



# SKYMETRO

## PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

### PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA (D.lgs. n. 36 / 2023)



**STAZIONI**  
**STAZIONE STADIO MARASSI**  
**RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI**

Commissa	Fase	Lotto	Disciplina	WBS	Tipo	Numero	Foglio	Rev.
MGE1	P4	L1	STR	SRO	R	002	00	A

Rev.	Descrizione	Nome		Data	Ragioni Modifica
A	Adeguamento al parere del CSLPP e altri Enti e allineamento progetto	Redatto	E. Maiello	07/03/2025	
		Verificato	M. Minno	07/03/2025	
		Approvato	E. Calatozzo	07/03/2025	
		Autorizzato	P. Cucino	07/03/2025	
B		Redatto			
		Verificato			
		Approvato			
		Autorizzato			
C		Redatto			
		Verificato			
		Approvato			
		Autorizzato			
D		Redatto			
		Verificato			
		Approvato			
		Autorizzato			



## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE OPERE</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO, DOCUMENTI DI SUPPORTO E SOFTWARE IMPIEGATI</b>	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>NORMATIVA TECNICA</b>	<b>7</b>
<b>3.2</b>	<b>DOCUMENTI CORRELATI</b>	<b>7</b>
<b>3.3</b>	<b>SOFTWARE IMPIEGATI</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>8</b>
4.1.1	CALCESTRUZZO PER ZATTERE E PALI DI FONDAZIONE	8
4.1.2	CALCESTRUZZO MAGRO	9
<b>4.1</b>	<b>ACCIAI</b>	<b>9</b>
4.1.1	ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA	9
<b>5.</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO</b>	<b>10</b>
<b>5.1</b>	<b>UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE</b>	<b>10</b>
<b>5.2</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b>	<b>11</b>
<b>5.3</b>	<b>MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO</b>	<b>12</b>
5.3.1	RIGIDEZZA LATERALE EQUIVALENTE DEL PALO SINGOLO	13
5.3.2	CURVE P-Y NEL CASO DI SABBIE	14
5.3.3	CURVE P-Y NEL CASO WEAK ROCK	15
<b>6.</b>	<b>CRITERI DI VERIFICA DEL SISTEMA FONDAZIONE</b>	<b>17</b>
<b>6.1</b>	<b>VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI</b>	<b>17</b>
<b>6.2</b>	<b>VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO</b>	<b>19</b>
<b>7.</b>	<b>CRITERI DI CALCOLO</b>	<b>20</b>
<b>7.1</b>	<b>VERIFICA DI CARICO LIMITE DELLA PALIFICATA NEI RIGUARDI DEI CARICHI ASSIALI – COMPRESSIONE</b>	<b>20</b>
<b>7.2</b>	<b>VERIFICA DI CARICO LIMITE DELLA PALIFICATA NEI RIGUARDI DEI CARICHI ASSIALI – TRAZIONE</b>	<b>20</b>
<b>7.3</b>	<b>METODO PER LA DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA LATERALE DEL TRATTO IMMORSATO</b>	<b>21</b>
<b>7.4</b>	<b>VERIFICA DI CARICO LIMITE NEI CONFRONTI DELLE AZIONI TRASVERSALI</b>	<b>23</b>
<b>8.</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>25</b>
<b>9.</b>	<b>RISULTATI E VERIFICHE – TIPOLOGICO A:</b>	<b>26</b>
<b>9.1</b>	<b>SOLLECITAZIONI DI INPUT</b>	<b>26</b>
<b>9.2</b>	<b>RISULTATI DELLE ANALISI</b>	<b>33</b>



---

<b>9.1</b>	<b>RISULTATI DELLE VERIFICHE GEOTECNICHE</b>	<b>36</b>
9.1.1	VERIFICA DI CARICO LIMITE VERTICALE DELLA PALIFICATA	36
9.1.2	VERIFICA CARICO LIMITE IN DIREZIONE TRASVERSALE	39
<b>9.2</b>	<b>VERIFICA DEI CEDIMENTI ALLO SLE</b>	<b>40</b>
<b>9.3</b>	<b>VERIFICA STRUTTURALE DEL PALO</b>	<b>41</b>
<b>10.</b>	<b>RISULTATI E VERIFICHE – TIPOLOGICO B</b>	<b>44</b>
<b>10.1</b>	<b>SOLLECITAZIONI DI INPUT</b>	<b>44</b>
<b>10.2</b>	<b>RISULTATI DELLE ANALISI</b>	<b>50</b>
<b>10.3</b>	<b>RISULTATI DELLE VERIFICHE</b>	<b>54</b>
10.3.1	VERIFICA DEI CEDIMENTI ALLO SLE	54
<b>11.</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>55</b>
<b>12.</b>	<b>OUTPUT</b>	<b>56</b>

---



---

## 1. PREMESSA

Il progetto SkyMetro prevede l'estensione del servizio della rete metropolitana esistente da Genova Brignole fino al quartiere di Molassana, lunghezza di circa 7 Km, con doppio binario, andando a servire la Val Bisagno, una delle due principali vallate che interessano il territorio del Comune di Genova. La linea si sviluppa in sponda destra a filo argine dalla nuova stazione, che prende il nome di Brignole Sant'Agata, fino alla stazione Stadio Marassi per poi portarsi in sponda sinistra dove è prevista l'ubicazione delle stazioni Parenzo, Staglieno, Ponte Carrega, San Gottardo e Molassana. Le stazioni hanno una distanza media di circa 1 km. Al termine della linea, sono presenti due aree di ricovero dei treni durante il periodo di morbida. La prima è ubicata all'inizio della tratta, in zona stazione di Brignole, e la seconda a fine tratta, in zona Molassana dove sono stati considerati tronchini atti allo scopo.



---

## 2. DESCRIZIONE DELLE OPERE

Il presente documento riporta il dimensionamento e le verifiche strutturali e geotecniche dei pali di fondazione della stazione di Marassi.

La struttura è sostenuta da 6 pile che sono fondate su una fondazione su pali.

Per le descrizioni delle opere in elevazione si rimanda all'elaborato specifico MGE1P2LVSTRSROR001-00.

Per quanto riguarda le opere di fondazione invece si distinguono due tipologie:

- TIPOLOGICO A: fondazione bordo alveo sull'argine esistente avente dimensioni pari a 8 metri x 5 metri. La fondazione poggerà su 6 pali aventi un diametro pari ad 1 metro ed una lunghezza pari a 32 metri;
- TIPOLOGICO B: fondazione su strada avente dimensione quadrata di lato 5 metri. La fondazione poggerà su 4 pali del diametro di 1000 mm e lunghezza pari a 36 m.



## 4. Caratteristiche dei materiali

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei diversi materiali impiegati nelle opere in oggetto, con l'indicazione dei valori di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni del DM 17/01/2018.

Per specifiche si rimanda all'elaborato MGE1P2LVSTRS00T001-00\_A.

### 4.1.1 Calcestruzzo per zattere e pali di fondazione

Per gli elementi in calcestruzzo armato ordinario in fondazione (pali e zattere di fondazione) è stato previsto l'utilizzo di un calcestruzzo con classe di resistenza **C32/40**, del quale si riportano di seguito le caratteristiche meccaniche:

Tabella 1. Specifiche tecniche materiali – Calcestruzzo per pali di fondazione C32/40

<b>Calcestruzzo per pali di fondazione</b>	
Classe di resistenza	C32/40
Valore caratteristico resistenza cubica a 28 giorni	$R_{ck} = 40 \text{ MPa}$
Valore caratteristico resistenza cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 32 \text{ MPa}$
Resistenza a compressione cilindrica media	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 40 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione assiale	$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} = 3.51 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0,85 f_{ck}/1,5 = 18.13 \text{ MPa}$
Modulo di Young a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} = 33345 \text{ MPa}$
Copriferro minimo	60 mm

A favore di sicurezza per le verifiche si considera un calcestruzzo **C25/30**:

Tabella 2. Specifiche tecniche materiali – Calcestruzzo per pali di fondazione C25/30

<b>Calcestruzzo per pali di fondazione</b>	
Classe di resistenza	C25/30
Valore caratteristico resistenza cubica a 28 giorni	$R_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Valore caratteristico resistenza cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
Resistenza a compressione cilindrica media	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 33 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione assiale	$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} = 2,56 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0,85 f_{ck}/1,5 = 14.46 \text{ MPa}$

Modulo di Young a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0,3} = 31447 \text{ MPa}$
Copriferro minimo	60 mm

#### 4.1.2 Calcestruzzo magro

Per il magrone della zattera è stato previsto l'utilizzo di un calcestruzzo con classe di resistenza **C12/15**:

Tabella 3. Specifiche tecniche materiali – Calcestruzzo per pali di fondazione

Calcestruzzo per pali di fondazione	
Classe di resistenza	C12/15
Valore caratteristico resistenza cubica a 28 giorni	$R_{ck} = 15 \text{ MPa}$
Valore caratteristico resistenza cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 12 \text{ MPa}$
Resistenza a compressione cilindrica media	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 20 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione assiale	$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} = 1.57 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0,85 f_{ck}/1,5 = 6.4 \text{ MPa}$
Modulo di Young a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0,3} = 27266 \text{ MPa}$

### 4.1 Acciai

#### 4.1.1 Acciaio per barre di armatura

Per le armature dei pali è stato previsto l'utilizzo di un acciaio **B450C** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Tabella 4. Specifiche tecniche materiali – Calcestruzzo per pali di fondazione

Acciaio per barre di armatura	
Tipo	B450C
Tensione caratteristica di rottura	$f_{uk} = 540 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 391,3 \text{ MPa}$
Modulo di Young	$E = 210000 \text{ MPa}$
Tensione massima di compressione in esercizio	$\sigma_{lim} = 0,8f_{yk} = 360 \text{ MPa}$



## 5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Nel presente capitolo si riporta una sintesi dell'inquadramento geotecnico dell'area in esame.

La stratigrafia di calcolo e i parametri fisico-meccanici di progetto per le singole unità geotecniche individuate sono stati assunti in accordo agli elaborati progettuali di riferimento, a cui si rimanda per ulteriori dettagli.

L'interpretazione di tutte le indagini geognostiche svolte, nonché le misure in situ e le determinazioni di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e non, hanno consentito di definire l'assetto stratigrafico e i parametri meccanici di resistenza e deformabilità da attribuire alle singole unità geotecniche.

### 5.1 Unità geotecniche intercettate

Le unità geotecniche presenti nell'area di studio sono:

- Materiali di riporto/terreni rimaneggiati (rip);
- Alluvioni grossolane (al1);
- Alluvioni fini (al2);
- Deposito pedemontano (dp1);
- Argille di Ortovero (AOR1);
- Accumulo detritico caotico (AOR2);
- Formazione Monte Antola (FMA);
- Argilliti di Montoggio (AMT).

In particolare, in copertura su tutte le unità si rinviene la coltre di terreni di riporto (rip), formata prevalentemente da ghiaie e sabbie, che mostra spessori variabili da 0 a 13 m con valori medi di 4 m presenta una elevata eterogeneità ed un variabile grado di addensamento.

Il tracciato di progetto intercetta prevalentemente la litofacies composta da ghiaie e ciottoli dei Depositi alluvionali (al1) che colmano la valle del fiume Bisagno con spessori variabili da 10 a 37 metri.

Si segnala comunque la frequente possibilità di incontrare intercalazioni di livelli/lenti a granulometria sabbioso-limosa (al2) di spessore che localmente può raggiungere gli 8 m. Nel tratto iniziale, a una profondità variabile tra 40 e 20 m dal p.c., si rinvengono i terreni composti da limi e argille sabbiose (dp1) del Deposito Pedemontano.

Per quanto riguarda le unità del substrato, nel tratto iniziale a circa 40 m dal p.c. si rinvengono i limi e argille con sabbie delle Argille di Ortovero (AOR1), con uno spessore di circa 4m. Verso il basso si rinvengono le ghiaie in matrice limoso-argillosa dell'accumulo detritico caotico (AOR2), con uno spessore di circa 5 m.

Tali depositi poggiano, nel tratto iniziale e centrale, sui calcari e marne della Formazione Monte Antola (FMA). Questi terreni si rinvengono a profondità variabili tra 6 m e 45 m dal p.c. Mentre nel tratto finale il substrato è rappresentato dalle argilliti scistose delle Argilliti di Montoggio (AMT). Le quali si rinvengono tra i 14 m e i 28 m dal p.c.

## 5.2 Caratterizzazione geotecnica

In accordo a quanto indicato nella relazione geotecnica (elaborato MGE1P2LVGEOCOMR005-00) per le opere oggetto del presente documento si possono adottare la stratigrafia di calcolo ed i relativi parametri geotecnici definiti per la tratta di riferimento. In particolare, si fa riferimento al sondaggio SKY-L7.

Per il dimensionamento delle fondazioni si considera una quota di testa del palo a 4 m di profondità da piano campagna per le pile e la spalla Nord mentre a 10 metri di profondità per la spalla sud.

Il livello di falda viene posto ad una quota pari ad 8 metri rispetto al piano campagna.

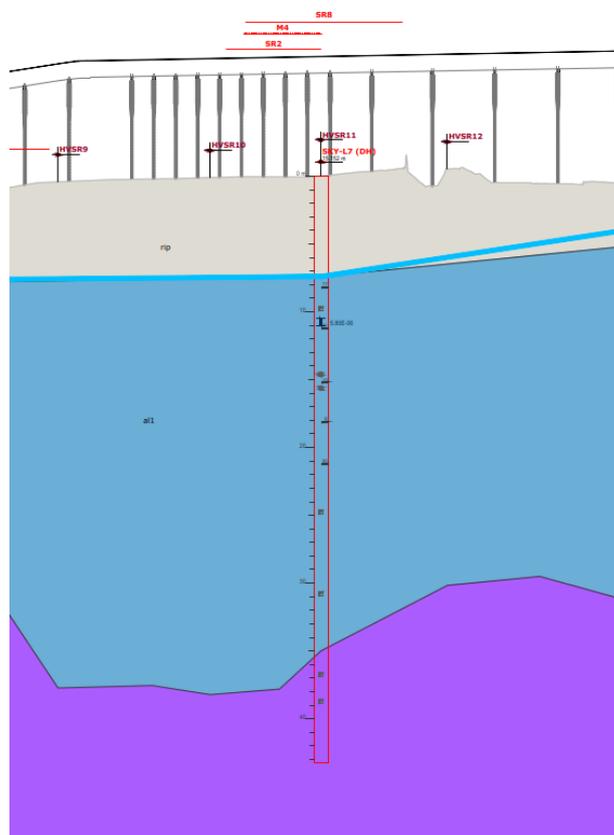


Figura 1. Stralcio profilo geotecnico

In particolare, nel seguito si riporta la tabella contenente la stratigrafia di progetto per le opere in esame ed i relativi parametri geotecnici di calcolo:

Tabella 5. Parametri geotecnici unità stratigrafiche

UNITÀ	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c [kPa]
Materiali di riporto/terreni rimaneggiati	19	30	0
Alluvioni grossolane	19,5	32	0
Formazione Monte Antola	22	42	80

### 5.3 Modello geotecnico di riferimento

In accordo col par. 6.4.3 delle NTC2018, è stata condotta un'analisi di interazione terreno-struttura al fine di determinare le azioni sugli elementi strutturali e le condizioni relative alla condizione di esercizio (6.4.3.2, calcolo spostamenti e distorsioni tenendo opportunamente conto degli effetti di interazione tra i pali e considerando i diversi meccanismi di mobilitazione della resistenza laterale rispetto alla resistenza alla base).

L'attività è stata svolta attraverso l'utilizzo del software GROUP che consente di risolvere il problema dell'interazione tra la platea di fondazione ed i pali in campo non lineare, tenendo conto, mediante opportuni accorgimenti, anche degli "effetti gruppo" sia in direzione orizzontale che in direzione verticale.

Nel caso particolare si tiene in conto esclusivamente dell'effetto gruppo in direzione orizzontale, selezionando l'opzione "reduction factors for Lateral Loads".

Tale opzione consente di applicare dei fattori di riduzione empirica, in funzione della configurazione dei pali, utilizzati per aumentare i valori di deflessione di ciascun punto su ciascuna curva p-y; così si genera un nuovo set di curve p-y che includono gli effetti del gruppo. La modifica delle curve p-y, come descritto sopra per i pali nel gruppo, consente il calcolo della deflessione e del momento flettente in funzione della profondità.

Nel caso di carichi verticali, infatti, questi tipi di terreni, l'efficienza risulta essere non minore di 1 nel caso di carichi verticali (Viggiani, 1999).

### 5.3.1 Rigidezza laterale equivalente del palo singolo

Si fa ricorso al noto metodo della “curve P-y” in base al quale si ipotizza quanto segue:

- Il palo viene schematizzato come un elemento avente modulo elastico del calcestruzzo  $E_p$ ;
- Il terreno viene caratterizzato per mezzo di molle non lineari che correlano direttamente la pressione normale esercitata lungo il fusto del palo ( $p$ ) con il relativo spostamento ( $y$ );
- Le azioni interne e lo spostamento del palo vengono pertanto definite integrando la seguente equazione differenziale:

$$E_p \cdot I_p \frac{d^2 y}{dx^2} = E_s \cdot y$$

dove:

- $I_p$  = inerzia del palo
- $E_s$  = modulo di reazione orizzontale secante =  $p/y$
- $x$  = coordinata generica lungo il palo con origine in corrispondenza della testa.

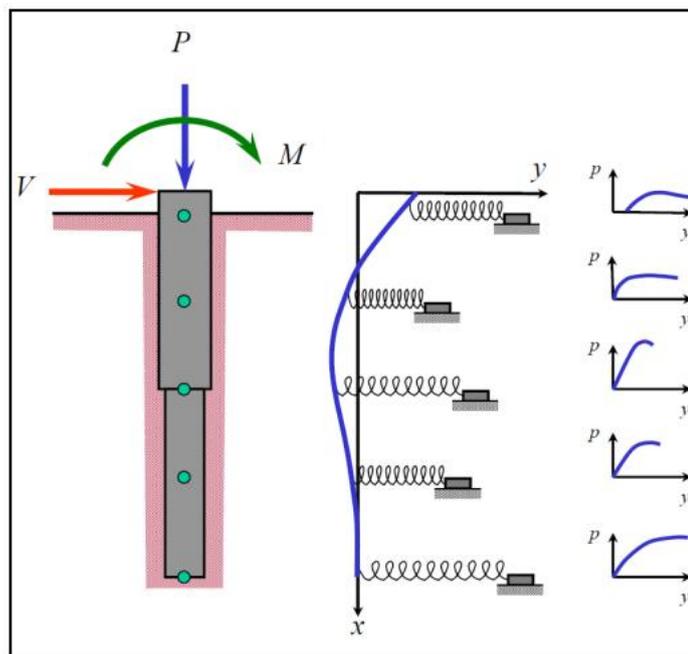


Figura 2. Schema di calcolo di un palo caricato lateralmente e curve P-y

La forma della curva di reazione orizzontale  $p-y$  è sostanzialmente definita dal valore della pendenza iniziale ( $k_{ci}$ ) e dal carico ultimo  $P_{ult}$ .

In particolare, per il terreno di riporto e per lo strato definito dall'unità R ed UG2, si sono definiti i seguenti parametri per la generazione delle curve  $p-y$  e la curva carico-spostamento.

### 5.3.2 Curve p-y nel caso di sabbie

Per definire le curve p-y nel caso di terreni incoerenti, il software richiede in input i seguenti parametri, così definiti:

Tabella 6. Proprietà degli strati utilizzati

UNITÀ	Soil type	z da estradosso fondazione [m]	Effective weight [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	p-y, k [kN/m <sup>3</sup> ]	Ultimate side friction [kN/m <sup>2</sup> ]	Ultimate tip résistance [kN/m <sup>2</sup> ]
Materiali di riporto/terreni rimaneggiati	Sand (Reese)	7	19	30	10'000	-	-
Alluvioni grossolane	Sand (Reese)	37	9	32	15'000	-	-

Per ottenere una curva p-y per la sabbia, è necessario definire i valori per l'angolo di attrito e il peso dell'unità di terreno.

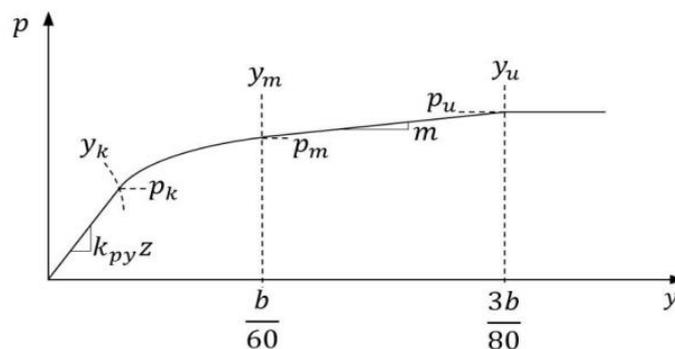


Figura 3. Esempio di curva p-y per sabbie

La variabile  $k_{py}$  (o  $k_\phi$  nel caso di terreni attritivi) definisce il tratto di retta iniziale della curva p-y.

Il valore di k viene ricavato in accordo con quanto definito all'interno del libro di Reese "Single piles and pile groups under lateral loading", tramite i grafici sotto riportati:

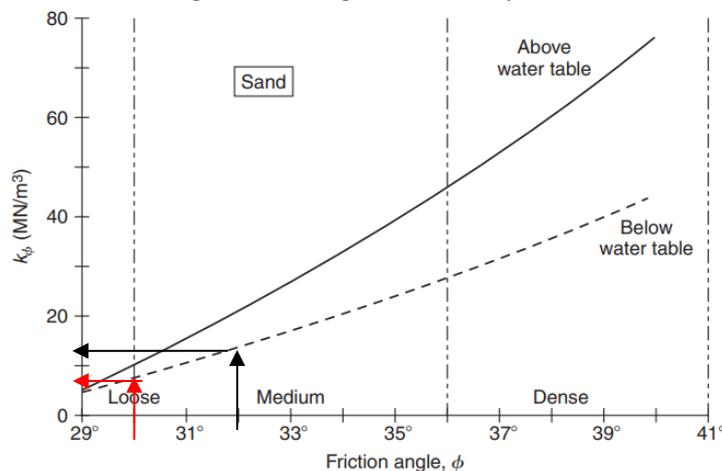


Figura 4. Valore di k per terreni attritivi

La resistenza  $p_k$  e l'inflessione del palo  $p_k$  sono calcolate a partire da  $p_m$ ,  $p_u$ ,  $y_m$  e  $y_u$  calcolato come definito nel manuale di Group.

### 5.3.3 Curve p-y nel caso weak rock

I parametri di input richiesti per questo metodo sono: la resistenza a compressione monoassiale, il modulo di elasticità della roccia, l'RQD e un fattore di deformazione  $k_{rm}$ :

Tabella 7. Parametri di input per curva p-y in weak rock

UNITÀ	Soil type	z da p.c. [m]	Effective weight [kN/m³]	Uniaxial compressive strength, $q_u$ (kN/m²)	Initial modulus of Rock Mass (kN/m²)	Strain Factor, $k_{rm}$	RQD (%)	Ultimate side friction [kN/m³]	Ultimate tip résistance [kN/m³]
Formazione Monte Antola	Weak Rock	37	22	20	485000	0.0005	30	-	-

La figura seguente riporta un esempio di curva p-y nel caso "weak rock":

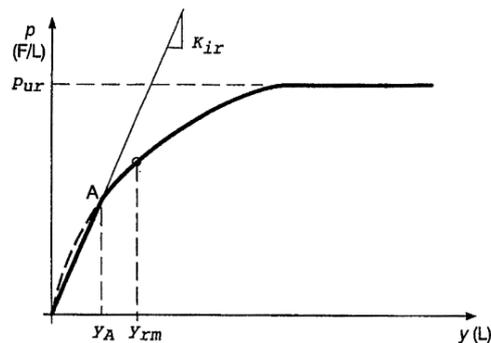


Figura 5. Esempio di curva p-y per weak rock

Tale curva è definita dai 3 rami:

$$\begin{aligned}
 p &= K_{ir} y && \text{per } y \leq y_A \\
 p &= \frac{p_{ur}}{2} \left( \frac{y}{y_{rm}} \right)^{0.25} && \text{per } y > y_A \text{ e } p \leq p_{ur} \\
 p &= p_{ur} && \text{per } y > 16 y_{rm}
 \end{aligned}$$

Essendo:

$$y_{rm} = k_{rm} b$$



---

$k_{rm}$  è una costante variabile tra 0.0005 e 0.00005 che serve a stabilire la rigidezza complessiva delle curve. Può essere definito come la deformazione a compressione al 50% della compressione monoassiale.

Il valore di  $p_{ur}$  è definito in funzione della resistenza a compressione monoassiale della roccia, dell'RQD (da cui dipende il coefficiente  $\alpha_r$ ) e della profondità di riferimento.

$$p_{ur} = \alpha_r q_{ur} b \left( 1 + 1.4 \frac{x_r}{b} \right) \quad \text{for } 0 \leq x_r \leq 3b$$

$$p_{ur} = 5.2 \alpha_r q_{ur} b \quad \text{for } x_r > 3b$$



## 6. CRITERI DI VERIFICA DEL SISTEMA FONDAZIONE

Le verifiche di sicurezza sono state effettuate sulla base dei criteri definiti nelle vigenti norme tecniche

In particolare, vengono effettuate le verifiche agli stati limite di esercizio ed allo stato limite ultimo seguendo quanto specificato per le fondazioni su pali.

### 6.1 Verifica agli stati limite ultimi

Al paragrafo 6.4.3.1 delle NTC2018 si cita: *“nelle verifiche di sicurezza devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine. Gli stati limite ultimi delle fondazioni su pali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa. Nel caso di fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii naturali o artificiali deve essere effettuata la verifica anche con riferimento alle condizioni di stabilità globale del pendio includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni”.*

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite, accertandosi che la seguente condizione sia sempre soddisfatta:

$$E_d \leq R_d \quad \text{essendo} \quad R_d = R_k / \gamma_R$$

dove:

- $E_d$  = Azione di progetto;
- $R_d$  = Resistenza di progetto.

Il valore di progetto della resistenza di un dato materiale  $X_d$  è, a sua volta, funzione del valore caratteristico

della resistenza, attraverso l'espressione:  $X_d = X_k / \gamma_M$ , essendo  $\gamma_M$  il fattore parziale associato alla resistenza

del materiale.

Il valore di progetto di ciascuna delle azioni agenti sulla struttura  $F_d$  è ottenuto dal suo valore caratteristico

$F_k$ , attraverso l'espressione:  $F_d = \gamma_F F_k$ , essendo  $\gamma_F$  il fattore parziale relativo alle azioni.

*SLU di tipo geotecnico (GEO):*

- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;
- collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;
- stabilità globale.

**SLU di tipo strutturale (STR):**

- Raggiungimento della resistenza dei pali;
- Raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali;

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le resistenze globali. Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle sottostanti.

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_G$ .

Tabella 8. Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tabella 9. Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	$\gamma_R$	(R3)	(R3)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale <sup>(*)</sup>	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

<sup>(\*)</sup> da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Tabella 10. Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali



Coefficiente parziale (R3)

$$\gamma_T = 1,3$$

Tabella 11. Coefficienti parziali  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

Nelle verifiche nei confronti degli SLU di tipo strutturale, il coefficiente  $\gamma_R$  non deve essere portato in conto

## 6.2 Verifica agli stati limite di esercizio

Devono essere presi in considerazione i seguenti stati limite:

- Eccessivi cedimenti o sollevamenti;
- Eccessivi spostamenti trasversali.

Al fine di assicurare che le fondazioni siano compatibili con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione si deve verificare, anche in questo caso, il rispetto della seguente condizione per ogni stato limite di esercizio:

$$E_d \leq R_d$$

calcolando i valori degli spostamenti e delle distorsioni in tutte combinazioni di carico agli SLE tenendo conto dell'effetto della durata delle azioni.

La geometria della fondazione (numero, lunghezza, diametro e interasse dei pali) deve essere stabilita nel rispetto dei summenzionati requisiti prestazionali, tenendo opportunamente conto degli effetti di interazione tra i pali e considerando i diversi meccanismi di mobilitazione della resistenza laterale rispetto alla resistenza alla base, soprattutto in presenza di pali di grande diametro.

## 7. CRITERI DI CALCOLO

Nel presente capitolo sono contenuti i criteri di dimensionamento e calcolo delle fondazioni profonde realizzate con pali trivellati di grande diametro.

### 7.1 Verifica di carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali – compressione

I pali incassati nella roccia presentano diverse caratteristiche che li distinguono da altri tipi di pali. La loro geometria generalmente tozza implica una distribuzione più equilibrata della capacità portante tra il fusto e la base, con quest'ultima che sopporta una parte significativa del carico applicato. Tuttavia, il basso rapporto tra il modulo elastico del palo e quello della roccia porta a un'elevata comprimibilità relativa. Questo fattore, insieme alla tendenza all'ammorbidimento per deformazione, genera un comportamento tale per cui la capacità del fusto può essere completamente mobilitata, e potenzialmente degradarsi, prima che vi sia una mobilitazione significativa del carico alla base. Questo fenomeno è ulteriormente aggravato dalla frequente presenza di uno strato sottile di sedimenti comprimibili sul fondo del foro, a causa di una pulizia inadeguata prima del getto di calcestruzzo e/o dalla presenza di una zona di calcestruzzo più debole immediatamente sopra la base del palo.

Nel caso quindi di lunghezza di immersione del palo nella roccia pari o superiore a circa 3 diametri, il carico viene trasferito principalmente lungo il fusto del palo, mentre il trasferimento del carico alla base del palo diventa trascurabile soprattutto se si tratta di roccia competente intatta (Viggiani & Mandolini, 2012).

Per tale motivo si trascura a favore di sicurezza la resistenza alla base del palo per la valutazione della capacità portante.

La portata di progetto di un palo trivellato (eseguito con completa asportazione del terreno)  $Q_d$  in roccia può essere espressa dalla seguente relazione:

$$Q_{d\_compr} = Q_{sk} / F_{SL}$$

dove:

$Q_{sk}$  = portata laterale limite caratteristica;

$F_{SL}$  = fattore di sicurezza per la portata laterale ( $=\xi_3 \cdot \gamma_s$ );

N.B.: il peso del palo viene considerato come incremento delle azioni di compressione.

### 7.2 Verifica di carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali – trazione

La portata di progetto a trazione di un palo trivellato (eseguito con completa asportazione del terreno) (o setti di diaframma)  $Q_d$  può essere espressa dalla seguente relazione:

$$Q_{d\_traz} = Q_{sk} / F_{SL} + W'_{p\_eff}$$

dove:

$Q_{sk}$  = portata laterale limite caratteristica;

$W'_{p\_eff}$  = peso efficace del palo o del setto (posto pari a zero cautelativamente);

$F_{SL}$  = fattore di sicurezza per la portata laterale ( $=\xi_3 \cdot \gamma_s$ ).

### 7.3 Metodo per la determinazione della resistenza laterale del tratto immerso

Per pali trivellati immersati in roccia la portata limite laterale è stata valutata sulla base della seguente espressione (Horvath (1978), Rosenberg & Journeaux (1976), Williams & Pells (1981)):

$$\tau_{im} = \alpha \cdot \beta \cdot q_u$$

dove:

$\alpha$  = coefficiente empirico ricavabile dalla

$\beta$  = coefficiente empirico ricavabile dalla Figura 6.1.3.1.e;

$q_u$  = resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta

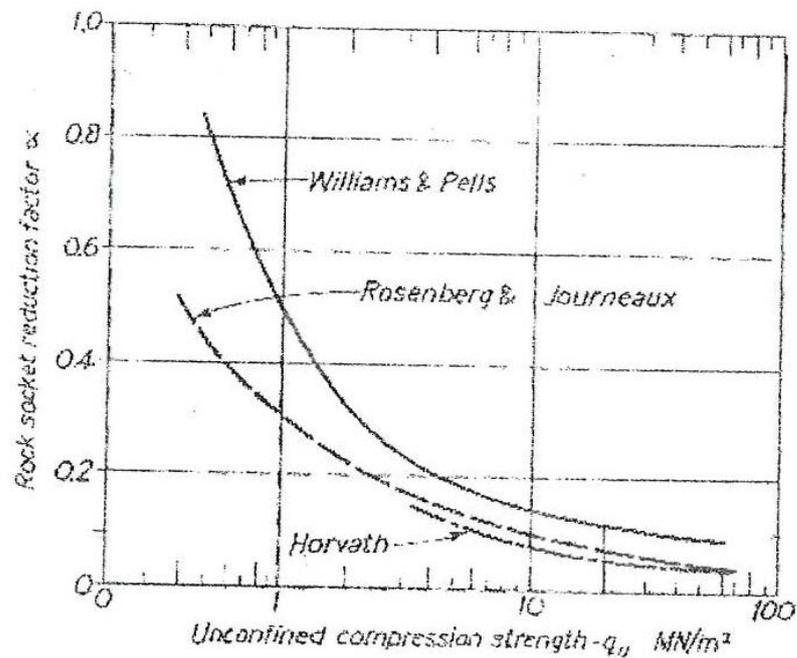


Figura 6. Fattore di riduzione  $\alpha$  per la valutazione della resistenza di attrito laterale limite di pali trivellati in roccia (Tomlinson [1994])

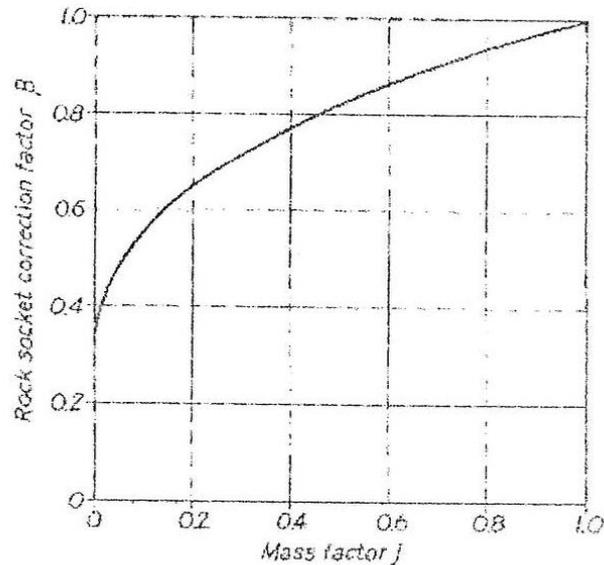


Figura 7. Fattore di riduzione  $\beta$  per la valutazione della resistenza di attrito laterale limite di pali trivellati in roccia (Tomlinson [1994], Williams & Pells [1981])

I valori del coefficiente J che compaiono nella Figura 6 e possono essere dedotti dalla seguente tabella:

RQD (%)	Frequenza delle discontinuità per metro	Fattore J
0÷25	15	0.2
25÷50	15÷8	0.2
50÷75	8÷5	0.2÷0.5
75÷90	5÷1	0.5÷0.8
90÷100	1	0.8÷1

Tabella 12. Criterio per la valutazione del coefficiente J (Tomlinson [1994], Hobbs [1975])

Un altro riferimento per il calcolo della resistenza laterale è fornito dal “Piled foundations in weak rock” (J. A. Gannon, G.G. T. Masterton, W. A. Wallace, D. Muir Wood) tramite la seguente relazione:

$$\tau_{lim} = \alpha \cdot q_u / 2$$

Il valore del coefficiente  $\alpha$  (fattore di adesione) si ricava tramite il seguente grafico in funzione della resistenza a compressione monoassiale della roccia:



Figura 9. Reazione del terreno per pali corti con testa vincolata: (a)  $e/B < 0$ , fondazione incassata: trapezoidale (somma di carichi rettangolari e triangolari); (b)  $e/B = 0$ , schema originale di Broms; (c)  $e/B > 0$ , fondazione sopra il terreno: triangolare

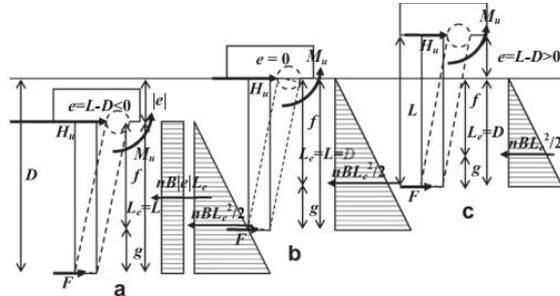


Figura 10. Reazione del terreno per pali intermedi: trapezoidale (a)  $e < 0$ , triangolare (b)  $e = 0$ , (Broms) e (c)  $e > 0$ , con una forza opposta  $F$  alla punta del palo.

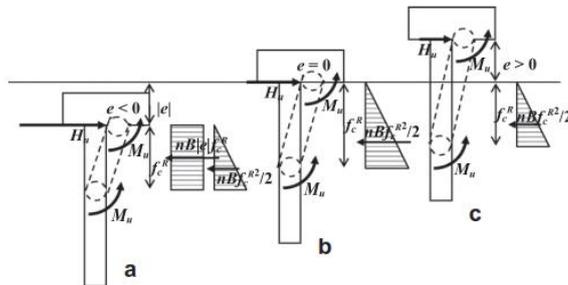


Figura 11. Reazione del terreno per pali lunghi: trapezoidale (a)  $e < 0$ , triangolare (b)  $e = 0$ , (Broms) e (c)  $e > 0$ .

I valori di carico limite per terreni incoerenti sono quindi distinti in funzione del meccanismo che si verifica.

In particolare, dall'equilibrio alla rotazione attorno al piano campagna si ricava la profondità entro il quale si forma la seconda cerniera plastica ( $f_c^R$ ):

$$\left(\frac{f_c^R}{B} \left| \frac{e}{B} \right| \right) \frac{1}{2} \frac{f_c^R}{B} + \frac{1}{2} \left(\frac{f_c^R}{B}\right)^2 \frac{2}{3} \frac{f_c^R}{B} - 2 \frac{M_u}{nB^4} = 0 \quad (e/B \leq 0)$$

Dall'equazione di equilibrio alla traslazione invece si ricava il valore di carico limite in direzione trasversale:

$$\frac{H_u}{nB^3} = \frac{1}{2} \left(\frac{f}{B}\right)^2 + \frac{f}{B} \left| \frac{e}{B} \right| \quad (e/B \leq 0)$$

## 8. VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche strutturali dei pali sono svolte in accordo con il capitolo 4.1.2. delle NTC2018. In particolare, le azioni normali ed i momenti agenti vengono verificate con il dominio di resistenza del palo opportunamente armato. In accordo con il paragrafo 4.1.2.1.3.2 del DM18, la resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione  $\theta$  dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \cot \theta \leq 2.5$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con

$$V_{R,d} \geq V_{E,d}$$

Dove:

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

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con:

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

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con:

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

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

$$V_{R,d} = \min(V_{R,sd}, V_{R,cd})$$

Dove:

- $d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);
- $\sigma_{cp} = NEd/Ac$  è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ );
- $b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm)
- $A_{sw}$  area dell'armatura trasversale;
- $s$  interasse tra due armature trasversali consecutive;
- $\alpha$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;
- $f'_{cd}$  resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $f'_{cd} = 0,5 \times f_{cd}$ );
- $\alpha_c$  coefficiente maggiorato pari a:
  - 1 per membrane non compresse
  - $1 + \sigma_{cp} / f_{cd}$  per  $0 < \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$
  - 1.25 per  $0,25 f_{cd} < \sigma_{cp} < 0,5 f_{cd}$
  - $2.5(1 - \sigma_{cp} / f_{cd})$  per  $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

## 9. RISULTATI E VERIFICHE – Tipologico A:

### 9.1 Sollecitazioni di input

Ricadono nel tipologico A le fondazioni delle pile 1, 2 e 3 in accordo con la seguente numerazione:

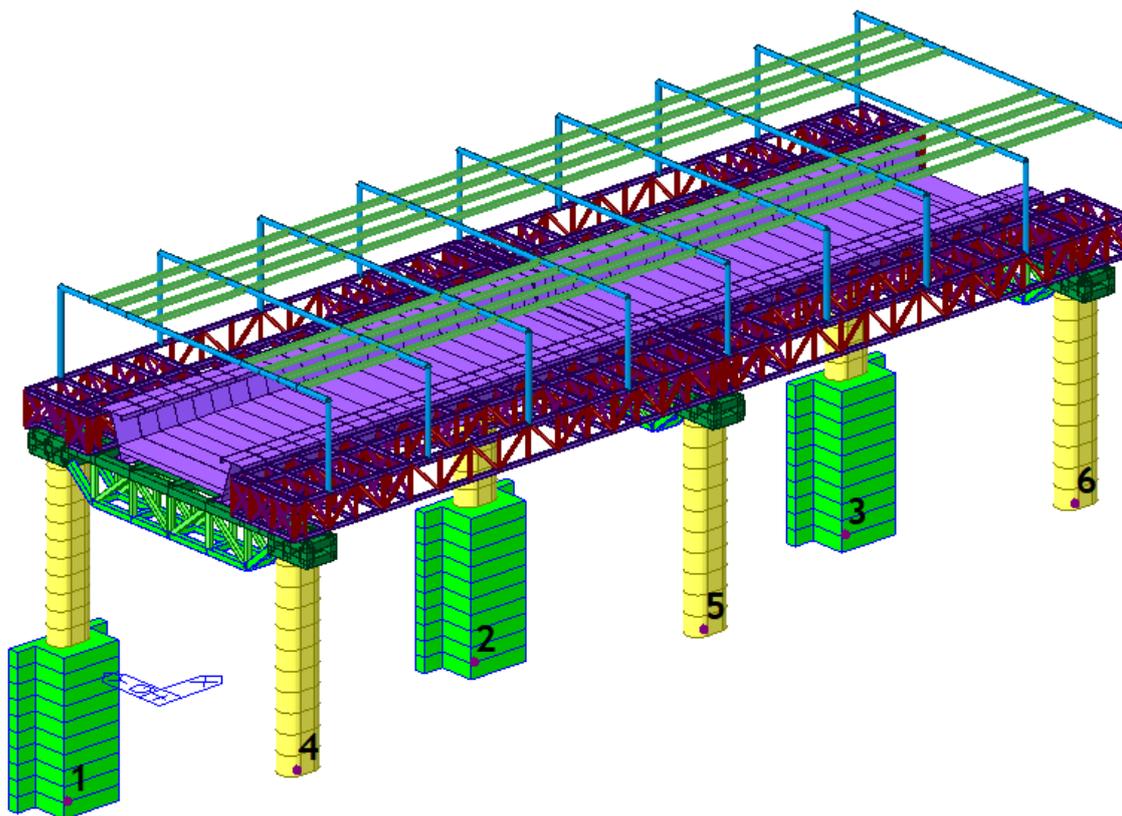


Figura 12. Individuazione delle colonne del tipologico

Nel seguito si riportano le azioni agenti ad estradosso plinto secondo la convenzione dei segni riportata in figura:

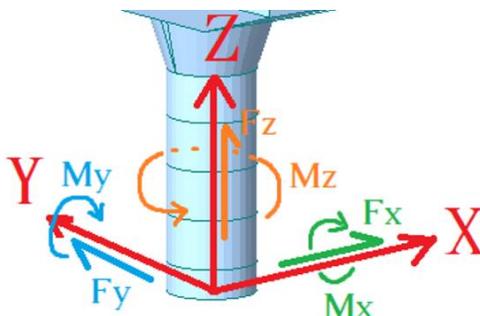


Figura 13. Direzione delle sollecitazioni di input dalla sovrastruttura

Le azioni derivanti dalla struttura di elevazione sono le seguenti:

COLONNA 1							
Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN-m)	MY (kN-m)	Mz (kN-m)
1	SLU-1(max)	499.6536	-1822.11	5355.481	6726.653	6562.931	206.2183
1	SLU-2(max)	511.7807	-1725.26	5428.193	8121.848	6720.373	208.0552
1	SLU-3(max)	535.1288	-1821.94	5658.061	6746.012	7038.91	236.6204
1	SLU-4(max)	555.1623	-2034.05	5484.731	7442.788	7299.494	209.9025
1	SLU-5(max)	423.9641	-1822.13	4317.187	6811.409	5582.726	183.0845
1	SLU-6(max)	436.0912	-1725.28	4389.899	8206.604	5740.168	184.9214
1	SLU-7(max)	459.4393	-1821.95	4619.766	6830.767	6058.706	213.4865
1	SLU-8(max)	514.948	-2033.9	4749.017	7546.902	6795.269	217.1708
1	SLU-9(max)	533.1098	-1822.06	5357.905	6727.373	7070.138	238.5957
1	SLU-10(max)	545.2369	-1725.22	5430.618	8122.568	7227.58	240.4326
1	SLU-11(max)	576.9491	-1821.88	5661.091	6746.911	7672.919	277.0922
1	SLU-12(max)	588.6185	-2034.01	5487.155	7443.507	7806.701	242.28
1	SLU-13(max)	457.4203	-1822.08	4319.611	6812.128	6089.933	215.4619
1	SLU-14(max)	469.5475	-1725.23	4392.323	8207.323	6247.375	217.2988
1	SLU-15(max)	501.2596	-1821.89	4622.797	6831.667	6692.714	253.9584
1	SLU-16(max)	556.7683	-2033.84	4752.047	7547.801	7429.278	257.6426
1	EE_SLV_DRX(max)	651.2419	-348.726	2915.043	2979.772	9341.946	423.4099
1	EE_SLV_DRY(max)	350.8457	-1604.24	2928.261	9791.847	4834.284	182.1843
1	EE_SLV_DRZ(max)	328.9951	-1582.21	2864.741	5645.842	4536.12	168.8981
1	SLE_R_1(max)	379.823	-149.679	4070.806	2054.044	4995.847	164.1536
1	SLE_R_2(max)	408.6646	-149.638	4072.896	2054.664	5433.094	192.0652
1	SLE_R_3(max)	383.1117	-255.771	3926.755	2398.761	5035.867	145.0288
1	SLE_R_4(max)	406.185	-255.738	3928.427	2399.257	5385.665	167.358
1	SLE_R_5(max)	363.4421	-85.2345	3910.605	2970.823	4772.547	144.4112
1	SLE_R_6(max)	386.5154	-85.2018	3912.277	2971.32	5122.345	166.7405
1	SLE_R_7(max)	355.3574	-149.8	3862.13	2040.694	4667.585	143.1866
1	SLE_R_8(max)	378.4306	-149.767	3863.802	2041.19	5017.383	165.5159
1	SLU-1(min)	265.4425	-2118.47	3920.678	2452.997	3321.041	42.49519
1	SLU-2(min)	253.3153	-2215.32	3847.966	1057.803	3163.599	40.65827
1	SLU-3(min)	251.4603	-2119.75	3919.091	2450.338	3104.63	33.3442
1	SLU-4(min)	320.9512	-2330.41	4049.928	3169.132	4057.605	46.17947
1	SLU-5(min)	189.753	-2118.49	2882.384	2537.753	2340.837	19.36139
1	SLU-6(min)	177.6258	-2215.33	2809.671	1142.558	2183.395	17.52447
1	SLU-7(min)	175.7708	-2119.76	2880.797	2535.093	2124.426	10.2104
1	SLU-8(min)	231.2795	-2331.71	3010.047	3251.228	2860.989	13.89468
1	SLU-9(min)	231.9862	-2118.52	3918.254	2452.278	2813.834	10.11775
1	SLU-10(min)	219.8591	-2215.36	3845.541	1057.083	2656.392	8.28082
1	SLU-11(min)	209.64	-2119.8	3916.061	2449.438	2470.621	-7.12761
1	SLU-12(min)	287.4949	-2330.46	4047.504	3168.412	3550.398	13.80203
1	SLU-13(min)	156.2967	-2118.53	2879.959	2537.033	1833.63	-13.0161
1	SLU-14(min)	144.1696	-2215.38	2807.247	1141.838	1676.188	-14.853
1	SLU-15(min)	133.9505	-2119.82	2877.767	2534.194	1490.417	-30.2614
1	SLU-16(min)	189.4592	-2331.77	3007.017	3250.328	2226.98	-26.5771
1	EE_SLV_DRX(min)	-288.196	-467.876	2716.875	-654.361	-4644.61	-315.176
1	EE_SLV_DRY(min)	12.20342	-1905.86	2703.658	-966.197	-136.899	-73.9317
1	EE_SLV_DRZ(min)	34.05342	-1679.31	2767.178	2324.57	161.2568	-60.6486
1	SLE_R_1(min)	185.0259	-348.386	2876.532	-812.269	2293.408	24.0898
1	SLE_R_2(min)	156.1843	-348.427	2874.442	-812.89	1856.161	-3.82179
1	SLE_R_3(min)	222.4232	-453.476	2942.251	-452.368	2810.939	32.24297
1	SLE_R_4(min)	199.3499	-453.509	2940.579	-452.864	2461.141	9.913697
1	SLE_R_5(min)	186.584	-412.07	2829.151	-1740.56	2337.696	29.17622
1	SLE_R_6(min)	163.5108	-412.103	2827.479	-1741.06	1987.898	6.84694
1	SLE_R_7(min)	194.6688	-347.505	2877.626	-810.435	2442.658	30.40083
1	SLE_R_8(min)	171.5955	-347.538	2875.954	-810.931	2092.86	8.071557

COLONNA 2							
Node	Load	FX(kN)	FY(kN)	FZ(kN)	MX(kN-m)	MY(kN-m)	Mz(kN-m)
2	SLU-1(max)	47.61349	-1753.59	6247.75	7624.533	522.9395	85.92195
2	SLU-2(max)	50.917	-1619.77	6374.445	9579.848	571.9699	88.19862
2	SLU-3(max)	72.11234	-1751.49	6485.206	7678.557	840.5503	104.4908
2	SLU-4(max)	37.2921	-1964.59	6451.68	8326.323	363.7878	89.19046
2	SLU-5(max)	59.6854	-1754.75	4930.269	7726.537	698.8921	85.05572
2	SLU-6(max)	62.98891	-1620.93	5056.964	9681.852	747.9225	87.33239
2	SLU-7(max)	84.18426	-1752.65	5167.725	7780.561	1016.503	103.6246
2	SLU-8(max)	73.86287	-1963.64	5371.655	8482.352	857.3512	106.8931
2	SLU-9(max)	74.55602	-1757.54	6246.944	7564.732	951.1771	111.0695
2	SLU-10(max)	77.85954	-1623.72	6373.639	9520.047	1000.208	113.3462
2	SLU-11(max)	105.7905	-1756.42	6484.198	7603.806	1375.847	135.9253
2	SLU-12(max)	64.23464	-1968.54	6450.874	8266.522	792.0254	114.338
2	SLU-13(max)	86.62794	-1758.7	4929.463	7666.736	1127.13	110.2033
2	SLU-14(max)	89.93145	-1624.88	5056.158	9622.051	1176.16	112.4799
2	SLU-15(max)	117.8624	-1757.58	5166.717	7705.81	1551.8	135.059
2	SLU-16(max)	107.541	-1968.58	5370.647	8407.601	1392.648	138.3275
2	EE_SLV_DRX(max)	388.8746	-288.34	3583.703	3781.669	6007.988	257.8892
2	EE_SLV_DRY(max)	119.1934	-1393.74	3681.952	12777.36	1840.398	97.48113
2	EE_SLV_DRZ(max)	102.217	-1518.19	3564.932	6497.022	1591.595	83.27768
2	SLE_R_1(max)	47.95734	-102.174	4667.935	2674.887	552.1913	72.5802
2	SLE_R_2(max)	71.18367	-105.576	4667.24	2623.335	921.3617	94.25913
2	SLE_R_3(max)	25.90089	-209.123	4606.138	2988.524	253.5735	61.40834
2	SLE_R_4(max)	44.48195	-211.845	4605.582	2947.283	548.9098	78.75149
2	SLE_R_5(max)	33.26392	-14.4119	4588.636	3941.173	365.8363	61.29186
2	SLE_R_6(max)	51.84498	-17.1341	4588.08	3899.931	661.1726	78.63501
2	SLE_R_7(max)	31.06158	-103.625	4504.173	2637.629	333.1494	59.77409
2	SLE_R_8(max)	49.64264	-106.347	4503.616	2596.387	628.4857	77.11723
2	SLU-1(min)	-166.219	-2177.73	4881.397	1414.961	-2247.62	-75.5295
2	SLU-2(min)	-169.522	-2311.55	4754.702	-540.354	-2296.65	-77.8062
2	SLU-3(min)	-192.7	-2181.3	4872.286	1383.079	-2585.87	-95.616
2	SLU-4(min)	-176.54	-2388.73	5085.328	2116.752	-2406.77	-72.261
2	SLU-5(min)	-154.147	-2178.89	3563.916	1516.966	-2071.67	-76.3958
2	SLU-6(min)	-157.45	-2312.71	3437.221	-438.349	-2120.7	-78.6724
2	SLU-7(min)	-180.628	-2182.46	3554.805	1485.084	-2409.92	-96.4823
2	SLU-8(min)	-190.95	-2393.45	3758.735	2186.874	-2569.07	-93.2138
2	SLU-9(min)	-193.161	-2173.79	4882.204	1474.762	-2675.86	-100.677
2	SLU-10(min)	-196.465	-2307.61	4755.509	-480.553	-2724.89	-102.954
2	SLU-11(min)	-226.378	-2176.37	4873.294	1457.83	-3121.17	-127.05
2	SLU-12(min)	-203.483	-2384.78	5086.134	2176.553	-2835.01	-97.4086
2	SLU-13(min)	-181.089	-2174.94	3564.723	1576.767	-2499.9	-101.543
2	SLU-14(min)	-184.393	-2308.76	3438.028	-378.549	-2548.93	-103.82
2	SLU-15(min)	-214.307	-2177.52	3555.813	1559.835	-2945.22	-127.917
2	SLU-16(min)	-224.628	-2388.52	3759.743	2261.625	-3104.37	-124.648
2	EE_SLV_DRX(min)	-444.699	-522.679	3429.769	-1540.84	-6823.54	-253.181
2	EE_SLV_DRY(min)	-175.017	-2110.76	3331.52	-4036.5	-2655.95	-92.7678
2	EE_SLV_DRZ(min)	-158.041	-1737.74	3448.54	1388.63	-2407.15	-78.5652
2	SLE_R_1(min)	-134.444	-389.366	3564.314	-1531.97	-1807.48	-65.2675
2	SLE_R_2(min)	-157.671	-385.963	3565.01	-1480.42	-2176.65	-86.9464
2	SLE_R_3(min)	-121.342	-492.405	3672.563	-1159.09	-1653.77	-49.7805
2	SLE_R_4(min)	-139.923	-489.682	3673.119	-1117.85	-1949.11	-67.1236
2	SLE_R_5(min)	-118.383	-476.119	3486.135	-2813.53	-1606.89	-52.9325
2	SLE_R_6(min)	-136.964	-473.397	3486.691	-2772.29	-1902.22	-70.2757
2	SLE_R_7(min)	-116.181	-386.906	3570.598	-1509.98	-1574.2	-51.4148
2	SLE_R_8(min)	-134.762	-384.184	3571.154	-1468.74	-1869.54	-68.7579

COLONNA 3

Node	FX(kN)	FX(kN)	FX(kN)	FZ(kN)	FX(kN)	MY(kN-m)	Mz(kN-m)
3	SLU-1(max)	-222.259	-1773.64	5202.518	7488.2	-2851.7	-52.9344
3	SLU-2(max)	-211.243	-1680.96	5270.132	8820.273	-2702.57	-50.3669
3	SLU-3(max)	-210.776	-1759.57	5495.087	7718.276	-2669.39	-48.8921
3	SLU-4(max)	-267.489	-1985.74	5320.143	8206.623	-3474.84	-55.5306
3	SLU-5(max)	-158.515	-1773.46	4191.02	7569.857	-2007.54	-32.0688
3	SLU-6(max)	-147.499	-1680.77	4258.633	8901.93	-1858.41	-29.5013
3	SLU-7(max)	-147.032	-1759.38	4483.589	7799.934	-1825.23	-28.0265
3	SLU-8(max)	-192.261	-1971.47	4601.214	8518.357	-2448.38	-30.6227
3	SLU-9(max)	-197.973	-1801.01	5194.144	7073.609	-2475.4	-41.3698
3	SLU-10(max)	-186.958	-1708.33	5261.758	8405.682	-2326.27	-38.8024
3	SLU-11(max)	-180.419	-1793.77	5484.62	7200.038	-2199.01	-34.4364
3	SLU-12(max)	-243.203	-2013.1	5311.769	7792.032	-3098.54	-43.966
3	SLU-13(max)	-134.229	-1800.82	4182.646	7155.266	-1631.24	-20.5042
3	SLU-14(max)	-123.213	-1708.14	4250.259	8487.339	-1482.11	-17.9367
3	SLU-15(max)	-116.675	-1793.59	4473.122	7281.695	-1354.86	-13.5707
3	SLU-16(max)	-161.904	-2005.68	4590.747	8000.119	-1978	-16.1669
3	EE_SLV_DRX(max)	204.8272	-347.455	2850.023	3010.031	3428.789	89.60328
3	EE_SLV_DRY(max)	-20.3642	-1606.32	2861.692	9767.58	-19.8436	6.720071
3	EE_SLV_DRZ(max)	-40.3114	-1582.65	2800.952	5650.938	-309.113	-4.18253
3	SLE_R_1(max)	-155.28	-106.541	3956.586	2727.04	-1974.94	-34.7028
3	SLE_R_2(max)	-134.344	-130.132	3949.367	2369.634	-1650.55	-24.7333
3	SLE_R_3(max)	-185.814	-222.296	3813.627	2927.578	-2412.25	-38.7887
3	SLE_R_4(max)	-169.065	-241.169	3807.852	2641.653	-2152.73	-30.8131
3	SLE_R_5(max)	-155.855	-54.4609	3799.89	3456.415	-2001.26	-35.779
3	SLE_R_6(max)	-139.106	-73.3339	3794.115	3170.491	-1741.74	-27.8034
3	SLE_R_7(max)	-163.199	-116.249	3754.814	2568.366	-2100.67	-37.4906
3	SLE_R_8(max)	-146.45	-135.122	3749.039	2282.442	-1841.16	-29.515
3	SLU-1(min)	-424.301	-2168.73	3802.51	1718.694	-5675.65	-174.686
3	SLU-2(min)	-435.317	-2261.42	3734.896	386.6203	-5824.78	-177.253
3	SLU-3(min)	-455.067	-2183.92	3795.788	1505.45	-6087.49	-199.156
3	SLU-4(min)	-469.531	-2380.83	3920.135	2437.118	-6298.8	-177.282
3	SLU-5(min)	-360.557	-2168.55	2791.012	1800.351	-4831.5	-153.82
3	SLU-6(min)	-371.573	-2261.23	2723.398	468.2774	-4980.62	-156.388
3	SLU-7(min)	-391.323	-2183.74	2784.289	1587.107	-5243.33	-178.29
3	SLU-8(min)	-436.552	-2395.83	2901.915	2305.53	-5866.48	-180.886
3	SLU-9(min)	-448.587	-2141.37	3810.884	2133.285	-6051.95	-186.25
3	SLU-10(min)	-459.603	-2234.05	3743.27	801.2112	-6201.08	-188.818
3	SLU-11(min)	-485.424	-2149.71	3806.255	2023.688	-6557.86	-213.611
3	SLU-12(min)	-493.817	-2353.46	3928.509	2851.708	-6675.1	-188.847
3	SLU-13(min)	-384.843	-2141.18	2799.386	2214.942	-5207.8	-165.385
3	SLU-14(min)	-395.859	-2233.86	2731.772	882.8683	-5356.92	-167.952
3	SLU-15(min)	-421.68	-2149.53	2794.757	2105.345	-5713.71	-192.746
3	SLU-16(min)	-466.909	-2361.62	2912.382	2823.769	-6336.85	-195.342
3	EE_SLV_DRX(min)	-512.662	-470.059	2657.758	-670.807	-7498.82	-187.672
3	EE_SLV_DRY(min)	-287.475	-1904.68	2646.09	-928.132	-4050.24	-104.815
3	EE_SLV_DRZ(min)	-267.527	-1679.79	2706.829	2333.273	-3760.96	-93.908
3	SLE_R_1(min)	-322.996	-392.808	2789.319	-1465.8	-4321.97	-138.156
3	SLE_R_2(min)	-343.932	-369.217	2796.538	-1108.39	-4646.37	-148.125
3	SLE_R_3(min)	-324.394	-488.382	2852.767	-959.524	-4349.52	-122.578
3	SLE_R_4(min)	-341.142	-469.509	2858.542	-673.599	-4609.04	-130.554
3	SLE_R_5(min)	-309.123	-444.122	2748.879	-2206.79	-4137.36	-122.992
3	SLE_R_6(min)	-325.872	-425.249	2754.654	-1920.86	-4396.88	-130.967
3	SLE_R_7(min)	-301.779	-382.335	2793.955	-1318.74	-4037.95	-121.28
3	SLE_R_8(min)	-318.528	-363.462	2799.73	-1032.81	-4297.46	-129.256

A tali azioni devono essere aggiunte le azioni derivanti dal peso della fondazione e del reinterro:

<b>P<sub>proprio</sub> FONDAZIONE</b>				
B (m)	L (m)	H (m)	PP (kN)	
5	8	2	2000	SLE
			2700	SLU
<b>P<sub>proprio</sub> RINTERRO</b>				
B (m)	L (m)	H (m)	PP (kN)	
5	8	1.4	1064	SLE
			1436.4	SLU
<b>TOTALE</b>				
<b>PP (kN)</b>				
			3064	SLE
			4136.4	SLU

La convenzione dei segni utilizzata da Group è la seguente:

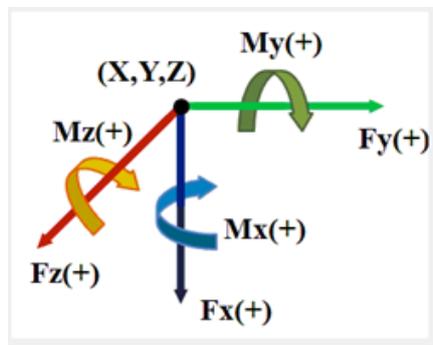


Figura 14. Sistema di riferimento del software Group

Si procede analizzando, a favore di sicurezza, gli involucri dei massimi per ciascuna combinazione. In accordo con la convenzione utilizzata dal software, i valori di input in termini di sollecitazioni sono i seguenti:

6	Azioni dalla sovrastruttura									Peso proprio fondazione+ reinterro								
n.case	FX (kN)	FY (kN)	MZ (kN·m)	FZ (kN)	MY (kN·m)	MX (kN·m)	x <sub>c</sub> (m)	y <sub>c</sub> (m)	z <sub>c</sub> (m)	FX (kN)	FY (kN)	MZ (kN·m)	FZ (kN)	MY (kN·m)	MX (kN·m)	x <sub>c</sub> (m)	y <sub>c</sub> (m)	z <sub>c</sub> (m)
SLE MAX colonna 1	4073	-454	2971	409	5433	192	0	1.3	0	3064	0	0	0	0	0	2	0	0
SLU/SLV MAX colonna 1	5661	-2332	9792	651	9342	423	0	1.3	0	4137	0	0	0	0	0	2	0	0
SLE MAX colonna 2	4668	-492	3941	-158	-2177	94	0	1.3	0	3064	0	0	0	0	0	2	0	0
SLU/SLV MAX colonna 2	6485	-2393	12777	-445	-6824	258	0	1.3	0	4137	0	0	0	0	0	2	0	0
SLE MAX colonna 3	3957	-488	3456	-344	-4646	-148	0	1.3	0	3064	0	0	0	0	0	2	0	0
SLU/SLV MAX colonna 3	5495	-2396	9768	-513	-7499	-214	0	1.3	0	4137	0	0	0	0	0	2	0	0

Essendo le dimensioni della piastra e la posizione dei pali la medesima in entrambi i casi, le verifiche sono state svolte per il caso più gravoso.

I carichi derivanti dalla struttura in elevazione sono stati applicati in corrispondenza delle colonne ad estradosso fondazione con una eccentricità di 1.30 metri sull'asse y mentre il peso proprio della fondazione e del rinterro è stato considerato come carico applicato nel baricentro geometrico ad intradosso fondazione:

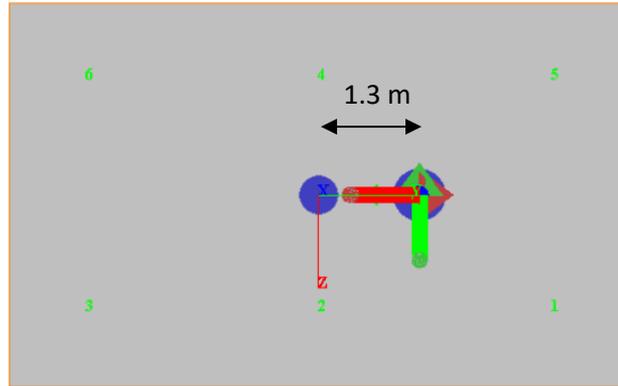


Figura 15. Applicazione dei carichi sulla palificata (piano yz)

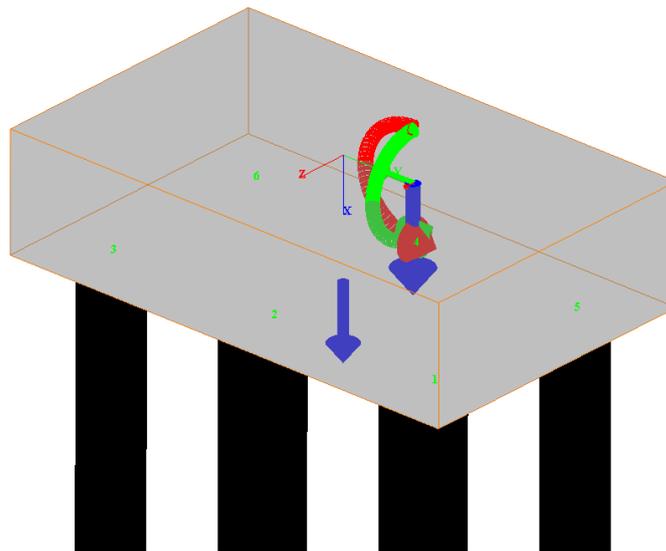


Figura 16. Applicazione dei carichi sulla palificata (spazio xyz)

## 9.2 Risultati delle analisi

Il modello di calcolo riprende le geometrie in precedenza riportate, ed associa alle caratteristiche del palo quelle del terreno con la stratificazione riportata al par. 5.1.

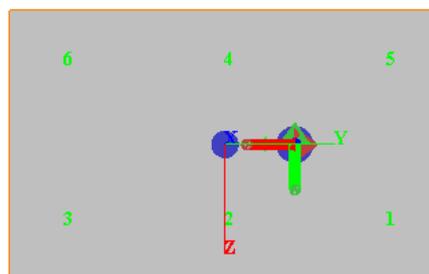
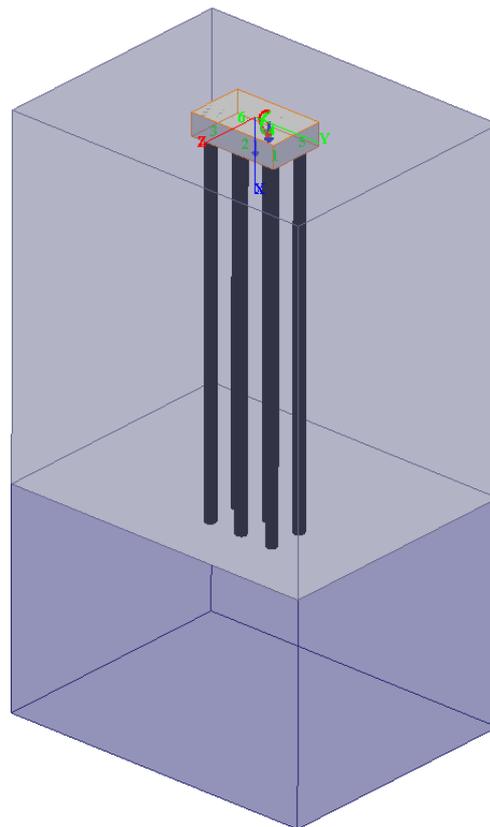


Figura 17. Modello fondazione tipologico A

I risultati sintetici sono di seguito riassunti per gli involuipi massimi e minimi delle combinazioni di carico analizzate.

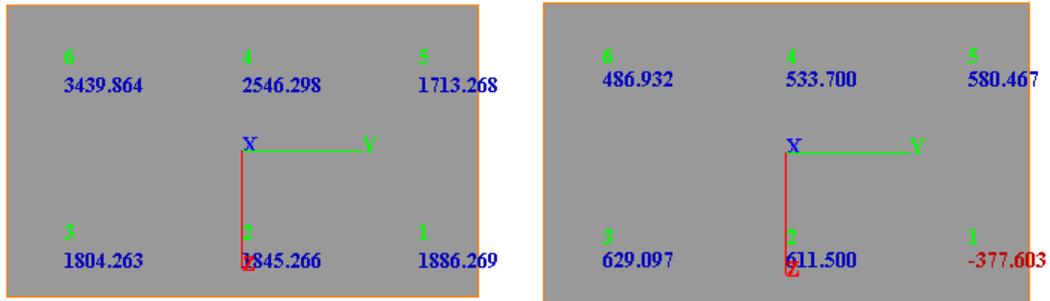


Figura 18. Involuppo delle sollecitazioni assiali massime (sx) e minime (dx) – Combinazione SLE

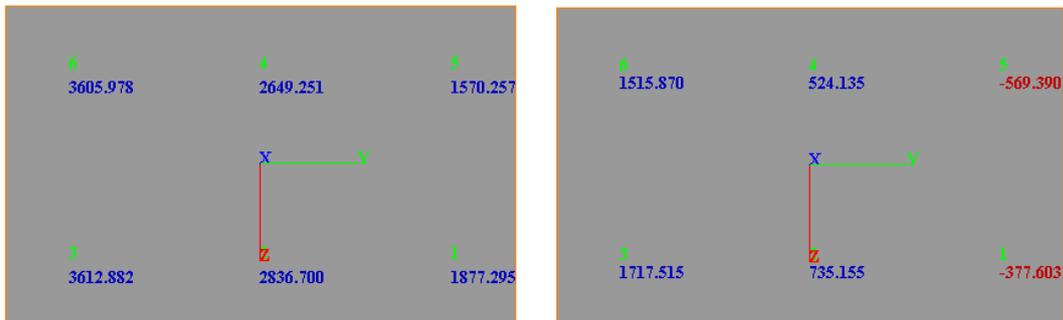


Figura 19. Involuppo delle sollecitazioni assiali massime (sx) e minime (dx) – Combinazione SLU/SLV

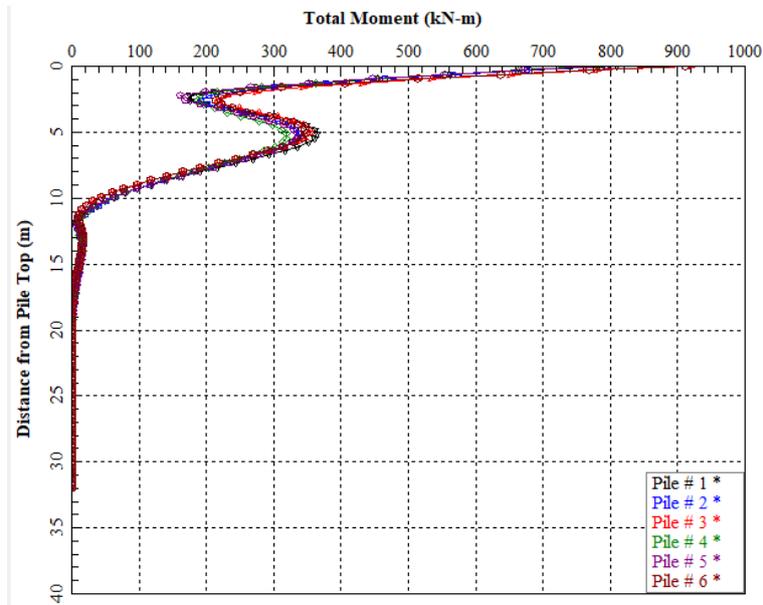


Figura 20. Andamento del momento flettente lungo i pali (SLU/SLV)

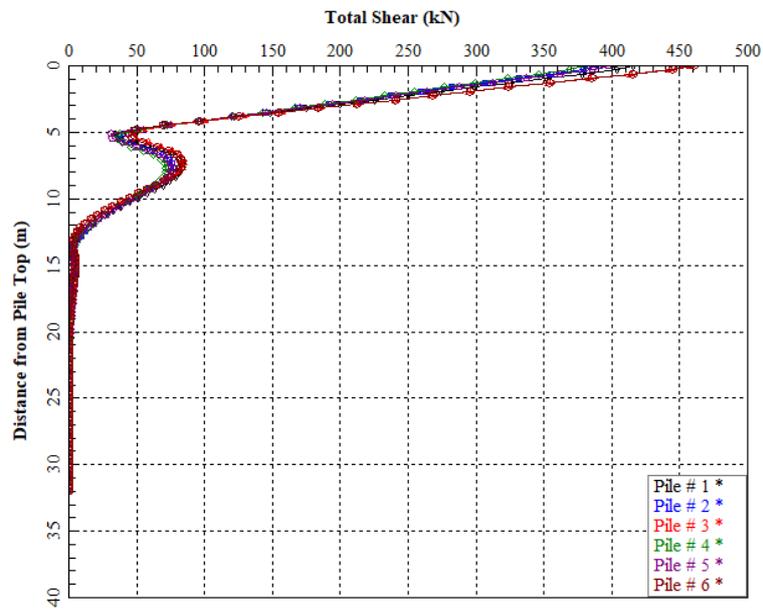


Figura 21. Andamento del taglio lungo i pali (SLU/SLV)

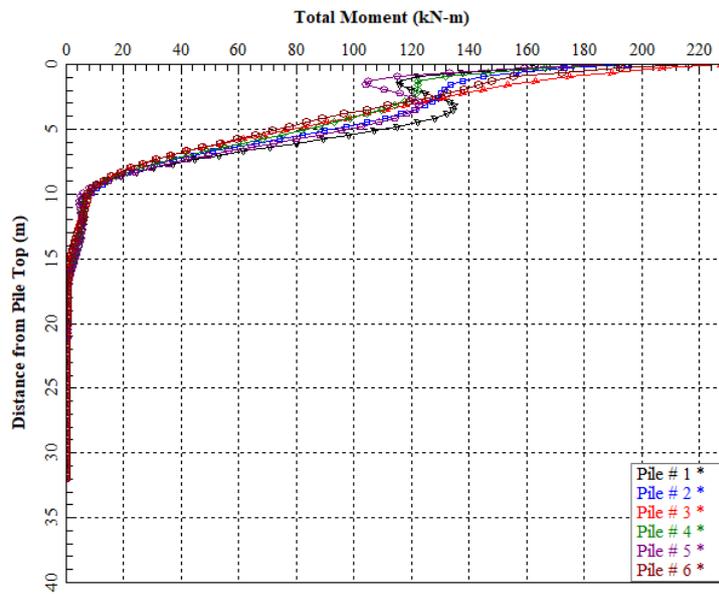


Figura 22. Andamento del momento flettente lungo i pali (SLE)

## 9.1 Risultati delle verifiche geotecniche

### 9.1.1 Verifica di carico limite verticale della palificata

#### Metodo di Tomlinson (1994):

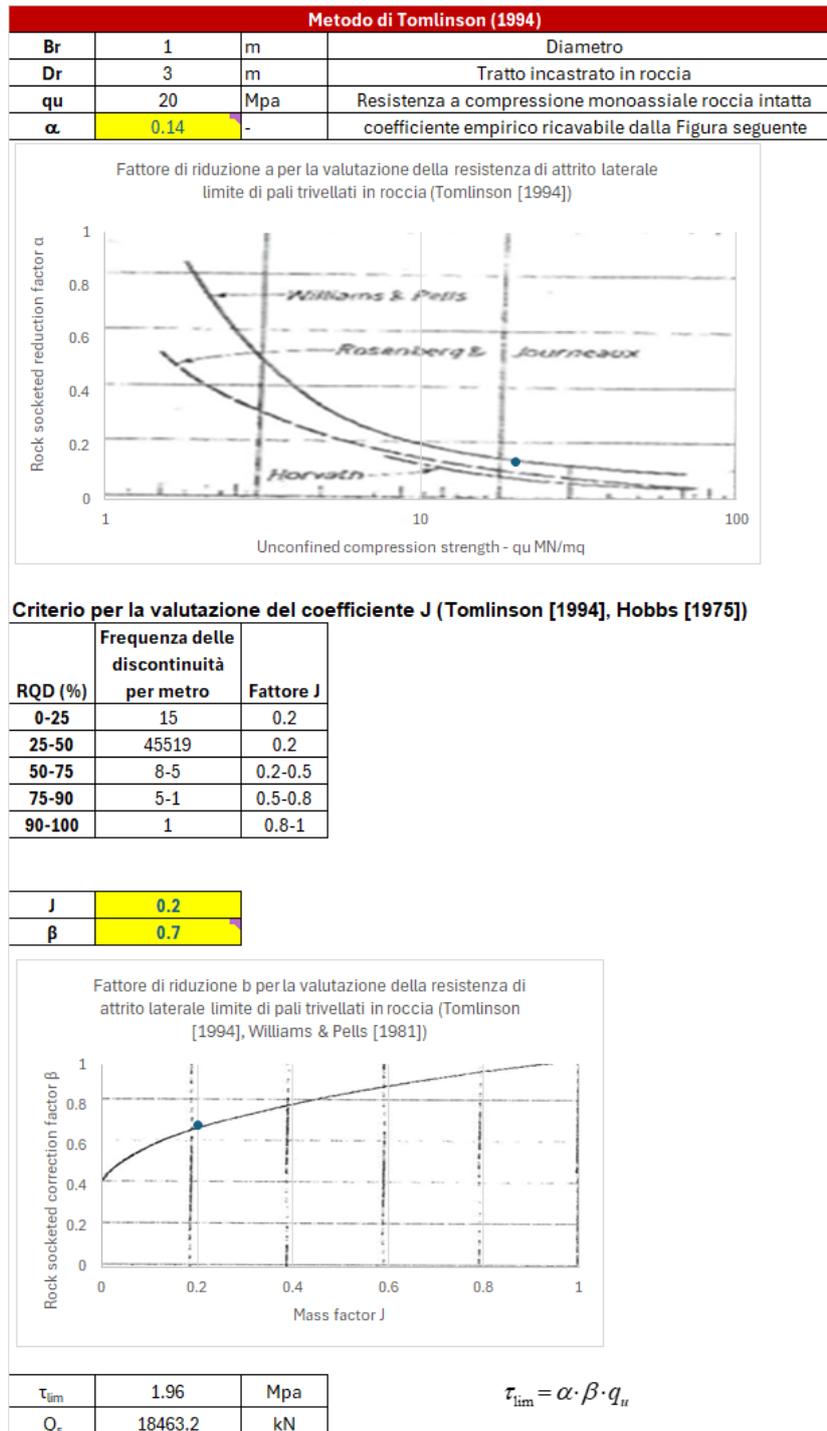


Figura 23. Risultati metodo di Tomlinson (1994)

**Metodo di Kulhawy, F.H., & Phoon, K.K. (1993):**

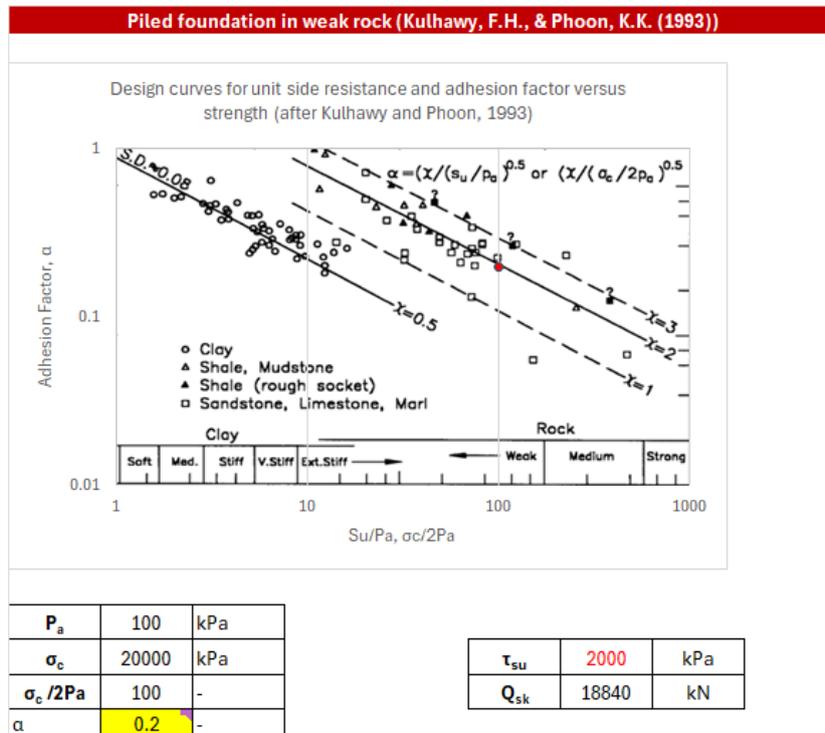


Figura 24. Risultati metodo di Kulhawy, F.H., & Phoon, K.K. (1993)

I due metodi forniscono valori pressochè uguali, quindi si ritiene valido utilizzare il metodo di Tomlinson (leggermente più cautelativo):

Numero di verticali indagate		1	2	3	4	5	7	>= 10
$\xi_3$		1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
$\xi_4$		1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21
n. di verticali indagate		$\xi$						
1		1.70						
Coefficiente di resistenza		$\gamma R$						
Base		1.35						
Laterale in compressione		1.15						
Laterale in trazione		1.25						
Metodo adottato		Tomlinson						
$q_s$ (kPa)		1960.00	$Q_s$ (kN)	18463.2				
$f_{ctd}$ (MPa)		1.193789076	>	$q_{sd}$ (MPa)	1.152941			
Valore utilizzato		1.152941176	Mpa	18463.20	kN			
$R_{d,c}$		9444.09	kN	Resistenza di calcolo a compressione				
$R_{d,t}$		8688.56	kN	Resistenza di calcolo a trazione				

VERIFICA A COMPRESSIONE			
	$N_{d,e}$ (kN)	$R_{d,e}$ (kN)	FS (+)
SLU/SLV - (A1+M1+R3)	4429	9444	2.13

VERIFICA A TRAZIONE			
	$N_{d,e}$ (kN)	$R_{d,e}$ (kN)	FS (-)
SLU/SLV - (A1+M1+R3)	570	8689	15.24

Figura 25. Risultati delle verifiche

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

## 9.1.2 Verifica carico limite in direzione trasversale

Il momento plastico del palo è definito da una armatura costituita da 20Φ26, che fornisce un valore di 1472 kN m.

### Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

Diametro = 1000 (mm)  
 Raggio = 500 (mm)  
 Sforzo Normale = 0 (kN)

#### Caratteristiche dei Materiali

calcestruzzo

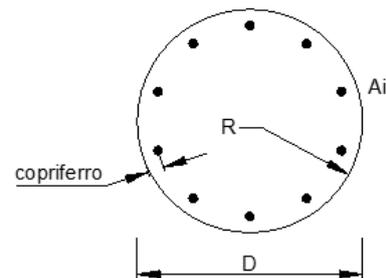
Rck = 30 (Mpa)  
 fck = 25 (Mpa)  
 $\gamma_c = 1.5$   
 $\alpha_{cc} = 0.85$

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 14.17$  (Mpa)

#### Acciaio

tipo di acciaio

$f_{yk} = 450$  (Mpa)  
 $\gamma_s = 1.15$   
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.3$  (Mpa)  
 $E_s = 210000$  (Mpa)  
 $\epsilon_{ys} = 0.186\%$   
 $\epsilon_{uk} = 10.000\%$



#### Armature

numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
20	φ 26	10619	89
0	φ 0	0	141
0	φ 8	0	30

Calcolo

#### Momento di Plasticizzazione

$M_y = 1472.5$  (kN m)

Inserisci

Figura 26. Definizione del momento di plasticizzazione

La figura seguente mostra i risultati in termini di carico limite in direzione trasversale:

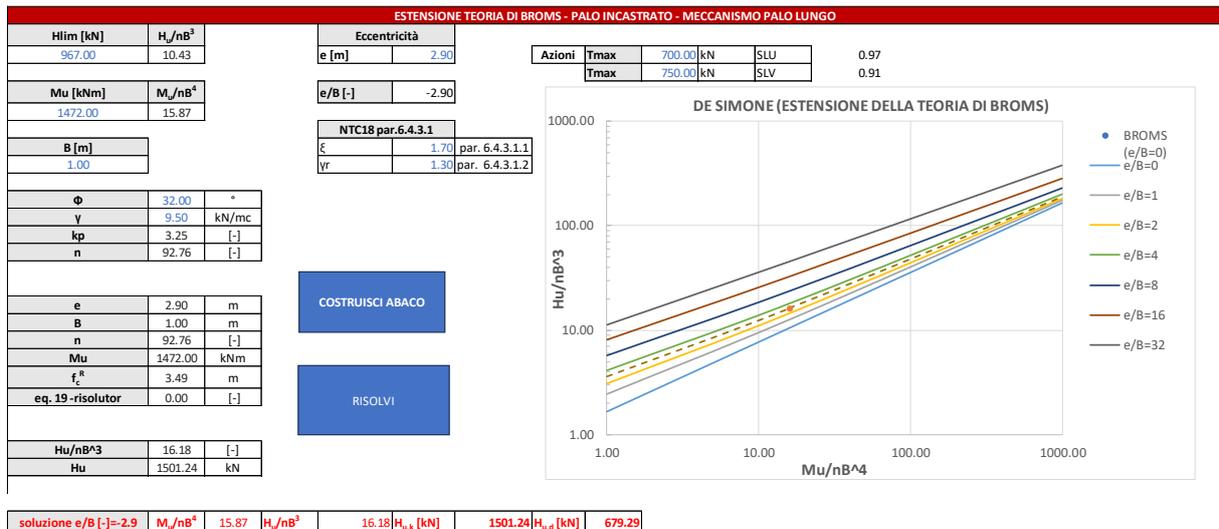


Figura 27. Calcolo della capacità portante in direzione trasversale

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

## 9.2 Verifica dei cedimenti allo SLE

Si riportano di seguito i valori degli involuipi degli spostamenti verticali ottenuti per i plinti di fondazione su pali nella combinazione SLE:

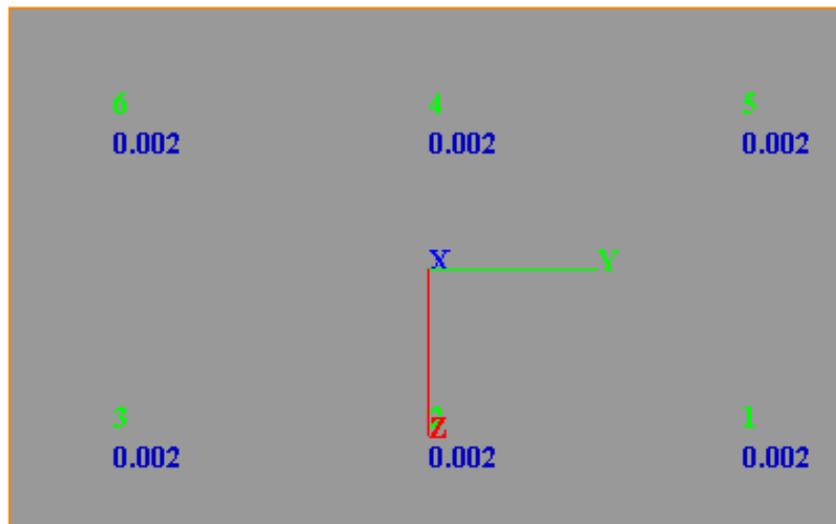


Figura 28. Cedimento massimo su ciascun palo (SLE)

I valori calcolati sono pienamente compatibili con la funzionalità dell'opera.

Si riportano, in aggiunta, i valori di spostamento in fondazione, i quali risultano anche essi accettabili:

Tabella 13. Spostamenti e rotazioni del plinto di fondazione

---

$u_x$ (m)	$u_y$ (m)	$u_z$ (m)	$\theta_x$ (rad)	$\theta_y$ (rad)	$\theta_z$ (rad)
0.0012	-4.6e-4	1.27e-3	8.433e-5	4.199e-4	5.06e-6

### 9.3 Verifica strutturale del palo

Le verifiche strutturali SLE/SLU/SLV vengono eseguite per confronto tra le sollecitazioni di calcolo (ottenute a partire dai risultati del modello numerico applicando gli opportuni coefficienti parziali) e le resistenze di calcolo (definite dai punti MRd, NRd che definiscono il dominio resistente nel piano M, N).

Le armature previste nei pali sono le seguenti:

- Armatura longitudinale: 20 $\emptyset$ 26
- Spirale:  $\emptyset$ 12/20
- Il copriferro previsto è pari a 6 cm.

Si definisce di conseguenza una incidenza media di armatura pari a 150 kg/mc.

### 1-VER-C.A\_SHEAR&FLEX-circular\_R30

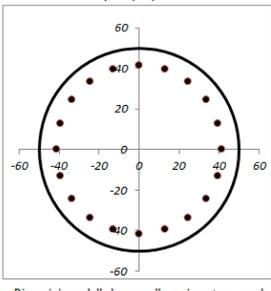
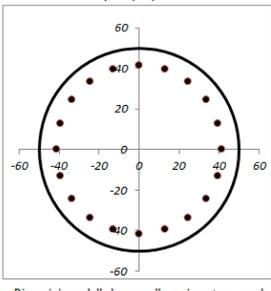
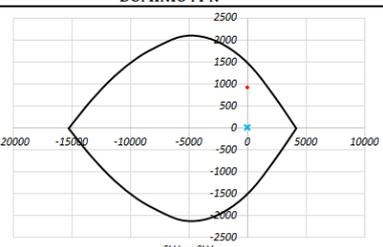
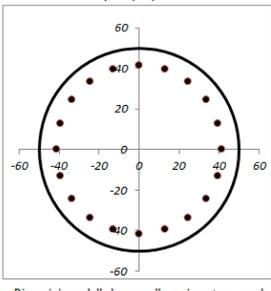
INPUT				OUTPUT																																																																													
<b>SOLECCITAZIONI DI VERIFICA</b>				<b>VERIFICHE IN ESERCIZIO</b>																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Combinazione</th> <th>N<sub>Ed</sub> [kN]</th> <th>M<sub>Ed</sub> [kNm]</th> <th>V<sub>Ed</sub> [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SLE Quasi Permanente</td> <td>0</td> <td>230</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>SLE Frequente</td> <td>0</td> <td>230</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>SLE Rara</td> <td>0</td> <td>230</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>SLU</td> <td>0</td> <td>920</td> <td>460</td> </tr> <tr> <td>SLV</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>				Combinazione	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	V <sub>Ed</sub> [kN]	SLE Quasi Permanente	0	230	0	SLE Frequente	0	230	0	SLE Rara	0	230	0	SLU	0	920	460	SLV	0	0	0	<p>Approccio di verifica: <span style="float: right;">NTC18 / EC 2 -2</span></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Verifica Tensionale</th> <th>σ<sub>c</sub> [Mpa]</th> <th>σ<sub>s</sub> [Mpa]</th> <th>σ limite</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Calcestruzzo SLE Quasi Permanente</td> <td>3.04</td> <td>&lt; 11.25</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Calcestruzzo SLE Rara</td> <td>3.04</td> <td>&lt; 15.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acciaio SLE Rara</td> <td>84.6</td> <td>&lt; 360.00</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Verifica Tensionale	σ <sub>c</sub> [Mpa]	σ <sub>s</sub> [Mpa]	σ limite	Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	3.04	< 11.25		Calcestruzzo SLE Rara	3.04	< 15.00		Acciaio SLE Rara	84.6	< 360.00																																			
Combinazione	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	V <sub>Ed</sub> [kN]																																																																														
SLE Quasi Permanente	0	230	0																																																																														
SLE Frequente	0	230	0																																																																														
SLE Rara	0	230	0																																																																														
SLU	0	920	460																																																																														
SLV	0	0	0																																																																														
Verifica Tensionale	σ <sub>c</sub> [Mpa]	σ <sub>s</sub> [Mpa]	σ limite																																																																														
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	3.04	< 11.25																																																																															
Calcestruzzo SLE Rara	3.04	< 15.00																																																																															
Acciaio SLE Rara	84.6	< 360.00																																																																															
<b>CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.</b>				<b>VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO</b>																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Geometria della sezione</th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Diametro</td> <td>D</td> <td>100</td> <td>[cm]</td> </tr> <tr> <td>Copriferro netto</td> <td>c</td> <td>6.0</td> <td>[cm]</td> </tr> <tr> <td>Area calcestruzzo</td> <td>A<sub>cl</sub></td> <td>7854</td> <td>[cm<sup>2</sup>]</td> </tr> <tr> <td>Copriferro baricentrico</td> <td>c<sub>baric</sub></td> <td>8.5</td> <td>[cm]</td> </tr> <tr> <td>Altezza utile della sezione</td> <td>d</td> <td>91.5</td> <td>[cm]</td> </tr> </tbody> </table>				Geometria della sezione				Diametro	D	100	[cm]	Copriferro netto	c	6.0	[cm]	Area calcestruzzo	A <sub>cl</sub>	7854	[cm <sup>2</sup> ]	Copriferro baricentrico	c <sub>baric</sub>	8.5	[cm]	Altezza utile della sezione	d	91.5	[cm]	<p>Per la verifica a taglio si fa riferimento al metodo di Clarke-Birjandi 1993:</p>  $\sin(\alpha) = 2r \cdot \sqrt{\pi r} \quad \text{con } (0 < \alpha < \pi/2)$ $A_v = r^2 [\pi/2 + \alpha + \sin(\alpha)\cos(\alpha)]$ $d = r[1 + \sin(\alpha)]$ $b_w = A_v/d$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>Parametro</th> <th>Quasi perm.</th> <th>Frequente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Altezza efficace del calcestruzzo teso</td> <td>h<sub>ceff</sub> [cm]</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Area efficace del calcestruzzo teso</td> <td>A<sub>ceff</sub> [cm<sup>2</sup>]</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Rapporto dell'acciaio sull'area di calcestruzzo efficace</td> <td>ρ<sub>p,eff</sub> [%]</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Fattore dipendente dalla durata del carico</td> <td>k<sub>t</sub></td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente funzione delle proprietà di aderenza dell'armatura</td> <td>k<sub>1</sub></td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente funzione della distribuzione delle deformazioni</td> <td>k<sub>2</sub></td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Funzione dipendente dal copriferro</td> <td>k<sub>3</sub></td> <td>3.4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>k<sub>4</sub></td> <td>0.425</td> </tr> <tr> <td></td> <td>media</td> <td>media</td> </tr> </tbody> </table>				Parametro	Quasi perm.	Frequente	Altezza efficace del calcestruzzo teso	h <sub>ceff</sub> [cm]	-	Area efficace del calcestruzzo teso	A <sub>ceff</sub> [cm <sup>2</sup> ]	-	Rapporto dell'acciaio sull'area di calcestruzzo efficace	ρ <sub>p,eff</sub> [%]	-	Fattore dipendente dalla durata del carico	k <sub>t</sub>	0.4	Coefficiente funzione delle proprietà di aderenza dell'armatura	k <sub>1</sub>	0.8	Coefficiente funzione della distribuzione delle deformazioni	k <sub>2</sub>	0.5	Funzione dipendente dal copriferro	k <sub>3</sub>	3.4		k <sub>4</sub>	0.425		media	media																				
Geometria della sezione																																																																																	
Diametro	D	100	[cm]																																																																														
Copriferro netto	c	6.0	[cm]																																																																														
Area calcestruzzo	A <sub>cl</sub>	7854	[cm <sup>2</sup> ]																																																																														
Copriferro baricentrico	c <sub>baric</sub>	8.5	[cm]																																																																														
Altezza utile della sezione	d	91.5	[cm]																																																																														
Parametro	Quasi perm.	Frequente																																																																															
Altezza efficace del calcestruzzo teso	h <sub>ceff</sub> [cm]	-																																																																															
Area efficace del calcestruzzo teso	A <sub>ceff</sub> [cm <sup>2</sup> ]	-																																																																															
Rapporto dell'acciaio sull'area di calcestruzzo efficace	ρ <sub>p,eff</sub> [%]	-																																																																															
Fattore dipendente dalla durata del carico	k <sub>t</sub>	0.4																																																																															
Coefficiente funzione delle proprietà di aderenza dell'armatura	k <sub>1</sub>	0.8																																																																															
Coefficiente funzione della distribuzione delle deformazioni	k <sub>2</sub>	0.5																																																																															
Funzione dipendente dal copriferro	k <sub>3</sub>	3.4																																																																															
	k <sub>4</sub>	0.425																																																																															
	media	media																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Armatura longitudinale</th> <th>1° STRATO</th> <th>2° STRATO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Numero Barre</td> <td>n<sub>bars</sub> [-]</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Diametro</td> <td>Φ [mm]</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>Posizione dal lembo esterno</td> <td>c<sub>baric</sub> [cm]</td> <td>8.5</td> </tr> <tr> <td>Area strato</td> <td>A<sub>sl</sub> [cm<sup>2</sup>]</td> <td>106.19</td> </tr> <tr> <td>Rapporto di armatura</td> <td>ρ [%]</td> <td>1.352%</td> </tr> <tr> <td>% minima di armatura</td> <td>ρ<sub>min</sub> [%]</td> <td>0.40%</td> </tr> </tbody> </table>				Armatura longitudinale	1° STRATO	2° STRATO	Numero Barre	n <sub>bars</sub> [-]	20	Diametro	Φ [mm]	26	Posizione dal lembo esterno	c <sub>baric</sub> [cm]	8.5	Area strato	A <sub>sl</sub> [cm <sup>2</sup> ]	106.19	Rapporto di armatura	ρ [%]	1.352%	% minima di armatura	ρ <sub>min</sub> [%]	0.40%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>1° TIPO</th> <th>2° TIPO</th> <th>3° TIPO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Diametro</td> <td>φ [mm]</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Numero bracci</td> <td>n<sub>bj</sub></td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Passo</td> <td>s<sub>w</sub> [cm]</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Area armatura a metro per tipo</td> <td>A<sub>svl</sub>/s<sub>w</sub></td> <td>11.31</td> </tr> <tr> <td>Area armatura a metro totale</td> <td>[cm<sup>2</sup>/m]</td> <td>11.31</td> </tr> </tbody> </table>				1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO	Diametro	φ [mm]	12	Numero bracci	n <sub>bj</sub>	2	Passo	s <sub>w</sub> [cm]	20	Area armatura a metro per tipo	A <sub>svl</sub> /s <sub>w</sub>	11.31	Area armatura a metro totale	[cm <sup>2</sup> /m]	11.31																																			
Armatura longitudinale	1° STRATO	2° STRATO																																																																															
Numero Barre	n <sub>bars</sub> [-]	20																																																																															
Diametro	Φ [mm]	26																																																																															
Posizione dal lembo esterno	c <sub>baric</sub> [cm]	8.5																																																																															
Area strato	A <sub>sl</sub> [cm <sup>2</sup> ]	106.19																																																																															
Rapporto di armatura	ρ [%]	1.352%																																																																															
% minima di armatura	ρ <sub>min</sub> [%]	0.40%																																																																															
1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO																																																																															
Diametro	φ [mm]	12																																																																															
Numero bracci	n <sub>bj</sub>	2																																																																															
Passo	s <sub>w</sub> [cm]	20																																																																															
Area armatura a metro per tipo	A <sub>svl</sub> /s <sub>w</sub>	11.31																																																																															
Area armatura a metro totale	[cm <sup>2</sup> /m]	11.31																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Armatura trasversale (spirale/staffe/spilli)</th> <th>1° TIPO</th> <th>2° TIPO</th> <th>3° TIPO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Diametro</td> <td>φ [mm]</td> <td>12</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Numero bracci</td> <td>n<sub>bj</sub></td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Passo</td> <td>s<sub>w</sub> [cm]</td> <td>20</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Area armatura a metro per tipo</td> <td>A<sub>svl</sub>/s<sub>w</sub></td> <td>11.31</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Area armatura a metro totale</td> <td>[cm<sup>2</sup>/m]</td> <td>11.31</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>				Armatura trasversale (spirale/staffe/spilli)	1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO	Diametro	φ [mm]	12	0	Numero bracci	n <sub>bj</sub>	2	0	Passo	s <sub>w</sub> [cm]	20	0	Area armatura a metro per tipo	A <sub>svl</sub> /s <sub>w</sub>	11.31	0	Area armatura a metro totale	[cm <sup>2</sup> /m]	11.31	0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica</th> <th>V<sub>Rd1</sub> [KN]</th> <th>Coefficiente di sicurezza</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistenza a taglio di progetto</td> <td>350</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td>V<sub>Rd1</sub>/V<sub>Ed</sub></td> <td>0.76</td> </tr> </tbody> </table>				Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica	V <sub>Rd1</sub> [KN]	Coefficiente di sicurezza	Resistenza a taglio di progetto	350		Coefficiente di sicurezza	V <sub>Rd1</sub> /V <sub>Ed</sub>	0.76																																									
Armatura trasversale (spirale/staffe/spilli)	1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO																																																																														
Diametro	φ [mm]	12	0																																																																														
Numero bracci	n <sub>bj</sub>	2	0																																																																														
Passo	s <sub>w</sub> [cm]	20	0																																																																														
Area armatura a metro per tipo	A <sub>svl</sub> /s <sub>w</sub>	11.31	0																																																																														
Area armatura a metro totale	[cm <sup>2</sup> /m]	11.31	0																																																																														
Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica	V <sub>Rd1</sub> [KN]	Coefficiente di sicurezza																																																																															
Resistenza a taglio di progetto	350																																																																																
Coefficiente di sicurezza	V <sub>Rd1</sub> /V <sub>Ed</sub>	0.76																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Verifica di resistenza dell'armatura specifica</th> <th>cot(θ)</th> <th>V<sub>Rd1</sub>(θ) [KN]</th> <th>V<sub>Rd1</sub>(θ) [KN]</th> <th>V<sub>Rd1</sub> [KN]</th> <th>Coefficiente di sicurezza</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CoTan(θ) di progetto</td> <td>2.5</td> <td>1529</td> <td>761</td> <td>761</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza a taglio dell'armatura</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza a taglio di progetto</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1.65</td> </tr> </tbody> </table>				Verifica di resistenza dell'armatura specifica	cot(θ)	V <sub>Rd1</sub> (θ) [KN]	V <sub>Rd1</sub> (θ) [KN]	V <sub>Rd1</sub> [KN]	Coefficiente di sicurezza	CoTan(θ) di progetto	2.5	1529	761	761		Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls						Resistenza a taglio dell'armatura						Resistenza a taglio di progetto						Coefficiente di sicurezza					1.65	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Verifica di resistenza</th> <th>M<sub>Rd</sub> [kNm]</th> <th>M<sub>Rd</sub>/M<sub>Ed</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Momento resistente</td> <td>1483</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td></td> <td>1.61</td> </tr> </tbody> </table>				Verifica di resistenza	M <sub>Rd</sub> [kNm]	M <sub>Rd</sub> /M <sub>Ed</sub>	Momento resistente	1483		Coefficiente di sicurezza		1.61																													
Verifica di resistenza dell'armatura specifica	cot(θ)	V <sub>Rd1</sub> (θ) [KN]	V <sub>Rd1</sub> (θ) [KN]	V <sub>Rd1</sub> [KN]	Coefficiente di sicurezza																																																																												
CoTan(θ) di progetto	2.5	1529	761	761																																																																													
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls																																																																																	
Resistenza a taglio dell'armatura																																																																																	
Resistenza a taglio di progetto																																																																																	
Coefficiente di sicurezza					1.65																																																																												
Verifica di resistenza	M <sub>Rd</sub> [kNm]	M <sub>Rd</sub> /M <sub>Ed</sub>																																																																															
Momento resistente	1483																																																																																
Coefficiente di sicurezza		1.61																																																																															
<b>CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI</b>				<b>VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE</b>																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Calcestruzzo</th> <th>R<sub>ck</sub> [MPa]</th> <th>f<sub>ck</sub> [MPa]</th> <th>f<sub>cm</sub> [MPa]</th> <th>f<sub>ctm</sub> [MPa]</th> <th>f<sub>ed</sub> [MPa]</th> <th>E<sub>cm</sub> [MPa]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistenza cubica a compressione</td> <td>30</td> <td>25</td> <td>33.00</td> <td>2.56</td> <td>14.17</td> <td>31476</td> </tr> <tr> <td>Resistenza cilindrica caratteristica a compressione</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza cilindrica media a compressione</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza media a trazione per flessione</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza di progetto a compressione</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Modulo elastico calcestruzzo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Calcestruzzo	R <sub>ck</sub> [MPa]	f <sub>ck</sub> [MPa]	f <sub>cm</sub> [MPa]	f <sub>ctm</sub> [MPa]	f <sub>ed</sub> [MPa]	E <sub>cm</sub> [MPa]	Resistenza cubica a compressione	30	25	33.00	2.56	14.17	31476	Resistenza cilindrica caratteristica a compressione							Resistenza cilindrica media a compressione							Resistenza media a trazione per flessione							Resistenza di progetto a compressione							Modulo elastico calcestruzzo							<table border="1"> <thead> <tr> <th>Acciaio</th> <th>f<sub>yk</sub> [Mpa]</th> <th>γ<sub>s</sub></th> <th>f<sub>yd</sub> [Mpa]</th> <th>E [Mpa]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistenza caratteristica a snervamento</td> <td>450</td> <td>1.15</td> <td>391.3</td> <td>210000</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente parziale di sicurezza</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza di progetto a snervamento</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Modulo elastico</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Acciaio	f <sub>yk</sub> [Mpa]	γ <sub>s</sub>	f <sub>yd</sub> [Mpa]	E [Mpa]	Resistenza caratteristica a snervamento	450	1.15	391.3	210000	Coefficiente parziale di sicurezza					Resistenza di progetto a snervamento					Modulo elastico				
Calcestruzzo	R <sub>ck</sub> [MPa]	f <sub>ck</sub> [MPa]	f <sub>cm</sub> [MPa]	f <sub>ctm</sub> [MPa]	f <sub>ed</sub> [MPa]	E <sub>cm</sub> [MPa]																																																																											
Resistenza cubica a compressione	30	25	33.00	2.56	14.17	31476																																																																											
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione																																																																																	
Resistenza cilindrica media a compressione																																																																																	
Resistenza media a trazione per flessione																																																																																	
Resistenza di progetto a compressione																																																																																	
Modulo elastico calcestruzzo																																																																																	
Acciaio	f <sub>yk</sub> [Mpa]	γ <sub>s</sub>	f <sub>yd</sub> [Mpa]	E [Mpa]																																																																													
Resistenza caratteristica a snervamento	450	1.15	391.3	210000																																																																													
Coefficiente parziale di sicurezza																																																																																	
Resistenza di progetto a snervamento																																																																																	
Modulo elastico																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Verifica Interassi e interferri</th> <th>1° STRATO</th> <th>2° STRATO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Interferro di progetto</td> <td>10.00</td> <td>6.00</td> </tr> <tr> <td>Interferro minimo</td> <td>5.40</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Interasse di progetto</td> <td>13.00</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Interasse massimo</td> <td>25.00</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>				Verifica Interassi e interferri	1° STRATO	2° STRATO	Interferro di progetto	10.00	6.00	Interferro minimo	5.40	-	Interasse di progetto	13.00	-	Interasse massimo	25.00	-	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Verifica di resistenza</th> <th>SLU</th> <th>SLV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Momento sollecitante</td> <td>M<sub>Ed</sub> [kNm]</td> <td>920</td> </tr> <tr> <td>Sforzo Normale concomitante</td> <td>N<sub>Ed</sub> [kN]</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>				Verifica di resistenza	SLU	SLV	Momento sollecitante	M <sub>Ed</sub> [kNm]	920	Sforzo Normale concomitante	N <sub>Ed</sub> [kN]	0																																																		
Verifica Interassi e interferri	1° STRATO	2° STRATO																																																																															
Interferro di progetto	10.00	6.00																																																																															
Interferro minimo	5.40	-																																																																															
Interasse di progetto	13.00	-																																																																															
Interasse massimo	25.00	-																																																																															
Verifica di resistenza	SLU	SLV																																																																															
Momento sollecitante	M <sub>Ed</sub> [kNm]	920																																																																															
Sforzo Normale concomitante	N <sub>Ed</sub> [kN]	0																																																																															
<b>CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.</b>				<b>DOMINIO M-N</b>																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Disposizione delle barre nella sezione trasversale</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Disposizione delle barre nella sezione trasversale																																																																													
Disposizione delle barre nella sezione trasversale																																																																																	
																																																																																	

Figura 29.

Verifica strutturale del palo – condizione Mmax

### 1-VER-C.A\_SHEAR&FLEX-circular\_R30 Max Trazione

#### INPUT

##### SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

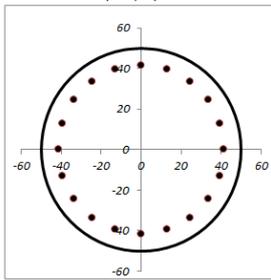
Combinazione	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	V <sub>Ed</sub> [kN]
SLE Quasi Permanente	0	0	0
SLE Frequente	0	0	0
SLE Rara	0	0	0
SLU	570	618	0
SLV	0	0	0

##### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

Geometria della sezione			
Diametro	D	100	[cm]
Copriferro netto	c	6.0	[cm]
Area calcestruzzo	A <sub>cl</sub>	7854	[cm <sup>2</sup> ]
Copriferro baricentrico	c <sub>baric</sub>	8.5	[cm]
Altezza utile della sezione	d	91.5	[cm]

Armatura longitudinale			
		1° STRATO	2° STRATO
Numero Barre	n <sub>barre</sub> [-]	20	0
Diametro	Φ [mm]	26	0
Posizione dal lembo esterno	c <sub>baric</sub> [cm]	8.5	0.0
Area strato	A <sub>sl</sub> [cm <sup>2</sup> ]	106.19	0.00
Rapporto di armatura	ρ [%]	1.352%	
% minima di armatura	ρ <sub>min</sub> [%]	0.40%	

Armatura trasversale (spirale/staffe/spilli)				
		1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO
Diametro	φ [mm]	12	0	0
Numero bracci	n <sub>br</sub>	2	0	0
Passo	s <sub>w</sub> [cm]	20	0	0
Area armatura a metro per tipo	A <sub>sv</sub> /s <sub>w</sub>	11.31	0	0
Area armatura a metro totale	[cm <sup>2</sup> /m]		11.31	



Disposizione delle barre nella sezione trasversale

Verifica Interassi e interferri			
		1° STRATO	2° STRATO
Interferro di progetto	[cm]	10.00	6.00
Interferro minimo	[cm]	5.40	-
Interasse di progetto	[cm]	13.00	-
Interasse massimo	[cm]	25.00	-

##### CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo		
Resistenza cubica a compressione	R <sub>ck</sub> [MPa]	30
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f <sub>ck</sub> [MPa]	25
Resistenza cilindrica media a compressione	f <sub>cm</sub> [MPa]	33.00
Resistenza media a trazione per flessione	f <sub>ctm</sub> [MPa]	2.56
Resistenza di progetto a compressione	f <sub>cd</sub> [MPa]	14.17
Modulo elastico calcestruzzo	E <sub>cm</sub> [MPa]	31476

Acciaio		
Barre: ad Aderenza migliorata		
Resistenza caratteristica a snervamento	f <sub>yk</sub> [Mpa]	450
Coefficiente parziale di sicurezza	γ <sub>s</sub>	1.15
Resistenza di progetto a snervamento	f <sub>yd</sub> [Mpa]	391.3
Modulo elastico	E [Mpa]	200000

#### OUTPUT

##### VERIFICHE IN ESERCIZIO

Approccio di verifica: NTC18 / EC 2 -2

Verifica Tensionale			
			σ limite
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ <sub>c</sub> [Mpa]	0.00	< 11.25
Calcestruzzo SLE Rara	σ <sub>c</sub> [Mpa]	0.00	< 15.00
Acciaio SLE Rara	σ <sub>s</sub> [Mpa]	0.0	< 360.00

Verifica di fessurazione			
		Quasi perm.	Frequente
Altezza efficace del calcestruzzo teso	h <sub>ceff</sub> [cm]	-	-
Area efficace del calcestruzzo teso	A <sub>ceff</sub> [cm <sup>2</sup> ]	-	-
	A <sub>z</sub> [cm <sup>2</sup> ]	-	-
Rapporto dell'acciaio sull'area di calcestruzzo efficace	ρ <sub>peff</sub> [%]	-	-
Fattore dipendente dalla durata del carico	k <sub>t</sub>	0.4	0.6
Coefficiente funzione delle proprietà di aderenza dell'armatura	k <sub>1</sub>	0.8	0.8
Coefficiente funzione della distribuzione delle deformazioni	k <sub>2</sub>	1.0	1.0
Funzione dipendente dal copriferro	k <sub>3</sub>	3.4	3.4
	k <sub>4</sub>	0.425	0.425
		media	media
Tensione di verifica:			
Massima tensione nell'armatura alla formazione della fessura	σ <sub>s</sub> [Mpa]	0.0	0.0
Distanza massima tra le fessure (eq.7.11 di EN 1992-1-1)	s <sub>r,max</sub> [mm]	-	-
Differenza tra deformazione media dell'armatura e del cls	(ε <sub>sm</sub> - ε <sub>cm</sub> )	-	-
Ampiezza delle fessure	w <sub>Ed</sub> [mm]	0.000	0.000
Ampiezza delle fessure limite	w <sub>lim</sub> [mm]	0.200	0.300

##### VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

Per la verifica a taglio si fa riferimento al metodo di Clarke-Birjandi 1993:

$\sin(\alpha) = 2r \cdot \sqrt{\pi r}$ con $(0 < \alpha < \pi/2)$	[-]	0.528
$A_v = r^2 [\pi/2 + \alpha + \sin(\alpha)\cos(\alpha)]$	[cm <sup>2</sup> ]	6440
$d = r[1 + \sin(\alpha)]$	[cm]	76.4
$b_w = A_v/d$	[cm]	84.3

Sollecitazioni di progetto		
Taglio sollecitante = max Taglio (SLU,SLV)	V <sub>Ed</sub> [kN]	0
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio	N <sub>Ed</sub> [kN]	0

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica		
Resistenza a taglio di progetto	V <sub>Rd1</sub> [KN]	367
Coefficiente di sicurezza	V <sub>Rd1</sub> /V <sub>Ed</sub>	-

Verifica di resistenza dell'armatura specifica		
CoTan(θ) di progetto	cotan(θ)	2.5
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V <sub>Rd2</sub> (θ) [KN]	1529
Resistenza a taglio dell'armatura	V <sub>Rd3</sub> (θ) [KN]	761
Resistenza a taglio di progetto	V <sub>Rd</sub> [KN]	761
Coefficiente di sicurezza	V <sub>Rd</sub> /V <sub>Ed</sub>	-

##### VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

Sollecitazioni di progetto			
		SLU	SLV
Momento sollecitante	M <sub>Ed</sub> [kNm]	618	0
Sforzo Normale concomitante	N <sub>Ed</sub> [kN]	570	0

Verifica di resistenza			
		SLU	SLV
Momento resistente	M <sub>Rd</sub> [kNm]	1325	1480
Coefficiente di sicurezza	M <sub>Rd</sub> /M <sub>Ed</sub>	2.14	-

##### DOMINIO M-N

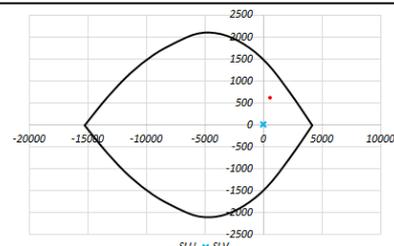


Figura 30. Verifica strutturale del palo – condizione Trazione max

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

## 10. RISULTATI E VERIFICHE – Tipologico B

### 10.1 Sollecitazioni di input

Ricadono nel tipologico B le fondazioni delle pile 4 5 e 6 in accordo con la seguente numerazione:

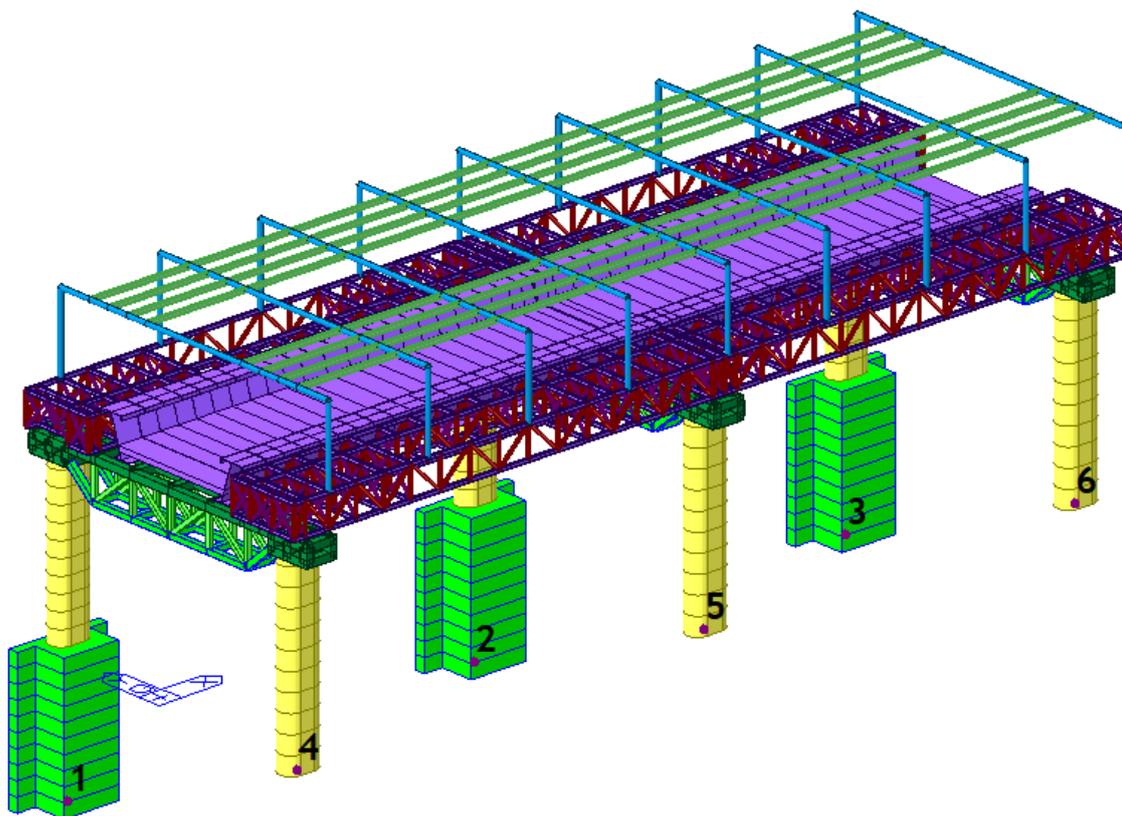


Figura 31. Individuazione delle colonne del tipologico

Nel seguito si riportano le azioni agenti ad estradosso plinto secondo la convenzione dei segni riportata in figura:

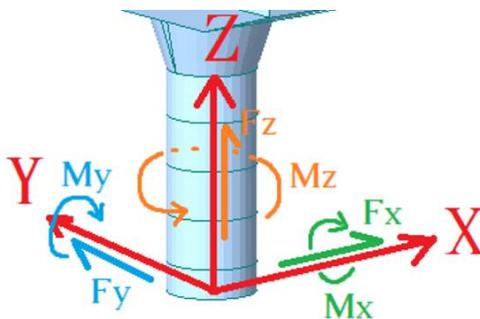


Figura 32. Direzione delle sollecitazioni di input dalla sovrastruttura

Le azioni derivanti dalla struttura di elevazione sono le seguenti:

COLONNA 4							
Node	FX(kN)	FX(kN)	FX(kN)	FZ(kN)	FX(kN)	MY(kN-m)	Mz(kN-m)
4	SLU-1(max)	468.8137	115.3169	3562.578	1276.57	3365.404	-26.5436
4	SLU-2(max)	480.6748	201.5611	3635.297	1986.535	3449.552	-18.204
4	SLU-3(max)	502.7747	117.0707	3865.28	1279.975	3620.337	-18.3593
4	SLU-4(max)	520.2897	111.1106	3691.826	1316.11	3740.629	-29.0403
4	SLU-5(max)	398.531	116.1487	2989.254	1268.752	2875.814	-5.86407
4	SLU-6(max)	410.3921	202.3929	3061.973	1978.716	2959.961	2.475526
4	SLU-7(max)	432.4919	117.9024	3291.956	1272.156	3130.746	2.320257
4	SLU-8(max)	483.9678	113.6961	3421.204	1311.696	3505.971	-0.17645
4	SLU-9(max)	500.399	115.365	3564.915	1277.022	3660.166	2.619448
4	SLU-10(max)	512.2601	201.6092	3637.634	1986.987	3744.314	10.95904
4	SLU-11(max)	542.2563	117.1308	3868.202	1280.539	3988.789	18.09453
4	SLU-12(max)	551.8749	111.1587	3694.163	1316.562	4035.391	0.122745
4	SLU-13(max)	430.1162	116.1968	2991.591	1269.203	3170.576	23.29896
4	SLU-14(max)	441.9773	202.4409	3064.31	1979.168	3254.723	31.63855
4	SLU-15(max)	471.9735	117.9625	3294.878	1272.721	3499.199	38.77404
4	SLU-16(max)	523.4494	113.7562	3424.126	1312.261	3874.424	36.27734
4	EE_SLV_DRX(max)	616.1754	84.06592	1582.634	911.9828	5286.657	279.1018
4	EE_SLV_DRY(max)	330.2554	248.6228	1591.116	2622.235	2633.874	70.81098
4	EE_SLV_DRZ(max)	309.1585	66.28952	1533.379	914.1457	2458.938	54.77566
4	SLE_R_1(max)	356.7037	85.25743	2742.804	787.8257	2568.006	-13.7107
4	SLE_R_2(max)	383.9324	85.29887	2744.819	788.2152	2822.111	11.42982
4	SLE_R_3(max)	359.0203	81.94478	2598.667	805.2475	2579.803	-20.6034
4	SLE_R_4(max)	380.8032	81.97793	2600.279	805.5591	2783.087	-0.491
4	SLE_R_5(max)	341.1897	141.5441	2582.522	1258.788	2448.288	-13.7954
4	SLE_R_6(max)	362.9727	141.5772	2584.134	1259.099	2651.573	6.317078
4	SLE_R_7(max)	333.2823	84.04795	2534.043	785.4777	2392.19	-19.3551
4	SLE_R_8(max)	355.0653	84.0811	2535.655	785.7893	2595.474	0.757351
4	SLU-1(min)	243.6854	-151.879	2127.081	-932.884	1575.54	-199.466
4	SLU-2(min)	231.8243	-238.124	2054.363	-1642.85	1491.393	-207.806
4	SLU-3(min)	230.26	-152.242	2125.448	-949.369	1446.117	-228.258
4	SLU-4(min)	295.1613	-156.086	2256.329	-893.344	1950.765	-201.963
4	SLU-5(min)	173.4026	-151.048	1553.758	-940.702	1085.95	-178.787
4	SLU-6(min)	161.5415	-237.292	1481.039	-1650.67	1001.802	-187.127
4	SLU-7(min)	159.9773	-151.41	1552.125	-957.187	956.5267	-207.579
4	SLU-8(min)	211.4532	-155.616	1681.372	-917.648	1331.752	-210.075
4	SLU-9(min)	212.1001	-151.927	2124.744	-933.335	1280.778	-228.629
4	SLU-10(min)	200.239	-238.172	2052.026	-1643.3	1196.631	-236.969
4	SLU-11(min)	190.7785	-152.302	2122.527	-949.934	1077.665	-264.712
4	SLU-12(min)	263.576	-156.134	2253.992	-893.796	1656.003	-231.126
4	SLU-13(min)	141.8173	-151.096	1551.42	-941.154	791.1877	-207.95
4	SLU-14(min)	129.9562	-237.34	1478.702	-1651.12	707.0403	-216.29
4	SLU-15(min)	120.4957	-151.47	1549.203	-957.752	588.0741	-244.032
4	SLU-16(min)	171.9716	-155.676	1678.451	-918.213	963.299	-246.529
4	EE_SLV_DRX(min)	-279.101	-99.5136	1392.415	-766.774	-2942.5	-375.562
4	EE_SLV_DRY(min)	6.820997	-284.976	1383.933	-2280.51	-289.704	-167.282
4	EE_SLV_DRZ(min)	27.91759	-99.2132	1441.671	-604.663	-114.77	-151.245
4	SLE_R_1(min)	169.5806	-94.5272	1547.935	-700.689	1074.347	-157.893
4	SLE_R_2(min)	142.3519	-94.5687	1545.92	-701.079	820.242	-183.034
4	SLE_R_3(min)	204.5773	-96.3806	1613.685	-669.551	1351.217	-139.285
4	SLE_R_4(min)	182.7944	-96.4138	1612.073	-669.862	1147.933	-159.398
4	SLE_R_5(min)	170.932	-151.774	1500.582	-1162.63	1107.506	-143.597
4	SLE_R_6(min)	149.1491	-151.807	1498.97	-1162.94	904.222	-163.709
4	SLE_R_7(min)	178.8394	-94.2775	1549.061	-689.32	1163.605	-138.037
4	SLE_R_8(min)	157.0565	-94.3106	1547.449	-689.632	960.3203	-158.15

COLONNA 5

Node		FX(kN)	FX(kN)	FX(kN)	FZ(kN)	FX(kN)	MY(kN·m)	Mz(kN·m)
5	SLU-1(max)	46.19256	172.9239	4453.842	1763.564	234.3515	67.71666	
5	SLU-2(max)	49.25548	290.5546	4580.525	2768.562	261.971	69.19335	
5	SLU-3(max)	68.92936	176.2283	4691.437	1788.242	393.2321	86.76238	
5	SLU-4(max)	36.86736	168.2462	4657.795	1807.534	144.755	64.1841	
5	SLU-5(max)	56.92345	172.2969	3601.563	1769.458	327.4645	69.19345	
5	SLU-6(max)	59.98637	289.9276	3728.245	2774.456	355.084	70.67014	
5	SLU-7(max)	79.66026	175.6012	3839.157	1794.136	486.345	88.23917	
5	SLU-8(max)	70.33507	170.9235	4043.111	1838.107	396.7485	84.70661	
5	SLU-9(max)	71.54188	169.6149	4453.056	1732.459	491.1417	89.67234	
5	SLU-10(max)	74.6048	287.2456	4579.738	2737.457	518.7612	91.14903	
5	SLU-11(max)	100.616	172.0921	4690.454	1749.361	714.2198	114.207	
5	SLU-12(max)	62.21669	164.9372	4657.009	1776.43	401.5452	86.13978	
5	SLU-13(max)	82.27277	168.9879	3600.776	1738.353	584.2547	91.14913	
5	SLU-14(max)	85.3357	286.6186	3727.459	2743.352	611.8742	92.62583	
5	SLU-15(max)	111.3469	171.465	3838.174	1755.256	807.3328	115.6838	
5	SLU-16(max)	102.0217	166.7873	4042.128	1799.226	717.7362	112.1512	
5	SLV DRX(i)	371.7111	134.8947	2247.921	1306.173	3648.736	211.3444	
5	SLV DRY(i)	120.42	422.8024	2333.691	4131.023	1186.329	75.64153	
5	SLV DRZ(i)	100.248	120.188	2229.781	1334.744	999.7123	64.1719	
5	LE_R_1(max)	45.95537	125.0213	3339.151	1127.731	255.8569	59.12556	
5	LE_R_2(max)	67.80823	122.1688	3338.473	1100.917	477.2277	78.05287	
5	LE_R_3(max)	25.61221	120.4036	3277.269	1132.697	101.4858	44.2243	
5	LE_R_4(max)	43.09451	118.1216	3276.727	1111.246	278.5825	59.36615	
5	LE_R_5(max)	32.31676	201.1629	3259.748	1780.711	164.6971	46.97504	
5	LE_R_6(max)	49.79905	198.8809	3259.206	1759.259	341.7937	62.11689	
5	LE_R_7(max)	30.27481	122.7425	3175.293	1110.712	146.2841	45.99058	
5	LE_R_8(max)	47.7571	120.4604	3174.75	1089.26	323.3808	61.13243	
5	SLU-1(min)	-153.011	-203.687	3085.798	-1474.39	-1158	-82.7925	
5	SLU-2(min)	-156.074	-321.318	2959.116	-2479.39	-1185.62	-84.2692	
5	SLU-3(min)	-177.777	-206.313	3076.394	-1505.45	-1326.5	-100.267	
5	SLU-4(min)	-162.336	-208.365	3289.752	-1430.42	-1247.6	-86.325	
5	SLU-5(min)	-142.28	-204.314	2233.519	-1468.49	-1064.89	-81.3157	
5	SLU-6(min)	-145.343	-321.945	2106.837	-2473.49	-1092.51	-82.7924	
5	SLU-7(min)	-167.046	-206.94	2224.115	-1499.56	-1233.38	-98.7897	
5	SLU-8(min)	-176.372	-211.617	2428.068	-1455.59	-1322.98	-102.322	
5	SLU-9(min)	-178.36	-200.378	3086.585	-1443.28	-1414.79	-104.748	
5	SLU-10(min)	-181.423	-318.009	2959.902	-2448.28	-1442.41	-106.225	
5	SLU-11(min)	-209.464	-202.176	3077.377	-1466.57	-1647.48	-127.711	
5	SLU-12(min)	-187.685	-205.056	3290.538	-1399.31	-1504.39	-108.281	
5	SLU-13(min)	-167.629	-201.005	2234.306	-1437.39	-1321.68	-103.271	
5	SLU-14(min)	-170.692	-318.636	2107.623	-2442.39	-1349.3	-104.748	
5	SLU-15(min)	-198.733	-202.803	2225.098	-1460.68	-1554.37	-126.234	
5	SLU-16(min)	-208.058	-207.481	2429.051	-1416.7	-1643.97	-129.767	
5	SLV DRX(i)	-421.189	-142.997	2107.027	-1230.01	-4079.87	-218.978	
5	SLV DRY(i)	-169.897	-451.824	2021.256	-3858.22	-1617.46	-83.2765	
5	SLV DRZ(i)	-149.725	-145.778	2125.166	-1094.2	-1430.84	-71.8066	
5	LE_R_1(min)	-123.976	-130.687	2234.065	-1074.47	-928.258	-69.7581	
5	LE_R_2(min)	-145.829	-127.835	2234.743	-1047.66	-1149.63	-88.6854	
5	LE_R_3(min)	-111.558	-131.216	2342.528	-1031.06	-856.854	-59.4733	
5	LE_R_4(min)	-129.04	-128.934	2343.07	-1009.61	-1033.95	-74.6151	
5	LE_R_5(min)	-108.937	-207.297	2156.096	-1723.05	-830.468	-58.6914	
5	LE_R_6(min)	-126.42	-205.015	2156.638	-1701.6	-1007.57	-73.8333	
5	LE_R_7(min)	-106.895	-128.877	2240.551	-1053.05	-812.055	-57.707	
5	LE_R_8(min)	-124.378	-126.595	2241.094	-1031.6	-989.152	-72.8488	

COLONNA 6

Node	FX(kN)	FX(kN)	FX(kN)	FZ(kN)	FX(kN)	MY(kN·m)	Mz(kN·m)
6	SLU-1(max)	-204.725	157.8267	3407.023	1664.53	-1392.1	173.9513
6	SLU-2(max)	-193.792	240.5584	3474.643	2341.478	-1308.11	184.4108
6	SLU-3(max)	-193.672	171.4501	3699.745	1778.011	-1280.63	197.4538
6	SLU-4(max)	-246.834	153.7437	3524.628	1702.911	-1722.22	175.2977
6	SLU-5(max)	-145.3	158.6118	2861.194	1657.15	-959.779	155.1144
6	SLU-6(max)	-134.367	241.3436	2928.814	2334.098	-875.794	165.5739
6	SLU-7(max)	-134.247	172.2352	3153.916	1770.63	-848.312	178.6169
6	SLU-8(max)	-176.355	168.1522	3271.521	1809.011	-1178.44	179.9634
6	SLU-9(max)	-181.077	134.8278	3398.554	1448.34	-1163.49	181.8999
6	SLU-10(max)	-170.143	217.5595	3466.174	2125.288	-1079.51	192.3594
6	SLU-11(max)	-164.111	142.7015	3689.159	1507.774	-994.875	207.3896
6	SLU-12(max)	-223.185	130.7447	3516.159	1486.721	-1493.62	183.2463
6	SLU-13(max)	-121.652	135.6129	2852.725	1440.96	-731.176	163.063
6	SLU-14(max)	-110.718	218.3447	2920.345	2117.908	-647.191	173.5226
6	SLU-15(max)	-104.686	143.4866	3143.33	1500.393	-562.558	188.5527
6	SLU-16(max)	-146.795	139.4036	3260.935	1538.774	-892.688	189.8992
6	EE_SLV_DRX(max)	205.7416	85.74086	1512.218	925.0982	2292.963	157.9567
6	EE_SLV_DRY(max)	-10.0078	247.0877	1522.486	2603.475	218.3039	111.9561
6	EE_SLV_DRZ(max)	-32.0961	66.35696	1466.799	912.5124	19.1763	86.09529
6	SLE_R_1(max)	-142.827	122.8878	2626.68	1132.379	-953.214	136.4543
6	SLE_R_2(max)	-122.441	103.0611	2619.38	946.0086	-756.143	143.3066
6	SLE_R_3(max)	-171.505	111.4508	2483.606	1073.307	-1195.15	120.9189
6	SLE_R_4(max)	-155.195	95.5895	2477.765	924.2106	-1037.5	126.4007
6	SLE_R_5(max)	-143.161	168.6468	2469.883	1505.415	-974.098	127.2187
6	SLE_R_6(max)	-126.852	152.7855	2464.043	1356.319	-816.441	132.7005
6	SLE_R_7(max)	-150.45	113.4923	2424.803	1054.117	-1030.09	120.2456
6	SLE_R_8(max)	-134.141	97.63102	2418.963	905.0203	-872.431	125.7275
6	SLU-1(min)	-399.824	-193.152	2006.183	-1332.48	-2975.75	33.11944
6	SLU-2(min)	-410.757	-275.883	1938.563	-2009.42	-3059.73	22.65991
6	SLU-3(min)	-429.345	-205.224	1999.41	-1460.54	-3197.21	29.25868
6	SLU-4(min)	-441.932	-197.235	2123.788	-1294.09	-3305.88	34.46586
6	SLU-5(min)	-340.399	-192.367	1460.354	-1339.86	-2543.43	14.28258
6	SLU-6(min)	-351.332	-275.098	1392.734	-2016.8	-2627.42	3.823051
6	SLU-7(min)	-369.92	-204.439	1453.58	-1467.92	-2764.89	10.42182
6	SLU-8(min)	-412.029	-208.522	1571.185	-1429.54	-3095.02	11.76824
6	SLU-9(min)	-423.472	-170.153	2014.651	-1116.29	-3204.35	25.1708
6	SLU-10(min)	-434.406	-252.884	1947.032	-1793.23	-3288.34	14.71127
6	SLU-11(min)	-458.906	-176.475	2009.995	-1190.3	-3482.96	19.32288
6	SLU-12(min)	-465.581	-174.236	2132.256	-1077.9	-3534.48	26.51722
6	SLU-13(min)	-364.047	-169.368	1468.822	-1123.67	-2772.03	6.333946
6	SLU-14(min)	-374.981	-252.099	1401.202	-1800.61	-2856.02	-4.12559
6	SLU-15(min)	-399.481	-175.69	1464.166	-1197.68	-3050.64	0.486027
6	SLU-16(min)	-441.589	-179.773	1581.771	-1159.3	-3380.77	1.832447
6	EE_SLV_DRX(min)	-492.724	-101.056	1334.718	-781.134	-4374.22	-69.5571
6	EE_SLV_DRY(min)	-276.978	-283.31	1324.451	-2262.98	-2299.59	-23.5306
6	EE_SLV_DRZ(min)	-254.889	-99.1496	1380.137	-604.262	-2100.46	2.325942
6	SLE_R_1(min)	-304.607	-131.182	1458.699	-1054.41	-2269.2	21.17901
6	SLE_R_2(min)	-324.993	-111.355	1465.999	-868.044	-2466.27	14.32674
6	SLE_R_3(min)	-305.301	-124.898	1522.172	-946.907	-2281.53	24.51481
6	SLE_R_4(min)	-321.611	-109.036	1528.013	-797.811	-2439.19	19.033
6	SLE_R_5(min)	-291.536	-178.011	1418.29	-1417.4	-2172.46	16.86858
6	SLE_R_6(min)	-307.845	-162.149	1424.13	-1268.3	-2330.12	11.38676
6	SLE_R_7(min)	-284.247	-122.856	1463.37	-966.098	-2116.47	23.8416
6	SLE_R_8(min)	-300.556	-106.995	1469.21	-817.001	-2274.13	18.35979

A tali azioni devono essere aggiunte le azioni derivanti dal peso della fondazione e del reinterro:

P <sub>proprio</sub> FONDAZIONE				
B (m)	L (m)	H (m)	PP (kN)	
5	5	1.5	937.5	SLE
			1265.625	SLU

P <sub>proprio</sub> RINTERRO				
B (m)	L (m)	H (m)	PP (kN)	
5	5	1.4	665	SLE
			897.75	SLU

TOTALE	
PP (kN)	
1602.5	SLE
2163.375	SLU

La convenzione dei segni utilizzata da Group è la seguente:

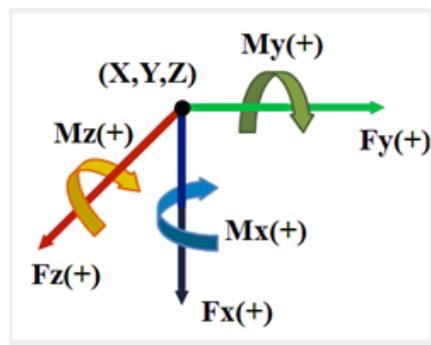


Figura 33. Sistema di riferimento del software Group

Si procede analizzando, a favore di sicurezza, gli involucri dei massimi per ciascuna combinazione. In accordo con la convenzione utilizzata dal software, i valori di input in termini di sollecitazioni sono i seguenti:

n.case	Azioni dalla sovrastruttura									Peso proprio fondazione + reinterro								
	FX (kN)	FY (kN)	MZ (kN-m)	FZ (kN)	MY (kN-m)	MX (kN-m)	x <sub>c</sub> (m)	y <sub>c</sub> (m)	z <sub>c</sub> (m)	FX (kN)	FY (kN)	MZ (kN-m)	FZ (kN)	MY (kN-m)	MX (kN-m)	x <sub>c</sub> (m)	y <sub>c</sub> (m)	z <sub>c</sub> (m)
SLE MAX colonna 4	2744.82	-151.81	1259.10	383.93239	2822.11	-183.03	0	0	0	1603.00	0	0	0	0	0	1.50	0	0
SLU/SLV MAX colonna 4	3868.20	-284.98	2622.23	616.17543	5286.66	-375.56	0	0	0	2164.00	0	0	0	0	0	1.50	0	0
SLE MAX colonna 5	3339.15	-207.30	1780.71	-145.8288	-1149.63	-88.69	0	0	0	1603.00	0	0	0	0	0	1.50	0	0
SLU/SLV MAX colonna 5	4691.44	-451.82	4131.02	-421.1892	-4079.87	-218.98	0	0	0	2164.00	0	0	0	0	0	1.50	0	0
SLE MAX colonna 6	2626.68	-178.01	1505.42	-324.9933	-2466.27	143.31	0	0	0	1603.00	0	0	0	0	0	1.50	0	0
SLU/SLV MAX colonna 6	3699.74	-283.31	2603.47	-492.7244	-4374.22	207.39	0	0	0	2164.00	0	0	0	0	0	1.50	0	0

Essendo le dimensioni della piastra e la posizione dei pali la medesima in entrambi i casi, le verifiche sono state svolte per il caso più gravoso.

I carichi della struttura in elevazione sono stati applicati in corrispondenza delle colonne ad estradosso fondazione mentre il peso proprio della fondazione e del rinterro è stato considerato come carico applicato nel baricentro geometrico ad intradosso fondazione:

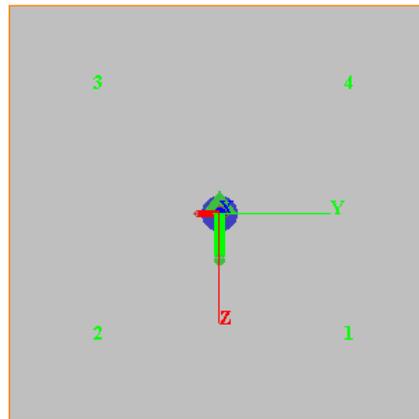


Figura 34. Applicazione dei carichi sulla palificata (piano yz)

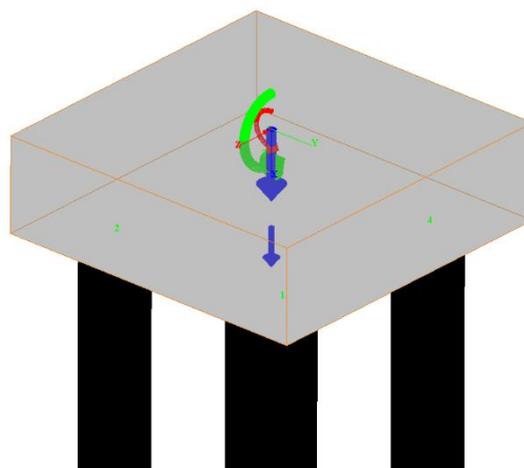


Figura 35. Applicazione dei carichi sulla palificata (spazio xyz)

## 10.2 Risultati delle analisi

Il modello di calcolo riprende le geometrie in precedenza riportate, ed associa alle caratteristiche del palo quelle del terreno con la stratificazione riportata al par. 5.15.1.

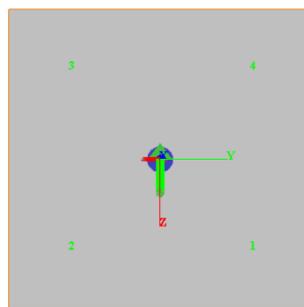
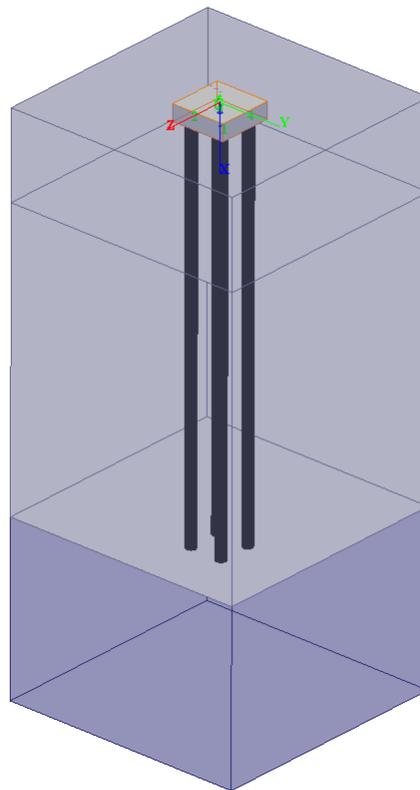


Figura 36. Modello fondazione tipologico B

I risultati sintetici sono di seguito riassunti per gli involuipi massimi e minimi delle combinazioni di carico analizzate.

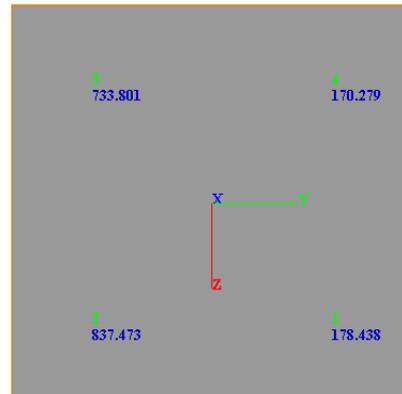
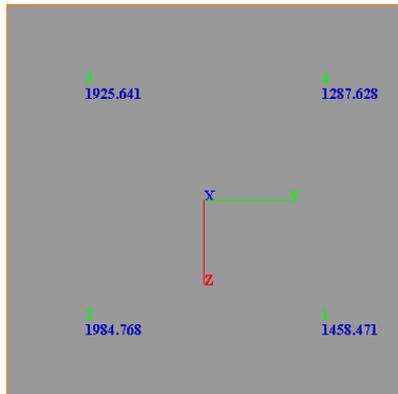


Figura 37. Inviluppo delle sollecitazioni assiali massime (sx) e minime (dx) – Combinazione SLE

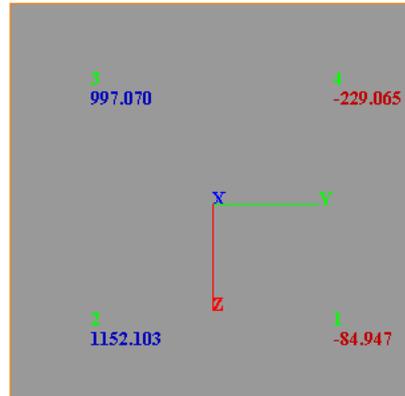
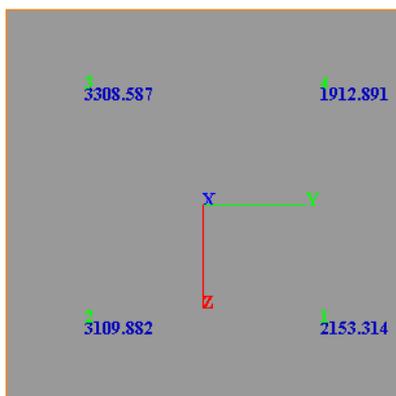


Figura 38. Inviluppo delle sollecitazioni assiali massime (sx) e minime (dx) – Combinazione SLU/SLV

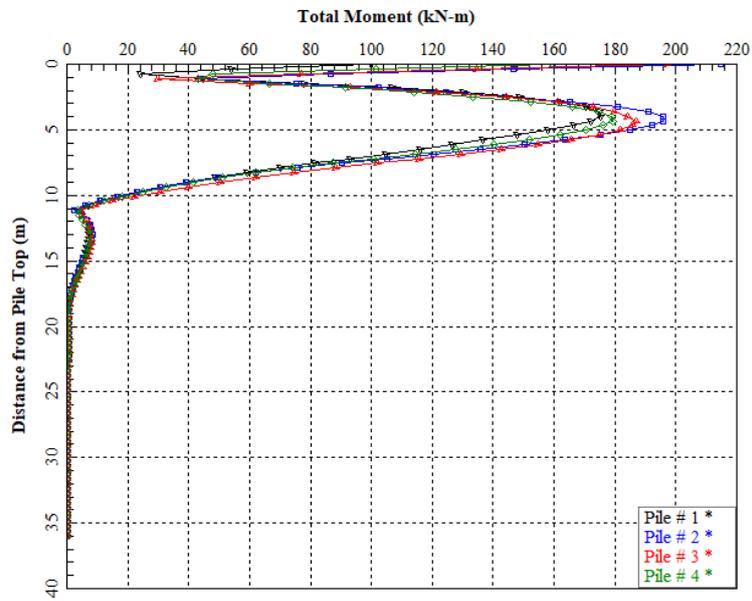


Figura 39. Andamento del momento flettente lungo i pali (SLU/SLV)

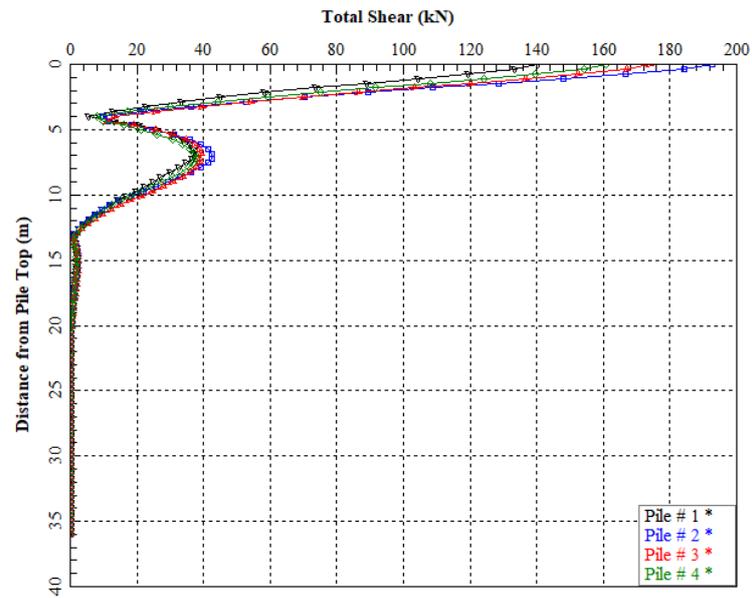


Figura 40. Andamento del taglio lungo i pali (SLU/SLV)

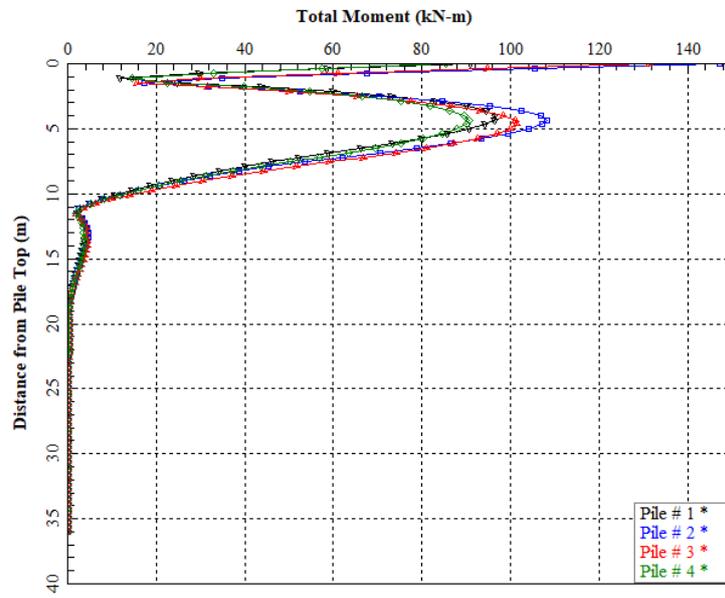


Figura 41. Andamento del momento flettente lungo i pali (SLE)

### 10.3 Risultati delle verifiche

I risultati ottenuti in termini di sforzi assiali, taglianti e flessionali sui pali, riportati al par. 10.2 sono inferiori rispetto alla configurazione A (par. 9.2).

Pertanto, si ritiene appropriato omettere le verifiche strutturali e geotecniche per la configurazione B e rimandare alle verifiche svolte per la configurazione A in quanto più gravose.

#### 10.3.1 Verifica dei cedimenti allo SLE

Si riportano di seguito i valori degli inviluppi degli spostamenti verticali ottenuti per i plinti di fondazione su pali nella combinazione SLE:

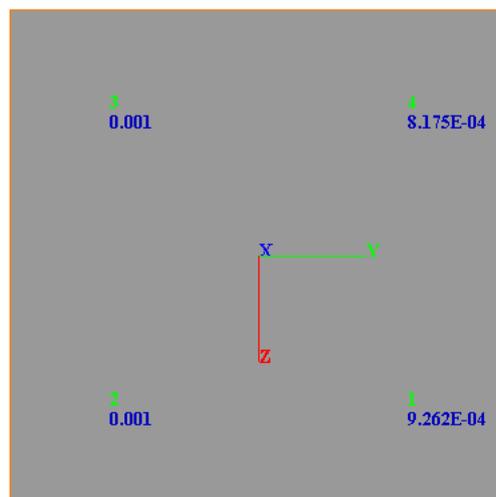


Figura 42. Cedimento massimo su ciascun palo (SLE)

I valori calcolati sono pienamente compatibili con la funzionalità dell'opera.

Si riportano, in aggiunta, i valori di spostamento in fondazione, i quali risultano anche essi accettabili:

Tabella 14. Spostamenti e rotazioni del plinto di fondazione

$u_x$ (m)	$u_y$ (m)	$u_z$ (m)	$\theta_x$ (rad)	$\theta_y$ (rad)	$\theta_z$ (rad)
7.84e-4	-4.99e-4	1.4e-3	5.911e-5	2.72e-4	1.6e-4



---

## 11. CONCLUSIONI

La presente relazione tratta la progettazione delle opere di fondazione della stazione di Marassi.

Le soluzioni progettuali previste sono state verificate nelle condizioni ritenute più significative per il comportamento delle opere e sono state condotte tutte le verifiche previste dalla Normativa a dimostrazione dell'adeguatezza e dell'efficacia delle soluzioni progettuali.



---

## 12. OUTPUT

Per gli output delle analisi svolte si rimanda agli allegati di calcolo.