

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J47109000030009

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO MILANO-ROGOREDO-PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

OPERE PRINCIPALI – PONTI E VIADOTTI

VI06-VI07 - Nuovo ponte sul Cavo Borromeo Km 15+734,03

Relazione di calcolo pila

SCALA:

-

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

N M 0 Z 2 0 D 2 6 C L V I 0 6 0 5 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	CONSORZIO INTEGRATA	Novembre 2018	F.Coppini/A.Maran 	Novembre 2018	S. Borelli 	Novembre 2018	F. Borelli Novembre 2018 	

ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD
Dott. Ing. Francesco Borelli
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
n. 25172 Sez. A

File: NM0Z20D26CLVI0605001A

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	5
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	8
2.1	NORMATIVA E ISTRUZIONI	8
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI	9
3.1	CALCESTRUZZO	9
3.2	ACCIAIO	9
3.2.1	<i>Acciaio per cemento armato</i>	9
4	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI	10
5	CARATTERISTICHE DELLA PILA	11
5.1	GEOMETRIA DELLA PILA	11
6	ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO	12
6.1	CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI (G1)	12
6.2	CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (G2)	12
6.3	AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO	12
6.3.1	<i>Treno di carico LM 71</i>	13
6.3.2	<i>Treno di carico SW</i>	14
6.3.3	<i>Treno scarico</i>	15
6.3.4	<i>Schemi di carico adottati</i>	15
6.3.5	<i>Effetti dinamici</i>	16
6.4	AZIONE LATERALE DI SERPEGGIO	17
6.5	AZIONI DI AVVIAMENTO E FRENATURA	17
6.6	AZIONE DEL VENTO	17
6.7	AZIONE SISMICA	21
6.7.1	<i>Vita nominale</i>	21

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLVI0605001	-A	3 di 77

6.7.2	Classe d'uso	21
6.7.3	Periodo di riferimento	22
6.7.4	Valutazione dei parametri di pericolosità sismica	22
6.7.5	Caratterizzazione sismica del terreno	23
6.7.5.1	Categorie di Sottosuolo	23
6.7.5.2	Condizioni topografiche	24
6.7.5.3	Amplificazione Stratigrafica e Topografica	24
6.7.6	Parametri sismici di calcolo	25
6.7.7	Definizione delle azioni sismiche derivanti dall'impalcato	29
6.8	RIEPILOGO DELLE AZIONI DEL TRAFFICO FERROVIARIO DELL'IMPALCATO	30
6.9	FORZE DI INERZIA DOVUTE AL SISMA	33
6.10	RIEPILOGO DELLE AZIONI DERIVANTI DALLA PILA RISPETTO AL BARICENTRO DELLA FONDAZIONE	34
6.10.1	Pesi propri pila	34
6.10.2	Inerzie ed incremento di spinta sismica	34
6.11	RIEPILOGO DELLE AZIONI DERIVANTI DALL'IMPALCATO	34
6.11.1	Azioni ad intradosso baggiolo	34
6.11.2	Azioni a baricentro intradosso plinto	36
6.12	RIEPILOGO COMPLESSIVO DELLE AZIONI A BARICENTRO INTRADOSSO PLINTO	38
7	COMBINAZIONI DI CARICO	40
7.1	COMBINAZIONI SLU	42
7.1.1	Combinazioni SLU STR	42
7.1.2	Combinazioni SLU GEO	43
7.2	COMBINAZIONI SLE	43
7.2.1	Combinazioni SLE RARA	44
7.2.2	Combinazioni SLE FREQUENTE	44
7.2.3	Combinazioni SLE QUASI PERMANENTE	44
7.3	COMBINAZIONI SISMICHE	45

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	4 di 77

7.3.1	Combinazioni SLV STR	45
7.3.2	Combinazioni SLV GEO	45
7.4	SOLLECITAZIONI COMBinate	46
8	CALCOLO SOLLECITAZIONI SUI SINGOLI PALI DI FONDAZIONE	49
9	VERIFICHE STRUTTURALI DEI PALI DI FONDAZIONE	54
9.1	VERIFICA A PRESSOFLESSIONE ALLO SLU	54
9.2	VERIFICA A PRESSOFLESSIONE ALLO SLE	56
9.2.1	Stato limite di formazione delle fessure	59
9.2.2	Verifica delle tensioni di esercizio	59
9.3	VERIFICA A TAGLIO	60
10	VERIFICA DEL PLINTO DI FONDAZIONE	62
10.1	SOLLECITAZIONI	62
10.2	VERIFICA A PRESSOFLESSIONE	63
10.2.1	SLU	64
10.2.2	SLE	65
10.2.2.1	Stato limite di formazione delle fessure	65
10.2.2.2	Verifica delle tensioni di esercizio	66
10.3	VERIFICA A TAGLIO	66
11	VERIFICA DEL FUSTO	68
11.1	SOLLECITAZIONI AL PIEDE DEL FUSTO	68
11.2	SOLLECITAZIONI AL PIEDE DEL FUSTO COMBinate	70
11.3	VERIFICA A PRESSOFLESSIONE	73
11.3.1	SLU	73
11.3.2	SLE	75
11.3.2.1	Stato limite di formazione delle fessure	75
11.3.2.2	Verifica delle tensioni di esercizio	76
11.4	VERIFICA A TAGLIO	76

1 PREMESSA

Nell’ambito degli interventi di potenziamento della linea Milano – Genova, si prevede il quadruplicamento della linea ferroviaria nella tratta Milano Rogoredo-Pavia; in prima fase il quadruplicamento interesserà il tratto di linea compreso fra le stazioni di Milano Rogoredo e Pieve Emanuele, per essere esteso in fase successiva fino a Pavia.

Il quadruplicamento in oggetto, a partire dall’uscita della stazione Milano Rogoredo, prosegue in affiancamento alla linea storica e su una nuova sede e si sviluppa a sud di Milano, estendendosi per circa 30 km lungo l’attuale linea ferroviaria tra i nodi di Milano Rogoredo e Pavia.



Figura 1-1 – Ubicazione del tracciato dell’opera in progetto

La presente relazione si riferisce alla WBS VI06-VI07 (Nuovo ponte sul Cavo Borromeo) sulla tratta ferroviaria Milano Rogoredo – Pavia dal km 15+734,03 al km 15+764,89.

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLVI0605001	-A	6 di 77

Il presente documento costituisce la relazione di calcolo della pila dell'opera.

L'impalcato è costituito da due vasche in acciaio su ciascuna delle quali trova sede un binario.

Il ponte a doppia campata in semplice appoggio.

Le luci delle due campate del ponte misurate tra gli appoggi sono pari a 16m e 14m.

Le lunghezze complessive degli impalcati sono pari rispettivamente a 16.95m e 14.95m.

La fondazione della pila è costituita da un plinto su pali.

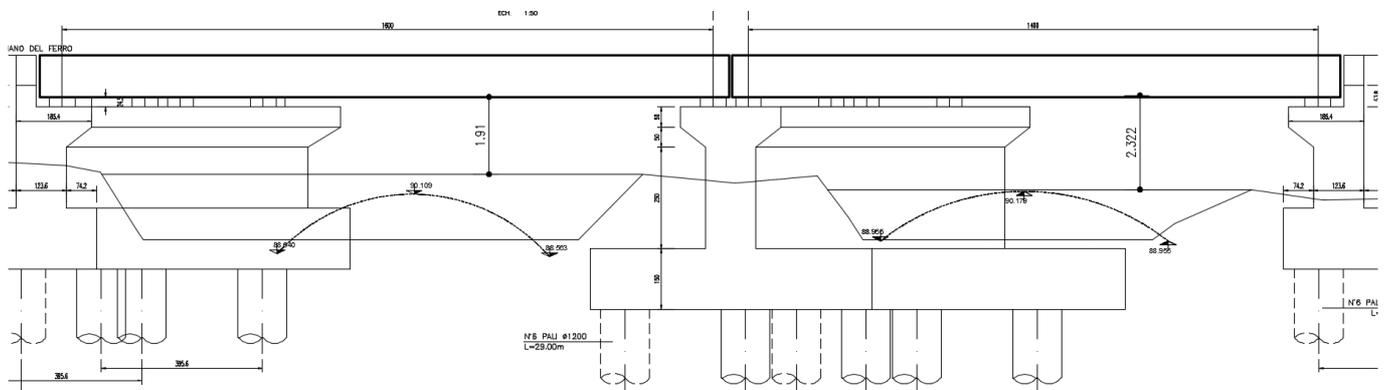
La palificata è costituita da n.6 pali di diametro 1.2m e lunghezza 29m.

Il plinto di fondazione presenta un'altezza di 1.5m e dimensioni in pianta di 10.35m x 6.68m.

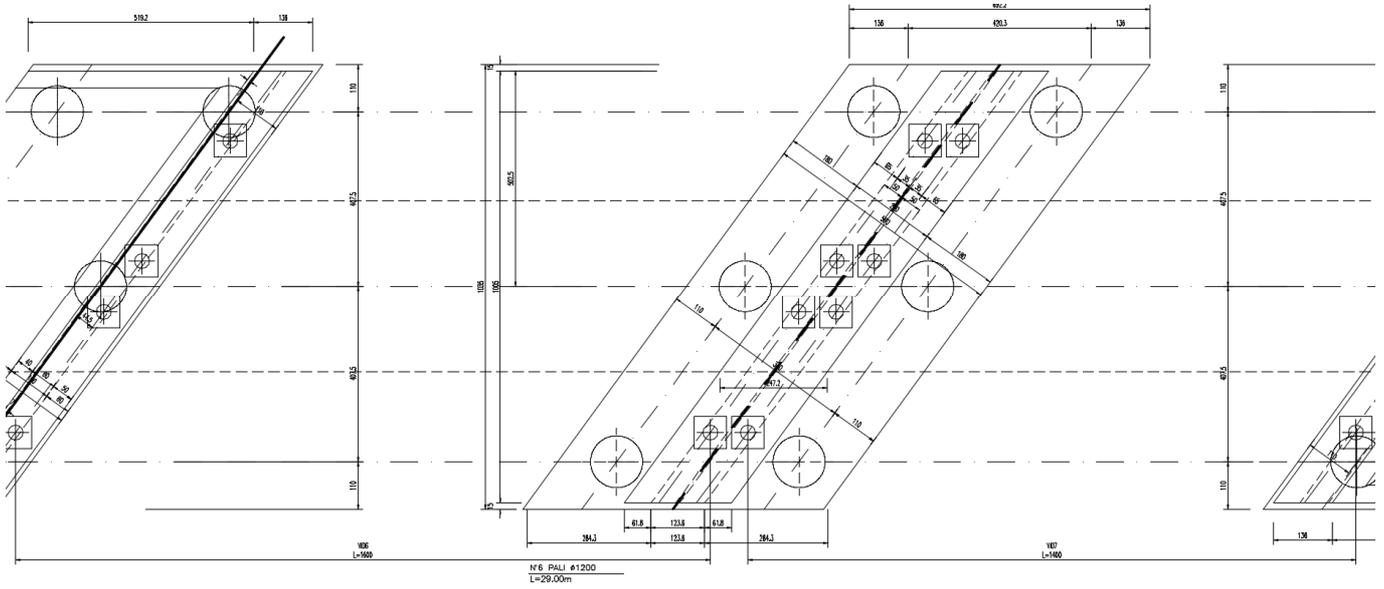
Le dimensioni delle strutture in elevazione della pila sono le seguenti:

fusto: spessore: 1.00m altezza: 2.50m lunghezza: 10.05m (in retto)

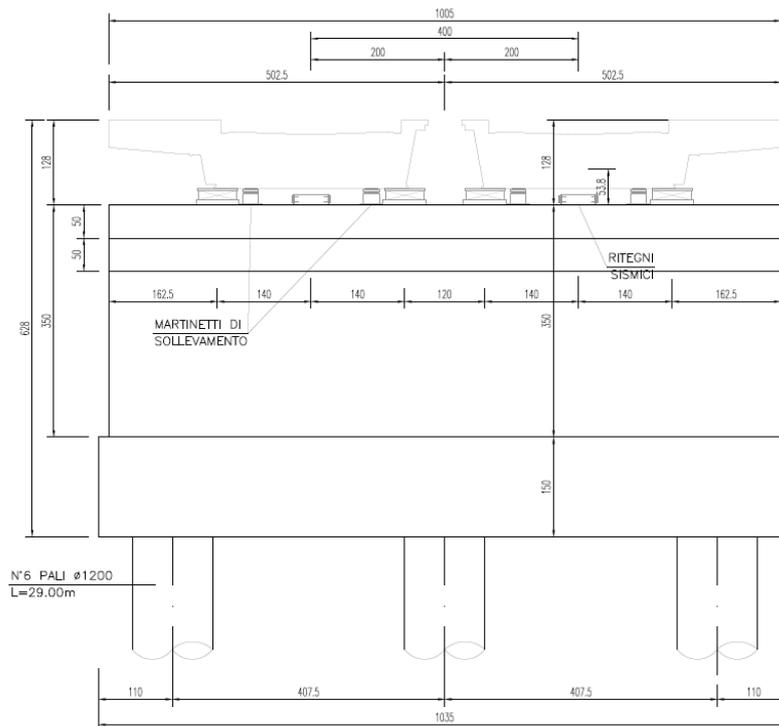
pulvino: larghezza sommitale: 2.00m altezza: 0.5m+0.5m lunghezza: 10.05m (in retto)



Sezione longitudinale



Pianta delle fondazioni



Prospetto frontale

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO-PAVIA FASE 2 - QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE-PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PILA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLVI0605001	REV. -A

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

2.1 Normativa e istruzioni

La progettazione è conforme alle normative vigenti.

Ferrovie dello Stato hanno emanato nel tempo varie normative e linee guida riguardanti sia i sovraccarichi che le prescrizioni relative ai ponti ferroviari.

Le normative rilevanti per la redazione del progetto di messa in sicurezza sono ovviamente le normative ora vigenti per le strutture, e per i ponti ferroviari in particolare, elencate nel seguito.

- *Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17.01.2008 (NTC-2008);*
- *Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;*
- *RFI DTC SI PS MA IFS 001 A "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI. PARTE II – SEZIONE 2. PONTI E STRUTTURE"*
- *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;*
- *Regolamento (UE) N. 1300/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per l’accessibilità del sistema ferroviario dell’Unione per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta;*
- *Regolamento (UE) N. 1301/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “energia” del sistema ferroviario dell’Unione europea;*
- *Regolamento (UE) N. 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità concernente la “sicurezza nelle gallerie ferroviarie” del sistema ferroviario dell’Unione europea;*
- *Regolamento (UE) 2016/919 della Commissione del 27 maggio 2016 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità per i sottosistemi “controllo-comando e segnalamento” del sistema ferroviario nell’Unione europea.*

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

I materiali utilizzati nella realizzazione delle strutture in funzione della utilizzazione sono descritti in seguito.

3.1 Calcestruzzo

Classe C32/40 (Elevazione pila)

$$R_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 32 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistenza di calcolo a compressione: } f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 32 \cdot 0,85 / 1,5 = 18,13 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistenza di calcolo a trazione: } f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 3,02 \text{ N/mm}^2$$

Classe C25/30 (pali di fondazione; zattera di fondazione)

$$R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 24,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistenza di calcolo a compressione: } f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 24,9 \cdot 0,85 / 1,5 = 14,11 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistenza di calcolo a trazione: } f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 2,56 \text{ N/mm}^2$$

3.2 Acciaio

3.2.1 Acciaio per cemento armato

Si utilizzano barre ad aderenza migliorata in acciaio con le seguenti caratteristiche meccaniche:

acciaio	B450C
tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$;
tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$;
resistenza di calcolo a trazione	$f_{yd} = 391,30 \text{ N/mm}^2$;
modulo elastico	$E_s = 206.000 \text{ N/mm}^2$.

4 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI

Per l'opera in esame si ha quanto segue:

ZONA	SONDAGGIO DI RIFERIMENTO	PROFONDITA'	UNITA' TERRENO	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	ϕ' [°]		ϕ' [°]	ϕ' [°]
						max	min		
10	S1	da 0 a 4.7m	Sg	18	14	29	24		24
		da 4.7m a 24m	S	18	14	30	25	28	28
		da 24m a 30m	Sg	20	16	30	30		30

PROFONDITA'	E'_{op} [MPa]		V_s [m/s]		categoria	G_0 [MPa]	
	max	min	max	min	terreno	max	min
da 0 a 4.7m	12	5	116	106	C	25	21
da 4.7m a 24m	63	8	376	188		283	67
da 24m a 30m	56	23	258	219		133	96

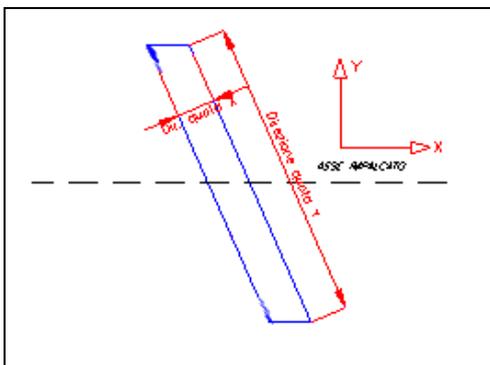
5 CARATTERISTICHE DELLA PILA

5.1 Geometria della pila

Inclinazione pila rispetto all'asse dell'impalcato: 36°.

	b [x] [m]	L [y] [m]	H [z] [m]	Eccentricità rispetto a baricentro plinto/palificata		
				e _x [m]	e _y [m]	e _z [m]
Pulvino	1.35	12.42	1	0	0.0	4.5
Fusto	1	12.42	2.5	0	0.0	2.75
Plinto	5.6	12.80	1.5	0	0.0	0.75
Rinterro lato corto	5.60	0.38	1.2	0	0.0	2.10
Rinterro lato lungo	4.60	12.42	1.65	0	0.0	2.33

Schema per la definizione della geometria



Le eccentricità degli elementi rispetto al baricentro del plinto sono considerate rispetto all'asse dell'impalcato.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO-PAVIA FASE 2 - QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE-PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PILA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLVI0605001	REV. -A

6 ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO

Per la definizione dei carichi gravanti sulla pila sono state considerate le luci delle due campate:

Luce campata SX: 16m

Luce campata DX: 14m

Extra appoggio di ciascuna campata: 0.4m

Lunghezza impalcato relativo alla pila: $16m/2 + 14m/2 + 0.4m \times 2 = 15.8m$.

6.1 Carichi permanenti strutturali (g1)

Questa categoria di carichi comprende il peso proprio degli elementi strutturali, sia della pila (calcolato considerando un peso specifico del calcestruzzo di 25kN/mc) che i carichi trasmessi dall'impalcato.

Il peso a metro lineare della singola vasca dell'impalcato, comprensivo di irrigidimenti e sostegno passerella, è pari a: 30.5 kN/m.

6.2 Carichi permanenti non strutturali (g2)

Questa categoria di carichi comprende il peso proprio degli elementi non strutturali:

- peso del terreno tra i muri andatori;
- carico dei permanenti non strutturali dell'impalcato (massicciata, rivestimento in calcestruzzo, parapetto, grigliato passerella).

Il peso a metro lineare del permanente non strutturale della singola vasca dell'impalcato è pari a: 65.71 kN/m.

6.3 Azioni variabili da traffico

I carichi verticali sono definiti per mezzo di modelli di carico. Sono previsti due modelli di carico distinti:

LM71 - modello di carico rappresentativo del traffico normale;

SW - modello di carico rappresentativo del traffico pesante.

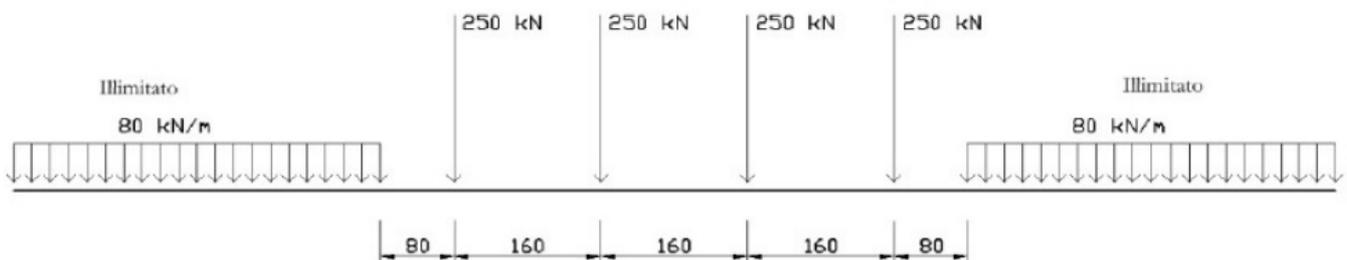
I valori caratteristici dei carichi attribuiti ai modelli di carico debbono essere moltiplicati per il coefficiente di adattamento α il cui valore deve essere assunto in accordo alla tabella seguente.

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE α
LM71	1,1
SW/0	1,1
SW/2	1,0

6.3.1 Treno di carico LM 71

Il modello di carico LM71 schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale e risulta costituito da:

- quattro assi da 250 kN disposti ad interasse di 1,60 m;
- carico distribuito di 80 kN/m in entrambe le direzioni, a partire da 0,8 m dagli assi d'estremità e per una lunghezza illimitata.



Modello di carico LM71

Per questo modello di carico è prevista un'eccentricità del carico rispetto all'asse del binario, dipendente dallo scartamento "s", per tenere conto dello spostamento dei carichi. L'eccentricità è indipendente dal tipo di struttura e di armamento. Tale eccentricità è definita in termini di rapporto massimo fra i carichi relativi a due ruote appartenenti al medesimo asse

$$QV2/QV1=1,25$$

e risulta quindi pari a $s/18$ con $s=1435\text{mm}$ (scartamento standard). Questa eccentricità deve essere considerata nella direzione più sfavorevole.

Il carico distribuito deve essere segmentato al di sopra dell'opera andando a caricare solo quelle parti che forniscono un incremento del contributo ai fini della verifica dell'elemento per l'effetto considerato.

Si riporta di seguito un estratto del foglio di calcolo utilizzato per eseguire l'analisi dei carichi.

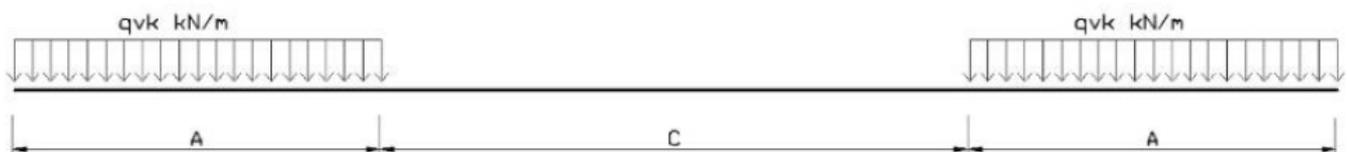
RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	14 di 77

Carico concentrato sul singolo asse	Q_{vk}	250 [KN]
Numero assi da considerare	n_a	4
Interasse tra gli assi	i_a	1,6 [m]
Carico distribuito in entrambe le direzioni	q_{vk}	80 [KN/m]
Distanza dai carichi concentrati	i_c	0,8 [m]
Coefficiente alfa	α	1,1
Carico concentrato sul singolo asse x α	$Q_{vk,LM} \times \alpha$	275 [KN]
Carico distribuito in entrambe le direzioni x α	$q_{vk,LM} \times \alpha$	88 [KN/m]
Scartamento	s	1435 [mm]
Eccentricità rispetto l'asse del binario	e	0,08 [m]

6.3.2 Treno di carico SW

Il modello di carico SW schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante e la sua articolazione è mostrata nella figura successiva.



Sono previste due distinte configurazioni denominate SW/0 ed SW/2.

TIPO DI CARICO	q_{vk} [KN/m]	A [m]	C[m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

SW/0:

Carico distribuito	q_{vk}	133 [KN/m]
Estensione carico	a	15 [m]

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLVI0605001	-A	15 di 77

Distanza tra i carichi distribuiti	b	5.3 [m]
Coefficiente alfa	α	1.1
Carico distribuito x α	$q_{vk} \alpha$	146.3 [KN/m]

SW/2:

Carico distribuito	q_{vk}	150 [KN/m]
Estensione carico	a	25 [m]
Distanza tra i carichi distribuiti	b	7 [m]
Coefficiente alfa	α	1
Carico distribuito x α	$q_{vk} \alpha$	150 [KN/m]

6.3.3 Treno scarico

Carico distribuito di 10 kN/m.

6.3.4 Schemi di carico adottati

I treni di carico sono stati disposti sull'impalcato al fine di massimizzare le azioni sulla pila.

In particolare la disposizione è stata effettuata per massimizzare l'azione verticale, il momento trasversale ed il momento longitudinale.

Il segno dei momenti è stato assunto concorde a quello delle altre azioni al fine di avere le condizioni più gravose.

Gli scarichi sulla pila dovuti ai singoli treni di carico ed al singolo binario sono i seguenti.

Carichi disposti su entrambe le campate (per massimizzazione azione verticale e momento trasversale):

LM71	1828 kN
SW/0	2195 kN
SW/2	2370 kN

Carichi disposti sulla campata di luce maggiore (per massimizzazione momento longitudinale):

LM71	1362 kN
SW/0	1221 kN
SW/2	1261 kN

Nella progettazione dei ponti va considerata l'eventuale contemporaneità di più treni, secondo quanto previsto dalle norme ed indicato nella tabella seguente.

Numero di binari	Binari Carichi	Traffico normale		Traffico pesante ⁽²⁾
		caso a ⁽¹⁾	caso b ⁽¹⁾	
1	Primo	1.0 (LM 71"+"SW/0")	-	1.0 SW/2
2	Primo	1.0 (LM 71"+"SW/0")	-	1.0 SW/2
	secondo	1.0 (LM 71"+"SW/0")	-	1.0 (LM 71"+"SW/0")
≥ 3	Primo	1.0 (LM 71"+"SW/0")	0.75 (LM 71"+"SW/0")	1.0 SW/2
	secondo	1.0 (LM 71"+"SW/0")	0.75 (LM 71"+"SW/0")	1.0 (LM 71"+"SW/0")
	Altri	-	0.75 (LM 71"+"SW/0")	-

⁽¹⁾ LM71 "+" SW/0 significa considerare il più sfavorevole fra i treni LM 71, SW/0

⁽²⁾ Salvo i casi in cui sia esplicitamente escluso

Le azioni di carico verticale e momento trasversale derivanti impalcato sono i seguenti:

	Max N sulla pila		Max Mx sulla pila		Max My sulla pila	
	Traf. normale	Traf. pesante	Traf. normale	Traf. pesante	Traf. normale	Traf. pesante
Binario 1	2195	2370	2195	2370	1362	1261 kN
	SW/0	SW/2	SW/0	SW/2	LM71	SW/2
	SW/0	SW/0			LM71	LM71
Binario 2	2195	2195			1362	1362 kN
N	4389	4565	2195	2370	2725	2623 kN
Mx	0	-351	-4389	-4740	0	-203 kNm
My	0	0	0	0	1180	1136 kNm

La distanza dell'asse di ciascun binario dall'asse della pila è pari a 2.00m.

6.3.5 Effetti dinamici

Il coefficiente di incremento dinamico si applica per il progetto e la verifica degli impalcato, mentre per il calcolo delle pile con snellezza inferiore a 30, delle spalle, delle fondazioni, dei muri di sostegno e delle spinte del terreno possono essere considerati coefficienti dinamici unitari.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO-PAVIA FASE 2 - QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE-PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PILA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLVI0605001	REV. -A

6.4 Azione laterale di serpeggio

L'azione laterale indotta dal serpeggio si considera mediante una forza concentrata, agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta perpendicolarmente all'asse del binario.

Il valore caratteristico di tale forza è

$$Q_{sk} = 100 \text{ KN}$$

La norma impone che tale valore venga moltiplicato per α ma non per il coefficiente di incremento dinamico. La norma specifica anche che tale forza laterale deve essere sempre combinata con i carichi verticali.

Risulta quanto segue:

Carico di serpeggio	Q_{sk}	100 [KN]
	F_y	M_x
LM71	110	-140.8
SW/0	110	-140.8
SW/2	100	-128

Il momento M_x è stato calcolato attraverso la distanza testa binario – intradosso baggioli pari a: 1.28m.

6.5 Azioni di avviamento e frenatura

Tali azioni non sono presenti sulla pila in quanto gli appoggi che impediscono gli spostamenti in direzione longitudinale sono posizionati sulle spalle del ponte.

6.6 Azione del vento

Per la determinazione dell'azione dovuta al vento si fa riferimento al DM 14.1.2008 e relativa circolare. In particolare le istruzioni prevedono che la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni e sui loro elementi proceda secondo lo schema seguente:

1. definite le caratteristiche del sito ove sorge la costruzione, si valuta la velocità di progetto e la pressione cinetica di picco del vento;
2. definita la forma, le dimensioni e l'orientamento della costruzione, si valutano le azioni aerodinamiche di picco esercitate dal vento sulla costruzione e sui suoi elementi;

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	18 di 77

3. definite le proprietà meccaniche della costruzione e dei suoi elementi si valutano le azioni statiche equivalenti.

Le analisi sono svolte considerando due condizioni di carico:

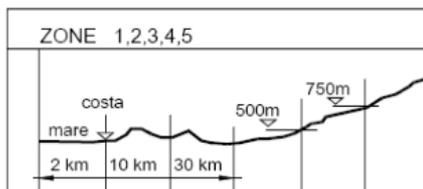
- 1) ponte non occupato da convoglio;
- 2) ponte occupato da convoglio.

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici.

Usualmente tali azioni sono convenzionalmente ricondotte ad azioni statiche equivalenti dirette secondo due assi principali della struttura, tali azioni esercitano normalmente all'elemento di parete o di copertura, pressioni e depressioni p (indicate rispettivamente con segno positivo e negativo) di intensità calcolate con la seguente espressione:

$$p = q_b c_e c_p c_d$$

- q_b = pressione cinetica di riferimento;
- c_e = coefficiente di esposizione;
- c_p = coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico);
- c_d = coefficiente dinamico.

ZONE 1,2,3,4,5						
						
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

Definizione della categoria di esposizione

Categoria di esposizione del sito	k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Schema per la definizione della categoria di esposizione – cfr. NTC18

Il valore di c_e può essere ricavato mediante la relazione:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[7 + c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right] \quad \text{per } z > z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

1) Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_a [1/s]
1	25	1000	0.01
a_s (altitudine sul livello del mare [m])			100
T_R (Tempo di ritorno)			75
$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$			
$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m			
v_b ($T_R = 50$ [m/s])			25.000
α_R (T_R)			1.02346
v_b (T_R) = $v_b \times \alpha_R$ [m/s]			25.586

$$p \text{ (pressione del vento [N/mq])} = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

$$q_b \text{ (pressione cinetica di riferimento [N/mq])}$$

$$c_e \text{ (coefficiente di esposizione)}$$

$$c_p \text{ (coefficiente di forma)}$$

$$c_d \text{ (coefficiente dinamico)}$$



Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

$$q_b = 409.17 \text{ N/mq}$$

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLV10605001	-A	20 di 77

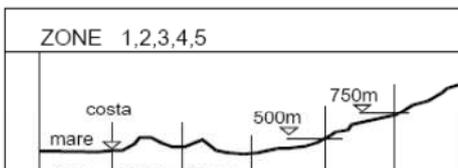
Coefficiente di esposizione

Classe di rugosità del terreno

D) Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,....)

Categoria di esposizione

ZONE 1,2,3,4,5

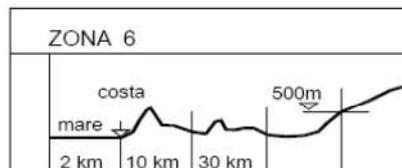


A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**

* Categoria II in zona 1,2,3,4
Categoria III in zona 5

** Categoria III in zona 2,3,4,5
Categoria IV in zona 1

ZONA 6



A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7,8



A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*

* Categoria II in zona 8
Categoria III in zona 7

ZONA 9



A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

Zona	Classe di rugosità	a _s [m]
1	D	100

$$C_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$C_e(z) = C_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

Cat. Esposiz.	k _r	z ₀ [m]	z _{min} [m]	c _t
II	0.19	0.05	4	1

q _b	0.41	kN/mq	
C _e	2.13		Coefficiente di esposizione calcolato per z=7m
C _p	1.2		Coefficiente di forma
C _d	1		Coefficiente dinamico
P	1.05	kN/mq	Pressione del vento

In tal modo le azioni del vento e relativi momenti di trasporto al baricentro dell'impalcato sono i seguenti:

	Ponte scarico	Ponte carico
H vento	1.035	5.035 m
R _y vento/m	1.1	5.3 kN/m
R _y vento tot	5.8	28.4 kN
M _x tot	-4.5	-78.6 kNm

$$M_x = R \cdot (H_{\text{vento}}/2 + H_{\text{baggioli}} + H_{\text{apparecchiAppoggio}})$$

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO-PAVIA FASE 2 - QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE-PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PILA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLVI0605001	REV. -A

6.7 Azione Sismica

Con riferimento alla normativa vigente (NTC-2008), le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita al § 3.2.2 del D.M. 2008), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, come definite nel § 3.2.1 del D.M. 2008, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4 del D.M. 2008.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

F_o 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.

Gli spettri di risposta di progetto sono stati definiti per tutti gli stati limite considerati, e, note la latitudine e la longitudine del sito, si sono ricavati i valori dei parametri necessari alla definizione dell’azione sismica e quindi del relativo spettro di risposta. Più avanti sono indicati i valori di a_g , F_o e T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

6.7.1 Vita nominale

La vita nominale di un’opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Per l’opera in esame viene assunta una vita nominale $V_N = 75$.

6.7.2 Classe d’uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d’uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO-PAVIA FASE 2 - QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE-PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PILA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLVI0605001	REV. -A

Classe II: 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 d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività 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 delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e 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.

Nel presente progetto si considera una **classe d'uso tipo III** con coefficiente d'uso $C_U=1,5$.

6.7.3 Periodo di riferimento

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, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U = 75 \cdot 1.5 = 112.5 \text{ anni (periodo di riferimento).}$$

6.7.4 Valutazione dei parametri di pericolosità sismica

Fissata la vita di riferimento V_R , i due parametri T_R e P_{VR} sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

	STATO LIMITE	P_{VR}: probabilità di superamento nel periodo di riferimento
SLE	SLO - Stato Limite di Operatività	81%
	SLD - Stato Limite di Danno	63%
SLU	SLV - Stato Limite di salvaguardia della Vita	10%
	SLC - Stato Limite di prevenzione del Collasso	5%

Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})} = -\frac{C_u \cdot V_N}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

da cui si ottiene la seguente tabella:

Stati limite		Valori in anni del periodo di ritorno T _R al variare del periodo di riferimento V _R (anni)
SLE	SLO	68
	SLD	113
SLU	SLV	1068
	SLC	2193

Valori in anni del periodo di ritorno T_R al variare del periodo di riferimento V_R

Per il sito in esame, in base ai parametri precedentemente adottati, il periodo T_R in corrispondenza dello stato limite ultimo SLV è pari a T_R = 1068 anni.

6.7.5 Caratterizzazione sismica del terreno

6.7.5.1 Categorie di Sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2008.

I terreni di progetto possono essere caratterizzati come appartenenti a terreni di **Categoria C**.

6.7.5.2 Condizioni topografiche

In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Classificazione topografie superfici

Le categorie topografiche appena definite si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

L'area interessata risulta classificabile come **T1**.

6.7.5.3 Amplificazione Stratigrafica e Topografica

In riferimento a quanto indicato nel §3.2.3.2.1 delle NTC2008 per la definizione dello spettro elastico in accelerazione è necessario valutare il valore del coefficiente $S = S_S \cdot S_T$ e di C_C in base alla categoria di sottosuolo e alle condizioni topografiche; si fa riferimento nella valutazione dei coefficienti alle tabelle che sono riportate di seguito:

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella delle espressioni per S_S e C_C

Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera dell'intervento	S _T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 1: Tabella valori massimi del coeff. di amplificazione topografica S_T

Il valore del coefficiente di amplificazione topografica è posto pari a $S_T = 1$

I valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica sono pari a $S_s = 1,50$ e $C_C = 1,571$

6.7.6 Parametri sismici di calcolo

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: LATITUDINE:

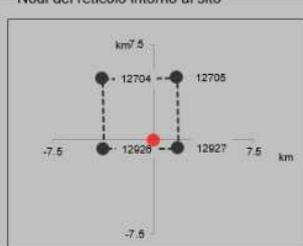
Ricerca per comune

REGIONE: PROVINCIA: COMUNE:

Elaborazioni grafiche: Grafici spettri di risposta, Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche: Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Controllo sul reticolo: Sito esterno al reticolo, Interpolazione su 3 nodi, Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

Individuazione della pericolosità del sito (Fase 1)

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="68"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="113"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1068"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2193"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategie per costruzioni ordinarie
- - - Strategie scelta

INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3

Scelta della strategia di progettazione (Fase 2)

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo info $S_S = 1.500$ $C_C = 1.571$ info

Categoria topografica info $h/H = 0.000$ $S_T = 1.000$ info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) $\eta = 1.000$ info

Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_0 Regol. in altezza info

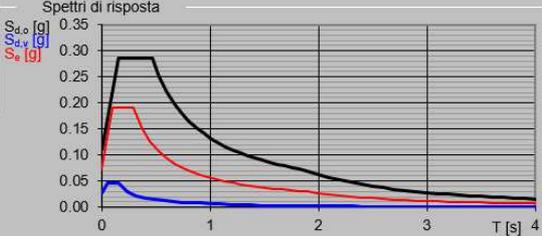
Compon. verticale

Spettro di progetto Fattore q $\eta = 0.667$ info

Elaborazioni

- Grafici spettri di risposta
- Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale

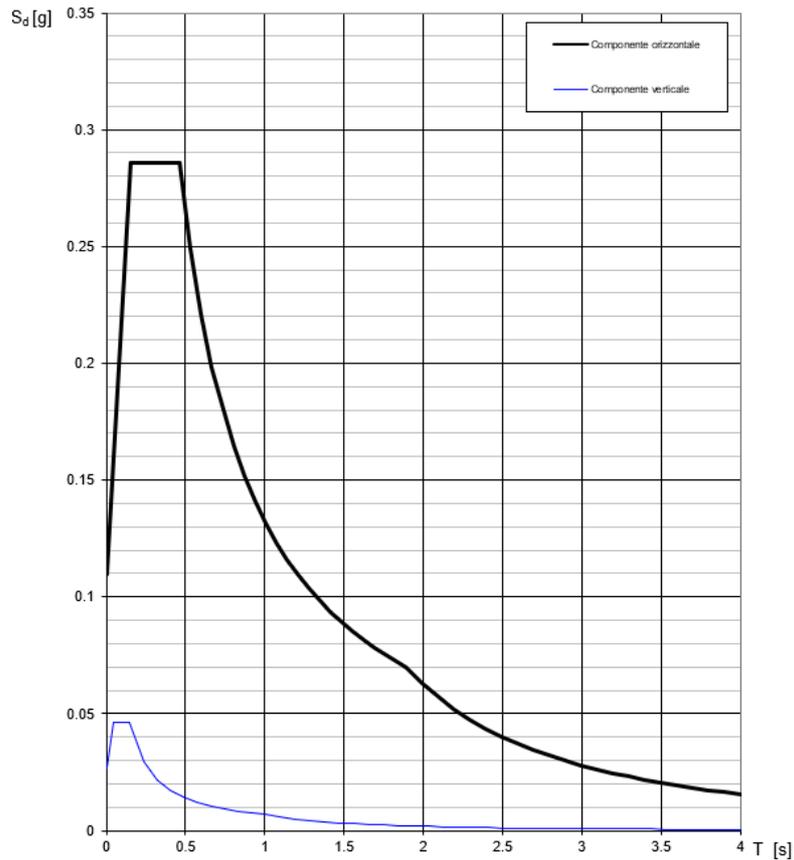
— Spettro di progetto - componente verticale

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

INTRO FASE 1 FASE 2 **FASE 3**

Determinazione dell'azione di progetto (Fase 3)

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



Spettro di progetto: grafico

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.073 g
F_0	2.606
T_C	0.295 s
S_S	1.500
C_C	1.571
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.500
η	1.000
T_B	0.154 s
T_C	0.463 s
T_D	1.893 s

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

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

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

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

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

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

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

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_c(T)$ sostituendo η con η/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	0.110
T_B	0.154	0.286
T_C	0.463	0.286
	0.531	0.249
	0.599	0.221
	0.667	0.198
	0.736	0.180
	0.804	0.165
	0.872	0.152
	0.940	0.141
	1.008	0.131
	1.076	0.123
	1.144	0.116
	1.212	0.109
	1.280	0.103
	1.348	0.098
	1.416	0.094
	1.484	0.089
	1.552	0.085
	1.620	0.082
	1.688	0.078
	1.757	0.075
	1.825	0.073
T_D	1.893	0.070
	1.993	0.063
	2.093	0.057
	2.194	0.052
	2.294	0.048
	2.394	0.044
	2.495	0.040
	2.595	0.037
	2.695	0.035
	2.796	0.032
	2.896	0.030
	2.996	0.028
	3.097	0.026
	3.197	0.025
	3.298	0.023
	3.398	0.022
	3.498	0.020
	3.599	0.019
	3.699	0.018
	3.799	0.017
	3.900	0.016
	4.000	0.016

Spettro di progetto: valori

6.7.7 Definizione delle azioni sismiche derivanti dall'impalcato

La modellazione dell'azione sismica è stata effettuata mediante un'analisi lineare statica.

Peso intero impalcato		2886.3	kN		
$a_{max}=S \cdot a_g$		0.110	g		
Braccio		0.763	m		
	% sisma sulla pila	F sisma (kN)	M (kNm)		
Sisma long X	0.5	158	120	Fx, My	
Sisma trasv Y	1	316	-241	Fy, Mx	

Treni in condizioni sismiche sull'intero impalcato

Aliquota carichi variabili da traffico: 0.2

	N tot (kN)	F sis (kN)
LM71	1927	42
SW/0	2195	48
SW/2	2607	57

6.8 Riepilogo delle azioni del traffico ferroviario dell'impalcato

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

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 (Φ, α , 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.

I valori fra parentesi indicati nella Tab. 5.2.IV vanno assunti quando l'azione risulta favorevole nei riguardi della verifica che si sta svolgendo.

Le azioni derivanti da ciascuno dei gruppi di carico sono da intendersi come un'unica azione caratteristica da utilizzarsi nella definizione dei valori rari e frequenti.

Ai fini delle analisi da condurre gli effetti di frenatura e avviamento sono stati considerati agenti in un unico verso.

Sono stati definiti i seguenti 18 gruppi di carico:

			Coefficienti gruppo		
			Carico Verticale	Frenatura e avviamento	Serpeggio
2 binari carichi - Max N	Traffico normale: SW/0+SW/0	GRUPPO 1a	1	0,5	1
2 binari carichi - Max N	Traffico pesante: SW/2+SW/0	GRUPPO 1b	1	0,5	1
1 binario carico - max Mx	Traffico normale: SW/0+	GRUPPO 1c	1	0,5	1
1 binario carico - max Mx	Traffico pesante: SW/2+	GRUPPO 1d	1	0,5	1
2 binari carichi - Max My	Traffico normale: LM71+LM71	GRUPPO 1e	1	0,5	1
2 binari carichi - Max My	Traffico pesante: SW/2+LM71	GRUPPO 1f	1	0,5	1
2 binari carichi - Max N	Traffico normale: SW/0+SW/0	GRUPPO 3a	1	1	0,5
2 binari carichi - Max N	Traffico pesante: SW/2+SW/0	GRUPPO 3b	1	1	0,5

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	31 di 77

1 binario carico - max Mx	Traffico normale: SW/0+	GRUPPO 3c	1	1	0.5
1 binario carico - max Mx	Traffico pesante: SW/2+	GRUPPO 3d	1	1	0.5
2 binari carichi - Max My	Traffico normale: LM71+LM71	GRUPPO 3e	1	1	0.5
2 binari carichi - Max My	Traffico pesante: SW/2+LM71	GRUPPO 3f	1	1	0.5
2 binari carichi - Max N	Traffico normale: SW/0+SW/0	GRUPPO 4a	0.6	0.6	0.6
2 binari carichi - Max N	Traffico pesante: SW/2+SW/0	GRUPPO 4b	0.6	0.6	0.6
1 binario carico - max Mx	Traffico normale: SW/0+	GRUPPO 4c	0.6	0.6	0.6
1 binario carico - max Mx	Traffico pesante: SW/2+	GRUPPO 4d	0.6	0.6	0.6
2 binari carichi - Max My	Traffico normale: LM71+LM71	GRUPPO 4e	0.8	0.8	0.8
2 binari carichi - Max My	Traffico pesante: SW/2+LM71	GRUPPO 4f	0.8	0.8	0.8

Le singole azioni del traffico ferroviario moltiplicate per i coefficienti di ciascun gruppo sono le seguenti (kN; kNm):

	Carico Verticale			Frenatura			Avviamento			Serpeggio	
	N	Mx	My	Fx	My	Mt	Fx	My	Mt	Fy	Mx
GRUPPO 1a	4389	0	0	174	222	348	287	367	521	210	-269
GRUPPO 1b	4565	-351	0	277	354	553	287	367	574	210	-269
GRUPPO 1c	2195	-4389	0	174	222	348	287	367	574	220	-282
GRUPPO 1d	2370	-4740	0	277	354	553	261	334	521	220	-282
GRUPPO 1e	2725	0	1180	174	222	348	287	367	574	110	-141
GRUPPO 1f	2623	-203	1136	277	354	553	287	367	574	110	-141
GRUPPO 3a	4389	0	0	348	445	695	574	734	1043	105	-134
GRUPPO 3b	4565	-351	0	553	708	1106	574	734	1147	105	-134
GRUPPO 3c	2195	-4389	0	348	445	695	574	734	1147	110	-141
GRUPPO 3d	2370	-4740	0	553	708	1106	521	667	1043	110	-141
GRUPPO 3e	2725	0	1180	348	445	695	574	734	1147	50	-64
GRUPPO 3f	2623	-203	1136	553	708	1106	574	734	1147	50	-64
GRUPPO 4a	2633	0	0	209	267	417	344	440	626	126	-161
GRUPPO 4b	2739	-211	0	332	425	664	344	440	688	126	-161
GRUPPO 4c	1317	-2633	0	209	267	417	344	440	688	132	-169
GRUPPO 4d	1422	-2844	0	332	425	664	313	400	626	132	-169
GRUPPO 4e	2180	0	1180	278	356	556	459	587	918	88	-113
GRUPPO 4f	2098	-163	1136	442	566	884.8	459	587	918	88	-113

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	32 di 77

Le singole complessive del traffico ferroviario di ciascun gruppo di carico riferite al piano di appoggio dell'impalcato sono le seguenti (kN; kNm):

	N	Fx	Fy	My	Mx	Mt
GRUPPO 1a	4389	287	210	367	-269	521
GRUPPO 1b	4565	287	210	367	-620	574
GRUPPO 1c	2195	287	220	367	-4671	574
GRUPPO 1d	2370	277	220	354	-5022	553
GRUPPO 1e	2725	287	110	1547	-141	574
GRUPPO 1f	2623	287	110	1503	-344	574
GRUPPO 3a	4389	574	105	734	-134	1043
GRUPPO 3b	4565	574	105	734	-485	1147
GRUPPO 3c	2195	574	110	734	-4530	1147
GRUPPO 3d	2370	553	110	708	-4881	1106
GRUPPO 3e	2725	574	50	1914	-64	1147
GRUPPO 3f	2623	574	50	1870	-267	1147
GRUPPO 4a	2633	344	126	440	-161	626
GRUPPO 4b	2739	344	126	440	-372	688
GRUPPO 4c	1317	344	132	440	-2802	688
GRUPPO 4d	1422	332	132	425	-3013	664
GRUPPO 4e	2180	459	88	1767	-113	918
GRUPPO 4f	2098	459	88	1723	-275	918

Le forze sismiche dovute agli accidentali da traffico ferroviario sono le seguenti (kN; kNm):

braccio = 3.245m (baricentro treno - piano di appoggio dell'impalcato)

		SISMA X		SISMA Y	
		Fx	My	Fy	Mx
Traffico normale: SW/0+SW/0	GRUPPO 1a	48	156	96	-312
Traffico pesante: SW/2+SW/0	GRUPPO 1b	53	171	105	-341
Traffico normale: SW/0+	GRUPPO 1c	24	78	48	-156
Traffico pesante: SW/2+	GRUPPO 1d	29	93	57	-185
Traffico normale: LM71+LM71	GRUPPO 1e	42	137	84	-274
Traffico pesante: SW/2+LM71	GRUPPO 1f	50	161	99	-322
Traffico normale: SW/0+SW/0	GRUPPO 3a	48	156	96	-312
Traffico pesante: SW/2+SW/0	GRUPPO 3b	53	171	105	-341

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	33 di 77

Traffico normale: SW/0+	GRUPPO 3c	24	78	48	-156
Traffico pesante: SW/2+	GRUPPO 3d	29	93	57	-185
Traffico normale: LM71+LM71	GRUPPO 3e	42	137	84	-274
Traffico pesante: SW/2+LM71	GRUPPO 3f	50	161	99	-322

6.9 Forze di inerzia dovute al sisma

In fase sismica si devono considerare le azioni orizzontali e verticali agenti sulla pila dovute all'inerzia delle parti in calcestruzzo.

Le risultanti orizzontali e verticali sono rispettivamente pari ad $F_h = k_h \cdot W$ e $F_v = k_v \cdot W$, dove i coefficienti k_h e k_v sono calcolati come esposto al paragrafo 7.11.6 delle NTC08 risultando pari a $k_h = \beta_m \cdot a_{max} / g$, $k_v = \pm 0.5 k_h$ con $a_{max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g$.

Il coefficiente β_m è stato considerato unitario, non essendo la pila libera di traslare rispetto al terreno.

6.10 Riepilogo delle azioni derivanti dalla pila rispetto al baricentro della fondazione

6.10.1 Pesì propri pila

	N	F _L =F _X	F _T =F _Y	M _{Long} =M _y	M _{Trasv} =M _x
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
Pulvino	419	0	0	0	0
Fusto	776	0	0	0	0
Plinto	2688	0	0	0	0
Rinterro lato corto	102	0	0	0	0
Rinterro lato lungo	1888	0	0	0	0

6.10.2 Inerzie ed incremento di spinta sismica

	N	F _L =F _X	F _T =F _Y	M _{Long} =M _y	M _{Trasv} =M _x
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
Inerzia pila dir longitudinale	0	425		661	
Inerzia pila dir trasversale			425		-661

6.11 Riepilogo delle azioni derivanti dall'impalcato

6.11.1 Azioni ad intradosso baggiolo

		N	F _L =F _X	F _T =F _Y	M _{Long} =M _y	M _{Trasv} =M _x	M _{TORC}
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
g1	Peso proprio impalcato	915.0			26.4		
g2	Sovraccarichi permanenti impalcato	1971.3			56.9		
GRUPPO 1a	Traffico normale: SW/0+SW/0	4389.0	286.8	210.0	367.1	-268.8	521.4
GRUPPO 1b	Traffico pesante: SW/2+SW/0	4564.5	286.8	210.0	367.1	-619.8	573.5
GRUPPO 1c	Traffico normale: SW/0+	2194.5	286.8	220.0	367.1	-4670.6	573.5
GRUPPO 1d	Traffico pesante: SW/2+	2370.0	276.5	220.0	353.9	-5021.6	553.0
GRUPPO 1e	Traffico normale: LM71+LM71	2724.6	286.8	110.0	1546.8	-140.8	573.5
GRUPPO 1f	Traffico pesante: SW/2+LM71	2623.1	286.8	110.0	1502.9	-343.9	573.5
GRUPPO 3a	Traffico normale: SW/0+SW/0	4389.0	573.5	105.0	734.1	-134.4	1042.8
GRUPPO 3b	Traffico pesante: SW/2+SW/0	4564.5	573.5	105.0	734.1	-485.4	1147.1
GRUPPO 3c	Traffico normale: SW/0+	2194.5	573.5	110.0	734.1	-4529.8	1147.1
GRUPPO 3d	Traffico pesante: SW/2+	2370.0	553.0	110.0	707.8	-4880.8	1106.0
GRUPPO 3e	Traffico normale: LM71+LM71	2724.6	573.5	50.0	1913.9	-64.0	1147.1

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	35 di 77

GRUPPO 3f	Traffico pesante: SW/2+LM71	2623.1	573.5	50.0	1869.9	-267.1	1147.1
GRUPPO 4a	Traffico normale: SW/0+SW/0	2633.4	344.1	126.0	440.5	-161.3	625.7
GRUPPO 4b	Traffico pesante: SW/2+SW/0	2738.7	344.1	126.0	440.5	-371.9	688.2
GRUPPO 4c	Traffico normale: SW/0+	1316.7	344.1	132.0	440.5	-2802.4	688.2
GRUPPO 4d	Traffico pesante: SW/2+	1422.0	331.8	132.0	424.7	-3013.0	663.6
GRUPPO 4e	Traffico normale: LM71+LM71	2179.7	458.8	88.0	1767.1	-112.6	917.7
GRUPPO 4f	Traffico pesante: SW/2+LM71	2098.5	458.8	88.0	1723.1	-275.1	917.7
q _{5,scarico}	Vento a ponte scarico			8.6		-6.5	
q _{5,carico}	Vento a ponte carico			41.6		-114.9	
Q ₄	Centrifuga						
GRUPPO 1a	Attrito dei vincoli		291.0				
GRUPPO 1b	Attrito dei vincoli		298.0				
GRUPPO 1c	Attrito dei vincoli		203.2				
GRUPPO 1d	Attrito dei vincoli		210.3				
GRUPPO 1e	Attrito dei vincoli		224.4				
GRUPPO 1f	Attrito dei vincoli		220.4				
GRUPPO 3a	Attrito dei vincoli		291.0				
GRUPPO 3b	Attrito dei vincoli		298.0				
GRUPPO 3c	Attrito dei vincoli		203.2				
GRUPPO 3d	Attrito dei vincoli		210.3				
GRUPPO 3e	Attrito dei vincoli		224.4				
GRUPPO 3f	Attrito dei vincoli		220.4				
GRUPPO 4a	Attrito dei vincoli		220.8				
GRUPPO 4b	Attrito dei vincoli		225.0				
GRUPPO 4c	Attrito dei vincoli		168.1				
GRUPPO 4d	Attrito dei vincoli		172.3				
GRUPPO 4e	Attrito dei vincoli		202.6				
GRUPPO 4f	Attrito dei vincoli		199.4				
GRUPPO 1a	Spettro X		206.1		276.4		
GRUPPO 1b	Spettro X		210.6		291.1		
GRUPPO 1c	Spettro X		182.1		198.5		
GRUPPO 1d	Spettro X		186.6		213.1		
GRUPPO 1e	Spettro X		200.2		257.5		
GRUPPO 1f	Spettro X		207.7		281.6		
GRUPPO 3a	Spettro X		206.1		276.4		
GRUPPO 3b	Spettro X		210.6		291.1		
GRUPPO 3c	Spettro X		182.1		198.5		
GRUPPO 3d	Spettro X		186.6		213.1		
GRUPPO 3e	Spettro X		200.2		257.5		
GRUPPO 3f	Spettro X		207.7		281.6		

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	36 di 77

GRUPPO 1a	Spettro Y		412.2		-552.9	
GRUPPO 1b	Spettro Y		421.2		-582.2	
GRUPPO 1c	Spettro Y		364.1		-396.9	
GRUPPO 1d	Spettro Y		373.1		-426.3	
GRUPPO 1e	Spettro Y		400.5		-514.9	
GRUPPO 1f	Spettro Y		415.3		-563.2	
GRUPPO 3a	Spettro Y		412.2		-552.9	
GRUPPO 3b	Spettro Y		421.2		-582.2	
GRUPPO 3c	Spettro Y		364.1		-396.9	
GRUPPO 3d	Spettro Y		373.1		-426.3	
GRUPPO 3e	Spettro Y		400.5		-514.9	
GRUPPO 3f	Spettro Y		415.3		-563.2	

6.11.2 Azioni a baricentro intradosso plinto

	N	F _L =F _X	F _T =F _Y	M _{Long} =M _Y	M _{Trasv} =M _X	M _{TORC}	
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	
g1	Peso proprio impalcato	915	0	0	26	0	0
g2	Sovraccarichi permanenti impalcato	1971	0	0	57	0	0
GRUPPO 1a	Traffico normale: SW/0+SW/0	4389	287	210	1514	-1109	521
GRUPPO 1b	Traffico pesante: SW/2+SW/0	4565	287	210	1514	-1460	574
GRUPPO 1c	Traffico normale: SW/0+	2195	287	220	1514	-5551	574
GRUPPO 1d	Traffico pesante: SW/2+	2370	277	220	1460	-5902	553
GRUPPO 1e	Traffico normale: LM71+LM71	2725	287	110	2694	-581	574
GRUPPO 1f	Traffico pesante: SW/2+LM71	2623	287	110	2650	-784	574
GRUPPO 3a	Traffico normale: SW/0+SW/0	4389	574	105	3028	-554	1043
GRUPPO 3b	Traffico pesante: SW/2+SW/0	4565	574	105	3028	-905	1147
GRUPPO 3c	Traffico normale: SW/0+	2195	574	110	3028	-4970	1147
GRUPPO 3d	Traffico pesante: SW/2+	2370	553	110	2920	-5321	1106
GRUPPO 3e	Traffico normale: LM71+LM71	2725	574	50	4208	-264	1147
GRUPPO 3f	Traffico pesante: SW/2+LM71	2623	574	50	4164	-467	1147
GRUPPO 4a	Traffico normale: SW/0+SW/0	2633	344	126	1817	-665	626
GRUPPO 4b	Traffico pesante: SW/2+SW/0	2739	344	126	1817	-876	688
GRUPPO 4c	Traffico normale: SW/0+	1317	344	132	1817	-3330	688
GRUPPO 4d	Traffico pesante: SW/2+	1422	332	132	1752	-3541	664
GRUPPO 4e	Traffico normale: LM71+LM71	2180	459	88	3602	-465	918
GRUPPO 4f	Traffico pesante: SW/2+LM71	2098	459	88	3558	-627	918
q5,scarico	Vento a ponte scarico	0	0	9	0	-41	0
q5,carico	Vento a ponte carico	0	0	42	0	-281	0

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLVI0605001	-A	37 di 77

Q4	Centrifuga	0	0	0	0	0	0
GRUPPO 1a	Attrito dei vincoli	0	291	0	1164	0	0
GRUPPO 1b	Attrito dei vincoli	0	298	0	1192	0	0
GRUPPO 1c	Attrito dei vincoli	0	203	0	813	0	0
GRUPPO 1d	Attrito dei vincoli	0	210	0	841	0	0
GRUPPO 1e	Attrito dei vincoli	0	224	0	898	0	0
GRUPPO 1f	Attrito dei vincoli	0	220	0	881	0	0
GRUPPO 3a	Attrito dei vincoli	0	291	0	1164	0	0
GRUPPO 3b	Attrito dei vincoli	0	298	0	1192	0	0
GRUPPO 3c	Attrito dei vincoli	0	203	0	813	0	0
GRUPPO 3d	Attrito dei vincoli	0	210	0	841	0	0
GRUPPO 3e	Attrito dei vincoli	0	224	0	898	0	0
GRUPPO 3f	Attrito dei vincoli	0	220	0	881	0	0
GRUPPO 4a	Attrito dei vincoli	0	221	0	883	0	0
GRUPPO 4b	Attrito dei vincoli	0	225	0	900	0	0
GRUPPO 4c	Attrito dei vincoli	0	168	0	672	0	0
GRUPPO 4d	Attrito dei vincoli	0	172	0	689	0	0
GRUPPO 4e	Attrito dei vincoli	0	203	0	811	0	0
GRUPPO 4f	Attrito dei vincoli	0	199	0	798	0	0
GRUPPO 1a	Spettro X	0	206	0	1101	0	0
GRUPPO 1b	Spettro X	0	211	0	1134	0	0
GRUPPO 1c	Spettro X	0	182	0	927	0	0
GRUPPO 1d	Spettro X	0	187	0	959	0	0
GRUPPO 1e	Spettro X	0	200	0	1058	0	0
GRUPPO 1f	Spettro X	0	208	0	1112	0	0
GRUPPO 3a	Spettro X	0	206	0	1101	0	0
GRUPPO 3b	Spettro X	0	211	0	1134	0	0
GRUPPO 3c	Spettro X	0	182	0	927	0	0
GRUPPO 3d	Spettro X	0	187	0	959	0	0
GRUPPO 3e	Spettro X	0	200	0	1058	0	0
GRUPPO 3f	Spettro X	0	208	0	1112	0	0
GRUPPO 1a	Spettro Y	0	0	412	0	-2202	0
GRUPPO 1b	Spettro Y	0	0	421	0	-2267	0
GRUPPO 1c	Spettro Y	0	0	364	0	-1853	0
GRUPPO 1d	Spettro Y	0	0	373	0	-1919	0
GRUPPO 1e	Spettro Y	0	0	400	0	-2117	0
GRUPPO 1f	Spettro Y	0	0	415	0	-2225	0
GRUPPO 3a	Spettro Y	0	0	412	0	-2202	0
GRUPPO 3b	Spettro Y	0	0	421	0	-2267	0
GRUPPO 3c	Spettro Y	0	0	364	0	-1853	0

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLV10605001	-A	38 di 77

GRUPPO 3d	Spettro Y	0	0	373	0	-1919	0
GRUPPO 3e	Spettro Y	0	0	400	0	-2117	0
GRUPPO 3f	Spettro Y	0	0	415	0	-2225	0

6.12 Riepilogo complessivo delle azioni a baricentro intradosso plinto

			N	F _L =F _X	F _T =F _Y	M _{Long} =M _Y	M _{Trasv} =M _X	M _{Tor} =M _Z
			[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
Sollecitazioni statiche impalcato	g1	Peso proprio impalcato	915	0	0	26	0	0
	g2	Sovraccarichi permanenti impalcato	1971	0	0	57	0	0
	GRUPPO 1a	Traffico normale: SW/0+SW/0	4389	287	210	1514	-1109	521
	GRUPPO 1b	Traffico pesante: SW/2+SW/0	4565	287	210	1514	-1460	574
	GRUPPO 1c	Traffico normale: SW/0+	2195	287	220	1514	-5551	574
	GRUPPO 1d	Traffico pesante: SW/2+	2370	277	220	1460	-5902	553
	GRUPPO 1e	Traffico normale: LM71+LM71	2725	287	110	2694	-581	574
	GRUPPO 1f	Traffico pesante: SW/2+LM71	2623	287	110	2650	-784	574
	GRUPPO 3a	Traffico normale: SW/0+SW/0	4389	574	105	3028	-554	1043
	GRUPPO 3b	Traffico pesante: SW/2+SW/0	4565	574	105	3028	-905	1147
	GRUPPO 3c	Traffico normale: SW/0+	2195	574	110	3028	-4970	1147
	GRUPPO 3d	Traffico pesante: SW/2+	2370	553	110	2920	-5321	1106
	GRUPPO 3e	Traffico normale: LM71+LM71	2725	574	50	4208	-264	1147
	GRUPPO 3f	Traffico pesante: SW/2+LM71	2623	574	50	4164	-467	1147
	GRUPPO 4a	Traffico normale: SW/0+SW/0	2633	344	126	1817	-665	626
	GRUPPO 4b	Traffico pesante: SW/2+SW/0	2739	344	126	1817	-876	688
	GRUPPO 4c	Traffico normale: SW/0+	1317	344	132	1817	-3330	688
	GRUPPO 4d	Traffico pesante: SW/2+	1422	332	132	1752	-3541	664
	GRUPPO 4e	Traffico normale: LM71+LM71	2180	459	88	3602	-465	918
	GRUPPO 4f	Traffico pesante: SW/2+LM71	2098	459	88	3558	-627	918
	q5,scarico	Vento a ponte scarico	0	0	9	0	-41	0
	q5,carico	Vento a ponte carico	0	0	42	0	-281	0
	Q4	Centrifuga	0	0	0	0	0	0
	GRUPPO 1a	Attrito dei vincoli	0	291	0	1164	0	0
	GRUPPO 1b	Attrito dei vincoli	0	298	0	1192	0	0
	GRUPPO 1c	Attrito dei vincoli	0	203	0	813	0	0
	GRUPPO 1d	Attrito dei vincoli	0	210	0	841	0	0
	GRUPPO 1e	Attrito dei vincoli	0	224	0	898	0	0
	GRUPPO 1f	Attrito dei vincoli	0	220	0	881	0	0
	GRUPPO 3a	Attrito dei vincoli	0	291	0	1164	0	0
GRUPPO 3b	Attrito dei vincoli	0	298	0	1192	0	0	
GRUPPO 3c	Attrito dei vincoli	0	203	0	813	0	0	
GRUPPO 3d	Attrito dei vincoli	0	210	0	841	0	0	
GRUPPO 3e	Attrito dei vincoli	0	224	0	898	0	0	

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	39 di 77

	GRUPPO 3f	Attrito dei vincoli	0	220	0	881	0	0
	GRUPPO 4a	Attrito dei vincoli	0	221	0	883	0	0
	GRUPPO 4b	Attrito dei vincoli	0	225	0	900	0	0
	GRUPPO 4c	Attrito dei vincoli	0	168	0	672	0	0
	GRUPPO 4d	Attrito dei vincoli	0	172	0	689	0	0
	GRUPPO 4e	Attrito dei vincoli	0	203	0	811	0	0
	GRUPPO 4f	Attrito dei vincoli	0	199	0	798	0	0
	q6,vert, z	Spettro Z	0	0	0	0	0	0
	GRUPPO 1a	Spettro X	0	206	0	1101	0	0
	GRUPPO 1b	Spettro X	0	211	0	1134	0	0
	GRUPPO 1c	Spettro X	0	182	0	927	0	0
	GRUPPO 1d	Spettro X	0	187	0	959	0	0
	GRUPPO 1e	Spettro X	0	200	0	1058	0	0
	GRUPPO 1f	Spettro X	0	208	0	1112	0	0
	GRUPPO 3a	Spettro X	0	206	0	1101	0	0
	GRUPPO 3b	Spettro X	0	211	0	1134	0	0
	GRUPPO 3c	Spettro X	0	182	0	927	0	0
	GRUPPO 3d	Spettro X	0	187	0	959	0	0
	GRUPPO 3e	Spettro X	0	200	0	1058	0	0
	GRUPPO 3f	Spettro X	0	208	0	1112	0	0
	GRUPPO 1a	Spettro Y	0	0	412	0	-2202	0
	GRUPPO 1b	Spettro Y	0	0	421	0	-2267	0
	GRUPPO 1c	Spettro Y	0	0	364	0	-1853	0
	GRUPPO 1d	Spettro Y	0	0	373	0	-1919	0
	GRUPPO 1e	Spettro Y	0	0	400	0	-2117	0
	GRUPPO 1f	Spettro Y	0	0	415	0	-2225	0
	GRUPPO 3a	Spettro Y	0	0	412	0	-2202	0
	GRUPPO 3b	Spettro Y	0	0	421	0	-2267	0
	GRUPPO 3c	Spettro Y	0	0	364	0	-1853	0
	GRUPPO 3d	Spettro Y	0	0	373	0	-1919	0
	GRUPPO 3e	Spettro Y	0	0	400	0	-2117	0
	GRUPPO 3f	Spettro Y	0	0	415	0	-2225	0
	g ₁	Peso pila	3883	0	0	0	0	0
	g ₁	Rinterro esterno	1990	0	0	0	0	0
	q ₆	Inerzia pila dir longitudinale	0	425	0	661	0	0
	q ₆	Inerzia pila dir trasversale	0	0	425	0	-661	0

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO-PAVIA FASE 2 - QUADRUPLICAMENTO PIEVE EMANUELE-PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PILA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLVI0605001	REV. -A

7 COMBINAZIONI DI CARICO

Sulla base delle condizioni di carico elementare illustrate al §6 sono state definite le combinazioni di carico.

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC-2008 al par.2.5.3:

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

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

Combinazione caratteristica rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d'esercizio:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} \dots;$$

Combinazione caratteristica frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots;$$

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

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

Combinazione sismica: $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} \dots$

Per le verifiche SLU si adottano i valori dei coefficienti parziali e dei coefficienti di combinazione riportati nelle seguenti figure.

Tabella 5.2.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{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 ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_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 ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.

⁽²⁾ 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.

⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

⁽⁵⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.

⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO-PAVIA FASE 2 - QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE-PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PILA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLVI0605001	REV. -A

Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione ψ delle azioni.

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_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	gr ₁	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr ₂	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr ₃	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr ₄	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F _{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T _k	0,60	0,60	0,50

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

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

7.1 Combinazioni SLU

In riferimento allo SLU le azioni da traffico sono state combinate con i carichi permanenti, i carichi permanenti non strutturali e le altre azioni variabili.

Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) e geotecnici (GEO) è stato adottato l'approccio 1.

Pertanto sono stati definiti due serie di combinazioni allo SLU secondo i coefficienti delle sue colonne A1 STR e A2 GEO della tabella 5.2.V delle NTC08.

7.1.1 Combinazioni SLU STR

Per ogni gruppo di carico di tipo 1 e 3 definito in precedenza è stata definita una combinazione allo SLU, per un totale pertanto di 12 combinazioni.

Ancora è stata definita una combinazione di carico a ponte scarico.

Pertanto complessivamente sono state definite 13 combinazioni SLU STR

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO-PAVIA FASE 2 - QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE-PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PILA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLVI0605001	REV. -A

Inoltre al fine considerare anche la condizione di minimo carico sulla fondazione è stato considerato anche un altro gruppo 13 combinazioni in cui per i carichi permanenti è stato assunto un coefficiente di combinazione unitario.

Di seguito si riportano i coefficienti utilizzati per ogni combinazione di carico:

	g1	g2 impalcato	Rinterro	Gruppo	Vento	Attrito vincoli
SLU STR	1.35	1.35	1.5	1.45	0.9	1.5
	1	1	1	0 (PS)	1.5 (PS)	0 (PS)

*PS: ponte scarico

7.1.2 Combinazioni SLU GEO

Per ogni gruppo di carico di tipo 1 e 3 definito in precedenza è stata definita una combinazione allo SLU, per un totale pertanto di 12 combinazioni.

Ancora è stata definita una combinazione di carico a ponte scarico.

Pertanto complessivamente sono state definite 13 combinazioni SLU GEO

Inoltre al fine considerare anche la condizione di minimo carico sulla fondazione è stato considerato anche un altro gruppo di 13 combinazioni in cui per i carichi permanenti non strutturali è stato assunto un coefficiente di combinazione unitario.

Di seguito si riportano i coefficienti utilizzati per ogni combinazione di carico:

	g1	g2 impalcato	Rinterro	Gruppo	Vento	Attrito vincoli
SLU GEO	1	1.3	1	1.25	0.78	1.3
	1	1	1	0 (PS)	1.3 (PS)	0 (PS)

*PS: ponte scarico

7.2 Combinazioni SLE

Analogamente a quanto fatto per gli SLU sono state definite le combinazioni di carico agli SLE.

7.2.1 Combinazioni SLE RARA

Per ogni gruppo di carico di tipo 1 e 3 definito in precedenza è stata definita una combinazione allo SLE RARA, per un totale pertanto di 12 combinazioni.

Ancora è stata definita una combinazione di carico a ponte scarico.

Pertanto complessivamente sono state definite 13 combinazioni SLE RARA

Di seguito si riportano i coefficienti utilizzati per ogni combinazione di carico:

	g1	g2 impalcato	Rinterro	Gruppo	Vento	Attrito vincoli
SLE RARA	1	1	1	1 0 (PS)	0.6 1 (PS)	1 0 (PS)

*PS: ponte scarico

7.2.2 Combinazioni SLE FREQUENTE

Per i gruppi di carico di tipo 4 definiti in precedenza è stata definita una combinazione allo SLE FREQUENTE, per un totale pertanto di 6 combinazioni.

Ancora è stata definita una combinazione di carico a ponte scarico.

Pertanto complessivamente sono state definite 7 combinazioni SLE FREQUENTE

Di seguito si riportano i coefficienti utilizzati per ogni combinazione di carico:

	g1	g2 impalcato	Rinterro	Gruppo	Vento	Attrito vincoli
SLE FREQUENTE	1	1	1	1 0 (PS)	0 0.5 (PS)	1 0 (PS)

*PS: ponte scarico

7.2.3 Combinazioni SLE QUASI PERMANENTE

È stata definita 1 combinazione SLE PERMANENTE

Di seguito si riportano i coefficienti utilizzati:

	g1	g2 impalcato	Rinterro	Gruppo	Vento	Attrito vincoli
SLE FREQUENTE	1	1	1	0	0	0

7.3 Combinazioni SISMICHE

Sono state definite le combinazioni sismiche sia per gli stati limite ultimi strutturali (SLV STR) che geotecnici (SLV GEO).

7.3.1 Combinazioni SLV STR

Per ogni gruppo di carico di tipo 1 e 3 definito in precedenza è stata definita una combinazione allo SLV STR, per un totale pertanto di 12 combinazioni per ogni direzione del sisma.

Di seguito si riportano i coefficienti utilizzati per ogni combinazione di carico:

SISMA X

g1	g2 impalcato	Rinterro	Gruppo	Vento	Attrito vincoli	Effetti Sisma in X	Effetti Sisma in Y
1	1	1	0.2	0	0.2	1	0.3

SISMA Y

g1	g2 impalcato	Rinterro	Gruppo	Vento	Attrito vincoli	Effetti Sisma in X	Effetti Sisma in Y
1	1	1	0.2	0	0.2	0.3	1

7.3.2 Combinazioni SLV GEO

Per ogni gruppo di carico di tipo 1 e 3 definito in precedenza è stata definita una combinazione allo SLV GEO, per un totale pertanto di 12 combinazioni per ogni direzione del sisma.

I coefficienti di combinazione utilizzati sono gli stessi definiti per le combinazioni SLV STR.

7.4 Sollecitazioni combinate

Si riportano di seguito le sollecitazioni per tutte le combinazioni di carico ad intradosso plinto baricentro palificata.

Combo	N [kN]	F _L =F _X [kN]	F _T =F _Y [kN]	M _{Long} =M _Y [kNm]	M _{Trasv} =M _X [kNm]	M _{Tor} =M _Z [kNm]
SLU_STR_01	12124	0	13	112	-61	0
SLU_STR_02	18488	852	342	4054	-1861	756
SLU_STR_03	18743	863	342	4096	-2370	832
SLU_STR_04	15306	721	356	3527	-8302	832
SLU_STR_05	15561	716	356	3491	-8811	802
SLU_STR_06	16075	752	197	5365	-1095	832
SLU_STR_07	15928	746	197	5277	-1390	832
SLU_STR_08	18488	1268	190	6250	-1057	1512
SLU_STR_09	18743	1279	190	6292	-1566	1663
SLU_STR_010	15306	1136	197	5723	-7459	1663
SLU_STR_011	15561	1117	197	5608	-7968	1604
SLU_STR_012	16075	1168	110	7561	-636	1663
SLU_STR_013	15928	1162	110	7473	-931	1663
SLV_STR_01	9638	747	293	2381	-1081	104
SLV_STR_02	9673	753	296	2419	-1170	115
SLV_STR_03	9199	705	281	2136	-1864	115
SLV_STR_04	9234	709	284	2164	-1954	111
SLV_STR_05	9305	728	270	2521	-949	115
SLV_STR_06	9284	734	274	2563	-1022	115
SLV_STR_07	9638	804	272	2684	-970	209
SLV_STR_08	9673	810	275	2722	-1060	229
SLV_STR_09	9199	763	259	2439	-1748	229
SLV_STR_010	9234	764	262	2456	-1838	221
SLV_STR_011	9305	785	258	2824	-886	229
SLV_STR_012	9284	792	262	2866	-959	229
SLV_STR_013	9638	305	879	1148	-3084	104
SLV_STR_014	9673	308	888	1163	-3220	115
SLV_STR_015	9199	280	833	1025	-3625	115
SLV_STR_016	9234	281	842	1030	-3760	111
SLV_STR_017	9305	290	848	1317	-2894	115
SLV_STR_018	9284	291	863	1322	-3042	115
SLV_STR_019	9638	362	858	1450	-2973	209

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	47 di 77

SLV_STR_020	9673	365	867	1466	-3109	229
SLV_STR_021	9199	338	811	1328	-3508	229
SLV_STR_022	9234	336	820	1322	-3644	221
SLV_STR_023	9305	347	836	1620	-2831	229
SLV_STR_024	9284	349	851	1624	-2979	229
SLE_rara_01	8760	0	9	83	-41	0
SLE_rara_02	13149	578	235	2762	-1278	521
SLE_rara_03	13324	585	235	2790	-1629	574
SLE_rara_04	10954	490	245	2410	-5719	574
SLE_rara_05	11130	487	245	2384	-6070	553
SLE_rara_06	11484	511	135	3675	-750	574
SLE_rara_07	11383	507	135	3615	-953	574
SLE_rara_08	13149	865	105	4276	-554	1043
SLE_rara_09	13324	872	105	4304	-905	1147
SLE_rara_010	10954	777	110	3925	-4970	1147
SLE_rara_011	11130	763	110	3844	-5321	1106
SLE_rara_012	11484	798	50	5189	-264	1147
SLE_rara_013	11383	794	50	5129	-467	1147
SLE_fre_01	8760	0	4	83	-20	0
SLE_fre_02	11393	565	126	2783	-665	626
SLE_fre_03	11498	569	126	2800	-876	688
SLE_fre_04	10076	512	132	2573	-3330	688
SLE_fre_05	10182	504	132	2525	-3541	664
SLE_fre_06	10939	661	88	4496	-465	918
SLE_fre_07	10858	658	88	4439	-627	918
SLE_QP_01	8760	0	0	83	0	0
SLU_GEO_01	9351	0	11	100	-53	0
SLU_GEO_02	14837	737	295	3506	-1605	652
SLU_GEO_03	15057	746	295	3543	-2044	717
SLU_GEO_04	12094	623	307	3050	-7158	717
SLU_GEO_05	12314	619	307	3019	-7596	691
SLU_GEO_06	12757	650	170	4635	-945	717
SLU_GEO_07	12630	645	170	4559	-1199	717
SLU_GEO_08	14837	1095	164	5399	-912	1304
SLU_GEO_09	15057	1104	164	5436	-1351	1434
SLU_GEO_010	12094	981	170	4943	-6432	1434
SLU_GEO_011	12314	965	170	4843	-6870	1383
SLU_GEO_012	12757	1009	95	6528	-549	1434
SLU_GEO_013	12630	1003	95	6451	-803	1434
SLV_GEO_01	9638	747	293	2381	-1081	104
SLV_GEO_02	9673	753	296	2419	-1170	115

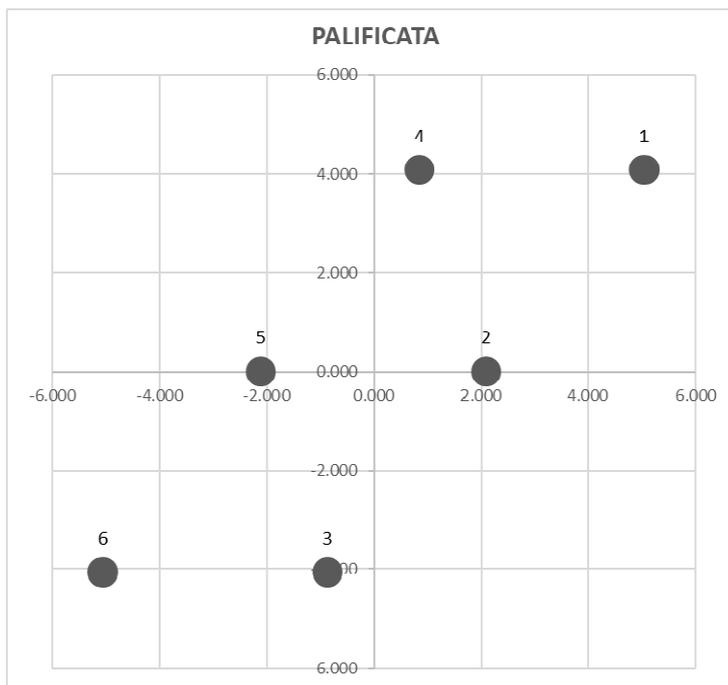
RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	48 di 77

SLV_GEO_03	9199	705	281	2136	-1864	115
SLV_GEO_04	9234	709	284	2164	-1954	111
SLV_GEO_05	9305	728	270	2521	-949	115
SLV_GEO_06	9284	734	274	2563	-1022	115
SLV_GEO_07	9638	804	272	2684	-970	209
SLV_GEO_08	9673	810	275	2722	-1060	229
SLV_GEO_09	9199	763	259	2439	-1748	229
SLV_GEO_010	9234	764	262	2456	-1838	221
SLV_GEO_011	9305	785	258	2824	-886	229
SLV_GEO_012	9284	792	262	2866	-959	229
SLV_GEO_013	9638	305	879	1148	-3084	104
SLV_GEO_014	9673	308	888	1163	-3220	115
SLV_GEO_015	9199	280	833	1025	-3625	115
SLV_GEO_016	9234	281	842	1030	-3760	111
SLV_GEO_017	9305	290	848	1317	-2894	115
SLV_GEO_018	9284	291	863	1322	-3042	115
SLV_GEO_019	9638	362	858	1450	-2973	209
SLV_GEO_020	9673	365	867	1466	-3109	229
SLV_GEO_021	9199	338	811	1328	-3508	229
SLV_GEO_022	9234	336	820	1322	-3644	221
SLV_GEO_023	9305	347	836	1620	-2831	229
SLV_GEO_024	9284	349	851	1624	-2979	229

8 CALCOLO SOLLECITAZIONI SUI SINGOLI PALI DI FONDAZIONE

A partire dalle sollecitazioni riportate al §7.4 sono state definite le azioni agenti sui singoli pali della fondazione.



Coordinate pali:

Palo	X (m)	Y (m)
1	5.062	4.075
2	2.100	0.000
3	-0.860	-4.075
4	0.859	4.075
5	-2.103	0.000
6	-5.063	-4.075

Sforzo normale: $N_{palo,i} = N/n.pali + M_y/\Sigma x^2 x_i + M_x/\Sigma y^2 y_i$

Taglio: $T_{palo,i} = (F_x/n.pali + F_y/n.pali)^{0.5}$

Momento $M_{palo,i} = T_{palo,i} \times \lambda \times C_M$

Con: $\lambda = (E_p J/k_h)^{1/5}$

C_M da calcolarsi in base a λ , tabella pag.476 "Viggiani":

L/l	C_M
2	1.06
3	0.97
4	0.93
≥ 5	0.93

k_h	1.5	kg/cm ³
λ	2.92	m
L	29	m
L/ λ	9.94	-
C_M	0.93	-

Si riportano di seguito le azioni sui pali maggiormente sollecitati (pali di angolo) per tutte le combinazioni di carico esaminate:

	NP.1 [kN]	NP.3 [kN]	NP.6 [kN]	NP.4 [kN]	TP.1 [kN]	TP.3 [kN]	TP.6 [kN]	TP.4 [kN]	MP.1 [kN]	MP.3 [kN]	MP.6 [kN]	MP.4 [kN]
SLU_STR_01	2026	2023	2015	2019	2	2	2	2	6	6	6	6
SLU_STR_02	3301	3139	2862	3024	153	153	153	153	415	415	415	415
SLU_STR_03	3315	3212	2932	3036	155	155	155	155	420	420	420	420
SLU_STR_04	2332	3011	2770	2091	134	134	134	134	364	364	364	364
SLU_STR_05	2340	3085	2847	2102	133	133	133	133	362	362	362	362
SLU_STR_06	3053	2671	2305	2687	130	130	130	130	352	352	352	352
SLU_STR_07	3003	2666	2306	2643	129	129	129	129	349	349	349	349
SLU_STR_08	3530	3059	2632	3104	214	214	214	214	580	580	580	580
SLU_STR_09	3545	3132	2702	3115	215	215	215	215	585	585	585	585
SLU_STR_010	2564	2929	2538	2173	192	192	192	192	522	522	522	522
SLU_STR_011	2566	3004	2621	2183	189	189	189	189	513	513	513	513
SLU_STR_012	3262	2613	2096	2746	196	196	196	196	531	531	531	531
SLU_STR_013	3212	2607	2097	2702	195	195	195	195	528	528	528	528
SLV_STR_01	1736	1639	1477	1573	134	134	134	134	363	363	363	363
SLV_STR_02	1739	1650	1485	1574	135	135	135	135	366	366	366	366
SLV_STR_03	1594	1618	1472	1449	127	127	127	127	343	343	343	343
SLV_STR_04	1597	1629	1481	1449	127	127	127	127	345	345	345	345
SLV_STR_05	1700	1574	1402	1528	129	129	129	129	351	351	351	351
SLV_STR_06	1695	1574	1399	1520	131	131	131	131	355	355	355	355

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLV10605001	-A	51 di 77

SLV_STR_07	1767	1628	1445	1584	142	142	142	142	384	384	384	384
SLV_STR_08	1771	1639	1453	1585	143	143	143	143	387	387	387	387
SLV_STR_09	1626	1606	1440	1460	134	134	134	134	364	364	364	364
SLV_STR_010	1628	1617	1450	1460	135	135	135	135	365	365	365	365
SLV_STR_011	1729	1566	1373	1536	138	138	138	138	374	374	374	374
SLV_STR_012	1724	1566	1371	1529	139	139	139	139	377	377	377	377
SLV_STR_013	1511	1779	1701	1433	155	155	155	155	421	421	421	421
SLV_STR_014	1510	1793	1714	1431	157	157	157	157	425	425	425	425
SLV_STR_015	1395	1741	1671	1325	147	147	147	147	398	398	398	398
SLV_STR_016	1393	1755	1685	1323	148	148	148	148	402	402	402	402
SLV_STR_017	1482	1710	1620	1392	149	149	149	149	405	405	405	405
SLV_STR_018	1469	1716	1625	1379	152	152	152	152	412	412	412	412
SLV_STR_019	1543	1768	1669	1444	155	155	155	155	421	421	421	421
SLV_STR_020	1542	1782	1682	1442	157	157	157	157	426	426	426	426
SLV_STR_021	1427	1730	1639	1336	146	146	146	146	397	397	397	397
SLV_STR_022	1424	1744	1654	1334	148	148	148	148	401	401	401	401
SLV_STR_023	1510	1702	1591	1400	151	151	151	151	409	409	409	409
SLV_STR_024	1498	1707	1597	1387	153	153	153	153	416	416	416	416
SLE_rara_01	1464	1461	1456	1459	1	1	1	1	4	4	4	4
SLE_rara_02	2340	2231	2043	2152	104	104	104	104	282	282	282	282
SLE_rara_03	2350	2282	2091	2160	105	105	105	105	285	285	285	285
SLE_rara_04	1673	2143	1978	1508	91	91	91	91	248	248	248	248
SLE_rara_05	1679	2194	2031	1516	91	91	91	91	246	246	246	246
SLE_rara_06	2170	1909	1658	1919	88	88	88	88	239	239	239	239
SLE_rara_07	2136	1905	1658	1889	87	87	87	87	237	237	237	237
SLE_rara_08	2509	2166	1874	2217	145	145	145	145	394	394	394	394
SLE_rara_09	2519	2216	1922	2225	146	146	146	146	397	397	397	397
SLE_rara_010	1843	2076	1808	1576	131	131	131	131	355	355	355	355
SLE_rara_011	1845	2128	1865	1582	129	129	129	129	349	349	349	349
SLE_rara_012	2325	1858	1504	1970	133	133	133	133	362	362	362	362
SLE_rara_013	2290	1854	1504	1940	133	133	133	133	360	360	360	360
SLE_fre_01	1466	1460	1454	1460	1	1	1	1	2	2	2	2
SLE_fre_02	2087	1901	1711	1897	96	96	96	96	262	262	262	262
SLE_fre_03	2093	1931	1740	1902	97	97	97	97	264	264	264	264
SLE_fre_04	1687	1848	1672	1511	88	88	88	88	239	239	239	239
SLE_fre_05	1687	1879	1707	1515	87	87	87	87	236	236	236	236
SLE_fre_06	2164	1789	1482	1857	111	111	111	111	302	302	302	302
SLE_fre_07	2136	1786	1483	1833	111	111	111	111	300	300	300	300
SLE_QP_01	1467	1459	1453	1461	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU_GEO_01	1564	1560	1554	1557	2	2	2	2	5	5	5	5
SLU_GEO_02	2663	2522	2283	2423	132	132	132	132	359	359	359	359
SLU_GEO_03	2675	2585	2344	2433	134	134	134	134	363	363	363	363
SLU_GEO_04	1827	2412	2204	1619	116	116	116	116	314	314	314	314
SLU_GEO_05	1834	2476	2270	1628	115	115	115	115	313	313	313	313
SLU_GEO_06	2449	2119	1803	2133	112	112	112	112	304	304	304	304

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLV10605001	-A	52 di 77

SLU_GEO_07	2406	2115	1804	2095	111	111	111	111	302	302	302	302
SLU_GEO_08	2861	2453	2085	2492	185	185	185	185	501	501	501	501
SLU_GEO_09	2873	2516	2145	2502	186	186	186	186	505	505	505	505
SLU_GEO_010	2028	2341	2004	1690	166	166	166	166	450	450	450	450
SLU_GEO_011	2029	2406	2075	1698	163	163	163	163	443	443	443	443
SLU_GEO_012	2629	2069	1623	2184	169	169	169	169	458	458	458	458
SLU_GEO_013	2586	2064	1624	2146	168	168	168	168	456	456	456	456
SLV_GEO_01	1736	1639	1477	1573	134	134	134	134	363	363	363	363
SLV_GEO_02	1739	1650	1485	1574	135	135	135	135	366	366	366	366
SLV_GEO_03	1594	1618	1472	1449	127	127	127	127	343	343	343	343
SLV_GEO_04	1597	1629	1481	1449	127	127	127	127	345	345	345	345
SLV_GEO_05	1700	1574	1402	1528	129	129	129	129	351	351	351	351
SLV_GEO_06	1695	1574	1399	1520	131	131	131	131	355	355	355	355
SLV_GEO_07	1767	1628	1445	1584	142	142	142	142	384	384	384	384
SLV_GEO_08	1771	1639	1453	1585	143	143	143	143	387	387	387	387
SLV_GEO_09	1626	1606	1440	1460	134	134	134	134	364	364	364	364
SLV_GEO_010	1628	1617	1450	1460	135	135	135	135	365	365	365	365
SLV_GEO_011	1729	1566	1373	1536	138	138	138	138	374	374	374	374
SLV_GEO_012	1724	1566	1371	1529	139	139	139	139	377	377	377	377
SLV_GEO_013	1511	1779	1701	1433	155	155	155	155	421	421	421	421
SLV_GEO_014	1510	1793	1714	1431	157	157	157	157	425	425	425	425
SLV_GEO_015	1395	1741	1671	1325	147	147	147	147	398	398	398	398
SLV_GEO_016	1393	1755	1685	1323	148	148	148	148	402	402	402	402
SLV_GEO_017	1482	1710	1620	1392	149	149	149	149	405	405	405	405
SLV_GEO_018	1469	1716	1625	1379	152	152	152	152	412	412	412	412
SLV_GEO_019	1543	1768	1669	1444	155	155	155	155	421	421	421	421
SLV_GEO_020	1542	1782	1682	1442	157	157	157	157	426	426	426	426
SLV_GEO_021	1427	1730	1639	1336	146	146	146	146	397	397	397	397
SLV_GEO_022	1424	1744	1654	1334	148	148	148	148	401	401	401	401
SLV_GEO_023	1510	1702	1591	1400	151	151	151	151	409	409	409	409
SLV_GEO_024	1498	1707	1597	1387	153	153	153	153	416	416	416	416

Le azioni minime e massime sui pali sono le seguenti:

con i valori non unitari dei coefficienti A1 STR e A2 GEO dei carichi permanenti

		N P.1	N P.3	N P.6	N P.4	TP.1	TP.3	TP.6	TP.4	MP.1	MP.3	MP.6	MP.4
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
SLU STR	MIN	2026	2023	2015	2019	2	2	2	2	6	6	6	6
SLU STR	MAX	3545	3212	2932	3115	215	215	215	215	585	585	585	585
SLV STR	MIN	1393	1566	1371	1323	127	127	127	127	343	343	343	343
SLV STR	MAX	1771	1793	1714	1585	157	157	157	157	426	426	426	426

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	53 di 77

SLE RARA	MIN	1464	1461	1456	1459	1	1	1	1	4	4	4	4
SLE RARA	MAX	2519	2282	2091	2225	146	146	146	146	397	397	397	397
SLE FREQ	MIN	1466	1460	1454	1460	1	1	1	1	2	2	2	2
SLE FREQ	MAX	2164	1931	1740	1902	111	111	111	111	302	302	302	302
SLE QP	MIN	1467	1459	1453	1461	0	0	0	0	0	0	0	0
SLE QP	MAX	1467	1459	1453	1461	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU GEO	MIN	1564	1560	1554	1557	2	2	2	2	5	5	5	5
SLU GEO	MAX	2873	2585	2344	2502	186	186	186	186	505	505	505	505
SLV GEO	MIN	1393	1566	1371	1323	127	127	127	127	343	343	343	343
SLV GEO	MAX	1771	1793	1714	1585	157	157	157	157	426	426	426	426

con i valori unitari dei coefficienti A1 STR e A2 GEO dei carichi permanenti

		N P.1	N P.3	N P.6	N P.4	T P.1	T P.3	T P.6	T P.4	M P.1	M P.3	M P.6	M P.4
		[kN]											
SLU STR	MIN	1463	1463	1457	1457	2	2	2	2	6	6	6	6
SLU STR	MAX	2982	2652	2374	2554	215	215	215	215	585	585	585	585
SLV STR	MIN	1393	1566	1371	1323	127	127	127	127	343	343	343	343
SLV STR	MAX	1771	1793	1714	1585	157	157	157	157	426	426	426	426
SLE RARA	MIN	1464	1461	1456	1459	1	1	1	1	4	4	4	4
SLE RARA	MAX	2519	2282	2091	2225	146	146	146	146	397	397	397	397
SLE FREQ	MIN	1466	1460	1454	1460	1	1	1	1	2	2	2	2
SLE FREQ	MAX	2164	1931	1740	1902	111	111	111	111	302	302	302	302
SLE QP	MIN	1467	1459	1453	1461	0	0	0	0	0	0	0	0
SLE QP	MAX	1467	1459	1453	1461	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU GEO	MIN	1464	1462	1456	1458	2	2	2	2	5	5	5	5
SLU GEO	MAX	2774	2487	2246	2404	186	186	186	186	505	505	505	505
SLV GEO	MIN	1393	1566	1371	1323	127	127	127	127	343	343	343	343
SLV GEO	MAX	1771	1793	1714	1585	157	157	157	157	426	426	426	426

9 VERIFICHE STRUTTURALI DEI PALI DI FONDAZIONE

Diametro del palo: 1200mm
 Copriferro: 60mm
 Armatura longitudinale: 30 ϕ 26
 Staffatura: ϕ 14 passo 25cm

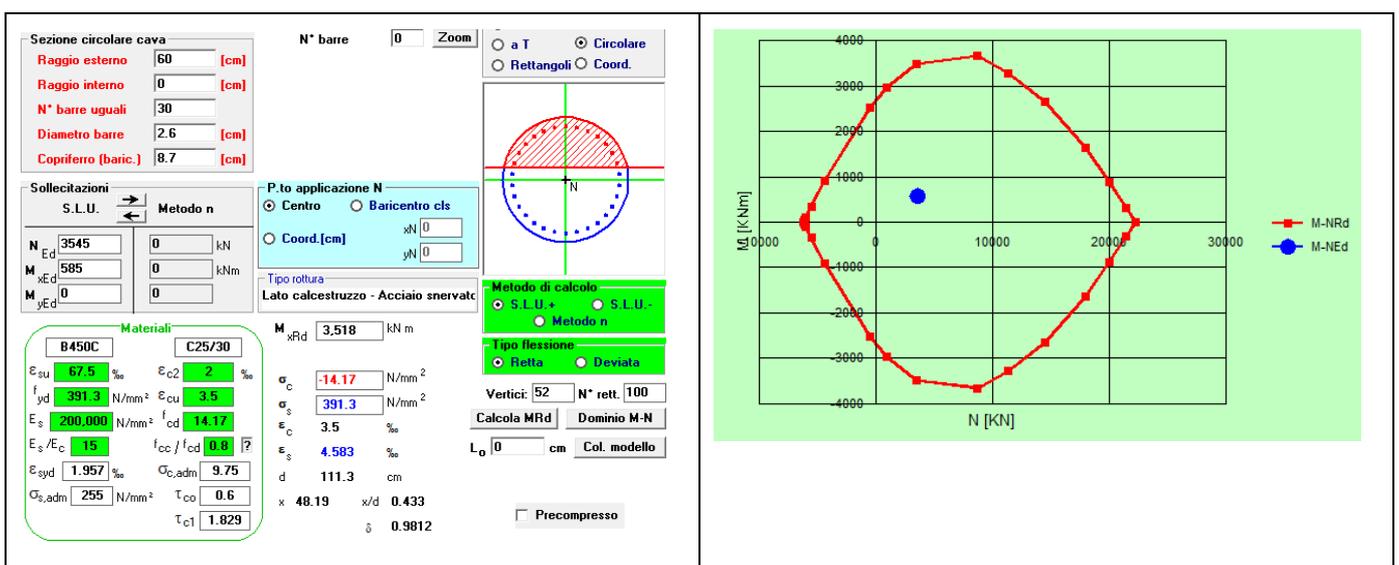
9.1 Verifica a pressoflessione allo SLU

Sono state verificate le condizioni di Nmin e Nmax per le combinazioni SLU STR e SLV STR.

Sollecitazioni di verifica:

	SLU STR	SLV STR
Nmax (kN)	3545	1793
M (kNm)	585	425
Nmin (kN)	1457	1323
M (kNm)	6	402

Verifiche:



RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLV10605001	-A	55 di 77

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 60 [cm]
Raggio interno: 0 [cm]
N° barre uguali: 30
Diametro barre: 2,6 [cm]
Copriferro (baric.): 8,7 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 1793 [kN]
M_{xEd}: 425 [kNm]
M_{yEd}: 0 [kNm]

P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

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

Tipo flessione: Retta Deviata

Vertici: 52 N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

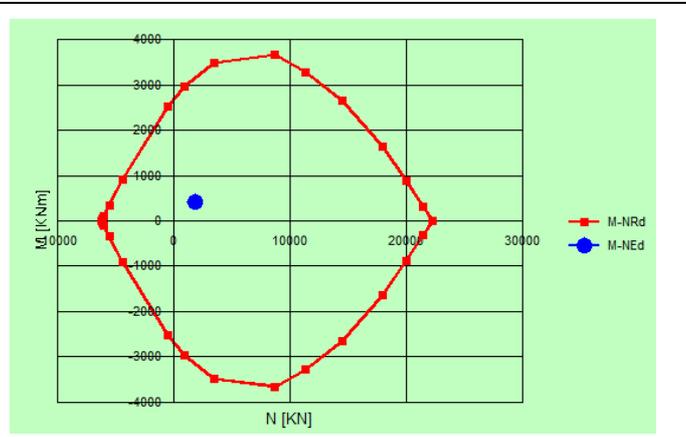
L₀: 0 [cm] Col. modello

Precompresso

Materiali: B450C C25/30

ε_{su}: 67.5 ‰ ε_{c2}: 2 ‰
f_{yd}: 391.3 N/mm² ε_{cu}: 3.5 ‰
E_s: 200.000 N/mm² f_{cd}: 14.17 [?]
E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0.8 [?]
ε_{syd}: 1.957 ‰ C_{c,adm}: 9.75
C_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0.6
τ_{c1}: 1.829

M_{xRd}: 3.183 [kNm]
σ_c: -14.17 N/mm²
σ_s: 391.3 N/mm²
ε_s: 3.5 ‰
ε_s: 6.303 ‰
d: 111.3 [cm]
x: 39.74 x/d: 0.357
δ: 0.8863



Sezione circolare cava

Raggio esterno: 60 [cm]
Raggio interno: 0 [cm]
N° barre uguali: 30
Diametro barre: 2,6 [cm]
Copriferro (baric.): 8,7 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 1457 [kN]
M_{xEd}: 6 [kNm]
M_{yEd}: 0 [kNm]

P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

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

Tipo flessione: Retta Deviata

Vertici: 52 N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

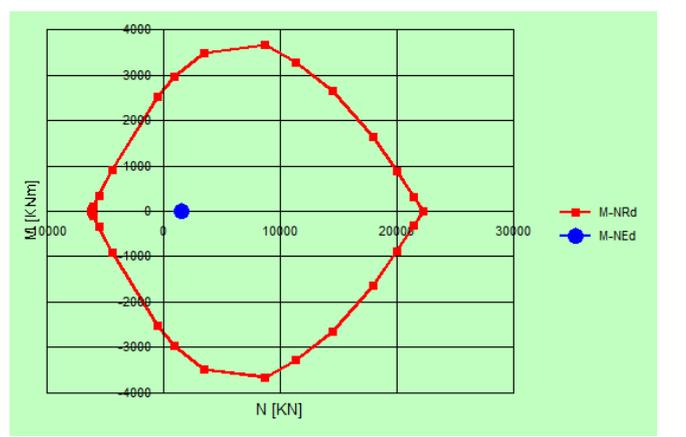
L₀: 0 [cm] Col. modello

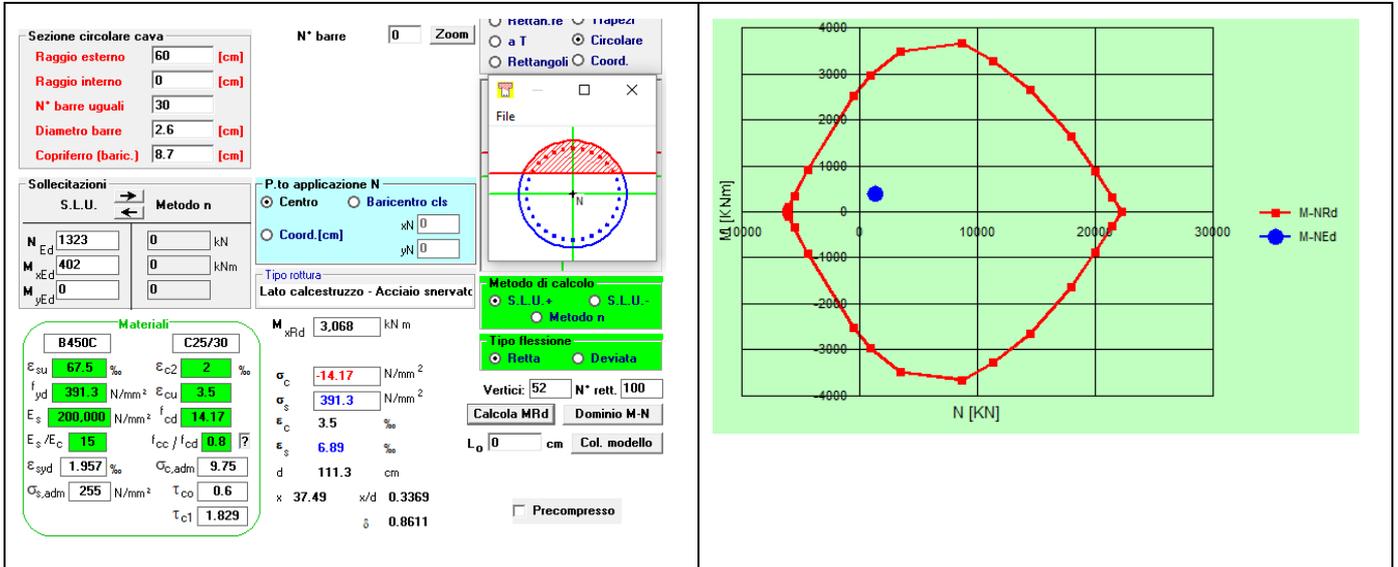
Precompresso

Materiali: B450C C25/30

ε_{su}: 67.5 ‰ ε_{c2}: 2 ‰
f_{yd}: 391.3 N/mm² ε_{cu}: 3.5 ‰
E_s: 200.000 N/mm² f_{cd}: 14.17 [?]
E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0.8 [?]
ε_{syd}: 1.957 ‰ C_{c,adm}: 9.75
C_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0.6
τ_{c1}: 1.829

M_{xRd}: 3.101 [kNm]
σ_c: -14.17 N/mm²
σ_s: 391.3 N/mm²
ε_s: 3.5 ‰
ε_s: 6.718 ‰
d: 111.3 [cm]
x: 38.13 x/d: 0.3425
δ: 0.8682





9.2 Verifica a pressoflessione allo SLE

Sono state verificate le condizioni di N_{min} e N_{max} per le combinazioni SLE.

Sollecitazioni di verifica:

	SLE RARE	SLE FREQ	SLE QP
N _{max} (kN)	2519	2164	1467
M (kNm)	397	302	0
N _{min} (kN)	1464	1466	1467
M (kNm)	4	2	0

Al fine di assicurare la funzionalità e la durabilità delle strutture in c.a. è necessario non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni agenti ed alla sensibilità delle armature alla corrosione.

Si distinguono i seguenti stati limite:

- Stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata vale:

$$\sigma = f_{ctm} / 1,2 \quad \text{con:} \quad f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)}$$

- Stato limite di apertura delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta il valore limite di apertura della fessura è pari ad uno dei seguenti valori:

$$W1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$W2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$W3 = 0.4 \text{ mm}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO-PAVIA FASE 2 - QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE-PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PILA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLVI0605001	REV. -A

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione dalla corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise secondo quanto riportato nella tabella seguente, estratta dalle NTC 2008:

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

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

Nel caso di specie la condizione di riferimento è “ordinaria” propria di una classe di esposizione XC2.

Si prendono in considerazione le seguenti combinazioni di carico:

- combinazione rara

Le armature sono classificate come “armature poco sensibili”.

Il valore di calcolo di apertura delle fessure W_K dovrà risultare:

- $w_K \leq w_1$ per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del DM 14.1.2008, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- $w_K \leq w_2$ per strutture in condizioni ambientali ordinarie secondo il citato paragrafo del DM 14.1.2008;

con: $w_1 = 0.2$ mm, $w_2 = 0.3$ mm, $w_3 = 0.4$ mm.

Il valore di calcolo è dato da:

$$W_K = 1.7 W_m$$

dove W_m rappresenta l'ampiezza media delle fessure calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura ϵ_{sm} per la media fra le fessure Δ_m .

Per il calcolo delle grandezze descritte vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.

Secondo la simbologia dell'EC2 l'ampiezza W_K vale:

$$W_K = \beta S_{rm} \epsilon_{sm}$$

in cui:

S_{rm} : interasse medio finale delle lesioni (fessurazione stabilizzata);

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO-PAVIA FASE 2 - QUADRUPLICAMENTO PIEVE EMANUELE-PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PILA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLVI0605001	REV. -A

ϵ_{sm} : deformazione media delle barre di acciaio;

β : coefficiente che trasforma l'ampiezza media delle lesioni nel valore di calcolo pari ad un valore compreso fra 1.30 ed 1.70 relativamente a spessori variabili fra 300 mm e 800 mm;

ϵ_{sm} : si calcola con la relazione:

$$\epsilon_{sm} = \sigma_s / E_s (1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{ST} / \sigma_s)^2)$$

con:

σ_s : tensione nell'armatura tesa calcolata considerando la sezione fessurata (II stadio);

σ_{ST} : tensione nell'armatura tesa calcolata considerando la sezione fessurata (II stadio) considerando la condizione di carico che causa la prima fessurazione;

$\beta_1 = 1$ per barre ad aderenza migliorata;

β_2 coefficiente dipendente dalla durata del carico;

L'espressione di S_{rm} accolta dalla normativa italiana è la seguente:

$$S_{rm} = 2(c+s/10) + K_1 K_2 \phi / \rho_r$$

c: copriferro

s: interasse delle barre

K_1 : 0.40 (barre ad aderenza migliorata)

K_2 : 0.125 (flessione pura) – 0.25 (trazione pura)

Il controllo dell'ampiezza delle lesioni consiste nell'accertare la validità della seguente disuguaglianza:

$$W_K < W_{lim}$$

in cui:

W_K : è l'ampiezza di calcolo della lesione;

W_{lim} : è il valore nominale limite dell'ampiezza dalla lesione che è specificato dalle norme in base alle condizioni ambientali.

9.2.1 Stato limite di formazione delle fessure

La formazione delle fessure avviene quando la tensione normale di trazione del calcestruzzo della fibra più sollecitata vale:

$$\sigma_f = f_{ctm} / 1,2 = 2.56 / 1.2 = - 2.13 \text{ MPa.}$$

	Comb.	Comb.
	N _{max}	N _{min}
σ_{c_RARA} (MPa)	0.05	1.06

In nessun caso si supera lo stato limite di formazione delle fessure: non occorre procedere alla verifica dello stato limite di apertura delle fessure.

9.2.2 Verifica delle tensioni di esercizio

Si procede inoltre con la verifica tensionale per le combinazioni rara e quasi permanente.

Per tali combinazioni deve risultare:

$$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0,55 * f_{ck} = 13.70 \text{ MPa} \quad \text{per la combinazione rara}$$

$$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0,4 * f_{ck} = 9.96 \text{ MPa} \quad \text{per la combinazione quasi permanente}$$

In particolare si ha che:

	Comb.	Comb.
	N _{max}	N _{min}
σ_{c_RARA} (MPa)	3.6	1.1
$\sigma_{c_QuasiPERM}$ (MPa)	1.1	1.1

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto $\sigma_c < \sigma_{c,max}$

Inoltre per la combinazione rara la massima tensione di trazione sull'acciaio deve risultare:

$$\sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,75 * f_{yk} = 337.5 \text{ MPa}$$

Si ha:

	Comb.	Comb.
	N _{max}	N _{min}
σ_{s_RARA} (MPa)	4.7	15.9

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto $\sigma_s < \sigma_{s,max}$.

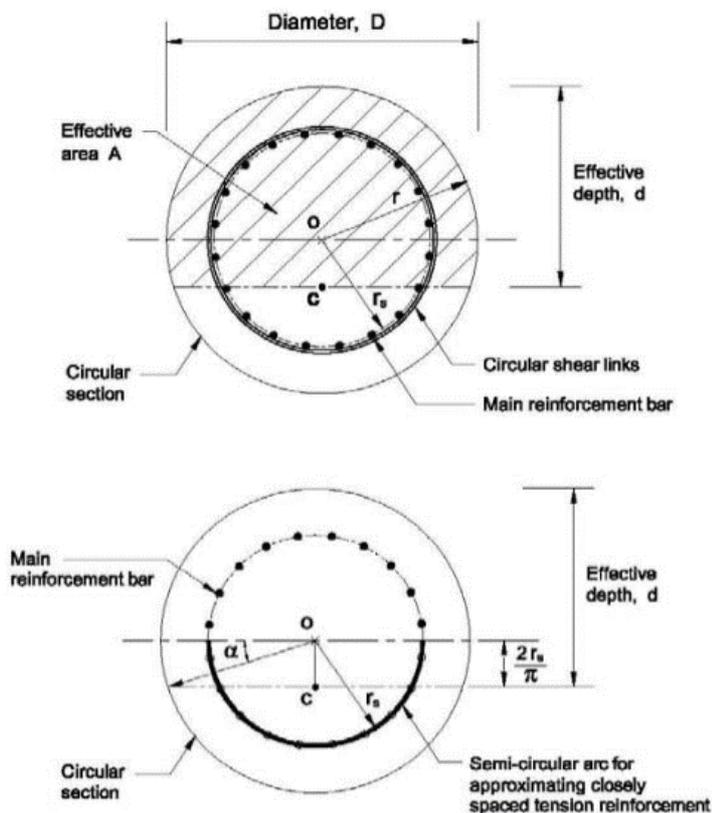
9.3 Verifica a taglio

Si riportano le verifiche nei confronti delle sollecitazioni taglianti. In particolare viene esplicitato il calcolo del coefficiente di sicurezza per l'azione massima riscontrata in testa.

Per il calcolo della resistenza si fa riferimento al paragrafo 4.1.2.1.3.2 NTC08 (Elementi dotati di armature resistenti a taglio).

L'altezza utile "d" è stimata secondo il paragrafo 7.9.5.2.2 NTC08:

$d = r + 2 r_s / \pi$ con r_s raggio della circonferenza su cui è distribuita l'armatura



Armatura trasversale: staffatura passo 25 cm diametro Ø14.

Massima azione tagliante: 215 kN

Con riferimento alla precedente figura si ha:

Senza specifica armatura a taglio

Altezza utile (d)	927	mm
k	1.46	

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

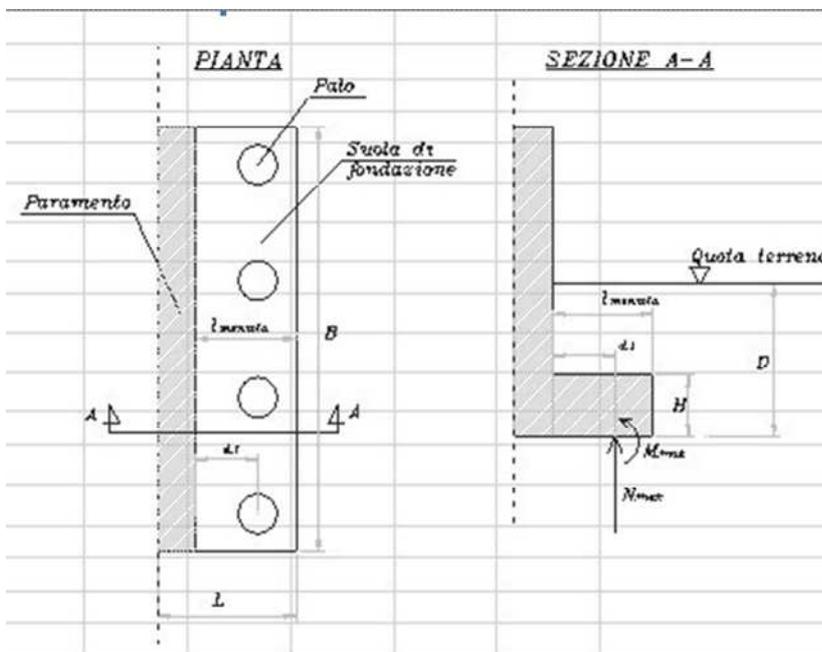
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	61 di 77

f_{ck}	24.90	MPa
A_{sl}	239.6	cmq
b_w	1.01	m
r_l	0.02000	-
S_{cp}	0.0	MPa
V_{min}	0.310	MPa
V1	605.8	kN
V2	290.0	kN
Taglio resistente = max (V1;V2)	605.8	kN
Taglio agente	215	kN
Verifica soddisfatta	FS	2.67

10 VERIFICA DEL PLINTO DI FONDAZIONE

10.1 Sollecitazioni

Il calcolo delle sollecitazioni in direzione longitudinale è stato eseguito con il seguente schema di mensola incastrata.



Le azioni del palo sono riferite al palo maggiormente sollecitato.

Tali azioni sono state ottenute decurtando il carico verticale relativo al peso del plinto e del rinterro.

Sono state valutate le azioni relative al valore massimo e minimo del carico del palo.

Il carico minimo è stato ottenuto ponendo pari a 1 i valori dei coefficienti di combinazioni A1 STR dei carichi permanenti.

L_{mensola}	2.84 m	
d_1	1.48 m	distanza pali dal setto
i	5.04 m	interasse pali

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	63 di 77

	$N_{MAX,P}$ [kN]	V_p [kN]	$N_{MIN,P}$ [kN]	V_p [kN]	N_p = azione assiale sul palo V_p = azione orizzontale sul palo
SLU STR	2940	215	1009	215	
SLV STR	1345	157	875	157	
SLE RARA	2071	146	1008	146	
SLE FREQ	1716	111	1006	111	
SLE Q.P.	1019	0	1005	0	

Sollecitazioni all'incastro della mensola:

	N_{MAX}			N_{MIN}		
	M [kNm] = $N_p \times d_1$	N (>0 traz) [kN] = V_p	V [kN] = N_p	M [kNm] = $N_p \times d_1$	N (>0 traz) [kN] = V_p	V [kN] = N_p
SLU STR	4352	215	2940	1493	215	1009
SLV STR	1991	157	1345	1294	157	875
SLE RARA	3065	146	2071	1491	146	1008
SLE FREQ	2540	111	1716	1489	111	1006
SLE Q.P.	1508	0	1019	1488	0	1005

Sollecitazioni all'incastro della mensola a metro lineare:

Lunghezza di ripartizione

3.87 m

	N_{MAX}			N_{MIN}		
	M [kNm] = $N_p \times d_1$	N (>0 traz) [kN] = V_p	V [kN] = N_p	M [kNm] = $N_p \times d_1$	N (>0 traz) [kN] = V_p	V [kN] = N_p
SLU STR	1124.4	55.7	759.7	385.8	55.7	260.7
SLV STR	514.5	40.5	347.7	334.5	40.5	226.0
SLE RARA	792.0	37.8	535.1	385.3	37.8	260.4
SLE FREQ	656.4	28.7	443.5	384.9	28.7	260.0
SLE Q.P.	389.6	0.0	263.3	384.4	0.0	259.7

10.2 Verifica a pressoflessione

Spessore: 150cm

Copriferro: 40mm

Armatura longitudinale estradosso: $\phi 24/20$

Armatura longitudinale intradosso: $\phi 24/15$

In direzione trasversale viene disposta una armatura $\phi 24/20$ sia all'estradosso che all'intradosso con infittimento a $\phi 24/10$ all'estradosso in corrispondenza dei pali.

10.2.1 SLU

Per la verifica in direzione longitudinale allo SLU si ricorre al meccanismo di tirante – puntone.

Si fa riferimento ad una sezione di larghezza unitaria: 100cm x 150cm.

Il dimensionamento viene condotto per il palo maggiormente sollecitato.

Essendo tale palo un palo di spigolo la sua azione, al fine di riportarla ad un carico a metro lineare, è stata divisa per la seguente distanza: 3.87m (distanza tra bordo fondazione e interasse pali in direzione trasversale (Y)).

Tirante-Puntone

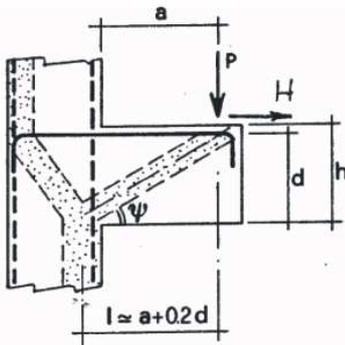


Figura 15: meccanismo di tirante-puntone

Le forze che entrano in gioco sono:

P	reazione vincolare del micropalo
H	azione tagliante orizzontale
$A_s \cdot f_{yd}$	forza resistenze di trazione
R_s	forza resistente risultante

Si verificano due meccanismi:

Resistenza dell'armatura a trazione (tirante) $R_s = [(A_s f_{yd} - H) \cdot 0,9d / L > P$

Resistenza biella di calcestruzzo (puntone) $R_c = 0,4 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \cdot c / (1 + \lambda^2) > R_s$

TIRANTE - PUNTONE Nmax (Armature intradosso)

	SLU STR	SLV STR	
P (kN)	2940	1345	Reazione palo
H (kN)	215	157	Azione tagliante orizzontale
Azioni a ml di fondazione			
P/ml (kN/m)	759.7	347.7	
H/ml (kN/m)	55.7	40.5	
A_s	3014.4	mm ² /m	ϕ 24 / 15
f_{yd}	391.3	MPa	

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLV10605001	-A	65 di 77

d	1.45	m	
a	1.48	m	
l=a+0.2d	1.77	m	
R _s (kN/m)	868.62	868.63	Resistenza tirante armatura = (A _s *f _{yd} -H)*0.9*d/L
R_s>=P	OK	OK	
FS=	1.14	2.50	
f _{cd}	14.11	MPa	
λ=L/d	1.22		
b	1	m	
c	1.5		
R _c	4916.2	kN/m	Resistenza biella calcestruzzo = 0.4*b*d*f _{cd} *c/(1+λ ²)
R_c>=R_s	OK	OK	
FS=	5.66	5.66	

Non si hanno azioni di trazione sui pali e pertanto all'estradosso della fondazione non si manifesta un'azione di trazione.

10.2.2 SLE

Sono state verificate le condizioni di N_{min}, N_{max} per le combinazioni SLE RARE, FREQUENTI E QUASI PERMANENTI per il tramite delle sollecitazioni riportate al § 10.1..

Per i criteri di verifica si rimanda a quanto descritto al §9.2.

10.2.2.1 Stato limite di formazione delle fessure

La formazione delle fessure avviene quando la tensione normale di trazione del calcestruzzo della fibra più sollecitata vale:

$$\sigma_f = f_{ctm} / 1,2 = 2.56 / 1.2 = - 2.13 \text{ MPa.}$$

Comb.

N_{max}

σ_{c_RARA} (MPa) -1.87

Non si supera lo stato limite di formazione delle fessure: non occorre procedere alla verifica dello stato limite di apertura delle fessure

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO-PAVIA FASE 2 - QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE-PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PILA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLVI0605001	REV. -A

10.2.2.2 Verifica delle tensioni di esercizio

Si procede inoltre con la verifica tensionale per le combinazioni rara e quasi permanente.

Per tali combinazioni deve risultare:

$$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0,55 \cdot f_{ck} = 13.70 \text{ MPa} \quad \text{per la combinazione rara}$$

$$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0,4 \cdot f_{ck} = 9.96 \text{ MPa} \quad \text{per la combinazione quasi permanente}$$

In particolare si ha:

	Comb.
	N_{max}
σ_{c_RARA} (MPa)	3.29
$\sigma_{c_QuasiPERM}$ (MPa)	1.63

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto $\sigma_c < \sigma_{c,max}$

Inoltre per la combinazione rara la massima tensione di trazione sull'acciaio deve risultare:

$$\sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,75 \cdot f_{yk} = 337.5 \text{ MPa}$$

Si ha:

	Comb.
	N_{max}
σ_{s_RARA} (MPa)	-199.29

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto $\sigma_s < \sigma_{s,max}$.

10.3 Verifica a taglio

Si riportano le verifiche nei confronti delle sollecitazioni taglianti. In particolare viene esplicitato il calcolo del coefficiente di sicurezza per l'azione massima riscontrata.

Per il calcolo della resistenza si fa riferimento al paragrafo 4.1.2.1.3 NTC08 (Resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti).

Massima azione di taglio: 759.7 kN/m (SLU STR)

Senza specifica armatura a taglio

Altezza utile (d)	1424	mm
k	1.37	
f_{ck}	24.90	MPa
A_{sl}	30.2	cmq
b_w	1.00	m

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	67 di 77

ρ_l	0.00212	-	
S_{cp}	0.0	MPa	
V_{min}	0.282	MPa	
V1	409.3	kN	
V2	400.9	kN	
Taglio resistente = max (V1;V2)	409.3	kN	
Taglio agente	759.7	kN	
NON SODDISFA	FS	0.54	E' necessario disporre specifica armatura a taglio

Con specifica armatura a taglio:

f_{yd}	391.3	MPa	
$f'_{cd} = 0.5f_{cd}$	7.1	MPa	
n. braccia	1	/m	
\emptyset	24	mm	
A_{sw}	452.16	mm ²	
Passo	0.2	m	
V_{Rsd}	1133.8	kN	
V_{Rcd}	9041.7	kN	
$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}; V_{Rcd})$	1133.8	kN	
Taglio agente	759.7	kN	
Verifica soddisfatta	FS	1.49	

11 VERIFICA DEL FUSTO

11.1 Sollecitazioni al piede del fusto

Nella seguente tabella sono riportate le azioni elementari agenti sul fusto della pila per le diverse condizioni di carico esaminate in precedenza.

		N	F _L =F _x	F _T =F _y	M _{Long} =M _y	M _{Trasv} =M _x
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
<i>g1</i>	<i>Peso proprio impalcato</i>	915	0	0	26	0
<i>g2</i>	<i>Sovraccarichi permanenti impalcato</i>	1971	0	0	57	0
GRUPPO 1a	Traffico normale: SW/0+SW/0	4389	287	210	1084	-269
GRUPPO 1b	Traffico pesante: SW/2+SW/0	4565	287	210	1084	-620
GRUPPO 1c	Traffico normale: SW/0+	2195	287	220	1084	-4671
GRUPPO 1d	Traffico pesante: SW/2+	2370	277	220	1045	-5022
GRUPPO 1e	Traffico normale: LM71+LM71	2725	287	110	2264	-141
GRUPPO 1f	Traffico pesante: SW/2+LM71	2623	287	110	2220	-344
GRUPPO 3a	Traffico normale: SW/0+SW/0	4389	574	105	2168	-134
GRUPPO 3b	Traffico pesante: SW/2+SW/0	4565	574	105	2168	-485
GRUPPO 3c	Traffico normale: SW/0+	2195	574	110	2168	-4530
GRUPPO 3d	Traffico pesante: SW/2+	2370	553	110	2090	-4881
GRUPPO 3e	Traffico normale: LM71+LM71	2725	574	50	3348	-64
GRUPPO 3f	Traffico pesante: SW/2+LM71	2623	574	50	3304	-267
GRUPPO 4a	Traffico normale: SW/0+SW/0	2633	344	126	1301	-161
GRUPPO 4b	Traffico pesante: SW/2+SW/0	2739	344	126	1301	-372
GRUPPO 4c	Traffico normale: SW/0+	1317	344	132	1301	-2802
GRUPPO 4d	Traffico pesante: SW/2+	1422	332	132	1254	-3013
GRUPPO 4e	Traffico normale: LM71+LM71	2180	459	88	2914	-113
GRUPPO 4f	Traffico pesante: SW/2+LM71	2098	459	88	2870	-275
<i>q5,scarico</i>	<i>Vento a ponte scarico</i>	0	0	9	0	-28
<i>q5,carico</i>	<i>Vento a ponte carico</i>	0	0	42	0	-219
Q4	Centrifuga	0	0	0	0	0
GRUPPO 1a	Attrito dei vincoli	0	291	0	728	0
GRUPPO 1b	Attrito dei vincoli	0	298	0	745	0
GRUPPO 1c	Attrito dei vincoli	0	203	0	508	0
GRUPPO 1d	Attrito dei vincoli	0	210	0	526	0
GRUPPO 1e	Attrito dei vincoli	0	224	0	561	0
GRUPPO 1f	Attrito dei vincoli	0	220	0	551	0

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLVI0605001	-A	69 di 77

GRUPPO 3a	Attrito dei vincoli	0	291	0	728	0
GRUPPO 3b	Attrito dei vincoli	0	298	0	745	0
GRUPPO 3c	Attrito dei vincoli	0	203	0	508	0
GRUPPO 3d	Attrito dei vincoli	0	210	0	526	0
GRUPPO 3e	Attrito dei vincoli	0	224	0	561	0
GRUPPO 3f	Attrito dei vincoli	0	220	0	551	0
GRUPPO 4a	Attrito dei vincoli	0	221	0	552	0
GRUPPO 4b	Attrito dei vincoli	0	225	0	563	0
GRUPPO 4c	Attrito dei vincoli	0	168	0	420	0
GRUPPO 4d	Attrito dei vincoli	0	172	0	431	0
GRUPPO 4e	Attrito dei vincoli	0	203	0	507	0
GRUPPO 4f	Attrito dei vincoli	0	199	0	498	0
GRUPPO 1a	Spettro X	0	206	0	792	0
GRUPPO 1b	Spettro X	0	211	0	818	0
GRUPPO 1c	Spettro X	0	182	0	654	0
GRUPPO 1d	Spettro X	0	187	0	680	0
GRUPPO 1e	Spettro X	0	200	0	758	0
GRUPPO 1f	Spettro X	0	208	0	801	0
GRUPPO 3a	Spettro X	0	206	0	792	0
GRUPPO 3b	Spettro X	0	211	0	818	0
GRUPPO 3c	Spettro X	0	182	0	654	0
GRUPPO 3d	Spettro X	0	187	0	680	0
GRUPPO 3e	Spettro X	0	200	0	758	0
GRUPPO 3f	Spettro X	0	208	0	801	0
GRUPPO 1a	Spettro Y	0	0	412	0	-553
GRUPPO 1b	Spettro Y	0	0	421	0	-582
GRUPPO 1c	Spettro Y	0	0	364	0	-397
GRUPPO 1d	Spettro Y	0	0	373	0	-426
GRUPPO 1e	Spettro Y	0	0	400	0	-515
GRUPPO 1f	Spettro Y	0	0	415	0	-563
GRUPPO 3a	Spettro Y	0	0	412	0	-553
GRUPPO 3b	Spettro Y	0	0	421	0	-582
GRUPPO 3c	Spettro Y	0	0	364	0	-397
GRUPPO 3d	Spettro Y	0	0	373	0	-426
GRUPPO 3e	Spettro Y	0	0	400	0	-515
GRUPPO 3f	Spettro Y	0	0	415	0	-563
g1	Peso pila (PULVINO+FUSTO)	1195	0	0	0	0
q6	Inerzia pila dir longitudinale (PULVINO+FUSTO)	0	131	0	244	0
q6	Inerzia pila dir trasversale (PULVINO+FUSTO)	0	0	131	0	-244

11.2 Sollecitazioni al piede del fusto combinate

Si riportano di seguito le sollecitazioni delle diverse combinazioni di carico ottenute a partire dalle sollecitazioni indicate al § precedente.

Combo	N [kN]	F _L =F _X [kN]	F _T =F _Y [kN]	M _{Long} =M _Y [kNm]	M _{Trasv} =M _X [kNm]
SLU_STR_01	4082	0	13	83	-42
SLU_STR_02	10446	852	342	2746	-587
SLU_STR_03	10700	863	342	2773	-1096
SLU_STR_04	7264	721	356	2417	-6969
SLU_STR_05	7518	716	356	2387	-7478
SLU_STR_06	8032	752	197	4207	-401
SLU_STR_07	7885	746	197	4128	-696
SLU_STR_08	10446	1268	190	4318	-392
SLU_STR_09	10700	1279	190	4345	-901
SLU_STR_010	7264	1136	197	3989	-6765
SLU_STR_011	7518	1117	197	3903	-7274
SLU_STR_012	8032	1168	110	5779	-290
SLU_STR_013	7885	1162	110	5700	-584
SLV_STR_01	4960	453	205	1481	-293
SLV_STR_02	4995	458	208	1511	-372
SLV_STR_03	4521	411	193	1299	-1126
SLV_STR_04	4556	415	195	1321	-1205
SLV_STR_05	4627	433	181	1650	-256
SLV_STR_06	4606	440	186	1682	-311
SLV_STR_07	4960	510	184	1698	-266
SLV_STR_08	4995	516	187	1727	-345
SLV_STR_09	4521	468	171	1516	-1098
SLV_STR_010	4556	470	173	1530	-1177
SLV_STR_011	4627	491	169	1867	-240
SLV_STR_012	4606	497	174	1899	-296
SLV_STR_013	4960	217	585	756	-851
SLV_STR_014	4995	219	594	768	-950
SLV_STR_015	4521	192	539	671	-1575
SLV_STR_016	4556	193	548	675	-1675
SLV_STR_017	4627	202	553	949	-787
SLV_STR_018	4606	203	568	951	-876

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLVI0605001	-A	71 di 77

SLV_STR_019	4960	274	564	973	-824
SLV_STR_020	4995	277	573	984	-923
SLV_STR_021	4521	249	517	888	-1547
SLV_STR_022	4556	248	526	884	-1646
SLV_STR_023	4627	259	541	1166	-772
SLV_STR_024	4606	260	556	1168	-861
SLE_rara_01	4082	0	9	83	-28
SLE_rara_02	8471	578	235	1895	-400
SLE_rara_03	8646	585	235	1912	-751
SLE_rara_04	6276	490	245	1675	-4802
SLE_rara_05	6452	487	245	1654	-5153
SLE_rara_06	6806	511	135	2908	-272
SLE_rara_07	6705	507	135	2854	-475
SLE_rara_08	8471	865	105	2979	-134
SLE_rara_09	8646	872	105	2996	-485
SLE_rara_010	6276	777	110	2759	-4530
SLE_rara_011	6452	763	110	2699	-4881
SLE_rara_012	6806	798	50	3992	-64
SLE_rara_013	6705	794	50	3938	-267
SLE_fre_01	4082	0	4	83	-14
SLE_fre_02	6715	565	126	1936	-161
SLE_fre_03	6820	569	126	1947	-372
SLE_fre_04	5398	512	132	1804	-2802
SLE_fre_05	5504	504	132	1768	-3013
SLE_fre_06	6261	661	88	3504	-113
SLE_fre_07	6180	658	88	3452	-275
SLE_QP_01	4082	0	0	83	0
SLU_GEO_01	4082	0	11	83	-36
SLU_GEO_02	9568	737	295	2384	-507
SLU_GEO_03	9787	746	295	2407	-946
SLU_GEO_04	6825	623	307	2099	-6009
SLU_GEO_05	7044	619	307	2073	-6448
SLU_GEO_06	7488	650	170	3642	-347
SLU_GEO_07	7361	645	170	3574	-601
SLU_GEO_08	9568	1095	164	3739	-339
SLU_GEO_09	9787	1104	164	3762	-778
SLU_GEO_010	6825	981	170	3454	-5833
SLU_GEO_011	7044	965	170	3380	-6272
SLU_GEO_012	7488	1009	95	4997	-251

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLVI0605001	-A	72 di 77

SLU_GEO_013	7361	1003	95	4929	-505
SLV_GEO_01	4960	453	205	1481	-293
SLV_GEO_02	4995	458	208	1511	-372
SLV_GEO_03	4521	411	193	1299	-1126
SLV_GEO_04	4556	415	195	1321	-1205
SLV_GEO_05	4627	433	181	1650	-256
SLV_GEO_06	4606	440	186	1682	-311
SLV_GEO_07	4960	510	184	1698	-266
SLV_GEO_08	4995	516	187	1727	-345
SLV_GEO_09	4521	468	171	1516	-1098
SLV_GEO_010	4556	470	173	1530	-1177
SLV_GEO_011	4627	491	169	1867	-240
SLV_GEO_012	4606	497	174	1899	-296
SLV_GEO_013	4960	217	585	756	-851
SLV_GEO_014	4995	219	594	768	-950
SLV_GEO_015	4521	192	539	671	-1575
SLV_GEO_016	4556	193	548	675	-1675
SLV_GEO_017	4627	202	553	949	-787
SLV_GEO_018	4606	203	568	951	-876
SLV_GEO_019	4960	274	564	973	-824
SLV_GEO_020	4995	277	573	984	-923
SLV_GEO_021	4521	249	517	888	-1547
SLV_GEO_022	4556	248	526	884	-1646
SLV_GEO_023	4627	259	541	1166	-772
SLV_GEO_024	4606	260	556	1168	-861

11.3 Verifica a pressoflessione

Spessore pila:	100cm
Copriferro:	50mm
Armatura verticale:	ϕ22/20
Armatura orizzontale:	ϕ14/20

A partire dalle sollecitazioni riportate al §11.2 è possibile calcolare le sollecitazioni per unità di lunghezza del muro frontale con cui vengono svolte le verifiche riportate nel seguito.

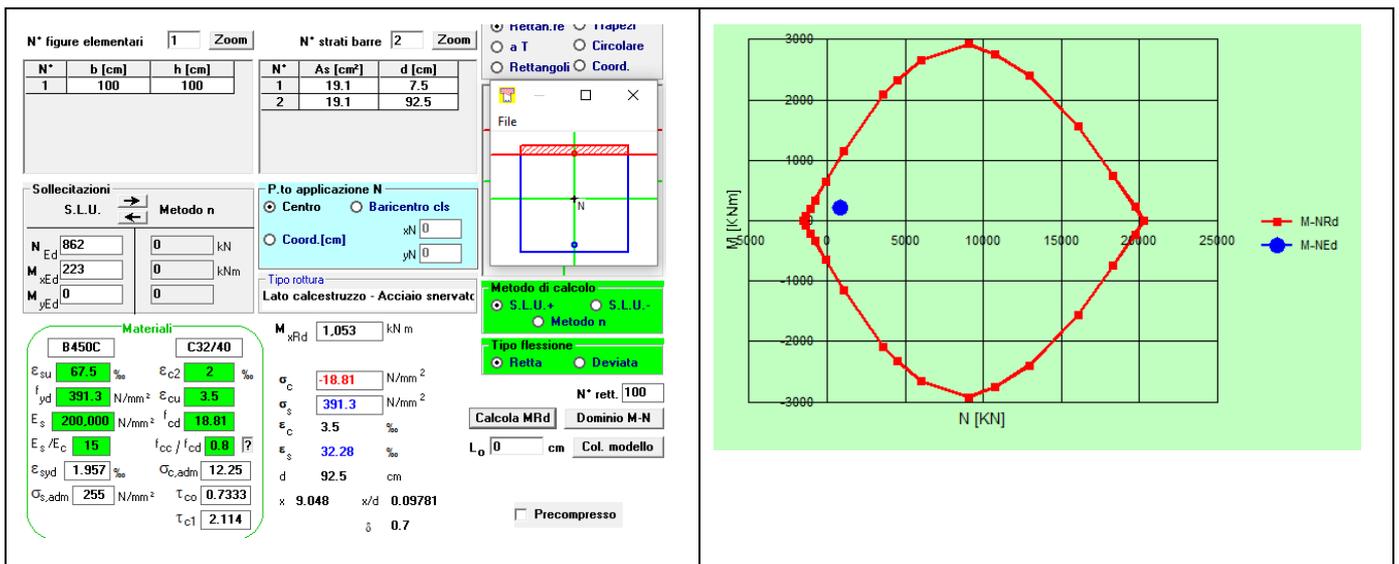
11.3.1 SLU

Sono state verificate le condizioni di N_{min} , N_{max} e M_{max} per le combinazioni SLU e SLV.

Sollecitazioni di verifica:

	N_{max}	N_{min}	M_{max}
N (kN/m)	862	329	647
M (kNm/m)	223	7	465

Verifiche:



RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLV10605001	-A	74 di 77

N° figure elementari | 1 | Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	100

N° strati barre | 2 | Zoom

N°	As [cm²]	d [cm]
1	19.1	7.5
2	19.1	92.5

a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 329 0 kN
 M_{xEd} 7 0 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

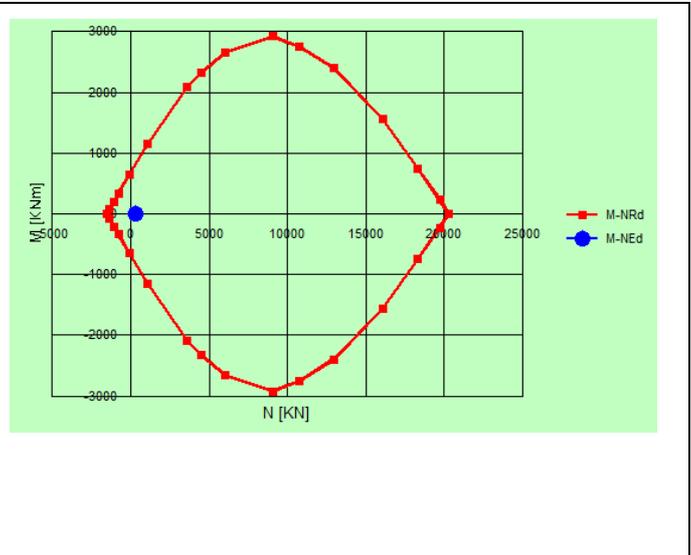
Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali
 B450C C32/40
 ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18.81
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 12.25
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{cl} 2.114

M_{xRd} 824.6 kNm
 σ_c -18.81 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 40.89 ‰
 d 92.5 cm
 x 7.294 x/d 0.07885
 δ 0.7



N° figure elementari | 1 | Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	100

N° strati barre | 2 | Zoom

N°	As [cm²]	d [cm]
1	19.1	7.5
2	19.1	92.5

a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 647 0 kN
 M_{xEd} 465 0 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

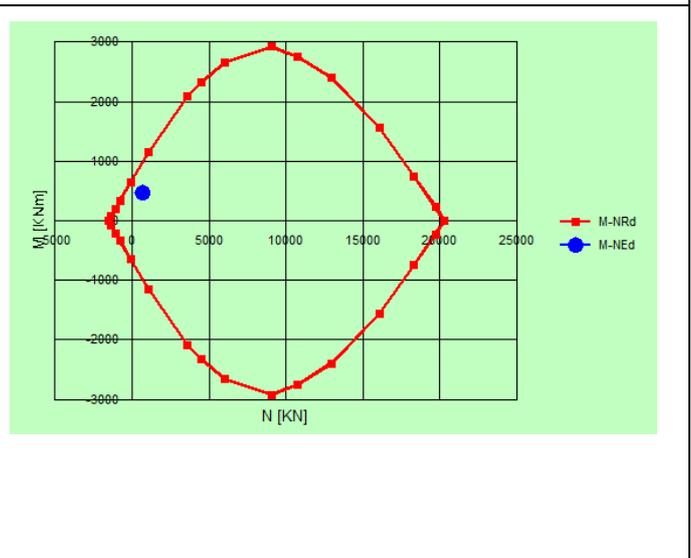
Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali
 B450C C32/40
 ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18.81
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 12.25
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{cl} 2.114

M_{xRd} 961.3 kNm
 σ_c -18.81 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 35.53 ‰
 d 92.5 cm
 x 8.295 x/d 0.08968
 δ 0.7



11.3.2 SLE

Sono state verificate le condizioni di N_{min} , N_{max} e M_{max} per le combinazioni SLE RARE, FREQUENTI E QUASI PERMANENTI.

Sollecitazioni di verifica:

SLE RARE

	N_{max}	N_{min}	M_{max}
N (kN/m)	696	329	548
M (kNm/m)	154	7	321

SLE FREQUENTI

	N_{max}	N_{min}	M_{max}
N (kN/m)	549	329	504
M (kNm/m)	157	7	282

SLE QUASI PERMANENTI (unica combinazione)

N (kN/m)	329
M (kNm/m)	7

Per i criteri di verifica si rimanda a quanto già descritto al §9.2.

11.3.2.1 Stato limite di formazione delle fessure

La formazione delle fessure avviene quando la tensione normale di trazione del calcestruzzo della fibra più sollecitata vale:

$$\sigma_f = f_{ctm} / 1,2 = 3,1 / 1,2 = - 2,58 \text{ MPa}$$

	Comb.	Comb.	Comb.
	N_{max}	N_{min}	M_{max}
σ_{c_RARA} (MPa)	-0.16	0.28	-1.20

Non si supera lo stato limite di formazione delle fessure: non occorre procedere alla verifica dello stato limite di apertura delle fessure

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	76 di 77

11.3.2.2 Verifica delle tensioni di esercizio

Si procede inoltre con la verifica tensionale per le combinazioni rara e quasi permanente.

Per tali combinazioni deve risultare:

$$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0,55 \cdot f_{ck} = 18.26 \text{ MPa} \quad \text{per la combinazione rara}$$

$$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0,4 \cdot f_{ck} = 13.28 \text{ MPa} \quad \text{per la combinazione quasi permanente}$$

In particolare si ha che:

	Comb.	Comb.	Comb.
	N _{max}	N _{min}	M _{max}
σ_{c_RARA} (MPa)	1.50	0.35	3.29
$\sigma_{c_QuasiPERM}$ (MPa)	0.35		

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto $\sigma_c < \sigma_{c,max}$

Inoltre per la combinazione rara la massima tensione di trazione sull'acciaio deve risultare:

$$\sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,75 \cdot f_{yk} = 337.5 \text{ MPa}$$

Si ha:

	Comb.	Comb.	Comb.
	N _{max}	N _{min}	M _{max}
σ_{s_RARA} (MPa)	-1.17	4.21	-73.38

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto $\sigma_s < \sigma_{s,max}$.

11.4 Verifica a taglio

Si riportano le verifiche nei confronti delle sollecitazioni taglianti. In particolare viene esplicitato il calcolo del coefficiente di sicurezza per l'azione massima riscontrata.

Per il calcolo della resistenza si fa riferimento al paragrafo 4.1.2.1.3 NTC08 (Resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti).

Massima azione di taglio: 103 kN/m (SLU_STR_09)

Senza specifica armatura a taglio

Altezza utile (d)	925	mm
k	1.46	
f _{ck}	33.20	MPa
A _{sl}	19.1	cmq

RELAZIONE DI CALCOLO PILA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLVI0605001	-A	77 di 77

b_w	1.00	m
ρ_l	0.00206	-
S_{cp}	0.0	MPa
V_{min}	0.358	MPa
V1	308.7	kN
V2	330.8	kN
Taglio resistente = max (V1;V2)	330.8	kN
Taglio agente	103	kN
Verifica soddisfatta	FS	3.21