



BREVETTO EUROPEO  
N. EP4004293

# ROBOPILE®

MICROPALI PRESSO INFISSI  
PER FONDAZIONI E PAVIMENTAZIONI

 **GEOSEC**  
GROUND ENGINEERING

# ROBOPILE®

Veicolo automatizzato  
per la posa sequenziale  
di micropali in acciaio



# Premessa



**ROBOPILE®** è l'ultima frontiera tecnologica nella messa in opera di micropali in acciaio per fondazioni profonde di costruzioni e pavimentazioni. L'applicazione industriale è prevalentemente destinata per nuove e grandi opere, ma anche per costruzioni e infrastrutture già edificate.

**ROBOPILE®** è una moderna tecnologia brevettata ad elevata automazione industriale per il settore di riferimento, unica nel suo genere mai realizzata prima d'ora e progettata per:

- migliorare l'efficienza di applicazione e l'efficacia di posa nel consolidamento con micropali in acciaio (più di 80 pali / giorno per diametro minimo 76 mm – più di 60 pali / giorno per diametro max 152 mm)
- migliorare le condizioni di sicurezza del cantiere riducendo in modo significativo qualsiasi attività di movimentazione manuale a bordo del macchinario (progetto INAIL ISI 2018).





# Il problema geotecnico



I micropali sono correntemente utilizzati secondo due principali applicazioni: come elementi strutturali e come elementi di consolidamento e rinforzo dei terreni.

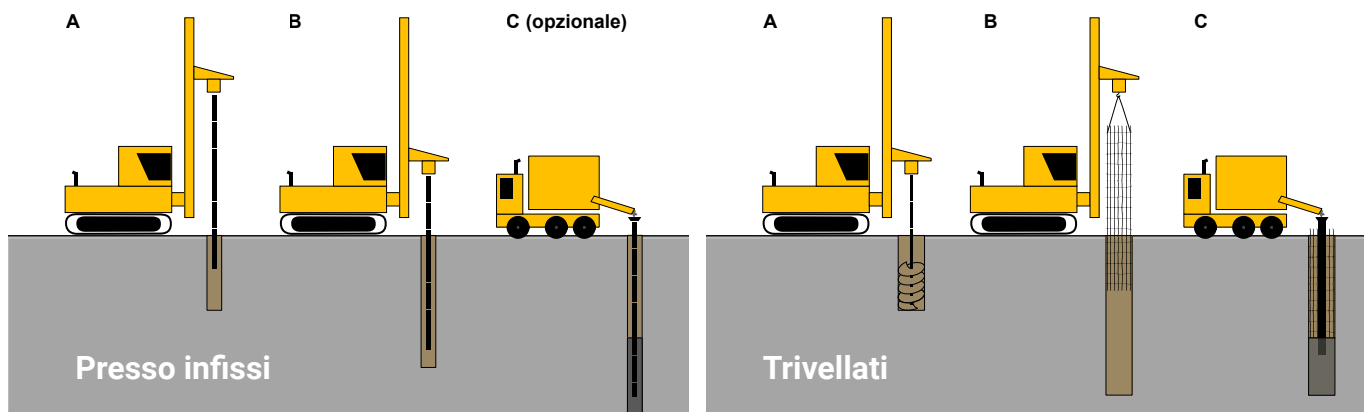
L'impiego dei micropali come elementi strutturali comprende le fondazioni per nuove strutture, pali di sottofondazione, miglioramenti statici di vecchie strutture situate in zona sismica, protezione nei confronti dell'erosione ed opere di sostegno dei terreni. Come elementi di consolidamento dei terreni i micropali sono utilizzati per la stabilizzazione dei versanti, come elementi di riduzione dei cedimenti e per migliorare la stabilità strutturale dei manufatti. Le problematiche affrontabili con un intervento di micro-palificazione possono quindi essere molteplici. Di seguito se ne riporta un elenco esemplificativo:

- arrestare o prevenire un cedimento differenziale verticale di fondazioni o pavimentazioni (civili, industriali, etc);
- aumentare la capacità portante di fondazioni e pavimentazioni esistenti;
- riparare o sostituire fondazioni deteriorate o inadeguate;
- fornire una protezione nei confronti dell'erosione e dello scalzamento superficiale delle fondazioni;
- produrre un sollevamento delle fondazioni cedute ripristinando il loro piano originario;
- trasferire i carichi agli strati più profondi quando siamo in presenza di terreni superficiali molto scadenti;
- by-passare terreni superficiali rigonfianti o collassabili e quindi particolarmente sensibili alle variazioni stagionali di contenuto d'acqua;
- ridurre i movimenti delle strutture esistenti in presenza di opere di scavo profonde;
- fornire un'azione resistente nei confronti di carichi assiali di trazione;
- realizzare opere di stabilizzazione dei pendii (pali sottoposti a taglio e flessione);
- realizzare opere di sostegno in presenza di fronti di scavo.

# Lo stato dell'arte

I micropali sono stati inventati in Italia agli inizi degli anni '50 per interventi di sottofondazione su edifici danneggiati dai bombardamenti della seconda guerra mondiale. Generalmente i micropali sono trivellati (rotazione o percussione) in calcestruzzo armato, oppure infissi (pressione, battitura, vibrazione) in acciaio oppure calcestruzzo armato. Di seguito una tabella sintetica comparativa delle modalità esecutive generali tra micropali infissi e trivellati:

AMBITO DI CONFRONTO	MODALITA' ESECUTIVA	
	MICROPALI PRESSO INFISSI	MICROPALI TRIVELLATI
Terreni attraversabili	Limitazioni in presenza di terreni compatti, strati lapidei, trovanti.	Possono attraversare qualsiasi terreno (con opportuno sistema perforante).
Modalità di posa	Pressione, vibrazione, battitura.	Perforazione a rotazione o percussione.
Dimensioni del micropalo	Diametro $\leq 152$ mm. Profondità L=40 mt.	Diametro $\leq 300$ mm. Profondità anche maggiore del micropalo d'acciaio.
Inclinazione massima del micropalo	$\leq 10^{\circ}-15^{\circ}$	Generalmente impossibile se non per diametri molto piccoli.
Qualità della miscela cementizia (quando utilizzata)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● il micropalo infisso può essere posato anche a secco senza necessità di miscela cementizia.</li> <li>● oppure può essere iniettato di miscela secondo le necessità progettuali.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● il micropalo trivellato necessita sempre di malta cementizia.</li> <li>● difficoltà nel controllo qualità della miscela.</li> <li>● limitate garanzie sulla geometria finale del getto del micropalo.</li> <li>● discontinuità geometriche lungo l'asse del palo, limiti di integrità della struttura del micropalo.</li> </ul>
Impatto sul cantiere, Attrezzature	Da poco invasivo a molto invasivo in funzione delle condizioni di cantiere.	Metodo molto invasivo, uso di attrezzature ingombranti, produzioni di vibrazioni da perforazione, utilizzo di fanghi.
Impatto sul terreno	Mini invasivo.	Molto invasivo con asportazione di materiale, utilizzo di fanghi.



I pali possono essere classificati secondo diversi criteri tra cui le metodologie esecutive di posa in opera. In base a questo criterio si distinguono:

- Pali messi in opera senza asportazione di terreno, indicati anche come infissi o pali a "spostamento", che possono essere prefabbricati o gettati in opera.
- Pali gettati in opera con asportazione del terreno indicati come pali trivellati o "a sostituzione".
- Pali realizzati con elica continua e tubo forma centrale che permette l'inserimento della gabbia d'armatura e del tubo getto durante le fasi di ritiro dell'elica e del tubo stesso. Il comportamento di tali pali è intermedio tra quelli a "spostamento" e quelli "a sostituzione". La tecnica di installazione è di fondamentale importanza perché influenza lo stato tensionale attorno al palo e quindi da essa dipendono la portata limite e la rigidità. Gli sforzi di taglio  $t$  lungo la superficie del palo infatti dipendono dalla  $\sigma$  che il terreno applica orizzontalmente sul palo stesso ed essa è a sua volta funzione della tecnica di installazione del palo.

Ad esempio, a parità di condizioni al contorno, la riduzione delle caratteristiche meccaniche del terreno prodotta dalla trivellazione a sostituzione è più marcata di quella prodotta dall'infissione a spostamento. Inoltre, in un terreno granulare poco addensato, la vibro-infissione può produrre una diminuzione dell'indice dei vuoti migliorando le caratteristiche meccaniche del terreno e producendo un aumento della resistenza al taglio. Tra i micro-pali infissi le tecnologie tradizionali di settore adottano principalmente modalità di infissione a pressione mediante impianti spingenti installati a bordo di un cingolato semovente. Alcuni operatori a bordo del macchinario movimentano manualmente e con elevata frequenza i moduli di acciaio trasferendoli dai bancali di stoccaggio direttamente all'interno dell'impianto d'infissione. Una volta raccordati gli ultimi due moduli di palo, il contrasto alla spinta del pistone viene garantito direttamente dal contrappeso del macchinario già comprensivo di zavorre, ed il micropalo viene man mano infisso nel terreno sottostante fino alla profondità di progetto e nei limiti delle condizioni di rifiuto geotecnico.





# TECNOLOGIA E SICUREZZA

AUTOMAZIONE  
E INDUSTRIA 4.0





# Vantaggi di ROBOPILE®

L'innovativa tecnologia di infissione **ROBOPILE®** estende invece il suo campo di intervento grazie alla nuova modalità di infissione del micropalo costituita da un unico maxi sistema automatizzato in grado di:

- meccanizzare lo spostamento e la giunzione dei moduli di acciaio all'interno della torre di infissione senza alcun intervento manuale;
- avanzare ogni micropalo, senza asportazione di terreno, modulando la modalità di infissione secondo tre differenti opzioni: 1) presso infissione, 2) vibro infissione, 3) combinata presso+vibro infissione. Questo sistema innovativo e brevettato consente dunque vantaggiosamente di superare i limiti di infissione dovuti alla zavorra del peso macchinario;
- modulare la frequenza di vibrazione all'occorrenza;
- operare in sicurezza senza personale a bordo del mezzo operativo. Infatti il macchinario è totalmente automatizzato e radiocomandato a distanza, perfettamente in grado di recepire

elettronicamente un piano di lavoro e applicare il conseguente protocollo di controllo, inoltre il macchinario è adeguato a muoversi in contesti operativi differenti grazie ad una molteplicità di sensori elettronici in grado di provvedere alla necessaria lettura in sicurezza del perimetro di lavoro.

**Tra i principali vantaggi di questa tecnologia si sottolineano:**

- l'efficienza ed efficacia operativa di posa del micropalo, ovvero possibilità di posa a profondità maggiori rispetto a macchinari tradizionali, dunque non solo in terreni coesivi ma anche granulari e misti, grazie al sistema computerizzato di commutazione della modalità di infissione in funzione della risposta di avanzamento nel terreno del primo modulo in punta;
- il ridotto disturbo alle caratteristiche meccaniche dei terreni rispetto alla trivellazione. A parità di condizioni al contorno la riduzione delle caratteristiche meccaniche prodotte dalla trivellazione è molto più marcata rispetto a quella dell'infissione;







- possibilità di lavorare in modalità vibrazione durante l'infissione del palo e senza asporto di materiale, che nei terreni granulari consente un costipamento meccanico con conseguente aumento della portata laterale del palo;
- limitata trasmissione di vibrazione agli edifici in vicinanza. Con la frequenza di vibrazione variabile è possibile regolare l'intensità delle vibrazioni così da ridurre al minimo il rischio danni. Durante l'infissione è possibile controllare la variazione della resistenza del terreno alle differenti profondità;
- maggiore rapidità di infissione del micropalo grazie alla elevata automazione del macchinario;
- **ROBOPILE®** è in grado di posare più di 80 micropali al giorno fino a una profondità di 18 m;
- possibilità di posare micropali tubolari lisci o ad aderenza migliorata con diametri esterni: 76 mm, 114 mm, 152 mm;
- nessuna produzione di materiali di risulta;
- possibilità di realizzare collegamenti alle armature della costruzione e il successivo getto già dalla fine dei lavori di posa del micropalo;
- controllo della resistenza all'infissione in corso d'opera mediante lettura dei valori di pressione restituiti dal manometro dei martinetti idraulici.

TERMINE DI CONFRONTO	MODALITA' ESECUTIVA	
	ROBOPILE®	PALI TRIVELLATI
Terreni attraversabili	Terreni attraversabili Terreni coesivi, misti e granulari non grossolani.	Nessun tipo di limitazione.
Impatto sui terreni	Ridotto disturbo alle caratteristiche meccaniche degli strati attraversati. La modalità di vibro-infissione consente inoltre una riduzione dell'indice dei vuoti nei terreni granulari con conseguente miglioramento della portata laterale.	Elevato disturbo alle caratteristiche meccaniche dei terreni durante la fase di trivellazione con conseguente riduzione dell'attrito all'interfaccia micropalo/terreno.
Impatto sulle opere	Assenza di vibrazioni trasmesse alle strutture con la modalità di presso-infissione. In modalità vibro-infissione possibilità di regolare la frequenza di vibrazione in funzione della risposta della struttura.	Significative vibrazioni trasmesse durante le operazioni di trivellazione alle strutture limitrofe alla zona di lavoro.
Materiali di risulta	Nessuna produzione di materiali di risulta e fanghi.	Asportazione del terreno con conseguente onere dello smaltimento. Produzione di fanghi durante la trivellazione.
Ingombro dei macchinari	3128 x 6730 x 4171 mm. (P L H)	Variabili a seconda delle dimensioni dei pali da realizzare ma generalmente più grandi del <b>ROBOPILE®</b> .
Profondità ottimali	6/18 m.	20/30 m.
Qualità dell'iniezione	Ottima, si riesce a garantire un'uniformità del palo lungo l'asse verticale.	Rischio di discontinuità lungo l'asse del palo con variazione delle dimensioni della sezione trasversale e interruzione del palo stesso.



# Procedura operativa di cantiere

**1) Tracciamento del reticolo** geometrico di infissione. Inoltre il macchinario è in grado di recepire il CAD di intervento ed associare ad ogni coordinata i rispettivi parametri di lavoro.

**2) Infissione del micropalo: ROBOPILE®** predispose in modo automatizzato il modulo di micropalo all'interno della sede del castello di infissione già solidale sul macchinario semovente, il sistema procede all'allineamento e al successivo avvitalamento con l'ultimo modulo precedentemente spinto. Una pinza alloggiata sotto il carro è predisposta per ancorare meccanicamente il palo d'acciaio e spingerlo verso il terreno sottostante, laddove in caso di necessità, ovvero la resistenza offerta dal terreno in avanzamento lo richiedesse, il sistema di controllo elettronico dei parametri di avanzamento consentirà al bisogno di azionare il

dispositivo di vibrazione in dotazione al macchinario. **ROBOPILE®** è stato progettato per dialogare e interagire con la centrale tecnica della sede GEOSEC. Il macchinario riceve ordini di lavoro e parametri operativi che confronta con quelli rilevati sul posto adattandoli al bisogno. I dati esecutivi di cantiere vengono poi trasmessi alla piattaforma gestionale GEOSEC.

**3) Eventuale iniezione di miscela** all'interno del tubolare d'acciaio (resine, miscele cementizie) per ottenere a) solo sbulbatura in punta, b) anche riempimento anulare dello spazio tra micropalo e terreno.

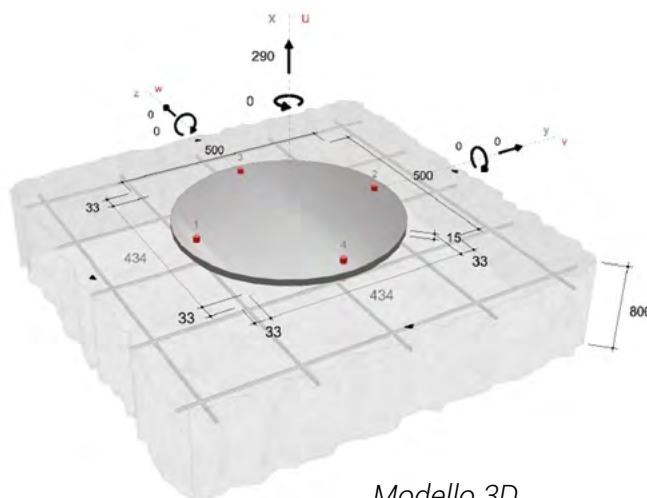
**4) Ancoraggio finale della testa del micropalo** Modalità di ancoraggio e carpenteria saranno concordati con il progettista e la direzione lavori secondo le esigenze costruttive.



# Modalità di ancoraggio del micropalo alle strutture di fondazione

## Ancoraggio con piastra orizzontale circolare

In questo caso l'ancoraggio viene realizzato tramite installazione di apposita piastra orizzontale circolare di diametro pari a circa 500 mm che, una volta posata in opera, viene fissata alla struttura esistente con barre filettate ed ancorante chimico. La piastra è dotata di tubo camicia dell'altezza di 250 mm per il collegamento alla testa del palo.



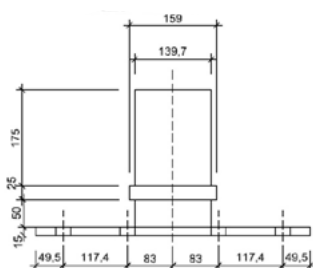
Modello 3D  
del dimensionamento

## Il sistema di ancoraggio della piastra alla struttura di fondazione

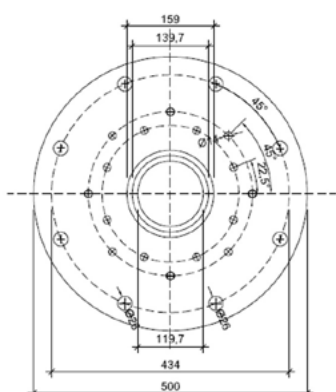
Il fissaggio della piastra circolare alla struttura di fondazione avviene tramite barre filettate M24 in acciaio zincato classe 8.8 e ancorante chimico WIT-UH 300 Wurth o equivalente. La profondità effettiva di ancoraggio risulta funzione dei carichi in gioco e della geometria della struttura di fondazione.

Il dimensionamento del collegamento viene verificato con apposito software di calcolo di proprietà del produttore.

Sezione  
verticale  
piastra



Sezione  
orizzontale  
piastra



## Il sistema di ancoraggio dei micropali alla piastra

L'ancoraggio del singolo micropalo alla piastra di collegamento avviene mediante l'inserimento di 3 bulloni M20 in acciaio classe 10.9, solidarizzati al tubo camicia. La resistenza a taglio del singolo bullone si ricava con la seguente formula:

$$F_{v,Rd} = \frac{0.5 \cdot A_{res} \cdot f_{tb}}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed}$$

In cui:

$F_{v,Ed}$  = forza di taglio agente sul piano di taglio considerato;

$F_{v,Rd}$  = resistenza di calcolo al taglio del bullone;

$A_{res}$  = area resistente della parte filettata della vite;

$f_{tb}$  = resistenza a rottura del materiale della vite;

$\gamma_{M2}$  = coefficiente di sicurezza.





## Ancoraggio con inghisaggio più piastra antipunzonamento

In questo caso l'ancoraggio del palo alla struttura di fondazione viene realizzato tramite il riempimento del foro fino a saturazione con malta cementizia espansiva per ancoraggi tipo BASF MasterFlow 928 o equivalente.

Successivamente il foro viene sigillato mediante l'installazione di una piastra antipunzonamento di dimensioni standard 300x300 mm, ma adattabili a seconda del contesto logistico.

L'ancoraggio della piastra antipunzonamento alla struttura di fondazione avviene mediante barre filettate M24 in acciaio zincato classe 8.8 e ancorante chimico WIT-UH 300 Wurth o equivalente. Il serraggio delle barre filettate avviene con dadi in acciaio zincati classe 6S.

Tale soluzione viene adottata quando per esigenze logistiche o prettamente visive non è possibile utilizzare la piastra circolare con tubo camicia.

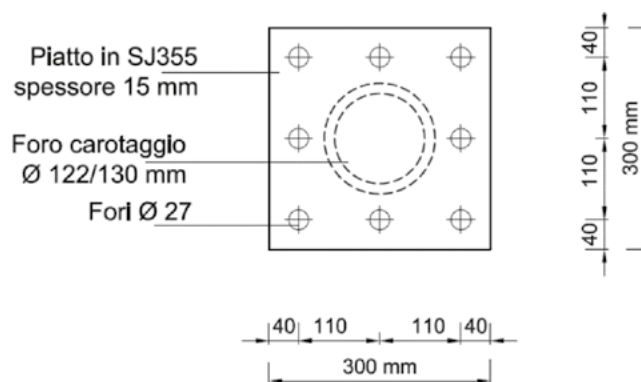
Il dimensionamento del collegamento prevede che la verifica a trazione delle barre filettate risulti soddisfatta onde evitare che le stesse barre post-installate non si sfilino nel tempo rendendo inefficace il collegamento della piastra anti-punzonamento.

Le tre verifiche che concorrono alla tenuta del sistema sono:

- verifica del cedimento lato acciaio;
- verifica del cedimento combinato per sfilamento e rottura del calcestruzzo;
- verifica della rottura del calcestruzzo.

Tutte le verifiche devono essere eseguite in conformità alla norma tecnica TR29: 2010-09 dell'European Organisation for Technical Approvals.

### Sezione orizzontale piastra



Come per la piastra circolare, il dimensionamento del collegamento viene verificato con apposito software di calcolo di proprietà del produttore.



# PROGETTAZIONE E VERIFICA DEL MICROPALO

METODOLOGIE DI  
CALCOLO E PROVE  
DI COLLAUDO



## Metodologie di calcolo.

La resistenza caratteristica del sistema micropalo-terreno può essere calcolata principalmente in due modi:

- 1) Tramite correlazioni empiriche basate sui risultati di prove eseguite in sito o metodi analitici che si basano sui parametri geotecnici del terreno.
- 2) Tramite l'esecuzione di una prova di carico su micropalo pilota.

Delle due opzioni la seconda è sicuramente preferibile laddove percorribile e prevista dalle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) al paragrafo 6.4.3.7.1.

Tra i principali aspetti progettuali si ricordano:

- scelta del tipo di palo;
- calcolo della portata caratteristica e di progetto nonché scelta dei metodi adottati per il calcolo;
- scelta del numero di pali;
- scelta dei collegamenti/ancoraggi;
- verifica della durabilità dei materiali nelle condizioni di esercizio;
- modellazione dell'iterazione fondazione-sovrastuttura.

## Prove di carico.

Le prove di carico si distinguono in **prove di progetto**, eseguite su palo/i definito/i pilota (non facente/i parte della palificata e portato/i a rottura nel corso della prova) e **prove di collaudo**, eseguite su uno o più pali appartenenti alla palificata. Le prime hanno lo scopo principale di determinare il carico limite del micropalo mentre le seconde vengono generalmente realizzate per verificare la corretta esecuzione dell'opera. Il numero di prove deve stabilirsi sulla base della quantità e della qualità delle conoscenze disponibili di carattere geotecnico e sull'importanza dell'opera in considerazione.

Le prove prevedono l'applicazione dei carichi attraverso uno o più martinetti idraulici azionati da una pompa a mano o a motore e la lettura della forza applicata avviene tramite l'interposizione di una cella di carico tra martinetti e struttura di contrasto (applicato ad es. tramite struttura a "zavorra" o con pali di ancoraggio). Per la misura degli spostamenti della testa del palo sono impiegati trasduttori di spostamento, in numero minimo pari a 3.

Le modalità di esecuzione di una prova di carico

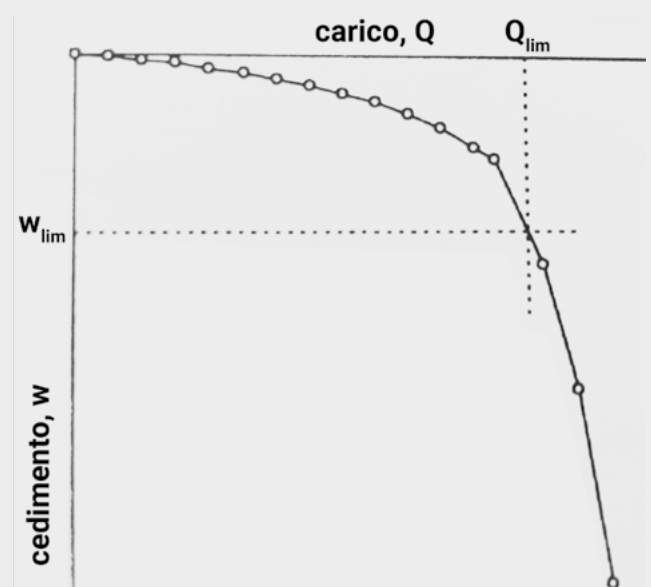
sono molteplici e si differenziano per la sequenza e la rapidità di applicazione dei carichi. Il metodo più frequentemente utilizzato è definito **Maintained Load (ML)** e prevede l'applicazione del carico al palo in incrementi successivi secondo schemi predefiniti (cfr. NT N191 22 dicembre 1999).

Una volta eseguita la prova è necessario procedere all'interpretazione della curva carico-cedimento (Q-w) per l'individuazione del valore di  $Q_{lim}$ . I criteri generalmente utilizzati sono: **i) basati sui cedimenti; ii) di estrapolazione.**

Ai primi appartengono quei casi caratterizzati da cedimenti di una certa entità. Tali criteri prevedono di assumere come carico limite  $Q_{lim}$  quel valore che corrisponde ad un cedimento limite prestabilito  $w_{lim}$  raggiunto nel corso della prova.

### Il cedimento limite è pari a:

- $w_{lim}=0,10 \cdot d_s$  per pali di piccolo diametro ( $< d_s 80$  cm);
- $w_{lim}=0,05 \cdot d_s$  per pali di grande diametro ( $\geq d_s 80$  cm).

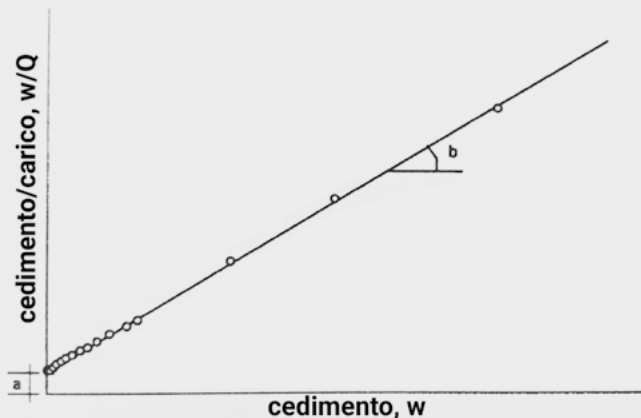


Ai secondi appartengono invece quei casi in cui i cedimenti mobilitati e misurati non siano sufficienti a definire la  $Q_{lim}$ . Tali metodi prevedono l'estrapolazione della curva  $Q-w$  in un campo di valori non raggiunti nel corso della prova di carico. La tecnica più diffusa, definita di interpolazione iperbolica, è basata sull'ipotesi che la curva  $Q-w$  sia assimilabile ad un'iperbole di equazione:

$$Q = \frac{w}{a + b \cdot w}$$

in cui  $a$  e  $b$  rappresentano rispettivamente intercetta e coefficiente angolare della retta

$$\frac{w}{Q} = a + b \cdot w \text{ nel piano } w-w/Q.$$



Si ottiene quindi:

$$d_s < 80 \text{ cm} \quad w_{lim} = 0,10 \cdot d_s ; \quad Q_{lim} = \frac{0,10 \cdot d_s}{a + b \cdot 0,10 \cdot d_s}$$

$$d_s \geq 80 \text{ cm} \quad w_{lim} = 0,05 \cdot d_s ; \quad Q_{lim} = \frac{0,05 \cdot d_s}{a + b \cdot 0,05 \cdot d_s}$$

## Il metodo ICP.

Nell'ambito del progetto del micropalo infisso è consigliabile utilizzare il metodo ICP sviluppato dall'Imperial College di Londra.

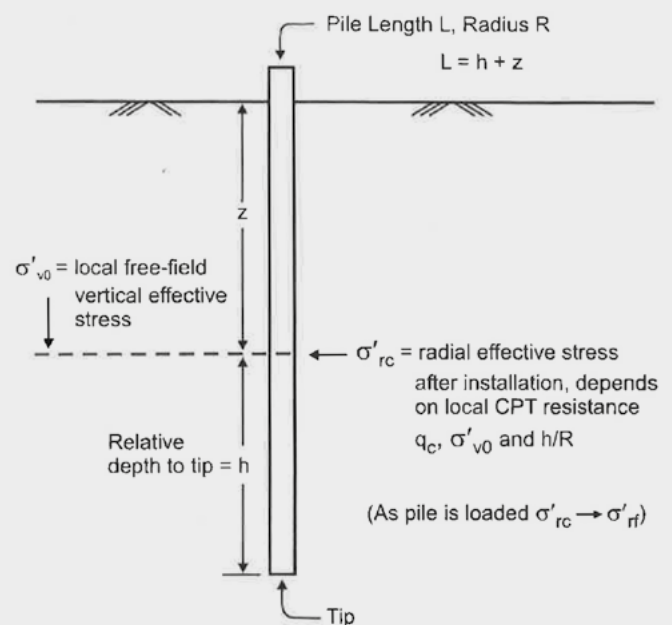
Il metodo può essere ben considerato nel caso di micropali metallici presso infissi per i seguenti 2 motivi:

- 1) è stato sviluppato considerando prove di carico eseguite su micropali infissi del diametro di 100 mm;
- 2) si basa su risultati di prove preferibilmente CPT/

CPTU o alternativamente SPT o DPSH con utilizzo di rivestimento laterale.

Il metodo suggerisce la procedura proposta per il calcolo della portata limite per attrito laterale,  $Q_s$ , e della portata limite di base,  $Q_b$ , rispettivamente per materiale sabbioso ed argilloso. La somma delle due componenti fornisce la  $Q_{lim}$  del sistema micropalo-terreno:  $Q_{lim} = Q_b + Q_s$ , avendo accortezza di distinguere se il palo ha punta chiusa, punta aperta con formazione di tappo alla base (fully plugged) o punta aperta senza formazione di tappo (unplugged).

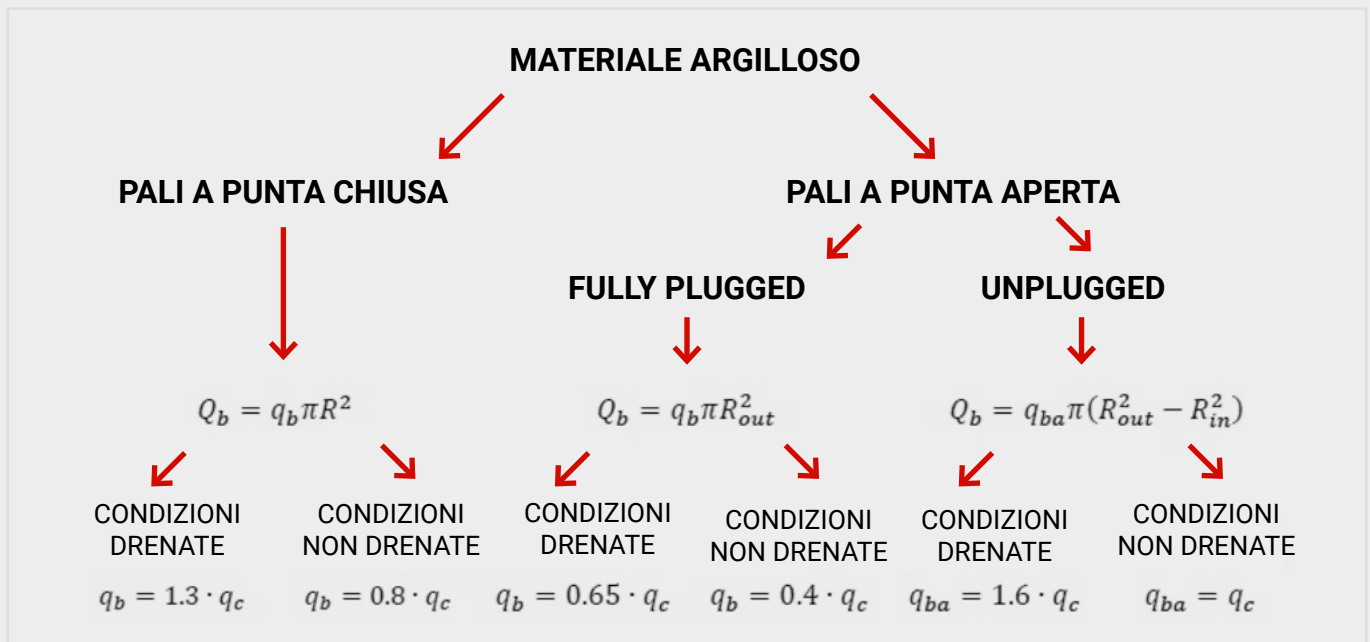
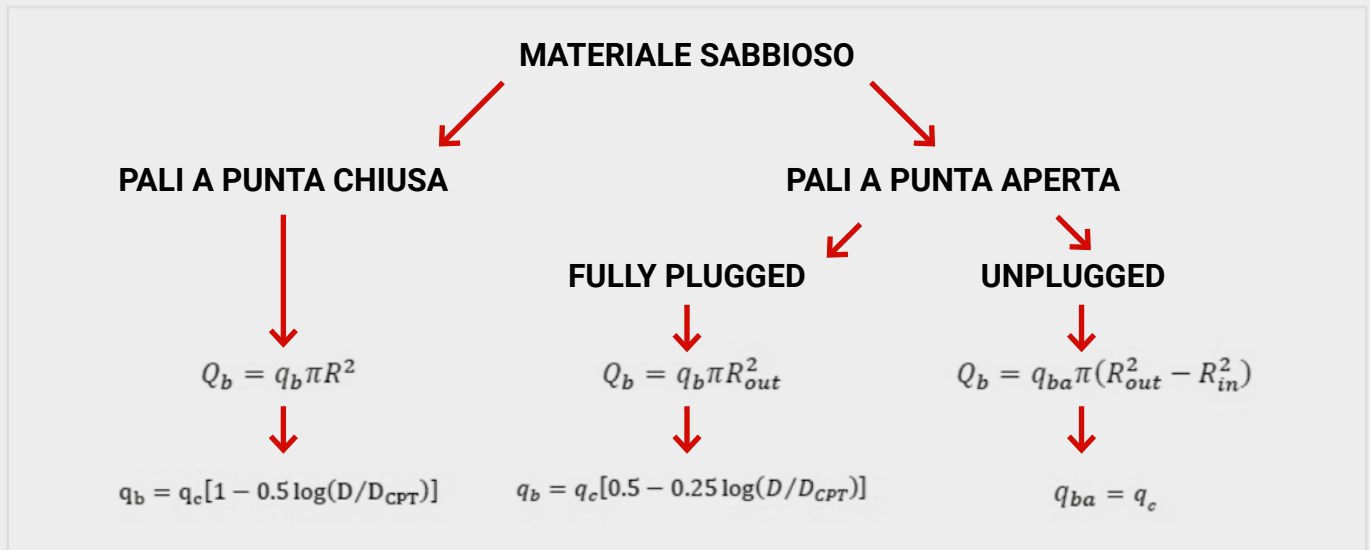
**Di seguito si riporta uno schema con l'indicazione delle grandezze di riferimento del metodo:**



- R: raggio del palo;
- L: lunghezza complessiva del palo data dalla somma di  $h$ , distanza tra il punto di riferimento e la punta del palo, e  $z$ , quota del punto di riferimento per il calcolo;
- $\sigma'_{v0}$  tensione verticale efficace esistente in sito (tensione litostatica);
- $\sigma'_{rc}$  tensione radiale efficace dopo l'installazione del palo, funzione dei valori locali di  $q_c$ ,  $\sigma'_{v0}$  e  $h/R$ ;
- $\sigma'_{rf}$  tensione radiale efficace lungo il fusto del palo a rottura.



# Calcolo della portata limite di base $Q_b$ .



I micropali a punta aperta possono essere trattati come FULLY PLUGGED se le seguenti condizioni vengono verificate:

- Per materiale sabbioso:  $D_{inner} < 0.02(Dr-30)$  e  $D_{inner} < 0.083q_c/Pa$ ;
- Per materiale argilloso:  $[D_{inner}/D_{cpt} + 0.45q_c/Pa] < 36$ .

In caso contrario dovranno essere trattati come UNPLUGGED.

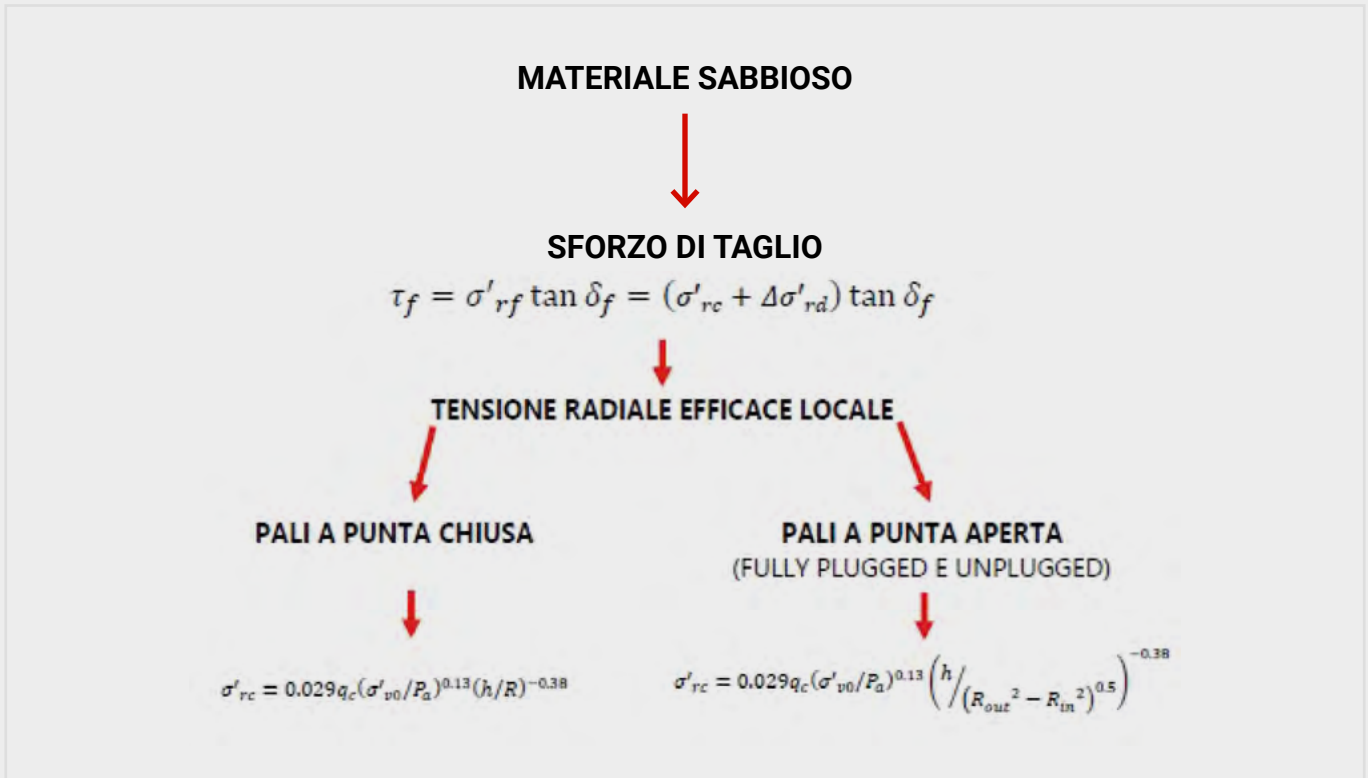
Dove:

- $D$  diametro del palo;
- $q_c$  valore medio equivalente della resistenza alla punta  $q_c$  misurata da prove CPT/CPTU, per il cui calcolo gli autori consigliano la procedura proposta da Bustamante e Gianceselli (1982);
- $D_{CPT} = 0.036$  m;
- $R_{out}$  ( $R_{outer}$ ) raggio esterno del palo;
- $R_{in}$  ( $R_{inner}$ ) raggio interno del palo;
- $q_{ba} = q_c$ .

# Calcolo della portata limite per attrito laterale $Q_s$ .

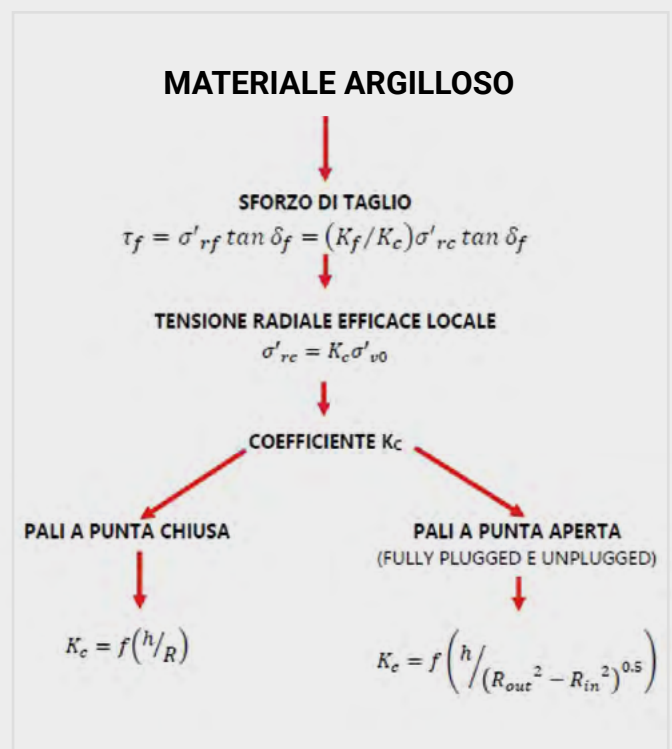
## PORTATA LIMITE PER ATTRITO LATERALE

$$Q_s = \pi D \int \tau_f dz$$



Dove:

- $\tau_f$  sforzo di taglio a rottura agente lungo la superficie laterale del palo (segue il semplice criterio di di Mohr-Coulomb);
- $\delta_f$  angolo d'attrito a rottura all'interfaccia palo-terreno, stimato da prove di taglio diretto o, in mancanza di prove dirette, a partire dalla curva granulometrica;
- $\Delta\sigma'_{rd}$  incremento della tensione radiale efficace della dilatanza durante l'applicazione del carico al palo;
- $P_a = 100$  KPa;
- $K_f / K_c$  costante pari a 0.80;
- $K_c$  coefficiente funzione di  $YRS = \sigma'_{vy} / \sigma'_{v0}$ , della sensitività dell'argilla e di  $h/R$ .

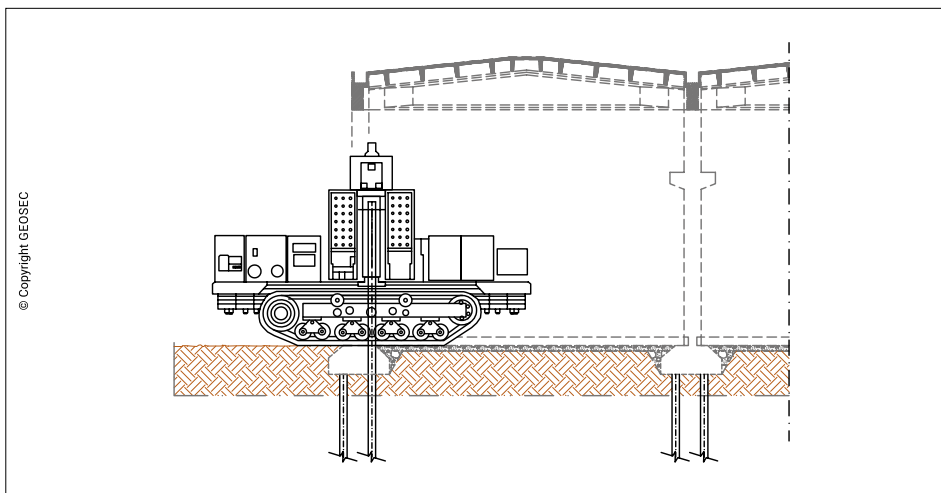




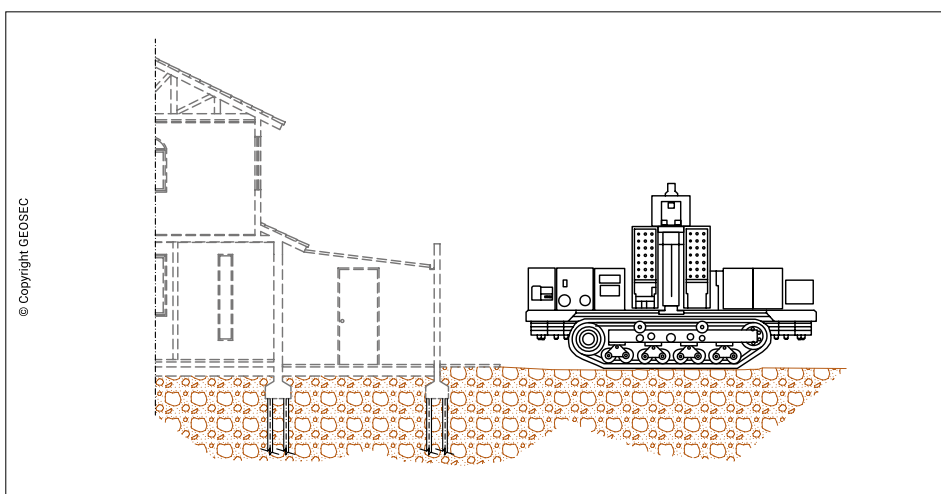
# ROBOPILE®

DOMINIO OPERATIVO

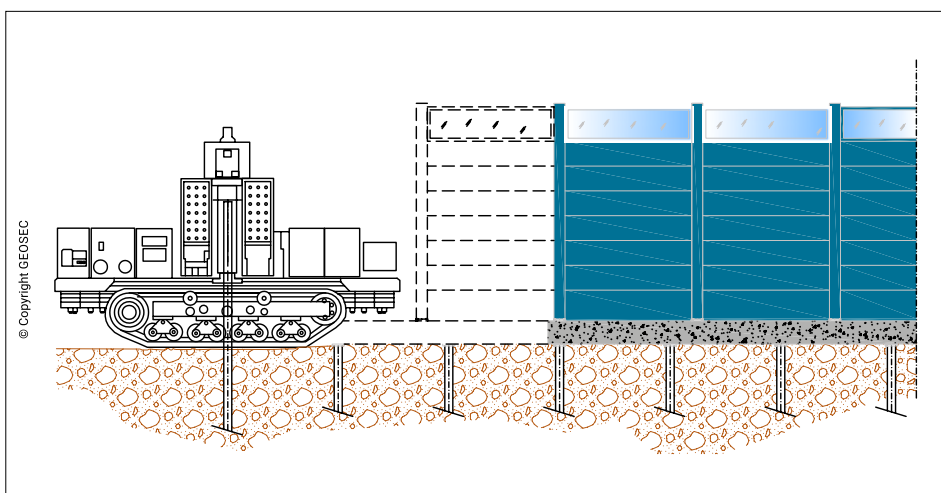
# Campi di applicazione del macchinario ROBOPILE®



Fondazioni  
nuovi edifici  
industriali

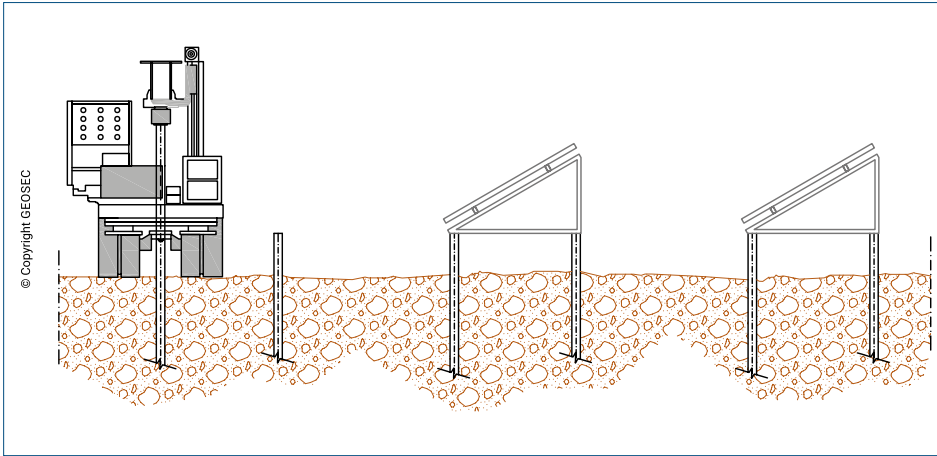


Fondazione  
nuovi edifici  
residenziali

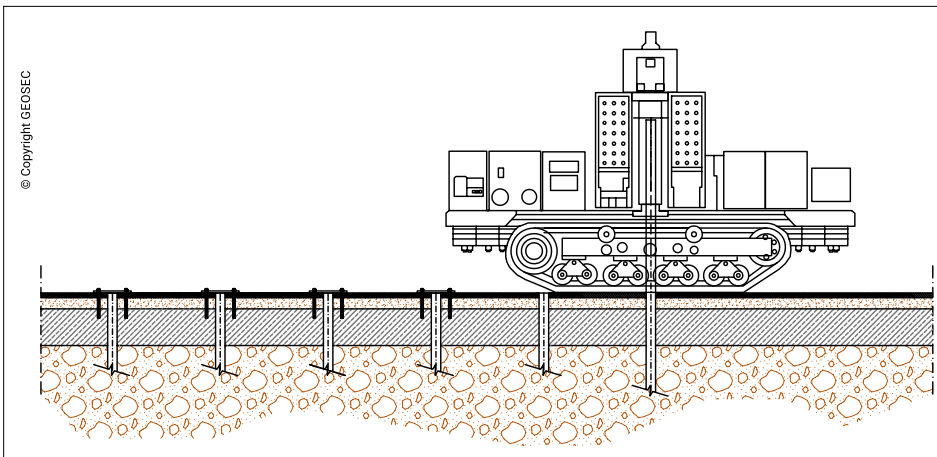


Pannelli  
fonoassorbenti

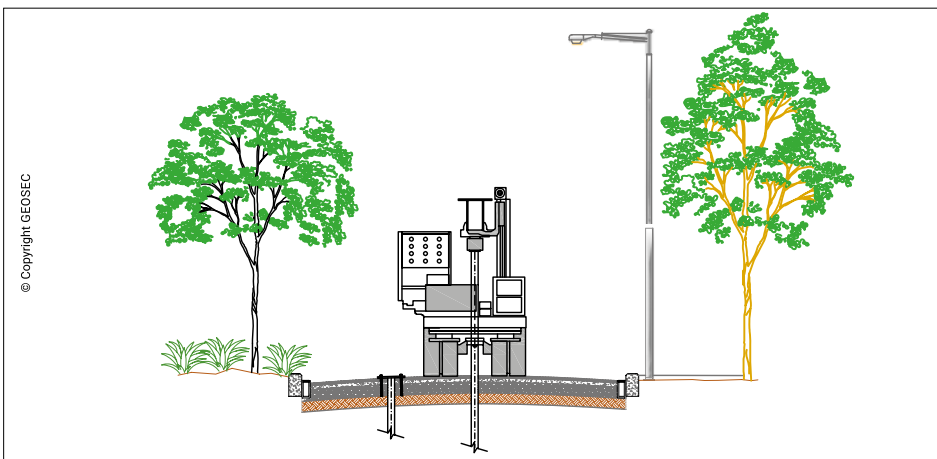




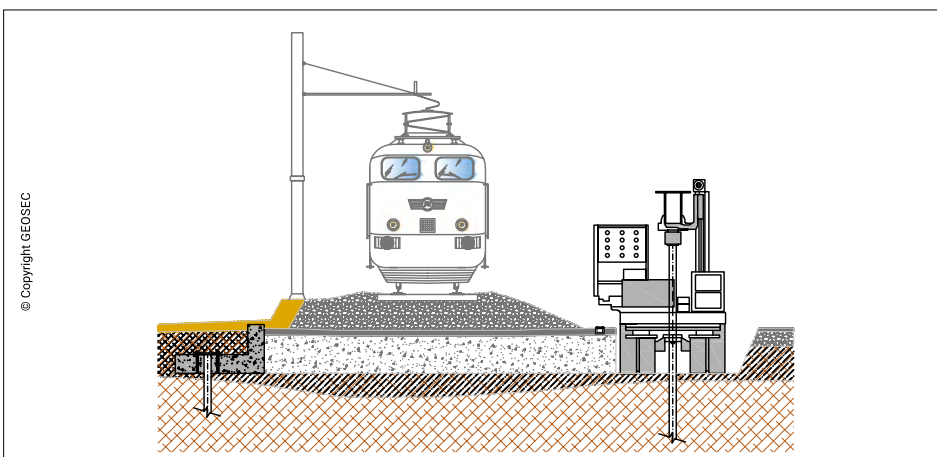
## Impianti fotovoltaici



## Pavimentazioni industriali



## Pavimentazioni stradali



## Rilevati ferroviari



# Voce di capitolato

## ROBOPILE®

### **Installazione e smobilizzo del cantiere.**

conferimento e ritiro in sicurezza nell'area di lavoro del macchinario **ROBOPILE®** comprensivo degli accessori di posa, delle aste dei pali, dei sistemi di alimentazione del macchinario, tutto quanto necessario per la posa dei micropali.

Acquisizione del tracciamento del sesto di impianto di posa dei micropali.

### **Posa dei micropali con ROBOPILE®.**

La procedura di posa dei micropali infissi sarà in conformità alle norme tecniche di settore.

Il macchinario di posa sarà comandato a distanza da nostro operatore con radiocomando dedicato. L'attività di cantiere sarà coordinata sul posto da personale tecnico GEOSEC opportunamente addestrato.

Ogni micropalo sarà costituito da speciali aste tubolari in acciaio strutturale del diametro (<152mm) e del tipo S355 per spessori  $t < 40$ mm

- $f_{yk}$  [MPa]=355 (Resistenza caratteristica di snervamento);
- $f_{tk}$  [MPa]=510 (Resistenza caratteristica a rottura) aste aventi lunghezza singola pari a circa 1 metro, opportunamente filettate per la successiva giuntura in avvitaamento.

L'acciaio delle aste è sottoposto regolarmente a test di resilienza e controlli non distruttivi secondo la norma ISO 10893-1-2 (EN 10246-1-3) ed è fornito con certificazione di collaudo EN10204 comprensivo della Dichiarazione di Prestazione del produttore.

Le aste saranno lisce per poter sfruttare la massima penetrazione nel terreno e all'occorrenza secondo le specifiche progettuali potranno prevedere in punta una valvola flangiata per ridurre l'invasività d'infissione.

L'avanzamento delle aste avverrà mediante tre possibili opzioni secondo le condizioni e le necessità di cantiere: 1) presso infissione, vibro infissione, presso-vibro infissione.

Il macchinario è dotato di base cingolata gommata,

sensori di sicurezza per il controllo degli spostamenti, PLC per il settaggio, la trasmissione bilaterale (cantiere – ufficio tecnico) e la registrazione dei parametri principali di lavoro (geolocalizzazione, griglia spaziale di cantiere, pressioni di esercizio, tempo). La fase di infissione viene condotta secondo le prescrizioni di progetto ovvero raggiunta la portata prestabilita del micropalo o comunque fino alla quota di rifiuto. La portata massima del micropalo infisso potrà raggiungere valori massimi fino a 30 t in funzione della risposta meccanica in situ.

### **Connessione alla struttura di fondazione superficiale.**

Il micropalo infisso verrà posato avendo cura di considerare una opportuna abbondanza fuori terra per poter consentire la successiva connessione all'armatura della nuova fondazione superficiale. La sommità del micropalo sarà opportunamente predisposta per il successivo ancoraggio staffato.

### **Norme tecniche di riferimento.**

#### **UNI EN 12699**

- Esecuzione di lavori geotecnici speciali
- Pali per rinforzo del terreno

#### **EN 1997**

- Calcoli geotecnici
- Parte 1 : regole generali (EN 119-1: 2004/AC: 2009)

#### **EN 1993-5**

- Calcolo strutture in acciaio
- Parte 5 : pali e palancole (EN 1993-5 : 2007/AC : 2009)



# PERCHÈ SCEGLIERE GEOSEC?

 BREVETTO EUROPEO  
N. EP4004293



## SOLUZIONI TECNICHE QUALIFICATE

Grazie a disciplinari tecnici certificati ICMQ e conformi alle norme di riferimento per valorizzare processi operativi e garantire i più elevati standard qualitativi.



## AFFIDABILITÀ E COMPROVATA SERIETÀ

Da oltre 20 anni sempre con la medesima ragione sociale GEOSEC® garantisce sicurezza e stabilità alle vostre costruzioni.

# VANTAGGI TECNICI



- Lavorazione ad alta automazione in sicurezza.
- Sistema multi infissione: presso, vibro infissione, modalità combinata.
- Possibilità di posare pali d'acciaio fino a 152 mm di diametro.
- Possibilità di collaudare la portata di ogni singolo micropalo.
- Possibilità di pre-carico attivo.
- Assenza di materiale di risulta e fanghi.
- Rapidità nei tempi di realizzazione.

# GARANZIA POSTUMA DEGLI INTERVENTI



## QUALITÀ GARANTITA

ROBOPILE® di GEOSEC® è una soluzione unica nel suo genere, coperta da garanzia decennale, con possibilità di estensione a quella assicurativa postuma, grazie alla collaborazione con compagnie internazionali di primaria importanza.



## VUOI SAPERNE DI PIÙ?

CONTATTACI LIBERAMENTE E SENZA IMPEGNO,  
UNA RETE DI TECNICI SPECIALIZZATI IN TUTTA ITALIA  
È A TUA COMPLETA DISPOSIZIONE.

**GEOSEC srl** - Via Mercalli 2/a - Parma 43122 - Italy

© Copyright GEOSEC 2024

**SOPRALLUOGO  
E PREVENTIVO  
GRATUITI**

Servizio Clienti  
**800.045.645**  
[www.geosec.it](http://www.geosec.it)

 **GEOSEC**  
GROUND ENGINEERING