



**Seminario 14/05/2024**

# **LE FONDAZIONI PROFONDE:**

Tipologie, casi studio e pratica di cantiere

Parte 1: ore 14:30 – 16:30

Relatore: Ing. Marco Mori - Libero Professionista

[www.momaingegneria.it](http://www.momaingegneria.it)

[marco.mori@momaingegneria.it](mailto:marco.mori@momaingegneria.it)

Cell: 328-7648657



Le  
fondazioni  
profonde  
vengono  
impiegate  
per:

trasferire il carico a strati di terreno profondi  
più resistenti;

trasferire il carico anche attraverso tensioni  
tangenziali d'attrito o d'aderenza lungo il fusto;

resistere ad azioni di trazione;

attraversare strati di terreno rigonfiante.

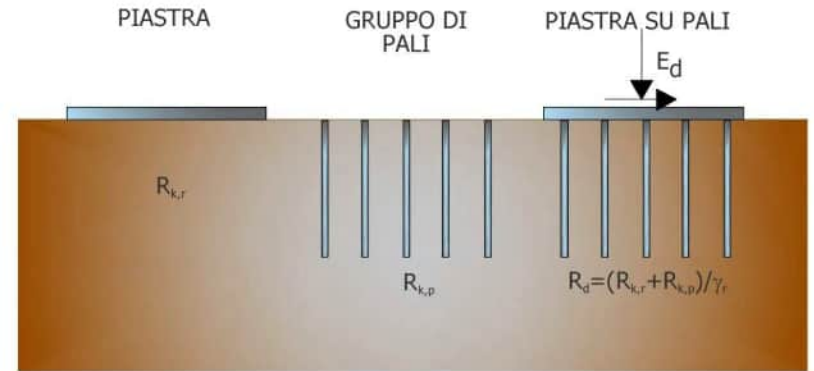
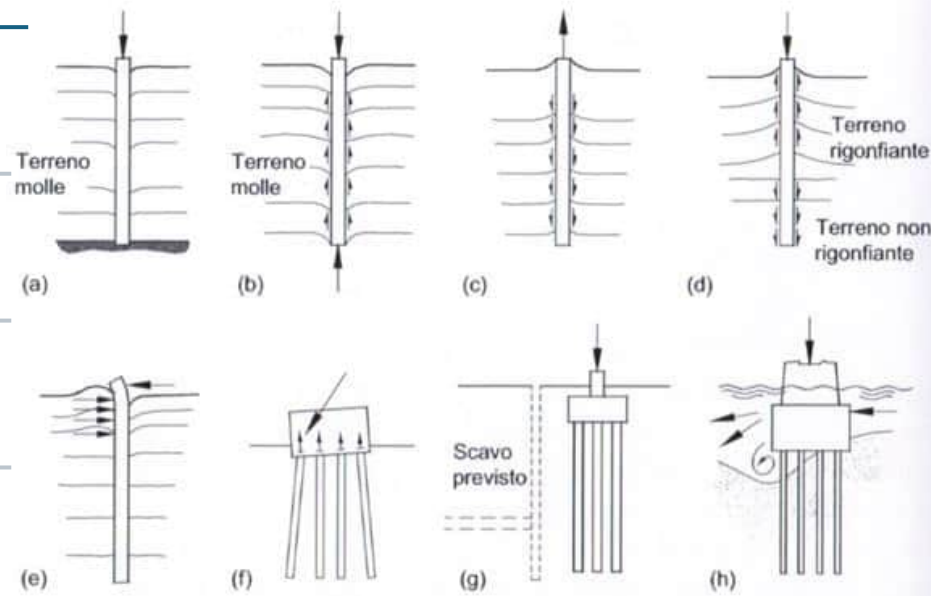
Resistere a carichi orizzontali non supportati  
dalla fondazioni superficiali

resistere in gruppo a carichi inclinati e/o  
fortemente eccentrici;

assicurare la stabilità anche in caso di  
scalzamento degli strati superficiali;

trasferire il carico al di sotto di un futuro piano  
di scavo;

Gestire i cedimenti assoluti e differenziali





## FONDAZIONI PROFONDE: DIFFERENZIAMENTO PER DIMENSIONE

- piccolo diametro o micropali ( $d \leq 25$  cm);
- medio diametro ( $30 \leq d \leq 60$  cm); ( $\leq 100/120$  cm?)
- grande diametro ( $d \geq 80$  cm); ( $\geq 100/120$  cm?)





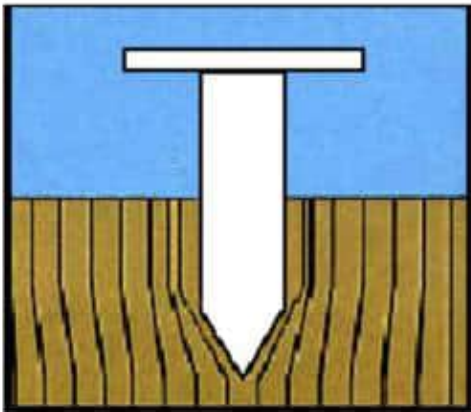
### Rispetto al materiale costituente:

- Prefabbricati in calcestruzzo (centrifugato, vibrato, precompresso);
- Calcestruzzo gettato in opera;
- acciaio;
- legno.

Rispetto al procedimento costruttivo (aspetto che forse incide maggiormente sul comportamento del palo)

- **infissi** (senza asportazione di terreno, prefabbricati o gettati in opera);
- **trivellati** (con asportazione di terreno);
- **trivellati** con elica continua (parziale asportazione di terreno).

**Pali a grande spostamento**



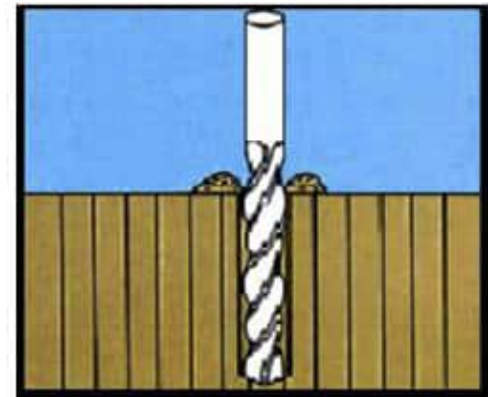
**Pali battuti**  
- prefabbricati  
- gettati in opera

**Pali a piccolo spostamento**



**Pali 'avvitati':**  
- a vite  
- ad elica continua

**Pali a sostituzione**



**Pali trivellati**  
- gettati in opera

Quest'ultimo criterio è il più importante, poiché **il comportamento meccanico, resistente e deformativo, del sistema palo-terreno è fortemente dipendente, oltre che dal tipo di terreno, dalle modalità di messa in opera del palo e dalle conseguenti modifiche dello stato tensionale preesistente nel terreno.**

A titolo di esempio l'infissione di un palo senza asportazione di terreno in sabbia sciolta produce un addensamento, ovvero una riduzione dell'indice dei vuoti, e per effetto dell'addensamento la resistenza al taglio aumenta.

Al contrario l'infissione di un palo senza asportazione di terreno in argilla satura avviene in condizioni non drenate a volume costante, con la formazione di un rigonfiamento nell'intorno della testa del palo. La pressione interstiziale nell'intorno del palo ha un forte incremento, con conseguente caduta di resistenza al taglio (la qual cosa facilita l'infissione), solo in parte recuperata nel tempo.

- Anche **la realizzazione di pali con asportazione di terreno crea disturbo nel terreno circostante**, alterandone lo stato di tensione, e **comportando generalmente un rilassamento delle tensioni nell'intorno del pali ed una perdita di resistenza rispetto ad un palo infisso.**
- I pali trivellati con elica continua (CFA ed FDP), con parziale asportazione di terreno, **producono nel terreno effetti intermedi rispetto ai casi precedenti.**



# PALI TRIVELLATI

Fase 1  
SCAVO

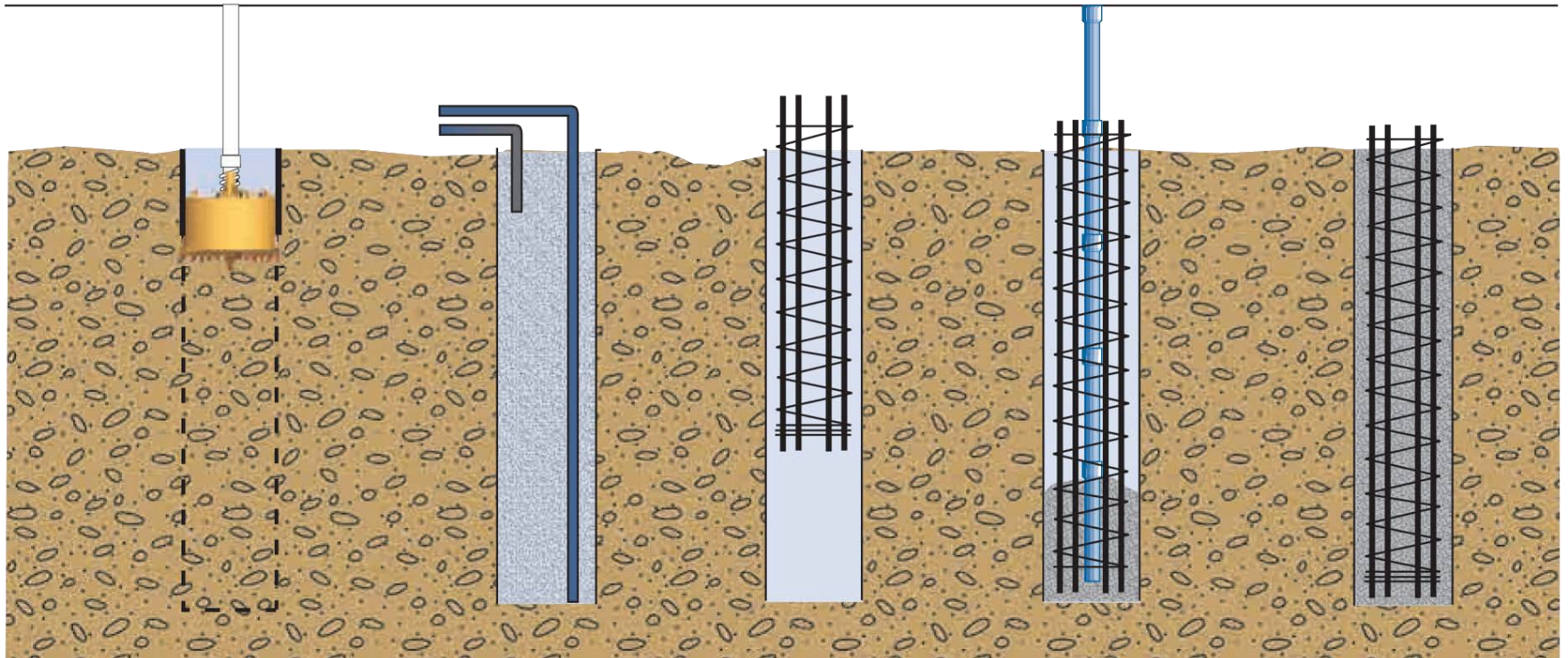


Fase 2  
DISSABBIAMENTO

Fase 3  
POSA ARMATURA

Fase 4  
GETTO CALCESTRUZZO

Fase 5  
PALO FINITO





Nei pali trivellati, c'è innanzi tutto da osservare che **l'utensile di scavo ha delle dimensioni molto più piccole della lunghezza del palo.** (trivella o bucket che sia).

Questo aspetto, che può sembrar banale, è quello che in realtà influisce maggiormente sulla resistenza del palo.

Questo perché:

- **rende necessario qualcosa che mantenga stabile le pareti dello scavo,** (in genere fango bentonitico o camicie metalliche)
- Nel suo salire e scendere nello scavo per asportare il terreno, **striscia, tocca ed alesa continuamente le pareti;**
- il foro rimane **“aperto” per molto tempo** (variazione condizioni idrauliche del terreno durante le fasi realizzative).

Se poi aggiungiamo il necessario **dissabbiamento**, ossia l'operazione di pulizia del fango prima di poter eseguire il getto.

L'inserimento della gabbia di armatura che anch'essa comporta sfregamenti lungo le pareti di scavo, **con quasi certa caduta di terreno sul fondo del palo o inclusioni intermedie** (chi garantisce il corretto copriferro durante le fasi realizzative?)

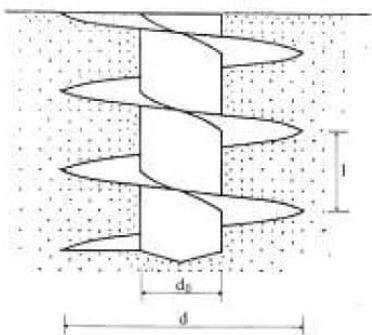
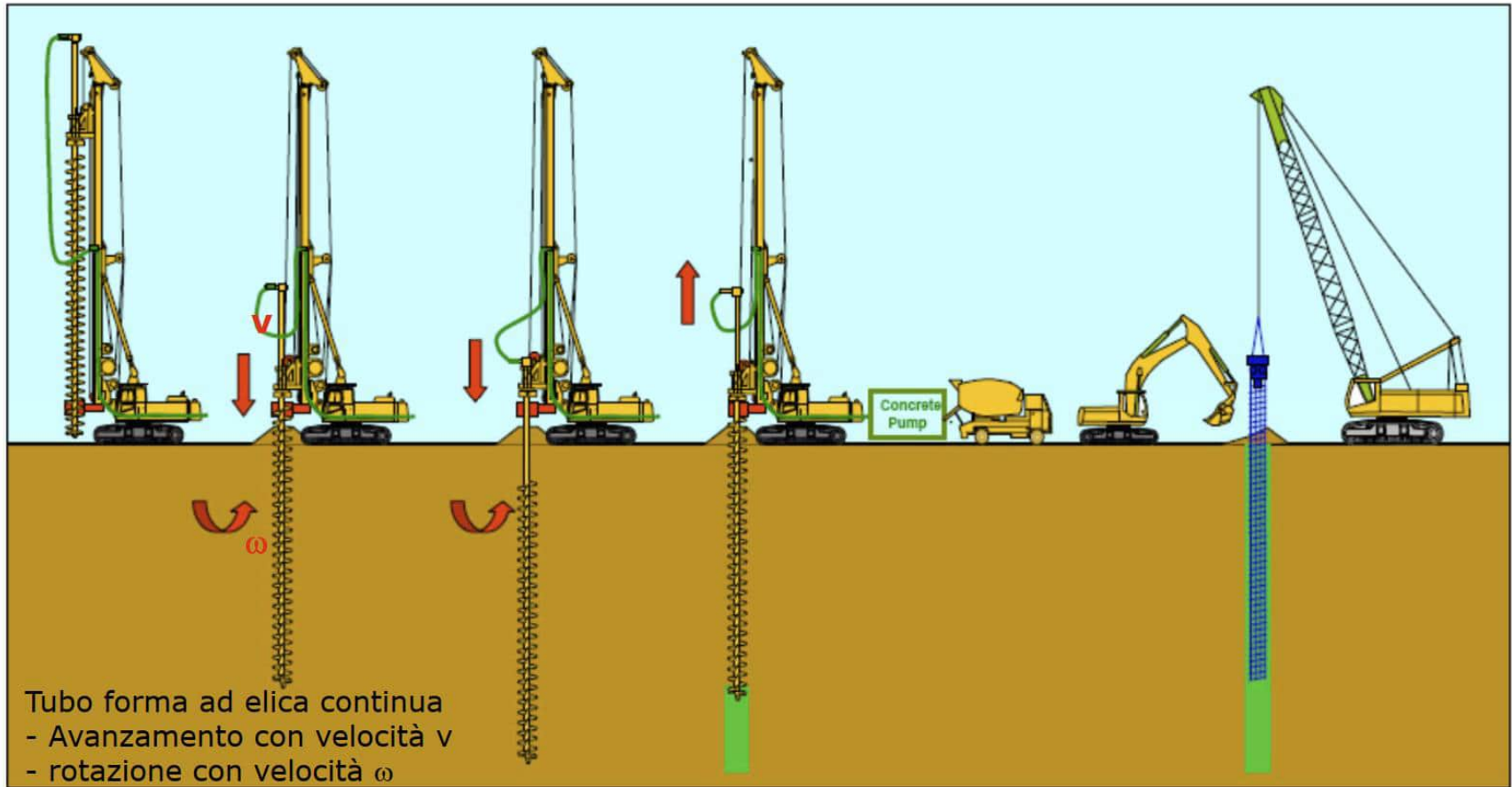
ed infine il **getto del calcestruzzo con l'ausilio di un tubo getto che viene calato all'interno dello scavo** e fa risalire il calcestruzzo dal fondo sino alla superficie.

Quello che si ottiene, anche con una perfetta esecuzione di tutte le operazioni, è un **generale rilassamento e detensionamento sia del terreno lungo il fusto del palo, sia di quello posto al di sotto della base.**

Rilassamento e detensionamento che sarà **decisamente più rilevante per un terreno incoerente** (sabbia a ghiaia) rispetto ad un terreno coesivo (limo ed argilla) che in qualche modo tende ad autosostenersi.

Inoltre, per quanto riguarda **la resistenza di base**, bisogna considerare anche che sul fondo dello scavo si potrebbe avere un **deposito di terreno misto a fango** dovuto a molteplici fattori quali **la possibile non perfetta pulizia della base del palo**, la flocculazione del fango bentonitico, la caduta del terreno durante la posa della gabbia **e il non perfetto innesco del getto di calcestruzzo.**

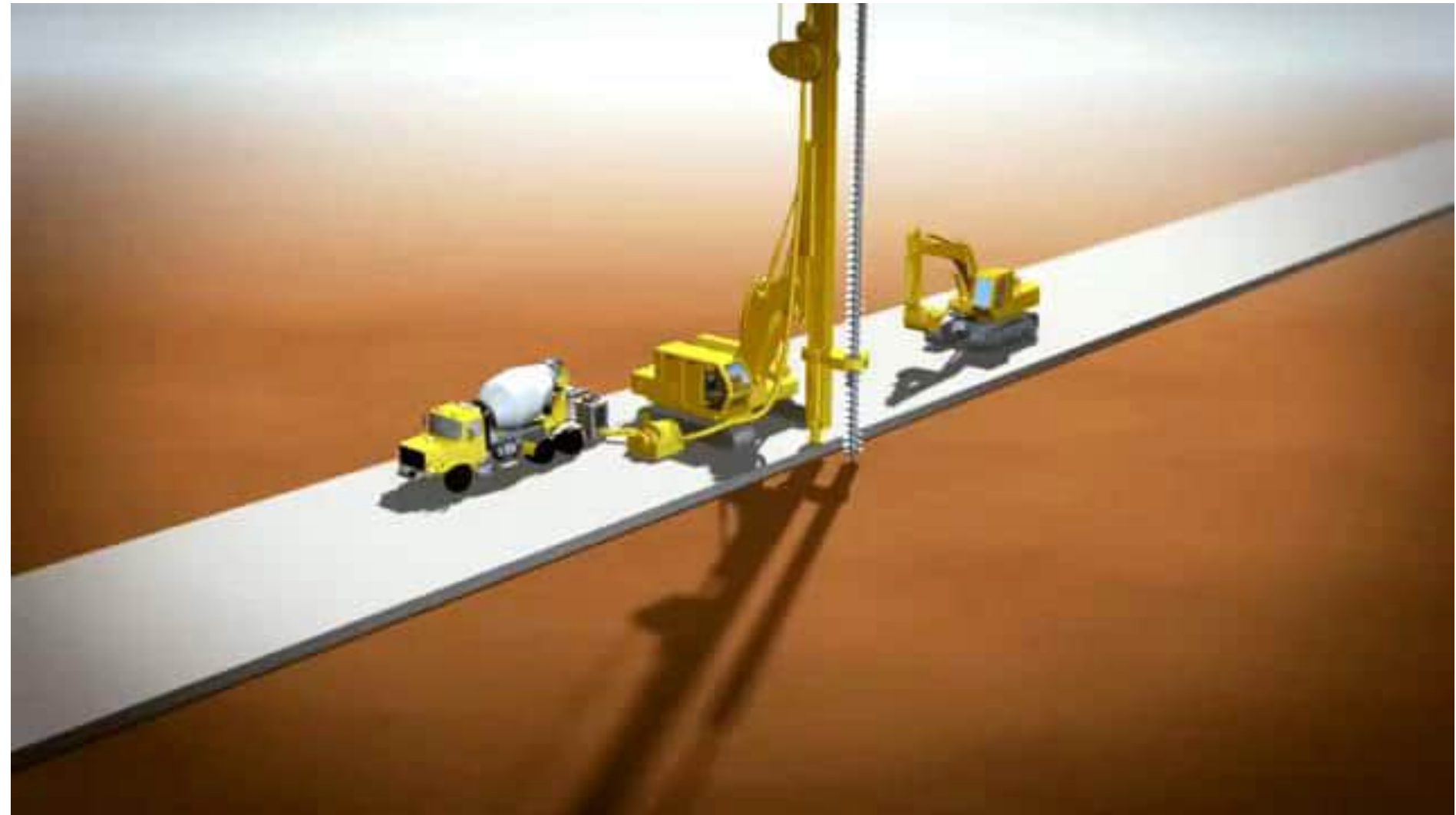
# Pali ad Elica Continua (CFA – Continuous Flight Auger)



Volume di terreno asportato:  $V_a = \frac{\pi}{4}(d^2 - d_0^2)(\omega l - v)\Delta t$   $\left\{ \begin{array}{l} v = 0 \rightarrow \text{coclea} \\ v = \omega l \rightarrow V_a = 0 \end{array} \right.$

Volume di terreno spostato:  $V_s = \frac{\pi}{4}d_0^2 v \Delta t$

Effetto netto di compressione se  $V_s \geq V_a \Rightarrow v \geq \omega l \left( 1 - \frac{d_0^2}{d^2} \right) = 0.3 \div 0.4 \omega l$



Per i pali ad elica continua con le attrezzature attualmente disponibili si possono raggiungere diametri fino a 1200÷1400 mm e profondità di 33÷35 m.

**L'utensile è costituito da un'elica continua**, saldata attorno ad un'asta centrale, che ha lo **stesso diametro e la stessa lunghezza del palo da realizzare**.

L'elica viene inserita nel terreno per rotazione ed infissione con leggera spinta assiale, fino al raggiungimento della profondità di progetto.

**La stabilità del foro è fisicamente garantita dalla presenza dell'elica** e del terreno posto all'interno delle sue spire, senza la necessità di utilizzare un fango bentonico.

Successivamente **l'elica viene estratta senza rotazione e il foro viene simultaneamente riempito dal calcestruzzo** che viene pompato con una leggera pressione (2-3 bar) attraverso l'asta centrale.

Quando l'elica è completamente estratta la gabbia di armatura viene inserita all'interno del calcestruzzo ancora fluido.

A differenza dei pali trivellati **il foro non è mai aperto ed il terreno**, quale che sia la sua natura, sia lungo il fusto che alla base del palo rimane più o meno nelle sue condizioni iniziali in quanto **il disturbo a cui è sottoposto è molto limitato**.

Di fatto il volume di terreno del palo viene tolto e sostituito immediatamente dal calcestruzzo, che essendo pompato ad una leggera pressione previene qualsiasi tipo di rilassamento del terreno circostante.

# Pali a spostamento di terreno (FDP – Full Displacement Pile)

FASE 1

PERFORAZIONE

CON SPOSTAMENTO DEL TERRENO



FASE 2

ESTRAZIONE E CONTEMPORANEO

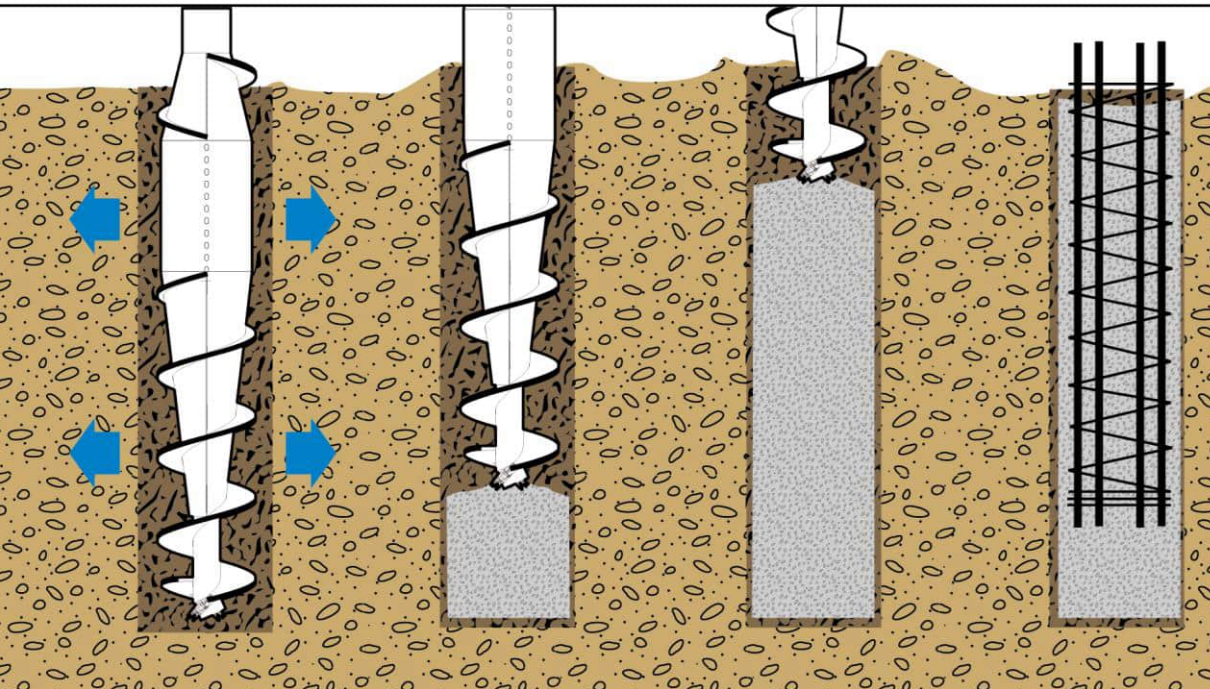
GETTO DEL CALCESTRUZZO



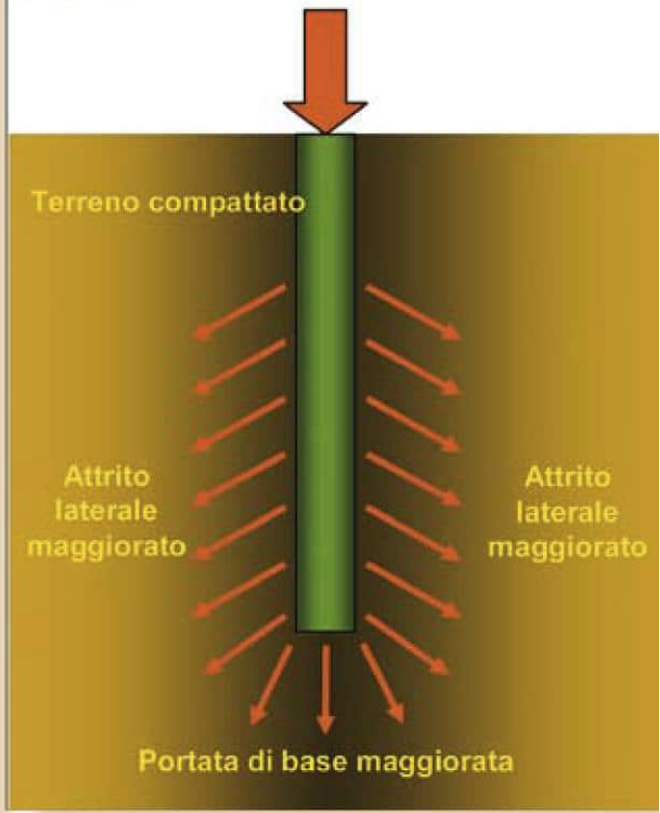
FASE 3

INSERIMENTO

DELLA GABBIA DI ARMATURA



Palo FDP

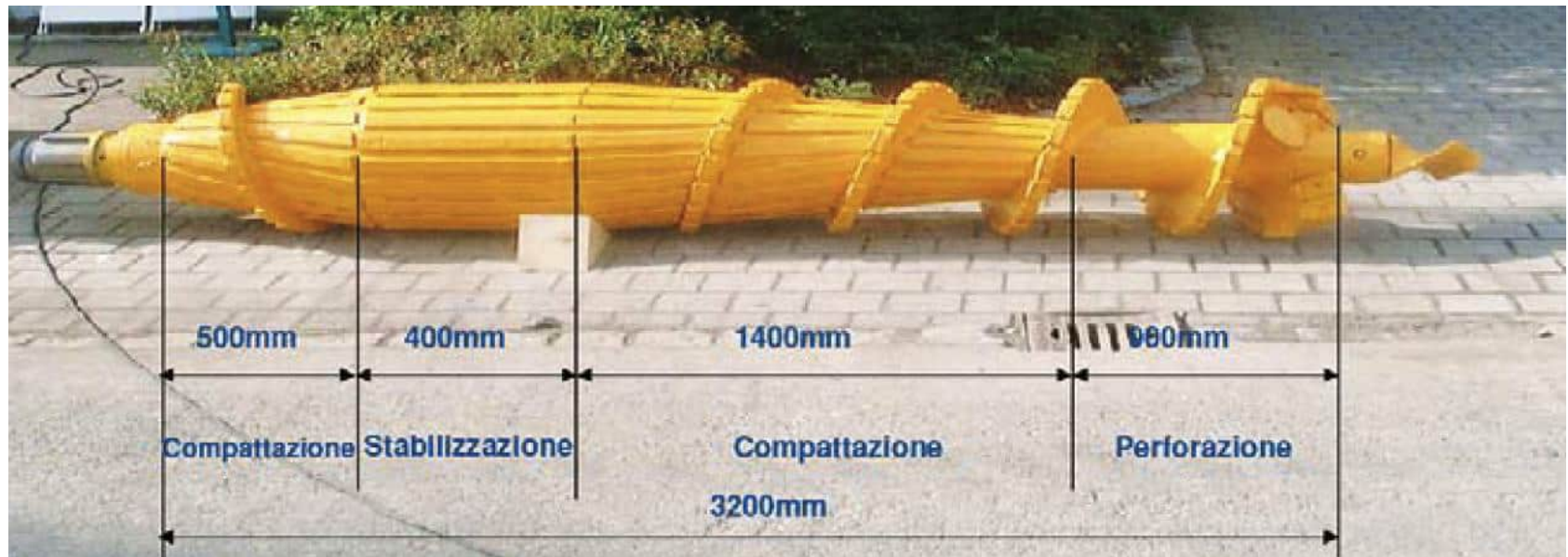


Per i pali **FDP** le fasi esecutive sono, le stesse dei pali **CFA**. L'inserimento dell'utensile di scavo, avviene spinta (elevata) e rotazione, getto del calcestruzzo durante l'estrazione dell'asta ed infine posa dell'armatura.

**La differenza sostanziale è costituita dall'utensile** che è posizionato alla base di un'asta lunga come il palo ma con diametro leggermente inferiore a quello del palo.

L'utensile vero e proprio è costituito da tre parti con diversa funzionalità:

- la parte inferiore elicata che serve a disgregare il terreno in fase di perforazione;
- la parte centrale che serve a spostare e compattare lateralmente il terreno;
- la parte superiore che serve a ricompattare il terreno in risalita.



Le profondità raggiungibili sono le stesse dei pali ad elica, 33÷35 m, mentre i diametri massimi sono decisamente inferiori: 600 mm per terreni con caratteristiche di resistenza medie, 800 mm solo in caso di terreni estremamente sciolti o soffici.

**Il terreno non viene estratto ma viene spostato lateralmente** (si estrae solo un 10% del volume nominale).

Ne consegue che, **nel caso di terreni incoerenti con densità relativa  $D_r$  medio bassa si ha un addensamento ed un miglioramento delle caratteristiche meccaniche del terreno lungo il fusto del palo**, mentre per i terreni coesivi, di fatto impermeabili, lo spostamento laterale del terreno dà luogo ad un incremento delle pressioni interstiziali ed a un rimaneggiamento del terreno che determinano una iniziale riduzione delle caratteristiche meccaniche e, solo dopo un certo tempo, ad un successivo recupero della resistenza.

**Anche la base del palo, nonostante la presenza dell'elica, e sempre per terreni incoerenti, viene in qualche modo compattata e, analogamente al CFA, sottoposta ad una leggera pressione del calcestruzzo pompato.**

In questo caso il terreno viene sicuramente disturbato dall'utensile ma, il disturbo è "positivo" nel senso che va a migliorare le caratteristiche meccaniche del terreno. Dal punto di vista dell'applicabilità, il ridottissimo volume di terreno estratto, unito all'assenza di vibrazioni, fa sì che **l'utilizzo del palo FDP risulti particolarmente interessante per i siti inquinati dove il trasporto a discarica del terreno di risulta è, in genere, molto oneroso.**



# RIFIUTI SPECIALI - CAM – PNRR (requisiti ambientali)

PALI TRIVELLATI

$V > V$  nominale palo



130 %

- RIFIUTI SPECIALI
- TRATTAMENTO FANGHI BENTONITICI
- COSTI DI SMALTIMENTO ED ONERI DI DISCARICA
- COSTI DI ACCANTIERAMENTO

PALI CFA

$V$  estratto  $<$   $V$  teorico



70%

TERRENO DI RISULTA EQUIPARATO A TERRENO DI SCAVO (NON CONTAMINATO DALLE LAVORAZIONI)

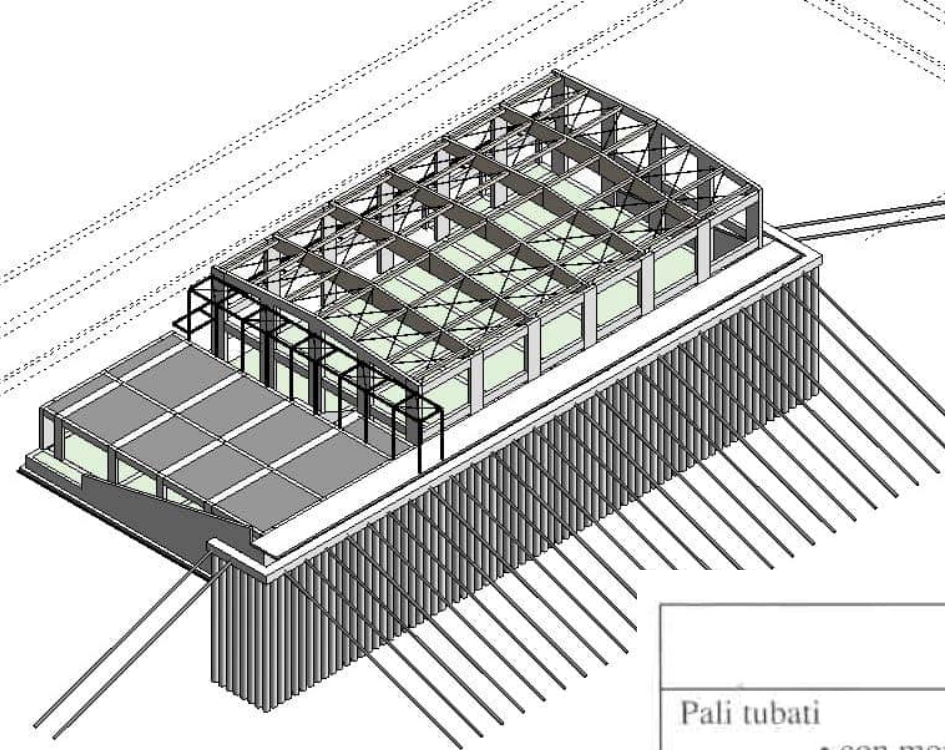
PALI FDP

$V$  estratto  $\ll$   $V$  teorico



15%

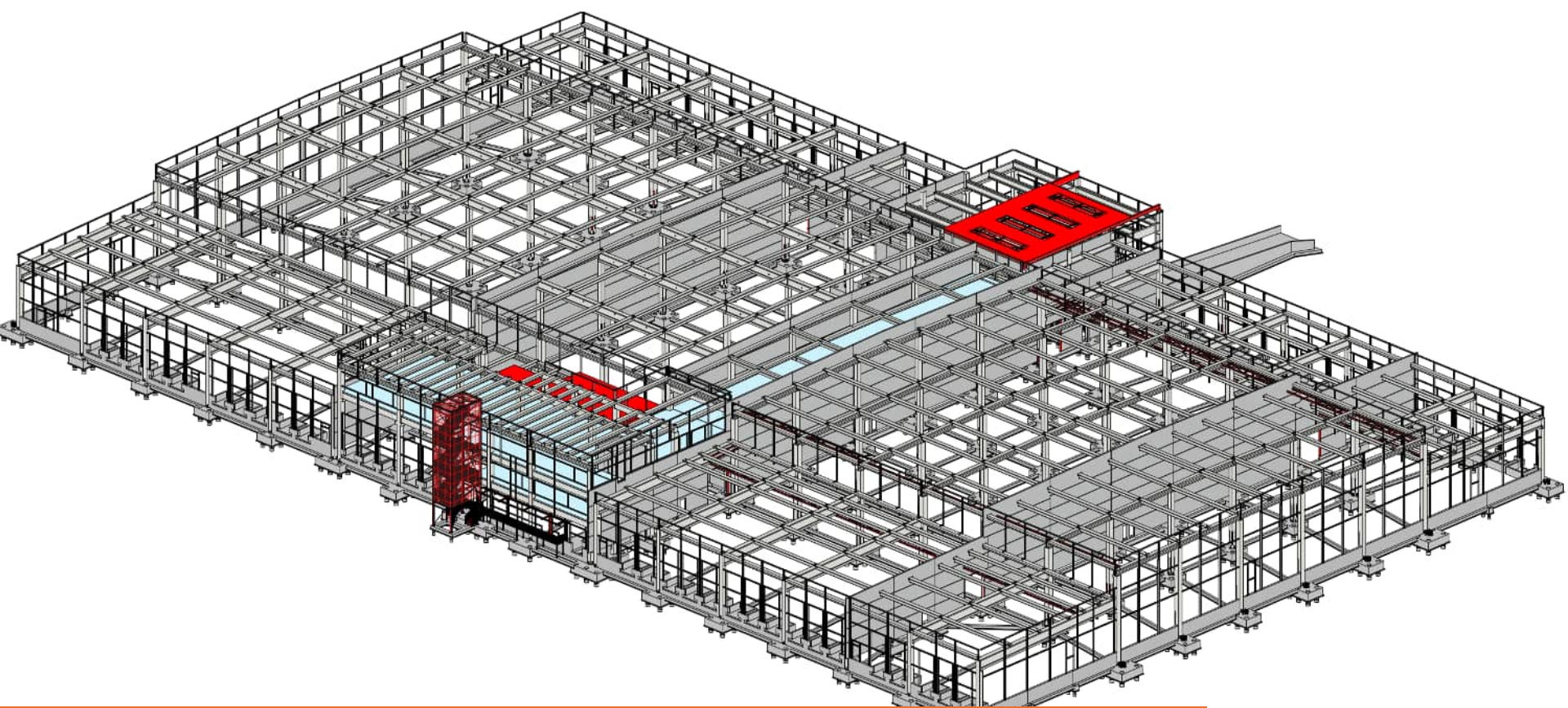
TERRENO DI RISULTA EQUIPARATO A TERRENO DI SCAVO (NON CONTAMINATO DALLE LAVORAZIONI)



Tipo di palo	Velocità di perforazione (m/h)
Pali tubati <ul style="list-style-type: none"> <li>• con morsa oscillante</li> <li>• con vibroinfissione</li> </ul>	1 ÷ 2 5 ÷ 10
Pali con fango bentonitico <ul style="list-style-type: none"> <li>• a rotopercolazione con circolazione rovescia</li> <li>• a rotazione con circolazione rovescia</li> <li>• con bucket in fango statico</li> </ul>	0,5 ÷ 1 2 ÷ 4 3 ÷ 10
Pali a secco <ul style="list-style-type: none"> <li>• con elica continua</li> </ul>	10 ÷ 20

## **SICUREZZA DEL RISULTATO – durabilità strutturale**

- Calcestruzzo alla base ben maturato e resistenza alla punta garantita;
- Assenza di inclusioni;
- Copriferro rispettato durante lo sviluppo del fusto.

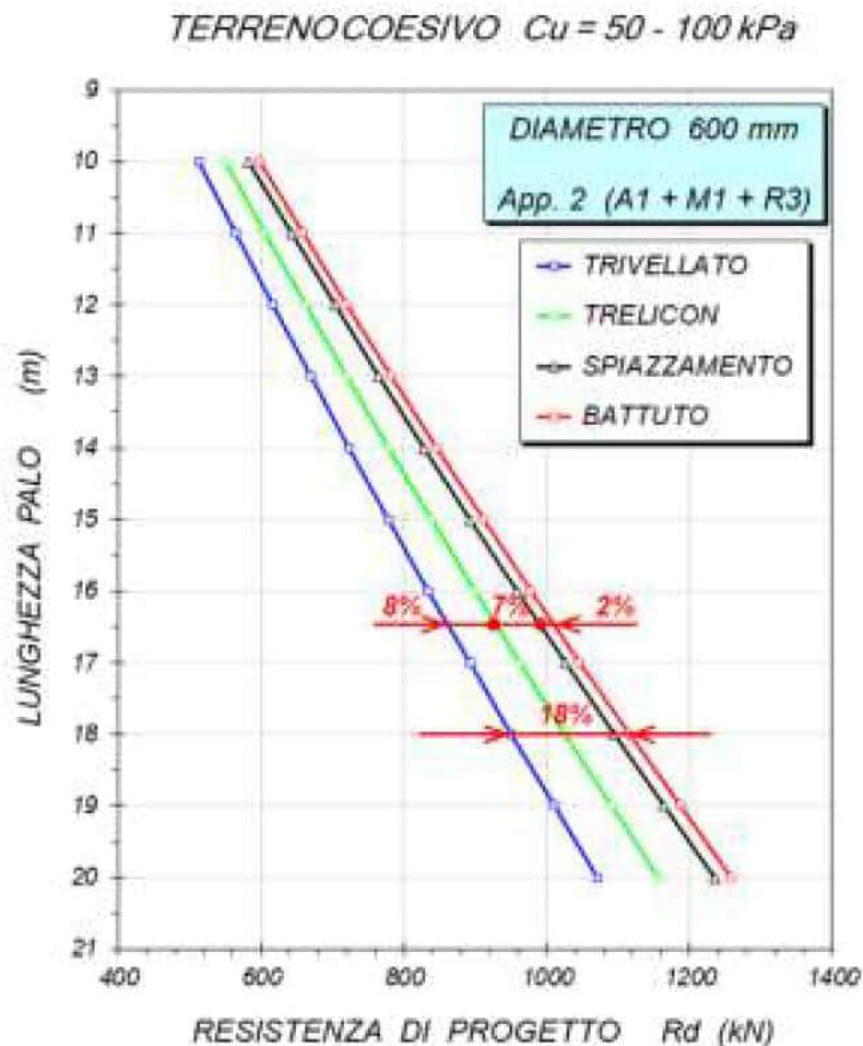
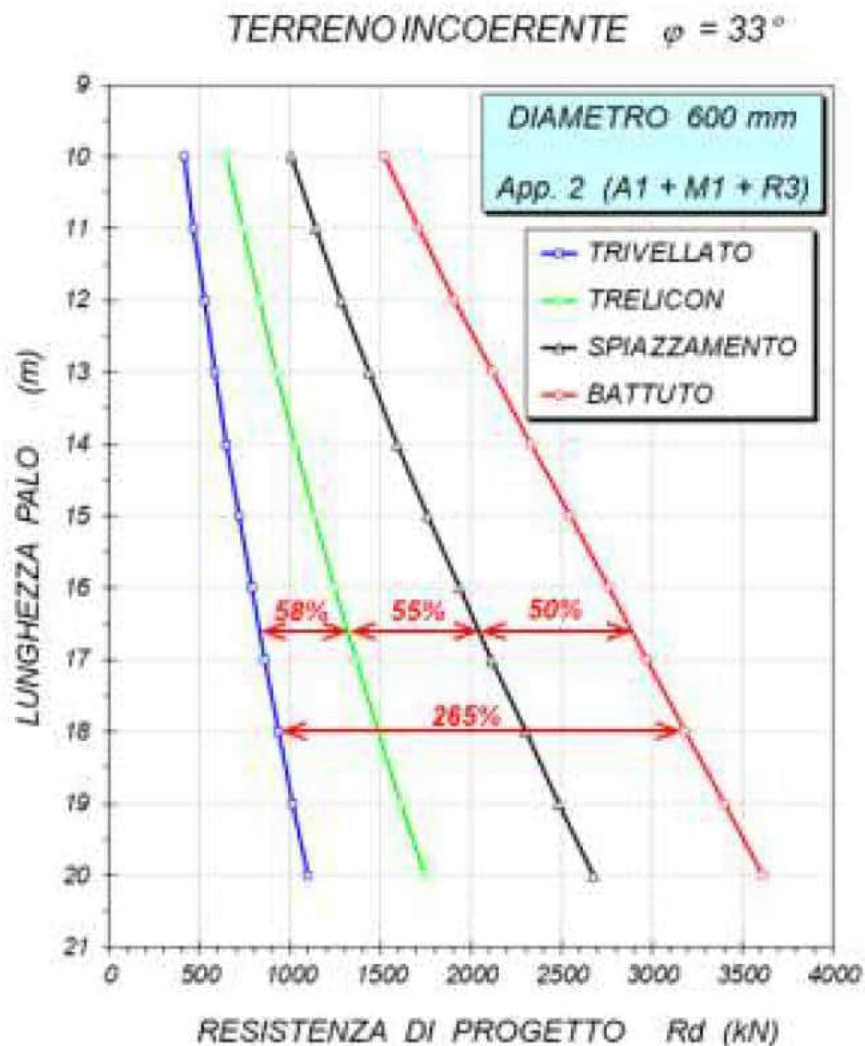


## RIDUZIONE COSTI GLOBALI

- **+ Costo per singolo palo superiore**
- - Minori costi di smaltimento;
- - Generalmente minori costi di accantieramento;
- + Maggiore efficienza geotecnica (ottimizzazione strutturale (riduzione diametri / lunghezze / numero pali))

Qualunque siano le formule, le correlazioni o i software che decidiamo di adottare, i risultati dovrebbero essere congruenti con quanto sopra esposto.

Le correlazioni più utilizzate e note in letteratura, tutt'altro che recenti in quanto risalenti allo scorso secolo ed in genere ricavate per via sperimentale (quindi implicitamente dipendenti del metodo di esecuzione dei pali), tengono conto di questi concetti.



Il carico limite di un palo di fondazione è dato dalla somma di due contributi principali, ossia la resistenza alla base  $Q_b$  e la resistenza laterale  $Q_s$  che si sviluppa per attrito tangenziale lungo il fusto. Imponendo l'equilibrio alla traslazione del singolo elemento possiamo scrivere:

$$Q_{lim} + W = Q_b + Q_s$$

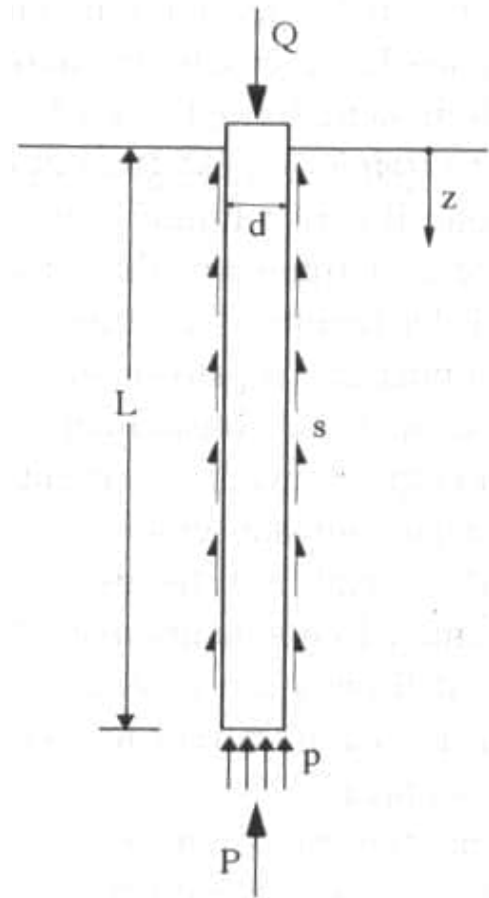
Avendo indicato con:

$Q_{lim}$ = il carico limite utile;

$W$ = il peso proprio del palo;

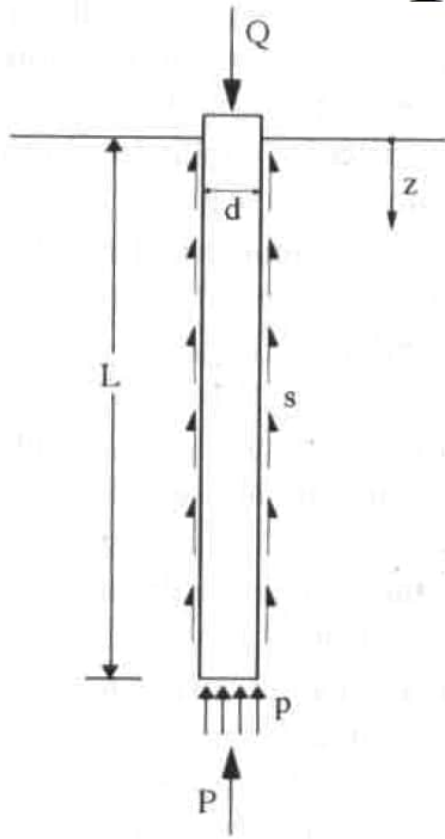
$Q_b$ = resistenza limite di base;

$Q_s$ = resistenza laterale.



# CARICO LIMITE

## Formule statiche



$$Q_{\text{lim}} = P + S = \frac{\pi d^2}{4} p + \pi d \int_0^L s \cdot dz$$

**Suddivisione convenzionale tra P ed S**

# CARICO LIMITE

## Formule statiche: resistenza laterale (D)

$$S_{\text{lim}} = \mu \cdot k \cdot \sigma'_{v0}$$

Tipo di palo	K per stato di addensamento		Valori di $\mu$
	sciolto	denso	
Battuto: Profilato acciaio	0.7	1.0	$tg20^\circ = 0.36$
Tubo acciaio chiuso	1.0	2.0	$tg20^\circ = 0.36$
Cls prefabbricato	1.0	2.0	$tg(3\varphi/4)$
Cls gettato in opera	1.0	3.0	$tg\varphi$
Trivellato	0.5	0.4	$tg\varphi$
Trivellato-pressato CFA	0.7	0.9	$tg\varphi$

# CARICO LIMITE

## Formule statiche: resistenza laterale (D)

$$S_{\text{lim}} = \mu \cdot k \cdot \sigma'_{v0}$$

Tipo di palo	K per stato di addensamento		Valori di $\mu$
	sciolto	denso	
Battuto: Profilato acciaio	0.7	1.0	$tg20^\circ = 0.36$
Tubo acciaio chiuso	1.0	2.0	$tg20^\circ = 0.36$
Cls prefabbricato	1.0	2.0	$tg(3\varphi/4)$
Cls gettato in opera	1.0	3.0	$tg\varphi$
Trivellato	0.5	0.4	$tg\varphi$
Trivellato-pressato CFA	0.7	0.9	$tg\varphi$



# CARICO LIMITE

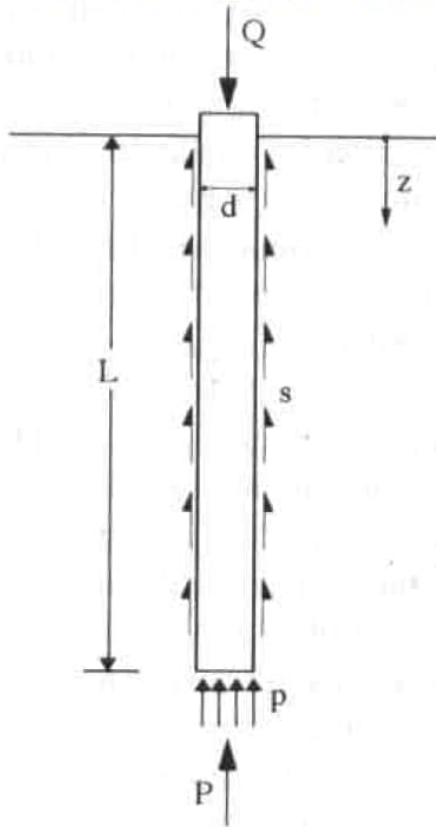
## Formule statiche: resistenza laterale (U)

$$s = \alpha \cdot c_u$$

Tipo di palo	$c_{u,ind}$ [kPa]	$\alpha$
Battuto	$c_u < 25$	1.0
	$25 < c_u < 70$	$1 - 0.011(c_u - 25)$
	$c_u > 70$	0.5
Trivellato	$c_u < 25$	0.7
	$25 < c_u < 70$	$0.7 - 0.008(c_u - 25)$
	$c_u > 70$	0.35

# CARICO LIMITE

Formule statiche: resistenza alla punta



$$D) \quad p = N_q \sigma'_{vL} + N_c c'$$

$$U) \quad p = 1 \cdot \sigma_{vL} + N_c c_u$$

## La formula statica di resistenza alla punta

$$q_{lim} = N_q \cdot q + N_c \cdot c$$

è relativa ad un generico mezzo monofase pesante alla Mohr – Coulomb caratterizzato da:

**Peso dell'unità di volume  $\gamma$**

**Coesione  $c$**

**Angolo d'attrito  $\varphi$**

### Condizioni di riferimento usuali per le verifiche sotto falda:

terreno	condizioni drenaggio	tensioni	peso dell'udv $\gamma$	coesione $c$	angolo d'attrito $\varphi$
a grana grossa	libero ( $t > 0$ )	efficaci	$\gamma'$	$c'$	$\varphi'$
a grana fina	impedito ( $t = 0$ )	totali	$\gamma_{sat}$	$s_u$	$\varphi_u = 0$

In particolare:

**terreni a grana grossa in condizioni drenate**  
(*ma anche a  $t = \infty$  per terreni a grana fine...*)

$$p = N_q \sigma'_v + N_c c'$$

**terreno a grana fina, condizioni non drenate**  
 $\varphi_u = 0 \Rightarrow N_q = 1, N_c = 8 \div 12$  (in genere: 9)

$$p = \sigma_v + N_c s_u$$

Per quanto riguarda il valore di  $\varphi'$  da assumere nel calcolo della resistenza alla punta, esso dovrà tenere conto della densità relativa e del livello di tensione. Detto  $\varphi'_1$  l'angolo di attrito del deposito indisturbato si assume:

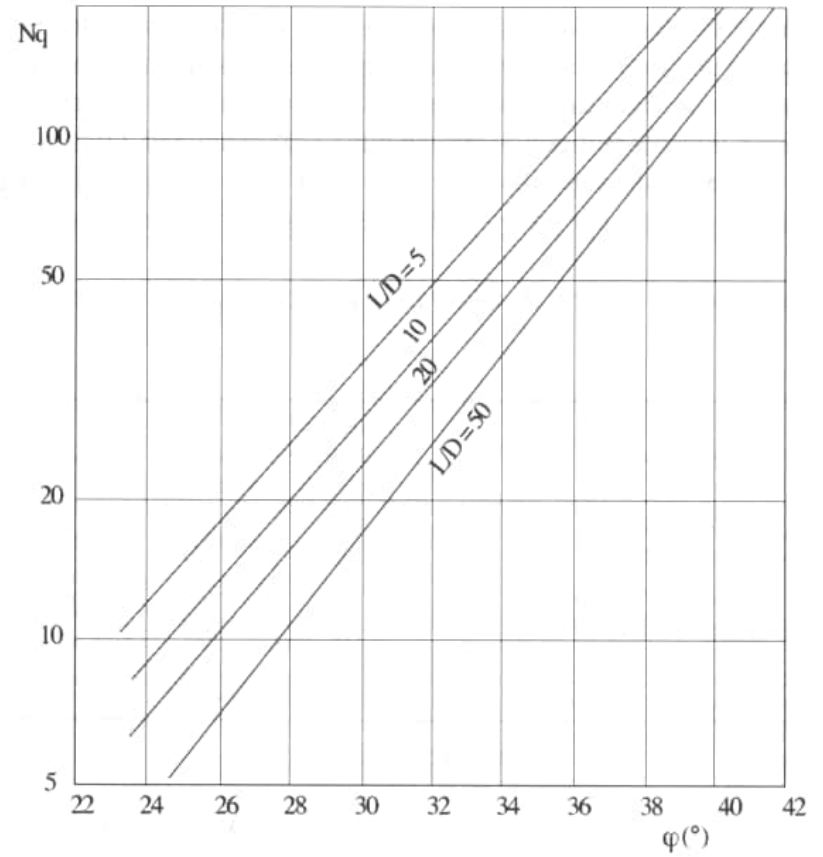
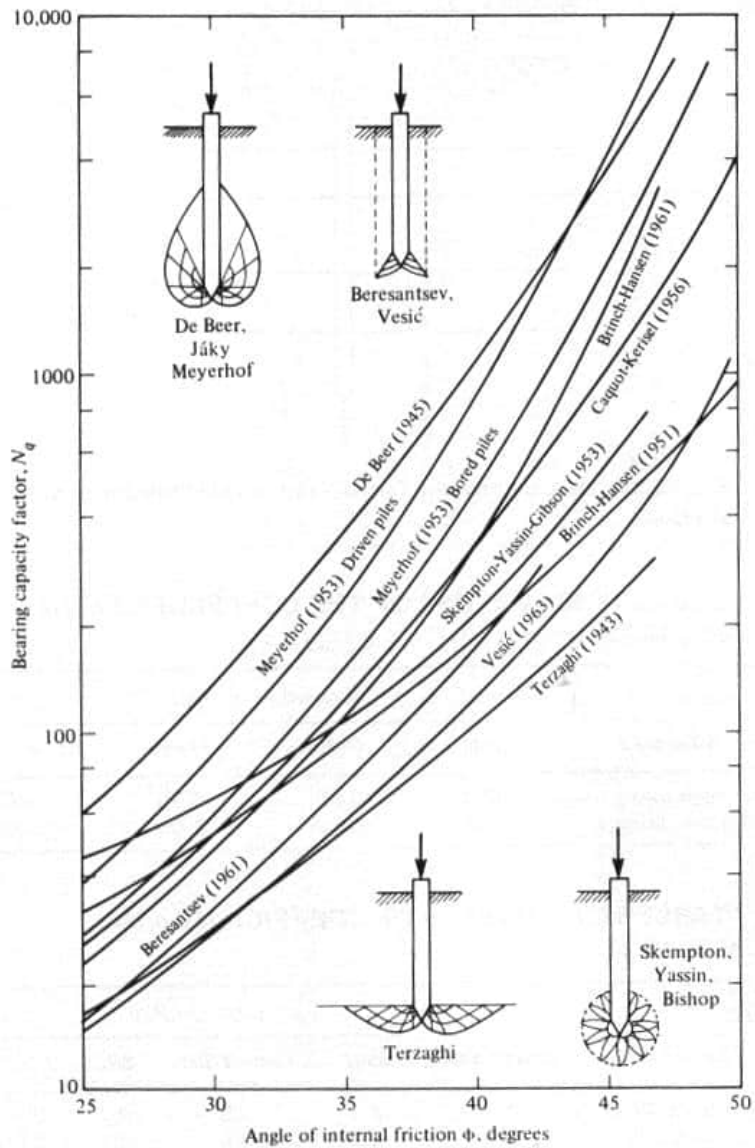
$$\varphi' = \frac{\varphi'_1 + 40^\circ}{2} \quad \text{per pali battuti}$$

$$\varphi' = \varphi'_1 - 3^\circ \quad \text{per pali trivellati}$$

E nei pali CFA ed FDP?

$$\varphi' = \frac{3}{4}\varphi'_1 + 10 \quad \text{per pali FDP} < \text{pali battuti}$$

$$\varphi' = \varphi'_1 \quad \text{per pali trivellati}$$

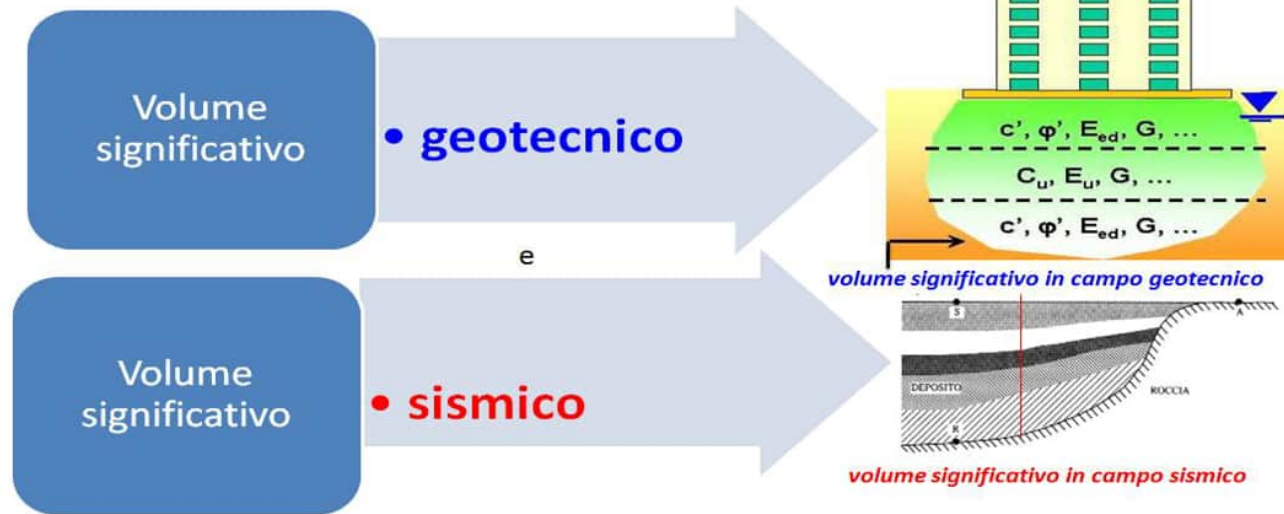


## OBIETTIVO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE - I

- **A.** Ricostruire in 3D la successione stratigrafica per il Modello Geologico di Riferimento (MGR);
- **B.** ricostruire nell'ambito del Volume significativo, mediante parametrizzazione, l'assetto geotecnico per la definizione del Modello Geotecnico;
- **C.** ricostruire l'andamento della falda;
- **D.** effettuare la Modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base del sito di costruzione, per la determinazione delle azioni sismiche.

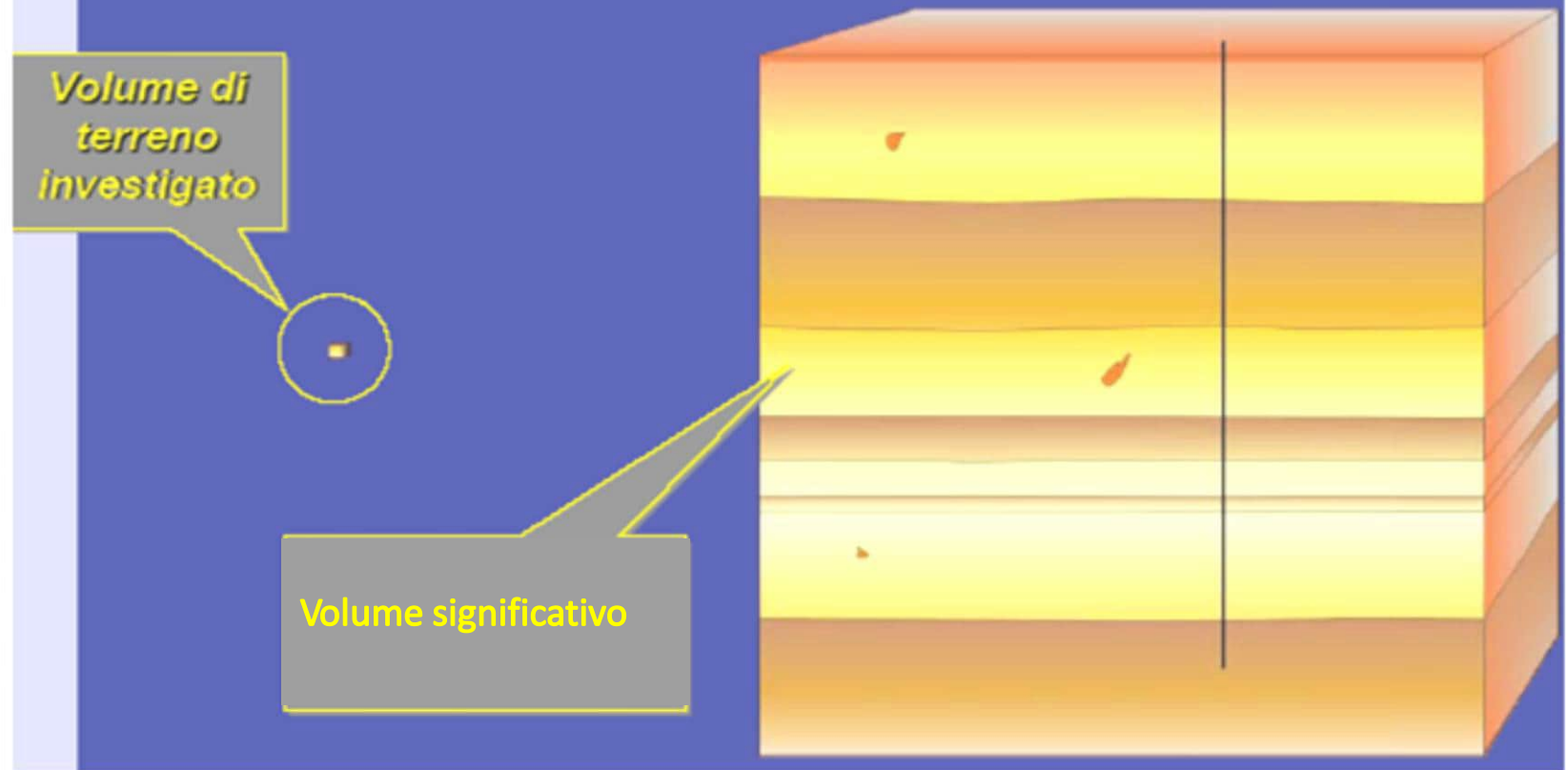
Per definire l'**azione sismica di progetto** si deve poi valutare l'effetto della **risposta sismica locale (RSL)**, facendo riferimento al **volume significativo sismico**, ossia a quella porzione di sottosuolo compresa tra il piano campagna ed il basamento rigido da cui parte il moto sismico.

Le indagini geognostiche hanno lo scopo di consentire la realizzazione delle opere di ingegneria, riducendo le incertezze ed i rischi relativi alle caratteristiche dei terreni ad un livello accettabile, e devono essere programmate in funzione del tipo di opera o di intervento.



## **RAPPRESENTATIVITA' STATISTICA DELLE INDAGINI GEOTECNICHE CORRENTI**

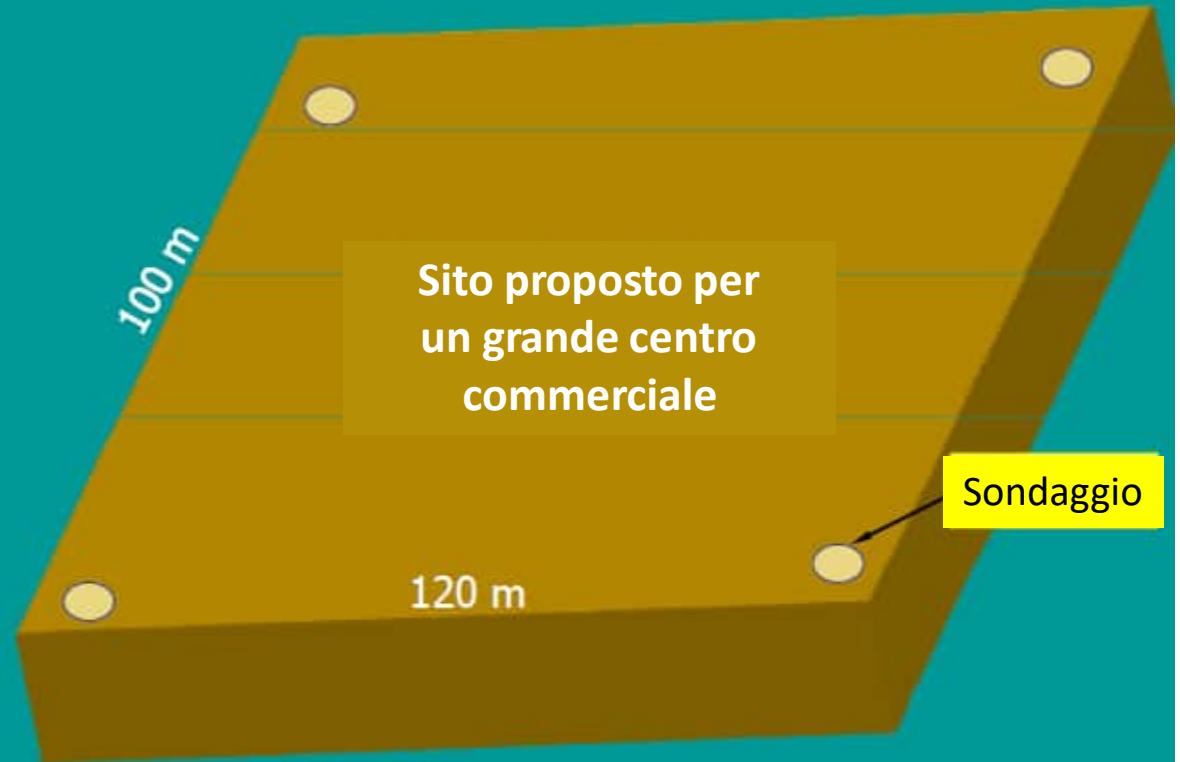
**Indagine tradizionale con sondaggi:  
1 m<sup>3</sup> di terreno investigato ogni 150 000 m<sup>3</sup>**



In generale solo una piccolissima frazione del volume significativo, normalmente meno dello 0,1% del volume significativo, viene indagata direttamente!

## *Il numero delle prove e la loro ubicazione*

### Quanti fori di sondaggio?



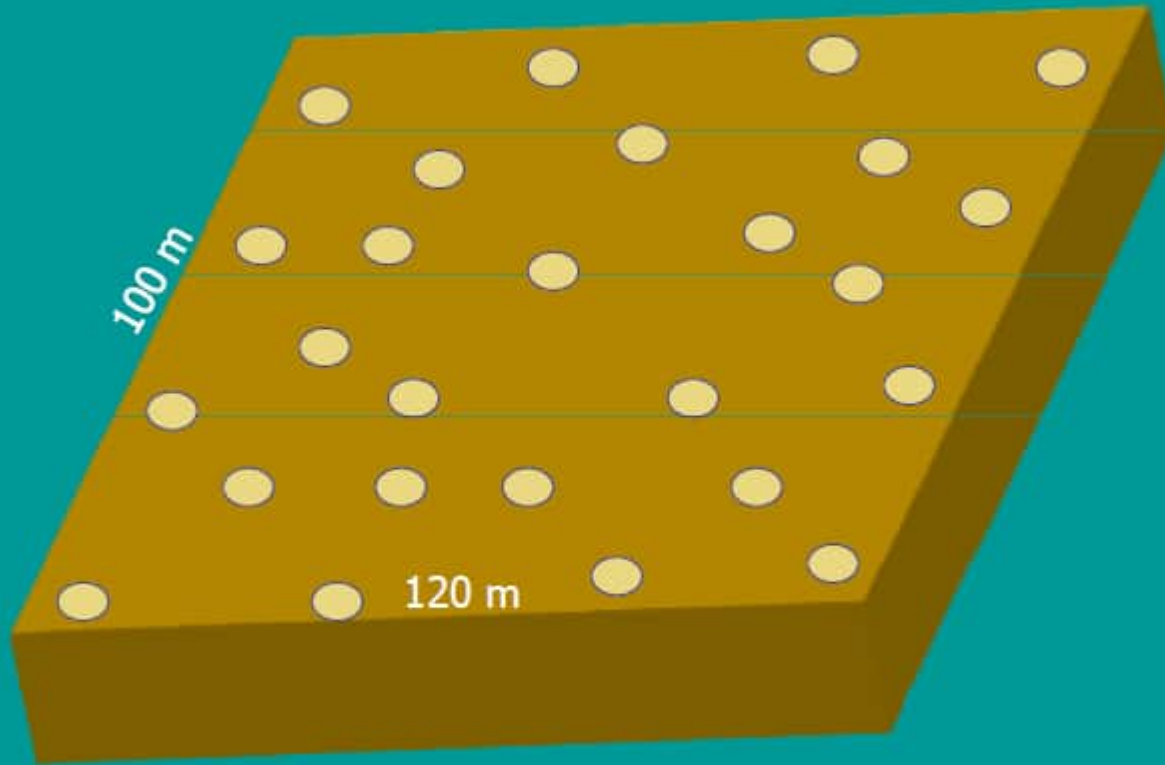
Sondaggi insufficienti; il profilo e le proprietà non sono ben definiti.





## *Il numero delle prove e la loro ubicazione*

### Quanti fori di sondaggio?

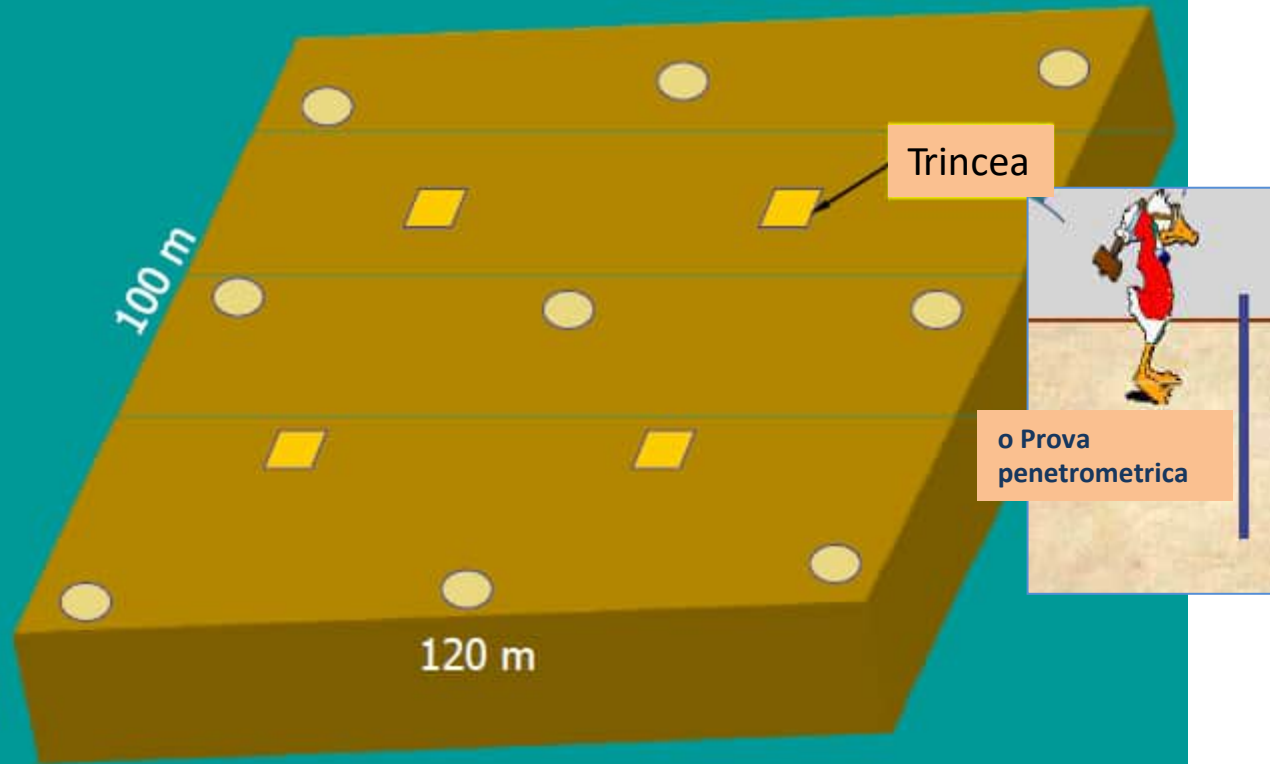


Troppi sondaggi e salta il budget



## *Il numero delle prove e la loro ubicazione*

### Quanti fori di sondaggio?



OK ?



**Il numero delle terebrazioni e/o prove dipende dagli elementi geologici e geomorfologici e dallo loro complessità, nonché dal tipo di progetto e dalla sua importanza.**

## Approccio progettuale: A1M1R3

La resistenza di calcolo  $R_c$  si può determinare:

1. con **metodi analitici** (formule statiche, correlazioni con prove in sito)
2. da prove di carico statico **di progetto**
3. da prove dinamiche (alta energia) **di progetto**

La resistenza caratteristica  $R_k$  si ottiene riducendo la resistenza di calcolo in base a 'coefficienti di indagine'  $\xi$ , decrescenti con il numero  $n$  di verticali di indagine o prove eseguite.

$$R_k = \text{Min} \left\{ \frac{(R_e)_{med}}{\xi_i(n)}, \frac{(R_e)_{min}}{\xi_j(n)} \right\}$$

I valori  $\xi(n)$  sono fissati in base alla procedura di calcolo utilizzata (1., 2. o 3.).

La resistenza di progetto  $R_d$  si ottiene parzializzando la resistenza caratteristica  $R_k$  per il coefficiente  $\gamma_R$  (valori di  $\gamma_R$  diversi per le diverse resistenze)

Le NTC premiano i maggiori oneri da sopportare per l'esecuzione di un programma di indagini più approfondito

Nell'ambito dello stesso sistema di fondazione, il numero di verticali d'indagine da considerare per la scelta dei coefficienti  $\xi$  deve corrispondere al numero di verticali lungo le quali la singola indagine (sondaggio con prelievo di campioni indisturbati, prove penetrometriche, etc.) sia stata spinta ad una profondità superiore alla lunghezza dei pali, in grado di consentire una completa identificazione del modello geotecnico di sottosuolo.

+21%

+40%

Carico limite calcolato attraverso un **metodo analitico**  
(p.es. formule statiche o correlazioni con la resistenza penetrometrica):

<b>Numero di verticali indagate</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b><math>\geq 10</math></b>
$\xi_3$	<b>1.70</b>	<b>1.65</b>	<b>1.60</b>	<b>1.55</b>	<b>1.50</b>	<b>1.45</b>	<b>1.40</b>
$\xi_4$	<b>1.70</b>	<b>1.55</b>	<b>1.48</b>	<b>1.42</b>	<b>1.34</b>	<b>1.28</b>	<b>1.21</b>

Carico limite valutato attraverso **prove di carico**:

<b>Numero di prove di carico statiche</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b><math>\geq 5</math></b>
$\xi_1$	<b>1.40</b>	<b>1.30</b>	<b>1.20</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>
$\xi_2$	<b>1.40</b>	<b>1.20</b>	<b>1.05</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>

<b>Numero di prove di carico dinamiche</b>	<b><math>\geq 2</math></b>	<b><math>\geq 5</math></b>	<b><math>\geq 10</math></b>	<b><math>\geq 15</math></b>	<b><math>\geq 20</math></b>
$\xi_5$	<b>1.60</b>	<b>1.50</b>	<b>1.45</b>	<b>1.42</b>	<b>1.40</b>
$\xi_6$	<b>1.50</b>	<b>1.35</b>	<b>1.30</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>

I coefficienti  $\xi$  per prove dinamiche sono più elevati di quelli relativi alle prove statiche perché l'interpretazione delle prove dinamiche non è diretta, ma passa attraverso la modellazione del problema esaminato, quindi è affetta da maggiori incertezze.

# CALCOLO PORTATA PALI - CFA

NOTA: solamente le caselle colorate in giallo devono essere riempite manualmente

## INPUT - DATI GEOMETRICI DEL PALO e CARICHI

<b>D</b>	0.62	[m]	diametro del palo
<b>Z<sub>PP</sub></b>	16.50	[m]	profondità massima di calcolo
<b>Z<sub>TP</sub></b>	1.70	[m]	profondità testa palo da p.c.
<b>L<sub>p</sub></b>	14.80	[m]	lunghezza effettiva palo
<b>z<sub>w</sub></b>	1.70	[m]	profondità della falda dal p.c.
<b>f<sub>cd</sub></b>	35.00	[Mpa]	resistenza di calcolo del cls
<b>δ<sub>cls</sub></b>	0.00	[kN/m <sup>3</sup> ]	peso volumetrico cls
<b>γ<sub>s</sub></b>	1.15	[-]	coeff. parziale res. laterale
<b>γ<sub>p</sub></b>	1.30	[-]	coeff. parziale res. punta
<b>ξ</b>	1.50	[-]	coeff. sicurezza (n° verticali)
<b>Q<sub>ed,sovrastr.</sub></b>	1728.50	[kN]	carico palo da sovrastruttura
<b>Q<sub>palo</sub></b>	0.00	[kN]	Peso proprio palo
<b>U</b>	0.00	[kN]	Sottospinta idraulica
<b>Q<sub>Attr,neg</sub></b>	0.00	[kN]	Carico da attrito negativo
<b>Q<sub>ed</sub></b>	1728.50	[kN]	Q <sub>ed,sovrastr.</sub> +Q <sub>palo</sub> +Q <sub>attr,neg</sub> -U

**Tabella 6.4.II** – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ <sub>b</sub>	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ <sub>s</sub>	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	γ <sub>t</sub>	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ <sub>st</sub>	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ <sub>3</sub>	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ <sub>4</sub>	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Considerare sottospinta idraulica?

NO

Considerare attrito negativo?

NO

**INPUT - DATI GEOMETRICI DEL TERRENO**

NOTA: è sempre necessario inserire uno strato avente profondità uguale alla falda ed alla testa del palo se questa è > di zero

Tipo palo	battuto	Condizioni	DRENATE									
n° strato	tipo terreno	H <sub>f</sub> [m]	ΔH <sub>i</sub> [m]	γ <sub>n</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	γ' [kN/m <sup>3</sup> ]	N <sub>SPT</sub> [-]	φ [°]	K [-]	c <sub>u</sub> / c' [kPa]	Attrito negativo	α [-]	c <sub>a</sub> [kPa]
1	Strato 1	0.70	0.70	17.00	17.00		27.00			NO	0.00	0.00
2	Strato 2	1.70	1.00	17.00	17.00		27.00			NO	0.00	0.00
3	Strato 3	3.30	1.60	17.00	7.00		28.00	0.70		NO	0.00	0.00
4	Strato 4	6.00	2.70	19.50	9.50		31.00	0.70		NO	0.00	0.00
5	Strato 5	11.10	5.10	18.50	8.50		27.00	0.70		NO	0.00	0.00
6	Strato 6	12.60	1.50	19.00	9.00		30.00	0.70		NO	0.00	0.00
7	Strato 7	16.50	3.90	20.00	10.00		33.00	0.70		NO	0.00	0.00
8			0.00		0.00					NO	0.00	0.00
9			0.00		0.00					NO	0.00	0.00

**Congruenza dei dati**

Congruenza sulla lunghezza: OK  
 Congruenza sulla stratigrafia: OK  
 Congruenza stratigrafia / palo: OK

**PORTATA LATERALE - metodo Viggiani (pag. 377 - 378)**

$$s = c_{a,i} + \sigma_{h,med,i} \cdot \mu \quad Q_{L,i} = s_i \cdot A_{L,i} \quad Q_{L,lim} = \sum Q_{L,i}$$

	σ <sub>v,i</sub> [kPa]	σ <sub>v,(i+1)</sub> [kPa]	σ <sub>v,med</sub> [kPa]	σ <sub>h,med</sub> [kPa]
σ <sub>h,1</sub>	0	11.9	5.95	0
σ <sub>h,2</sub>	11.9	28.9	20.4	0
σ <sub>h,3</sub>	28.9	40.1	34.5	24.15
σ <sub>h,4</sub>	40.1	65.75	52.925	37.0475
σ <sub>h,5</sub>	65.75	109.1	87.425	61.1975
σ <sub>h,6</sub>	109.1	122.6	115.85	81.095
σ <sub>h,7</sub>	122.6	161.6	142.1	99.47
σ <sub>h,8</sub>	0	0	0	0
σ <sub>h,9</sub>	0	0	0	0

c <sub>a</sub> [kPa]	φ [rad]	s <sub>i</sub> [kPa]	q <sub>L,i</sub> [kN/m]
0.00	0.4712389	<b>0.00</b>	0.00
0	0.4712389	<b>0.00</b>	0.00
0	0.4886922	<b>12.84</b>	20.55
0	0.5410521	<b>22.26</b>	60.10
0	0.4712389	<b>31.18</b>	159.03
0	0.5235988	<b>46.82</b>	70.23
0	0.5759587	<b>64.60</b>	251.93
0	0	<b>0.00</b>	0.00
0	0	<b>0.00</b>	0.00

Parametri attrito negativo		
α (non dr.)	β (drenate)	q <sub>Attr.n</sub> [kN/m]
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00

Q <sub>l,lim</sub>	<b>1094.33</b>	[kN]	Portata limite laterale
Q <sub>l,calc</sub>	<b>951.59</b>	[kN]	Portata amm. Laterale di calcolo

Q <sub>l,lim</sub>	<b>0.00</b>	[kN]	Carico agg. attrito negativo
--------------------	-------------	------	------------------------------

**PORTATA ALLA BASE - metodo di Berenzantzev (rif. Viggiani pag. 373-376)**

Tipo palo	trivellato											
n° strato	tipo terreno	H <sub>f</sub> [m]	DH <sub>i</sub> [m]	γ <sub>n</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	γ' [kN/m <sup>3</sup> ]	φ [°]	φ [-]	K [-]	c <sub>u</sub> /c' [kPa]		α [-]	c <sub>a</sub> [kPa]
7		16.50	3.90	20.00	10.00	33.00	0.58	0.70	0.00		0.00	0.00

Tabella per il calcolo di B<sub>k</sub>

φ	26	30	34	37	40
B <sub>k</sub>	20.00	33.00	63.00	104.00	186.00

<b>A<sub>b</sub></b>	Area della base del palo	0.30	[m <sup>2</sup> ]
<b>σ<sub>vL</sub>'</b>	Pressione geostatica di base	161.6	[kPa]
<b>N<sub>q</sub></b>	Nq barrato	26.09201	[-]
<b>N<sub>q</sub>=uB<sub>k</sub></b>	Fattore capacit. Berenzantzev		[-]
<b>N<sub>q</sub>(auto)</b>	Fattore capacit. Hansen	36.83571	[-]
<b>N<sub>q</sub></b>	Minimo Berenzantzev / Hansen	36.83571	[-]
<b>c</b>	Coesione alla base	0.00	[kPa]
<b>N<sub>c</sub>(manuale)</b>	Coeff. di coesione manuale		[-]
<b>N<sub>c</sub>(auto)</b>	Coeff. di coesione Hansen	62.27	[-]
<b>N<sub>c</sub></b>	Coeff. di coesione di calcolo	62.27	[-]
<b>p</b>	Resistenza unitaria punta	5952.65	[kPa]
<b>u</b>	Sottospinta idraulica	148.00	[kPa]

Tabella per il calcolo di v

H/D - φ	26	30	34	37	40
5.00	0.75	0.77	0.81	0.83	0.85
10.00	0.62	0.67	0.73	0.76	0.79
15.00	0.55	0.61	0.68	0.73	0.77
20.00	0.49	0.57	0.65	0.71	0.75
25.00	0.44	0.53	0.63	0.70	0.74

$$p = N_q \cdot \sigma'_{vL} + N_c \cdot c$$

$$Q_{b,lim} = p \cdot A_b$$

<b>Q<sub>b,lim</sub></b>	<b>1797.15</b>	<b>[kN]</b>	Portata limite di base
<b>Q<sub>b,calc</sub></b>	<b>1382.42</b>	<b>[kN]</b>	Portata amm. di base di calcolo

**PORTATA TOTALE SINGOLO PALO**

<b>Q<sub>l,lim</sub></b>	<b>1094.33</b>	<b>[kN]</b>	Portata limite laterale
<b>Q<sub>l,amm</sub></b>	<b>951.59</b>	<b>[kN]</b>	Portata amm. Laterale di calcolo
<b>Q<sub>b,lim</sub></b>	<b>1797.15</b>	<b>[kN]</b>	Portata limite di base
<b>Q<sub>b,amm</sub></b>	<b>1382.42</b>	<b>[kN]</b>	Portata amm. di base di calcolo
<b>PORTATA TOTALE LIMITE</b>	<b>2891.5</b>	<b>[kN]</b>	
<b>PORTATA TOTALE AMMISSIBILE di CALC.</b>	<b>2334.0</b>	<b>[kN]</b>	
<b>PORTATA TOTALE CARATTERISTICA</b>	<b>1556.0</b>	<b>[kN]</b>	

# CALCOLO PORTATA PALI - FDP

NOTA: solamente le caselle colorate in giallo devono essere riempite manualmente

## INPUT - DATI GEOMETRICI DEL PALO e CARICHI

<b>D</b>	0.62	[m]	diametro del palo
<b>Z<sub>PP</sub></b>	16.50	[m]	profondità massima di calcolo
<b>Z<sub>TP</sub></b>	1.70	[m]	profondità testa palo da p.c.
<b>L<sub>p</sub></b>	14.80	[m]	lunghezza effettiva palo
<b>z<sub>w</sub></b>	1.70	[m]	profondità della falda dal p.c.
<b>f<sub>cd</sub></b>	35.00	[Mpa]	resistenza di calcolo del cls
<b>δ<sub>cls</sub></b>	0.00	[kN/m <sup>3</sup> ]	peso volumetrico cls
<b>γ<sub>s</sub></b>	1.15	[-]	coeff. parziale res. laterale
<b>γ<sub>p</sub></b>	1.30	[-]	coeff. parziale res. punta
<b>ξ</b>	1.50	[-]	coeff. sicurezza (n° verticali)
<b>Q<sub>ed,sovrastr.</sub></b>	1728.50	[kN]	carico palo da sovrastruttura
<b>Q<sub>palo</sub></b>	0.00	[kN]	Peso proprio palo
<b>U</b>	0.00	[kN]	Sottospinta idraulica
<b>Q<sub>Attr,neg</sub></b>	0.00	[kN]	Carico da attrito negativo
<b>Q<sub>ed</sub></b>	1728.50	[kN]	Q <sub>ed,sovrastr.</sub> +Q <sub>palo</sub> +Q <sub>attr,neg</sub> -U

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Considerare sottospinta idraulica?

NO

Considerare attrito negativo?

NO



## INPUT - DATI GEOMETRICI DEL TERRENO

NOTA: è sempre necessario inserire uno strato avente profondità uguale alla falda ed alla testa del palo se questa è > di zero

Tipo palo	battuto	Condizioni	DRENATE									
n° strato	tipo terreno	H <sub>f</sub> [m]	ΔH <sub>i</sub> [m]	γ <sub>n</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	γ' [kN/m <sup>3</sup> ]	N <sub>SPT</sub> [-]	φ [°]	K [-]	c <sub>u</sub> / c' [kPa]	Attrito negativo	α [-]	c <sub>a</sub> [kPa]
1	Strato 1	0.70	0.70	17.00	17.00		27.00			NO	0.00	0.00
2	Strato 2	1.70	1.00	17.00	17.00		27.00			NO	0.00	0.00
3	Strato 3	3.30	1.60	17.00	7.00		28.00	0.90		NO	0.00	0.00
4	Strato 4	6.00	2.70	19.50	9.50		31.00	0.90		NO	0.00	0.00
5	Strato 5	11.10	5.10	18.50	8.50		27.00	0.90		NO	0.00	0.00
6	Strato 6	12.60	1.50	19.00	9.00		30.00	0.90		NO	0.00	0.00
7	Strato 7	16.50	3.90	20.00	10.00		33.00	0.90		NO	0.00	0.00
8			0.00		0.00					NO	0.00	0.00
9			0.00		0.00					NO	0.00	0.00

### Congruenza dei dati

Congruenza sulla lunghezza:  
 Congruenza sulla stratigrafia  
 Congruenza stratigrafia / palo

OK  
OK  
OK

## PORTATA LATERALE - metodo Viggiani (pag. 377 - 378)

$$s = c_{a,i} + \sigma_{h,med,i} \cdot \mu \quad Q_{L,i} = s_i \cdot A_{L,i} \quad Q_{L,lim} = \sum Q_{L,i}$$

	σ <sub>v,i</sub> [kPa]	σ <sub>v,(i+1)</sub> [kPa]	σ <sub>v,med</sub> [kPa]	σ <sub>h,med</sub> [kPa]
σ <sub>h,1</sub>	0	11.9	5.95	0
σ <sub>h,2</sub>	11.9	28.9	20.4	0
σ <sub>h,3</sub>	28.9	40.1	34.5	31.05
σ <sub>h,4</sub>	40.1	65.75	52.925	47.6325
σ <sub>h,5</sub>	65.75	109.1	87.425	78.6825
σ <sub>h,6</sub>	109.1	122.6	115.85	104.265
σ <sub>h,7</sub>	122.6	161.6	142.1	127.89
σ <sub>h,8</sub>	0	0	0	0
σ <sub>h,9</sub>	0	0	0	0

c <sub>a</sub> [kPa]	φ [rad]	s <sub>i</sub> [kPa]	q <sub>L,i</sub> [kN/m]
0.00	0.4712389	<b>0.00</b>	0.00
0	0.4712389	<b>0.00</b>	0.00
0	0.4886922	<b>16.51</b>	26.42
0	0.5410521	<b>28.62</b>	77.28
0	0.4712389	<b>40.09</b>	204.46
0	0.5235988	<b>60.20</b>	90.30
0	0.5759587	<b>83.05</b>	323.91
0	0	<b>0.00</b>	0.00
0	0	<b>0.00</b>	0.00

Parametri attrito negativo		
α (non dr.)	β (drenate)	q <sub>Attr.n</sub> [kN/m]
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00

<b>Q<sub>l,lim</sub></b>	<b>1406.99</b>	<b>[kN]</b>	Portata limite laterale
<b>Q<sub>l,calc</sub></b>	<b>1223.47</b>	<b>[kN]</b>	Portata amm. Laterale di calcolo

<b>Q<sub>l,lim</sub></b>	<b>0.00</b>	<b>[kN]</b>	Carico agg. attrito negativo
--------------------------	-------------	-------------	------------------------------

**PORTATA ALLA BASE - metodo di Berenzantzev (rif. Viggiani pag. 373-376)**

Tipo palo	battuto											
$n^\circ$ strato	tipo terreno	$H_f$ [m]	$DH_i$ [m]	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	$\varphi$ [-]	$K$ [-]	$c_u/c'$ [kPa]		$\alpha$ [-]	$c_a$ [kPa]
7		16.50	3.90	20.00	10.00	34.75	0.61	0.90	0.00		0.00	0.00

Tabella per il calcolo di  $B_k$

$\phi$	26	30	34	37	40
$B_k$	20.00	33.00	63.00	104.00	186.00

$A_b$	Area della base del palo	0.30	[m <sup>2</sup> ]
$\sigma_{vL}'$	Pressione geostatica di base	161.6	[kPa]
$N_q$	$N_q$ barrato	32.27963	[-]
$N_q = \alpha B_k$	Fattore capacit. Berenzantzev		[-]
$N_q$ (auto)	Fattore capacit. Hansen	44.94088	[-]
$N_q$	Minimo Berenzantzev / Hansen	44.94088	[-]
$c$	Coesione alla base	0.00	[kPa]
$N_c$ (manuale)	Coeff. di coesione manuale		[-]
$N_c$ (auto)	Coeff. di coesione Hansen	72.66	[-]
$N_c$	Coeff. di coesione di calcolo	72.66	[-]
$p$	Resistenza unitaria punta	7262.45	[kPa]
$u$	Sottospinta idraulica	148.00	[kPa]

Tabella per il calcolo di  $\nu$

H/D - $\phi$	26	30	34	37	40
5.00	0.75	0.77	0.81	0.83	0.85
10.00	0.62	0.67	0.73	0.76	0.79
15.00	0.55	0.61	0.68	0.73	0.77
20.00	0.49	0.57	0.65	0.71	0.75
25.00	0.44	0.53	0.63	0.70	0.74

$$p = N_q \cdot \sigma_{vL}' + N_c \cdot c$$

$$Q_{b,lim} = p \cdot A_b$$

$Q_{b,lim}$	<b>2192.58</b>	[kN]	Portata limite di base
$Q_{b,calc}$	<b>1686.60</b>	[kN]	Portata amm. di base di calcolo

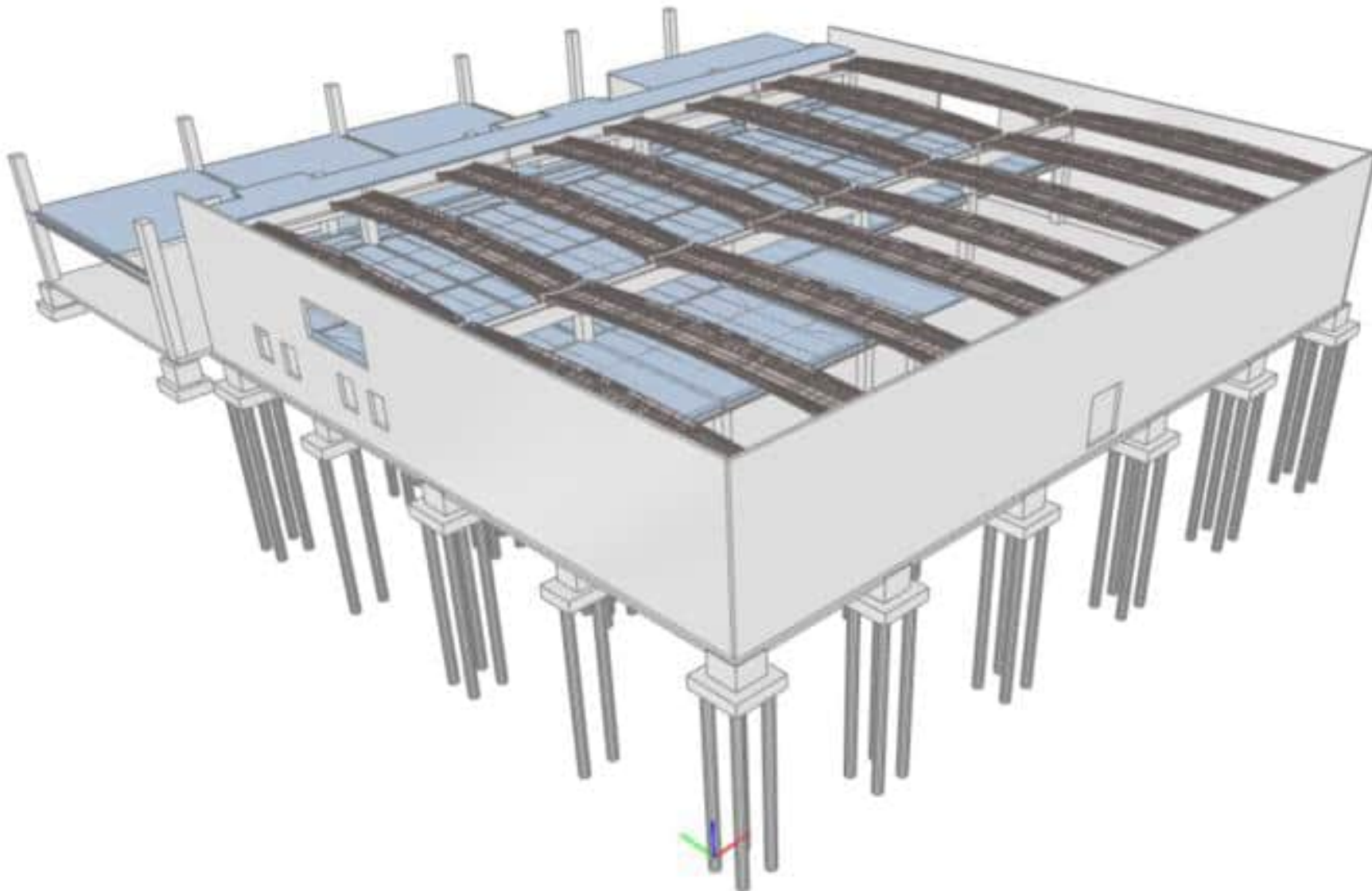
**PORTATA TOTALE SINGOLO PALO**

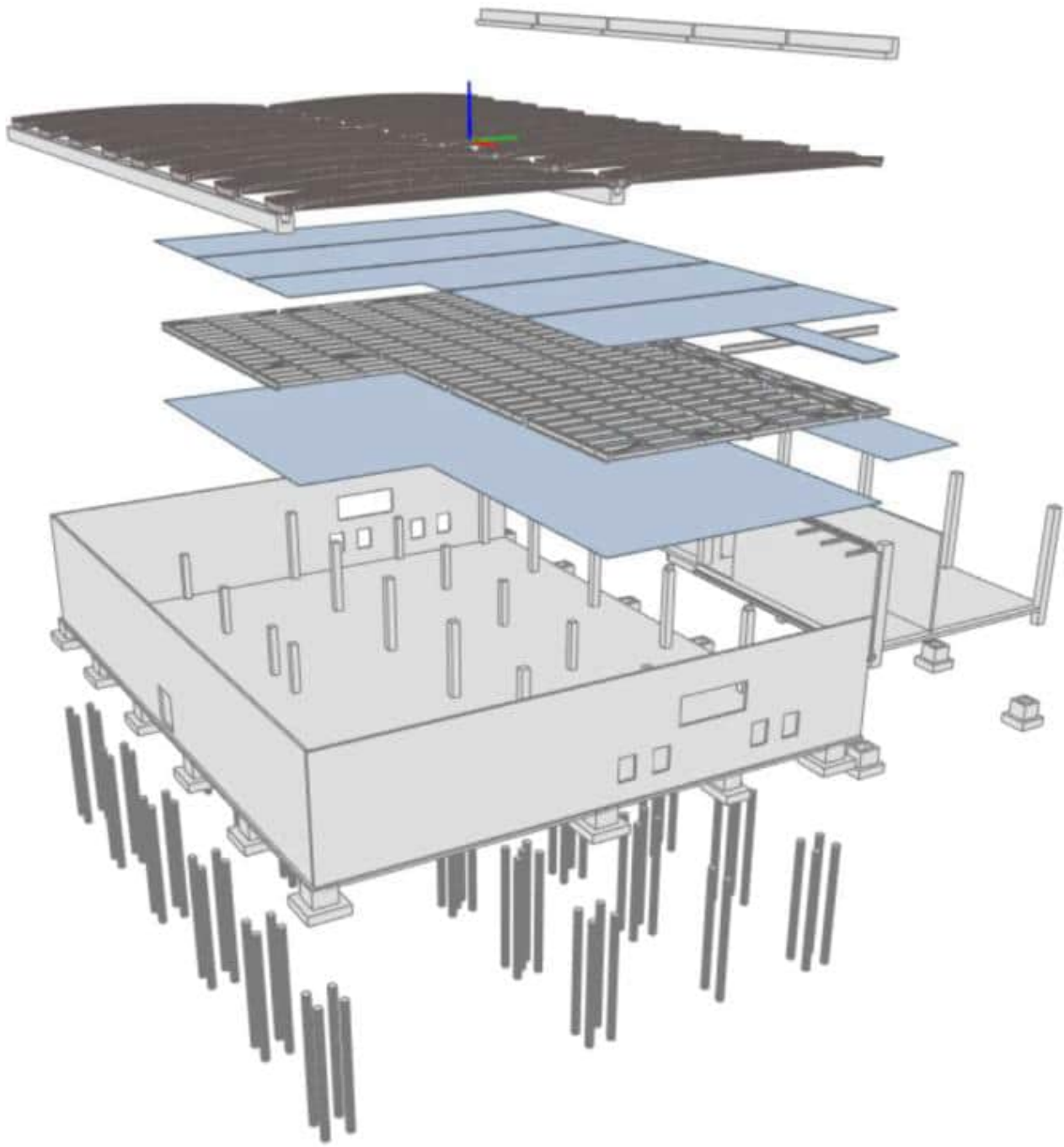
$Q_{l,lim}$	<b>1406.99</b>	[kN]	Portata limite laterale
$Q_{l,amm}$	<b>1223.47</b>	[kN]	Portata amm. Laterale di calcolo
$Q_{b,lim}$	<b>2192.58</b>	[kN]	Portata limite di base
$Q_{b,amm}$	<b>1686.60</b>	[kN]	Portata amm. di base di calcolo

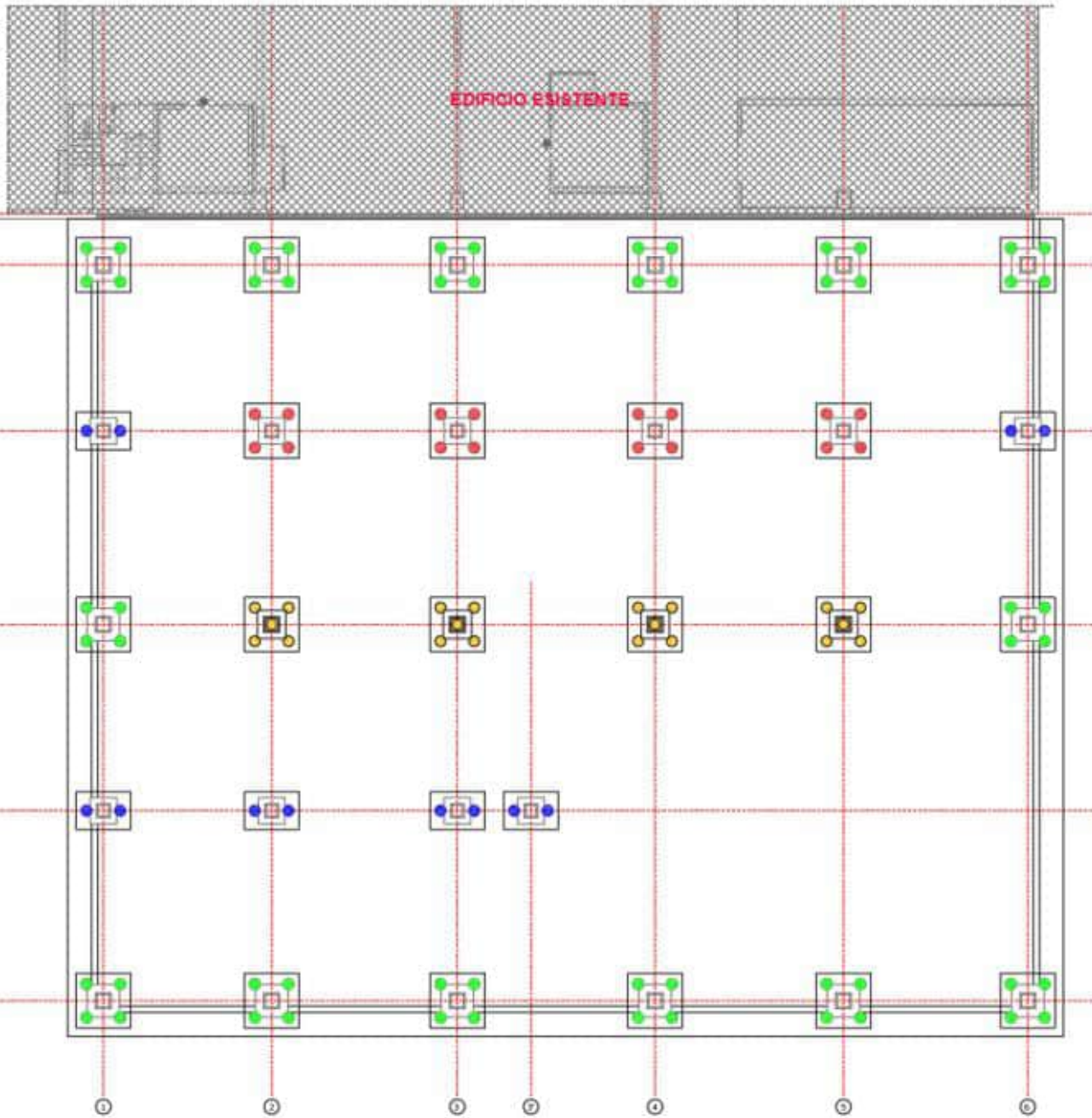
**Circa + 25%**

<b>PORTATA TOTALE LIMITE</b>	<b>3599.6</b>	[kN]
<b>PORTATA TOTALE AMMISSIBILE di CALC.</b>	<b>2910.1</b>	[kN]
<b>PORTATA TOTALE CARATTERISTICA</b>	<b>1940.1</b>	[kN]
<b>CARICO TOTALE AGENTE</b>	<b>1728.5</b>	[kN]

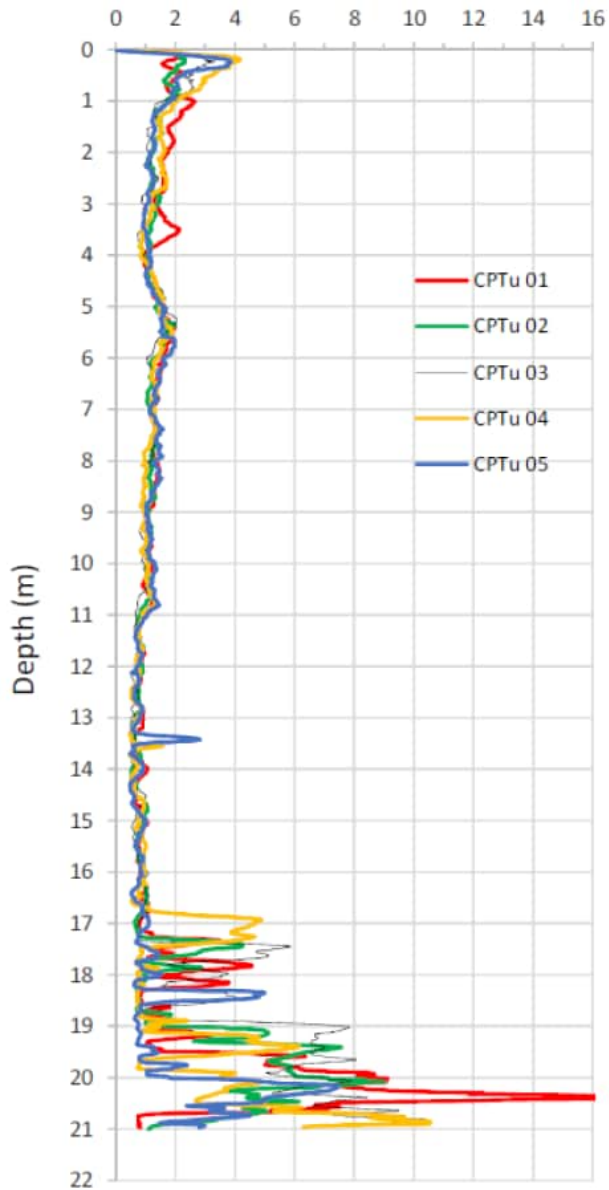
# CASO STUDIO – NUOVO CASEIFICIO CON PALI CFA



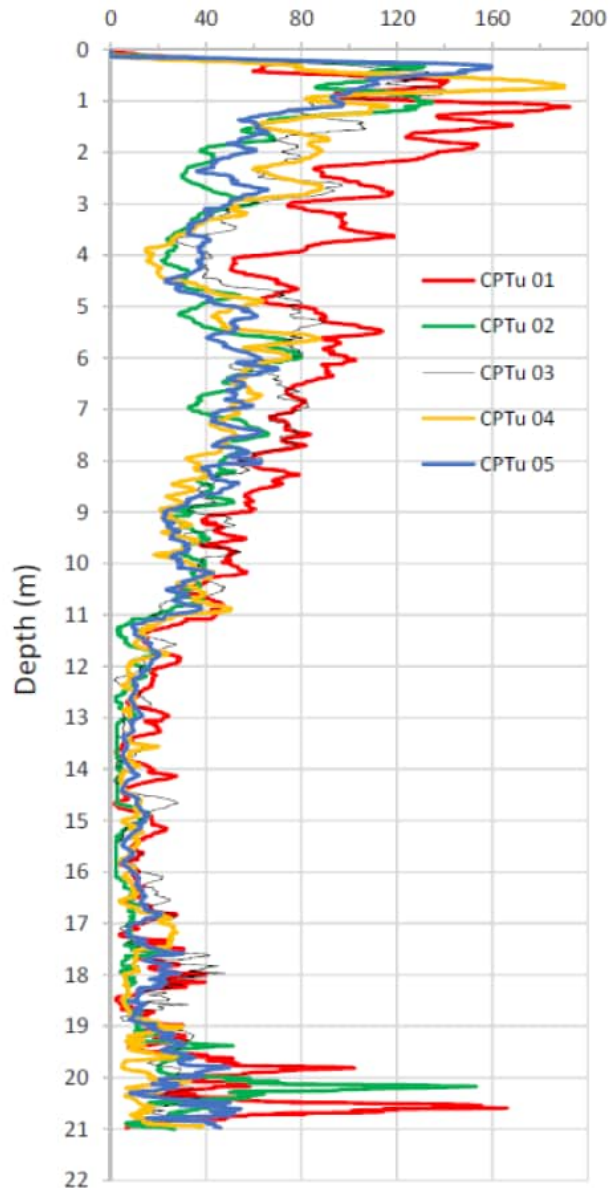




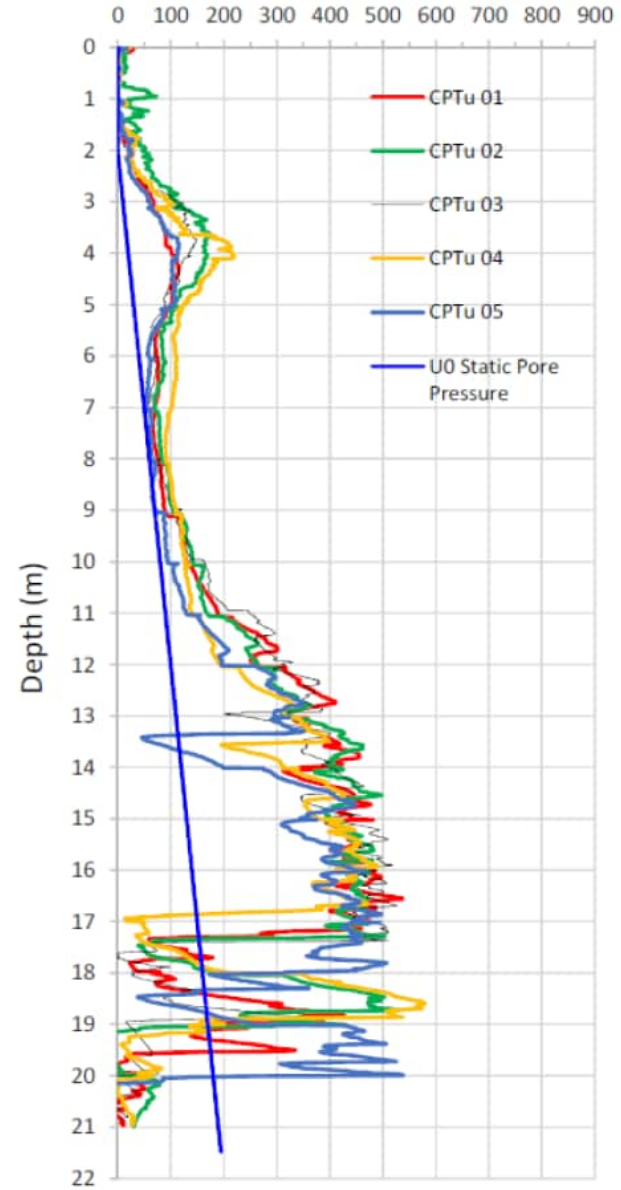
Cone Resistancia -  $q_c$  (MPa)



Friction Resistance -  $f_s$  (kPa)



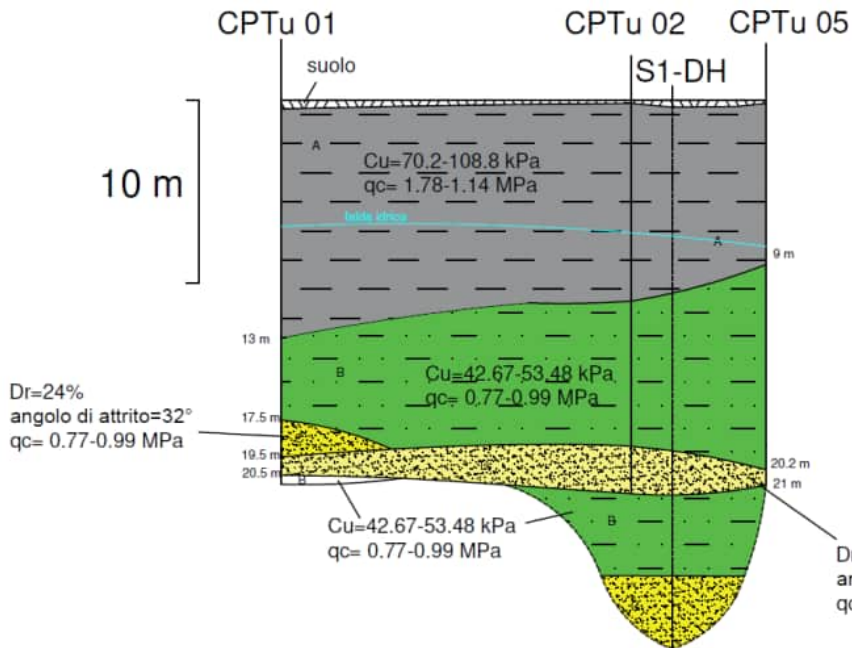
Porewater Pressure -  $U_2$  (kPa)



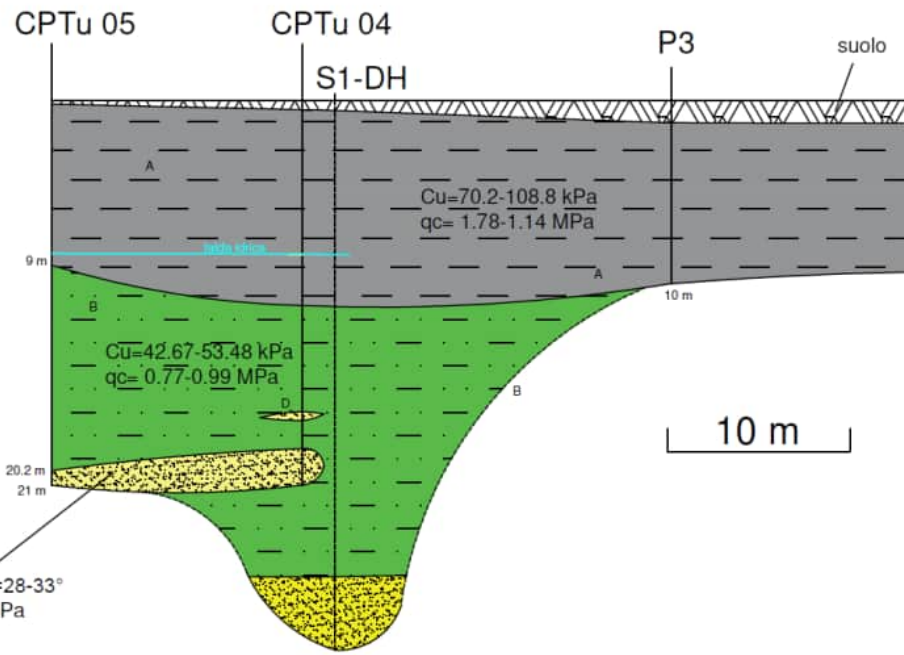
# Caratterizzazione geotecnica

## Sezione litotecnica

### Sezione 1

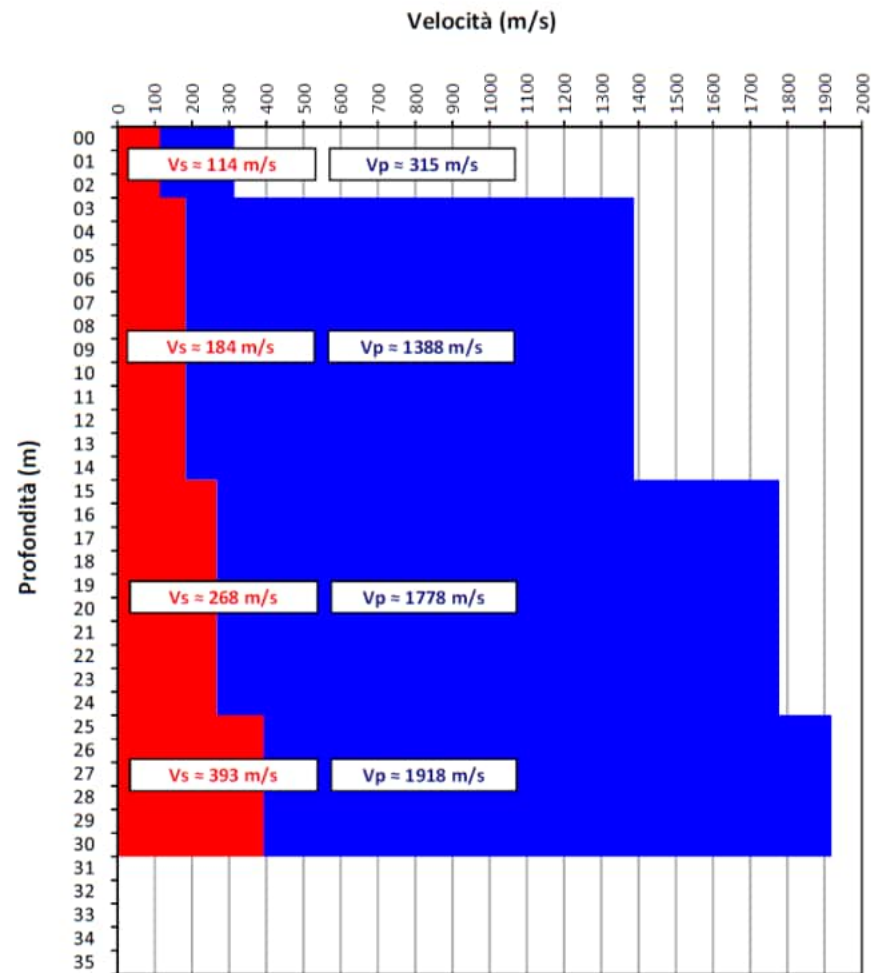
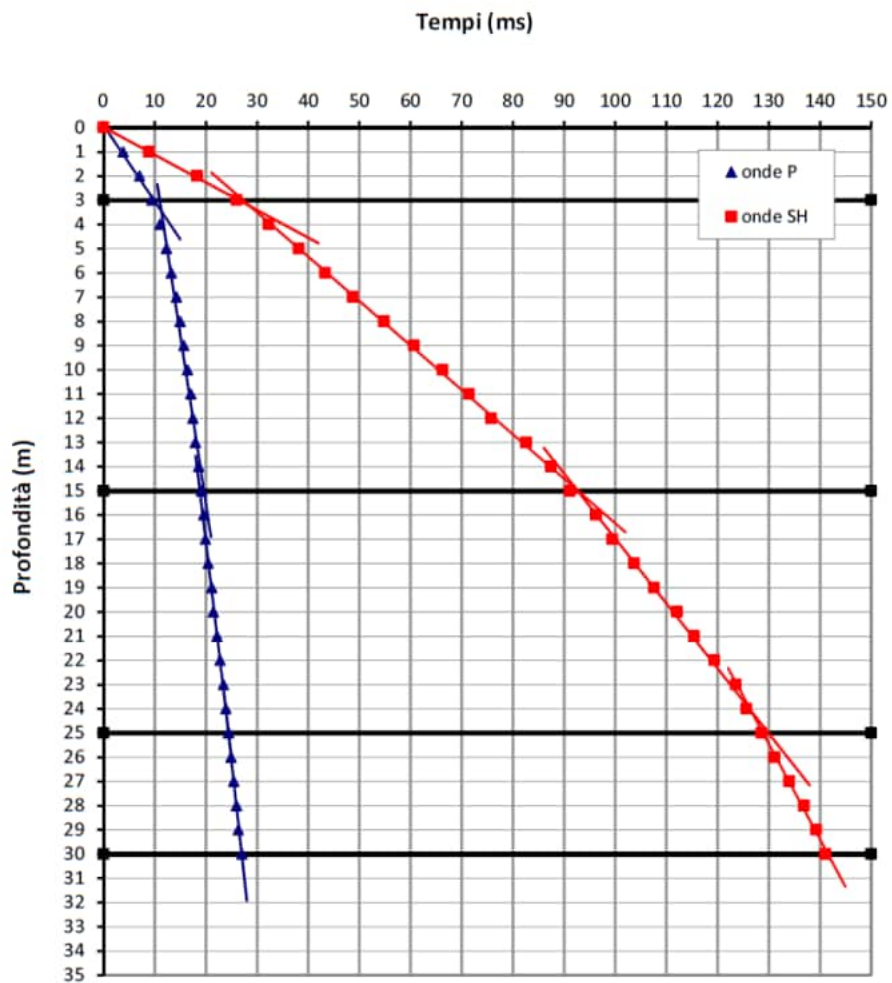


### Sezione 2



#### Litologie

A	Terreni limoso-argillosi e argillosi mediamente compatti
B	Terreni limoso-argillosi e argillosi plastici
C	Terreni limoso sabbiosi e sabbiosi poco consistenti
D	Terreni limoso-sabbiosi e sabbiosi mediamente consistenti



**Nota:** Valore della  $V_{s,eq}$  a partire dal piano campagna  $\approx 214$  m/s (Categoria di Suolo C)



**A - Terreni limoso-argillosi e argillosi mediamente compatti**

Profondità (m)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	C' (KPa)	$\alpha$ (°)	Dr (%)	M (MPa)
p.c. - 1.8	17.47-17.83	70.2-108.8	46.08-72.53*	19-22	26.66	17,31-20,22
1.8 - 2.2*	19.2*	83*	11*	22.6*	26.66	17,31-20,22
2.2 - 6	17.47-17.83	70.2-108.8	46.08-72.53*	19-22	26.66	17,31-20,22
6 - 9/11	17.47-17.83	70.2-108.8	46.08-72.53*	19-22	26.66	6,66-10,77

\*dati ottenuti dal campione analizzato in laboratorio.

\* dati ricavati dalle due prove CPTm.

\*calcolo ottenuto applicando la seguente formula empirica:  $C' = 2/3 \cdot Cu$

**B - Terreni limoso-argillosi e argillosi plastici**

Profondità (m)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	C' (KPa)	$\alpha$ (°)	Dr (%)	M (MPa)
9/11 - 19	15-16,04	42,67-53,48	28.45-35.65*	31-33	25	2.17-5.29

\*calcolo ottenuto applicando la seguente formula empirica:  $C' = 2/3 \cdot Cu$

**C - Terreni limoso-sabbiosi e sabbiosi poco consistenti**

(litotipo osservato solo lungo la prova CPTU 01)

Profondità (m)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (kPa)	C' (kPa)	$\alpha$ (°)	Dr (%)	M (MPa)
17.5-18	16.31	65.55	43.7*	32	24	35.18
18-19						4.08
19-19.5						12.56

\*calcolo ottenuto applicando la seguente formula empirica:  $C' = 2/3 \cdot Cu$

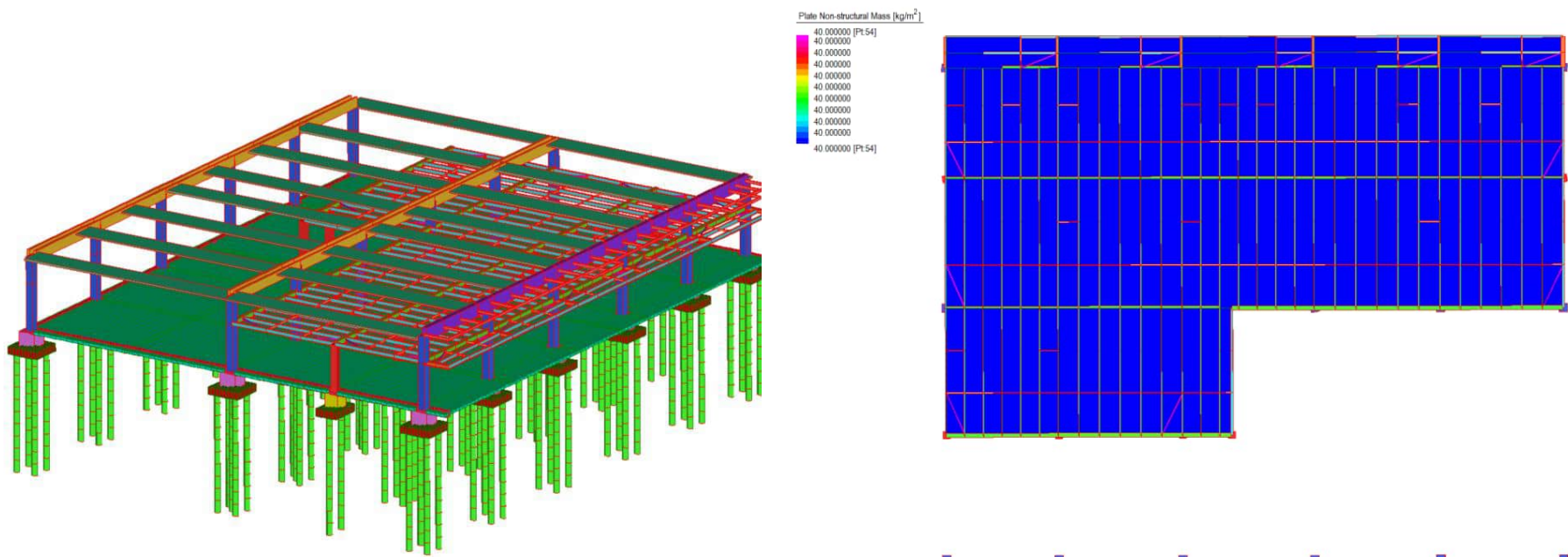


Figura 13 – Carichi permanenti NON strutturali soppalco metallico

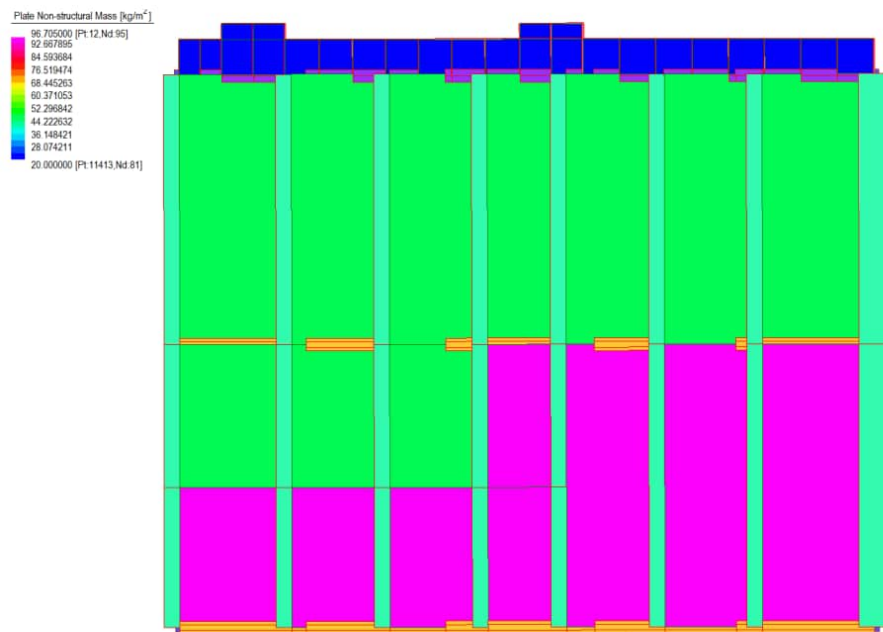
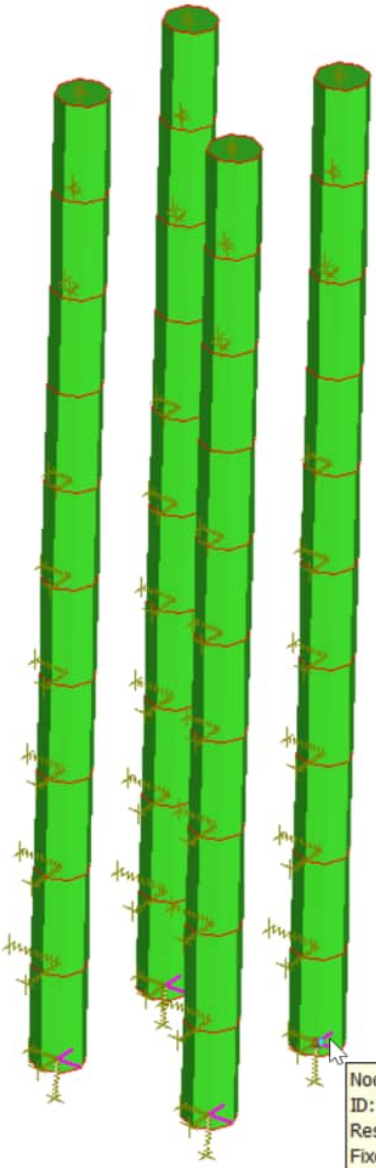


Figura 14 – Carichi permanenti NON strutturali copertura: Zona 1 (verde), Zona 2 (viola), Zona 3 (blu)

**9.1.2.2. Condizione di vincolo verticale dei pali**

I pali in punta sono vincolati rigidamente in X ed Y. In Z è applicata una molla alla winkler pari a 70.000 kN/m. La rigidità è desunta applicando la capacità portante ultima del palo priva di qualsiasi coefficiente di sicurezza, ed imponendo un cedimento massimo di 12 mm.

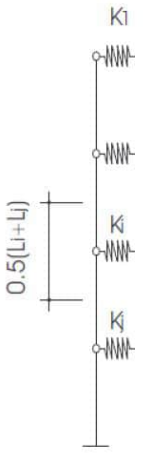


Node: 431 (177.215811 45.376862 -11.000000)  
 ID: 4  
 Restraint: [Global XYZ]  
 Fixed: DX DY RZ  
 Stiffness (T): [Global XYZ]  
 X:47738.042286 Y:47738.042286 Z:70000.000000

**2. Reazione nodale delle molle**

Il coefficiente  $k_s$   $[F/L^3]$  si correla alla rigidità  $K_i$   $[F/L]$  delle molle che modellano il terreno attraverso la seguente relazione:

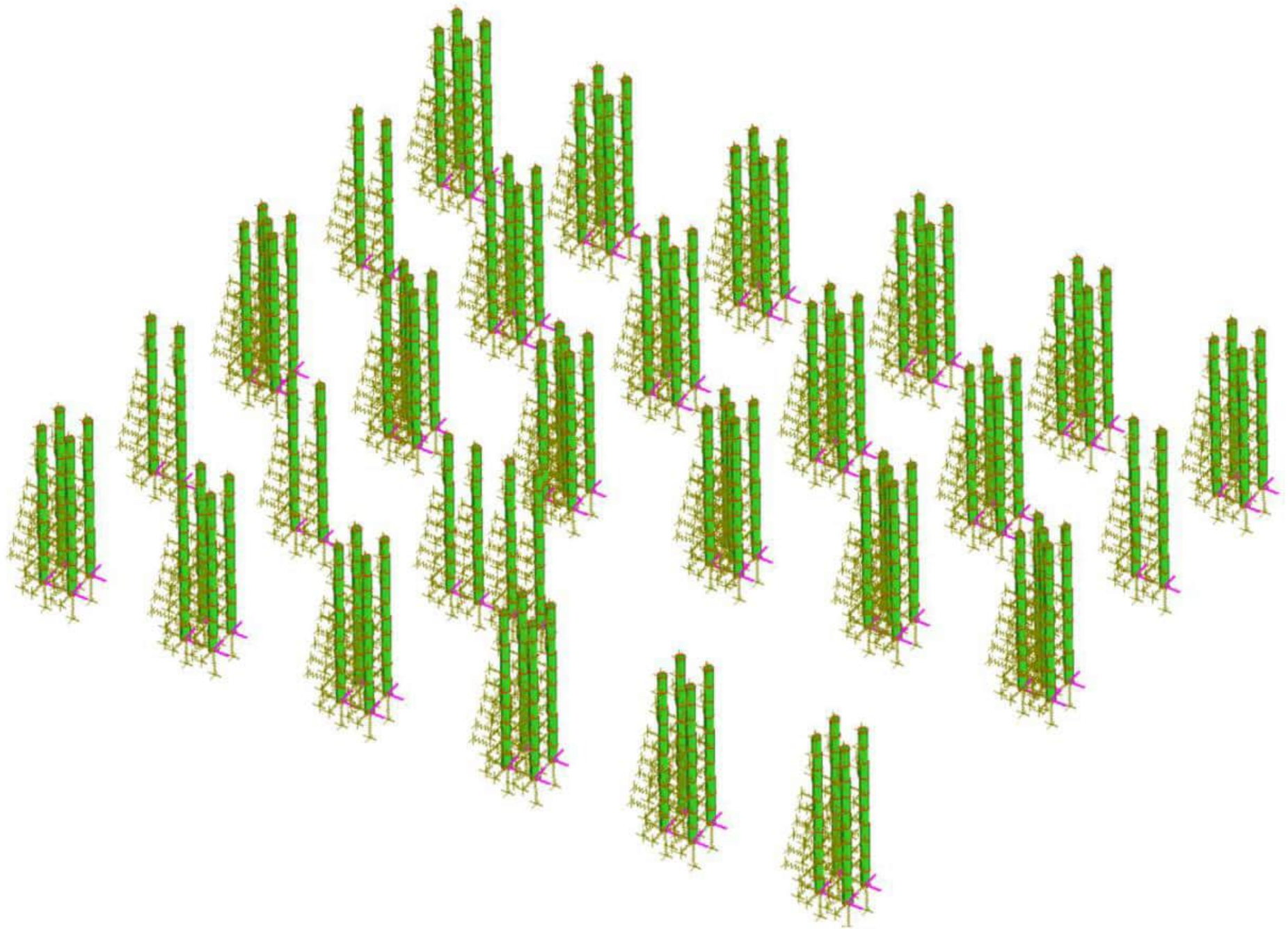
$$K_i = \frac{L_i + L_j}{2} \cdot B \cdot k_s$$



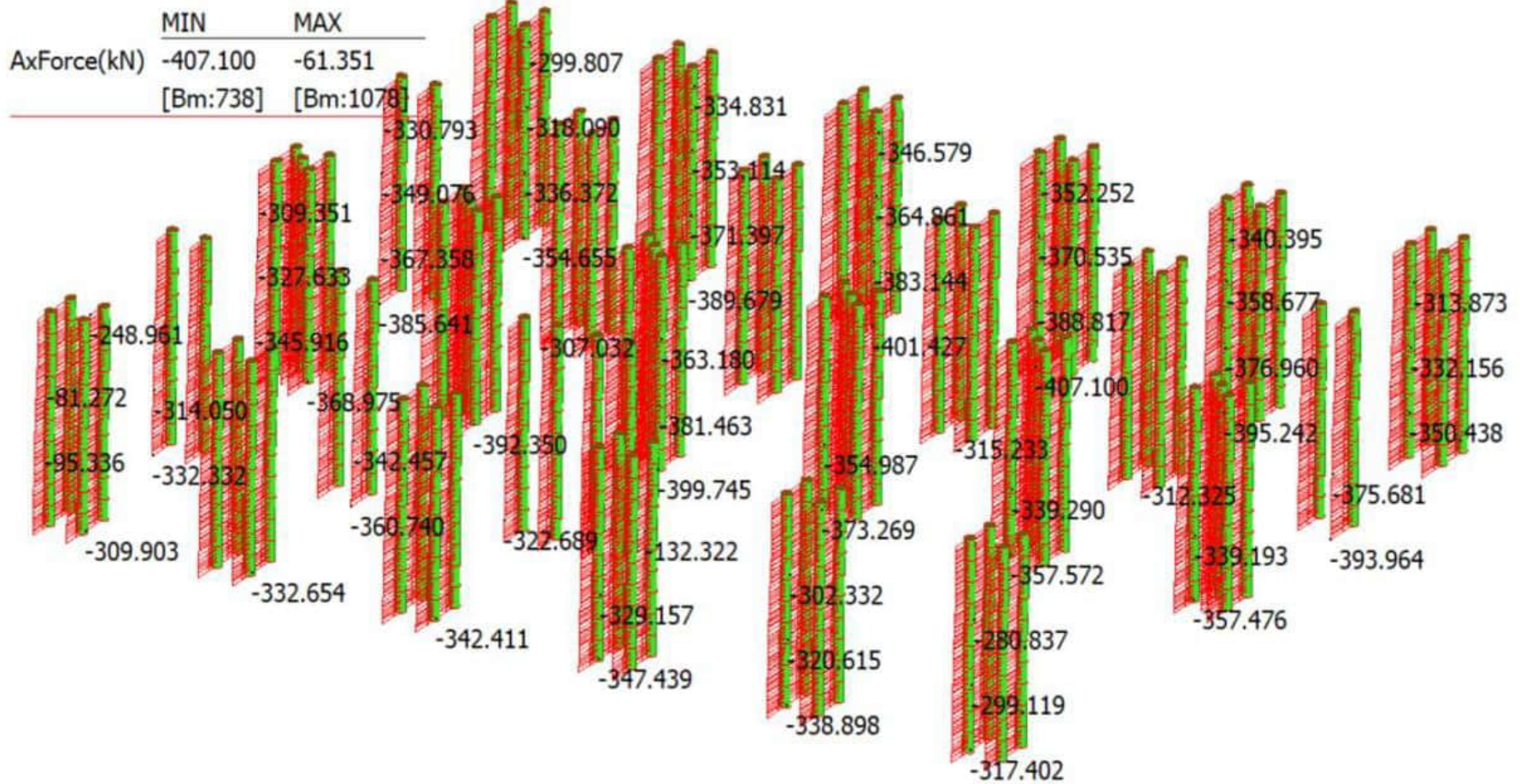
Se la molla dovesse rappresentare un tirante di ancoraggio di una paratia la formula diverrebbe:

$$K_i = \frac{E \cdot A}{i_i \cdot L} \cdot \cos \alpha$$

- Dove:
- A area del tirante
  - L lunghezza libera
  - $i_i$  interasse verticale dei tiranti
  - $\alpha$  inclinazione dei tiranti



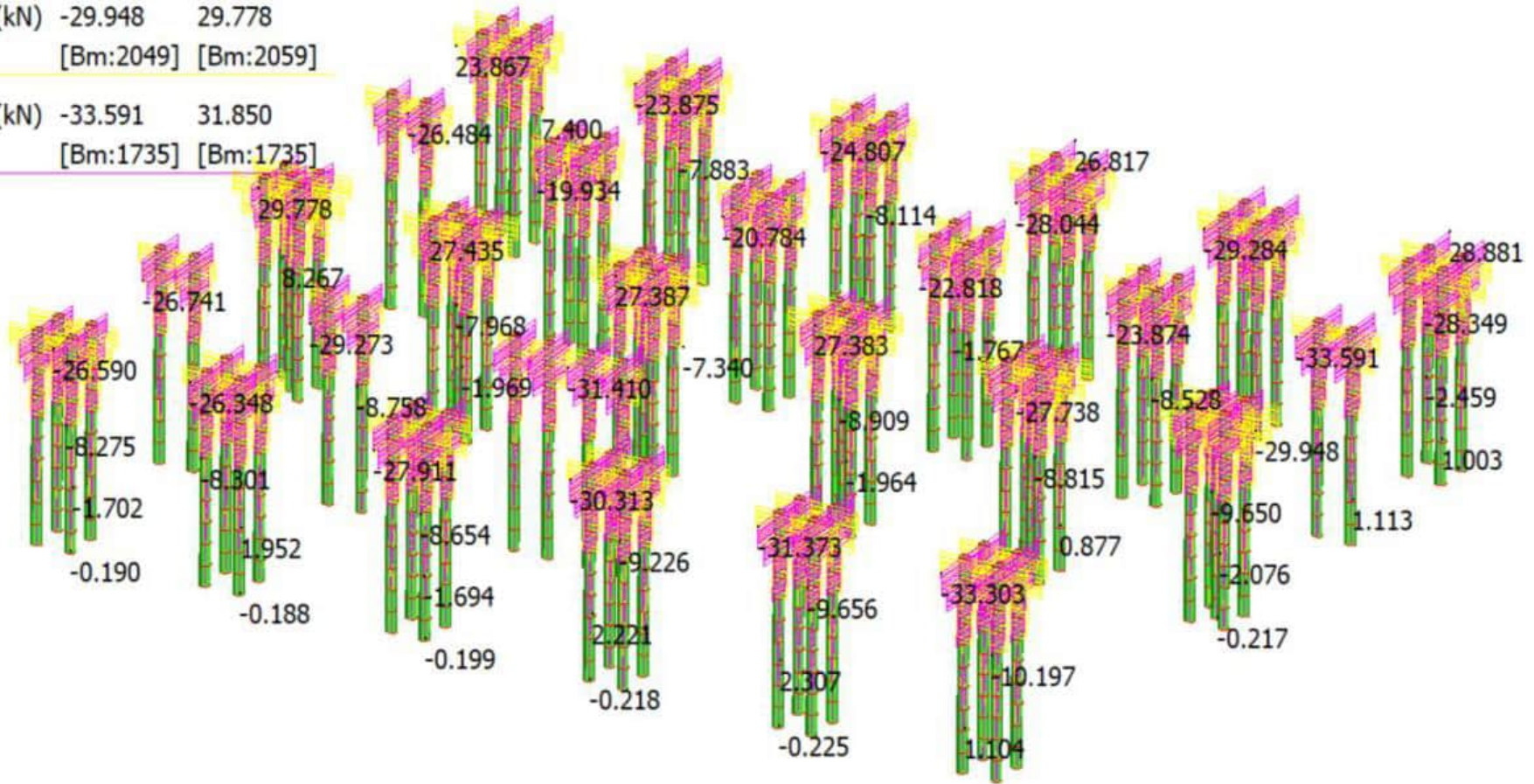
### 9.3.1 Involuppo SLU-SLV degli sforzi assiali nei pali



### 9.3.2 Involuppo SLU-SLV degli sforzi di taglio nei pali

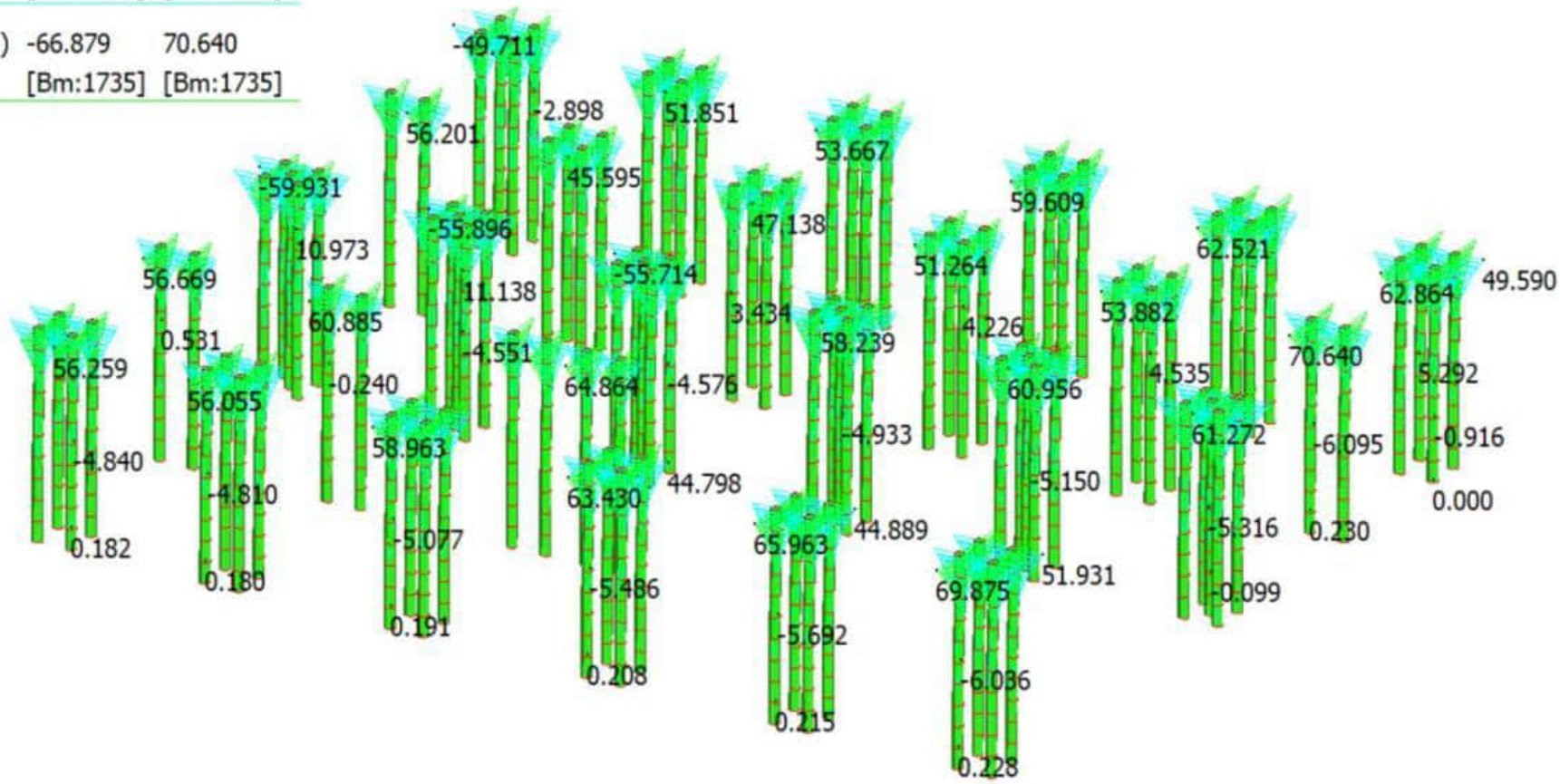
	MIN	MAX
SF1(kN)	-29.948	29.778
	[Bm:2049]	[Bm:2059]

	MIN	MAX
SF2(kN)	-33.591	31.850
	[Bm:1735]	[Bm:1735]



### 9.3.3 Involuppo SLU-SLV dei momenti flettenti nei pali

	MIN	MAX
BM1(kN.m)	-59.931	60.343
	[Bm:2059]	[Bm:2049]
BM2(kN.m)	-66.879	70.640
	[Bm:1735]	[Bm:1735]



# CALCOLO PORTATA PALI CONDIZIONI DRENATE - CFA Ø500

NOTA: solamente le caselle colorate in giallo devono essere riempite manualmente

## INPUT - DATI GEOMETRICI DEL PALO e CARICHI

D	0.50	[m]	diámetro del palo
Z <sub>fp</sub>	11.00	[m]	profondità massima di calcolo
Z <sub>tp</sub>	1.95	[m]	profondità testa palo da p.c.
L <sub>p</sub>	9.05	[m]	lunghezza effettiva palo
Z <sub>w</sub>	5.00	[m]	profondità della falda dal p.c.
f <sub>cd</sub>	18.13	[Mpa]	resistenza di calcolo del cls
δ <sub>cls</sub>	0.00	[kN/m <sup>3</sup> ]	peso volumetrico cls
γ <sub>s</sub>	1.15	[-]	coeff. parziale res. laterale
γ <sub>p</sub>	1.30	[-]	coeff. parziale res. punta
ξ	1.40	[-]	coeff. sicurezza (n° verticali)
Q <sub>ed,sovast</sub>	407.00	[kN]	carico palo da sovrastruttura
Q <sub>palo</sub>	0.00	[kN]	Peso proprio palo
U	0.00	[kN]	Sottospinta idraulica
Q <sub>Attr,neg</sub>	0.00	[kN]	Carico da attrito negativo
Q <sub>ed</sub>	407.00	[kN]	Q <sub>ed,sovast</sub> +Q <sub>palo</sub> +Q <sub>Attr,neg</sub> -U

Tabella 6.4.II - Coefficienti parziali γ<sub>i</sub> da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ <sub>b</sub>	1.0	1.45	1.15	1.0	1.7	1.35	1.0	1.6	1.3
Laterale in compressione	γ <sub>s</sub>	1.0	1.45	1.15	1.0	1.45	1.15	1.0	1.45	1.15
Totale (*)	γ <sub>t</sub>	1.0	1.45	1.15	1.0	1.6	1.30	1.0	1.55	1.25
Laterale in trazione	γ <sub>a</sub>	1.0	1.6	1.25	1.0	1.6	1.25	1.0	1.6	1.25

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ <sub>3</sub>	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ <sub>4</sub>	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Considerare sottospinta idraulica?

NO

Considerare attrito negativo?

NO

## INPUT - DATI GEOMETRICI DEL TERRENO

NOTA: è sempre necessario inserire uno strato avente profondità uguale alla falda ed alla testa del palo se questa è > di zero

n° strato	Tipo palo	BATTUTO	CONDIZIONI		DRENATE		γ'	N <sub>SPT</sub>	φ	K	c <sub>u</sub> / c'	Attrito negativo	α	c <sub>a</sub>
		tipo terreno	H <sub>f</sub> [m]	ΔH <sub>f</sub> [m]	γ <sub>n</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	γ' <sub>n</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]								
1	Riparto	1.95	1.95	20.00	20.00				0.70	0.00	NO	0.00	0.00	
2	Limo - Argillosi -A	5.00	3.05	19.20	19.20			22.60	0.70	11.00	NO	1.00	11.00	
3	Limo - Argillosi -A falda	9.00	4.00	19.20	9.20			22.60	0.70	11.00	NO	1.00	11.00	
4	Limo - argillosi -B	11.00	2.00	16.04	6.04			22.00	0.70	4.80	NO	1.00	4.80	
5			0.00		0.00						NO	0.00	0.00	
6			0.00		0.00						NO	0.00	0.00	
7			0.00		0.00						NO	0.00	0.00	
8			0.00		0.00						NO	0.00	0.00	
			0.00		0.00						NO	0.00	0.00	

### Congruenza dei dati

Congruenza sulla lunghezza: OK  
 Congruenza sulla stratigrafia: OK  
 Congruenza stratigrafia / palo: OK

## PORTATA LATERALE - metodo Viggiani (pag. 377 - 378)

$$s = c_{a,i} + \sigma_{h,med,i} \cdot \mu \quad Q_{L,i} = s_i \cdot A_{L,i} \quad Q_{L,lim} = \sum Q_{L,i}$$

	σ <sub>v,i</sub> [kPa]	σ <sub>v,(i+1)</sub> [kPa]	σ <sub>v,med</sub> [kPa]	σ <sub>h,med</sub> [kPa]
σ <sub>h,1</sub>	0	39	19.5	13.65
σ <sub>h,2</sub>	39	97.56	68.28	47.796
σ <sub>h,3</sub>	97.56	134.36	115.96	81.172
σ <sub>h,4</sub>	134.36	146.44	140.4	98.28
σ <sub>h,5</sub>	0	0	0	0
σ <sub>h,6</sub>	0	0	0	0
σ <sub>h,7</sub>	0	0	0	0
σ <sub>h,8</sub>	0	0	0	0
σ <sub>h,9</sub>	0	0	0	0

c <sub>a</sub> [kPa]	φ [rad]	s <sub>i</sub> [kPa]	Q <sub>L,i</sub> [kN/m]
0.00	0	0.00	0.00
11	0.3944444	30.90	94.23
11	0.3944444	44.79	179.15
4.8	0.3839724	44.51	89.02
0	0	0.00	0.00
0	0	0.00	0.00
0	0	0.00	0.00
0	0	0.00	0.00
0	0	0.00	0.00
0	0	0.00	0.00

### Parametri attrito negativo

α (non dr.)	β (drenate)	q <sub>Attr,n</sub> [kN/m]
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00

Q<sub>L,lim</sub> 569.26 [kN]

Portata limite laterale

Q<sub>L,calc</sub> 495.01 [kN]

Portata amm. Laterale di calcolo

Q<sub>L,lim</sub> 0.00 [kN]

Carico agg. attrito negativo



**PORTATA ALLA BASE - metodo di Berenzantzev (rif. Viggiani pag. 373-376)**

Tipo palo	TRIVELLATO											
$n^{\circ}$ strato	tipo terreno	$H_f$ [m]	$DH_f$ [m]	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	$\varphi$ [-]	$K$ [-]	$c_u/c'$ [kPa]		$\alpha$ [-]	$c_a$ [kPa]
4		11.00	2.00	16.04	6.04	19.00	0.33	0.70	4.80		1.00	4.80

Tabella per il calcolo di  $B_k$

$\phi$	26	30	34	37	40
$B_k$	20.00	33.00	63.00	104.00	186.00

Tabella per il calcolo di  $u$

H/D - $\phi$	26	30	34	37	40
5.00	0.75	0.77	0.81	0.83	0.85
10.00	0.62	0.67	0.73	0.76	0.79
15.00	0.55	0.61	0.68	0.73	0.77
20.00	0.49	0.57	0.65	0.71	0.75
25.00	0.44	0.53	0.63	0.70	0.74

$A_b$	Area della base del palo	0.20	[m <sup>2</sup> ]
$\sigma_{vL}'$	Pressione geostatica di base	146.44	[kPa]
$N_q$	$N_q$ barrato	5.797709	[-]
$N_q = u B_k$	Fattore capac. Berenzantzev		[-]
$N_q$ (auto)	Fattore capac. Hansen	8.550164	[-]
$N_q$	Minimo Berenzantzev / Hansen	8.550164	[-]
$c$	Coesione alla base	4.80	[kPa]
$N_c$ (manuale)	Coeff. di coesione manuale		[-]
$N_c$ (auto)	Coeff. di coesione Hansen	22.38	[-]
$N_c$	Coeff. di coesione di calcolo	22.38	[-]
$p$	Resistenza unitaria punta	1359.51	[kPa]
$u$	Sottospinta idraulica	60.00	[kPa]

$$p = N_q \cdot \sigma_{vL}' + N_c \cdot c$$

$$Q_{b,lim} = p \cdot A_b$$

$Q_{b,lim}$	266.94	[kN]	Portata limite di base
$Q_{b,calc}$	205.34	[kN]	Portata amm. di base di calcolo

**PORTATA TOTALE SINGOLO PALO**

$Q_{l,lim}$	569.26	[kN]	Portata limite laterale
$Q_{l,amm}$	495.01	[kN]	Portata amm. Laterale di calcolo
$Q_{b,lim}$	266.94	[kN]	Portata limite di base
$Q_{b,amm}$	205.34	[kN]	Portata amm. di base di calcolo

<b>PORTATA TOTALE LIMITE</b>	<b>836.2</b>	<b>[kN]</b>
<b>PORTATA TOTALE AMMISSIBILE di CALC.</b>	<b>700.3</b>	<b>[kN]</b>
<b>PORTATA TOTALE CARATTERISTICA</b>	<b>500.2</b>	<b>[kN]</b>
<b>CARICO TOTALE AGENTE</b>	<b>407.0</b>	<b>[kN]</b>
<b>VERIFICA SINGOLO PALO</b>	<b>0.814</b>	<b>[-]</b>
<b>VERIFICA COMPRESSIONE CLS SLU</b>	<b>0.235</b>	<b>[-]</b>

VERIFICA OK  
VERIFICA OK

# CALCOLO PORTATA PALI CONDIZIONI NON DRENATE - CFA Ø500

NOTA: solamente le caselle colorate in giallo devono essere riempite manualmente

## INPUT - DATI GEOMETRICI DEL PALO e CARICHI

<b>D</b>	0.50	[m]	diámetro del palo
<b>Z<sub>fp</sub></b>	11.00	[m]	profondità massima di calcolo
<b>Z<sub>tp</sub></b>	1.95	[m]	profondità testa palo da p.c.
<b>L<sub>p</sub></b>	9.05	[m]	lunghezza effettiva palo
<b>Z<sub>w</sub></b>	5.00	[m]	profondità della falda dal p.c.
<b>f<sub>cd</sub></b>	18.13	[Mpa]	resistenza di calcolo del cls
<b>δ<sub>els</sub></b>	0.00	[kN/m <sup>3</sup> ]	peso volumetrico cls
<b>γ<sub>s</sub></b>	1.15	[-]	coeff. parziale res. laterale
<b>γ<sub>r</sub></b>	1.30	[-]	coeff. parziale res. punta
<b>ξ</b>	1.40	[-]	coeff. sicurezza (n° verticali)
<b>Q<sub>ed,sovrast</sub></b>	407.00	[kN]	carico palo da sovrastruttura
<b>Q<sub>palo</sub></b>	0.00	[kN]	Peso proprio palo
<b>U</b>	0.00	[kN]	Sottospinta idraulica
<b>Q<sub>attr,neg</sub></b>	0.00	[kN]	Carico da attrito negativo
<b>Q<sub>ed</sub></b>	407.00	[kN]	Q <sub>ed,sovrast</sub> +Q <sub>palo</sub> +Q <sub>attr,neg</sub> -U

**Tabella 6.4.II** - Coefficienti parziali γ<sub>i</sub> da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		γ <sub>te</sub>	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)
Base	γ <sub>b</sub>	1.0	1.45	1.15	1.0	1.7	1.35	1.0	1.6	1.3
Laterale in compressione	γ <sub>s</sub>	1.0	1.45	1.15	1.0	1.45	1.15	1.0	1.45	1.15
Totale <sup>(*)</sup>	γ <sub>i</sub>	1.0	1.45	1.15	1.0	1.6	1.30	1.0	1.55	1.25
Laterale in trazione	γ <sub>te</sub>	1.0	1.6	1.25	1.0	1.6	1.25	1.0	1.6	1.25

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ <sub>1</sub>	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ <sub>4</sub>	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Considerare sottospinta idraulica? NO  
 Considerare attrito negativo? NO

## INPUT - DATI GEOMETRICI DEL TERRENO

NOTA: è sempre necessario inserire uno strato avente profondità uguale alla falda ed alla testa del palo se questa è > di zero

Tipo palo	BATTUTO	Condizioni	NON DRENATE		γ'	N <sub>SPT</sub>	φ	K	c <sub>v</sub> / c'	Attrito negativo	α	c <sub>a</sub>
n° strato	tipo terreno	H <sub>i</sub> [m]	ΔH <sub>i</sub> [m]	γ <sub>n</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]								
1	Riparto	1.95	1.95	20.00	20.00					NO	0.00	0.00
2	Limo - Argillosi -A	5.00	3.05	19.20	19.20				83.80	NO	0.50	41.90
3	Limo -Argillosi -A falda	9.00	4.00	19.20	9.20				83.80	NO	0.50	41.90
4	Limo - argillosi -B	11.00	2.00	16.04	6.04				46.80	NO	0.76	35.58
5				0.00	0.00					NO	0.00	0.00
6				0.00	0.00					NO	0.00	0.00
7				0.00	0.00					NO	0.00	0.00
8				0.00	0.00					NO	0.00	0.00
				0.00	0.00					NO	0.00	0.00

### Congruenza dei dati

Congruenza sulla lunghezza: OK  
 Congruenza sulla stratigrafia: OK  
 Congruenza stratigrafia / palo: OK

## PORTATA LATERALE - metodo Viggiani (pag. 377 - 378)

$$s = c_{a,i} + \sigma_{h,med,i} \cdot \mu \quad Q_{L,i} = s_i \cdot A_{L,i} \quad Q_{L,lim} = \sum Q_{L,i}$$

	σ <sub>v,i</sub> [kPa]	σ <sub>v,i+1</sub> [kPa]	σ <sub>v,med</sub> [kPa]	σ <sub>h,med</sub> [kPa]
σ <sub>n,1</sub>	0	39	19.5	0
σ <sub>n,2</sub>	39	97.56	68.28	0
σ <sub>n,3</sub>	97.56	134.36	115.96	0
σ <sub>n,4</sub>	134.36	146.44	140.4	0
σ <sub>n,5</sub>	0	0	0	0
σ <sub>n,6</sub>	0	0	0	0
σ <sub>n,7</sub>	0	0	0	0
σ <sub>n,8</sub>	0	0	0	0
σ <sub>n,9</sub>	0	0	0	0

c <sub>a</sub> [kPa]	φ [rad]	s <sub>i</sub> [kPa]	q <sub>L,i</sub> [kN/m]
0.00	0	0.00	0.00
41.9	0	41.90	127.80
41.9	0	41.90	167.60
35.57736	0	35.58	71.15
0	0	0.00	0.00
0	0	0.00	0.00
0	0	0.00	0.00
0	0	0.00	0.00
0	0	0.00	0.00

Parametri attrito negativo		
α (non dr.)	β (drenate)	q <sub>Attr,n</sub> [kN/m]
1.00	0.25	0.00
0.50	0.25	0.00
0.50	0.25	0.00
0.76	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00

**Q<sub>L,lim</sub>** 575.78 [kN] Portata limite laterale  
**Q<sub>L,calc</sub>** 500.67 [kN] Portata amm. Laterale di calcolo

**Q<sub>L,lim</sub>** 0.00 [kN]  
 Carico agg. attrito negativo

**PORTATA ALLA BASE - metodo di Berenzantzev (rif. Viggiani pag. 373-376)**

Tipo palo	TRIVELLATO											
n° strato	tipo terreno	H <sub>i</sub> [m]	DH <sub>i</sub> [m]	γ <sub>n</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	γ' [kN/m <sup>3</sup> ]	φ [°]	φ [-]	K [-]	c <sub>v</sub> /c' [kPa]		α [-]	c <sub>o</sub> [kPa]
4		11.00	2.00	16.04	6.04	0.00	0.00	0.00	46.80		0.76	35.58

Tabella per il calcolo di B<sub>k</sub>

φ	26	30	34	37	40
B <sub>k</sub>	20.00	33.00	63.00	104.00	186.00

A <sub>b</sub>	Area della base del palo	0.20	[m <sup>2</sup> ]
σ <sub>vL</sub> '	Pressione geostatica di base	146.44	[kPa]
N <sub>q</sub>	Nq barrato	1	[-]
N <sub>q</sub> =uB <sub>k</sub>	Fattore capacit. Berenzantzev	0	[-]
N <sub>q</sub> (auto)	Fattore capacit. Hansen	1	[-]
N <sub>q</sub>	Minimo Berenzantzev / Hansen	1	[-]
c	Coesione alla base	46.80	[kPa]
N <sub>c</sub> (manuale)	Coeff. di coesione manuale	9	[-]
N <sub>c</sub> (auto)	Coeff. di coesione Hansen	#DIV/0!	[-]
N <sub>c</sub>	Coeff. di coesione di calcolo	9.00	[-]
p	Resistenza unitaria punta	567.64	[kPa]
u	Sottospinta idraulica	60.00	[kPa]

Tabella per il calcolo di u

H/D - φ	26	30	34	37	40
5.00	0.75	0.77	0.81	0.83	0.85
10.00	0.62	0.67	0.73	0.76	0.79
15.00	0.55	0.61	0.68	0.73	0.77
20.00	0.49	0.57	0.65	0.71	0.75
25.00	0.44	0.53	0.63	0.70	0.74

$$p = N_q \cdot \sigma'_{vL} + N_c \cdot c$$

$$Q_{b,lim} = p \cdot A_b$$

Q <sub>b,lim</sub>	111.46	[kN]	Portata limite di base
Q <sub>b,calc</sub>	85.74	[kN]	Portata amm. di base di calcolo

**PORTATA TOTALE SINGOLO PALO**

Q <sub>l,lim</sub>	575.78	[kN]	Portata limite laterale
Q <sub>l,amm</sub>	500.67	[kN]	Portata amm. Laterale di calcolo
Q <sub>b,lim</sub>	111.46	[kN]	Portata limite di base
Q <sub>b,amm</sub>	85.74	[kN]	Portata amm. di base di calcolo

PORTATA TOTALE LIMITE	687.2	[kN]
PORTATA TOTALE AMMISSIBILE di CALC.	586.4	[kN]
PORTATA TOTALE CARATTERISTICA	418.9	[kN]
CARICO TOTALE AGENTE	407.0	[kN]
VERIFICA SINGOLO PALO	0.972	[-]
VERIFICA COMPRESSIONE CLS SLU	0.193	[-]

VERIFICA OK  
VERIFICA OK

**EFFETTO DI GRUPPO SULLE PORTATE - protocollo di Converse Labarre - (rif. 396-397 Viggiani) - Terreni coesivi**

<b>R<sub>vd,G</sub></b>	1480.3	[kN]	Carico verticale di progetto agente sul gruppo
<b>m</b>	2	[-]	numero di file di pali
<b>n</b>	2	[-]	numero di pali per fila
<b>i</b>	1.13	[m]	interasse fra i pali
<b>E</b>	0.73	[-]	fattore di efficienza
<b>N</b>	5	[-]	numero pali totali

$$Q_{Glim} = N \cdot E \cdot Q_{Tot.lim}$$

**Nota:** In terreni incoerenti E=1

$$E = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{i}{d}\right) (m-1)n + (n-1)m}{\pi/2 \cdot mn}$$

<b>Q<sub>Glim</sub></b>	3072	[kN]	Portata totale limite di gruppo
<b>Q<sub>Glim.amm</sub></b>	2573	[kN]	Portata totale limite ammissibile di gruppo
<b>Q<sub>Glim.k</sub></b>	1838	[kN]	Portata totale limite caratteristica

**VERIFICA GRUPPO:** 0.805 [-]

**VERIFICA OK**

### 10.2.2.2. Verifica di gruppo in condizioni non drenate

**EFFETTO DI GRUPPO SULLE PORTATE - protocollo di Converse Labarre - (rif. 396-397 Viggiani) - Terreni coesivi**

<b>R<sub>vd,G</sub></b>	1480.3	[kN]	Carico verticale di progetto agente sul gruppo
<b>m</b>	2	[-]	numero di file di pali
<b>n</b>	2	[-]	numero di pali per fila
<b>i</b>	1.13	[m]	interasse fra i pali
<b>E</b>	0.73	[-]	fattore di efficienza
<b>N</b>	5	[-]	numero pali totali

$$Q_{Glim} = N \cdot E \cdot Q_{Tot.lim}$$

**Nota:** In terreni incoerenti E=1

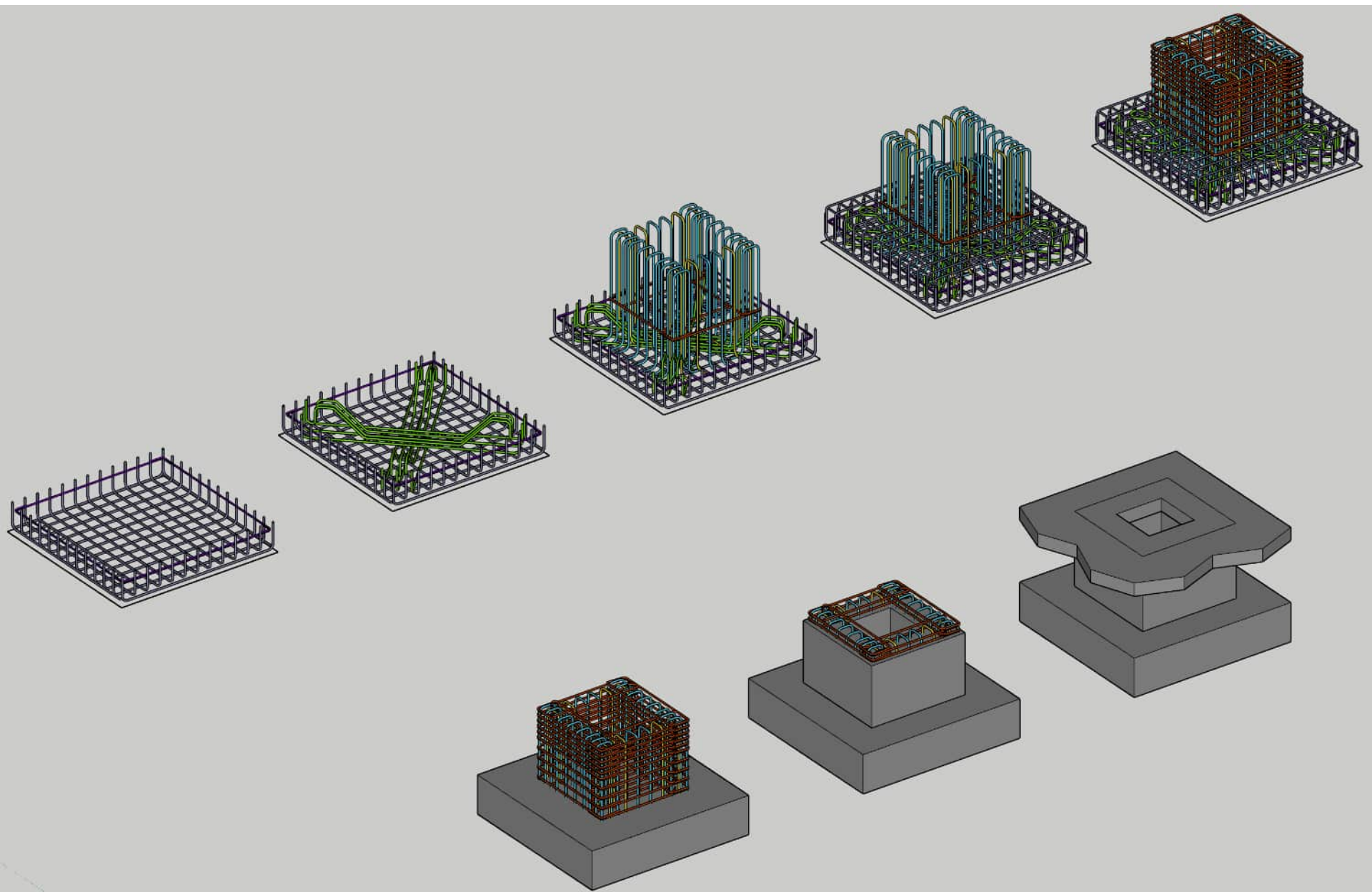
$$E = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{i}{d}\right) (m-1)n + (n-1)m}{\pi/2 \cdot mn}$$

<b>Q<sub>Glim</sub></b>	2525	[kN]	Portata totale limite di gruppo
<b>Q<sub>Glim.amm</sub></b>	2154	[kN]	Portata totale limite ammissibile di gruppo
<b>Q<sub>Glim.k</sub></b>	1539	[kN]	Portata totale limite caratteristica

**VERIFICA GRUPPO:** 0.962 [-]

**VERIFICA OK**



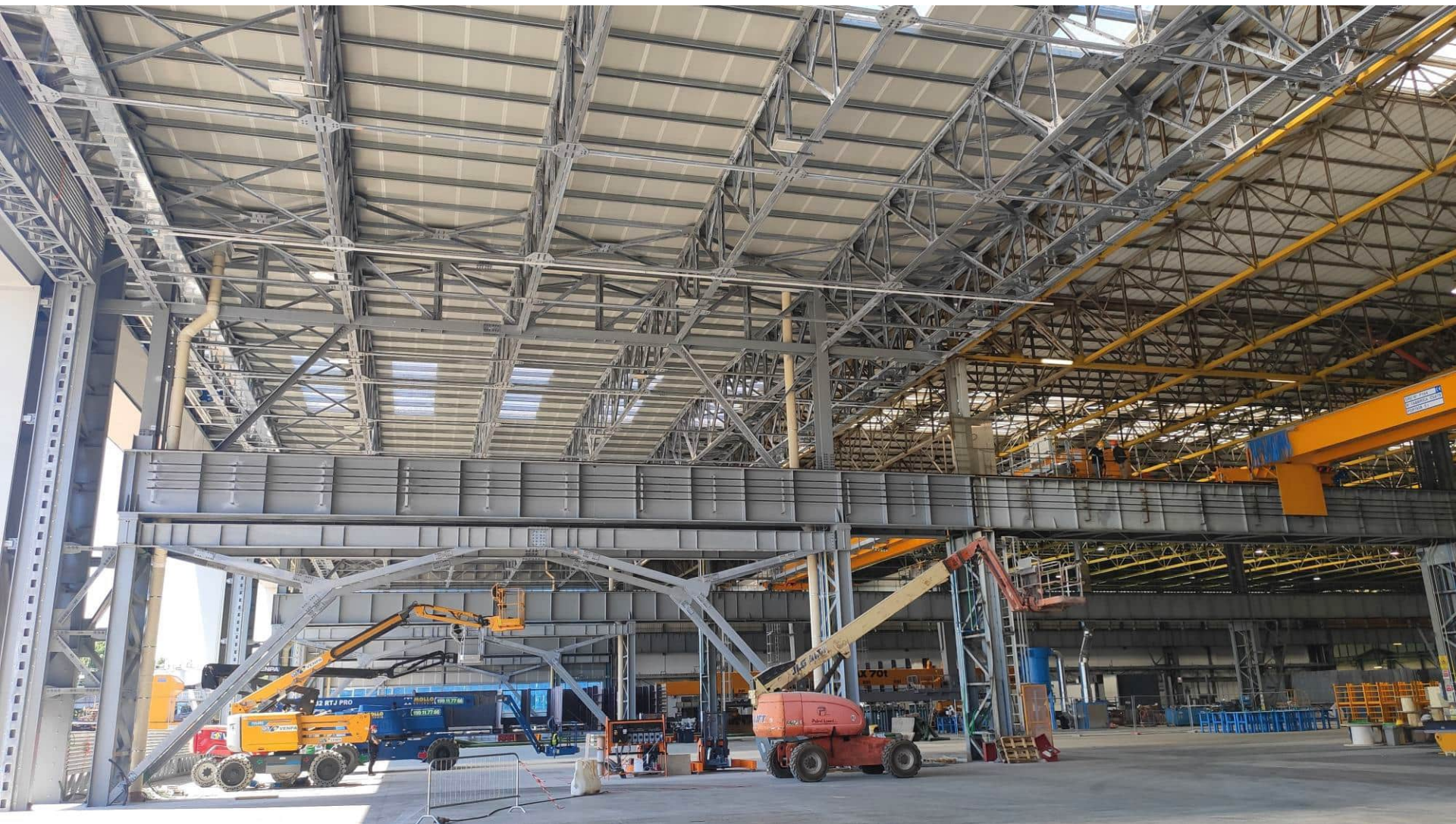


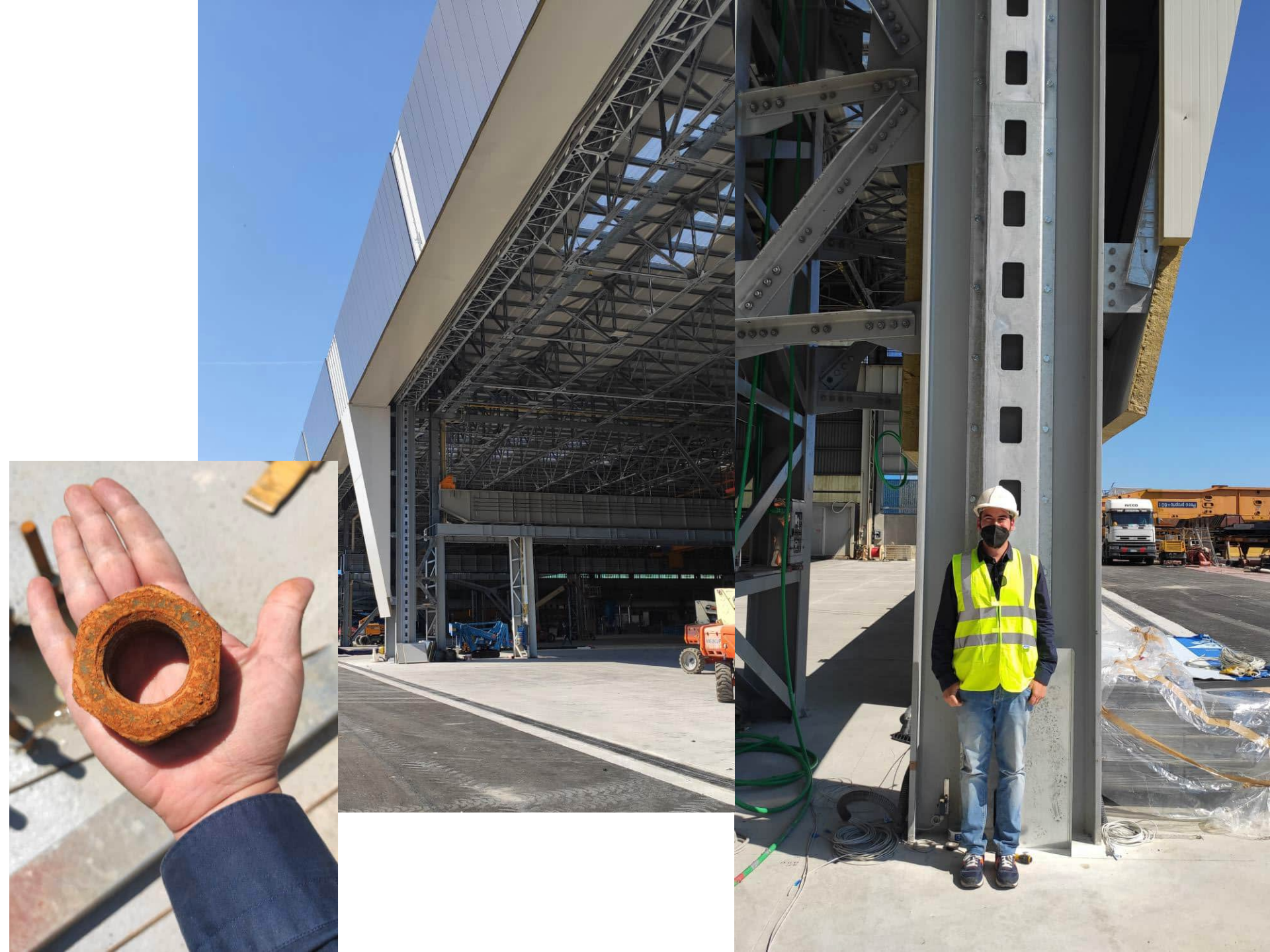




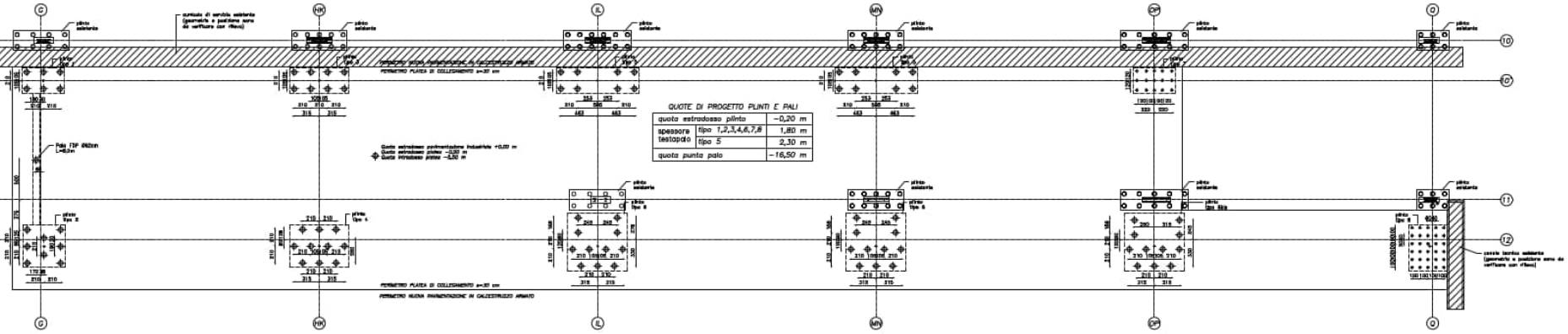


# CASO STUDIO NUOVA OFFICINA MECCANICA - MONFALCONE

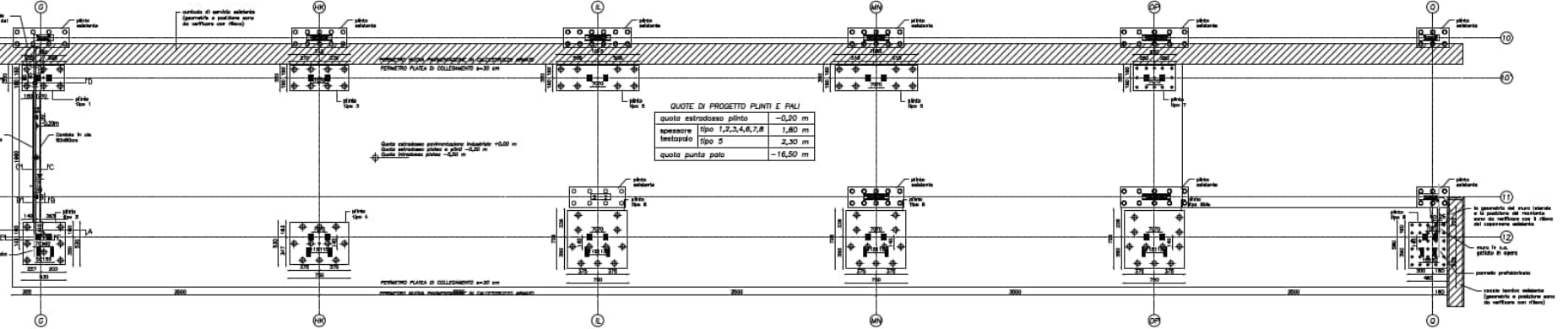




PIANTA PAURIFICATA  
scala 1/200



Carpenteria lastaspall  
scala 1/200



N.B. Per dettaglio sezioni A-A, B-B, C-C, D-D su cordoli vedi tavola armature cordoli

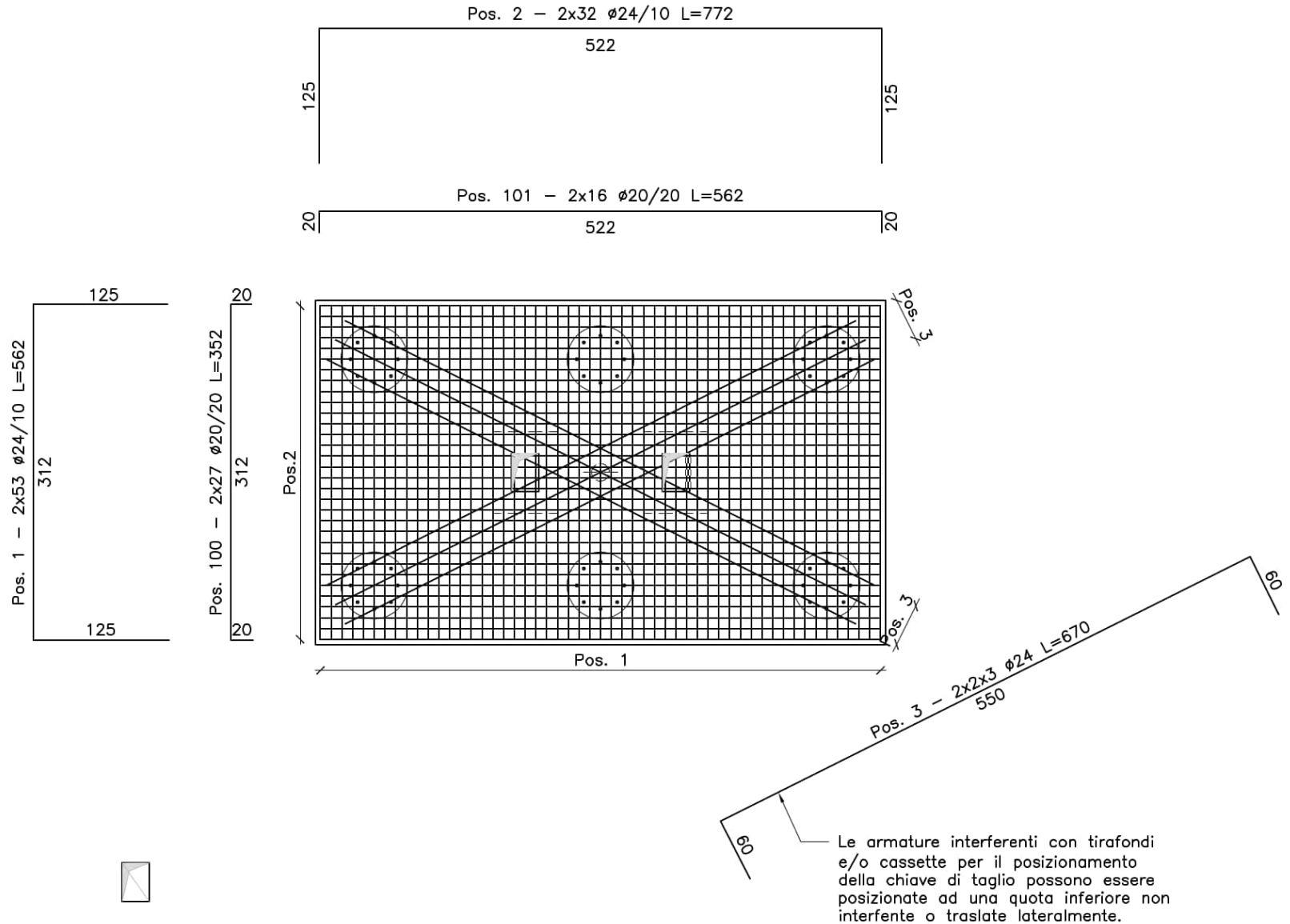




# ARMATURA TIPOLOGICA PLINTO TIPO 1

scala 1:50

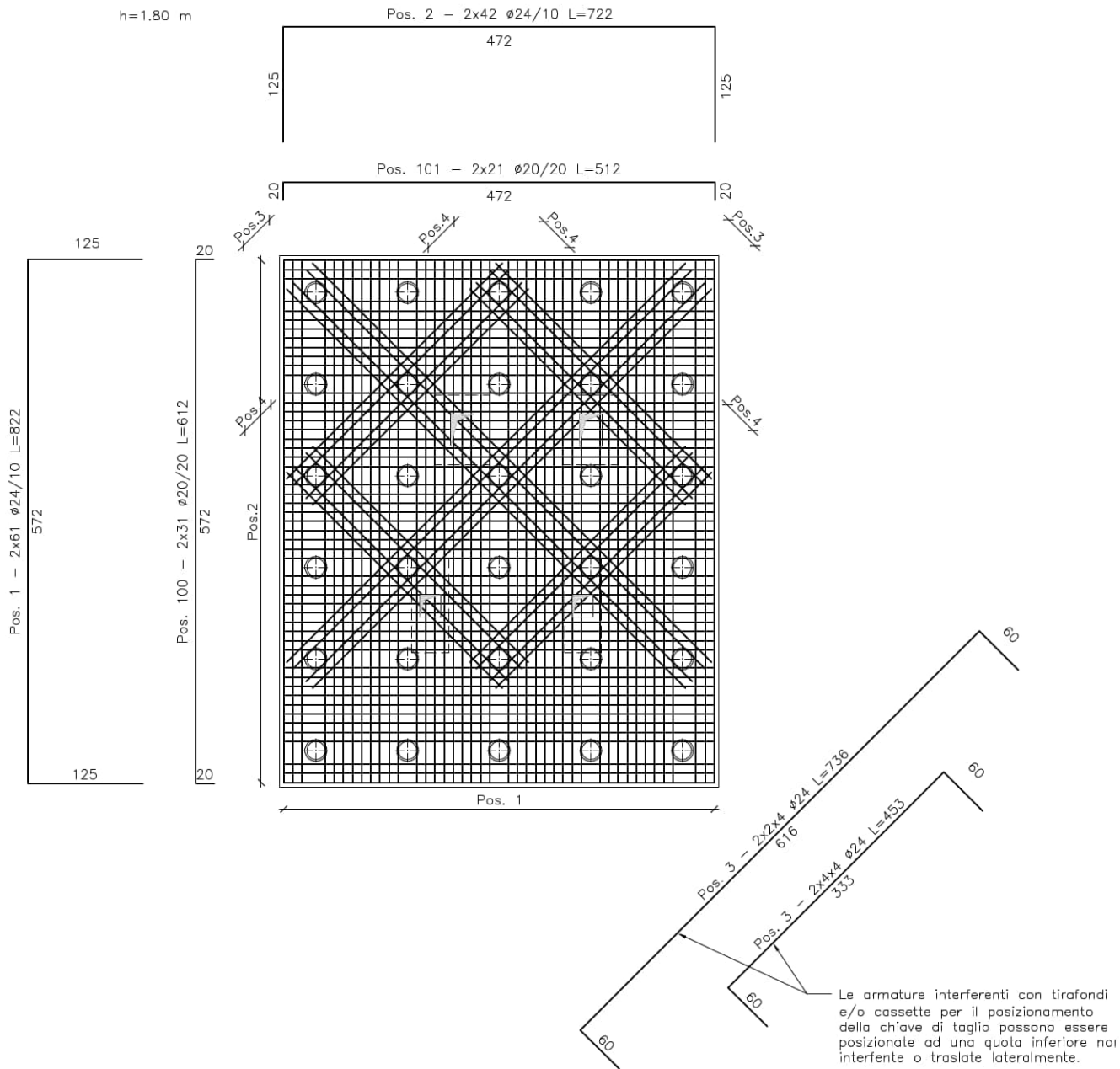
h=1.80 m



# ARMATURA TIPOLOGICA PLINTO TIPO 8

scala 1:50

h=1.80 m





Sondaggio S1, postazione delle attrezzature



Sondaggio S1, cassetta N° 2, da 5,0 m a 10,0 m



Sondaggio S1, cassetta N° 1, da 0,0 m a 5,0 m



Sondaggio S1, cassetta N° 3, da 10,0 m a 15,0 m



### 7.1.2.2. Sondaggio S2-2019

La stratigrafia individuata durante il sondaggio è la seguente:

#### Sondaggio meccanico n° S2-2019 Officine Navali:

0,00 - 0,10	conglomerato bituminoso;
0,10 - 0,70	riporto: ghiaia poligenica da fine a grossa arrotondata sabbiosa nocciola;
0,70 - 2,00	limo sabbioso debolmente argilloso marrone;
2,00 - 4,00	ghiaia poligenica prevalentemente calcarea da fine a grossa arrotondata sabbiosa nocciola;
4,00 - 10,80	ghiaia poligenica prevalentemente calcarea da fine a grossa arrotondata sabbiosa debolmente limosa nocciola, con ciottoli fino a 8 cm;
10,80 - 11,40	limo sabbioso nocciola con rari clasti di ghiaia;
11,40 - 15,20	ghiaia poligenica prevalentemente calcarea da fine a grossa arrotondata limoso sabbiosa nocciola, con ciottoli fino a 8 cm;
15,20 - 20,00	ghiaia poligenica prevalentemente calcarea da fine a grossa arrotondata sabbiosa debolmente limosa nocciola, con ciottoli fino a 8 cm.
20,00 - 21,40	sabbia medio fina debolmente limosa nocciola;
21,40 - 22,20	sabbia fina limosa nocciola;
22,20 - 25,00	limo argilloso grigio con livelli centimetrici di limo sabbioso.

I valori delle prove SPT eseguite è il seguente:

SONDAGGIO S2		
Prof. m	Nspt	Note
4,00 ÷ 4,45	27 (26 - 18 - 9)	Punta piena
7,00 ÷ 7,45	16 (7 - 9 - 7)	Punta piena
10,50 ÷ 10,95	23 (15 - 14 - 9)	Punta piena
13,50 ÷ 13,95	30 (9 - 13 - 17)	Punta piena
16,50 ÷ 16,95	49 (18 - 25 - 24)	Punta piena
19,50 ÷ 19,95	31 (10 - 14 - 19)	Punta piena
24,00 ÷ 24,45	19 (4 - 9 - 10)	Campionatore standard

## 11.2.2 Verifica dei micropali per carico di trazione

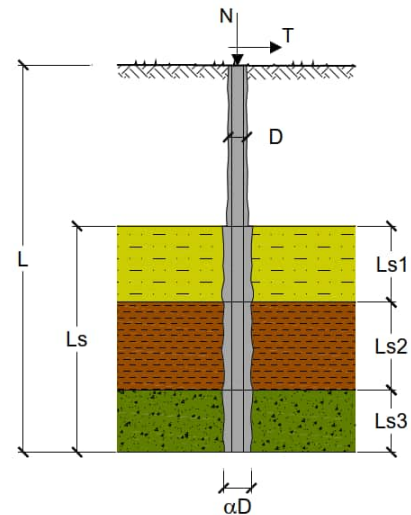
### CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO

OPERA: Officine ONAV

#### DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
N (kN)	-469.09		-469.09
T (kN)	67.04		67.04



coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale	
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	$\gamma_s$	$\gamma_{s \text{ traz}}$
			$\gamma_G$	$\gamma_Q$		
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.45	1.60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.15	1.25
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.15	1.25
DM88			<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	1.15

n	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$	DM88	prog.
$\xi_s$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_t$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

#### Caratteristiche del micropalo:

Diametro di perforazione del micropalo (D): 0.24 (m)

Lunghezza del micropalo (L): 16.50 (m)

#### Armatura:

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
IPe 180	INP 160	HEA 300	HEB 160	HEM 200	ø193,7 x 12,0	

**ø193,7 x 12,0**

## CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

### Capacità portante di fusto

$$Ql = \sum_i \pi * Ds_i * s_i * l s_i$$

<i>Tipo di Terreno</i>	<i>Spessore l s<sub>i</sub></i> (m)	<i>α</i> (-)	<i>Ds<sub>i</sub> = α * D</i> (m)	<i>s<sub>i</sub></i> <i>media</i> (MPa)	<i>s<sub>i</sub></i> <i>minima</i> (MPa)	<i>s<sub>i</sub></i> <i>calcolo</i> (MPa)	<i>Qs<sub>i</sub></i> (kN)
<i>strato 1</i>	5.00	1.10	0.26	0.070	0.070	0.039	160.16
<i>strato 2</i>	6.60	1.10	0.26	0.120	0.120	0.066	362.41
<i>strato 3</i>	2.90	1.10	0.26	0.170	0.170	0.094	225.59

$$Ls = 14.50 \quad (m)$$

$$Ql = 748.16 \quad (kN)$$

### Capacità portante di punta

$$Qp = \%Punta * Ql$$

(consigliato 10-15%)

*% Punta*

0%

$$Qp = 0.00 \quad (kN)$$

## CARICO LIMITE DEL MICROPALO

$$Qlim = Qb + Ql$$

$$Qlim = 748.16 \quad (kN)$$

## COEFFICIENTE DI SICUREZZA

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

$$Fs = 1.59$$

# CALCOLO PORTATA PALI

NOTA: solamente le caselle colorate in giallo devono essere riempite manualmente

## INPUT - DATI GEOMETRICI DEL PALO e CARICHI

D	0.62	[m]	diametro del palo
Z <sub>pp</sub>	16.50	[m]	profondità massima di calcolo
Z <sub>tp</sub>	2.00	[m]	profondità testa palo da p.c.
L <sub>p</sub>	14.50	[m]	lunghezza effettiva palo
z <sub>w</sub>	2.00	[m]	profondità della falda dal p.c.
f <sub>cd</sub>	35.00	[Mpa]	resistenza di calcolo del cls
δ <sub>cls</sub>	0.00	[kN/m <sup>3</sup> ]	peso volumetrico cls
γ <sub>s</sub>	1.15	[-]	coeff. parziale res. laterale
γ <sub>p</sub>	1.30	[-]	coeff. parziale res. punta
ξ	1.45	[-]	coeff. sicurezza (n° verticali)
Q <sub>ed,sovrast.</sub>	1602.00	[kN]	carico palo da sovrastruttura
Q <sub>palo</sub>	0.00	[kN]	Peso proprio palo
U	0.00	[kN]	Sottospinta idraulica
Q <sub>Attr,neg</sub>	0.00	[kN]	Carico da attrito negativo
Q <sub>ed</sub>	1602.00	[kN]	Q <sub>ed,sovrast.</sub> +Q <sub>palo</sub> +Q <sub>attr,neg</sub> -U

Tabella 6.4.II - Coefficienti parziali γ<sub>k</sub> da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ <sub>b</sub>	1.0	1.45	1.15	1.0	1.7	1.35	1.0	1.6	1.3
Laterale in compressione	γ <sub>c</sub>	1.0	1.45	1.15	1.0	1.45	1.15	1.0	1.45	1.15
Totale (*)	γ <sub>t</sub>	1.0	1.45	1.15	1.0	1.6	1.30	1.0	1.55	1.25
Laterale in trazione	γ <sub>u</sub>	1.0	1.6	1.25	1.0	1.6	1.25	1.0	1.6	1.25

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ <sub>3</sub>	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ <sub>4</sub>	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Considerare sottospinta idraulica?

NO

Considerare attrito negativo?

NO

## INPUT - DATI GEOMETRICI DEL TERRENO

NOTA: è sempre necessario inserire uno strato avente profondità uguale alla falda ed alla testa del palo se questa è > di zero

Tipo palo	battuto	Condizioni	DRENATE									
n° strato	tipo terreno	H <sub>i</sub> [m]	ΔH <sub>i</sub> [m]	γ <sub>n</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	γ' [kN/m <sup>3</sup> ]	N <sub>SPT</sub> [-]	φ [°]	K [-]	c <sub>v</sub> / c' [kPa]	Attrito negativo	a [-]	c <sub>a</sub> [kPa]
1	Strato 1	0.70	0.70	17.00	17.00		27.00			NO	0.00	0.00
2	Strato 2	2.00	1.30	17.00	17.00		27.00			NO	0.00	0.00
3	Strato 3	3.30	1.30	17.00	7.00		28.00	0.90		NO	0.00	0.00
4	Strato 4	6.00	2.70	19.50	9.50		31.00	0.90		NO	0.00	0.00
5	Strato 5	11.10	5.10	18.50	8.50		27.00	0.90		NO	0.00	0.00
6	Strato 6	12.60	1.50	19.00	9.00		30.00	0.90		NO	0.00	0.00
7	Strato 7	16.50	3.90	20.00	10.00		33.00	0.90		NO	0.00	0.00
8			0.00		0.00					NO	0.00	0.00
9			0.00		0.00					NO	0.00	0.00

### Congruenza dei dati

Congruenza sulla lunghezza:

OK

Congruenza sulla stratigrafia

OK

Congruenza stratigrafia / palo

OK

**PORTATA LATERALE - metodo Viggiani (pag. 377 - 378)**

$$s = c_{a,i} + \sigma_{h,med,i} \cdot \mu \quad Q_{L,i} = s_i \cdot A_{L,i} \quad Q_{L,lim} = \sum Q_{L,i}$$

	$\sigma_{v,i}$ [kPa]	$\sigma_{v,(i+1)}$ [kPa]	$\sigma_{v,med}$ [kPa]	$\sigma_{h,med}$ [kPa]
$\sigma_{n,1}$	0	11.9	5.95	0
$\sigma_{n,2}$	11.9	34	22.95	0
$\sigma_{n,3}$	34	43.1	38.55	34.695
$\sigma_{n,4}$	43.1	68.75	55.925	50.3325
$\sigma_{n,5}$	68.75	112.1	90.425	81.3825
$\sigma_{n,6}$	112.1	125.6	118.85	106.965
$\sigma_{n,7}$	125.6	164.6	145.1	130.59
$\sigma_{n,8}$	0	0	0	0
$\sigma_{n,9}$	0	0	0	0

$c_a$ [kPa]	$\phi$ [rad]	$s_i$ [kPa]	$q_{L,i}$ [kN/m]
0.00	0.4712389	0.00	0.00
0	0.4712389	0.00	0.00
0	0.4886922	18.45	23.98
0	0.5410521	30.24	81.66
0	0.4712389	41.47	211.48
0	0.5235988	61.76	92.63
0	0.5759587	84.81	330.74
0	0	0.00	0.00
0	0	0.00	0.00

Parametri attrito negativo		
$\alpha$ (non dr.)	$\beta$ (drenate)	$q_{Attr.n}$ [kN/m]
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00
1.00	0.25	0.00

$Q_{L,lim}$	1442.33	[kN]	Portata limite laterale
$Q_{L,calc}$	1254.20	[kN]	Portata amm. Laterale di calcolo

$Q_{L,lim}$	0.00	[kN]	Carico agg. attrito negativo
-------------	------	------	------------------------------

**PORTATA ALLA BASE - metodo di Berenzantzev (rif. Viggiani pag. 373-376)**

Tipo palo	battuto											
n° strato	tipo terreno	$H_r$ [m]	$DH_i$ [m]	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	$\phi$ [-]	$K$ [-]	$c_u/c'$ [kPa]		$\alpha$ [-]	$c_a$ [kPa]
7		16.50	3.90	20.00	10.00	33.00	0.58	0.90	0.00		0.00	0.00

$A_b$	Area della base del palo	0.30	[m <sup>2</sup> ]
$\sigma_{vL}'$	Pressione geostatica di base	164.6	[kPa]
$N_q$	Nq barato	26.09201	[-]
$N_q = u \cdot B_k$	Fattore capac. Berenzantzev		[-]
$N_q (auto)$	Fattore capac. Hansen	36.82963	[-]
$N_q$	Minimo Berenzantzev / Hansen	36.82963	[-]
$c$	Coesione alla base	0.00	[kPa]
$N_c (manuale)$	Coeff. di coesione manuale		[-]
$N_c (auto)$	Coeff. di coesione Hansen	62.26	[-]
$N_c$	Coeff. di coesione di calcolo	62.26	[-]
$p$	Resistenza unitaria punta	6062.16	[kPa]
$u$	Sottospinta idraulica	145.00	[kPa]

Tabella per il calcolo di  $B_k$

$\phi$	26	30	34	37	40
$B_k$	20.00	33.00	63.00	104.00	186.00

Tabella per il calcolo di  $u$

$H/D - \phi$	26	30	34	37	40
5.00	0.75	0.77	0.81	0.83	0.85
10.00	0.62	0.67	0.73	0.76	0.79
15.00	0.55	0.61	0.68	0.73	0.77
20.00	0.49	0.57	0.65	0.71	0.75
25.00	0.44	0.53	0.63	0.70	0.74

$$p = N_q \cdot \sigma_{vL}' + N_c \cdot c$$

$$Q_{b,lim} = p \cdot A_b$$

$Q_{b,lim}$	1830.21	[kN]	Portata limite di base
$Q_{b,calc}$	1407.85	[kN]	Portata amm. di base di calcolo

**PORTATA TOTALE SINGOLO PALO**

$Q_{L,lim}$	1442.33	[kN]	Portata limite laterale
$Q_{L,amm}$	1254.20	[kN]	Portata amm. Laterale di calcolo
$Q_{b,lim}$	1830.21	[kN]	Portata limite di base
$Q_{b,amm}$	1407.85	[kN]	Portata amm. di base di calcolo

PORTATA TOTALE LIMITE	3272.5	[kN]
PORTATA TOTALE AMMISSIBILE di CALC.	2662.0	[kN]
PORTATA TOTALE CARATTERISTICA	1835.9	[kN]
CARICO TOTALE AGENTE	1602.0	[kN]
VERIFICA SINGOLO PALO	0.873	[-]
VERIFICA COMPRESSIONE CLS SLU	0.310	[-]

VERIFICA OK  
VERIFICA OK

**PORTATA LATERALE - metodo Viggiani (pag. 377 - 378)**

	$\sigma_{v,i}$ [kPa]	$\sigma_{v,(i+1)}$ [kPa]	$\sigma_{v,med}$ [kPa]	$\sigma_{h,med}$ [kPa]
$\sigma_{h,1}$	0	11.9	5.95	0
$\sigma_{h,2}$	11.9	34	22.95	0
$\sigma_{h,3}$	34	43.1	38.55	34.695
$\sigma_{h,4}$	43.1	68.75	55.925	50.3325
$\sigma_{h,5}$	68.75	112.1	90.425	81.3825
$\sigma_{h,6}$	112.1	125.6	118.85	106.965
$\sigma_{h,7}$	125.6	164.6	145.1	130.59
$\sigma_{h,8}$	0	0	0	0
$\sigma_{h,9}$	0	0	0	0

$c_a$ [kPa]	$\varphi$ [rad]	$s_i$ [kPa]	$Q_{Li}$ [kN]
0.00	0.4712389	0.00	0
0	0.4712389	0.00	0
0	0.4886922	18.45	23.98196
0	0.5410521	30.24	81.65561
0	0.4712389	41.47	211.4789
0	0.5235988	61.76	92.63441
0	0.5759587	84.81	330.7439
0	0	0.00	0
0	0	0.00	0

$$s = c_{a,i} + \sigma_{h,med,i} \cdot \mu$$

$$Q_{L,i} = s_i \cdot A_{L,i}$$

$$Q_{L,lim} = \sum Q_{L,i}$$

716.5129

$Q_{L,lim}$	1442.33	[kN]	Portata limite laterale
$Q_{L,calc}$	1153.86	[kN]	Portata amm. Laterale di calcolo

**PORTATA ALLA BASE - metodo di Berenzantzev (rif. Viggiani pag. 373-376)**

Tipo palo	battuto											
$n^\circ$ strato	tipo	$H_i$ [m]	$DH_i$ [m]	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	$\phi$ [-]	$K$ [-]	$c_u$ [kPa]	$\alpha$ [-]	$c_a$ [kPa]	
	terreno											
7		16.50	3.90	20.00	10.00	36.50	0.64	0.90	0.00	0.00	0.00	

Tabella per il calcolo di  $B_k$

$\phi$	26	30	34	37	40
$B_k$	20.00	33.00	63.00	104.00	186.00

$A_b$	Area della base del palo	0.30	[m <sup>2</sup> ]
$\sigma_{v,L}$	Pressione geostatica di base	164.6	[kPa]
$N_q$	$N_q$ barrato	40.23952	[-]
$N_q = u B_k$	Fattore capacit. Berenzantzev	0	[-]
$N_q$ (auto)	Fattore capacit. Hansen	55.17858	[-]
$N_q$	Minimo Berenzantzev / Hansen	55.17858	[-]
$c$	Coesione alla base	0.00	[kPa]
$N_c$ (manuale)	Coeff. di coesione manuale	9	[-]
$N_c$ (auto)	Coeff. di coesione Hansen	85.44	[-]
$N_c$	Coeff. di coesione di calcolo	9.00	[-]
$p$	Resistenza unitaria punta	9082.39	[kPa]
$u$	Sottospinta idraulica	142.25	[kPa]

Tabella per il calcolo di  $u$

H/D - $\phi$	26	30	34	37	40
5.00	0.75	0.77	0.81	0.83	0.85
10.00	0.62	0.67	0.73	0.76	0.79
15.00	0.55	0.61	0.68	0.73	0.77
20.00	0.49	0.57	0.65	0.71	0.75
25.00	0.44	0.53	0.63	0.70	0.74

$$p = N_q \cdot \sigma_{v,L} + N_c \cdot c$$

$$Q_{b,lim} = p \cdot A_b$$

$Q_{b,lim}$	0.00	[kN]	Portata limite di base
$Q_{b,calc}$	0.00	[kN]	Portata amm. di base di calcolo

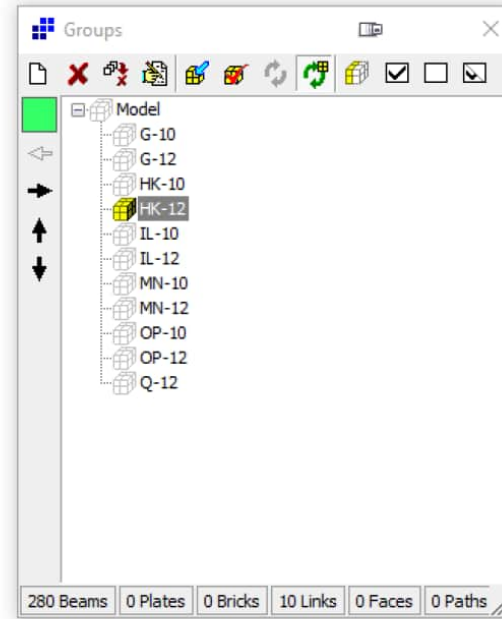
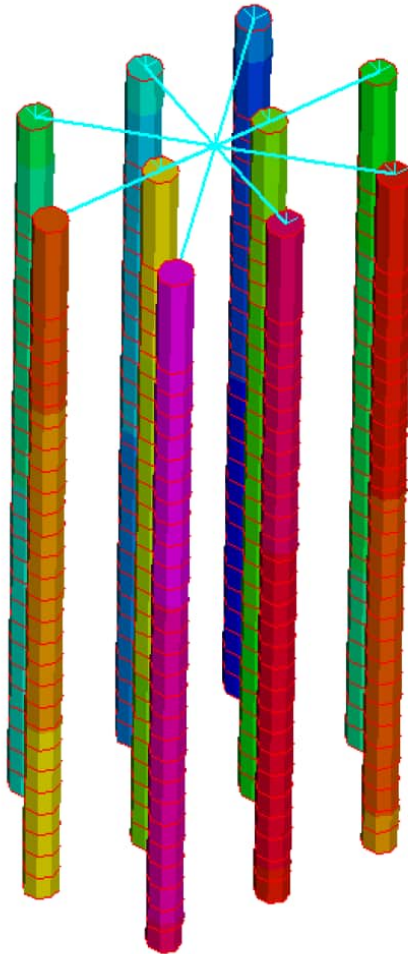
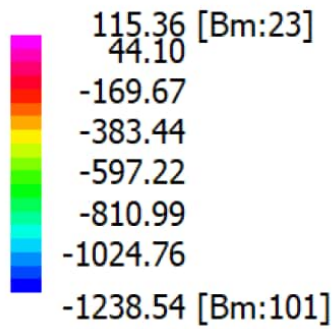
**PORTATA TOTALE SINGOLO PALO**

$Q_{L,lim}$	1442.33	[kN]	Portata limite laterale
$Q_{L,amm}$	1153.86	[kN]	Portata amm. Laterale di calcolo
$Q_{b,lim}$	0.00	[kN]	Portata limite di base
$Q_{b,amm}$	0.00	[kN]	Portata amm. di base di calcolo

<b>PORTATA TOTALE LIMITE</b>	1442	[kN]
<b>PORTATA TOTALE AMMISSIBILE di CALC.</b>	1154	[kN]
<b>PORTATA TOTALE CARATTERISTICA</b>	796	
<b>VERIFICA SINGOLO PALO</b>	0.934	[-]
<b>VERIFICA COMPRESSIONE CLS SLU</b>	0.136	[-]

VERIFICA OK  
VERIFICA OK

Axial Force (kN)



## Verifiche a carico verticale del gruppo di pali.

Come riportato sul testo Fondazioni (Hevelius – Carlo Viggiani), per palificate eseguite in terreni incoerenti, l'esperienza (Vesic, 1968) ha mostrato che l'efficienza risulta non minore dell'unità, nel progetto cautelativamente, si potrà assumere  $E=1$ .