

**AUTOSTRADA A2 "MEDITERRANEA"  
COLLEGAMENTO PORTO GIOIA TAURO GATE SUD CON  
AUTOSTRADA A2 - LOTTO 1 E LOTTO 2**

**DG 54/17 LOTTO 1**

**COD. UC165**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**COD. UC167**

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE:** R.T.I.: INTEGRA CONSORZIO STABILE (capogruppo mandataria)  
Prometeoengineering.it S.r.l. - Dott. Geol. Andrea Rondinara

**RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**

Prof. Ing. Franco BRAGA (Integra Consorzio Stabile)

**CAPOGRUPPO MANDATARIA:**



Consorzio Stabile di Architettura e Ingegneria Integrata

**GEOLOGO:**

Dott. Geol. A. CANESSA (Prometeoengineering.it S.r.l.)

Direttore Tecnico:

Prof. Ing. Franco Braga

**COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**

Dott. Ing. Alessandro Orsini (Integra Consorzio Stabile)

**MANDANTI:**



Direttore Tecnico:

Dott. Ing. Alessandro FOCARACCI

**RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:**

Dott. Ing. Giuseppe Danilo Malgeri

Dott. Geol. Andrea Rondinara

**OPERE D'ARTE  
OPERE D'ARTE MAGGIORI  
Cavalcavia su A2 CV.01  
Relazione geotecnica delle fondazioni**

**CODICE PROGETTO**

PROGETTO  
DPUC0165  
DPUC0167

LIV. PROG. N. PROG.

D

21

**NOME FILE**

T00CV01GETRE01A.dwg

**REVISIONE**

**SCALA:**

**CODICE ELAB.**

T00CV01GETRE01

A

A

EMISSIONE

Settembre 2022

Petrucci

Orsini

Braga

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

UC165 – UC167 AUTOSTRADA A2 “MEDITERRANEA”  
COLLEGAMENTO GATE SUD PORTO GIOIA TAURO CON AUTOSTRADA A2  
LOTTI 1 E 2

**CAVALCAVIA SU A2  
RELAZIONE GEOTECNICA DELLE FONDAZIONI**

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI.....</b>	<b>5</b>
3.1	Calcestruzzo .....	5
3.1.1	Pali, fondazioni, elevazioni spalle e pile.....	5
3.2	Acciaio .....	5
3.2.1	Acciaio per cemento armato .....	5
<b>4</b>	<b>PARAMETRI GEOTECNICI.....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE PALI DI FONDAZIONE DELLE SPALLE.....</b>	<b>7</b>
5.1	Sollecitazioni ad intradosso fondazione .....	7
5.2	Sollecitazioni sui pali.....	8
5.2.1	Massime e minime sollecitazioni sul singolo palo .....	11
5.3	Verifiche di portanza verticale .....	12
5.3.1	Portata laterale .....	14
5.3.2	Portata di base.....	14
5.3.3	Risultati delle verifiche – Verifica a compressione SLV (condizioni sismiche) .....	15
5.3.4	Risultati delle verifiche – Verifica a trazione SLV (condizioni sismiche).....	18
5.3.5	Risultati delle verifiche – Verifica a compressione SLU (condizioni statiche).....	20
5.3.6	Risultati delle verifiche – Sintesi .....	24
5.4	Verifiche di portanza orizzontale .....	24
5.4.1	Verifica a carico limite orizzontale - Broms .....	24
5.4.2	Risultati delle verifiche .....	27
<b>6</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE PALI DI FONDAZIONE DELLE PILE.....</b>	<b>30</b>
6.1	Sollecitazioni ad intradosso fondazione .....	30
6.2	Sollecitazioni sui pali.....	41
6.2.1	Massime e minime sollecitazioni sul singolo palo .....	42
6.3	Verifiche di portanza verticale .....	44
6.3.1	Portata laterale .....	46
6.3.2	Portata di base.....	46
6.3.3	Risultati delle verifiche – Verifica a compressione SLV (condizioni sismiche) .....	47
6.3.4	Risultati delle verifiche – Verifica a compressione SLU (condizioni statiche).....	50
6.3.5	Risultati delle verifiche – Sintesi .....	53
6.4	Verifiche di portanza orizzontale .....	53
6.4.1	Verifica a carico limite orizzontale - Broms .....	53
6.4.2	Risultati delle verifiche .....	56

## 1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto le verifiche geotecniche delle fondazioni delle sottostrutture del nuovo Cavalcavia presente sul lotto 2 del nuovo Collegamento tra il Gate Porto di Gioia Tauro e l'Autostrada A2.

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella redazione del progetto strutturale si fa riferimento al quadro normativo ai sensi del D. M. 17 gennaio 2018. Il riferimento principale per la determinazione dei carichi agenti sulle strutture, le verifiche di sicurezza degli elementi strutturali di impalcato sarà pertanto:

- D.M. 17 gennaio 2018 - “Norme tecniche per le costruzioni” con la relativa circolare applicativa del 21 gennaio 2019 n. 7 - “Istruzione per l'applicazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni”;
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n.35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

Nei casi in cui le enunciate normative italiane si presentino carenti di informazioni in relazione a particolari studi specifici, si fa riferimento a normative europee ed al sistema degli eurocodici, ed in particolare:

- UNI EN 1990:2006 - EUROCODICE 0 - “Criteri generali di progettazione strutturale” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1991-1-1:2004 - EUROCODICE 1 Parte 1-1 - “Azioni sulle strutture - Pesì per unità di volume;
- pesì propri e sovraccarichi per gli edifici” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1991-1-4:2005 - EUROCODICE 1 Parte 1-4 - “Azioni in generale - Azioni del vento” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1991-1-5:2004 - EUROCODICE 1 Parte 1-5 - “Azioni in generale - Azioni termiche” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1991-2:2005 - EUROCODICE 1 Parte 2 - “Carichi da traffico sui ponti” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1992-1-1:2005 - EUROCODICE 2 Parte 1-1 - “Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Regole generali e regole per gli edifici” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1997-1:2005 - EUROCODICE 7 parte 1 - “Progettazione geotecnica - Regole generali” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1998-1:2005 - EUROCODICE 8 parte 1 - “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1998-2:2011 - EUROCODICE 8 parte 2 - “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Ponti” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1998-5:2005 - EUROCODICE 8 parte 5 - “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici” con il relativo NAD del 25.02.2011.

Per quanto concerne le caratteristiche del materiale calcestruzzo armato, si considerano:

- UNI EN 206:2016 - "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità"; • UNI 11104:2016 - "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206";
- UNI EN 10080:2005 - "Acciaio saldabile per cemento armato - Generalità";
- Normativa antisismica: L. 2.2.74 n.64; D.M. 24.1.86;
- Norme per le costruzioni dei ponti: D.M. 2.8.80; Circolare n. 20977 dell'11.11.80 Min. LL. PP;

Sono infine state recepite le indicazioni contenute nei seguenti quaderni tecnici ANAS:

- Quaderni tecnici ANAS per la salvaguardia delle infrastrutture:
  - o Volume I – Quaderno 1 - Valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo
  - o Volume I – Quaderno 2 - Valutazione delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio
  - o Volume I – Quaderno 3 - Definizione del piano delle indagini
  - o Volume I – Quaderno 4 - Interventi di ripristino delle condizioni di sicurezza di cordoli e barriere bordo ponte
  - o Volume II – Quaderno 5 - Interventi di rifacimento dei cordoli con calcestruzzo fibrorinforzato
  - o Volume II – Quaderno 6 - Interventi di ripristino corticale dei calcestruzzi ammalorati
  - o Volume II – Quaderno 7 - Interventi locali sugli appoggi
  - o Volume II – Quaderno 8 - Interventi di ripristino delle condizioni di sicurezza dei giunti

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

Si riportano di seguito le resistenze di progetto dei materiali impiegati. Per ulteriori dettagli si rimanda alla Relazione sui materiali (documento T00CV01STRE02).

#### 3.1 Calcestruzzo

##### 3.1.1 Pali, fondazioni, elevazioni spalle e pile

Classe 30/37

$$R_{ck} = 37 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 30.71 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistenza di calcolo a compressione: } f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 30.71 \cdot 0,85 / 1,5 = 17.40 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistenza di calcolo a trazione: } f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 2.94 \text{ N/mm}^2$$

#### 3.2 Acciaio

##### 3.2.1 Acciaio per cemento armato

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

acciaio	<b>B450C</b>
tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$ ;
tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$ ;
resistenza di calcolo a trazione	$f_{yd} = 391,30 \text{ N/mm}^2$ ;
modulo elastico	$E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$ .

#### 4 PARAMETRI GEOTECNICI

I terreni interessati dall'opera sono di tipi incoerente, con prevalenza di sabbie.

Nei calcoli che seguono si sono assunti i seguenti parametri meccanici:

- $\gamma = 20$ ;
- $\varphi = 35^\circ$ .

La falda non è stata rinvenuta nelle indagini geognostiche eseguite in sito.

Per il rilevato a monte sono stati assunti i seguenti parametri:

- $\gamma = 19$ ;
- $\varphi = 35^\circ$ .

Per tutti i dettagli relativi alla caratterizzazione geotecnica di rimanda alla “Relazione geotecnica generale”, elaborato “T00GE00GETRE01”.

## 5 VERIFICHE GEOTECNICHE PALI DI FONDAZIONE DELLE SPALLE

Nel seguito si riportano le verifiche geotecniche dei pali delle spalle.

### 5.1 Sollecitazioni ad intradosso fondazione

Di seguito si riportano le sollecitazioni ad intradosso plinto, per i dettagli del calcolo si rimanda alla relazione di calcolo delle spalle (documento T00CV01STRE03).

LC	N	Tx (trasv)	Ty (long)	Mz	Mx (long)	My (trasv)
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
RARA_1_NML_1	38763	245	-3743	0	30603	5905
RARA_1_NML_2	37918	245	-3743	0	28363	5905
RARA_2_NML_1	39910	147	-3908	0	29867	0
RARA_2_NML_2	38511	147	-3908	0	26158	9093
FREQ_1_NML_1	36761	0	-3491	0	32697	0
FREQ_1_NML_2	36761	0	-3491	0	32697	0
FREQ_2_NML_1	38763	0	-3743	0	30603	3474
FREQ_2_NML_2	37918	0	-3743	0	28363	3474
Q.PERM_NML_1	36761	0	-3491	0	32697	0
Q.PERM_NML_2	36761	0	-3491	0	32697	0
SLU1_NML_1	52330	367	-5053	0	41313	8336
SLU1_NML_2	51189	367	-5053	0	38290	8336
SLU2_NML_1	53879	220	-5276	0	40321	12495
SLU2_NML_2	51989	220	-5276	0	35313	12495
SLU3_NML_1	39463	367	-3831	0	29870	8336
SLU3_NML_2	38322	367	-3831	0	26846	8336
SLU4_NML_1	41012	220	-4054	0	28877	12495
SLU4_NML_2	39123	220	-4054	0	23869	12495
RARA_1_PSCA_3	36761	30	-3491	0	32697	316
RARA_2_PSCA_3	36761	18	-3491	0	32697	190
FREQ_1_PSCA_3	36761	6	-3491	0	32697	63
FREQ_2_PSCA_3	36761	0	-3491	0	32697	0
Q.PERM_PSCA_3	36761	0	-3491	0	32697	0
SLU1_PSCA_3	49628	46	-4713	0	44141	474
SLU2_PSCA_3	49628	27	-4713	0	44141	285
SLU3_PSCA_3	36761	46	-3491	0	32697	474
SLU4_PSCA_3	36761	27	-3491	0	32697	285
RARA_1_MTRA_4	37837	245	-3743	0	32538	8443
RARA_2_MTRA_4	38478	147	-3908	0	32685	13988
FREQ_1_MTRA_4	36761	0	-3491	0	32697	0



LC	N	Tx (trasv)	Ty (long)	Mz	Mx (long)	My (trasv)
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
FREQ_2_MTRA_4	37837	0	-3743	0	32538	6013
Q.PERM_MTRA_4	36761	0	-3491	0	32697	0
SLU1_MTRA_4	51080	367	-5053	0	43927	11763
SLU2_MTRA_4	51946	220	-5276	0	44125	19103
SLU3_MTRA_4	38214	367	-3831	0	32483	11763
SLU4_MTRA_4	39079	220	-4054	0	32681	19103
SLV_NML_L1	39749	5098	-26191	0	-81582	22328
SLV_NML_L2	34704	5098	-26191	0	-84864	22328
SLV_NML_T1	39749	16994	-9447	0	-11159	70865
SLV_NML_T2	34704	16994	-9447	0	-14440	70865
SLV_NML_V1	45634	5098	-9447	0	-7330	22328
SLV_NML_V2	28819	5098	-9447	0	-18269	22328
SLV_PSCA_L1	38837	4969	-25886	0	-79496	19596
SLV_PSCA_L2	33868	4969	-25886	0	-82577	19596
SLV_PSCA_T1	38837	16562	-9319	0	-10751	65321
SLV_PSCA_T2	33868	16562	-9319	0	-13832	65321
SLV_PSCA_V1	44633	4969	-9319	0	-7157	19596
SLV_PSCA_V2	28072	4969	-9319	0	-17427	19596
SLV_MTRA_L1	39602	5073	-26191	0	-81019	22717
SLV_MTRA_L2	34558	5073	-26191	0	-84301	22717
SLV_MTRA_T1	39602	16910	-9447	0	-10595	70725
SLV_MTRA_T2	34558	16910	-9447	0	-13877	70725
SLV_MTRA_V1	45487	5073	-9447	0	-6766	22717
SLV_MTRA_V2	28673	5073	-9447	0	-17706	22717

Tabella 1 – Sollecitazioni a intradosso plinto

## 5.2 Sollecitazioni sui pali

Il calcolo delle sollecitazioni agenti sul singolo palo è stato effettuato con il metodo del plinto rigido, assumendo le seguenti ipotesi:

- Plinto rigido;
- Vincolo di incastro tra pali e plinto;
- Pali costituenti la palificata verticali;
- Rotazione del plinto e della testa dei pali impedita.

Per un gruppo di n pali, sottoposto a forze verticali, orizzontali e di momento esterne (agenti alla quota testa pali ed in corrispondenza del baricentro della palificata) i carichi agenti alla testa di ciascun palo sono stimabili con le seguenti espressioni:

$$Q_{ti} = \frac{N}{n} \pm \frac{[M_x + M_{inc,x}] \cdot y_i}{\sum_1^n y_i^2} \pm \frac{[M_y + M_{inc,y}] \cdot x_i}{\sum_1^n x_i^2}$$

$$H_{tix} = \frac{H_x}{n}$$

$$H_{tiy} = \frac{H_y}{n}$$

essendo:

- $N$  = forza verticale esterna;
- $M_x = M_{long}$  = momento esterno attorno all'asse  $x$ , accoppiato con  $H_y$ ;
- $H_y = T_{long}$  = forza orizzontale esterna nella direzione  $y$ ;
- $M_y = M_{trasv}$  = momento esterno attorno all'asse  $y$ , accoppiato con  $H_x$ ;
- $H_x = T_{trasv}$  = forza orizzontale esterna nella direzione  $x$ ;
- $Q_{ti}$  = forza verticale agente alla testa del palo  $i$ -esimo;
- $H_{tix} = T_{trasv\_i}$  = forza orizzontale agente alla testa del palo  $i$ -esimo nella direzione  $x$ ;
- $H_{tiy} = T_{long\_i}$  = forza orizzontale agente alla testa del palo  $i$ -esimo nella direzione  $y$ ;
- $M_{inc,x} = M_{long\_inc} = \sum M_{tix}$  = momento di incastro risultante che i pali esercitano sul plinto per effetto del vincolo di rotazione impedita nella direzione  $x$ ;
- $M_{tix} = M_{long\_inc\_i}$  = momento di incastro alla testa del palo  $i$ -esimo per effetto del vincolo di rotazione impedita nella direzione  $x$ ;
- $M_{inc,y} = M_{trasv\_inc} = \sum M_{tiy}$  = momento di incastro risultante che i pali esercitano sul plinto per effetto del vincolo di rotazione impedita nella direzione  $y$ ;
- $M_{tiy} = M_{trasv\_inc\_i}$  = momento di incastro alla testa del palo  $i$ -esimo per effetto del vincolo di rotazione impedita nella direzione  $y$ ;
- $y_i$  = distanza del palo  $i$ -esimo dall'asse baricentrico della palificata nella direzione  $y$ ;
- $x_i$  = distanza del palo  $i$ -esimo dall'asse baricentrico della palificata nella direzione  $x$ .

I momenti di incastro alla testa dei pali ( $M_{tix}$ ,  $M_{tiy}$ ) sono stati stimati sulla base della teoria elastica di Matlock-Reese:

- $M_{tix} = H_{tiy} \cdot X |As| \cdot x\lambda / |Bs|$ , momento di incastro alla testa del palo  $i$ -esimo per effetto del vincolo di rotazione impedita nella direzione  $x$ ;
- $M_{tiy} = H_{tix} \cdot X |As| \cdot x\lambda / |Bs|$ , momento di incastro alla testa del palo  $i$ -esimo per effetto del vincolo di rotazione impedita nella direzione  $y$ ;

- $\lambda = \sqrt[5]{EJ/Kh}$ ;
- $K_h =$  modulo di reazione orizzontale =  $n_h \cdot z/d = 18700 \text{ kN/m}^3$
- $n_h = A \cdot \gamma' / 1.35$  (assumendo  $A=600$  per i primi 6m come da terreni mediamente addensati)
- $A_s, B_s =$  coefficienti di Matlock-Reese calcolati per  $z / T = 0$  (intradosso fondazione).

I valori di N, T ed M esterni considerati sono quelli ottenuti dal modello allo spiccato delle fondazioni.

In tutte le tabelle di seguito riportate le unità di misura sono i kN per sforzi normali e tagli e i kN/m per i momenti.

Gli sforzi normali positivi si intendono di compressione mentre i momenti positivi seguono la regola della mano destra.

Le tensioni positive sono di compressione e quelle negative di trazione.

In base alle convenzioni sui segni su indicate, per ogni palo sono riportati i massimi e i minimi sforzi assiali e la condizione di carico N–M più gravosa in termini di massima tensione nel calcestruzzo e di minima tensione nelle armature. Per le tensioni tangenziali è stato considerato il taglio massimo T agente in sommità del palo (anche non contemporaneo ad N-M).

### 5.2.1 Massime e minime sollecitazioni sul singolo palo

Di seguito si riportano le massime e le minime sollecitazioni tra tutte le combinazioni, sul palo più sollecitato (valori positivi di N indicano compressione, valori negativi di N indicano trazione):

			<b>Mx (long)</b>	<b>My (trasv)</b>	<b>N max</b>	<b>N min</b>
			<b>kNm</b>	<b>kNm</b>	<b>kN</b>	<b>kN</b>
<b>SLU</b>	max	SLU2_NML_1	-1026	43	3986	2749
	max	SLU1_NML_1	-982	71	3855	2686
	min	SLU3_PSCA_3	-679	9	2672	1923
	min	SLU2_PSCA_3	-916	5	3599	2604
<b>SLV</b>	max	SLV_NML_L1	-5092	991	5838	-870
	max	SLV_NML_T1	-1837	3304	5222	-254
	min	SLV_PSCA_T1	-1812	3220	5037	-182
	min	SLV_PSCA_L1	-5032	966	5678	-824
<b>SLE frequente</b>	max	FREQ_2_NML_1	-728	0	2797	2049
	max	FREQ_1_PSCA_3	-679	1	2663	1932
	min	FREQ_1_NML_1	-679	0	2662	1934
	min	FREQ_1_NML_1	-679	0	2662	1934
<b>SLE q. permanente</b>	max	Q.PERM_NML_1	-679	0	2662	1934
	max	Q.PERM_NML_1	-679	0	2662	1934
	min	Q.PERM_NML_1	-679	0	2662	1934
	min	Q.PERM_NML_1	-679	0	2662	1934
<b>SLE rara</b>	max	RARA_2_NML_1	-760	29	2797	2192
	max	RARA_1_NML_1	-728	48	2850	1996
	min	RARA_1_PSCA_3	-679	6	2668	1927
	min	RARA_2_PSCA_3	-679	4	2666	1930

**Tabella 2 – Sollecitazioni assiali e flessionali sui singoli pali**

Si riportano di seguito le massime sollecitazioni di taglio sul singolo palo:

<b>Combinazione</b>	<b>Ved [kN]</b>
SLU1_NML_1	316.63
SLU2_NML_1	330.01
SLU2_PSCA_3	294.59
SLU3_PSCA_3	218.23
SLV_NML_T1	1215
SLV_PSCA_T1	1188
SLV_PSCA_L1	1647
SLV_NML_L1	1668

**Tabella 3 – Sollecitazioni taglianti sui singoli pali**

Il taglio sul singolo palo è stato ottenuto dividendo il taglio totale agente a intradosso fondazione per il numero dei pali e considerando la risultante tra quello in direzione longitudinale e quello in direzione trasversale.

Nelle tabelle precedenti, le combinazioni con L1 ed L2 finali sono quelle con sisma longitudinale, mentre quelle con T1 e T2 sono con sisma trasversale (rispettivamente sommato al sisma verticale verso il basso e verso l'alto).

### 5.3 Verifiche di portanza verticale

La portata di progetto di un palo trivellato (eseguito con completa asportazione del terreno) “Q<sub>d</sub>” può essere espressa dalla seguente relazione:

$$Q_d = Q_{II} / F_{SL} + Q_{bl} / F_{SB} - W'p$$

dove:

Q<sub>II</sub> = portata laterale limite,

Q<sub>bl</sub> = portata di base limite,

W'p = peso efficace del palo (al netto del peso del terreno asportato: peso calcestruzzo-peso terreno),

F<sub>SL</sub> = fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione (= ξ<sub>3</sub> · γ<sub>s</sub>).

F<sub>SB</sub> = fattore di sicurezza per la portata di base (= ξ<sub>3</sub> · γ<sub>b</sub>).

Le verifiche vengono effettuate in combinazione A1+M1+R3, dove:

Tab. 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti g <sub>1</sub> e g <sub>3</sub>	favorevoli	γ <sub>G1</sub> e γ <sub>G3</sub>	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup> g <sub>2</sub>	favorevoli	γ <sub>G2</sub>	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	γ <sub>Q</sub>	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	γ <sub>Qi</sub>	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	γ <sub>E1</sub>	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	γ <sub>E2</sub> , γ <sub>E3</sub> , γ <sub>E4</sub>	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

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 (*)	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

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

Il fattore di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali di indagini è stato desunto dalla tabella 6.4.IV delle NTC-2018, riportata di seguito.

Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	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

Nel caso in esame è stato assunto un valore pari a 1.7 (1 verticale indagata).

### 5.3.1 Portata laterale

La portata laterale limite viene valutata con la seguente relazione:

$$Q_{ll} = \pi \cdot D \cdot \sum_i (\tau_i \cdot h_i)$$

dove:

D = diametro palo,

$\tau_i$  = tensione di adesione laterale limite nello strato i-esimo,

$h_i$  = altezza dello strato i-esimo.

#### 5.3.1.1 Depositi incoerenti

Per i depositi incoerenti, la tensione tangenziale ultima lungo il fusto del palo, in accordo ad esempio a Burland [1973], Reese & O'Neill [1988], Chen & Kulhawy [1994], O'Neill & Hassan [1994], può essere valutata con riferimento alla seguente espressione:

$$\tau_i = \beta \cdot \sigma'_v \leq \tau_{i,max}$$

dove:

$\sigma'_v$  = tensione verticale efficace litostatica,

$\tau_{i,max}$  = valore massimo dell'adesione laterale limite palo-terreno (pari a 150 kPa per terreni incoerenti).

$\beta$  = coefficiente empirico  $\beta = k \cdot \tan \phi$ , essendo

k = coefficiente di pressione laterale = 0.6 a compressione e 0.5 a trazione;

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio.

### 5.3.2 Portata di base

Per la valutazione della portata di base limite sono state utilizzate le seguenti relazioni:

$$Q_{bl} = A_p \cdot q_{bl}$$

dove:

$A_p$  = area della base del palo,

$q_{bl}$  = portata limite specifica di base.

#### 5.3.2.1 Depositi incoerenti

Nei terreni incoerenti, la pressione di base del palo associabile a cedimenti pari al 10% del diametro del palo viene valutata con la relazione di Berezantzev (1965) indicata nelle Raccomandazioni AGI:

$$q_b = N_q^* \cdot \sigma'_v \leq q_{b,lim}$$

essendo:

$N_q^*$  = coefficiente in funzione dell'angolo di resistenza al taglio del terreno (Raccomandazioni AGI);

$\sigma'_v$  = tensione verticale efficace;

$q_{b,lim}$  = pressione ultima di base massima consigliabile. Nel caso in esame si è fatto riferimento a quanto indicato da Gwidzala, 1984, vedasi seguente tabella.

	qb,lim (kPa)
GHIAIE	7300
SABBIE	5800
SABBIE LIMOSE	4300

Tabella 4 – Valori massimi pressione ultima alla base

Nel caso in esame, trattandosi essenzialmente di terreni sabbiosi, si è assunto  $q_b \leq 5800$  kPa.

Le verifiche sono state eseguite considerando la falda a 30 m da p.c.

### 5.3.3 Risultati delle verifiche – Verifica a compressione SLV (condizioni sismiche)

Caratteristiche del palo		
Diametro	1.5	m
Area	1.77	m
Perimetro	4.71	m
Profondità infissione	3	m
Lunghezza palo	20	m
Lunghezza infissione	23	m
L / D	13.3	
N verifica	5838	kN

### Caratteristiche degli strati di terreno

Falda (da p.c.)	30	m
-----------------	----	---

form.	spes.	Z <sub>inf</sub>	$\gamma_{sat}$
	m	m	kN/m <sup>2</sup>
pc	0	0	
A	55	55	20

Parametri per il calcolo della portata con il metodo AGI									
Tipo	Non coesivi						Coesivi		
	$\phi$	$\mu$	k	$N_q$	$N_q$	$N_q$	$C_u$	$\alpha$	$\tau_c$
	°	tan( $\phi$ )		L/D=4	L/D=32		kPa		$\alpha \times C_u$
NC	35	0.7002	0.6	13.4	11.3	12.66		0.9	0

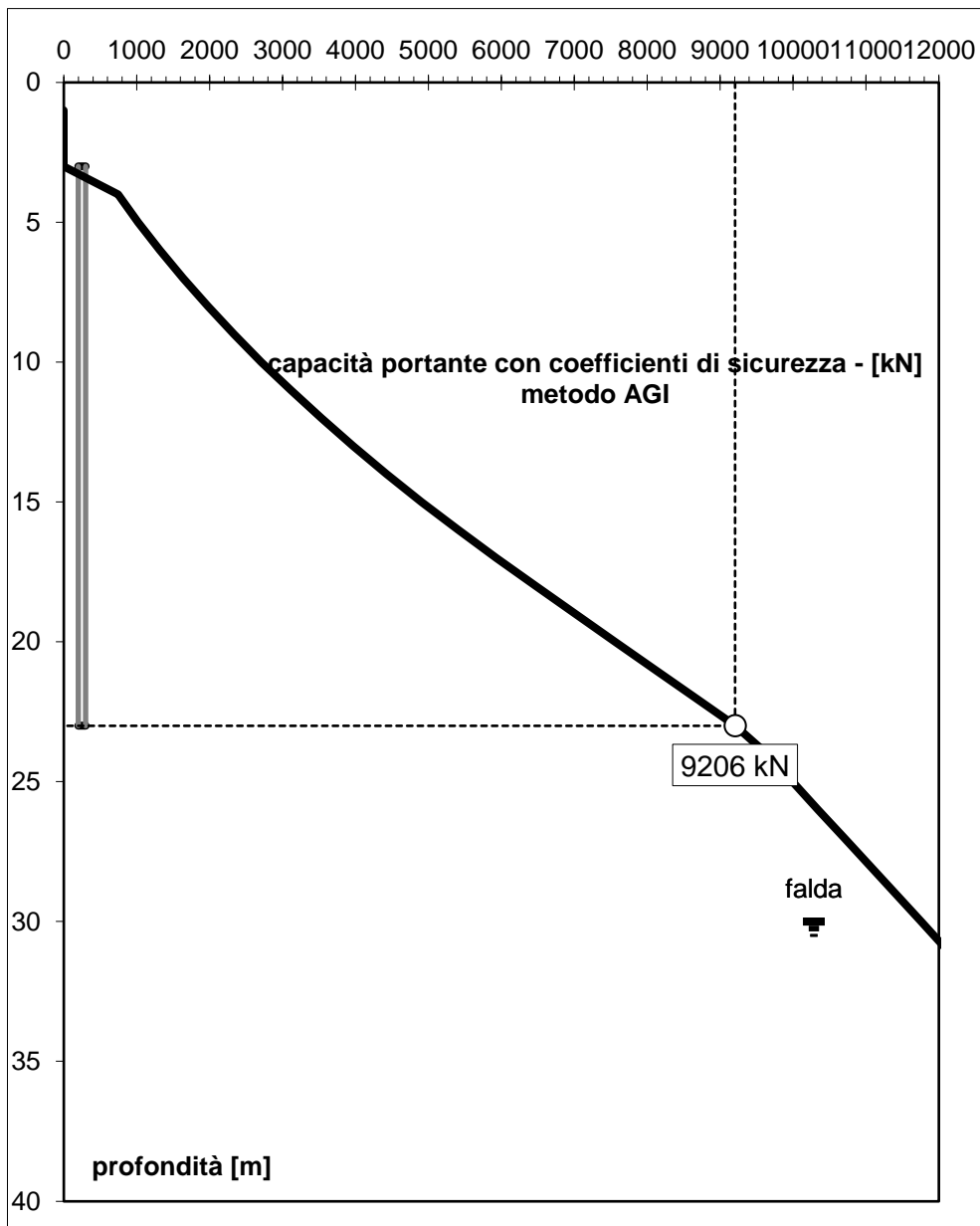


z	$\sigma'_v$	$\tau$	$q_p$	S	$\Sigma S = S_{lim}$	$Q_p = P_{lim}$	$P_p$	$\Sigma P_p = W$	$Q_{amm,L+P}$
m	kPa	$t_{NC} / t_C$	kPa	kN	kN	kN	kN	kN	kN
0.0	0						0.0	0.0	
1.0	10	4.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.0	30	12.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.0	50	21.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.0	70	29.41	885.9	138.6	138.6	1565.6	8.8	8.8	744.2
5.0	90	37.81	1139.1	178.2	316.8	2012.9	8.8	17.7	1021.4
6.0	110	46.21	1392.2	217.8	534.5	2460.2	8.8	26.5	1318.9
7.0	130	54.62	1645.3	257.4	791.9	2907.5	8.8	35.3	1636.6
8.0	150	63.02	1898.5	297.0	1088.9	3354.9	8.8	44.2	1974.6
9.0	170	71.42	2151.6	336.6	1425.4	3802.2	8.8	53.0	2332.8
10.0	190	79.82	2404.7	376.2	1801.6	4249.5	8.8	61.9	2711.3
11.0	210	88.23	2657.8	415.8	2217.4	4696.8	8.8	70.7	3110.1
12.0	230	96.63	2911.0	455.4	2672.7	5144.1	8.8	79.5	3529.0
13.0	250	105.03	3164.1	494.9	3167.7	5591.4	8.8	88.4	3968.3
14.0	270	113.43	3417.2	534.5	3702.2	6038.7	8.8	97.2	4427.8
15.0	290	121.84	3670.4	574.1	4276.3	6486.1	8.8	106.0	4907.5
16.0	310	130.24	3923.5	613.7	4890.1	6933.4	8.8	114.9	5407.5
17.0	330	138.64	4176.6	653.3	5543.4	7380.7	8.8	123.7	5927.8
18.0	350	147.04	4429.7	692.9	6236.3	7828.0	8.8	132.5	6468.3
19.0	370	150.00	4682.9	706.9	6943.2	8275.3	8.8	141.4	7015.9
20.0	390	150.00	4936.0	706.9	7650.1	8722.6	8.8	150.2	7563.6
21.0	410	150.00	5189.1	706.9	8356.9	9170.0	8.8	159.0	8111.2
22.0	430	150.00	5442.3	706.9	9063.8	9617.3	8.8	167.9	8658.9
23.0	450	150.00	5695.4	706.9	9770.6	10064.6	8.8	176.7	9206.5

Nella tabella precedente:

- z = profondità da p.c.
- $\sigma'_v$  = tensione verticale efficace
- $\tau$  = tensione tangenziale laterale
- $q_p$  = resistenza alla punta
- S = integrale delle  $\tau$  su  $\Delta z$
- $\Sigma S$  = integrale delle  $\tau$  fino alla profondità z
- $Q_p$  = risultante portata alla punta alla profondità z
- $P_p$  = peso del palo su  $\Delta z$
- $\Sigma P_p$  = risultante peso del palo alla profondità z
- $Q_{amm,L+P}$  = Portata ultima totale, laterale + punta

Nel grafico seguente è riportata la curva di capacità portante.



La portanza verticale è pari a 9206 kN > 5838 kN.

La verifica risulta soddisfatta.

### 5.3.4 Risultati delle verifiche – Verifica a trazione SLV (condizioni sismiche)

Caratteristiche del palo		
Diametro	1.5	m
Area	1.77	m
Perimetro	4.71	m
Profondità infissione	3	m
Lunghezza palo	20	m
Lunghezza infissione	23	m
L / D	13.3	
N verifica	-1245	kN

#### Caratteristiche degli strati di terreno

Falda (da p.c.)	30	m
-----------------	----	---

form.	spes.	z <sub>inf</sub>	γ <sub>sat</sub>
	m	m	kN/m <sup>2</sup>
pc	0	0	
A	55	55	20

#### Parametri per il calcolo della portata con il metodo AGI

Tipo	Non coesivi						Coesivi		
	φ	μ	k	N <sub>q</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub>q</sub>	C <sub>u</sub>	α	τ <sub>c</sub>
	°	tan(φ)		L/D=4	L/D=32		kPa		α x C <sub>u</sub>
NC	35	0.7002	0.6	13.4	11.3	12.66		0.9	0

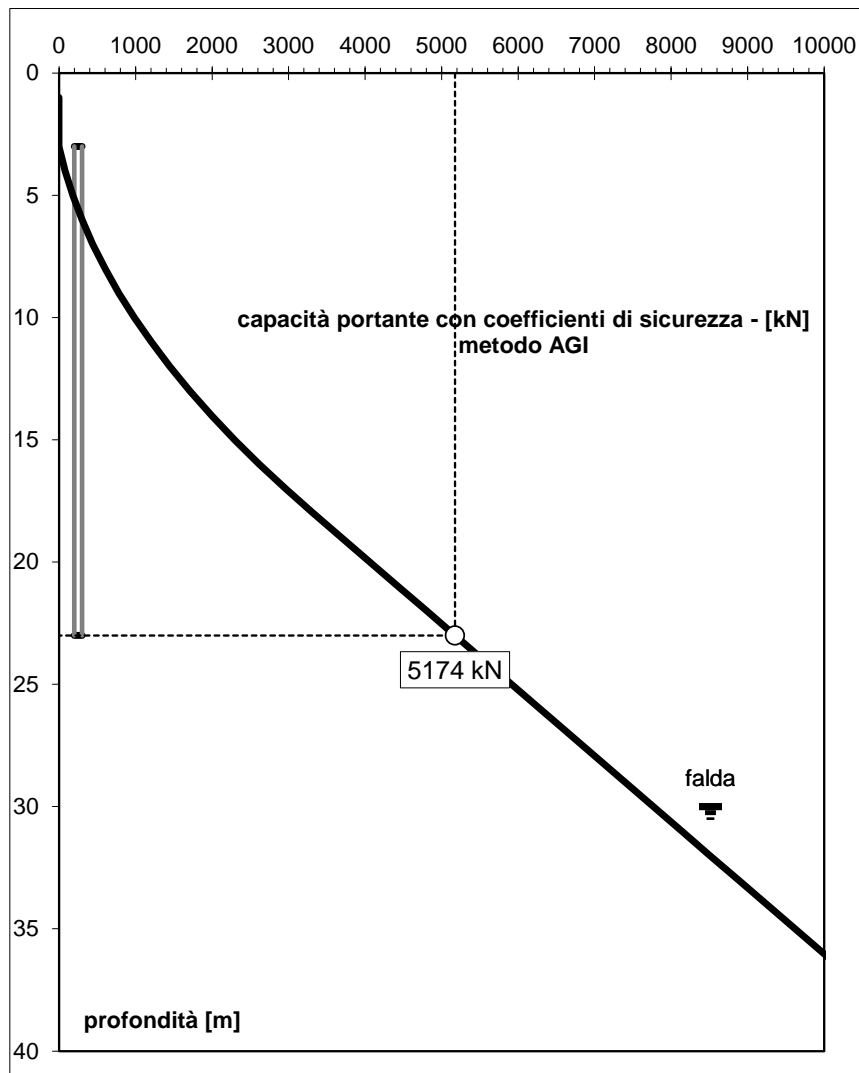
z	σ' <sub>v</sub>	τ	S	ΣS=S <sub>lim</sub>	P <sub>p</sub>	ΣP <sub>p</sub> =W	Q <sub>amm,L</sub>
m	kPa	t <sub>NC</sub> / t <sub>C</sub>	kN	kN	kN	kN	kN
0.0	0				0.0	0.0	
1.0	10	4.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.0	30	12.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.0	50	21.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.0	70	29.41	138.6	138.6	8.8	8.8	79.7
5.0	90	37.81	178.2	316.8	8.8	17.7	179.7
6.0	110	46.21	217.8	534.5	8.8	26.5	299.9
7.0	130	54.62	257.4	791.9	8.8	35.3	440.4
8.0	150	63.02	297.0	1088.9	8.8	44.2	601.2
9.0	170	71.42	336.6	1425.4	8.8	53.0	782.1
10.0	190	79.82	376.2	1801.6	8.8	61.9	983.4
11.0	210	88.23	415.8	2217.4	8.8	70.7	1204.9
12.0	230	96.63	455.4	2672.7	8.8	79.5	1446.6
13.0	250	105.03	494.9	3167.7	8.8	88.4	1708.6

$z$	$\sigma'_v$	$\tau$	$S$	$\Sigma S = S_{lim}$	$P_p$	$\Sigma P_p = W$	$Q_{amm,L}$
m	kPa	$t_{NC} / t_C$	kN	kN	kN	kN	kN
14.0	270	113.43	534.5	3702.2	8.8	97.2	1990.9
15.0	290	121.84	574.1	4276.3	8.8	106.0	2293.4
16.0	310	130.24	613.7	4890.1	8.8	114.9	2616.2
17.0	330	138.64	653.3	5543.4	8.8	123.7	2959.2
18.0	350	147.04	692.9	6236.3	8.8	132.5	3322.5
19.0	370	150.00	706.9	6943.2	8.8	141.4	3692.9
20.0	390	150.00	706.9	7650.1	8.8	150.2	4063.3
21.0	410	150.00	706.9	8356.9	8.8	159.0	4433.7
22.0	430	150.00	706.9	9063.8	8.8	167.9	4804.1
23.0	450	150.00	706.9	9770.6	8.8	176.7	5174.5

Nella tabella precedente:

- $z$  = profondità da p.c.
- $\sigma'_v$  = tensione verticale efficace
- $\tau$  = tensione tangenziale laterale
- $S$  = integrale delle  $\tau$  su  $\Delta z$
- $\Sigma S$  = integrale delle  $\tau$  fino alla profondità  $z$
- $P_p$  = peso del palo su  $\Delta z$
- $\Sigma P_p$  = risultante peso del palo alla profondità  $z$
- $Q_{amm,L}$  = Portata ultima laterale, a trazione

Nel grafico seguente è riportata la curva di capacità portante.



La portanza verticale è pari a  $-5147 \text{ kN} > -1245 \text{ kN}$ .

La verifica risulta soddisfatta.

### 5.3.5 Risultati delle verifiche – Verifica a compressione SLU (condizioni statiche)

Caratteristiche del palo		
Diametro	1.5	m
Area	1.77	m
Perimetro	4.71	m
Profondità infissione	3	m
Lunghezza palo	20	m
Lunghezza infissione	23	m
L / D	13.3	
N verifica	4039	kN

**Caratteristiche degli strati di terreno**

Falda (da p.c.)	<b>30</b>	m
-----------------	-----------	---

form.	spes.	z <sub>inf</sub>	γ <sub>sat</sub>
	m	m	kN/m <sup>2</sup>
pc	0	0	
<b>A</b>	<b>55</b>	<b>55</b>	<b>20</b>

**Parametri per il calcolo della portata con il metodo AGI**

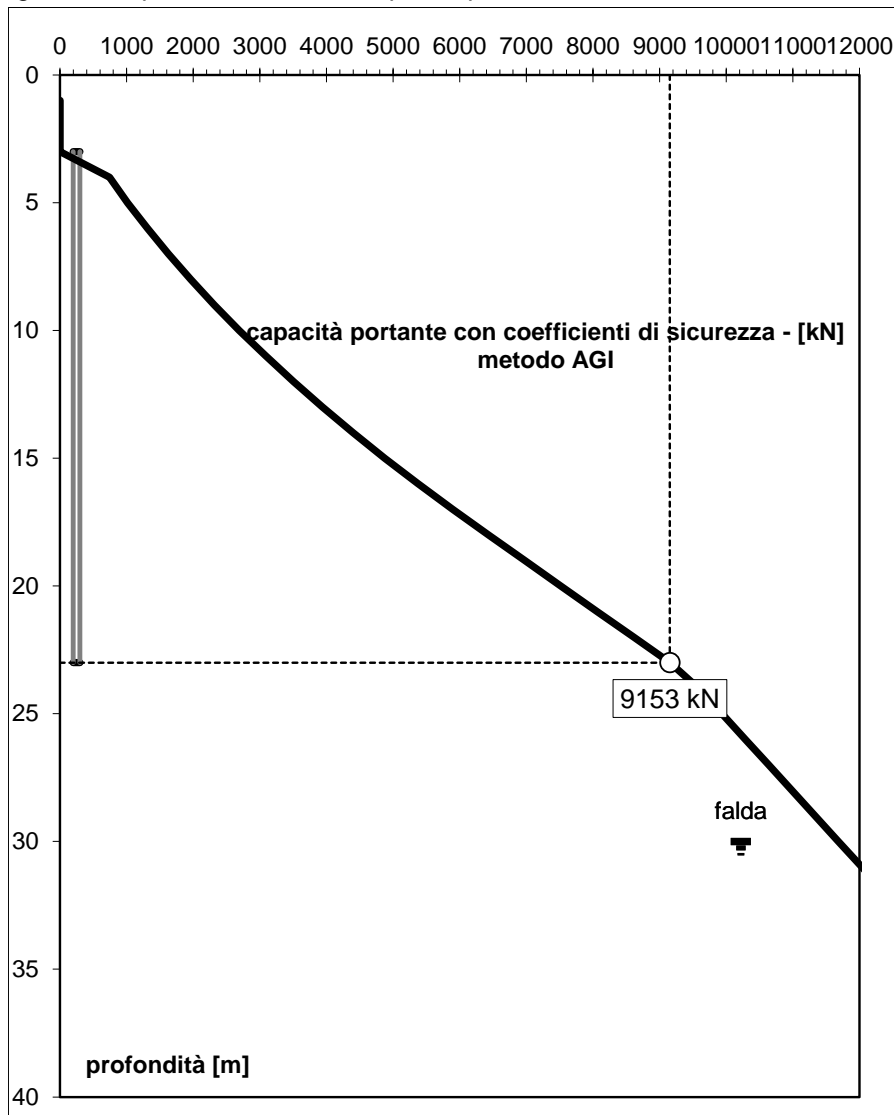
Tipo	Non coesivi						Coesivi		
	φ	μ	k	N <sub>q</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub>q</sub>	C <sub>u</sub>	α	τ <sub>c</sub>
	°	tan(φ)		L/D=4	L/D=32		kPa		α x C <sub>u</sub>
<b>NC</b>	<b>35</b>	0.7002	<b>0.6</b>	13.4	11.3	12.66		0.9	0

z	σ' <sub>v</sub>	τ	q <sub>p</sub>	S	ΣS=S <sub>lim</sub>	Q <sub>p</sub> =P <sub>lim</sub>	P <sub>p</sub>	ΣP <sub>p</sub> =W	Q <sub>amm,L+P</sub>
m	kPa	t <sub>NC</sub> / t <sub>c</sub>	kPa	kN	kN	kN	kN	kN	kN
0.0	<b>0</b>						0.0	0.0	
1.0	10	4.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0.0</b>
2.0	30	12.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0.0</b>
3.0	50	21.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0.0</b>
4.0	70	29.41	885.9	138.6	138.6	1565.6	8.8	8.8	<b>741.6</b>
5.0	90	37.81	1139.1	178.2	316.8	2012.9	8.8	17.7	<b>1016.1</b>
6.0	110	46.21	1392.2	217.8	534.5	2460.2	8.8	26.5	<b>1311.0</b>
7.0	130	54.62	1645.3	257.4	791.9	2907.5	8.8	35.3	<b>1626.0</b>
8.0	150	63.02	1898.5	297.0	1088.9	3354.9	8.8	44.2	<b>1961.4</b>
9.0	170	71.42	2151.6	336.6	1425.4	3802.2	8.8	53.0	<b>2316.9</b>
10.0	190	79.82	2404.7	376.2	1801.6	4249.5	8.8	61.9	<b>2692.8</b>
11.0	210	88.23	2657.8	415.8	2217.4	4696.8	8.8	70.7	<b>3088.8</b>
12.0	230	96.63	2911.0	455.4	2672.7	5144.1	8.8	79.5	<b>3505.2</b>
13.0	250	105.03	3164.1	494.9	3167.7	5591.4	8.8	88.4	<b>3941.8</b>
14.0	270	113.43	3417.2	534.5	3702.2	6038.7	8.8	97.2	<b>4398.6</b>
15.0	290	121.84	3670.4	574.1	4276.3	6486.1	8.8	106.0	<b>4875.7</b>
16.0	310	130.24	3923.5	613.7	4890.1	6933.4	8.8	114.9	<b>5373.1</b>
17.0	330	138.64	4176.6	653.3	5543.4	7380.7	8.8	123.7	<b>5890.7</b>
18.0	350	147.04	4429.7	692.9	6236.3	7828.0	8.8	132.5	<b>6428.5</b>
19.0	370	150.00	4682.9	706.9	6943.2	8275.3	8.8	141.4	<b>6973.5</b>
20.0	390	150.00	4936.0	706.9	7650.1	8722.6	8.8	150.2	<b>7518.5</b>
21.0	410	150.00	5189.1	706.9	8356.9	9170.0	8.8	159.0	<b>8063.5</b>
22.0	430	150.00	5442.3	706.9	9063.8	9617.3	8.8	167.9	<b>8608.5</b>
23.0	450	150.00	5695.4	706.9	9770.6	10064.6	8.8	176.7	<b>9153.5</b>

Nella tabella precedente:

- $z$  = profondità da p.c.
- $\sigma'v$  = tensione verticale efficace
- $\tau$  = tensione tangenziale laterale
- $q_p$  = resistenza alla punta
- $S$  = integrale delle  $\tau$  su  $\Delta z$
- $\Sigma S$  = integrale delle  $\tau$  fino alla profondità  $z$
- $Q_p$  = risultante portata alla punta alla profondità  $z$
- $P_p$  = peso del palo su  $\Delta z$
- $\Sigma P_p$  = risultante peso del palo alla profondità  $z$
- $Q_{amm,L+P}$  = Portata ultima totale, laterale + punta

Nel grafico seguente è riportata la curva di capacità portante.



La portanza verticale è pari a  $9153 \text{ kN} > 4039 \text{ kN}$ .

La verifica risulta soddisfatta.

In condizioni statiche non è presente trazione sui pali, quindi se ne omettono le verifiche.



### 5.3.6 Risultati delle verifiche – Sintesi

Si riporta di seguito una sintesi delle verifiche a portanza verticale:

		Portanza Verticale					
		Compressione			Trazione		
SLU	N <sub>Ed</sub>	4038	kN	N <sub>Ed</sub>	-	kN	
	N <sub>Rd</sub>	9153.47	kN	N <sub>Rd</sub>	-	kN	
	C.S.	2.27	-	C.S.	-	-	
SLV	N <sub>Ed</sub>	5838	kN	N <sub>Ed</sub>	-1268.5	kN	
	N <sub>Rd</sub>	9206.49	kN	N <sub>Rd</sub>	-5174	kN	
	C.S.	1.58	-	C.S.	4.08	-	

### 5.4 Verifiche di portanza orizzontale

Per la verifica del carico limite orizzontale si fa riferimento alla teoria di Broms per il caso di pali con rotazione in testa impedita. Le metodologie di calcolo sono riportate nel seguito.

Per la determinazione del valore di progetto della resistenza dei pali soggetti a carichi trasversali valgono le indicazioni di normativa al paragrafo 6.4.3.1.1 delle NTC-2018, applicando il coefficiente parziale ( $\gamma_T$ ) della seguente tabella (tabella di normativa 6.4.VI) ed i coefficienti  $\xi_3$  e  $\xi_4$ , fattori di correlazione in funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative (tabella di normativa 6.4.IV).

**Tab. 6.4.VI - Coefficiente parziale  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali**

Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,3$

**Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate**

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	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

La valutazione è stata eseguita tenendo conto di effetto gruppo, cautelativamente assunto pari a 0.8.

Le verifiche vengono effettuate in combinazione A1+M1+R3, in cui i coefficienti A1 e M1 sono quelli riportati al §5.4.

#### 5.4.1 Verifica a carico limite orizzontale - Broms

Per la verifica del carico limite orizzontale si fa riferimento alla teoria di Broms per il caso di pali con rotazione in testa impedita.

Le equazioni con cui si determina il carico limite a forze orizzontali dei pali sono definite di seguito al variare del tipo di meccanismo considerato.

Il momento di plasticizzazione del palo, nel seguito  $M_y$ , è stato calcolato assumendo un valore di  $N$  pari a 0.

In terreni incoerenti si ha (vedasi figura seguente):

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

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

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

dove:

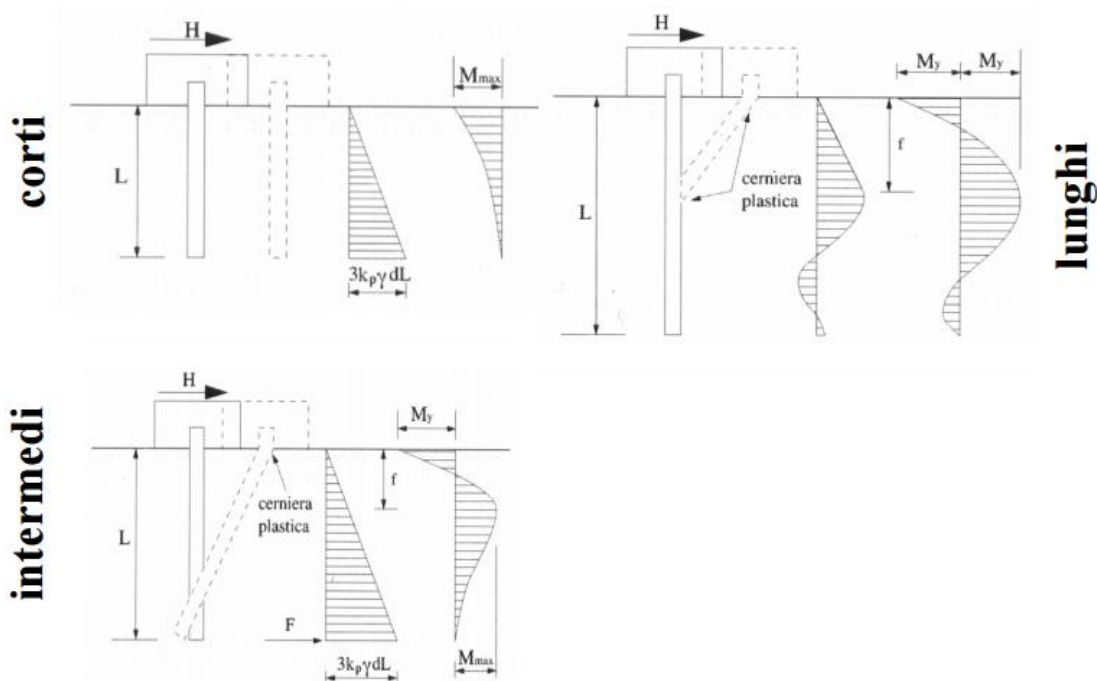
$H$  = carico limite orizzontale del palo;

$M_y$  = momento di plasticizzazione del palo;

$L$  = lunghezza del palo;

$d$  = diametro del palo;

$k_p$  = coefficiente di spinta passiva.



Il valore di  $H$  dovrà essere confrontato con il massimo valore del taglio agente sul palo al variare delle combinazioni ( $V_{pd}$ ).

Il valore determinato con la teoria di Broms dovrà essere ridotto secondo quanto prevede la normativa vigente.

$$H_{lim} = H / (\xi \cdot \gamma_T) > V_{pd}$$

dove:

H = valore limite in funzione del meccanismo attivato;

$\xi$  = fattore di correlazione in funzione delle verticali indagate;

$\gamma_T$  = fattore parziale per pali soggetti a carichi orizzontali.

#### 5.4.2 Risultati delle verifiche

Si dispongono due gabbie di armatura di 42+42Ø30 (3.4% della sezione del palo).

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

**Diametro** = 1500 (mm)

**Raggio** = 750 (mm)

**Sforzo Normale** = 0 (kN)

#### **Caratteristiche dei Materiali**

**calcestruzzo**

C30/37

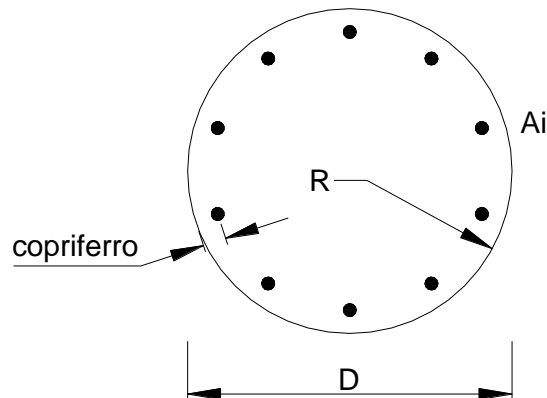
Rck = 37 (Mpa)

fck = 30 (Mpa)

$\gamma_c$  = 1.5

$\alpha_{cc}$  = 0.85

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 17.00$  (Mpa)



#### **Acciaio**

tipo di acciaio

B450C

$f_{yk}$  = 450 (Mpa)

$\gamma_s$  = 1.15

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / \gamma_E = 391.3$  (Mpa)

$E_s$  = 206000 (Mpa)

$\epsilon_{ys}$  = 0.190%

$\epsilon_{uk}$  = 10.000%

### Armature

numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
42	φ 30	29688.05	89
42	φ 30	29688.05	149
0	φ 30	0.00	100

calcolo

### Momento di Plasticizzazione

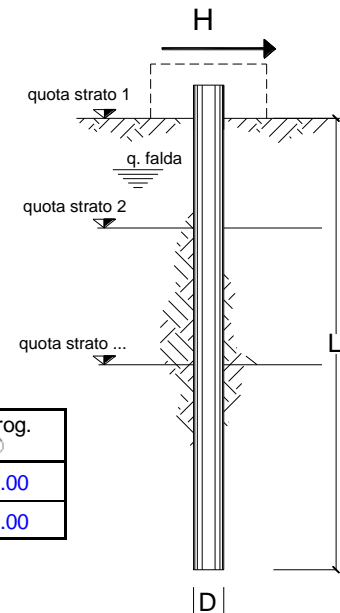
$M_y = 11378.7$  (kN m)

Inserisci

### opera Spalla

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

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



strati terreno	descrizione	quote (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						$k_p$	$c_u$ (kPa)	$\phi$ (°)	$k_p$	$c_u$ (kPa)
p.c.=strato 1	R	100.00	20	20	35	3.69		35	3.69	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2						1.00			1.00	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 4						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 5						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1.00			1.00	

Quota falda 50.00 (m)

Diametro del palo D 1.50 (m)

Lunghezza del palo L 20.00 (m)

Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  11378.72 (kNm)

	<u>H medio</u>			<u>H minimo</u>		
Palo lungo	5790.3	(kN)		5790.3	(kN)	
Palo intermedio	39383.6	(kN)		39383.6	(kN)	
Palo corto	149452.0	(kN)		149452.0	(kN)	
	<b>H<sub>med</sub></b>	<b>5790.3 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b>H<sub>min</sub></b>	<b>5790.3 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>
	<b>H<sub>k</sub> = Min(H<sub>med</sub>/ξ<sub>3</sub> ; R<sub>min</sub>/ξ<sub>4</sub>)</b>			3406.04	(kN)	
	<b>H<sub>d</sub> = H<sub>k</sub>/γ<sub>T</sub></b>			<b>2620.03</b>	<b>(kN)</b>	

Considerando un valore di efficienza pari a 0.8, si ottiene un valore di taglio resistente pari a  $0.8 \times 2620.03 = 2096.02$  kN.

Il massimo taglio agente è allo SLV e pari a 1667.67 kN. Il valore della resistenza risulta maggiore del massimo taglio agente, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

Di seguito si riporta una sintesi delle verifiche di portanza orizzontale:

Portanza Orizzontale			
SLU	F <sub>Ed</sub>	330.01	kN
	H <sub>Rd</sub>	2096.02	kN
	C.S.	6.35	-
	T.S.	0.16	
SLV	F <sub>Ed</sub>	1667.67	kN
	H <sub>Rd</sub>	2096.02	kN
	C.S.	1.26	-
	T.S.	0.8	

## 6 VERIFICHE GEOTECNICHE PALI DI FONDAZIONE DELLE PILE

Nel seguito si riportano le verifiche geotecniche dei pali delle pile.

### 6.1 Sollecitazioni ad intradosso fondazione

Nel seguito si riportano le sollecitazioni ad intradosso fondazione, per i dettagli del calcolo si rimanda alla relazione di calcolo delle spalle (documento T00CV01STRRE04).

LC	N	Tx (trasv)	Ty (long)	Mz	Mx (long)	My (trasv)
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU1_1	11999	375	-140	-9	-1159	4462
SLU1_2	18085	375	-164	-9	-1358	4462
SLU1_3	15925	375	-203	-9	-1679	4462
SLU1_4	15306	375	-112	-9	-924	4462
SLU1_5	14393	389	-157	42	-1298	-1917
SLU1_6	14393	361	-157	-60	-1298	10842
SLU1_7	14894	383	-156	100	-1291	3407
SLU1_8	14894	367	-156	-117	-1291	5518
SLU1_9	14409	362	-153	-33	-1270	12281
SLU1_10	14409	387	-153	15	-1270	-3356
SLU1_11	15925	375	-203	-9	-1679	4462
SLU1_12	15306	375	-112	-9	-924	4462
SLU1_13	12437	375	-146	-9	-1209	4462
SLU1_14	18523	375	-170	-9	-1407	4462
SLU1_15	16363	375	-209	-9	-1729	4462
SLU1_16	15745	375	-118	-9	-974	4462
SLU1_17	14832	389	-163	42	-1348	-1917
SLU1_18	14832	361	-163	-60	-1348	10842
SLU1_19	15332	383	-162	100	-1341	3407
SLU1_20	15332	367	-162	-117	-1341	5518
SLU1_21	14847	362	-159	-33	-1320	12281
SLU1_22	14847	387	-159	15	-1320	-3356
SLU1_23	16363	375	-209	-9	-1729	4462
SLU1_24	15745	375	-118	-9	-974	4462
SLU2_1	12205	376	-430	-6	-3562	4294
SLU2_2	14659	371	-439	-12	-3634	7099
SLU2_3	13829	372	-457	-31	-3787	6143
SLU2_4	13716	375	-418	10	-3461	5871
SLU2_5	12696	379	-434	4	-3594	3443
SLU2_6	13393	369	-441	-31	-3648	7927
SLU2_7	13264	376	-431	29	-3565	5856
SLU2_8	13325	371	-443	-50	-3671	6320
SLU2_9	13466	369	-437	-17	-3623	8330
SLU2_10	12638	378	-434	-2	-3593	3065
SLU2_11	13829	372	-457	-31	-3787	6143
SLU2_12	13716	375	-418	10	-3461	5871
SLU2_13	12644	376	-436	-6	-3612	4294

LC	N	Tx (trasv)	Ty (long)	Mz	Mx (long)	My (trasv)
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU2_14	15097	371	-445	-12	-3684	7099
SLU2_15	14268	372	-463	-31	-3836	6143
SLU2_16	14155	375	-424	10	-3510	5871
SLU2_17	13135	379	-440	4	-3644	3443
SLU2_18	13831	369	-447	-31	-3698	7927
SLU2_19	13703	376	-437	29	-3615	5856
SLU2_20	13764	371	-449	-50	-3721	6320
SLU2_21	13905	369	-443	-17	-3672	8330
SLU2_22	13076	378	-440	-2	-3643	3065
SLU2_23	14268	372	-463	-31	-3836	6143
SLU2_24	14155	375	-424	10	-3510	5871
SLU3_1	12380	625	-152	-15	-1257	7437
SLU3_2	12380	625	-152	-15	-1257	7437
SLU3_3	12380	625	-152	-15	-1257	7437
SLU3_4	12380	625	-152	-15	-1257	7437
SLU3_5	12380	625	-152	-15	-1257	7437
SLU3_6	12380	625	-152	-15	-1257	7437
SLU3_7	12380	625	-152	-15	-1257	7437
SLU3_8	12380	625	-152	-15	-1257	7437
SLU3_9	12380	625	-152	-15	-1257	7437
SLU3_10	12380	625	-152	-15	-1257	7437
SLU3_11	12380	625	-152	-15	-1257	7437
SLU3_12	12380	625	-152	-15	-1257	7437
SLU3_13	12818	625	-158	-15	-1307	7437
SLU3_14	12818	625	-158	-15	-1307	7437
SLU3_15	12818	625	-158	-15	-1307	7437
SLU3_16	12818	625	-158	-15	-1307	7437
SLU3_17	12818	625	-158	-15	-1307	7437
SLU3_18	12818	625	-158	-15	-1307	7437
SLU3_19	12818	625	-158	-15	-1307	7437
SLU3_20	12818	625	-158	-15	-1307	7437
SLU3_21	12818	625	-158	-15	-1307	7437
SLU3_22	12818	625	-158	-15	-1307	7437
SLU3_23	12818	625	-158	-15	-1307	7437
SLU3_24	12818	625	-158	-15	-1307	7437
SLU4_1	12203	626	-146	-12	-1211	7269
SLU4_2	14656	621	-155	-18	-1283	10074
SLU4_3	13826	622	-173	-37	-1435	9117
SLU4_4	13713	625	-134	4	-1109	8846
SLU4_5	12693	628	-150	-1	-1243	6418
SLU4_6	13390	618	-157	-36	-1297	10902
SLU4_7	13261	626	-147	23	-1214	8831
SLU4_8	13322	620	-159	-56	-1320	9295
SLU4_9	13463	619	-153	-23	-1271	11305
SLU4_10	12635	628	-150	-8	-1242	6040
SLU4_11	13826	622	-173	-37	-1435	9117
SLU4_12	13713	625	-134	4	-1109	8846
SLU4_13	12641	626	-152	-12	-1261	7269
SLU4_14	15094	621	-161	-18	-1333	10074



LC	N	Tx (trasv)	Ty (long)	Mz	Mx (long)	My (trasv)
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU4_15	14265	622	-179	-37	-1485	9117
SLU4_16	14152	625	-140	4	-1159	8846
SLU4_17	13132	628	-156	-1	-1293	6418
SLU4_18	13829	618	-163	-36	-1347	10902
SLU4_19	13700	626	-153	23	-1264	8831
SLU4_20	13761	620	-165	-56	-1370	9295
SLU4_21	13902	619	-160	-23	-1321	11305
SLU4_22	13074	628	-156	-8	-1291	6040
SLU4_23	14265	622	-179	-37	-1485	9117
SLU4_24	14152	625	-140	4	-1159	8846
RARA1_1	8940	250	-108	-6	-897	2975
RARA1_2	13448	250	-126	-6	-1044	2975
RARA1_3	11848	250	-155	-6	-1282	2975
RARA1_4	11390	250	-87	-6	-723	2975
RARA1_5	10714	260	-121	32	-1000	-1751
RARA1_6	10714	239	-121	-44	-1000	7700
RARA1_7	11084	256	-120	75	-995	2193
RARA1_8	11084	244	-120	-86	-995	3757
RARA1_9	10725	241	-118	-23	-980	8766
RARA1_10	10725	259	-118	12	-980	-2817
RARA1_11	11848	250	-155	-6	-1282	2975
RARA1_12	11390	250	-87	-6	-723	2975
RARA1_13	9232	250	-112	-6	-931	2975
RARA1_14	13740	250	-130	-6	-1078	2975
RARA1_15	12140	250	-159	-6	-1316	2975
RARA1_16	11683	250	-91	-6	-756	2975
RARA1_17	11006	260	-125	32	-1033	-1751
RARA1_18	11006	239	-125	-44	-1033	7700
RARA1_19	11377	256	-124	75	-1028	2193
RARA1_20	11377	244	-124	-86	-1028	3757
RARA1_21	11017	241	-122	-23	-1013	8766
RARA1_22	11017	259	-122	12	-1013	-2817
RARA1_23	12140	250	-159	-6	-1316	2975
RARA1_24	11683	250	-91	-6	-756	2975
RARA2_1	9093	251	-323	-4	-2677	2851
RARA2_2	10910	247	-330	-8	-2731	4928
RARA2_3	10296	248	-343	-22	-2843	4220
RARA2_4	10212	250	-314	8	-2602	4019
RARA2_5	9457	253	-326	4	-2701	2220
RARA2_6	9973	245	-331	-22	-2741	5542
RARA2_7	9877	251	-324	22	-2680	4007
RARA2_8	9923	247	-333	-37	-2758	4351
RARA2_9	10027	246	-329	-12	-2722	5840
RARA2_10	9413	252	-326	-1	-2700	1940
RARA2_11	10296	248	-343	-22	-2843	4220
RARA2_12	10212	250	-314	8	-2602	4019
RARA2_13	9385	251	-327	-4	-2710	2851
RARA2_14	11203	247	-334	-8	-2764	4928
RARA2_15	10588	248	-347	-22	-2877	4220

LC	N	Tx (trasv)	Ty (long)	Mz	Mx (long)	My (trasv)
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
RARA2_16	10505	250	-318	8	-2635	4019
RARA2_17	9749	253	-330	4	-2734	2220
RARA2_18	10265	245	-335	-22	-2774	5542
RARA2_19	10169	251	-328	22	-2713	4007
RARA2_20	10215	247	-337	-37	-2791	4351
RARA2_21	10319	246	-333	-12	-2755	5840
RARA2_22	9706	252	-330	-1	-2733	1940
RARA2_23	10588	248	-347	-22	-2877	4220
RARA2_24	10505	250	-318	8	-2635	4019
RARA3_1	9091	417	-113	-8	-935	4834
RARA3_2	10908	414	-119	-12	-989	6911
RARA3_3	10294	414	-133	-26	-1102	6203
RARA3_4	10210	416	-104	4	-860	6002
RARA3_5	9454	419	-116	0	-960	4203
RARA3_6	9970	412	-121	-26	-1000	7525
RARA3_7	9875	417	-113	18	-938	5991
RARA3_8	9920	413	-123	-40	-1016	6334
RARA3_9	10025	412	-118	-16	-980	7823
RARA3_10	9411	419	-116	-5	-958	3923
RARA3_11	10294	414	-133	-26	-1102	6203
RARA3_12	10210	416	-104	4	-860	6002
RARA3_13	9383	417	-117	-8	-969	4834
RARA3_14	11201	414	-123	-12	-1022	6911
RARA3_15	10586	414	-137	-26	-1135	6203
RARA3_16	10502	416	-108	4	-894	6002
RARA3_17	9747	419	-120	0	-993	4203
RARA3_18	10263	412	-125	-26	-1033	7525
RARA3_19	10167	417	-117	18	-971	5991
RARA3_20	10213	413	-127	-40	-1050	6334
RARA3_21	10317	412	-122	-16	-1014	7823
RARA3_22	9704	419	-120	-5	-992	3923
RARA3_23	10586	414	-137	-26	-1135	6203
RARA3_24	10502	416	-108	4	-894	6002
RARA4_1	9091	417	-113	-8	-935	4834
RARA4_2	10908	414	-119	-12	-989	6911
RARA4_3	10294	414	-133	-26	-1102	6203
RARA4_4	10210	416	-104	4	-860	6002
RARA4_5	9454	419	-116	0	-960	4203
RARA4_6	9970	412	-121	-26	-1000	7525
RARA4_7	9875	417	-113	18	-938	5991
RARA4_8	9920	413	-123	-40	-1016	6334
RARA4_9	10025	412	-118	-16	-980	7823
RARA4_10	9411	419	-116	-5	-958	3923
RARA4_11	10294	414	-133	-26	-1102	6203
RARA4_12	10210	416	-104	4	-860	6002
RARA4_13	9383	417	-117	-8	-969	4834
RARA4_14	11201	414	-123	-12	-1022	6911
RARA4_15	10586	414	-137	-26	-1135	6203
RARA4_16	10502	416	-108	4	-894	6002

LC	N	Tx (trasv)	Ty (long)	Mz	Mx (long)	My (trasv)
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
RARA4_17	9747	419	-120	0	-993	4203
RARA4_18	10263	412	-125	-26	-1033	7525
RARA4_19	10167	417	-117	18	-971	5991
RARA4_20	10213	413	-127	-40	-1050	6334
RARA4_21	10317	412	-122	-16	-1014	7823
RARA4_22	9704	419	-120	-5	-992	3923
RARA4_23	10586	414	-137	-26	-1135	6203
RARA4_24	10502	416	-108	4	-894	6002
FREQ1_1	9091	1	-113	2	-935	-124
FREQ1_2	10908	-3	-119	-2	-989	1953
FREQ1_3	10294	-2	-133	-17	-1102	1245
FREQ1_4	10210	0	-104	14	-860	1044
FREQ1_5	9454	3	-116	10	-960	-755
FREQ1_6	9970	-5	-121	-16	-999	2567
FREQ1_7	9875	1	-113	28	-938	1032
FREQ1_8	9920	-3	-123	-31	-1016	1376
FREQ1_9	10025	-4	-118	-6	-980	2865
FREQ1_10	9411	2	-116	5	-958	-1035
FREQ1_11	10294	-2	-133	-17	-1102	1245
FREQ1_12	10210	0	-104	14	-860	1044
FREQ1_13	9383	1	-117	2	-969	-124
FREQ1_14	11201	-3	-123	-2	-1022	1953
FREQ1_15	10586	-2	-137	-17	-1135	1245
FREQ1_16	10502	0	-108	14	-894	1044
FREQ1_17	9747	3	-120	10	-993	-755
FREQ1_18	10263	-5	-125	-16	-1033	2567
FREQ1_19	10167	1	-117	28	-971	1032
FREQ1_20	10213	-3	-127	-31	-1050	1376
FREQ1_21	10317	-4	-122	-6	-1014	2865
FREQ1_22	9704	2	-120	5	-992	-1035
FREQ1_23	10586	-2	-137	-17	-1135	1245
FREQ1_24	10502	0	-108	14	-894	1044
Q.PERM_1	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_2	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_3	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_4	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_5	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_6	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_7	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_8	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_9	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_10	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_11	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_12	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_13	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_14	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_15	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_16	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_17	9222	0	-117	0	-970	0

LC	N	Tx (trasv)	Ty (long)	Mz	Mx (long)	My (trasv)
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
Q.PERM_18	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_19	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_20	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_21	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_22	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_23	9222	0	-117	0	-970	0
Q.PERM_24	9222	0	-117	0	-970	0
SISMA X Max_1	8482	622	-2388	7	-16947	5445
SISMA X Max_2	9384	622	-2392	7	-16976	5445
SISMA X Max_3	9064	622	-2397	7	-17024	5445
SISMA X Max_4	8973	622	-2384	7	-16912	5445
SISMA X Max_5	8837	624	-2390	15	-16967	4500
SISMA X Max_6	8837	620	-2390	-1	-16967	6390
SISMA X Max_7	8911	623	-2390	23	-16966	5289
SISMA X Max_8	8911	621	-2390	-9	-16966	5602
SISMA X Max_9	8839	620	-2390	3	-16963	6604
SISMA X Max_10	8839	624	-2390	11	-16963	4287
SISMA X Max_11	9064	622	-2397	7	-17024	5445
SISMA X Max_12	8973	622	-2384	7	-16912	5445
SISMA X Max_13	8726	622	-2391	7	-16974	5445
SISMA X Max_14	9628	622	-2395	7	-17004	5445
SISMA X Max_15	9308	622	-2401	7	-17051	5445
SISMA X Max_16	9216	622	-2387	7	-16939	5445
SISMA X Max_17	9081	624	-2394	15	-16995	4500
SISMA X Max_18	9081	620	-2394	-1	-16995	6390
SISMA X Max_19	9155	623	-2394	23	-16994	5289
SISMA X Max_20	9155	621	-2394	-9	-16994	5602
SISMA X Max_21	9083	620	-2393	3	-16991	6604
SISMA X Max_22	9083	624	-2393	11	-16991	4287
SISMA X Max_23	9308	622	-2401	7	-17051	5445
SISMA X Max_24	9216	622	-2387	7	-16939	5445
SISMA X Max_25	8513	622	-2431	7	-17303	5421
SISMA X Max_26	8877	621	-2432	7	-17313	5836
SISMA X Max_27	8754	621	-2435	4	-17336	5694
SISMA X Max_28	8737	622	-2429	10	-17288	5654
SISMA X Max_29	8586	622	-2432	9	-17307	5294
SISMA X Max_30	8689	621	-2433	4	-17315	5959
SISMA X Max_31	8670	622	-2431	13	-17303	5652
SISMA X Max_32	8679	621	-2433	1	-17319	5721
SISMA X Max_33	8700	621	-2432	6	-17311	6018
SISMA X Max_34	8577	622	-2432	8	-17307	5238
SISMA X Max_35	8754	621	-2435	4	-17336	5694
SISMA X Max_36	8737	622	-2429	10	-17288	5654
SISMA X Max_37	8757	622	-2434	7	-17330	5421
SISMA X Max_38	9120	621	-2436	7	-17341	5836
SISMA X Max_39	8997	621	-2438	4	-17363	5694
SISMA X Max_40	8981	622	-2432	10	-17315	5654
SISMA X Max_41	8829	622	-2435	9	-17335	5294
SISMA X Max_42	8933	621	-2436	4	-17343	5959

LC	N	Tx (trasv)	Ty (long)	Mz	Mx (long)	My (trasv)
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SISMA X Max_43	8914	622	-2434	13	-17331	5652
SISMA X Max_44	8923	621	-2436	1	-17346	5721
SISMA X Max_45	8944	621	-2435	6	-17339	6018
SISMA X Max_46	8821	622	-2435	8	-17335	5238
SISMA X Max_47	8997	621	-2438	4	-17363	5694
SISMA X Max_48	8981	622	-2432	10	-17315	5654
SISMA Y Max_1	8504	2072	-796	23	-5739	18151
SISMA Y Max_2	9406	2072	-799	23	-5768	18151
SISMA Y Max_3	9086	2072	-805	23	-5816	18151
SISMA Y Max_4	8994	2072	-792	23	-5704	18151
SISMA Y Max_5	8859	2074	-798	31	-5759	17206
SISMA Y Max_6	8859	2070	-798	16	-5759	19096
SISMA Y Max_7	8933	2073	-798	40	-5758	17995
SISMA Y Max_8	8933	2071	-798	7	-5758	18308
SISMA Y Max_9	8861	2070	-798	20	-5755	19310
SISMA Y Max_10	8861	2074	-798	27	-5755	16993
SISMA Y Max_11	9086	2072	-805	23	-5816	18151
SISMA Y Max_12	8994	2072	-792	23	-5704	18151
SISMA Y Max_13	8748	2072	-799	23	-5766	18151
SISMA Y Max_14	9650	2072	-803	23	-5796	18151
SISMA Y Max_15	9330	2072	-808	23	-5843	18151
SISMA Y Max_16	9238	2072	-795	23	-5731	18151
SISMA Y Max_17	9103	2074	-802	31	-5787	17206
SISMA Y Max_18	9103	2070	-802	16	-5787	19096
SISMA Y Max_19	9177	2073	-801	40	-5786	17995
SISMA Y Max_20	9177	2071	-801	7	-5786	18308
SISMA Y Max_21	9105	2070	-801	20	-5783	19310
SISMA Y Max_22	9105	2074	-801	27	-5783	16993
SISMA Y Max_23	9330	2072	-808	23	-5843	18151
SISMA Y Max_24	9238	2072	-795	23	-5731	18151
SISMA Y Max_25	8535	2072	-839	24	-6095	18126
SISMA Y Max_26	8899	2072	-840	23	-6105	18542
SISMA Y Max_27	8776	2072	-843	20	-6128	18400
SISMA Y Max_28	8759	2072	-837	26	-6080	18360
SISMA Y Max_29	8608	2073	-839	25	-6099	18000
SISMA Y Max_30	8711	2071	-840	20	-6107	18665
SISMA Y Max_31	8692	2072	-839	29	-6095	18358
SISMA Y Max_32	8701	2072	-841	17	-6111	18426
SISMA Y Max_33	8722	2071	-840	22	-6104	18724
SISMA Y Max_34	8599	2073	-839	24	-6099	17944
SISMA Y Max_35	8776	2072	-843	20	-6128	18400
SISMA Y Max_36	8759	2072	-837	26	-6080	18360
SISMA Y Max_37	8779	2072	-842	24	-6122	18126
SISMA Y Max_38	9142	2072	-843	23	-6133	18542
SISMA Y Max_39	9019	2072	-846	20	-6156	18400
SISMA Y Max_40	9003	2072	-840	26	-6107	18360
SISMA Y Max_41	8851	2073	-843	25	-6127	18000
SISMA Y Max_42	8955	2071	-844	20	-6135	18665
SISMA Y Max_43	8936	2072	-842	29	-6123	18358

LC	N	Tx (trasv)	Ty (long)	Mz	Mx (long)	My (trasv)
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SISMA Y Max_44	8945	2072	-844	17	-6138	18426
SISMA Y Max_45	8966	2071	-843	22	-6131	18724
SISMA Y Max_46	8843	2073	-843	24	-6127	17944
SISMA Y Max_47	9019	2072	-846	20	-6156	18400
SISMA Y Max_48	9003	2072	-840	26	-6107	18360
SISMA Z Max_1	6930	622	-805	7	-5805	5445
SISMA Z Max_2	7832	622	-808	7	-5834	5445
SISMA Z Max_3	7512	622	-814	7	-5882	5445
SISMA Z Max_4	7420	622	-801	7	-5770	5445
SISMA Z Max_5	7285	624	-807	15	-5825	4500
SISMA Z Max_6	7285	620	-807	-1	-5825	6390
SISMA Z Max_7	7359	623	-807	23	-5824	5289
SISMA Z Max_8	7359	621	-807	-9	-5824	5602
SISMA Z Max_9	7287	620	-807	3	-5821	6604
SISMA Z Max_10	7287	624	-807	11	-5821	4287
SISMA Z Max_11	7512	622	-814	7	-5882	5445
SISMA Z Max_12	7420	622	-801	7	-5770	5445
SISMA Z Max_13	7174	622	-808	7	-5832	5445
SISMA Z Max_14	8076	622	-812	7	-5862	5445
SISMA Z Max_15	7756	622	-817	7	-5909	5445
SISMA Z Max_16	7664	622	-804	7	-5798	5445
SISMA Z Max_17	7529	624	-811	15	-5853	4500
SISMA Z Max_18	7529	620	-811	-1	-5853	6390
SISMA Z Max_19	7603	623	-810	23	-5852	5289
SISMA Z Max_20	7603	621	-810	-9	-5852	5602
SISMA Z Max_21	7531	620	-810	3	-5849	6604
SISMA Z Max_22	7531	624	-810	11	-5849	4287
SISMA Z Max_23	7756	622	-817	7	-5909	5445
SISMA Z Max_24	7664	622	-804	7	-5798	5445
SISMA Z Max_25	6961	622	-848	7	-6161	5421
SISMA Z Max_26	7324	621	-849	7	-6171	5836
SISMA Z Max_27	7202	621	-852	4	-6194	5694
SISMA Z Max_28	7185	622	-846	10	-6146	5654
SISMA Z Max_29	7034	622	-848	9	-6166	5294
SISMA Z Max_30	7137	621	-849	4	-6174	5959
SISMA Z Max_31	7118	622	-848	13	-6161	5652
SISMA Z Max_32	7127	621	-850	1	-6177	5721
SISMA Z Max_33	7148	621	-849	6	-6170	6018
SISMA Z Max_34	7025	622	-848	8	-6165	5238
SISMA Z Max_35	7202	621	-852	4	-6194	5694
SISMA Z Max_36	7185	622	-846	10	-6146	5654
SISMA Z Max_37	7205	622	-851	7	-6188	5421
SISMA Z Max_38	7568	621	-852	7	-6199	5836
SISMA Z Max_39	7445	621	-855	4	-6222	5694
SISMA Z Max_40	7428	622	-849	10	-6173	5654
SISMA Z Max_41	7277	622	-852	9	-6193	5294
SISMA Z Max_42	7381	621	-853	4	-6201	5959
SISMA Z Max_43	7361	622	-851	13	-6189	5652
SISMA Z Max_44	7371	621	-853	1	-6205	5721

LC	N	Tx (trasv)	Ty (long)	Mz	Mx (long)	My (trasv)
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SISMA Z Max_45	7391	621	-852	6	-6197	6018
SISMA Z Max_46	7269	622	-852	8	-6193	5238
SISMA Z Max_47	7445	621	-855	4	-6222	5694
SISMA Z Max_48	7428	622	-849	10	-6173	5654
SISMA X Min_1	9894	-622	2169	-7	15133	-5445
SISMA X Min_2	10796	-622	2165	-7	15103	-5445
SISMA X Min_3	10476	-622	2160	-7	15056	-5445
SISMA X Min_4	10385	-622	2173	-7	15168	-5445
SISMA X Min_5	10249	-620	2167	1	15112	-6390
SISMA X Min_6	10249	-624	2167	-15	15112	-4500
SISMA X Min_7	10323	-621	2167	9	15113	-5602
SISMA X Min_8	10323	-623	2167	-23	15113	-5289
SISMA X Min_9	10251	-624	2167	-11	15116	-4287
SISMA X Min_10	10251	-620	2167	-3	15116	-6604
SISMA X Min_11	10476	-622	2160	-7	15056	-5445
SISMA X Min_12	10385	-622	2173	-7	15168	-5445
SISMA X Min_13	10138	-622	2166	-7	15105	-5445
SISMA X Min_14	11040	-622	2162	-7	15076	-5445
SISMA X Min_15	10720	-622	2156	-7	15028	-5445
SISMA X Min_16	10628	-622	2170	-7	15140	-5445
SISMA X Min_17	10493	-620	2163	1	15085	-6390
SISMA X Min_18	10493	-624	2163	-15	15085	-4500
SISMA X Min_19	10567	-621	2163	9	15086	-5602
SISMA X Min_20	10567	-623	2163	-23	15086	-5289
SISMA X Min_21	10495	-624	2164	-11	15089	-4287
SISMA X Min_22	10495	-620	2164	-3	15089	-6604
SISMA X Min_23	10720	-622	2156	-7	15028	-5445
SISMA X Min_24	10628	-622	2170	-7	15140	-5445
SISMA X Min_25	9925	-622	2168	-7	15125	-5470
SISMA X Min_26	10288	-622	2167	-8	15115	-5055
SISMA X Min_27	10165	-622	2164	-10	15092	-5196
SISMA X Min_28	10149	-622	2170	-4	15140	-5237
SISMA X Min_29	9997	-621	2168	-5	15120	-5596
SISMA X Min_30	10101	-623	2167	-10	15112	-4932
SISMA X Min_31	10081	-622	2168	-1	15125	-5239
SISMA X Min_32	10091	-622	2166	-13	15109	-5170
SISMA X Min_33	10111	-623	2167	-8	15116	-4872
SISMA X Min_34	9989	-621	2168	-6	15121	-5652
SISMA X Min_35	10165	-622	2164	-10	15092	-5196
SISMA X Min_36	10149	-622	2170	-4	15140	-5237
SISMA X Min_37	10168	-622	2165	-7	15098	-5470
SISMA X Min_38	10532	-622	2163	-8	15087	-5055
SISMA X Min_39	10409	-622	2161	-10	15064	-5196
SISMA X Min_40	10392	-622	2167	-4	15113	-5237
SISMA X Min_41	10241	-621	2164	-5	15093	-5596
SISMA X Min_42	10344	-623	2163	-10	15085	-4932
SISMA X Min_43	10325	-622	2165	-1	15097	-5239
SISMA X Min_44	10334	-622	2163	-13	15081	-5170
SISMA X Min_45	10355	-623	2164	-8	15089	-4872

LC	N	Tx (trasv)	Ty (long)	Mz	Mx (long)	My (trasv)
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SISMA X Min_46	10232	-621	2164	-6	15093	-5652
SISMA X Min_47	10409	-622	2161	-10	15064	-5196
SISMA X Min_48	10392	-622	2167	-4	15113	-5237
SISMA Y Min_1	9873	-2072	577	-23	3925	-18151
SISMA Y Min_2	10774	-2072	573	-23	3896	-18151
SISMA Y Min_3	10454	-2072	567	-23	3848	-18151
SISMA Y Min_4	10363	-2072	581	-23	3960	-18151
SISMA Y Min_5	10227	-2070	574	-16	3904	-19096
SISMA Y Min_6	10227	-2074	574	-31	3904	-17206
SISMA Y Min_7	10301	-2071	574	-7	3905	-18308
SISMA Y Min_8	10301	-2073	574	-40	3905	-17995
SISMA Y Min_9	10230	-2074	575	-27	3908	-16993
SISMA Y Min_10	10230	-2070	575	-20	3908	-19310
SISMA Y Min_11	10454	-2072	567	-23	3848	-18151
SISMA Y Min_12	10363	-2072	581	-23	3960	-18151
SISMA Y Min_13	10116	-2072	573	-23	3897	-18151
SISMA Y Min_14	11018	-2072	570	-23	3868	-18151
SISMA Y Min_15	10698	-2072	564	-23	3820	-18151
SISMA Y Min_16	10606	-2072	578	-23	3932	-18151
SISMA Y Min_17	10471	-2070	571	-16	3877	-19096
SISMA Y Min_18	10471	-2074	571	-31	3877	-17206
SISMA Y Min_19	10545	-2071	571	-7	3878	-18308
SISMA Y Min_20	10545	-2073	571	-40	3878	-17995
SISMA Y Min_21	10473	-2074	571	-27	3881	-16993
SISMA Y Min_22	10473	-2070	571	-20	3881	-19310
SISMA Y Min_23	10698	-2072	564	-23	3820	-18151
SISMA Y Min_24	10606	-2072	578	-23	3932	-18151
SISMA Y Min_25	9903	-2072	576	-23	3917	-18176
SISMA Y Min_26	10266	-2073	575	-24	3907	-17761
SISMA Y Min_27	10143	-2073	572	-27	3884	-17902
SISMA Y Min_28	10127	-2072	578	-21	3932	-17942
SISMA Y Min_29	9975	-2072	575	-21	3913	-18302
SISMA Y Min_30	10079	-2073	574	-27	3905	-17638
SISMA Y Min_31	10060	-2072	576	-18	3917	-17945
SISMA Y Min_32	10069	-2073	574	-30	3901	-17876
SISMA Y Min_33	10090	-2073	575	-25	3908	-17578
SISMA Y Min_34	9967	-2072	575	-22	3913	-18358
SISMA Y Min_35	10143	-2073	572	-27	3884	-17902
SISMA Y Min_36	10127	-2072	578	-21	3932	-17942
SISMA Y Min_37	10146	-2072	573	-23	3890	-18176
SISMA Y Min_38	10510	-2073	571	-24	3879	-17761
SISMA Y Min_39	10387	-2073	569	-27	3856	-17902
SISMA Y Min_40	10370	-2072	574	-21	3905	-17942
SISMA Y Min_41	10219	-2072	572	-21	3885	-18302
SISMA Y Min_42	10322	-2073	571	-27	3877	-17638
SISMA Y Min_43	10303	-2072	572	-18	3889	-17945
SISMA Y Min_44	10312	-2073	571	-30	3873	-17876
SISMA Y Min_45	10333	-2073	571	-25	3881	-17578
SISMA Y Min_46	10210	-2072	572	-22	3885	-18358



LC	N	Tx (trasv)	Ty (long)	Mz	Mx (long)	My (trasv)
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SISMA Y Min_47	10387	-2073	569	-27	3856	-17902
SISMA Y Min_48	10370	-2072	574	-21	3905	-17942
SISMA Z Min_1	11447	-622	586	-7	3991	-5445
SISMA Z Min_2	12348	-622	582	-7	3962	-5445
SISMA Z Min_3	12028	-622	577	-7	3914	-5445
SISMA Z Min_4	11937	-622	590	-7	4026	-5445
SISMA Z Min_5	11801	-620	583	1	3971	-6390
SISMA Z Min_6	11801	-624	583	-15	3971	-4500
SISMA Z Min_7	11876	-621	583	9	3972	-5602
SISMA Z Min_8	11876	-623	583	-23	3972	-5289
SISMA Z Min_9	11804	-624	584	-11	3975	-4287
SISMA Z Min_10	11804	-620	584	-3	3975	-6604
SISMA Z Min_11	12028	-622	577	-7	3914	-5445
SISMA Z Min_12	11937	-622	590	-7	4026	-5445
SISMA Z Min_13	11690	-622	582	-7	3963	-5445
SISMA Z Min_14	12592	-622	579	-7	3934	-5445
SISMA Z Min_15	12272	-622	573	-7	3886	-5445
SISMA Z Min_16	12180	-622	587	-7	3998	-5445
SISMA Z Min_17	12045	-620	580	1	3943	-6390
SISMA Z Min_18	12045	-624	580	-15	3943	-4500
SISMA Z Min_19	12119	-621	580	9	3944	-5602
SISMA Z Min_20	12119	-623	580	-23	3944	-5289
SISMA Z Min_21	12047	-624	580	-11	3947	-4287
SISMA Z Min_22	12047	-620	580	-3	3947	-6604
SISMA Z Min_23	12272	-622	573	-7	3886	-5445
SISMA Z Min_24	12180	-622	587	-7	3998	-5445
SISMA Z Min_25	11477	-622	585	-7	3984	-5470
SISMA Z Min_26	11840	-622	584	-8	3973	-5055
SISMA Z Min_27	11717	-622	581	-10	3950	-5196
SISMA Z Min_28	11701	-622	587	-4	3999	-5237
SISMA Z Min_29	11550	-621	584	-5	3979	-5596
SISMA Z Min_30	11653	-623	583	-10	3971	-4932
SISMA Z Min_31	11634	-622	585	-1	3983	-5239
SISMA Z Min_32	11643	-622	583	-13	3967	-5170
SISMA Z Min_33	11664	-623	584	-8	3975	-4872
SISMA Z Min_34	11541	-621	584	-6	3979	-5652
SISMA Z Min_35	11717	-622	581	-10	3950	-5196
SISMA Z Min_36	11701	-622	587	-4	3999	-5237
SISMA Z Min_37	11721	-622	582	-7	3956	-5470
SISMA Z Min_38	12084	-622	580	-8	3945	-5055
SISMA Z Min_39	11961	-622	578	-10	3923	-5196
SISMA Z Min_40	11944	-622	583	-4	3971	-5237
SISMA Z Min_41	11793	-621	581	-5	3951	-5596
SISMA Z Min_42	11896	-623	580	-10	3943	-4932
SISMA Z Min_43	11877	-622	582	-1	3955	-5239
SISMA Z Min_44	11886	-622	580	-13	3940	-5170
SISMA Z Min_45	11907	-623	580	-8	3947	-4872
SISMA Z Min_46	11785	-621	581	-6	3951	-5652
SISMA Z Min_47	11961	-622	578	-10	3923	-5196

LC	N	Tx (trasv)	Ty (long)	Mz	Mx (long)	My (trasv)
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
<b>SISMA Z Min_48</b>	11944	-622	583	-4	3971	-5237

Tabella 5 – Sollecitazioni a intradosso plinto

## 6.2 Sollecitazioni sui pali

Il calcolo delle sollecitazioni agenti sul singolo palo è stato effettuato con il metodo del plinto rigido, assumendo le seguenti ipotesi:

- Plinto rigido;
- Vincolo di incastro tra pali e plinto;
- Pali costituenti la palificata verticali;
- Rotazione del plinto e della testa dei pali impedita.

Per un gruppo di n pali, sottoposto a forze verticali, orizzontali e di momento esterne (agenti alla quota testa pali ed in corrispondenza del baricentro della palificata) i carichi agenti alla testa di ciascun palo sono stimabili con le seguenti espressioni:

$$Q_{ti} = \frac{N}{n} \pm \frac{[M_x + M_{inc,x}] \cdot y_i}{\sum_1^n y_i^2} \pm \frac{[M_y + M_{inc,y}] \cdot x_i}{\sum_1^n x_i^2}$$

$$H_{tix} = \frac{H_x}{n}$$

$$H_{tiy} = \frac{H_y}{n}$$

essendo:

- N = forza verticale esterna;
- M<sub>x</sub> = M<sub>long</sub> = momento esterno attorno all'asse x, accoppiato con H<sub>y</sub>;
- H<sub>y</sub> = T<sub>long</sub> = forza orizzontale esterna nella direzione y;
- M<sub>y</sub> = M<sub>trasv</sub> = momento esterno attorno all'asse y, accoppiato con H<sub>x</sub>;
- H<sub>x</sub> = T<sub>trasv</sub> = forza orizzontale esterna nella direzione x;
- Q<sub>ti</sub> = forza verticale agente alla testa del palo i-esimo;
- H<sub>tix</sub> = T<sub>trasv\_i</sub> = forza orizzontale agente alla testa del palo i-esimo nella direzione x;
- H<sub>tiy</sub> = T<sub>long\_i</sub> = forza orizzontale agente alla testa del palo i-esimo nella direzione y;

- $M_{inc,x} = M_{long\_inc} = \sum M_{tix} =$  momento di incastro risultante che i pali esercitano sul plinto per effetto del vincolo di rotazione impedita nella direzione x;
- $M_{tix} = M_{long\_inc\_i} =$  momento di incastro alla testa del palo i-esimo per effetto del vincolo di rotazione impedita nella direzione x;
- $M_{inc,y} = M_{trasv\_inc} = \sum M_{tiy} =$  momento di incastro risultante che i pali esercitano sul plinto per effetto del vincolo di rotazione impedita nella direzione y;
- $M_{tiy} = M_{trasv\_inc\_i} =$  momento di incastro alla testa del palo i-esimo per effetto del vincolo di rotazione impedita nella direzione y;
- $y_i =$  distanza del palo i-esimo dall'asse baricentrico della palificata nella direzione y;
- $x_i =$  distanza del palo i-esimo dall'asse baricentrico della palificata nella direzione x.

I momenti di incastro alla testa dei pali ( $M_{tix}$ ,  $M_{tiy}$ ) sono stati stimati sulla base della teoria elastica di Matlock-Reese:

- $M_{tix} = H_{tiy} \times |A_s| \times \lambda / |B_s|$ , momento di incastro alla testa del palo i-esimo per effetto del vincolo di rotazione impedita nella direzione x;
- $M_{tiy} = H_{tix} \times |A_s| \times \lambda / |B_s|$ , momento di incastro alla testa del palo i-esimo per effetto del vincolo di rotazione impedita nella direzione y;
- $\lambda = \sqrt[5]{EJ / Kh}$ ;
- $K_h =$  modulo di reazione orizzontale =  $n_h \times z / d = 23333 \text{ kN/m}^3$
- $n_h = A \times \gamma' / 1.35$  (assumendo  $A=600$  per i primi 6m come da terreni mediamente addensati)
- $A_s, B_s =$  coefficienti di Matlock-Reese calcolati per  $z / T = 0$  (intradosso fondazione).

I valori di N, T ed M esterni considerati sono quelli ottenuti dal modello allo spiccato delle fondazioni.

In tutte le tabelle di seguito riportate le unità di misura sono in kN per sforzi normali e tagli e in kN/m per i momenti.

Gli sforzi normali positivi si intendono di compressione mentre i momenti positivi seguono la regola della mano destra.

Le tensioni positive sono di compressione e quelle negative di trazione.

In base alle convenzioni sui segni su indicate, per ogni palo sono riportati i massimi e i minimi sforzi assiali e la condizione di carico N–M più gravosa in termini di massima tensione nel calcestruzzo e di minima tensione nelle armature. Per le tensioni tangenziali è stato considerato il taglio massimo T agente in sommità del palo (anche non contemporaneo ad N-M).

### 6.2.1 Massime e minime sollecitazioni sul singolo palo

Di seguito si riportano le massime e le minime sollecitazioni tra tutte le combinazioni, sul palo più sollecitato (valori positivi di N indicano compressione, valori negativi di N indicano trazione):

			<b>Mx (long)</b>	<b>My (trasv)</b>	<b>N max</b>	<b>N min</b>
			<b>kNm</b>	<b>kNm</b>	<b>kN</b>	<b>kN</b>
<b>SLU</b>	max	SLU2_15	-128.175	102.922	2912.85	1641.61
	max	SLU4_5	-41.525	173.885	2618.81	1585.73
	min	SLU1_4	-31	104	2743	2042
	min	SLU1_18	-45	100	3013	1667
<b>SLV</b>	max	SISMA X Max_39	-675	172	3395	-12
	max	SISMA Y Max_5	-221	574	3337	16
	min	SISMA X Min_4	601	-172	3381	310
	min	SISMA Y Min_6	159	-574	3356	300
<b>SLE frequente</b>	max	FREQ1_15	-38	-1	2006	1730
	max	FREQ1_5	-32	1	1845	1640
	min	FREQ1_4	-29	0	1936	1717
	min	FREQ1_18	-34	-1	2024	1641
<b>SLE q. perm.</b>	max	Q.PERM_1	-32	0	1786	1647
	max	Q.PERM_1	-32	0	1786	1647
	min	Q.PERM_1	-32	0	1786	1647
	min	Q.PERM_1	-32	0	1786	1647
<b>SLE rara</b>	max	RARA2_15	-96	69	2321	1416
	max	RARA3_5	-32	116	2093	1392
	min	RARA1_4	-24	69	2199	1716
	min	RARA1_18	-35	66	2395	1435

Tabella 6 – Sollecitazioni assiali e flessionali sui singoli pali

Si riportano di seguito le massime sollecitazioni di taglio sul singolo palo:

<b>Combinazione</b>	<b>Ved [kN]</b>
SLU4_5	53.85
SLU2_15	49.51
SLU1_18	32.97
SLU1_4	32.59
SISMA Y Max_5	185.2
SISMA X Min_4	188.4
SISMA Y Min_6	179.4
SISMA X Max_39	209.7

Tabella 7 – Sollecitazioni taglianti sui singoli pali

Il taglio sul singolo palo è stato ottenuto dividendo il taglio totale agente a intradosso fondazione per il numero dei pali e considerando la risultante tra quello in direzione longitudinale e quello in direzione trasversale.

### 6.3 Verifiche di portanza verticale

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

$$Q_d = Q_{II} / F_{SL} + Q_{bl} / F_{SB} - W \cdot p$$

dove:

$Q_{II}$  = portata laterale limite,

$Q_{bl}$  = portata di base limite,

$W \cdot p$  = peso efficace del palo (al netto del peso del terreno asportato: peso calcestruzzo-peso terreno),

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

$F_{SB}$  = fattore di sicurezza per la portata di base ( $= \xi_3 \cdot \gamma_b$ ).

Le verifiche vengono effettuate in combinazione A1+M1+R3, dove:

Tab. 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti $g_1$ e $g_3$	favorevoli	$\gamma_{G1}$ e $\gamma_{G3}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup> $g_2$	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

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 (*)	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

\* da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Il fattore di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali di indagini è stato desunto dalla tabella 6.4.IV delle NTC-2018, riportata di seguito.

Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	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

Nel caso in esame è stato assunto un valore pari a 1.7 (1 verticale indagata).

### 6.3.1 Portata laterale

La portata laterale limite viene valutata con la seguente relazione:

$$Q_{ll} = \pi \cdot D \cdot \sum_i (\tau_i \cdot h_i)$$

dove:

D = diametro palo,

$\tau_i$  = tensione di adesione laterale limite nello strato i-esimo,

$h_i$  = altezza dello strato i-esimo.

#### 6.3.1.1 Depositi incoerenti

Per i depositi incoerenti, la tensione tangenziale ultima lungo il fusto del palo, in accordo ad esempio a Burland [1973], Reese & O'Neill [1988], Chen & Kulhawy [1994], O'Neill & Hassan [1994], può essere valutata con riferimento alla seguente espressione:

$$\tau_i = \beta \cdot \sigma'_v \leq \tau_{i,max}$$

dove:

$\sigma'_v$  = tensione verticale efficace litostatica,

$\tau_{i,max}$  = valore massimo dell'adesione laterale limite palo-terreno (pari a 150 kPa per terreni incoerenti).

$\beta$  = coefficiente empirico  $\beta = k \cdot \tan \phi$ , essendo

k = coefficiente di pressione laterale = 0.6 a compressione e 0.5 a trazione;

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio.

### 6.3.2 Portata di base

Per la valutazione della portata di base limite sono state utilizzate le seguenti relazioni:

$$Q_{bl} = A_p \cdot q_{bl}$$

dove:

$A_p$  = area della base del palo,

$q_{bl}$  = portata limite specifica di base.

#### 6.3.2.1 Depositi incoerenti

Nei terreni incoerenti, la pressione di base del palo associabile a cedimenti pari al 10% del diametro del palo viene valutata con la relazione di Berezantzev (1965) indicata nelle Raccomandazioni AGI:

$$q_b = N_q^* \cdot \sigma'_v \leq q_{b,lim}$$

essendo:

$N_q^*$  = coefficiente in funzione dell'angolo di resistenza al taglio del terreno (Raccomandazioni AGI);

$\sigma'_v$  = tensione verticale efficace;

$q_{b,lim}$  = pressione ultima di base massima consigliabile. Nel caso in esame si è fatto riferimento a quanto indicato da Gwizdala, 1984, vedasi seguente tabella.

	qb,lim (kPa)
GHIAIE	7300
SABBIE	5800
SABBIE LIMOSE	4300

Tabella 8 – Valori massimi pressione ultima alla base

Nel caso in esame, trattandosi essenzialmente di terreni sabbiosi, si è assunto  $q_b \leq 5800$  kPa.

Le verifiche sono state eseguite considerando la falda a 30 m da p.c.

### 6.3.3 Risultati delle verifiche – Verifica a compressione SLV (condizioni sismiche)

Caratteristiche del palo		
Diametro	1.2	m
Area	1.13	m
Perimetro	3.77	m
Profondità infissione	3	m
Lunghezza palo	20	m
Lunghezza infissione	23	m
L / D	16.7	
N verifica	3485	kN

### Caratteristiche degli strati di terreno

Falda (da p.c.)	30	m
-----------------	----	---

Form.	Spes.	Z <sub>inf</sub>	$\gamma_{sat}$
	m	m	kN/m <sup>2</sup>
pc	0	0	
A	55	1	20

Parametri per il calcolo della portata con il metodo AGI									
Tipo	Non coesivi						Coesivi		
	$\phi$	$\mu$	k	N <sub>q</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub>q</sub>	C <sub>u</sub>	$\alpha$	$\tau_c$
	°	tan( $\phi$ )		L/D=4	L/D=32		kPa		a' C <sub>u</sub>
NC	35	0.7002	0.6	13.4	11.3	12.41	0	0.9	0

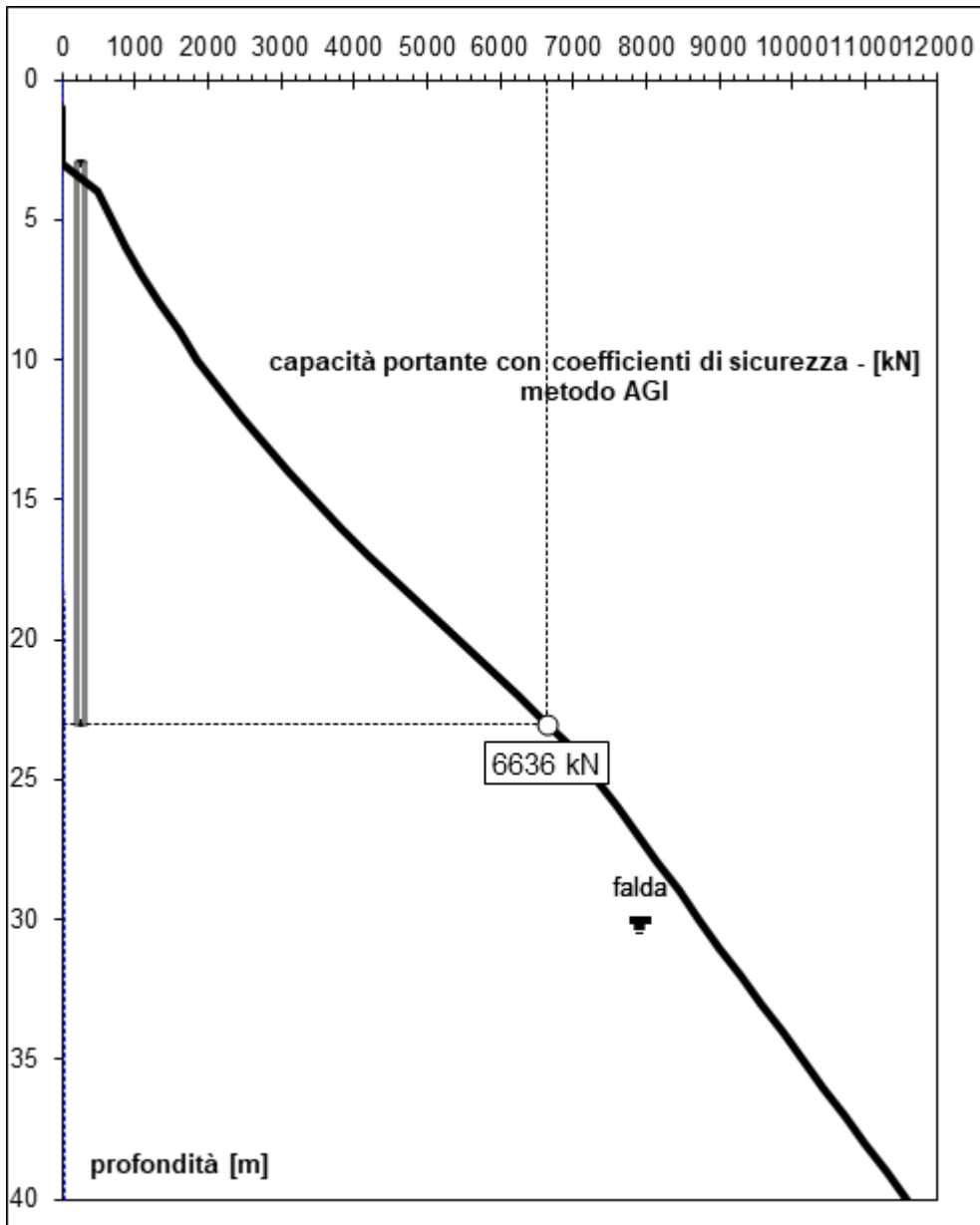


z	$\sigma'_v$	$\tau$	$q_p$	S	$\Sigma S = S_{lim}$	$Q_p = P_{lim}$	$P_p$	$\Sigma P_p = W$	$Q_{amm,L+P}$
m	kPa	$\tau_{NC} / \tau_C$	kPa	kN	kN	kN	kN	kN	kN
0.0	0						0.0	0.0	
1.0	10	4.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.0	30	12.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.0	50	21.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.0	70	29.41	868.4	110.9	110.9	982.1	5.7	5.7	479.0
5.0	90	37.81	1116.5	142.5	253.4	1262.7	5.7	11.3	668.5
6.0	110	46.21	1364.6	174.2	427.6	1543.3	5.7	17.0	874.2
7.0	130	54.62	1612.7	205.9	633.5	1823.9	5.7	22.6	1096.2
8.0	150	63.02	1860.8	237.6	871.1	2104.5	5.7	28.3	1334.3
9.0	170	71.42	2108.9	269.3	1140.4	2385.1	5.7	33.9	1588.6
10.0	190	79.82	2357.0	300.9	1441.3	2665.7	5.7	39.6	1859.2
11.0	210	88.23	2605.1	332.6	1773.9	2946.3	5.7	45.2	2145.9
12.0	230	96.63	2853.2	364.3	2138.2	3226.9	5.7	50.9	2448.9
13.0	250	105.03	3101.4	396.0	2534.1	3507.6	5.7	56.5	2768.0
14.0	270	113.43	3349.5	427.6	2961.8	3788.2	5.7	62.2	3103.4
15.0	290	121.84	3597.6	459.3	3421.1	4068.8	5.7	67.9	3454.9
16.0	310	130.24	3845.7	491.0	3912.1	4349.4	5.7	73.5	3822.7
17.0	330	138.64	4093.8	522.7	4434.7	4630.0	5.7	79.2	4206.7
18.0	350	147.04	4341.9	554.3	4989.1	4910.6	5.7	84.8	4606.8
19.0	370	150.00	4590.0	565.5	5554.6	5191.2	5.7	90.5	5012.7
20.0	390	150.00	4838.1	565.5	6120.0	5471.8	5.7	96.1	5418.5
21.0	410	150.00	5086.2	565.5	6685.5	5752.4	5.7	101.8	5824.4
22.0	430	150.00	5334.3	565.5	7251.0	6033.0	5.7	107.4	6230.3
23.0	450	150.00	5582.4	565.5	7816.5	6313.6	5.7	113.1	6636.1

Nella tabella precedente:

- z = profondità da p.c.
- $\sigma'_v$  = tensione verticale efficace
- $\tau$  = tensione tangenziale laterale
- $q_p$  = resistenza alla punta
- S = integrale delle  $\tau$  su  $\Delta z$
- $\Sigma S$  = integrale delle  $\tau$  fino alla profondità z
- $Q_p$  = risultante portata alla punta alla profondità z
- $P_p$  = peso del palo su  $\Delta z$
- $\Sigma P_p$  = risultante peso del palo alla profondità z
- $Q_{amm,L+P}$  = Portata ultima totale, laterale + punta

Nel grafico seguente è riportata la curva di capacità portante.



La portanza verticale è pari a 6636 kN > 3485 kN.

La verifica risulta soddisfatta.

### 6.3.4 Risultati delle verifiche – Verifica a compressione SLU (condizioni statiche)

Caratteristiche del palo		
Diametro	1.2	m
Area	1.13	m
Perimetro	3.77	m
Profondità infissione	3	m
Lunghezza palo	20	m
Lunghezza infissione	23	m
L / D	16.7	
N verifica	3135	kN

#### Caratteristiche degli strati di terreno

Falda (da p.c.)	30	m
-----------------	----	---

Form.	Spes.	Z <sub>inf</sub>	γ <sub>sat</sub>
	m	m	kN/m <sup>2</sup>
pc	0	0	
A	55	55	20

#### Parametri per il calcolo della portata con il metodo AGI

Tipo	Non coesivi						Coesivi		
	φ	μ	k	N <sub>q</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub>q</sub>	C <sub>u</sub>	α	τ <sub>c</sub>
	°	tan(φ)		L/D=4	L/D=32		kPa		a' C <sub>u</sub>
NC	35	0.7002	0.6	13.4	11.3	12.41		0.9	0

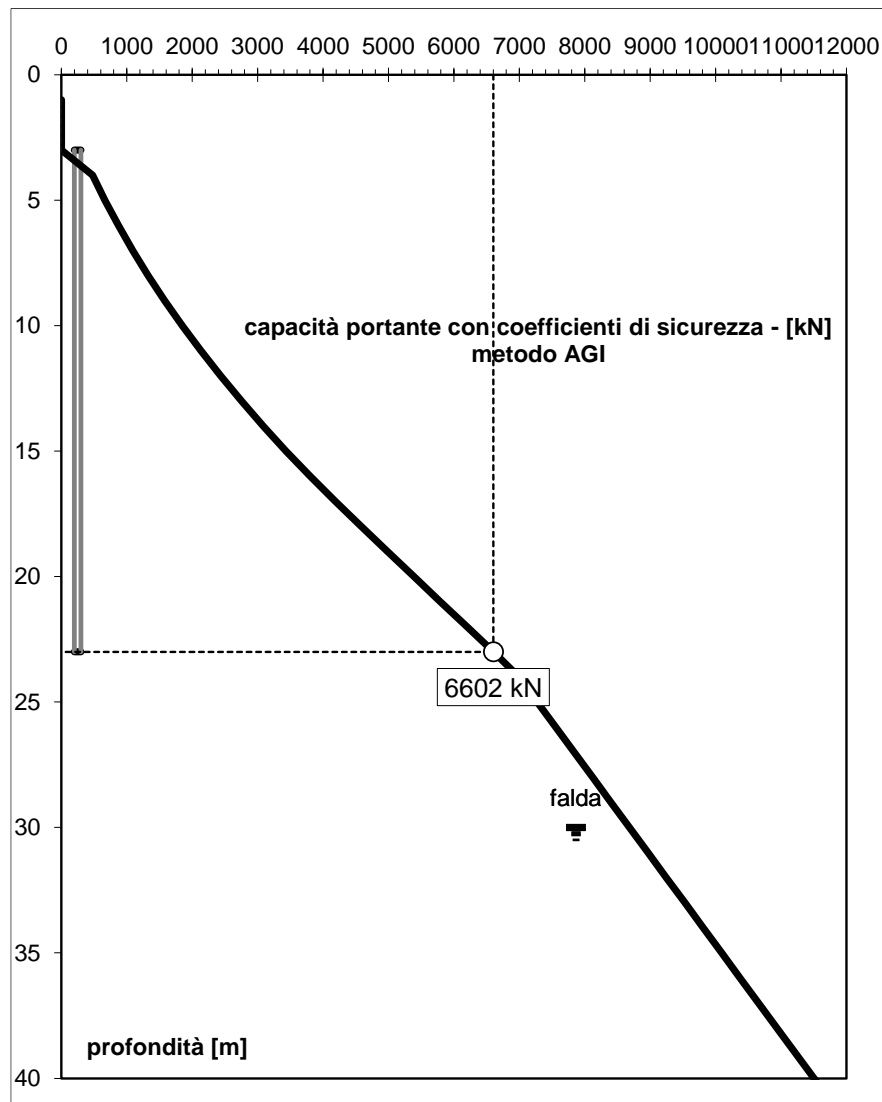
z	σ' <sub>v</sub>	τ	q <sub>p</sub>	S	ΣS=S <sub>lim</sub>	Q <sub>p</sub> =P <sub>lim</sub>	P <sub>p</sub>	ΣP <sub>p</sub> =W	Q <sub>amm,L+P</sub>
m	kPa	τ <sub>NC</sub> / τ <sub>c</sub>	kPa	kN	kN	kN	kN	kN	kN
0.0	0						0.0	0.0	
1.0	10	4.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.0	30	12.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.0	50	21.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.0	70	29.41	868.4	110.9	110.9	982.1	5.7	5.7	477.3
5.0	90	37.81	1116.5	142.5	253.4	1262.7	5.7	11.3	665.1
6.0	110	46.21	1364.6	174.2	427.6	1543.3	5.7	17.0	869.2
7.0	130	54.62	1612.7	205.9	633.5	1823.9	5.7	22.6	1089.4
8.0	150	63.02	1860.8	237.6	871.1	2104.5	5.7	28.3	1325.8
9.0	170	71.42	2108.9	269.3	1140.4	2385.1	5.7	33.9	1578.5
10.0	190	79.82	2357.0	300.9	1441.3	2665.7	5.7	39.6	1847.3
11.0	210	88.23	2605.1	332.6	1773.9	2946.3	5.7	45.2	2132.4
12.0	230	96.63	2853.2	364.3	2138.2	3226.9	5.7	50.9	2433.6
13.0	250	105.03	3101.4	396.0	2534.1	3507.6	5.7	56.5	2751.1
14.0	270	113.43	3349.5	427.6	2961.8	3788.2	5.7	62.2	3084.7

z	$\sigma'_v$	$\tau$	$q_p$	S	$\Sigma S = S_{lim}$	$Q_p = P_{lim}$	$P_p$	$\Sigma P_p = W$	$Q_{amm,L+P}$
m	kPa	$\tau_{NC} / \tau_C$	kPa	kN	kN	kN	kN	kN	kN
15.0	290	121.84	3597.6	459.3	3421.1	4068.8	5.7	67.9	3434.6
16.0	310	130.24	3845.7	491.0	3912.1	4349.4	5.7	73.5	3800.6
17.0	330	138.64	4093.8	522.7	4434.7	4630.0	5.7	79.2	4182.9
18.0	350	147.04	4341.9	554.3	4989.1	4910.6	5.7	84.8	4581.4
19.0	370	150.00	4590.0	565.5	5554.6	5191.2	5.7	90.5	4985.5
20.0	390	150.00	4838.1	565.5	6120.0	5471.8	5.7	96.1	5389.7
21.0	410	150.00	5086.2	565.5	6685.5	5752.4	5.7	101.8	5793.9
22.0	430	150.00	5334.3	565.5	7251.0	6033.0	5.7	107.4	6198.0
23.0	450	150.00	5582.4	565.5	7816.5	6313.6	5.7	113.1	6602.2

Nella tabella precedente:

- z = profondità da p.c.
- $\sigma'_v$  = tensione verticale efficace
- $\tau$  = tensione tangenziale laterale
- $q_p$  = resistenza alla punta
- S = integrale delle  $\tau$  su  $\Delta z$
- $\Sigma S$  = integrale delle  $\tau$  fino alla profondità z
- $Q_p$  = risultante portata alla punta alla profondità z
- $P_p$  = peso del palo su  $\Delta z$
- $\Sigma P_p$  = risultante peso del palo alla profondità z
- $Q_{amm,L+P}$  = Portata ultima totale, laterale + punta

Nel grafico seguente è riportata la curva di capacità portante.



La portanza verticale è pari a 6602 kN > 3135 kN.  
 La verifica risulta soddisfatta.

### 6.3.5 Risultati delle verifiche – Sintesi

Si riporta di seguito una sintesi delle verifiche a portanza verticale:

		Portanza Verticale	
		Compressione	
SLU	N <sub>Ed</sub>	3135.0	kN
	N <sub>Rd</sub>	6602.2	kN
	C.S.	2.11	-
SLV	N <sub>Ed</sub>	3484.7	kN
	N <sub>Rd</sub>	6636.1	kN
	C.S.	1.90	-

## 6.4 Verifiche di portanza orizzontale

Per la verifica del carico limite orizzontale si fa riferimento alla teoria di Broms per il caso di pali con rotazione in testa impedita. Le metodologie di calcolo sono riportate nel seguito.

Per la determinazione del valore di progetto della resistenza dei pali soggetti a carichi trasversali valgono le indicazioni di normativa al paragrafo 6.4.3.1.1 delle NTC-2018, applicando il coefficiente parziale ( $\gamma_T$ ) della seguente tabella (tabella di normativa 6.4.VI) ed i coefficienti  $\xi_3$  e  $\xi_4$ , fattori di correlazione in funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative (tabella di normativa 6.4.IV).

**Tab. 6.4.VI - Coefficiente parziale  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali**

Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,3$

**Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate**

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	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

La valutazione è stata eseguita tenendo conto di effetto gruppo, cautelativamente assunto pari a 0.8.

Le verifiche vengono effettuate in combinazione A1+M1+R3, in cui i coefficienti A1 e M1 sono quelli riportati al §5.4.

### 6.4.1 Verifica a carico limite orizzontale - Broms

Per la verifica del carico limite orizzontale si fa riferimento alla teoria di Broms per il caso di pali con rotazione in testa impedita.

Le equazioni con cui si determina il carico limite a forze orizzontali dei pali sono definite di seguito al variare del tipo di meccanismo considerato.

Il momento di plasticizzazione del palo, nel seguito  $M_y$ , è stato calcolato assumendo un valore di  $N$  pari a 0.

In terreni incoerenti si ha (vedasi figura seguente):

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

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

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

dove:

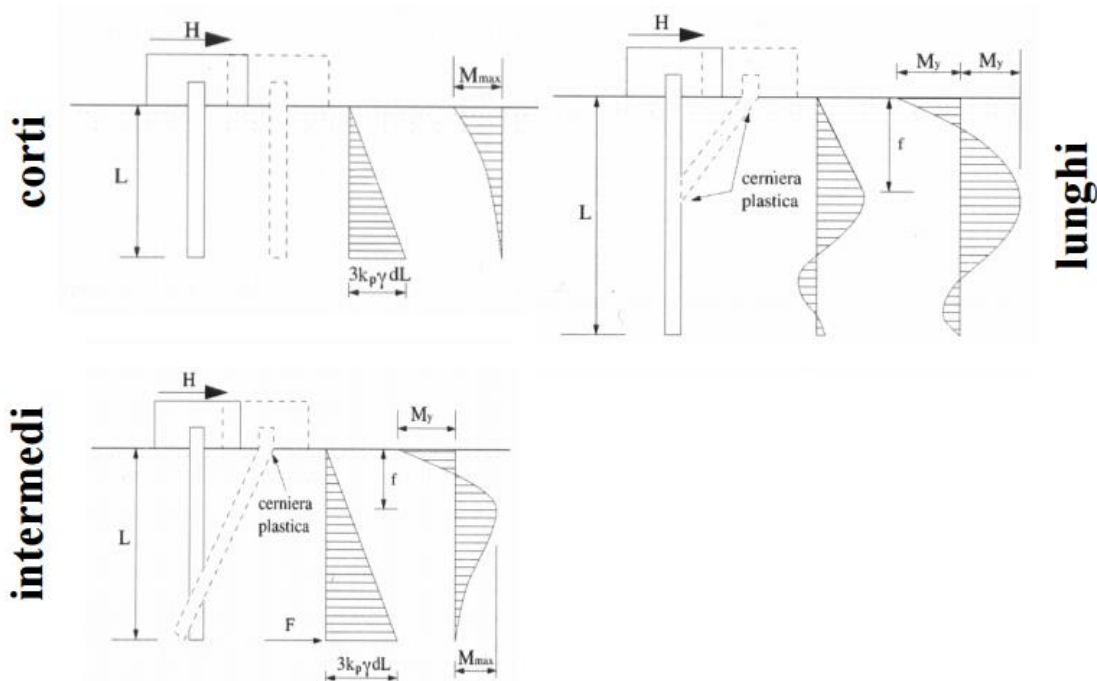
$H$  = carico limite orizzontale del palo;

$M_y$  = momento di plasticizzazione del palo;

$L$  = lunghezza del palo;

$d$  = diametro del palo;

$k_p$  = coefficiente di spinta passiva.



Il valore di  $H$  dovrà essere confrontato con il massimo valore del taglio agente sul palo al variare delle combinazioni ( $V_{pd}$ ).

Il valore determinato con la teoria di Broms dovrà essere ridotto secondo quanto prevede la normativa vigente.

$$H_{lim} = H / (\xi \cdot \gamma_T) > V_{pd}$$

dove:

H = valore limite in funzione del meccanismo attivato;

$\xi$  = fattore di correlazione in funzione delle verticali indagate;

$\gamma_T$  = fattore parziale per pali soggetti a carichi orizzontali.



### 6.4.2 Risultati delle verifiche

Si dispongono 30Ø26.

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

**Diametro** = 1200 (mm)

**Raggio** = 600 (mm)

**Sforzo Normale** = 0 (kN)

#### Caratteristiche dei Materiali

**calcestruzzo**

C30/37

Rck = 37 (Mpa)

fck = 30 (Mpa)

$\gamma_c$  = 1.5

$\alpha_{cc}$  = 0.85

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 17.00$  (Mpa)

#### **Acciaio**

tipo di acciaio

B450C

f<sub>yk</sub> = 450 (Mpa)

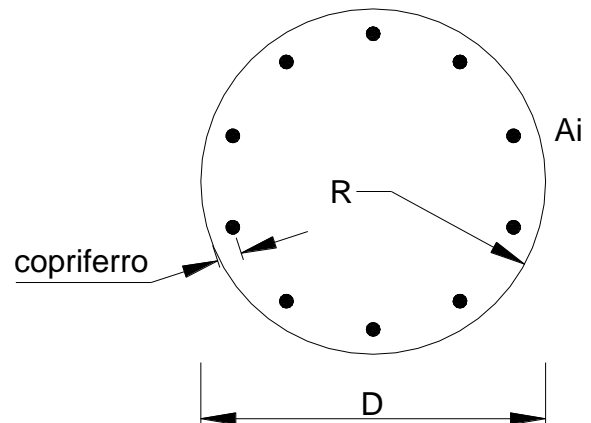
$\gamma_s$  = 1.15

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / \gamma_E = 391.3$  (Mpa)

E<sub>s</sub> = 206000 (Mpa)

$\epsilon_{ys}$  = 0.190%

$\epsilon_{uk}$  = 10.000%



### Armature

numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
30	φ 26	15927.87	87
0	φ 30	0.00	147
0	φ 30	0.00	100

calcolo

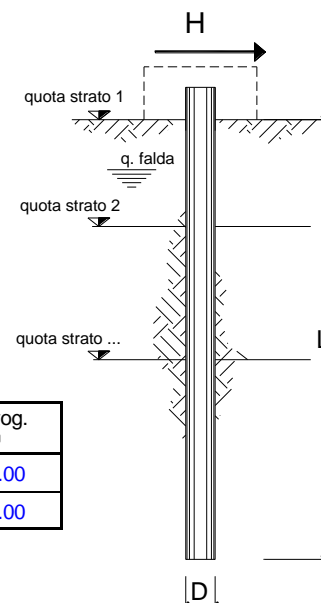
### Momento di Plasticizzazione

My = 2760.7 (kN m)

Inserisci

### opera Pali Pila

coefficienti parziali Metodo di calcolo			A		M		R	
			permanenti γ <sub>G</sub>	variabili γ <sub>Q</sub>	γ <sub>φ'</sub>	γ <sub>cu</sub>	γ <sub>T</sub>	
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.00	1.00	1.60	
	A1+M1+R3	<input checked="" type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.30	
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30	
DM88			<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	
definiti dal progettista			<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.30



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ <sub>3</sub>	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ <sub>4</sub>	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

strati terreno	descrizione	quote (m)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	γ' (kN/m <sup>3</sup> )	φ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						k <sub>p</sub>	c <sub>u</sub> (kPa)	φ (°)	k <sub>p</sub>	c <sub>u</sub> (kPa)
p.c.=strato 1	R	100.00	20	20	35	3.69		35	3.69	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2						1.00			1.00	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 4						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 5						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1.00			1.00	

Quota falda 80.00 (m)

Diametro del palo D 1.50 (m)

Lunghezza del palo L 20.00 (m)

Momento di plasticizzazione palo My 2760.70 (kNm)

Considerando un valore di efficienza pari a 0.8, si ottiene un valore di taglio resistente pari a  $0.8 \times 1020.33 = 816$  kN.

Il massimo taglio agente è allo SLV e pari a 210 kN. Il valore della resistenza risulta maggiore del massimo taglio agente, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

Di seguito si riporta una sintesi delle verifiche di portanza orizzontale:

Portanza Orizzontale			
SLU	F <sub>Ed</sub>	53.85	kN
	H <sub>Rd</sub>	816	kN
	C.S.	15.16	-
	T.S.	209.69	-
SLV	F <sub>Ed</sub>	816	kN
	H <sub>Rd</sub>	3.89	kN
	C.S.	53.85	-
	T.S.	816	-