100 001</b>	REV. <b>A</b>

## 7.4 Azione del Vento (Q5)

L'azione del vento può essere convenzionalmente assimilata ad un sistema di carichi statici, la cui componente principale è orizzontale e diretta ortogonalmente all'asse del ponte e/o diretta nelle direzioni più sfavorevoli per alcuni dei suoi elementi. Tale componente principale si considera agente sulla proiezione nel piano verticale delle superfici investite, ivi compresi i parapetti e le barriere di sicurezza stradale, ove previsti.

La superficie dei carichi transitanti sul ponte esposta al vento si assimila ad una parete rettangolare continua dell'altezza di 3 m a partire dal piano stradale.

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA <b>IQ01</b>	LOTTO <b>01 R 26</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>IV0100 001</b>	REV. <b>A</b>

## 7.5 Azione Sismica (E)

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

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

### 7.5.1 Inquadramento Sismico

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

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

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

In particolare, si è fatto riferimento alle seguenti coordinate:

Latitudine: 44.9077

Longitudine: 8.8742

### 7.5.2 Definizione della domanda sismica

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

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

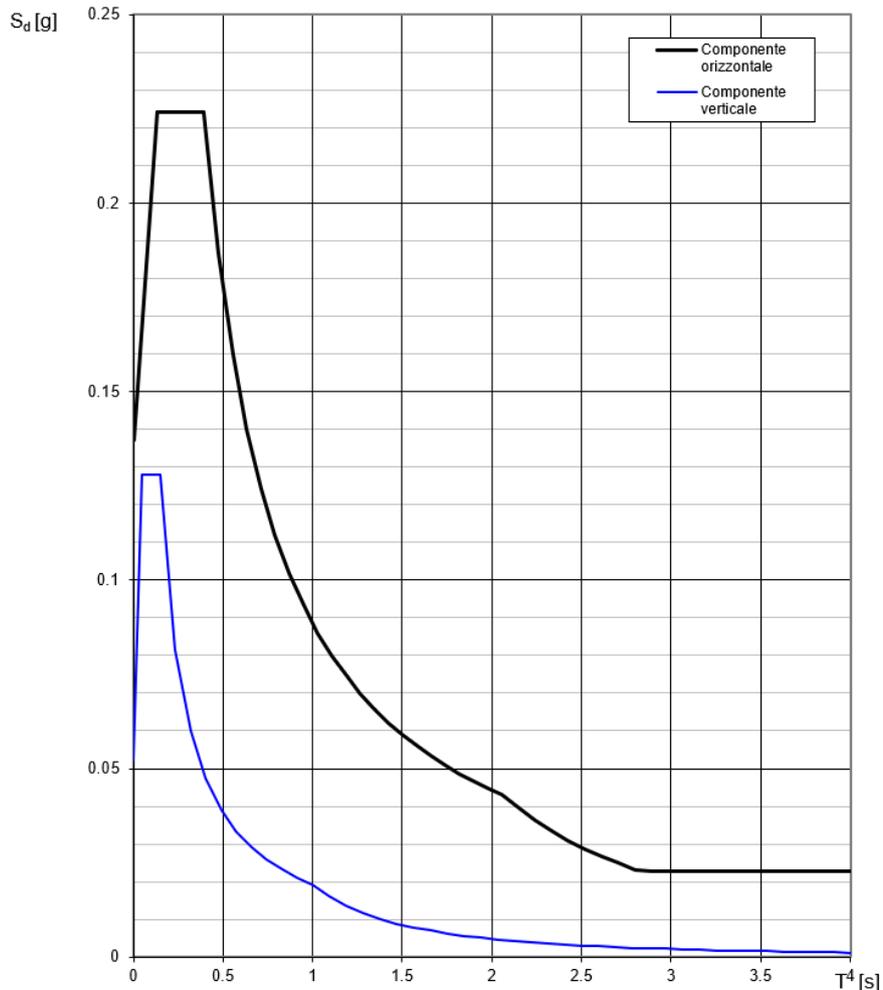


Figura 5 – Spettri di risposta per lo SLV

**7.5.3 Calcolo dell'azione Sismica**

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

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

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

	<b>T [s]</b>	<b>a [g]</b>
<b>Direzione Longitudinale</b>	0.158	0.224
<b>Direzione Trasversale</b>	0.034	0.159
<b>Direzione Verticale</b>	0.021	0.083

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 26	CODIFICA RH	DOCUMENTO IV0100 001	REV. A

## 8. COMBINAZIONI DI CARICO

Le sollecitazioni dovute ai carichi descritti nei paragrafi precedenti sono state combinate in ottemperanza alle NTC18.

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

### 8.1 Sollecitazione base pila

	<b>N</b>	<b>Tlong</b>	<b>Ttrasv</b>	<b>Mlong</b>	<b>Mtrasv</b>
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
<b>SLU_1</b>	18661	327	487	3873	12467
<b>SLU_2</b>	16995	327	487	3873	10113
<b>SLU_3</b>	16940	327	487	3873	11477

	<b>N</b>	<b>Tlong</b>	<b>Ttrasv</b>	<b>Mlong</b>	<b>Mtrasv</b>
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
<b>SLV_1</b>	11295	118	378	773	3629
<b>SLV_2</b>	10838	331	378	2546	3629
<b>SLV_3</b>	10838	118	1260	773	12095

### 8.2 Sollecitazione intradosso fondazione

	<b>N</b>	<b>Tlong</b>	<b>Ttrasv</b>	<b>Mlong</b>	<b>Mtrasv</b>
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
<b>SLU_1</b>	23176	327	487	4363	13197
<b>SLU_2</b>	21510	327	487	4363	10843
<b>SLU_3</b>	21456	327	487	4363	12208

	<b>N</b>	<b>Tlong</b>	<b>Ttrasv</b>	<b>Mlong</b>	<b>Mtrasv</b>
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
<b>SLV_1</b>	14815	220	480	1026	4272
<b>SLV_2</b>	14235	672	480	3298	4272
<b>SLV_3</b>	14235	220	1601	1026	14240

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA <b>IQ01</b>	LOTTO <b>01 R 26</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>IV0100 001</b>	REV. <b>A</b>

## 9. VERIFICA ALLO SPICCATO DEL FUSTO

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

L'armatura longitudinale è costituita da 182  $\phi 22$ .



Figura 6 - Sezione implementata in RC-SEC

### 9.1 Verifica a presso flessione

**DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.**  
**NOME FILE SEZIONE: PILA\_1.2X17.7\_fi22\_IV01\_1**

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

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

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

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]

Sottostrutture: Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 26	RH	IV0100 001	A	16 di 38

1	855.0	52.0
2	877.0	30.1
3	885.1	0.1
4	877.0	-29.9
5	855.0	-51.8
6	825.2	-60.0
7	-825.0	-60.0
8	-855.0	-51.8
9	-877.0	-29.9
10	-885.1	0.1
11	-877.0	30.1
12	-855.0	52.0
13	-825.0	60.0
14	825.0	60.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-825.0	52.0	22
2	-805.0	52.0	22
3	-785.0	52.0	22
4	-765.0	52.0	22
5	-745.0	52.0	22
6	-725.0	52.0	22
7	-705.0	52.0	22
8	-685.0	52.0	22
9	-665.0	52.0	22
10	-645.0	52.0	22
11	-625.0	52.0	22
12	-605.0	52.0	22
13	-585.0	52.0	22
14	-565.0	52.0	22
15	-545.0	52.0	22
16	-525.0	52.0	22
17	-505.0	52.0	22
18	-485.0	52.0	22
19	-465.0	52.0	22
20	-445.0	52.0	22
21	-425.0	52.0	22
22	-405.0	52.0	22
23	-385.0	52.0	22
24	-365.0	52.0	22
25	-345.0	52.0	22
26	-325.0	52.0	22
27	-305.0	52.0	22
28	-285.0	52.0	22
29	-265.0	52.0	22
30	-245.0	52.0	22
31	-225.0	52.0	22
32	-205.0	52.0	22
33	-185.0	52.0	22
34	-165.0	52.0	22
35	-145.0	52.0	22
36	-125.0	52.0	22
37	-105.0	52.0	22
38	-85.0	52.0	22
39	-65.0	52.0	22
40	-45.0	52.0	22
41	-25.0	52.0	22

Sottostrutture: Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 26	RH	IV0100 001	A	17 di 38

42	-8.5	52.0	22
43	-844.9	48.0	22
44	-861.8	36.8	22
45	-873.0	19.9	22
46	-877.0	0.0	22
47	-825.0	-52.0	22
48	-805.0	-52.0	22
49	-785.0	-52.0	22
50	-765.0	-52.0	22
51	-745.0	-52.0	22
52	-725.0	-52.0	22
53	-705.0	-52.0	22
54	-685.0	-52.0	22
55	-665.0	-52.0	22
56	-645.0	-52.0	22
57	-625.0	-52.0	22
58	-605.0	-52.0	22
59	-585.0	-52.0	22
60	-565.0	-52.0	22
61	-545.0	-52.0	22
62	-525.0	-52.0	22
63	-505.0	-52.0	22
64	-485.0	-52.0	22
65	-465.0	-52.0	22
66	-445.0	-52.0	22
67	-425.0	-52.0	22
68	-405.0	-52.0	22
69	-385.0	-52.0	22
70	-365.0	-52.0	22
71	-345.0	-52.0	22
72	-325.0	-52.0	22
73	-305.0	-52.0	22
74	-285.0	-52.0	22
75	-265.0	-52.0	22
76	-245.0	-52.0	22
77	-225.0	-52.0	22
78	-205.0	-52.0	22
79	-185.0	-52.0	22
80	-165.0	-52.0	22
81	-145.0	-52.0	22
82	-125.0	-52.0	22
83	-105.0	-52.0	22
84	-85.0	-52.0	22
85	-65.0	-52.0	22
86	-45.0	-52.0	22
87	-25.0	-52.0	22
88	-8.5	-52.0	22
89	-844.9	-48.0	22
90	-861.8	-36.8	22
91	-873.0	-19.9	22
92	825.0	53.8	22
93	805.0	53.8	22
94	785.0	53.8	22
95	765.0	53.7	22
96	745.0	53.7	22
97	725.0	53.6	22
98	705.0	53.6	22
99	685.0	53.5	22
100	665.0	53.5	22
101	645.0	53.4	22

Sottostrutture: Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 26	RH	IV0100 001	A	18 di 38

102	625.0	53.4	22
103	605.0	53.3	22
104	585.0	53.3	22
105	565.0	53.3	22
106	545.0	53.2	22
107	525.0	53.2	22
108	505.0	53.1	22
109	485.0	53.1	22
110	465.0	53.0	22
111	445.0	53.0	22
112	425.0	52.9	22
113	405.0	52.9	22
114	385.0	52.9	22
115	365.0	52.8	22
116	345.0	52.8	22
117	325.0	52.7	22
118	305.0	52.7	22
119	285.0	52.6	22
120	265.0	52.6	22
121	245.0	52.5	22
122	225.0	52.5	22
123	205.0	52.5	22
124	185.0	52.4	22
125	165.0	52.4	22
126	145.0	52.3	22
127	125.0	52.3	22
128	105.0	52.2	22
129	85.0	52.2	22
130	65.0	52.1	22
131	45.0	52.1	22
132	25.0	52.1	22
133	8.5	52.0	22
134	844.9	49.9	22
135	861.8	38.7	22
136	873.1	21.9	22
137	877.1	2.0	22
138	825.2	-50.2	22
139	805.2	-50.2	22
140	785.2	-50.2	22
141	765.2	-50.3	22
142	745.2	-50.3	22
143	725.2	-50.4	22
144	705.2	-50.4	22
145	685.2	-50.5	22
146	665.2	-50.5	22
147	645.2	-50.6	22
148	625.2	-50.6	22
149	605.2	-50.6	22
150	585.2	-50.7	22
151	565.2	-50.7	22
152	545.2	-50.8	22
153	525.2	-50.8	22
154	505.2	-50.9	22
155	485.2	-50.9	22
156	465.2	-51.0	22
157	445.2	-51.0	22
158	425.2	-51.1	22
159	405.2	-51.1	22
160	385.2	-51.1	22
161	365.2	-51.2	22

Sottostrutture: Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 26	RH	IV0100 001	A	19 di 38

162	345.2	-51.2	22
163	325.2	-51.3	22
164	305.2	-51.3	22
165	285.2	-51.4	22
166	265.2	-51.4	22
167	245.2	-51.5	22
168	225.2	-51.5	22
169	205.2	-51.5	22
170	185.2	-51.6	22
171	165.2	-51.6	22
172	145.2	-51.7	22
173	125.2	-51.7	22
174	105.2	-51.8	22
175	85.2	-51.8	22
176	65.2	-51.9	22
177	45.2	-51.9	22
178	25.2	-51.9	22
179	8.8	-52.0	22
180	845.1	-46.2	22
181	862.0	-34.8	22
182	873.2	-18.0	22

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

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

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	18661.00	3873.00	12467.00	0.00	0.00
2	16995.00	3873.00	10113.00	0.00	0.00
3	16940.00	3873.00	11477.00	0.00	0.00
4	11295.00	773.00	3629.00	0.00	0.00
5	10838.00	2546.00	3629.00	0.00	0.00
6	10838.00	773.00	12095.00	0.00	0.00

#### RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

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

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

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
--------	-----	---	----	----	-------	--------	--------	----------	-----------

Sottostrutture: Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01 R 26	RH	IV0100 001	A	20 di 38

1	S	18661.00	3873.00	12467.00	18660.87	24405.13	79026.60	6.34691.8(626.4)
2	S	16995.00	3873.00	10113.00	16995.17	23661.30	62596.87	6.18691.8(626.4)
3	S	16940.00	3873.00	11477.00	16940.15	23589.62	70090.97	6.11691.8(626.4)
4	S	11295.00	773.00	3629.00	11295.22	20484.11	98633.87	27.16691.8(626.4)
5	S	10838.00	2546.00	3629.00	10837.91	20576.28	29614.06	8.14691.8(626.4)
6	S	10838.00	773.00	12095.00	10838.12	16192.76	242588.85	20.06691.8(626.4)

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

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	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	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	825.0	60.0	0.00232	825.0	53.8	-0.02023	-825.0	-52.0
2	0.00350	825.0	60.0	0.00214	825.0	53.8	-0.02322	-825.0	-52.0
3	0.00350	825.0	60.0	0.00221	825.0	53.8	-0.02218	-825.0	-52.0
4	0.00350	825.0	60.0	0.00232	825.0	53.8	-0.02090	-825.0	-52.0
5	0.00350	825.0	60.0	0.00150	825.0	53.8	-0.03397	-825.0	-52.0
6	0.00350	825.0	60.0	0.00315	825.0	53.8	-0.01186	-825.0	-52.0

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

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000001388	0.000191411	-0.009129089	----	----
2	0.000001179	0.000221159	-0.010741559	----	----
3	0.000001293	0.000210201	-0.010177879	----	----
4	0.000001821	0.000191041	-0.009464134	----	----
5	0.000000613	0.000325511	-0.016535199	----	----
6	0.000005400	0.000057559	-0.004408705	----	----

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA <b>IQ01</b>	LOTTO <b>01 R 26</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>IV0100 001</b>	REV. <b>A</b>

## 10. PALI DI FONDAZIONE

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

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

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

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

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

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

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

Considerando le sollecitazioni riportate nel paragrafo 8.2 della presente relazione è possibile calcolare lo sforzo assiale massimo e minimo nei pali di fondazione per tutte le combinazioni analizzate.

Nella tabella seguente i riassumono i risultati ottenuti.

	<b>Nmax</b>	<b>Nmin</b>	<b>V</b>
	<b>[kN]</b>	<b>[kN]</b>	<b>[kN]</b>
<b>SLU_1</b>	499	203	9
<b>SLU_2</b>	464	188	9
<b>SLU_3</b>	469	181	9
<b>SLV_1</b>	264	184	8
<b>SLV_2</b>	303	129	13
<b>SLV_3</b>	299	132	24

Utilizzando per i micropali un tubolare  $\varnothing$  193.7 x 10.0, e considerando la stratigrafia del sito in esame, descritta nel § 4 della presente relazione, si assume una lunghezza di 15 m, di cui 5 m di tratto a vuoto e 10 m di tratto iniettato.

**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

**Capacità portante di fusto**

$$QI = \sum_i \pi * Ds_i * s_i * Is_i$$

Tipo di Terreno	Spessore $Is_i$ (m)	$\alpha$ (-)	$Ds_i = \alpha * D$ (m)	$S_i$ media (MPa)	$S_i$ minima (MPa)	$S_i$ calcolo (MPa)	$Qsi$ (kN)
R+L	0.00	1.40	0.42	0.130	0.130	0.066	0.00
GLS	10.00	1.40	0.42	0.250	0.250	0.128	1687.30
L	0.00	1.40	0.42	0.180	0.180	0.092	0.00

$Ls = 10.00$  (m)

$QI = 1687.30$  (kN)

**Capacità portante di punta**

$Qp = \%Punta * QI$

(consigliato 10-15%)

% Punta

0%

$Qp = 0.00$  (kN)

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

$Qlim = Qb + QI$

$Qlim = 1687.30$  (kN)

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

$Fs = Qlim / N$  ( $Fs > 1$ )

$Fs = 3.38$

	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b>					
	<b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</b>					
<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>						
Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IQ01	01 R 26	RH	IV0100 001	A	23 di 38

## 11. SPALLA B

Si analizza la *Spalla B*, caratterizzata da un sistema di vincolo dell'impalcato in direzione longitudinale di tipo fisso.

La spalla, su cui poggia l'impalcato in struttura mista acciaio-clc., è realizzata in c.a. È costituita da una trave paraghiaia e da muri di risvolto per il contenimento del rilevato, mentre gli appoggi sono posizionati direttamente al di sopra della platea di fondazione, che presenta una pianta di dimensioni 6.20 m x 17.91 m e spessore 1.50 m, e poggia su 10 pali  $\phi$  1200.

## 12. MODELLI DI ANALISI E VERIFICA

Le sollecitazioni di verifica della spalla sono state determinate a partire dai valori delle risultanti delle azioni trasmesse dagli impalcato alla quota degli apparecchi di appoggio alle quali vanno combinate le azioni determinate dalle spinte del terreno di riempimento e del sovraccarico in condizioni sia statiche che sismiche e le azioni date dalle forze di inerzia e dal peso proprio delle sottostrutture.

Tutti i muri sono considerati sconnessi fra loro per la valutazione delle sollecitazioni alla base e quindi le azioni provenienti dall'impalcato sono applicate solamente al muro frontale. Tale schema pur risultando cautelativo, non fornisce sovrastime eccessive.

Il modello della struttura è stato implementato in un foglio di calcolo appositamente realizzato per la valutazione delle azioni agenti sulle singole parti della struttura, quali muro frontale, paraghiaia e muro andatore che vengono tutti modellati come delle mensole incastrate alla base.

### 12.1 Sistemi di riferimento ed unità di misura

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

## 13. ANALISI DEI CARICHI

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

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

Per il terrapieno si è considerato invece un peso specifico di 20 kN/m<sup>3</sup>.

Si considera inoltre un carico uniformemente distribuito su una superficie di lunghezza pari a quella del terrapieno e larghezza pari a 9.5 m per tener conto della presenza della pavimentazione stradale.

Tale carico è ottenuto moltiplicando il peso specifico della pavimentazione per uno spessore assunto pari a 0.2 m.

$$q = 24.0 \cdot 0.2 = 4.8 \text{ kN/m}^2$$

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

IMPALCATO			
lunghezza travata	L	24.00	m
luce appoggi travata	L <sub>a</sub>	24.00	m
larghezza totale impalcato	B	12.80	m
peso permanente strutturale	G <sub>1</sub>	4300	kN
peso permanenti non strutturali	G <sub>2</sub>	1340	kN

### 13.2 Carichi da traffico verticali (Q1)

L'opera è stata progettata considerando le sollecitazioni dovute al carico da traffico stradale, in accordo a quanto previsto nelle NTC 2018.

I carichi verticali da traffico sono stati definiti considerando lo Schema di Carico 1 descritto nel § 5.1.3 delle NTC 2018, costituito da carichi concentrati su due assi in tandem e da carichi uniformemente distribuiti. Questo schema è da assumere come riferimento sia per le verifiche globali, sia per quelle locali, considerando un solo carico tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa.

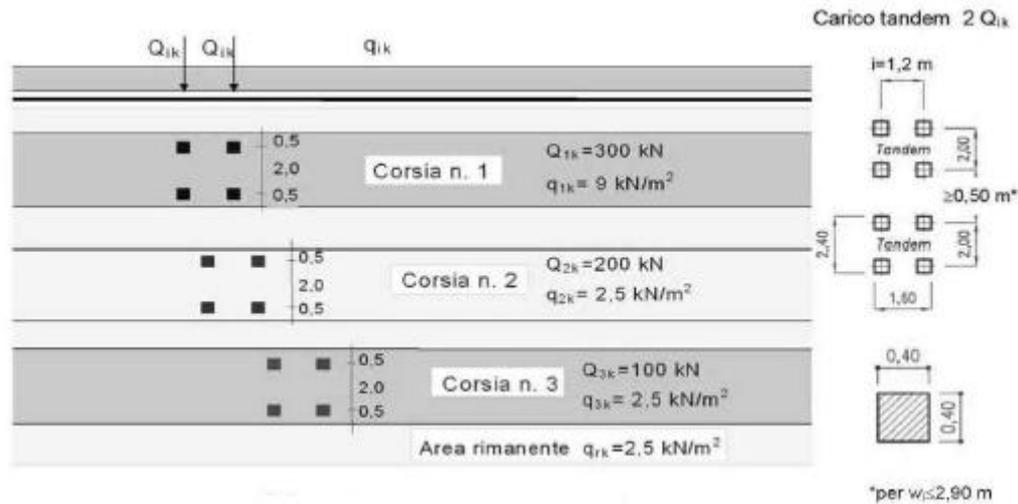


Figura 7 – Schema di Carico 1

La larghezza ed il numero delle corsie vengono definiti in maniera convenzionale. La disposizione delle corsie, inoltre, è stata determinata in modo da indurre le più sfavorevoli condizioni di progetto.

Larghezza della superficie carrabile "w"	Numero di corsie convenzionali	Larghezza di una corsia convenzionale [m]	Larghezza della zona rimanente [m]
$w < 5,40 \text{ m}$	$n_y = 1$	3,00	$(w - 3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0 \text{ m}$	$n_y = 2$	$w/2$	0
$6,0 \text{ m} \leq w$	$n_y = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - (3,00 \times n_y)$

Figura 8 – Numero e larghezza delle corsie

Compatibilmente con le larghezze precedentemente definite, sono state considerate le intensità dei carichi riportate di seguito.

Posizione	Carico asse $Q_{1k}$ [kN]	$q_{1k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Corsia Numero 1	300	9,00
Corsia Numero 2	200	2,50
Corsia Numero 3	100	2,50
Altre corsie	0,00	2,50

Figura 9 – Intensità dei carichi  $Q_{1k}$  e  $q_{1k}$  per le corsie

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA <b>IQ01</b>	LOTTO <b>01 R 26</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>IV0100 001</b>	REV. <b>A</b>

Inoltre, la presenza dei carichi da traffico al di sopra del rilevato è stata considerata attraverso un carico uniformemente distribuito pari a 20 kN/m<sup>2</sup>.

### 13.3 Carichi da traffico orizzontali

#### 13.3.1 Forza centrifuga (Q4)

Nei ponti con asse curvo di raggio R (in metri) l'azione centrifuga corrispondente ad ogni colonna di carico si valuta convenzionalmente come indicato nella tabella seguente, essendo  $Q_v = \sum_i 2Q_{ik}$  il carico totale dovuto agli assi tandem dello schema di carico 1 agenti sul ponte. Il carico concentrato, applicato a livello della pavimentazione, agisce in direzione normale all'asse del ponte.

Raggio di curvatura [m]	$q_4$ [kN]
$R < 200$	$0,2 Q_v$
$200 \leq R \leq 1500$	$40 Q_v/R$
$1500 \leq R$	0

Figura 10 – Valori caratteristici delle forze centrifughe

#### 13.3.2 Frenamento e accelerazione

La forza di frenamento o di accelerazione è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a:

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0.6 (2Q_{1k}) + 0.10 q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN}$$

essendo  $w_1$  la larghezza della corsia e L la lunghezza della zona caricata. La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione.

	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IQ01	01 R 26	RH	IV0100 001	A	27 di 38

### 13.4 Azione del Vento (Q5)

L'azione del vento può essere convenzionalmente assimilata ad un sistema di carichi statici, la cui componente principale è orizzontale e diretta ortogonalmente all'asse del ponte e/o diretta nelle direzioni più sfavorevoli per alcuni dei suoi elementi. Tale componente principale si considera agente sulla proiezione nel piano verticale delle superfici investite, ivi compresi i parapetti e le barriere di sicurezza stradale, ove previsti.

La superficie dei carichi transitanti sul ponte esposta al vento si assimila ad una parete rettangolare continua dell'altezza di 3 m a partire dal piano stradale.

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

### 13.5 Spinta litostatica del terrapieno

Si assume per il terreno a tergo delle spalle un angolo di attrito  $\varphi' = 38^\circ$  ed un peso per unità di volume  $\gamma_T = 20 \text{ kN/m}^3$ .

Nell'ipotesi di spostamenti molto piccoli della struttura rispetto al terreno, la spinta del terrapieno viene valutata sulla base dello stato di riposo:

$$S(z) = k_0 \cdot \gamma_T \cdot z$$

in cui  $k_0 = 1 - \text{sen}\varphi = 0.384$  è il coefficiente di spinta a riposo

### 13.6 Spinta statica della pavimentazione sul terrapieno

La spinta viene valutata considerando il carico uniformemente distribuito rappresentativo dello strato di pavimentazione presente al di sopra del terrapieno, e descritto nel §13.1 della presente relazione. Nell'ipotesi di spostamenti molto piccoli della struttura rispetto al terreno, la spinta della pavimentazione viene valutata sulla base dello stato di riposo:

$$S(z) = k_0 \cdot q$$

in cui  $k_0 = 1 - \text{sen}\varphi = 0.384$  è il coefficiente di spinta a riposo

	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 26	CODIFICA RH	DOCUMENTO IV0100 001	REV. A

### 13.7 Spinta statica del sovraccarico agente sul terrapieno

La spinta viene valutata considerando il sovraccarico accidentale descritto nel §13.2 della presente relazione. Nell'ipotesi di spostamenti molto piccoli della struttura rispetto al terreno, la spinta del sovraccarico accidentale viene valutata sulla base dello stato di riposo:

$$S(z) = k_0 \cdot q$$

in cui  $k_0 = 1 - \sin\varphi = 0.384$  è il coefficiente di spinta a riposo

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA <b>IQ01</b>	LOTTO <b>01 R 26</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>IV0100 001</b>	REV. <b>A</b>

## 13.8 Azione Sismica (E)

L'azione sismica di progetto è rappresentata dalla massima accelerazione al suolo, definita in base alla pericolosità sismica di base del sito ove sorge l'opera in oggetto, la vita di riferimento e le caratteristiche del sottosuolo.

Di seguito si riportano i parametri di input utilizzati per la definizione dell'azione sismica.

### 13.8.1 Inquadramento Sismico

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

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

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

In particolare, si è fatto riferimento alle seguenti coordinate:

Latitudine: 44.9077

Longitudine: 8.8742

### 13.8.2 Definizione della domanda sismica

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

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

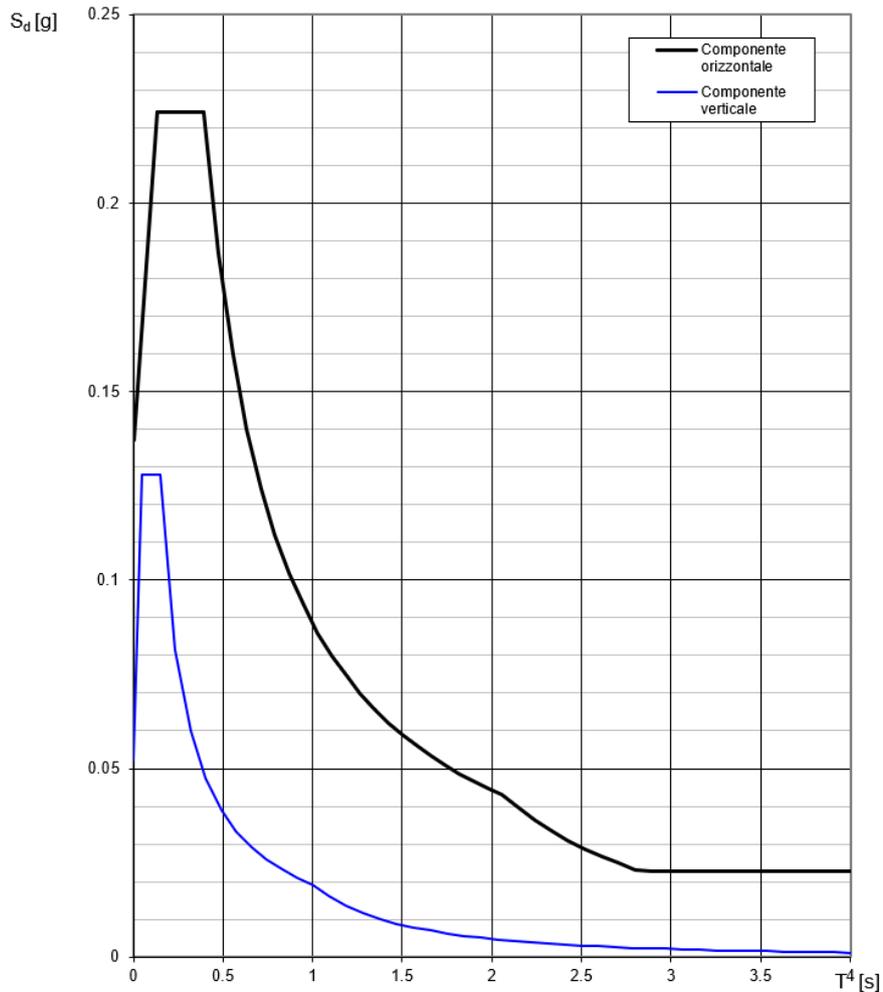


Figura 11 – Spettri di risposta per lo SLV

13.8.3 Calcolo dell'azione Sismica

L'azione sismica viene considerata attraverso un'analisi pseudo-statica. In particolare, le azioni di inerzia in direzione orizzontale sono calcolate come:

$$F_h = k_h \cdot W$$

in cui  $k_h$  è il coefficiente sismico orizzontale:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

L'accelerazione orizzontale  $a_{max}$  viene ricavata dallo spettro di progetto in corrispondenza del periodo  $T_B$ .

Il coefficiente  $\beta_m$  assume valore unitario.

Per le azioni inerziali in direzione verticale, invece, risulta valida la seguente espressione:

$$F_v = k_v \cdot W$$

dove:

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Si ottengono di conseguenza i seguenti valori:

$a_{max}$	0.224	g
$k_h$	0.224	-
$k_v$	0.112	-

### - Spinta del terrapieno in condizioni sismiche

La spinta esercitata dal terrapieno in condizioni sismiche viene valutata con la teoria di Mononobe-Okabe, considerando il raggiungimento delle condizioni di equilibrio limite attivo:

$$S_{\alpha,E} = S_{\alpha} + \Delta S_{\alpha,E}$$

dove  $S_{\alpha}$  rappresenta la spinta attiva del terreno valutata in condizioni statiche, e  $\Delta S_{\alpha,E}$  l'incremento dovuto all'azione sismica.

In particolare, la spinta attiva in condizioni statiche è:

$$S_{\alpha}(z) = k_{\alpha} \cdot \gamma_T \cdot z$$

dove  $k_a$  viene valutato con la formula di Rankine:

$$k_a = \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'} = 0.238$$

L'espressione di Mononobe-Okabe permette di calcolare direttamente la risultante delle due componenti, che risulta quindi pari a:

$$S_{a,E}(z) = k_{a,E} \cdot \gamma_T \cdot z \cdot (1 \pm k_v)$$

Il coefficiente di spinta attiva in condizioni sismiche viene calcolato come:

$$K_{a,E} = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha - \delta - \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \beta - \theta)}{\sin(\alpha - \delta - \theta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

dove:

- $\alpha$  = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale del paramento del muro, pari a 90°;
- $\varphi$  = angolo d'attrito del terrapieno, pari a 38°;
- $\delta$  = angolo d'attrito muro-terreno, pari a 0°;
- $\beta$  = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno, pari a 0°.

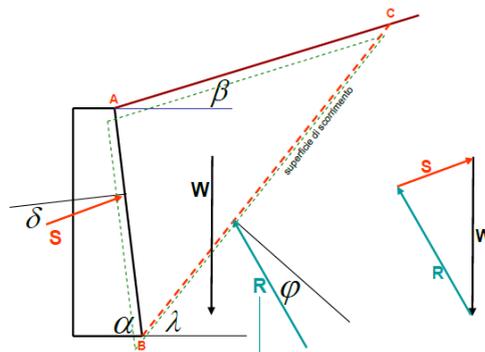


Figura 12 – Parametri per il calcolo del coefficiente di spinta attiva in condizioni sismiche

L'angolo  $\theta$  tiene conto invece della presenza della componente verticale dell'azione sismica:

$$\theta = \arctan\left(\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

In particolare, nel calcolo di  $\theta$  e in quello di  $S_{a,E}$  si è considerato solo il caso  $1 - k_v$  essendo risultato essere quello più gravoso.

In questo caso  $k_h$  e  $k_v$  sono calcolati considerando un'accelerazione orizzontale pari a:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- $S$  = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ );
- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Si ottengono di conseguenza i seguenti valori:

$a_{max}$	0.137	<b>g</b>
$k_h$	0.137	-
$k_v$	0.068	-
$k_{aE}$	0.319	-

### - Spinta della pavimentazione sul terrapieno in condizioni sismiche

La spinta viene valutata, attraverso l'espressione di Mononobe-Okabe, considerando il carico uniformemente distribuito rappresentativo dello strato di pavimentazione presente al di sopra del terrapieno, nell'ipotesi di raggiungimento delle condizioni di equilibrio limite attivo:

$$S_{a,E}(z) = k_{a,E} \cdot q \cdot (1 - k_v)$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA IQ01	LOTTO 01 R 26	CODIFICA RH	DOCUMENTO IV0100 001	REV. A

in cui:

- $q$  è il carico della pavimentazione;
- $k_{a,E}$  è il coefficiente di spinta attiva in condizioni sismiche.

#### **- Spinta del sovraccarico agente sul terrapieno in condizioni sismiche**

La spinta viene valutata, attraverso l'espressione di Mononobe-Okabe, considerando il sovraccarico accidentale nell'ipotesi di raggiungimento delle condizioni di equilibrio limite attivo:

$$S_{a,E}(z) = k_{a,E} \cdot q \cdot (1 - k_v)$$

in cui:

- $q$  è il sovraccarico accidentale;
- $k_{a,E}$  è il coefficiente di spinta attiva in condizioni sismiche.

#### **- Azioni di inerzia legate alla massa dell'impalcato**

Le azioni inerziali trasmesse dall'impalcato sono dovute alla massa degli elementi strutturali e non strutturali.

Si riassumono di seguito le azioni verticali provenienti dall'impalcato ed agenti sugli apparecchi d'appoggio.

Avendo uno schema statico a trave continua, in direzione longitudinale l'inerzia di tutto l'impalcato viene assorbita dalla spalla in esame, caratterizzata da un sistema di vincolo di tipo fisso, mentre nella direzione trasversale e in quella verticale viene ripartita fra tutte le sottostrutture.

#### **- Azioni di inerzia legate alla massa degli elementi strutturali**

Le azioni di inerzia degli elementi strutturali sono calcolate come:

$$F_h = k_h \cdot W$$

dove  $W$  è il peso dei diversi elementi strutturali che compongono la spalla.

In direzione verticale, invece, la risultante della forza di inerzia viene calcolata come:

$$F_v = k_v \cdot W$$

**- Azioni di inerzia legate alla massa del terrapieno**

La risultante della forza di inerzia in direzione orizzontale viene calcolata come:

$$F_h = k_h \cdot W$$

dove  $W$  è il peso del volume di terreno all'interno della spalla.

In direzione verticale, invece, la risultante della forza di inerzia viene calcolata come:

$$F_v = k_v \cdot W$$

**- Azioni di inerzia legate alla massa della pavimentazione sul terrapieno**

La risultante della forza d'inerzia in direzione orizzontale è calcolata come:

$$F_h = k_h \cdot W_b$$

dove  $W_b$  è il peso complessivo della pavimentazione presente sul terrapieno.

**- Azioni di inerzia legate al sovraccarico agente sul terrapieno**

La risultante della forza d'inerzia in direzione orizzontale è calcolata come:

$$F_h = k_h \cdot W_q$$

dove  $W_q$  è il peso complessivo del sovraccarico accidentale agente sul terrapieno.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA MILANO-GENOVA</b> <b>INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE: QUADRUPPLICAMENTO</b> <b>TORTONA-VOGHERA</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	Sottostrutture: Relazione di predimensionamento	COMMESSA <b>IQ01</b>	LOTTO <b>01 R 26</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>IV0100 001</b>	REV. <b>A</b>

## 14. COMBINAZIONI DI CARICO

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

In particolar modo, sono state definite 2 combinazioni di carico in condizioni statiche (SLU) e 3 in condizioni sismiche (SLV), in modo da considerare l'azione sismica prevalente nelle tre direzioni principali della struttura. Le sollecitazioni sono state calcolate all'intradosso della platea di fondazione.

### 14.1 Sollecitazione intradosso fondazione

	<b>N</b>	<b>T<sub>x</sub></b>	<b>T<sub>y</sub></b>	<b>M<sub>x</sub></b>	<b>M<sub>y</sub></b>
	<b>[kN]</b>	<b>[kN]</b>	<b>[kN]</b>	<b>[kNm]</b>	<b>[kNm]</b>
<b>SLU_1</b>	-17541	1806	157	-5341	4867
<b>SLU_2</b>	-15657	3071	157	-3826	10335
<b>SLV_1</b>	-10224	6714	690	-1191	11884
<b>SLV_2</b>	-10224	2445	2299	-3969	3901
<b>SLV_3</b>	-10999	2445	690	-1191	3878

## 15. PALI DI FONDAZIONE

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

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

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

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

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

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

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

Considerando le sollecitazioni riportate nel paragrafo 14.1 della presente relazione è possibile calcolare lo sforzo assiale massimo e minimo nei pali di fondazione per tutte le combinazioni analizzate.

Nella tabella seguente si riassumono i risultati ottenuti.

	Nmax	Nmin	V
	[kN]	[kN]	[kN]
SLU_1	2159	1350	181
SLU_2	2216	915	308
SLV_1	1681	364	675
SLV_2	1338	707	336
SLV_3	1337	863	254

Si riporta di seguito la curva di portanza per pali  $\phi$  1200, calcolata considerando la stratigrafia del sito in esame, descritta nel § 4 della presente relazione. La lunghezza assunta per il palo, in base a tale curva, è pari a 20 m.

