

**IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA  
FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA CON ACCUMULO  
DENOMINATO "SASSARI 01"**

**REGIONE SARDEGNA**  
PROVINCIA di SASSARI  
COMUNI di SASSARI e PORTO TORRES

PROGETTO DEFINITIVO

Tav.:

Titolo:

R13a

**Relazione Geotecnica - Impianto**

Scala:

Formato Stampa:

Codice Identificatore Elaborato

n.a.

A4

R13a\_RelazioneGeotecnicaFV\_13a

Progettazione:

Committente:

**DOTT. ING. FABIO CALCARELLA**

Via Bartolomeo Ravenna, 14 - 73100 Lecce  
Mob. +39 340 9243575  
fabio.calcarella@gmail.com - fabio.calcarella@ingpec.eu  
P. IVA 04433020759

**Whysol-E Sviluppo S.r.l.**

Via Meravigli, 3 - 20123 - MILANO  
Tel: +39 02 359605  
info@whysol.it - whysol-e.sviluppo@legalmail.it  
P. IVA 10692360968



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Fabio Calcarella'.

Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Marzo 2021	Prima emissione	STC	FC	WHYSOL-E Sviluppo s.r.l.

1. PREMESSA .....	2
2. INDAGINI IN SITO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE .....	6
3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	12
4. DETERMINAZIONE DELLA PORTANZA VERTICALE DI FONDAZIONI PROFONDE .....	12
5. CARICO LIMITE VERTICALE ALLA PUNTA DEL PALO .....	13
6. CARICO LIMITE VERTICALE LUNGO LA SUPERFICIE LATERALE DEL PALO .....	16
7. DETERMINAZIONE DEI CEDIMENTI DI FONDAZIONI PROFONDE .....	18
8. SIMBOLOGIA ADOTTATA NEI TABULATI DI CALCOLO .....	20
9. PARAMETRI DI CALCOLO .....	22
10. DATI GEOMETRICI DEGLI ELEMENTI COSTITUENTI LE FONDAZIONI PROFONDE .....	23
11. VALORI DI CALCOLO DELLA PORTANZA PER FONDAZIONI PROFONDE .....	24
12. VALORI DI CALCOLO DEI CEDIMENTI PER FONDAZIONI PROFONDE .....	26

## 1. PREMESSA

La finalità della presente relazione è quella di definire il comportamento meccanico del volume di terreno e gli aspetti geotecnici relativi alle strutture di fondazione utili per la progettazione definitiva di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte solare fotovoltaica della potenza nominale di 73 MW con annesso Sistema di Accumulo dell'energia prodotta (SdA), avente potenza nominale pari a 120 MW in agro di Sassari (SS).

In particolare, in questa relazione, saranno indagate le strutture di fondazione relative alle aree di impianto con particolare riferimento alle fondazioni profonde costituite da paletti in acciaio infissi nel terreno ed utili per sorreggere le strutture di sostegno dei moduli (tracker).

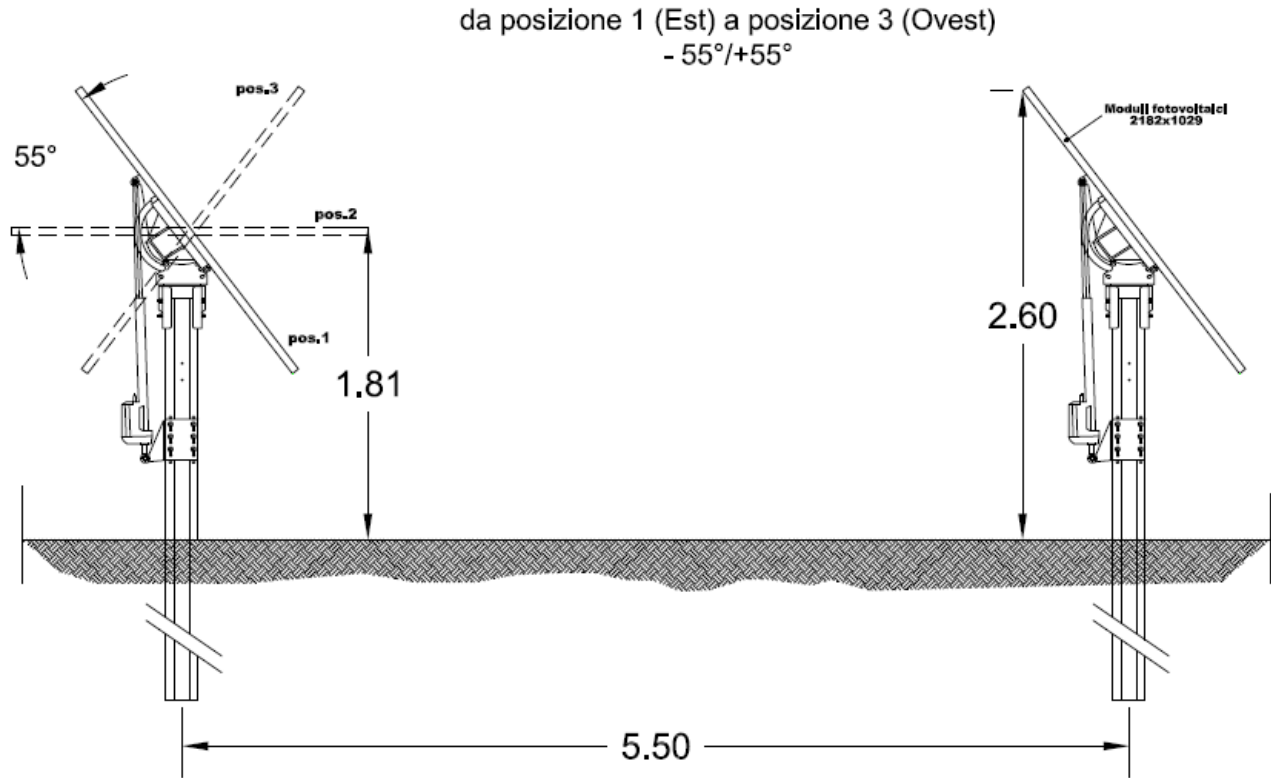


*Inquadramento generale su Ortofoto*

*In rosso sono indicate le aree recintate all'interno delle quali saranno installati i pannelli fotovoltaici.*

Le strutture di supporto dei moduli fotovoltaici saranno costituite da inseguitori (tracker) monoassiali, ovvero strutture di sostegno mobili che nell'arco della giornata "inseguono" il movimento del sole

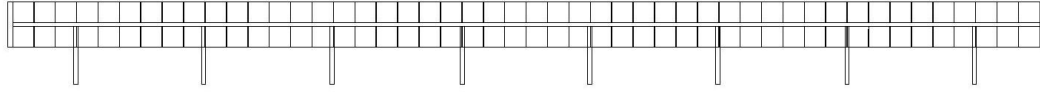
orientando i moduli fotovoltaici su di essi installati da est a ovest, con range di rotazione completo del tracker da est a ovest è pari a  $110^\circ$  ( $-55^\circ/+55^\circ$ ), come indicato in figura.



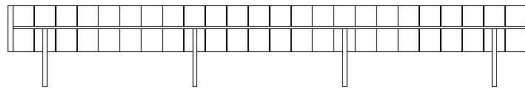
I moduli fotovoltaici, di dimensioni pari a 2.385 mm x 1.122 mm e peso pari a 30,3 kg, saranno installati sull'inseguitore su una sola fila con configurazione *portrait* (verticale rispetto l'asse di rotazione del tracker).

Il numero dei moduli posizionati su un inseguitore è variabile. Nell'impianto in progetto avremo inseguitori da 24 e 48 moduli.

## Tracker da 48 moduli. N° 8 pali di sostegno



## Tracker da 24 moduli. N° 4 pali di sostegno



Da un punto di vista strutturale il tracker è realizzato in acciaio da costruzione in conformità agli Eurocodici, con maggior parte dei componenti zincati a caldo. I tracker possono resistere fino a velocità del vento di 55 km/h, ed avviano la procedura di sicurezza (ruotando fin all'angolo di sicurezza) quando le raffiche di vento hanno velocità superiore a 50 km/h. L'angolo di sicurezza non è zero (posizione orizzontale) ma un angolo diverso da zero, per evitare instabilità dinamica ovvero particolari oscillazioni che potrebbero danneggiare i moduli ed il tracker stesso.

Per quanto attiene le fondazioni i tracker saranno fissati al terreno tramite pali infissi direttamente "battuti" nel terreno. La profondità standard di infissione è di 1,5 m, tuttavia in fase esecutiva in base alle caratteristiche del terreno ed ai calcoli strutturali tale valore potrebbe subire modifiche che tuttavia si prevede siano non eccessive. La scelta di questo tipo di inseguitore evita l'utilizzo di cemento e minimizza i movimenti terra per la loro installazione.



***Palo del tracker infisso nel terreno***



## 2. INDAGINI IN SITO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

### Pericolosità sismica

La definizione della pericolosità sismica di base secondo le NTC 2018 si determina attraverso un griglia regolare che copre tutto il territorio nazionale. Nei nodi della griglia l'INGV ha calcolato l'accelerazione sismica massima attesa e in conformità a quest'ultima sono calcolati i parametri di pericolosità sismica.

**ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA**

Legend values:  
 < 0.025  
 0.025-0.050  
 0.050-0.075  
 0.075-0.100  
 0.100-0.125  
 0.125-0.150  
 0.150-0.175  
 0.175-0.200  
 0.200-0.225  
 0.225-0.250  
 0.250-0.275  
 0.275-0.300  
 0.300-0.350  
 0.350-0.400  
 0.400-0.450  
 0.450-0.500  
 0.500-0.600  
 0.600-0.700

p.e. 10% in 50 anni

Nota: per il calcolo dei parametri sismici  
 1) inserire le coordinate geografiche 2) introdurre Vn e Cu

Per le isole è possibile utilizzare come località: gruppo isole N  
 [con N = 1,2,3,4,5]

Vertici della maglia elementare INGV [riferimento WGS84]

Id nodo	Longitudine	Latitudine	Distanza [km]

Coordinate geografiche [riferimento WGS84]

Località:

Longitudine:  Latitudine:

Applica la Risposta Sismica Locale

Parametri per le forme spettrali

	Pver	Tr	ag [g]	Fo	T*c
SLO	81	30	0.0186	2.610	0.273
SLD	63	50	0.0235	2.670	0.296
SLV	10	475	0.0500	2.880	0.340
SLC	5	975	0.0603	2.980	0.372

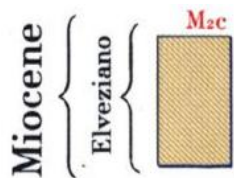
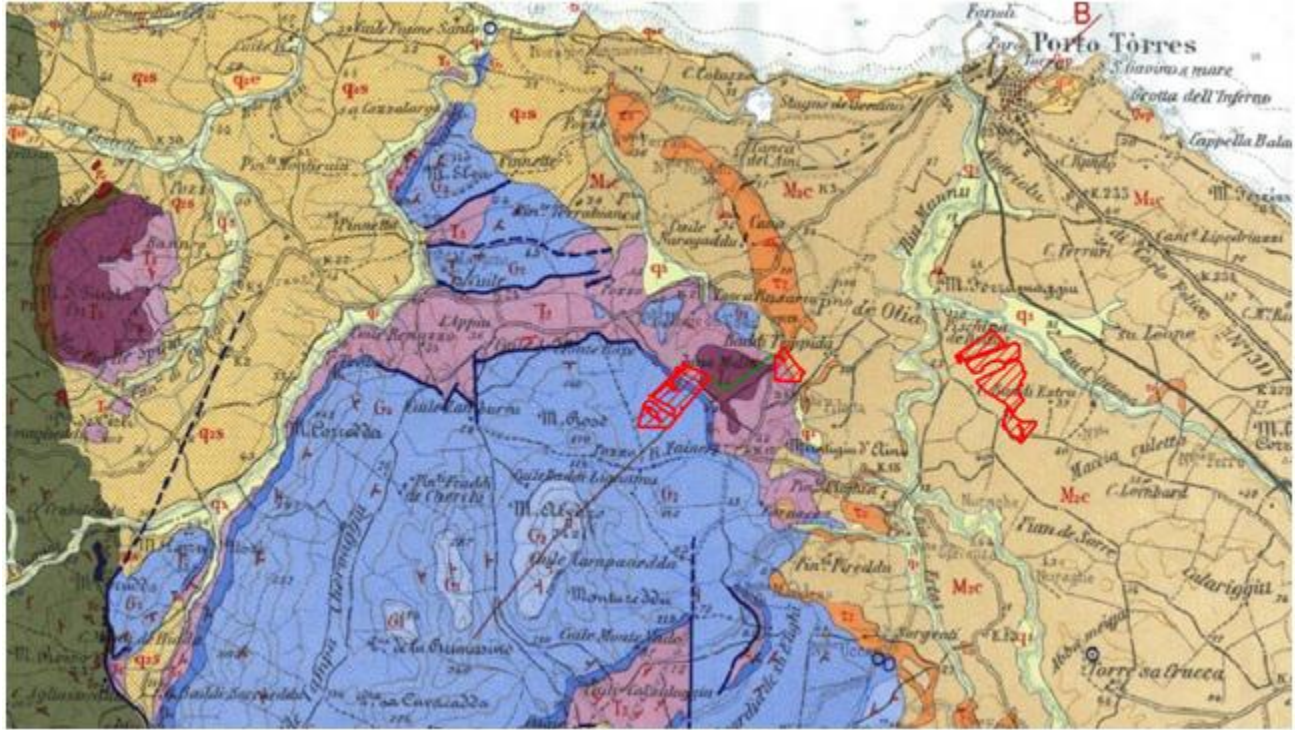
Periodo di riferimento per l'azione sismica

Vita Vn [anni]	Coefficiente uso Cu	Periodo Vr [anni]	Livello di sicurezza
<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="100"/>

Rimuovi limiti Vr e Tr (di norma NO)

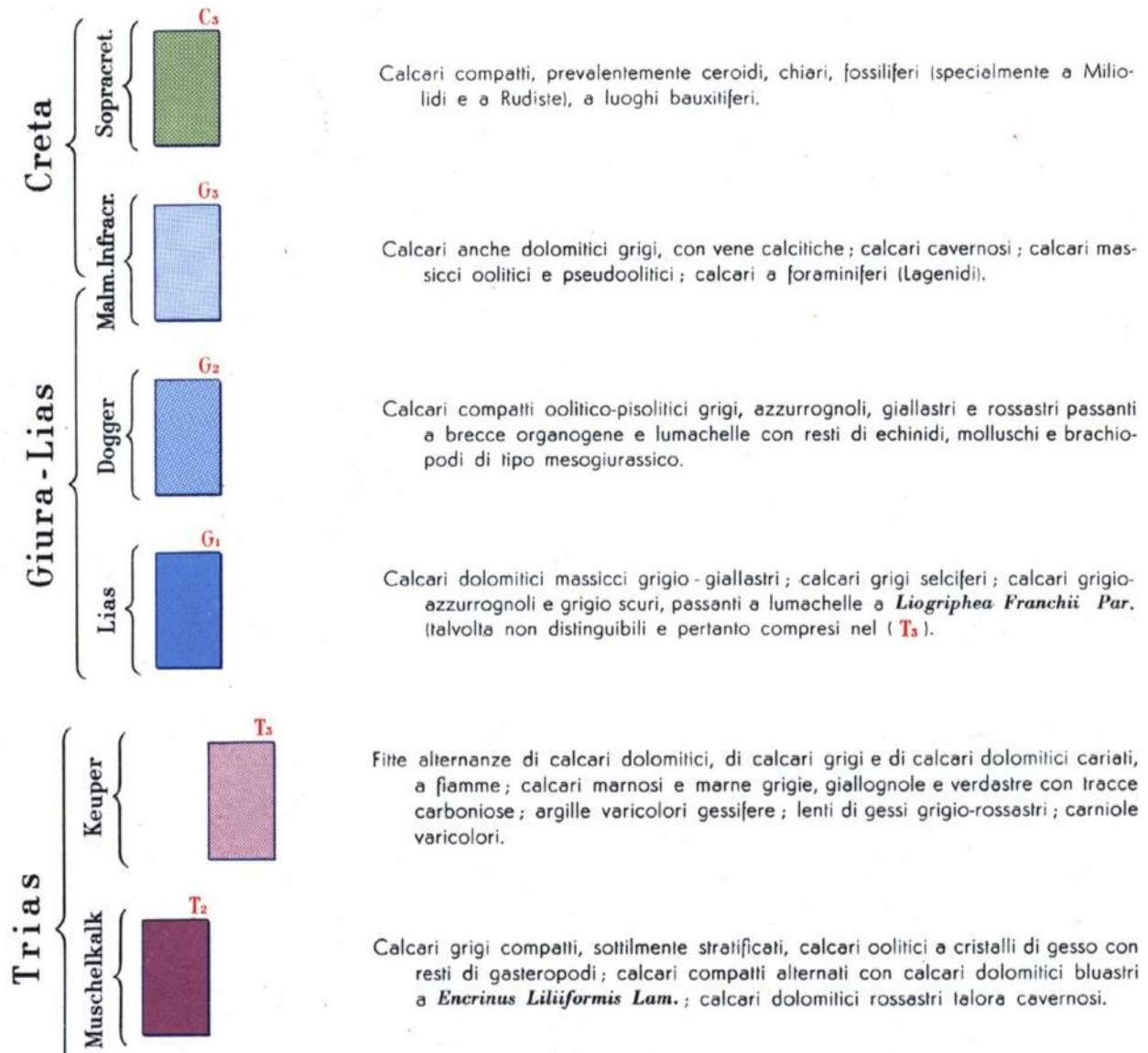
Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeomorfologico

L'area indagata è ubicata nel territorio comunale di Sassari (SS) e ricade nel Foglio 179 della Carta Geologica d'Italia 1:100.000.



Calcarei grossolani di detrito organico e calcari sabbiosi a molluschi, echinodermi, ecc.. Conglomerati, anche grossolani, della trasgressione mediomiocenica.





**Stralcio della Carta Geologica d'Italia – Foglio 179 – In rosso l'area di interesse**

Sebbene l'area sia inserita in un contesto caratterizzato da una morfologia blanda, le aree interessate dal progetto presentano tutte una morfologia pianeggiante e sub-pianeggiante sebbene a livello di area vasta si denota una morfologia degradante verso est, passando da 55 a 32 m s.l.m.; in ogni caso la morfologia è pianeggiante con categoria topografica T1.

### **Stratigrafia dell'area orientale**

La successione stratigrafica nell'area in esame è costituita da litologie del complesso sedimentario carbonatico marino, di età miocenica, ricoperto da spessori variabili di sedimenti e depositi quaternari. Il basamento, che struttura la regione con la caratteristica morfologia plano-collinare, è costituito da calcari detritici organogeni, grossolani, passanti verso la parte basale a depositi marnosi in genere a giacitura orizzontale o debolmente inclinata.

Subordinatamente si rinvengono, intercalate a queste litologie, livelli di calcari arenacei, arenarie e "sabbioni". Lo spessore del basamento raggiunge potenze ragguardevoli nell'ordine del centinaio di metri.

Le coperture quaternarie sono rappresentate da alluvioni recenti, presenti lungo l'alveo e nelle piane del Riu Mannu, mentre nelle aree più prossime alla linea di costa i sedimenti miocenici sono ricoperti, quando non affioranti, di spessori variabili di depositi eolici post-tirreniani costituiti da sabbioni e granuli silicei, ben cementati, a stratificazione incrociata.

### **Stratigrafia dell'area occidentale**

La porzione occidentale, ad ovest del Riu Mannu è caratterizzata dalla presenza in affioramento di Depositi carbonatici di piattaforma , dolomie e calcari dolomitici, calcari bioclastici, calcari oolitici, calcari selciferi, calcari micritici, calcari marnosi e marne; dolomie, dolomie marnose e marne con gessi e argille. Depositi carbonatici di piattaforma, calcari dolomitici e dolomie, dolomie arenacee, calcari e calcari marnosi con rare intercalazioni gessose. Trias medio-superiore e Lias.

### **Fondazioni**

Come rilevato nella relazione geologica del presente progetto, la formazione affiorante nell'area, mascherata da una copertura di terreno vegetale dello spessore variabile di 0,5-1,0 metri, è quella delle marne arenacee e siltose, arenarie, calcareniti e sabbie silicee nella porzione orientale dell'area (loc. Ponti Pizzinnu); affiorano invece dei calcari marnosi e dolomie cretacei nella porzione occidentale.

L'indagine geognostica è consistita nell'esecuzione di 5 profili sismici a rifrazione della lunghezza ciascuno di 33 metri, e di due profili sismici di tipo Masw (eseguiti sullo stendimento n.1 e sullo stendimento n.5).

I profili sismici a rifrazione hanno permesso di caratterizzare il terreno fondale e di attribuire alle sabbie silicee con livelli calcareo arenacei i seguenti parametri fisici e meccanici:

<b>Strato</b>	<b>V<sub>p</sub></b> (m/sec)	<b>V<sub>s</sub></b> (m/sec)	<b>v</b>	<b>E</b> (Kg/cmq)	<b>γ</b> (gr/cmc)	<b>c</b> (Kg/cmq)	<b>φ</b> (°)
<b>1</b>	200	-		-	-	-	-
<b>2</b>	1200	290	0.45	43.000	1.86	0.06	31

V<sub>p</sub> = vel. longit.; V<sub>s</sub> = vel trasv.; v = modulo di Poisson; E = modulo di elasticità;

γ = peso per unità di volume; c = coesione; φ = angolo di attrito

La porzione occidentale dell'impianto, dove affiorano le rocce carbonatiche, è caratterizzata dai seguenti parametri:

<b>Strato</b>	<b>V<sub>p</sub></b> (m/sec)	<b>V<sub>s</sub></b> (m/sec)	<b>v</b>	<b>E</b> (Kg/cmq)	<b>γ</b> (gr/cmc)	<b>c</b> (Kg/cmq)	<b>φ</b> (°)
<b>1</b>	300	-		-	-	-	-
<b>2</b>	2100	810	0.31	125.000	2.10	0.09	33

V<sub>p</sub> = vel. longit.; V<sub>s</sub> = vel trasv.; v = modulo di Poisson; E = modulo di elasticità;

γ = peso per unità di volume; c = coesione; φ = angolo di attrito

Le nuove norme tecniche ordinano che, nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, per tener conto di eventuali indeterminazioni, si devono dividere i valori dei parametri geotecnici, per i coefficienti parziali. Di seguito vengono riportati i coefficienti M1 ed M2 per le arenarie:

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_m$ <i>arenarie</i>	
	M1	M2
Tan $\phi'$	31	25.67
Cu	0.06	0.048
$\gamma$	1.86	1.86

Tan  $\phi'$  = tangente dell'angolo di resistenza al taglio ( $^\circ$ );  
 $\gamma$  = peso dell'unità di volume (g/cmc);  $c'$  = coesione non drenata (kg/cmq).

e per i calcari:

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_m$ <i>calcari</i>	
	M1	M2
Tan $\phi'$	33	27.45
Cu	0.09	0.072
$\gamma$	2.10	2.10

Tan  $\phi'$  = tangente dell'angolo di resistenza al taglio ( $^\circ$ );  
 $\gamma$  = peso dell'unità di volume (g/cmc);  $c'$  = coesione non drenata (kg/cmq).

Dalle sismiche eseguite con metodologia Masw è stata calcolata una  $V_{seq}$  di 512 m/sec la prova n.1 (loc. Ponti Pizzinnu) ne scaturisce che la categoria sismica di sottosuolo rilevata è la B, suolo sismico caratterizzato da **Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti**, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Nella porzione più occidentale, la prova Masw n. 2 ha permesso di osservare che il bedrock è presente già a partire dai primi metri del p.c., ciò significa che il suolo sismico è caratterizzato da **Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi** e quindi il suolo di fondazione rientra nella **categoria A**.

### 3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

In quanto di seguito riportato viene fatto esplicito riferimento alle seguenti Normative:

- **LEGGE n° 64 del 02/02/1974.** "Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche.";
- **D.M. LL.PP. del 11/03/1988.** "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.";
- **D.M. LL.PP. del 16/01/1996.** "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.";
- **Circolare Ministeriale LL.PP. n° 65/AA.GG. del 10/04/1997.** "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16/01/1996.";
- **Eurocodice 1 - Parte 1 -** "Basi di calcolo ed azioni sulle strutture - Basi di calcolo -.";
- **Eurocodice 7 - Parte 1 -** "Progettazione geotecnica - Regole generali -.";
- **Eurocodice 8 - Parte 5 -** "Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici -.";
- **D.M. 17/01/2018 - NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI**
- **Circolare n. 7 del 21/01/2019**

### 4. DETERMINAZIONE DELLA PORTANZA VERTICALE DI FONDAZIONI PROFONDE

Per la determinazione della portanza verticale di fondazioni profonde si fa riferimento a due contributi: la "portanza di punta" e la "portanza per attrito laterale". Queste due componenti in genere sono calcolate in maniera autonoma dato che risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico è assorbita dall'attrito laterale e quanta dalla resistenza alla punta. Nel seguito, ai fini del calcolo della portanza verticale, si assumeranno le seguenti espressioni generali valide per il caso di palo soggetto a compressione e per il caso di palo soggetto a trazione (nel calcolo della portanza verticale è possibile tenere in conto tutti o solo uno dei contributi su definiti):

$$Q_C = \frac{Q_P}{\eta_P} + \frac{Q_L}{\eta_L} - W_{ATT.NEG.} - W_P \quad (\text{caso di palo in compressione}) \quad Q_T$$
$$= \frac{Q_L}{\eta_L} + W_P \quad (\text{caso di palo in trazione})$$

dove i simboli su riportati hanno il seguente significato:

- $Q_C$  resistenza a compressione del palo
- $Q_T$  resistenza a trazione del palo
- $Q_P$  carico limite verticale alla punta del palo
- $Q_L$  carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo
- $W_{ATT.NEG.}$  attrito negativo agente sul palo
- $W_P$  peso totale del palo
- $\eta_P$  coefficiente di sicurezza per carico limite verticale alla punta del palo
- $\eta_L$  coefficiente di sicurezza per carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo

I valori del carico limite verticale alla punta del palo " $Q_P$ " e del carico limite verticale lungo la superficie laterale



del palo " $Q_L$ " sono determinati con le note "formule statiche". Queste esprimono i valori di cui sopra in funzione della geometria del palo, delle caratteristiche geotecniche del terreno in cui è immerso, della modalità esecutiva e dell'interfaccia palo-terreno.

Di seguito si illustrano le metodologie con le quali saranno determinati i valori prima citati; è necessario tenere presente che tali metodi sono riferiti al calcolo del "singolo palo" e per estendere tale modalità computazione al caso di "pali in gruppo" si farà ricorso ai "coefficienti d'efficienza", in questo modo si potrà tenere in debito conto l'interferenza reciproca che i pali esercitano.

## 5. CARICO LIMITE VERTICALE ALLA PUNTA DEL PALO

Il valore del carico limite verticale alla punta del palo, indipendentemente dal metodo utilizzato per la sua determinazione, è condizionato dalla modalità esecutiva. Esso varia notevolmente a seconda che il palo sia del tipo "infisso" o "trivellato" poiché le caratteristiche fisico-meccaniche del terreno circostante il palo variano in seguito alle operazioni d'installazione. Di conseguenza, per tenere conto della modalità esecutiva nel calcolo dei coefficienti di portanza, si propone di modificare il valore dell'angolo di resistenza a taglio secondo quanto suggerito da Kishida (1967):

$$\phi_{cor} = \frac{\phi + 40}{2} \quad (\text{per pali infissi}) \qquad \phi_{cor} = \phi - 3^\circ \quad (\text{per pali trivellati})$$

Con la correzione di cui sopra si determineranno i fattori adimensionali di portanza che sono presenti nella relazione per la determinazione del carico limite verticale alla punta che assume la seguente espressione:

$$Q_p = A_p \cdot (q_p \cdot N_q^* + c \cdot N_c^*)$$

dove i simboli su riportati hanno il seguente significato:

- $A_p$  superficie portante efficace della punta del palo
- $q_p$  pressione del terreno presente alla punta del palo
- $c$  coesione del terreno alla punta del palo (nel caso di condizione non drenata  $c = c_u$ )
- $N_q^*, N_c^*$  fattori adimensionali di portanza funzione dell'angolo d'attrito interno  $\phi_{cor}$  del terreno già corretti

In letteratura esistono diverse formulazioni per il calcolo dei fattori adimensionali di portanza, di seguito si riportano quelle che sono state implementate:

### Formulazione di Meyerhof per base poggiate su terreni sciolti (1951)

- se  $\phi \neq 0$  (condizione drenata) si ha:

$$\begin{aligned} N_q &= \text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \text{tg}(\phi)} & N_c &= (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi) \\ s_q &= 1 + 0.1 \cdot \text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) & s_c &= 1 + 0.2 \cdot \text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \end{aligned} \quad (\text{fattori di forma})$$

$$d_q = 1 + 0.1 \cdot \frac{L}{D} \cdot \sqrt{\text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)} \quad d_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{L}{D} \cdot \sqrt{\text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)} \quad (\text{fattori d'approfondimento})$$

$$N_q^* = N_q \cdot s_q \cdot d_q \qquad N_c^* = N_c \cdot s_c \cdot d_c$$

- se  $\phi = 0$  (condizione non drenata) si ha:

$$\begin{aligned} N_q &= 1.00 & N_c &= \pi + 2 \\ s_q &= 1.00 & s_c &= 1.20 \end{aligned} \quad (\text{fattori di forma})$$

$$d_q = 1.00 \qquad d_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{L}{D} \quad (\text{fattori d'approfondimento})$$

$$N_q^* = N_q \cdot s_q \cdot d_q$$

$$N_c^* = N_c \cdot s_c \cdot d_c$$

**Formulazione di Hansen per base poggiate su terreni sciolti (1970)**

se  $\varphi \neq 0$  (condizione drenata) si ha:

$$N_q = \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \cdot e^{\pi \cdot \text{tg}(\phi)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi)$$

$$s_q = 1 + \text{tg}(\phi)$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c}$$

(fattori di forma)

$$d_q = 1 + 2 \cdot \text{tg}(\phi) \cdot (1 - \text{sen}(\phi))^2 \cdot \theta \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \theta$$

(fattori d'approfondimento)

dove: se  $\frac{L}{D} \leq 1 \Rightarrow \theta = \frac{L}{D}$ , se  $\frac{L}{D} > 1 \Rightarrow \theta = \text{arctg}\left(\frac{L}{D}\right)$

$$N_q^* = N_q \cdot s_q \cdot d_q$$

$$N_c^* = N_c \cdot s_c \cdot d_c$$

se  $\varphi = 0$  (condizione non drenata) si ha:

$$N_q = 1.00$$

$$N_c = \pi + 2$$

$$s_q = 1.00$$

$$s_c = 1.20$$

(fattori di forma)

$$d_q = 1.00$$

$$d_c = 1 + 0.4 \cdot \theta$$

(fattori d'approfondimento)

$$N_q^* = N_q \cdot s_q \cdot d_q$$

$$N_c^* = N_c \cdot s_c \cdot d_c$$

**Formulazione di Zeevaert per base poggiate su terreni sciolti (1972)**

se  $\varphi \neq 0$  (condizione drenata) si ha:

$$N_q^* = \frac{\cos^2(\phi)}{2 \cdot \cos^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)} \cdot e^{\left(\frac{\pi}{2} + \phi\right) \cdot \text{tg}(\phi)}$$

$$N_c^* = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi)$$

se  $\varphi = 0$  (condizione non drenata) si ha:

$$N_q^* = 1.00$$

$$N_c^* = 9.00$$

**Formulazione di Berezantzev per base poggiate su terreni sciolti (1970)**

Berezantzev fa riferimento ad una superficie di scorrimento "alla Terzaghi" che si arresta sul piano della punta del palo. Inoltre considera il cilindro di terreno coassiale al palo (avente diametro pari all'estensione in sezione della superficie di scorrimento) in parte sostenuto da tensioni tangenziali dal rimanente terreno presente lungo la superficie laterale del cilindro. Conseguentemente il valore della pressione presente alla punta del palo è inferiore alla corrispondente pressione litostatica ed è influenzata dal rapporto tra la profondità alla quale è posta la punta "L" del palo e il diametro "D" dello stesso. Quindi il valore di  $N_q$  è influenzato da questo effetto "Silo". I valori che l'autore propone sono:

se  $\varphi \neq 0$  (condizione drenata) si ha:

Valori di  $N_q^*$  per pali di diametro fino a 80.0 cm.

L/D	8°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°	50°
4	1.07	2.18	3.15	4.72	7.15	10.73	15.85	22.95	32.62	45.56	62.69	85.18	114.53	152.71	202.32	266.82	350.86	460.79	605.36
12	1.04	1.77	2.46	3.64	5.52	8.42	12.71	18.85	27.44	39.21	55.07	76.20	104.13	140.81	188.86	251.72	334.05	442.17	584.82
20	1.03	1.63	2.20	3.20	4.82	7.38	11.22	16.82	24.76	35.79	50.83	71.06	98.01	133.65	180.59	242.29	323.39	430.21	571.48
28	1.03	1.54	2.05	2.93	4.40	6.72	10.26	15.48	22.96	33.43	47.84	67.37	93.54	128.35	174.39	235.13	315.21	420.95	561.08
36	1.02	1.49	1.94	2.75	4.10	6.26	9.57	14.49	21.60	31.64	45.53	64.48	90.00	124.10	169.36	229.27	308.46	413.26	552.38
50	1.02	1.42	1.82	2.53	3.74	5.68	8.70	13.23	19.84	29.27	42.45	60.56	85.14	118.18	162.30	220.95	298.80	402.16	539.74
75	1.02	1.35	1.69	2.30	3.33	5.02	7.69	11.74	17.73	26.37	38.58	55.55	78.82	110.38	152.84	209.67	285.53	386.74	522.01
100	1.01	1.31	1.61	2.14	3.07	4.60	7.02	10.74	16.28	24.34	35.84	51.95	74.19	104.56	145.68	201.02	275.23	374.64	507.95
200	1.01	1.22	1.44	1.84	2.54	3.71	5.60	8.56	13.05	19.73	29.43	43.30	62.82	89.95	127.29	178.30	247.63	341.59	468.90
500	1.01	1.14	1.29	1.55	2.02	2.82	4.14	6.24	9.50	14.45	21.83	32.64	48.25	70.49	101.85	145.69	206.57	290.75	406.87

Valori di  $N_q^*$  per pali di diametro maggiore a 80.0 cm.

$\Lambda/\Delta$	8°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°	50°
4	1.16	3.09	3.95	5.04	6.44	8.22	10.50	13.41	17.12	21.87	27.92	35.65	45.53	58.14	74.24	94.80	121.05	154.57	197.38
12	1.21	3.14	3.98	5.05	6.42	8.14	10.34	13.13	16.68	21.18	26.90	34.17	43.41	55.15	70.07	89.03	113.13	143.77	182.72
20	1.26	3.18	4.01	5.06	6.39	8.06	10.18	12.85	16.23	20.49	25.88	32.69	41.29	52.16	65.89	83.26	105.21	132.97	168.06
28	1.30	3.22	4.04	5.07	6.36	7.99	10.02	12.57	15.78	19.81	24.86	31.20	39.17	49.16	61.72	77.49	97.29	122.16	153.40
36	1.35	3.27	4.07	5.08	6.34	7.91	9.86	12.30	15.33	19.12	23.84	29.72	37.04	46.17	57.55	71.72	89.38	111.36	138.75
44	1.39	3.31	4.10	5.09	6.31	7.83	9.70	12.02	14.88	18.43	22.81	28.23	34.92	43.18	53.38	65.95	81.46	100.56	124.09
52	1.44	3.35	4.14	5.10	6.29	7.75	9.54	11.74	14.44	17.74	21.79	26.75	32.80	40.19	49.21	60.18	73.54	89.76	109.43
56	1.46	3.37	4.15	5.10	6.27	7.71	9.46	11.60	14.21	17.40	21.28	26.00	31.74	38.70	47.12	57.30	69.58	84.36	102.10
60	1.49	3.39	4.17	5.11	6.26	7.67	9.38	11.46	13.99	17.06	20.77	25.26	30.68	37.20	45.03	54.42	65.62	78.96	94.77
65	1.51	3.42	4.19	5.12	6.25	7.62	9.28	11.29	13.71	16.63	20.13	24.33	29.35	35.33	42.43	50.81	60.67	72.21	85.61

$$N_c^* = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi)$$

se  $\phi = 0$  (condizione non drenata) si ha:

$$N_q^* = 1.00 \qquad N_c^* = 9.00$$

**Formulazione di Vesic per base poggiate su terreni sciolti (1975)**

se  $\phi \neq 0$  (condizione drenata) si ha:

$$N_q^* = \frac{3}{3 - \text{sen}(\phi)} \cdot \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \cdot I_{rr}^{\frac{4 \cdot \text{sen}(\phi)}{8 \cdot (1 + \text{sen}(\phi))}} \cdot e^{\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) \cdot \text{tg}(\phi)} \qquad N_c^* = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi)$$

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + \varepsilon_v \cdot I_r} \qquad \varepsilon_v = \frac{q_p \cdot \alpha}{E_t} \cdot \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2 \cdot \nu)}{(1 - \nu)} \qquad I_r = \frac{E_t}{2 \cdot (1 + \nu) \cdot (c + q_p \cdot \alpha \cdot \text{tg}(\phi))}$$

se  $\phi = 0$  (condizione non drenata) si ha:

$$N_q^* = 1.00 \qquad N_c^* = \frac{4}{3} \cdot (\log_n(I_{rr}) + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$$

dove i simboli su riportati hanno il seguente significato:

- $E_t$  modulo elastico del terreno alla profondità della punta del palo
- $\nu$  coefficiente di Poisson del terreno alla profondità della punta del palo
- $\alpha$  coefficiente di riduzione della pressione del terreno presente alla profondità della punta del palo

Nel caso in cui si scelga di effettuare la riduzione della pressione del terreno presente alla profondità della punta del palo (cioè  $\alpha \neq 1$ ) il coefficiente di riduzione " $\alpha$ " assume la seguente espressione:

$$\alpha = \frac{1 + 2 \cdot K_0}{3} \qquad \text{dove: se } \phi \neq 0 \Rightarrow K_0 = 1 - \text{sen}(\phi); \qquad \text{se } \phi = 0 \Rightarrow K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

**Formulazione di Janbu per base poggiate su terreni sciolti (1976)**

se  $\phi \neq 0$  (condizione drenata) si ha:

$$N_q^* = \left(\text{tg}(\phi) + \sqrt{1 + \text{tg}^2(\phi)}\right)^2 \cdot e^{2 \cdot \vartheta \cdot \text{tg}(\phi)} \qquad N_c^* = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi)$$

$$\vartheta = 60 + 0.45 \cdot Dr \qquad \text{dove "Dr" è la densità relativa del terreno.}$$

se  $\phi = 0$  (condizione non drenata) si ha:

$$N_q^* = 1.00 \qquad N_c^* = 5.74$$

**Formulazione di Terzaghi per base poggiate su roccia (1943)**

Per la determinazione del carico limite nel caso di presenza di ammasso roccioso bisogna valutare molto attentamente il grado di solidità della roccia stessa. Tale valutazione viene in genere eseguita stimando l'indice RQD (Rock Quality Designation) che rappresenta una misura della qualità di un ammasso roccioso. Tale indice può variare da un minimo di 0 (caso in cui la lunghezza dei pezzi di roccia estratti dal carotiere è inferiore a 100

mm) ad un massimo di 1 (caso in cui la carota risulta integra) ed è calcolato nel seguente modo:

$$RQD = \frac{\sum \text{lunghezze dei pezzi di roccia intatta} > 100\text{mm}}{\text{lunghezza del carotiere}}$$

Se il valore di  $RQD$  è molto basso la roccia è molto fratturata ed il calcolo della capacità portante dell'ammasso roccioso va condotto alla stregua di un terreno sciolto utilizzando tutte le formulazioni sopra descritte.

$$N_q = \frac{e^{2 \cdot \left(\frac{3 \cdot \pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \cdot \text{tg}(\phi)}}{2 \cdot \cos^2\left(\frac{\pi + \phi}{4}\right)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi) \quad \text{se } \phi = 0 \Rightarrow N_c = \frac{3}{2} \cdot \pi + 1$$

$$s_q = 1.00 \quad s_c = 1.30 \quad (\text{fattori di forma})$$

$$N_q^* = RQD^2 \cdot N_q \cdot s_q \quad N_c^* = RQD^2 \cdot N_c \cdot s_c$$

**Formulazione di Stagg-Zienkiewicz per base poggiate su roccia (1968)**

$$N_q = \text{tg}^6\left(\frac{90^\circ + \phi}{2}\right) \quad N_c = 5 \cdot \text{tg}^4\left(\frac{90^\circ + \phi}{2}\right)$$

$$s_q = 1.00 \quad s_c = 1.30 \quad (\text{fattori di forma})$$

$$N_q^* = RQD^2 \cdot N_q \cdot s_q \quad N_c^* = RQD^2 \cdot N_c \cdot s_c$$

## 6. CARICO LIMITE VERTICALE LUNGO LA SUPERFICIE LATERALE DEL PALO

Il valore del carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo è dato dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali che si sviluppano all'interfaccia palo-terreno in condizioni limite:

$$Q_L = \int_{\Gamma} \tau_{lim} \cdot d\Gamma = \int_0^L (c_a + \sigma_h \cdot \text{tg}(\delta)) \cdot P_{lat} \cdot dz$$

dove i simboli sopra riportati hanno il seguente significato:

- $\chi_a$       adesione all'interfaccia terreno-palo alla generica profondità "z"
- $\sigma_h$       tensione orizzontale alla generica profondità "z"
- $\delta$         angolo di resistenza a taglio all'interfaccia terreno-palo alla generica profondità "z"
- $\Pi_{lat}$      perimetro della sezione trasversale del palo alla generica profondità "z"
- $L$         sviluppo longitudinale del palo

Analogamente al carico limite alla punta, anche il valore del carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo varia notevolmente a seconda che esso sia del tipo "infisso" o "trivellato" a causa del diverso comportamento del terreno circostante in palo. Conseguentemente i parametri sopra riportati possono essere correlati da leggi diverse in funzione delle modalità di esecuzione del palo. Di seguito si descrivono quelle che sono state implementate.

L'adesione " $c_a$ " è correlata alla coesione " $c$ " nel caso di condizioni drenate; oppure alla coesione non drenata " $c_u$ " nel caso di condizioni non drenate, per mezzo del coefficiente d'adesione " $\psi$ " secondo la seguente relazione:

$$c_a = c_* \cdot \psi \quad \text{dove: } c_* = c \text{ (in condizione drenata);}$$

$$c_* = c_u \text{ (in condizione non drenata).}$$

Esprimendo il valore di "c" in N/cm<sup>2</sup>, il coefficiente d'adesione "ψ" può assumere i seguenti valori:

**Caquot-Kerisel (consigliato per pali trivellati)**

$$\psi = \frac{100 + c_*^2}{100 + 7 \cdot c_*^2}$$

**Meyerhof-Murdock (consigliato per pali trivellati)**

$$\text{se } c_* \leq 5.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 1.000 - 0.100 \cdot c_*$$

$$\text{se } c_* > 5.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.525 - 0.005 \cdot c_*$$

**Whitaker-Cooke (consigliato per pali trivellati)**

$$\text{se } c_* \leq 2.50 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.90$$

$$\text{se } 2.50 < c_* \leq 5.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.80$$

$$\text{se } 5.00 < c_* \leq 7.50 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.60$$

$$\text{se } c_* > 7.50 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.40$$

**Woodward (consigliato per pali trivellati)**

$$\text{se } c_* \leq 4.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.90$$

$$\text{se } 4.00 < c_* \leq 8.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.60$$

$$\text{se } 8.00 < c_* \leq 12.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.50$$

$$\text{se } 12.00 < c_* \leq 20.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.40$$

$$\text{se } c_* > 20.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.30$$

**Viggiani e altri (consigliato per pali infissi)**

$$\text{se } c_* \leq 5.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 1.00$$

$$\text{se } 5.00 < c_* \leq 10.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.70$$

$$\text{se } 10.00 < c_* \leq 15.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.50$$

$$\text{se } 15.00 < c_* \leq 20.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.40$$

$$\text{se } c_* > 20.00 \text{ N/cm}^2 \Rightarrow \psi = 0.30$$

Il valore della tensione orizzontale "σ<sub>h</sub>" è correlato al valore della pressione verticale "σ<sub>v</sub>" per mezzo del coefficiente di spinta orizzontale "K<sub>s</sub>" secondo la seguente relazione:

$$\sigma_h = \sigma_v \cdot K_s$$

Il valore di "K<sub>s</sub>" dipende essenzialmente dal tipo di terreno e dal suo stato d'addensamento nonché dalla tecnologia utilizzata per l'installazione.

Il programma permette di scegliere tra differenti teorie per il calcolo di K<sub>s</sub>.

Opzione 1:

Metodo "Tomlinson (1971)"

K<sub>s</sub> può variare da un limite inferiore pari al coefficiente di spinta a riposo "K<sub>0</sub>" fino a valori prossimi al coefficiente di spinta passiva "K<sub>p</sub>"; i valori proposti sono:

pali trivellati:  $K_s = K_0 = 1 - \text{sen}(\phi)$

pali infissi:  $K_s = \text{variabile da: } K_p = 1 + \text{tg}^2(\phi) \text{ in sommità fino a } K_0 = 1 - \text{sen}(\phi) \text{ alla punta}$

Opzione 2:

Metodo di "Kulhavy (1983)"



pali trivellati:  $K_s = \alpha K_0$  con  $\alpha$  variabile tra 2/3 e 1

pali infissi:  $K_s = \alpha K_0$  con  $\alpha$  variabile da 3/4, per compattazione del terreno trascurabile, fino a 2, nel caso di compattazione significativa.

Il valore dell'angolo di resistenza al taglio all'interfaccia terreno-palo " $\delta$ " è funzione della scabrezza della superficie del palo e quindi della modalità esecutiva; i valori proposti sono:

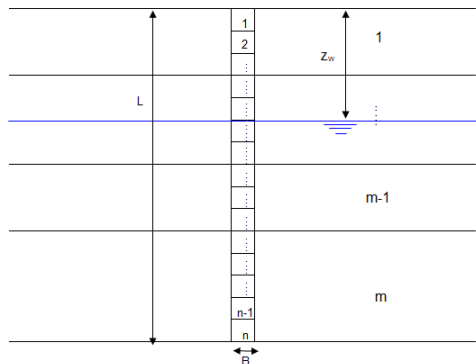
$$\delta = \arctg(\tg(\phi)) \quad (\text{per pali trivellati}) \quad \delta = \arctg\left(\frac{3}{4} \cdot \tg(\phi)\right) \quad (\text{per pali infissi})$$

## 7. DETERMINAZIONE DEI CEDIMENTI DI FONDAZIONI PROFONDE

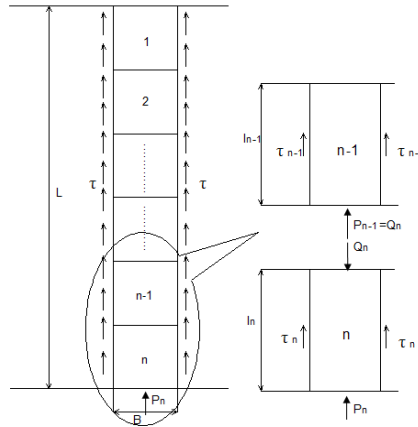
Per la determinazione del comportamento del palo singolo sottoposto a carichi applicati alla sommità, si fa riferimento all'approccio semiempirico delle curve di trasferimento (Coyle e Reese (1966)). Il metodo delle curve di trasferimento è basato su dati provenienti da prove di carico su pali strumentati; elaborando tali dati è possibile costruire le curve di trasferimento che legano la tensione tangenziale mobilitata all'interfaccia palo-terreno lungo un concio del palo con lo spostamento relativo.

La curva di trasferimento si ottiene con una procedura che prevede i seguenti passi:

1. Suddivisione del palo in n conci



2. Definizione della resistenza limite del palo sulla base delle caratteristiche geometriche e delle caratteristiche del terreno. In presenza di terreno stratificato la resistenza sarà uguale alla sommatoria delle resistenze limite di ogni strato di terreno attraversato dal palo.
3. Si assegna all'estremità inferiore del palo (concio n) un cedimento  $W_p$ .
4. Si considera la curva di trasferimento appropriata (carico alla punta-cedimento) in base alla tecnologia costruttiva e al tipo di terreno presente e, noto il cedimento  $W_p$ , si ricava il carico alla punta  $P_n$ .



5. Si ipotizza che il cedimento alla base del concio  $W_p$  sia uguale al cedimento  $W_n$  che si verifica a metà del concio ( $W_p=W_n$ ).
6. Con il valore di  $W_n$  si entra nell'appropriata curva di trasferimento (carico laterale-cedimento) e, nota la resistenza tangenziale limite, si ricava la tensione tangenziale mobilitata.
7. Il carico  $Q_n$  agente sulla sommità del concio n-esimo è dato da:

$$Q_n = P_n + \tau_n \pi B l$$

Dove:

$$l = \frac{L}{n}$$

8. Si calcola l'abbassamento elastico in corrispondenza della metà del concio n

$$V_n = \frac{Q_n + P_n}{2} \frac{2l}{\pi B^2 E_p}$$

9. Si somma il valore calcolato di  $V_n$  con il valore di cedimento  $W_p$  ipotizzato inizialmente:

$$W_n' = V_n + W_p$$

10. Se il valore  $Wn'$  differisce in maniera significativa dal valore di  $Wn$  si riparte da passo 3 entrando nella curva di trasferimento con il valore di  $Wn'$ .

11. Quando si ottiene la giusta convergenza si passa a considerare il concio (n-1) e così via fino ad arrivare alla testa del palo.

Il risultato di questa procedura è una curva carico-cedimento con la quale è possibile ricavare i cedimenti sulla base del carico applicato.

## 8. SIMBOLOGIA ADOTTATA NEI TABULATI DI CALCOLO

Per maggior chiarezza nella lettura dei tabulati di calcolo viene riportata la descrizione dei simboli principali utilizzati nella stesura degli stessi. Per comodità di lettura la legenda è suddivisa in paragrafi con la stessa modalità in cui sono stampati i tabulati di calcolo.

### ***Dati geometrici degli elementi costituenti le fondazioni profonde***

- X elem. ascissa nel riferimento globale dell'elemento
- Y elem. ordinata nel riferimento globale dell'elemento
- Profon. profondità del piano di posa dell'elemento a partire dal piano campagna
- Base larghezza della sezione trasversale dell'elemento
- Lungh. dimensione dello sviluppo longitudinale dell'elemento
- Altezz. altezza della sezione trasversale dell'elemento
- Rotaz. rotazione dell'elemento rispetto al suo baricentro
- Grup. ap. nel caso cui l'elemento faccia parte di una palificata, rappresenta il numero identificativo della stessa
  
- Ind. Strat. indice della stratigrafia associata all'elemento
- Tip. iniez. tipologia d'iniezione dei micropali ai fini del calcolo della portanza secondo le raccomandazioni di Bustamante e Doix (No iniez. = assenza d'iniezione, Iniez.uni. = iniezione unica, Iniez.rip. = iniezione ripetuta)
  
- Tip. ter. tipologia di terreno ai fini del calcolo della portanza secondo le raccomandazioni di Bustamante e Doix (Coes. = coesivo, Inc. = incoerente)
  
- Dia. P. diametro fusto del palo
- Lun. P. lunghezza totale del palo
- Lun. L. lunghezza tratto del palo senza contributo di terreno
- Dis. P. distanza del baricentro del palo dal bordo del plinto
- In. Px interasse principale del palo
- In. Py interasse secondario del palo
- Dia. B. diametro bulbo del palo
- Lun. B. lunghezza della sbulbatura del palo
- E.C.V. coefficiente d'efficienza per carico limite verticale del singolo palo
- E.C.C. coefficiente d'efficienza per carico critico verticale del singolo palo
- E.C.T. coefficiente d'efficienza per carico limite trasversale del singolo palo
- Svin. testa codice di svincolo alla rotazione in testa al palo (0 = non attivo, 1 = attivo)
- Vin. piede codici di vincolo rispettivamente alla rotazione orizzontale, traslazione orizzontale e traslazione verticale applicabili al piede del palo (0 = non attivo, 1 = attivo)
  
- Asc. X' ascissa del baricentro del singolo palo dell'elemento nel riferimento locale con origine nel

- Asc. Y' baricentro del plinto  
ordinata del baricentro del singolo palo dell'elemento nel riferimento locale con origine nel baricentro del plinto
- Peso spec. peso specifico del palo
- Mod. El. Pa. modulo elastico normale del palo

#### **Dati di carico degli elementi costituenti le fondazioni profonde**

- Cmb numero della combinazione di carico
- Tipologia tipologia della combinazione di carico
- Sismica flag per l'applicazione della riduzione sismica alle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione per la combinazione di carico in esame
- S. Normale sollecitazione normale agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Tagliante X' sollecitazione tagliante lungo l'asse X' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Tagliante Y' sollecitazione tagliante lungo l'asse Y' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Flessionale X' sollecitazione flessionale lungo l'asse X' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Flessionale Y' sollecitazione flessionale lungo l'asse Y' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Torsionale sollecitazione torsionale agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)

#### **Valori di calcolo per le fondazioni profonde**

- Port. punta carico limite verticale alla punta del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- Port. lat. carico limite verticale lungo la superficie laterale del fusto del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- Port. bulbo carico limite verticale lungo la superficie laterale del bulbo del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- C. Critico carico critico per l'instabilità del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- Attr. Neg. attrito negativo agente sul palo (valore su singolo palo)
- Peso Palo peso totale del singolo palo
- Cmb numero e tipologia della combinazione di carico
- S. Norm. sollecitazione normale agente alla testa del palo in esame
- V. V. Com. resistenza a compressione del palo in esame (corretto dal relativo coefficiente di sicurezza)
- V. V. Tra. resistenza a trazione del palo in esame (corretto dal relativo coefficiente di sicurezza)
- Ver. Com. rapporto tra la sollecitazione normale agente alla testa del palo e la sua resistenza a compressione (verifica positiva se il rapporto è  $< 1.0$ )
- Ver. Tra. rapporto tra la sollecitazione normale agente alla testa del palo e la sua resistenza a trazione (verifica positiva se il rapporto è  $< 1.0$ )
- S. Tagl. sollecitazione tagliante agente alla testa del palo
- S. Fles. sollecitazione flessionale agente alla testa del palo
- V. V. Trs. resistenza trasversale del palo in esame (corretto dal relativo coefficiente di sicurezza)
- Ver. Tra. rapporto tra la sollecitazione tagliante agente alla testa del palo e la sua resistenza

- Ced. V. trasversale (verifica positiva se il rapporto è  $< 1.0$ )  
cedimento verticale in corrispondenza della testa del palo
- Ced. H. cedimento orizzontale in corrispondenza della testa del palo

## 9. PARAMETRI DI CALCOLO

### Modalità di calcolo della portanza verticale per fondazioni profonde:

Per elementi con pali: Portanza di punta e laterale

Per elementi con micropali: Portanza di punta e laterale

### Metodi di calcolo della portanza di punta per fondazioni profonde:

Per terreni sciolti: Vesic

Riduzione della tensione litostatica: No

Per terreni lapidei: Terzaghi

Riduzione di Kishida per pali battuti o trivellati: Si

Metodo di calcolo del coefficiente di spinta orizzontale  $K_s$ : Tomlinson

### Coefficienti parziali e totali di sicurezza per Tensioni Ammissibili e S.L.E. nel calcolo della portanza per fondazioni profonde:

Coeff. di sicurezza alla punta: 2,50

Coeff. di sicurezza lungo il fusto: 2,50

Coeff. di sicurezza lungo il bulbo: 2,50

Coeff. di sicurezza per palo in trazione: 2,50

### Combinazioni di carico:

#### APPROCCIO PROGETTUALE TIPO 2 - Comb. (A1+M1+R3)

Coefficienti parziali e totali di sicurezza per S.L.U. nel calcolo della portanza per pali trivellati:

I coeff. A1 risultano combinati secondo lo schema presente nella relazione di calcolo della struttura.

- Coeff. M1 per  $\tan \phi$  (statico): 1

- Coeff. M1 per  $c'$  (statico): 1

- Coeff. M1 per  $C_u$  (statico): 1

- Coeff. M1 per  $\tan \phi$  (sismico): 1

- Coeff. M1 per  $c'$  (sismico): 1

- Coeff. M1 per  $C_u$  (sismico): 1

- Coeff. R3 base: 1,35

- Coeff. R3 laterale in compressione: 1,15

- Coeff. R3 laterale in trazione: 1,25

Fattore di correlazione: 1,70



## 10.DATI GEOMETRICI DEGLI ELEMENTI COSTITUENTI LE FONDAZIONI PROFONDE

### Elemento: 1 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.					
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.					
295,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	1	001					
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.	Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm				codice	codice	
20,0	150,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00	0	0; 0; 1	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'											
n.	cm	cm											
1	0,0	0,0											

### Elemento: 3 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.					
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.					
925,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	3	001					
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.	Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm				codice	codice	
20,0	150,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00	0	0; 0; 1	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'											
n.	cm	cm											
1	0,0	0,0											

### Elemento: 5 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.					
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.					
1555,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	5	001					
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.	Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm				codice	codice	
20,0	150,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00	0	0; 0; 1	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'											
n.	cm	cm											
1	0,0	0,0											

### Elemento: 7 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.					
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.					
2185,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	7	001					
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.	Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm				codice	codice	
20,0	150,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00	0	0; 0; 1	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'											
n.	cm	cm											
1	0,0	0,0											

### Elemento: 9 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.					
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.					
2815,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	9	001					
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.	Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm				codice	codice	

20,0 150,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 1,00 1,00 1,00 0 0; 0; 1

**Palo** Asc. X' Ord. Y'  
n. cm cm  
1 0,0 0,0

**Elemento: 11 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati**

X elem. Y elem. Prof. Base Lungh. Altezz. Rot. Grup.ap. Ind.strat.  
cm cm cm cm cm cm Gradi° n. n.  
3445,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,00 11 001

Dia. P. Lun. P. Lun. L. Dist.P. In. Px In. Py Dia. B. Lun. B. E.C.V. E.C.C. E.C.T. Svin.testa Vin.piede  
cm cm cm cm cm cm cm cm cm cm E.C.C. E.C.T. codice codice  
20,0 150,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 1,00 1,00 1,00 0 0; 0; 1

**Palo** Asc. X' Ord. Y'  
n. cm cm  
1 0,0 0,0

**Elemento: 13 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati**

X elem. Y elem. Prof. Base Lungh. Altezz. Rot. Grup.ap. Ind.strat.  
cm cm cm cm cm cm Gradi° n. n.  
4075,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,00 13 001

Dia. P. Lun. P. Lun. L. Dist.P. In. Px In. Py Dia. B. Lun. B. E.C.V. E.C.C. E.C.T. Svin.testa Vin.piede  
cm cm cm cm cm cm cm cm cm cm E.C.C. E.C.T. codice codice  
20,0 150,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 1,00 1,00 1,00 0 0; 0; 1

**Palo** Asc. X' Ord. Y'  
n. cm cm  
1 0,0 0,0

**Elemento: 15 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati**

X elem. Y elem. Prof. Base Lungh. Altezz. Rot. Grup.ap. Ind.strat.  
cm cm cm cm cm cm Gradi° n. n.  
4705,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,00 15 001

Dia. P. Lun. P. Lun. L. Dist.P. In. Px In. Py Dia. B. Lun. B. E.C.V. E.C.C. E.C.T. Svin.testa Vin.piede  
cm cm cm cm cm cm cm cm cm cm E.C.C. E.C.T. codice codice  
20,0 150,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 1,00 1,00 1,00 0 0; 0; 1

**Palo** Asc. X' Ord. Y'  
n. cm cm  
1 0,0 0,0

## 11. VALORI DI CALCOLO DELLA PORTANZA PER FONDAZIONI PROFONDE

**Elemento: 1 - Palo singolo**

$N_q = 7.110$ ,  $\sigma_{punta} = 0.405$ ,  $\phi = 42.0$ ,  $N_c = 6.786$ ,  $c_{punta} = 0.400$

Port. lat. = 4328.9 daN, Port. punta = 1757.4 daN, P.P.Palo = 369.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	1	0.000	0.000	-29.6	-2610.1	0,011	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-29.6	0.0	0.0	0.0	0.0

**Elemento: 3 - Palo singolo**

$N_q = 7.110$ ,  $\sigma_{punta} = 0.405$ ,  $\phi = 42.0$ ,  $N_c = 6.786$ ,  $c_{punta} = 0.400$

Port. lat. = 4328.9 daN, Port. punta = 1757.4 daN, P.P.Palo = 369.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
------	------	------	---------	---------	---	-------	-------	-------

n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	1	0.000	0.000	-29.6	-2610.1	0,011	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-29.6	0.0	0.0	0.0	0.0

#### Elemento: 5 - Palo singolo

$N_q = 7.110$ ,  $\sigma_{punta} = 0.405$ ,  $\phi = 42.0$ ,  $N_c = 6.786$ ,  $c_{punta} = 0.400$

Port. lat. = 4328.9 daN, Port. punta = 1757.4 daN, P.P.Palo = 369.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	1	0.000	0.000	-29.6	-2610.1	0,011	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-29.6	0.0	0.0	0.0	0.0

#### Elemento: 7 - Palo singolo

$N_q = 7.110$ ,  $\sigma_{punta} = 0.405$ ,  $\phi = 42.0$ ,  $N_c = 6.786$ ,  $c_{punta} = 0.400$

Port. lat. = 4328.9 daN, Port. punta = 1757.4 daN, P.P.Palo = 369.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	1	0.000	0.000	-29.6	-2610.1	0,011	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-29.6	0.0	0.0	0.0	0.0

#### Elemento: 9 - Palo singolo

$N_q = 7.110$ ,  $\sigma_{punta} = 0.405$ ,  $\phi = 42.0$ ,  $N_c = 6.786$ ,  $c_{punta} = 0.400$

Port. lat. = 4328.9 daN, Port. punta = 1757.4 daN, P.P.Palo = 369.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	1	0.000	0.000	-29.6	-2610.1	0,011	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-29.6	0.0	0.0	0.0	0.0

#### Elemento: 11 - Palo singolo

$N_q = 7.110$ ,  $\sigma_{punta} = 0.405$ ,  $\phi = 42.0$ ,  $N_c = 6.786$ ,  $c_{punta} = 0.400$

Port. lat. = 4328.9 daN, Port. punta = 1757.4 daN, P.P.Palo = 369.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	1	0.000	0.000	-29.6	-2610.1	0,011	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-29.6	0.0	0.0	0.0	0.0

#### Elemento: 13 - Palo singolo

$N_q = 7.110$ ,  $\sigma_{punta} = 0.405$ ,  $\phi = 42.0$ ,  $N_c = 6.786$ ,  $c_{punta} = 0.400$

Port. lat. = 4328.9 daN, Port. punta = 1757.4 daN, P.P.Palo = 369.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	1	0.000	0.000	-29.6	-2610.1	0,011	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-29.6	0.0	0.0	0.0	0.0

#### Elemento: 15 - Palo singolo

$N_q = 7.110$ ,  $\sigma_{punta} = 0.405$ ,  $\phi = 42.0$ ,  $N_c = 6.786$ ,  $c_{punta} = 0.400$

Port. lat. = 4328.9 daN, Port. punta = 1757.4 daN, P.P.Palo = 369.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
001	SLU STR	1	0.000	0.000	-29.6	-2610.1	0,011	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
001	SLU STR	No	-29.6	0.0	0.0	0.0	0.0

## 12. VALORI DI CALCOLO DEI CEDIMENTI PER FONDAZIONI PROFONDE

#### Elemento: 1 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
084 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-22.8	0.000

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
084	SLE rare	No	-22.8	0.0	0.0	0.0	0.0

#### Elemento: 3 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
084 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-22.8	0.000

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
084	SLE rare	No	-22.8	0.0	0.0	0.0	0.0

#### Elemento: 5 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
084 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-22.8	0.000

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
084	SLE rare	No	-22.8	0.0	0.0	0.0	0.0

#### Elemento: 7 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
084 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-22.8	0.000

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm

084 SLE rare No -22.8 0.0 0.0 0.0 0.0

**Elemento: 9 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
084 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-22.8	0.000

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
084	SLE rare	No	-22.8	0.0	0.0	0.0	0.0

**Elemento: 11 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
084 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-22.8	0.000

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
084	SLE rare	No	-22.8	0.0	0.0	0.0	0.0

**Elemento: 13 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
084 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-22.8	0.000

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
084	SLE rare	No	-22.8	0.0	0.0	0.0	0.0

**Elemento: 15 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
084 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-22.8	0.000

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
084	SLE rare	No	-22.8	0.0	0.0	0.0	0.0