

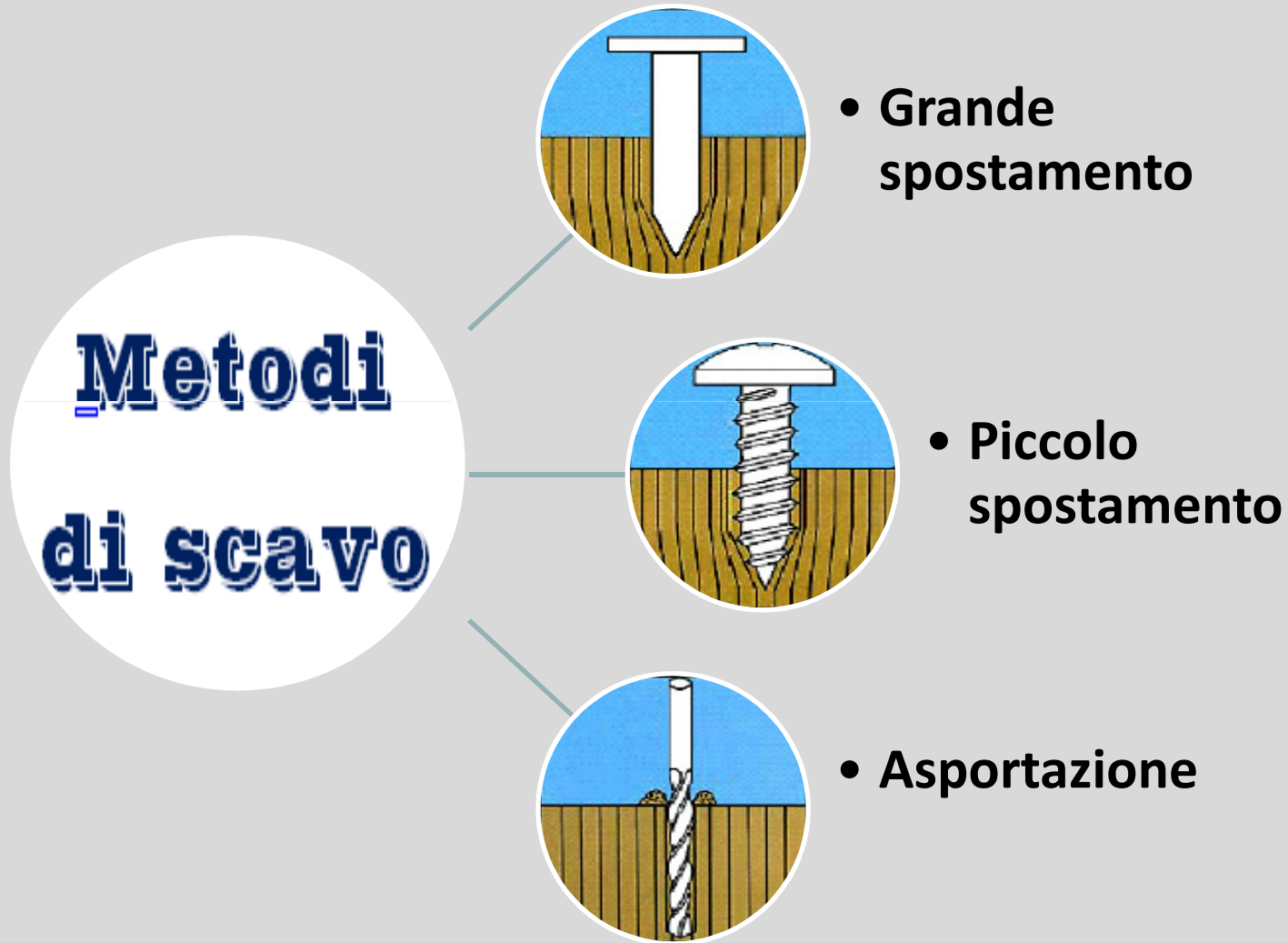
Corso di specializzazione per

# OPERATORE SENIOR PERFORATRICE IDRAULICA GRANDE DIAMETRO

Caratteristiche dei terreni e  
tecniche di perforazione applicabili (2 parte)

Cesena, 2009

# Tecniche di perforazione di grande diametro

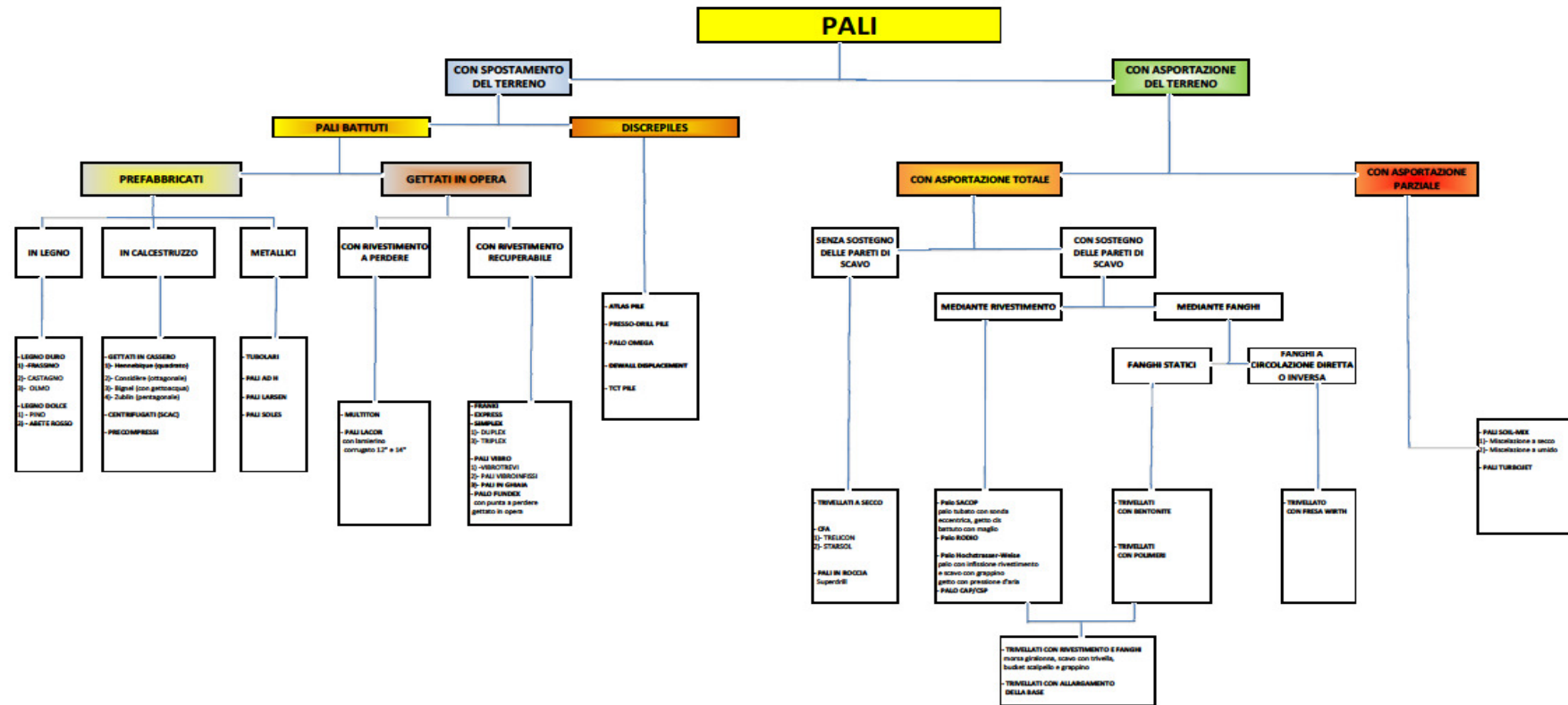


# Tecniche di perforazione di grande diametro

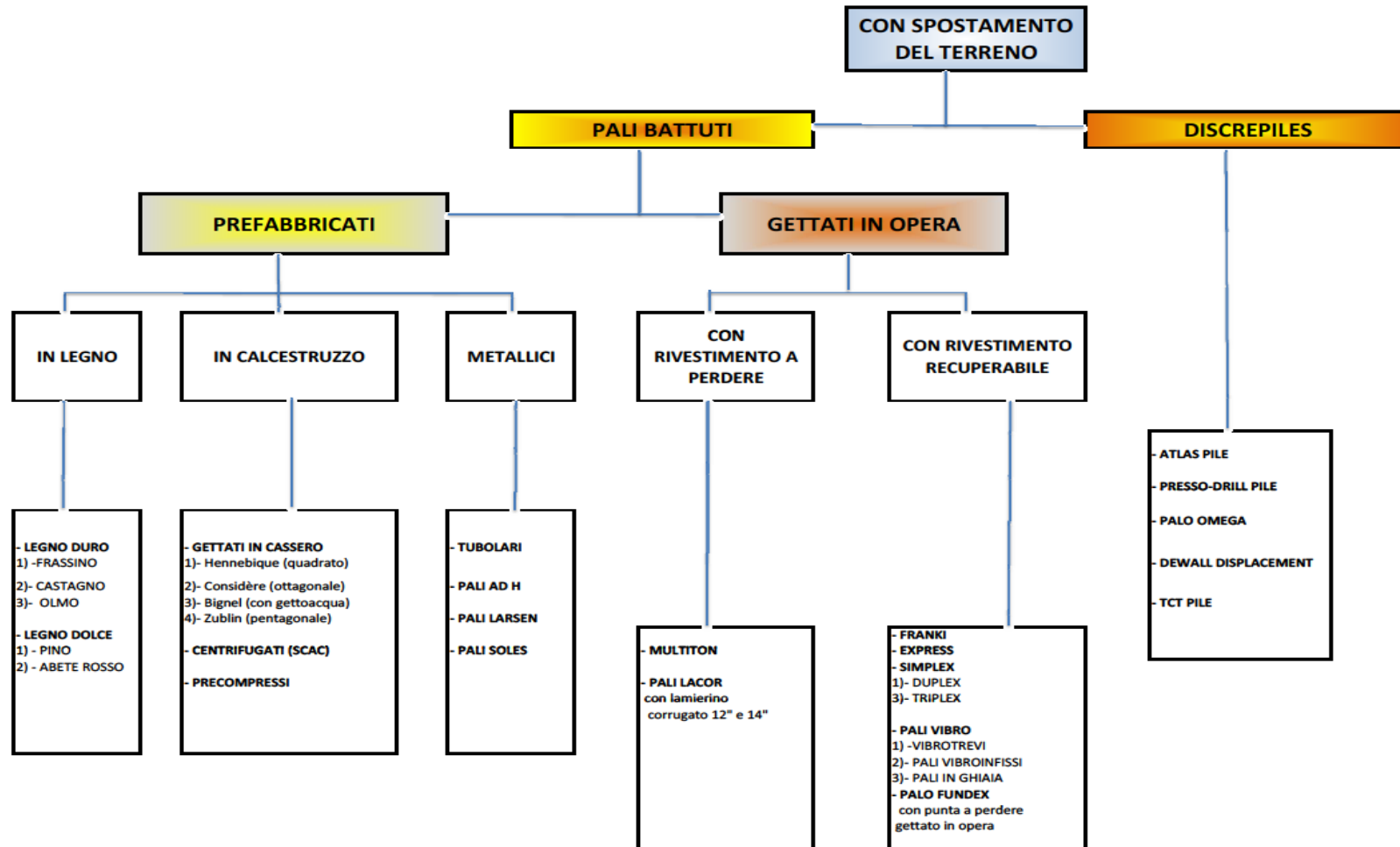
- **PALI**

- **DIAFRAMMI**

# Tecniche di perforazione - pali



# Tecniche di perforazione pali con spostamento del terreno



# I pali battuti prefabbricati

- Pali in legno
- Pali in calcestruzzo
- Pali metallici

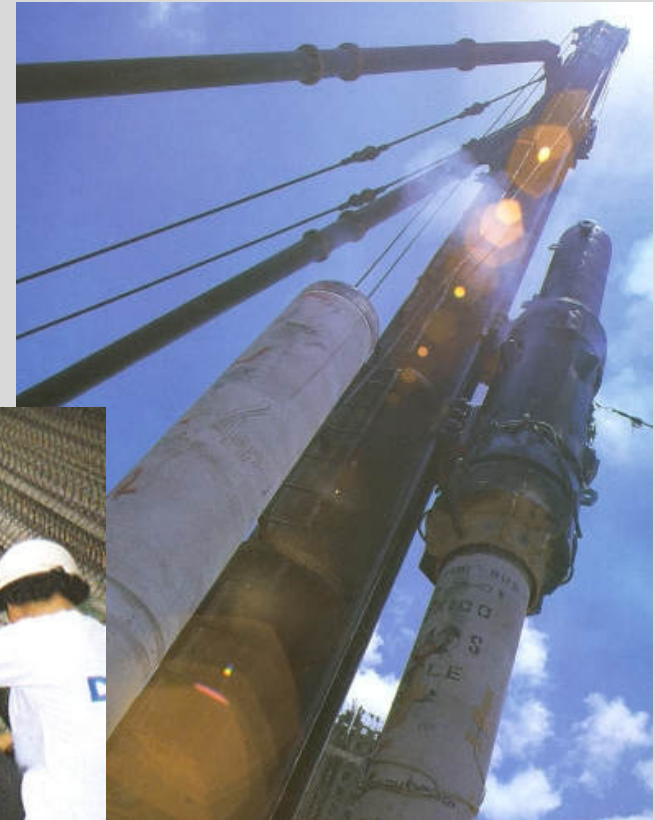
La tecnica dei Pali Battuti è quella più vecchia tuttora in uso. I pali battuti vengono realizzati senza asportazione di terreno, infiggendo l'elemento di fondazione (in legno, ferro o calcestruzzo) mediante un maglio.

Nel passato, i pali in legno venivano infissi nel terreno, utilizzando attrezzature sostanzialmente simili a quelle odierne. Nella foto si può vedere l'attrezzatura progettata da **Leonardo da Vinci** nel XV° secolo.



# Tecniche di perforazione pali battuti prefabbricati

- Nella foto un esempio di pali battuti prefabbricati in calcestruzzo centrifugato precompresso con resistenze del cls di 78 Mpa. Il palo viene infisso per mezzo di maglio idraulico e può essere giuntato per mezzo di una piastra metallica che consente una ottima precisione e facilità di giunzione.



## Palo DAIDO SS

# Tecniche di perforazione pali battuti prefabbricati

- Qui viene riportato l'esempio del palo battuto più comunemente usato in cls gettato in opera. La sezione del palo può essere di tipo quadrato, esagonale, circolare, ecc. ha un diametro compreso fra i 250 mm e i 450 mm e raggiunge in genere profondità di 20 m.



**Palo battuto  
in cls gettato  
in opera**



# Tecniche di perforazione pali battuti prefabbricati

- Un esempio di palo battuto prefabbricato metallico è quello dell' X-Pile, sviluppato nel 1970 in Scandinavia si caratterizza per la particolare forma a X della sua sezione, viene prodotto in barre di 14 m e può essere giuntato per raggiungere lunghezze superiori. Le sezioni variano in genere dai 13 ai 20 cm e il palo viene battuto mediante maglio o martello idraulico fino a raggiungere il rifiuto.

## X-Pile



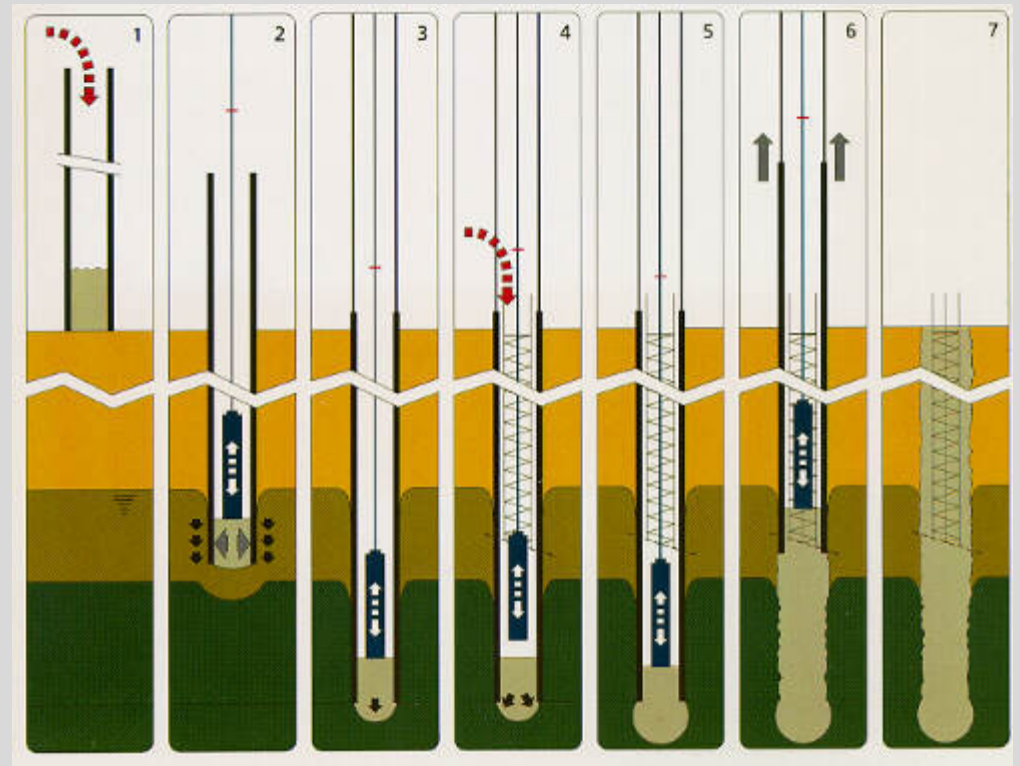
# Tecniche di perforazione pali battuti prefabbricati

In un passato più recente si realizzavano pali battuti gettati in opera, noti come pali tipo "Franki". Si utilizzava un rivestimento metallico chiuso al fondo con un tappo di ghiaia o "magrone". Le operazioni di battitura venivano realizzate utilizzando un maglio metallico lasciato cadere da una altezza limitata.

Al termine della battitura il tappo veniva espulso creando una "sbulbatura" al fondo.

Si inseriva successivamente la gabbia metallica di armatura ed il palo era realizzato per successive sequenze di:

1. getto del calcestruzzo
  2. costipamento per battitura
  3. sollevamento del tubo-forma
- Produzioni, profondità massime raggiungibili e diametri molto limitate portarono a sviluppare sistemi più innovativi come il palo vibrato.



# Tecniche di perforazione pali battuti gettati in opera

- Pali Franki



# Tecniche di perforazione pali battuti gettati in opera

## Il palo vibrato

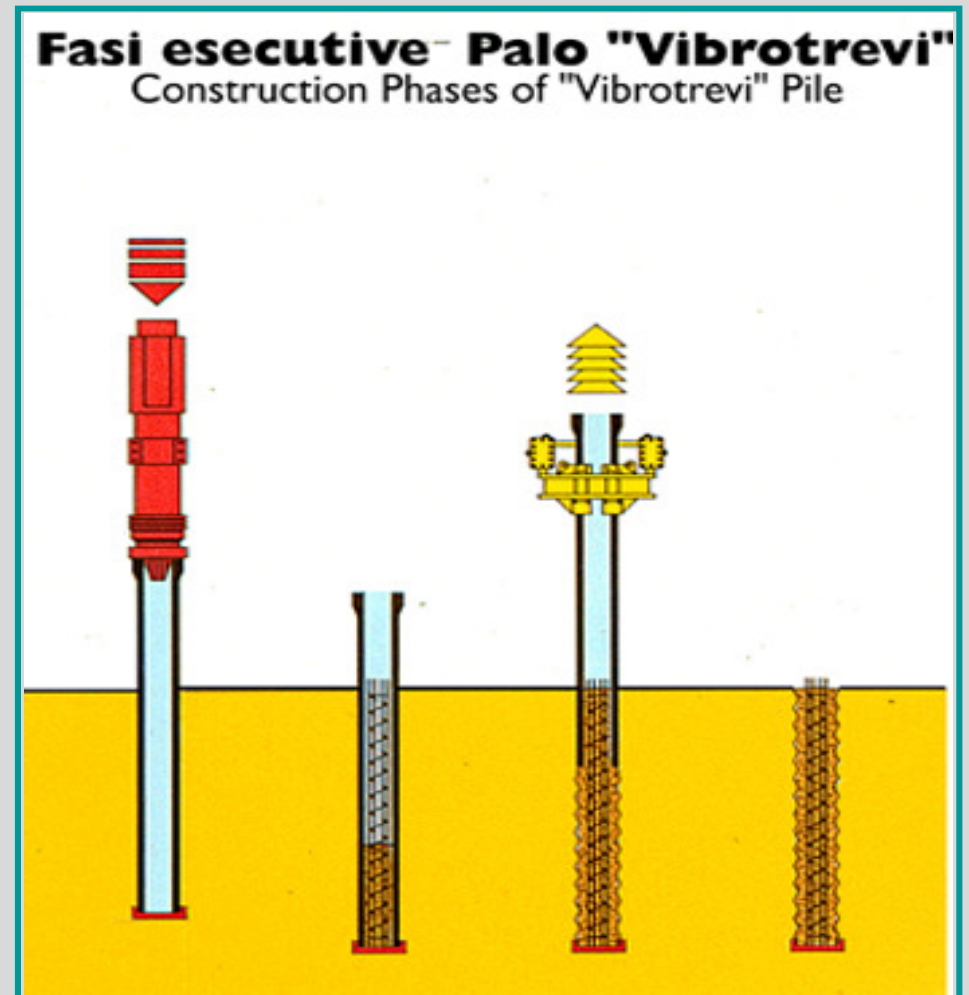
Un rivestimento metallico, chiuso al fondo con un fondello metallico, viene battuto per mezzo di un maglio (a funzionamento diesel o idraulico).

Al termine della battitura, viene inserita la gabbia di armatura e viene realizzato il getto di calcestruzzo.

Il rivestimento viene quindi estratto utilizzando una morsa vibrante.

Il sistema offre un'ottima garanzia di qualità del risultato finale e permette produzioni giornaliere anche superiori a 200 metri.

La profondità massima raggiungibile è di 25-27 m circa con diametri variabili tra 350 e 600 mm.



# Tecniche di perforazione pali battuti gettati in opera

Fasi costruttive del palo vibrato:

- 1 – Posizionamento fondello metallico
- 2 – Battitura
- 3 – Inserimento gabbia di armatura
- 4 – Getto del calcestruzzo
- 5 – Estrazione del rivestimento



# Tecniche di perforazione pali battuti gettati in opera



## **Pali vibroinfissi di ghiaia:**

una variante applicativa del palo vibroinfisso è il palo di ghiaia, in questo caso il rivestimento presenta una valva di fondo apribile e recuperabile, a differenza del classico fondello a perdere. Il procedimento costruttivo è analogo a quello del palo vibrato con la differenza che il tubo viene riempito di materiale ghiaioso in estrazione.

La funzione del palo di ghiaia è quella di consolidamento e drenaggio del terreno.



# Tecniche di perforazione pali battuti gettati in opera

Una particolare tecnica per la realizzazione pali battuti è quella denominata "Palo Multiton". Essa viene impiegata per realizzare pali di notevole lunghezza (fino a 70-80 m).

Il tubo di rivestimento, di diametro sino a 457 mm e spessore variabile tra 6 e 12 mm, è saldato in più spezzoni al procedere dell'infissione.



# Tecniche di perforazione pali battuti gettati in opera

## Il palo battuto Multiton

La tecnica prevede l'infissione di rivestimenti a perdere chiusi al fondo, trascinati mediante un mandrino che trasmette direttamente al fondo l'energia del maglio disposto in cima.

Viene quindi installata la gabbia di armatura ed eseguito il getto del calcestruzzo.

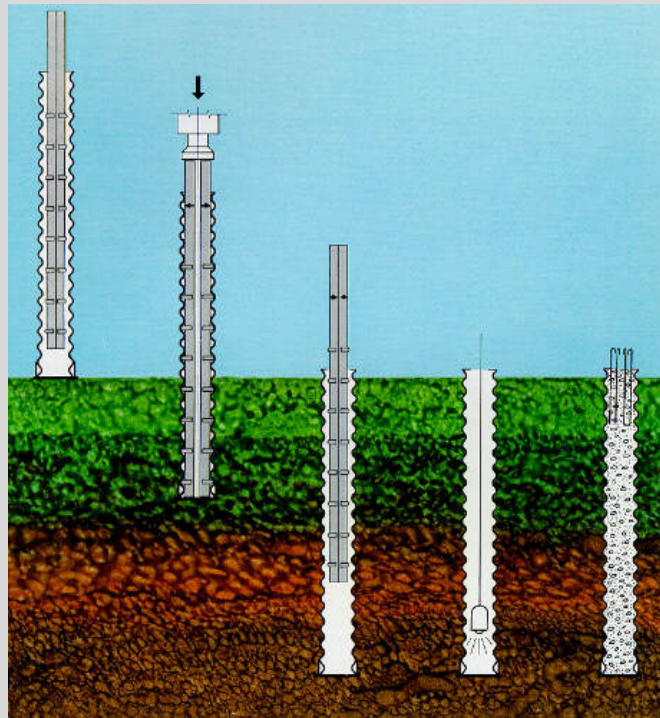


# Tecniche di perforazione pali battuti gettati in opera

## Il palo battuto Lacor

La tecnica è analoga al sistema Multiton, in questo caso però il lamierino è corrugato e il mandrino ad espansione aderisce alle pieghe del lamierino durante la battitura.

Il lamierino con fondello viene infisso in un unico pezzo ; si installa poi l'armatura e si esegue il getto



# Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera

## I pali "DISCREPILES"

Nell'ambito della realizzazione di pali a spostamento del terreno gettati in opera, si sono registrati notevoli sviluppi negli ultimi 10 anni. In particolare, è stata messa a punto con successo una nuova metodologia di installazione di pali che sfrutta un'azione combinata di rotazione e spinta ("DISCREPILES").

I "DISCREPILES" si possono in prima approssimazione dividere in pali cilindrici (CDSP – "Cylindric Displacement Piles") e pali a vite (SDSP – "Displacement Screw Piles"), a seconda dell'utensile e della modalità esecutiva con cui vengono realizzati.



**SDSP**



**CDSP**

# Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera

## Il palo Atlas

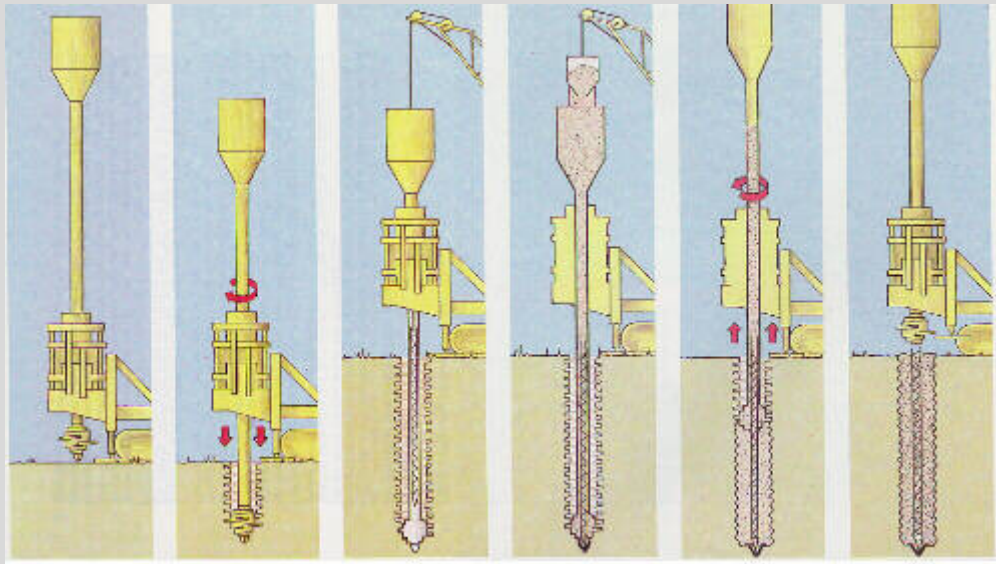
Si tratta di un palo gettato in opera dalla particolare forma a vite. Viene realizzato infiggendo un tubo con una particolare punta allargata ad elica, l'infissione combinata alla rotazione determinano la particolare forma del palo.



# Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera

## Il palo Atlas

Raggiunta la profondità stabilita si ruota il tubo in senso contrario e si sgancia la punta a perdere e contemporaneamente si inizia a pompare il calcestruzzo tramite una pompa o da una tramoggia di carico. Il palo può essere armato prima del getto.



# Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera



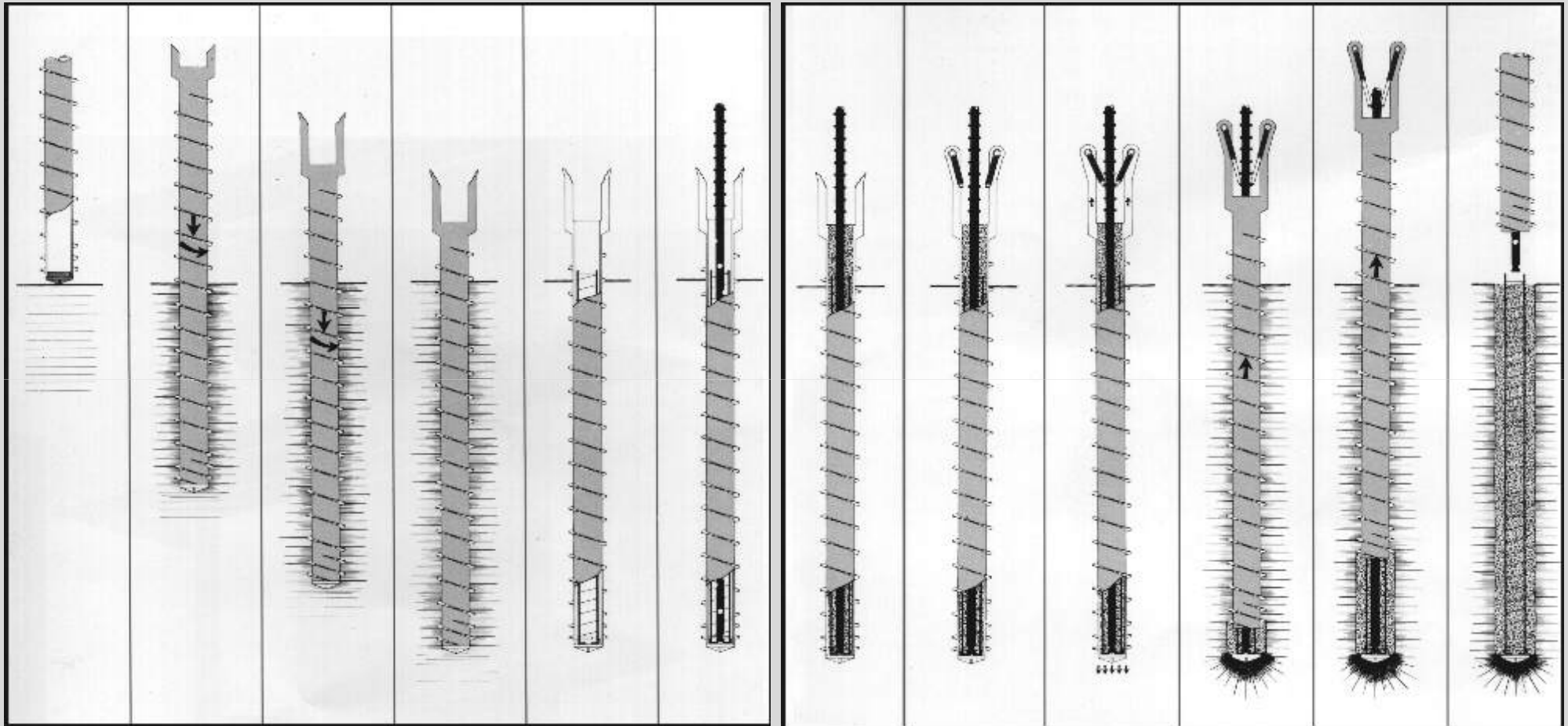
## Il palo Pressodrill:

Infissione e rotazione di elica cava con fondello a tenuta con conseguente compattazione del terreno.

Viene installata la gabbia d'armatura all'interno dell'elica cava; viene calato un mandrino cavo con foro laterale sul fondo, viene riempito di calcestruzzo l'elica cava.

Mediante un meccanismo posto in testa all'elica il mandrino viene forzato a comprimere la base e a sollevare l'elica che viene estratta per step successivi senza ruotare mentre il peso del calcestruzzo garantisce una pressione costante alla base e la continuità del palo. Terminata l'estrazione dell'elica viene infine estratto il mandrino.

# Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera



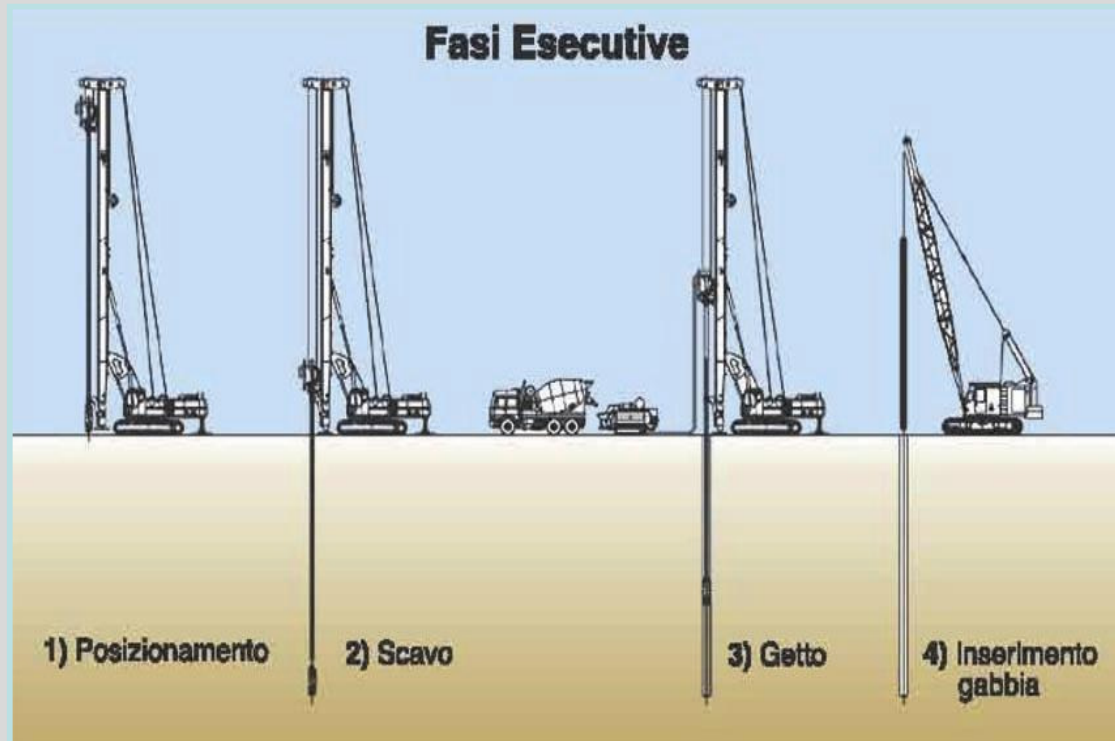
## Tecnica esecutiva del palo Pressodrill

## Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera

### I pali "DISCREPILES"

La sequenza esecutiva prevede l'infissione nel terreno di una batteria di aste cave dotata di uno speciale utensile costipatore; ruotando e spingendo la batteria di perforazione, l'utensile sposta e costipa il terreno durante il suo avanzamento.

Una volta raggiunta la profondità di progetto si estrae la batteria di aste e contemporaneamente si esegue il getto del palo pompando calcestruzzo attraverso le stesse aste cave.



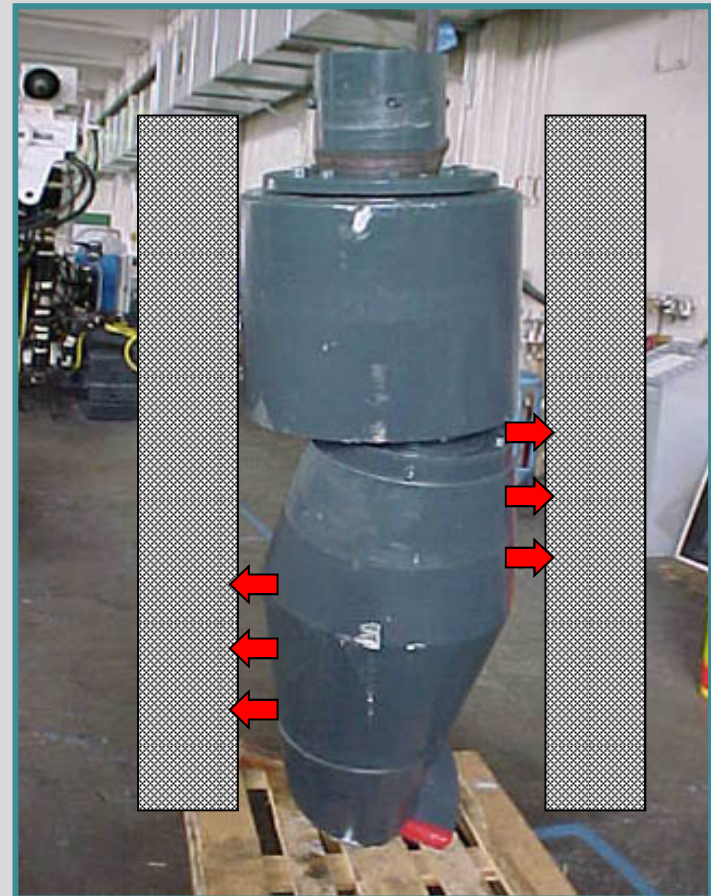
Ove previsto, i pali possono essere anche armati per tutta la lunghezza tramite gabbie di armatura inserite nel calcestruzzo ancora fresco e/o inserite all'interno delle aste cave prima dell'esecuzione del getto.

## Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera

### I pali "DISCREPILES"

La filosofia dell'utensile costipatore si basa sul concetto di un rullo eccentrico che ruota sulle pareti del foro, spostando e compattando il terreno sui lati con una minima forza di attrito.

La forma del foro è piuttosto regolare.



## Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera



I pali "DISCREPILES"

Esempi di utensili costipatori



## Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera

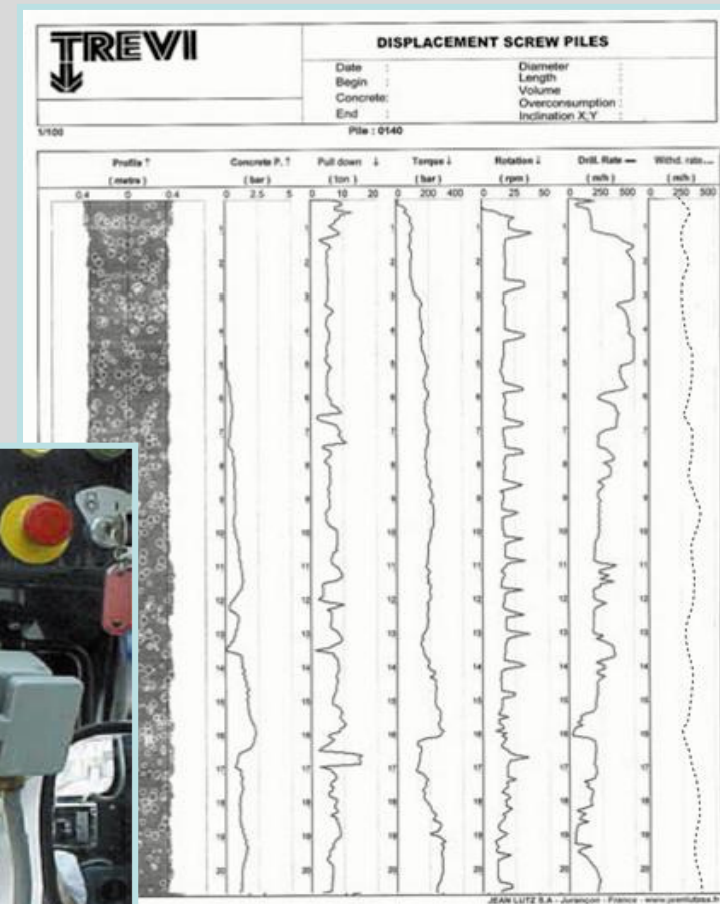
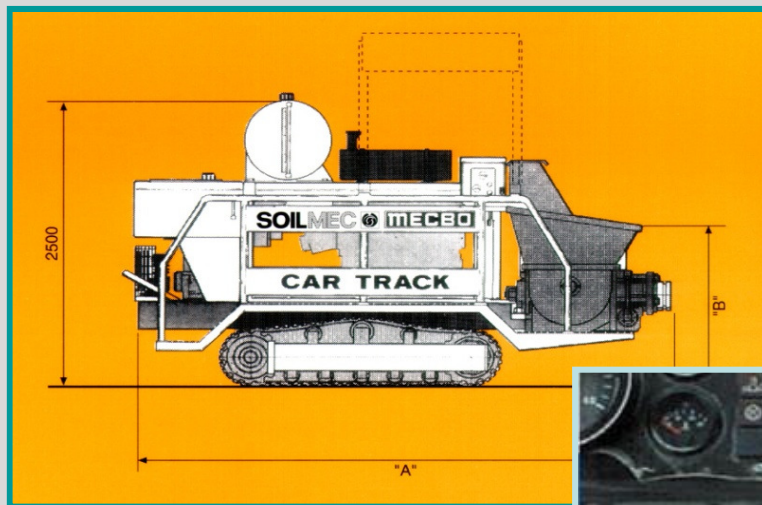
Le attrezzature impiegate per la realizzazione dei "DISCREPILES" sono:

- ❖ Una attrezzatura da pali di grande diametro (coppia maggiore di 20.000 kgm, "pull-down" maggiore di 30 t).
- ❖ Una batteria di perforazione formata da aste cave e un utensile costipatore; uno speciale tappo metallico viene posizionato al di sotto dell'ultima asta cava per occludere il condotto in fase di scavo. La punta viene espulsa raggiunta la profondità di progetto, permettendo l'uscita del calcestruzzo.



## Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera

- ❖ Una pompa da calcestruzzo.
- ❖ Un sistema di controllo e registrazione automatica di tutti i parametri operativi in fase di perforazione (profondità, coppia e spinta) e risalita controllata (velocità di rotazione, ed estrazione, pressione e volume del calcestruzzo pompato).



## Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera

I principali **vantaggi** di questa tecnologia sono:

- Elevate velocità di perforazione e tempi di getto e di spostamento ridotti (piano di lavoro molto pulito per assenza di materiale di risulta) consentono elevate produzioni.
- La tecnica "DISCREPILES" genera una compattazione del terreno nell'area circostante il palo. Si ottengono, come per i pali battuti, significativi miglioramenti delle caratteristiche meccaniche del terreno al suo contorno e, di conseguenza, capacità portanti del palo per attrito laterale maggiori rispetto al classico palo trivellato ed al palo ad elica continua.
- I diametri massimi eseguibili per tale tecnologia di palo sono fortemente dipendenti dal valore della coppia torcente disponibile e dalla possibilità di disporre di una spinta sufficiente sulla rotary (pull-down):

## Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera

- ❑ Il metodo di installazione è esente da vibrazioni e forze impulsive di impatto (tipiche dei pali battuti) e, di conseguenza, può essere utilizzato anche in adiacenza a strutture o edifici.
- ❑ Spostando e ricompattando il terreno durante le fasi di installazione del palo, viene prodotto un limitatissimo quantitativo di materiale di risulta. Il piano di lavoro si mantiene sempre pulito e si limita il trasporto di terreno a discarica; la tecnologia risulta, pertanto, estremamente competitiva in aree contaminate.
- ❑ Rispetto ai pali ad elica continua con estrazione di materiale (CFA) si è notato che:
  - si riduce notevolmente il sovraconsumo di calcestruzzo durante le fasi di getto del palo.
  - vi è assenza dei fenomeni di sovra-scavo ("over-augering") che nel palo CFA può verificarsi in particolari condizioni, determinando a fine palificata, se non rilevato, il decadimento delle caratteristiche geo-meccaniche del terreno in prossimità dei pali stessi.

## Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera

i principali **svantaggi** di questa tecnologia sono:

- ❑ Risulta di più difficile controllo la verticalità del palo sia per effetto della rotazione dell'utensile durante la perforazione sia per la mancanza di vincoli efficaci sull'asta che penetra nel terreno.
- ❑ La tecnica "DISCREPILES" genera nel terreno nell'area circostante il palo delle sovrappressioni che possono generare spiacevoli effetti sui pali limitrofi o possibili sollevamenti del terreno. Tali sovrappressioni risultano particolarmente evidenti nei terreni argillosi mentre per le sabbie il fenomeno si dissipa velocemente.
- ❑ Basso costo per tonnellata di carico sopportabile dal palo, funzione di un aumento di capacità portante dovuto all'effetto di costipamento e miglioramento delle caratteristiche del terreno (generalmente si può stimare una capacità portante pari all'80% di quella di un palo battuto di eguale caratteristiche).

## Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera

Tutte le tipologie di terreni comprimibili (dalle argille alle sabbie) sono adatte all'esecuzione di "DISCREPILES" cilindrici (CDSP).

In terreni che presentano scarse caratteristiche meccaniche, risulta particolarmente indicata la realizzazione di "DISCREPILES" a vite (SDSP); l'utensile trova scarsa resistenza all'avanzamento ed è in grado penetrare più facilmente nel terreno, realizzando quindi un profilo irregolare e consentendo un aumento di aderenza sulla superficie laterale del palo.

I diametri e le profondità raggiungibili sono:

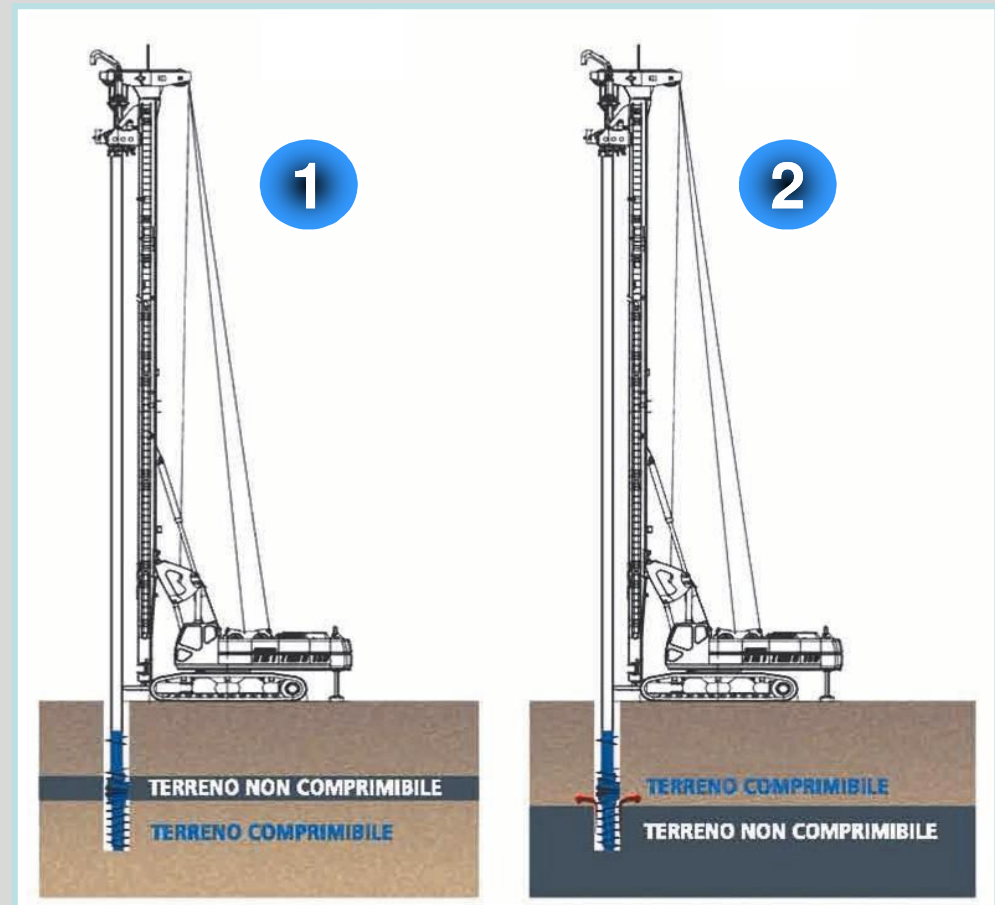
TIPO DI PALO	DIAMETRI (mm)	LUNGH. (m)
CDP	310 - 610	25 - 30
SDP	360/510 610/750	25 - 30



## Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera

Questo tipo di palo può essere anche utilizzato in terreni non comprimibili, quali terreni incoerenti molto addensati, terreni coesivi molto duri e sovraconsolidati, rocce fratturate e/o alterate. In presenza di queste particolari condizioni lito-stratigrafiche il sistema è applicabile se:

1. lo spessore dello strato di terreno non comprimibile è limitato
2. il terreno posto al di sopra del livello compatto è comprimibile; in questo caso il materiale scavato realizzando l'incastro della base del palo viene trasportato dalla particolare forma dello utensile nello strato sovrastante e qui costipato.



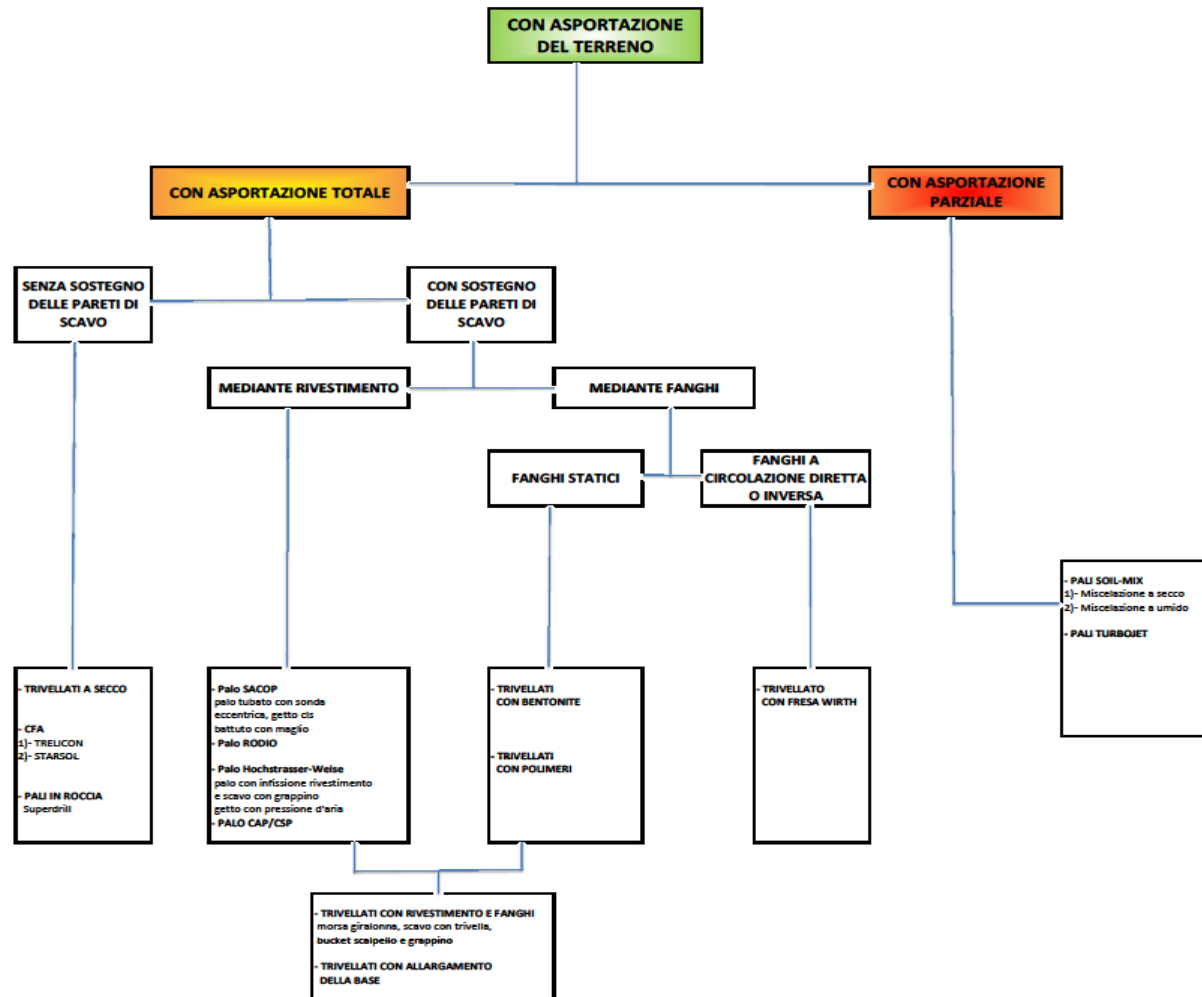
## Tecniche di perforazione pali costipati gettati in opera

Tutti i terreni le cui caratteristiche meccaniche sono tali da poter essere deformati dall'azione dell'utensile "discrepile" sono adatti all'esecuzione di questa tipologia di pali.

In sintesi:

- ❖ terreni coesivi (argille, argille limose, limi argillosi):  
di consistenza da molto soffice a compatta ( $C_u < 100-120$  kPa)
- ❖ terreni incoerenti (limi, sabbie limose, sabbie, ghiaie)  
sciolti o mediamente addensati ( $D_r < 65$  %)

# Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno



# Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno



## **Pali con sistema DTH**

in terreni rocciosi e per particolari lavorazioni il palo può essere scavato con l'ausilio di un martello fondo foro ad aria compressa con diametri da 300 a 800 mm.



# Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno

## Pali con sistema DTH

Terminato lo scavo e ripulito il foro dai detriti si installa l'armatura e si procede con il getto di calcestruzzo.



## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno

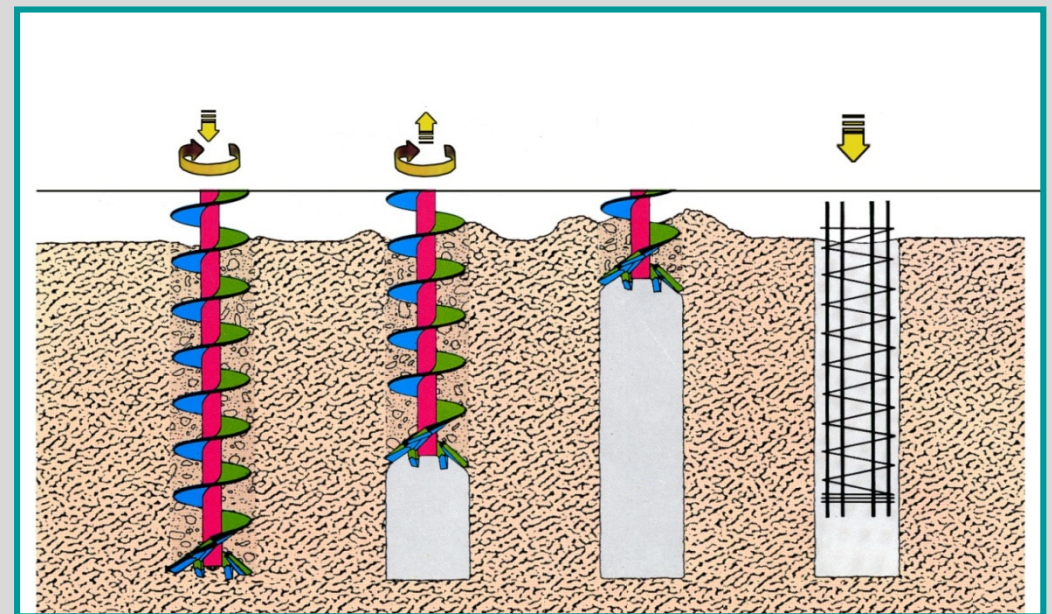
**Il palo CFA** (*Continuous Flight Auger*) viene realizzato con parziale rimozione del terreno senza fanghi bentonitici e, quindi, con una parziale compressione laterale che incrementa la capacità portante del palo stesso.

Le fasi esecutive prevedono lo scavo del palo infiggendo un elica continua assemblata su un tubo centrale cavo.

Al termine delle fasi di scavo, l'elica viene estratta mentre il calcestruzzo viene gettato dall'interno dell'elica stessa.

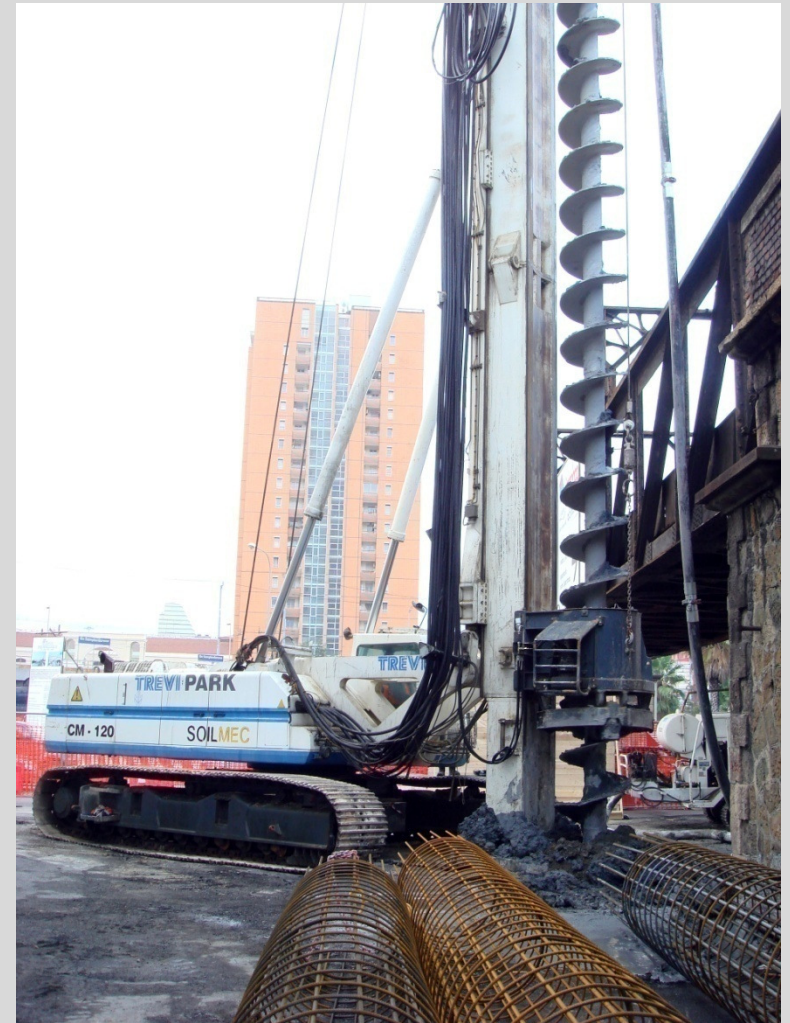
La gabbia di armatura viene quindi inserita nel calcestruzzo ancora fresco.

Con le moderne attrezzature si possono realizzare pali CFA con diametro variabile tra 400 e i 1200 mm e profondità massime di circa 36 m.



# Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno

Durante la fase di estrazione e getto, l'elica viene lentamente ruotata nello stesso senso della perforazione, mentre il terreno sulle spirali viene rimosso da un apposito dispositivo "pulitore".

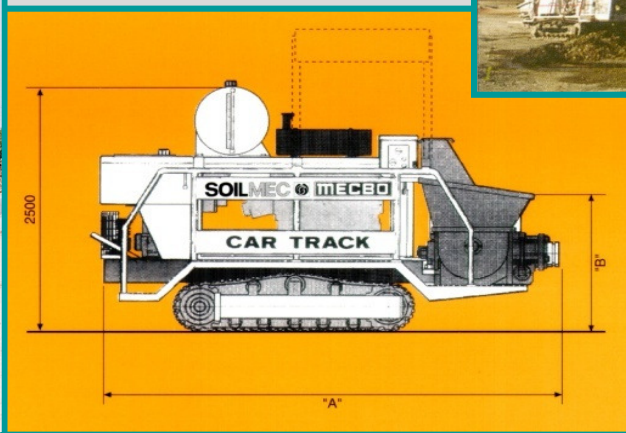


## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno

Per il palo CFA il calcestruzzo viene pompato in pressione (2-4 bar) utilizzando una pompa a pistoni. Il calcestruzzo generalmente impiegato è caratterizzato da:

- quantitativi medio-alti di parti fini (cemento, filler)
- classi di consistenza superfluide (S5 o SCC)
- diametro massimo degli inerti inferiore a 20 mm

Una volta terminata la fase di getto, la gabbia di armatura viene inserita nel calcestruzzo ancora fresco tramite il peso proprio o con l'aiuto di un piccolo vibratore elettrico.



## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno

il tappo viene posizionato al fondo dell'elica per evitare che il terreno entri all'interno del tubo cavo durante la fase di perforazione o può essere incernierato lateralmente sul terminale della punta. Il tappo viene espulso dalla pressione del calcestruzzo ad inizio getto.



## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno

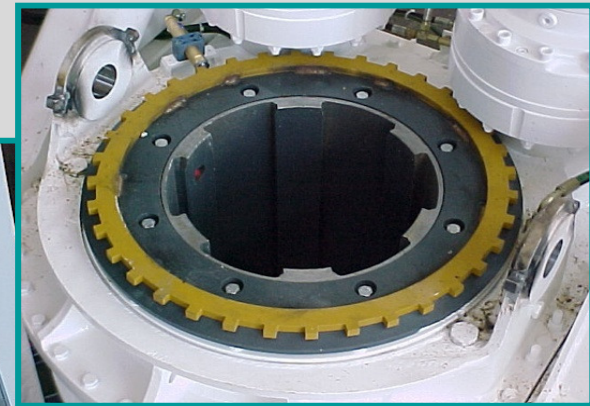
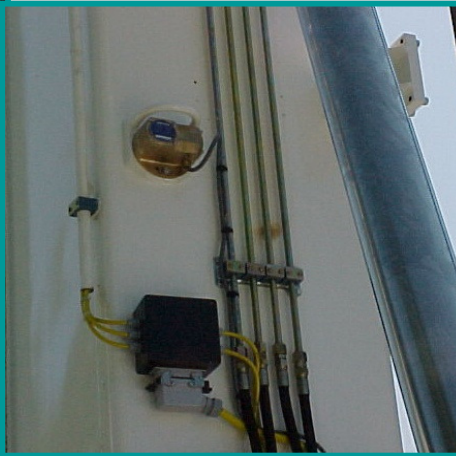
In casi particolari, quando è necessario raggiungere profondità superiori ai 30 m, si può far uso di uno speciale caricatore idraulico che consente di inserire un'elica aggiuntiva per ottenere profondità massime di 37 m con diam 800 mm. Tale applicazione è utilizzabile solo con la SOILMEC CM120



# Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno

## STRUMENTAZIONE

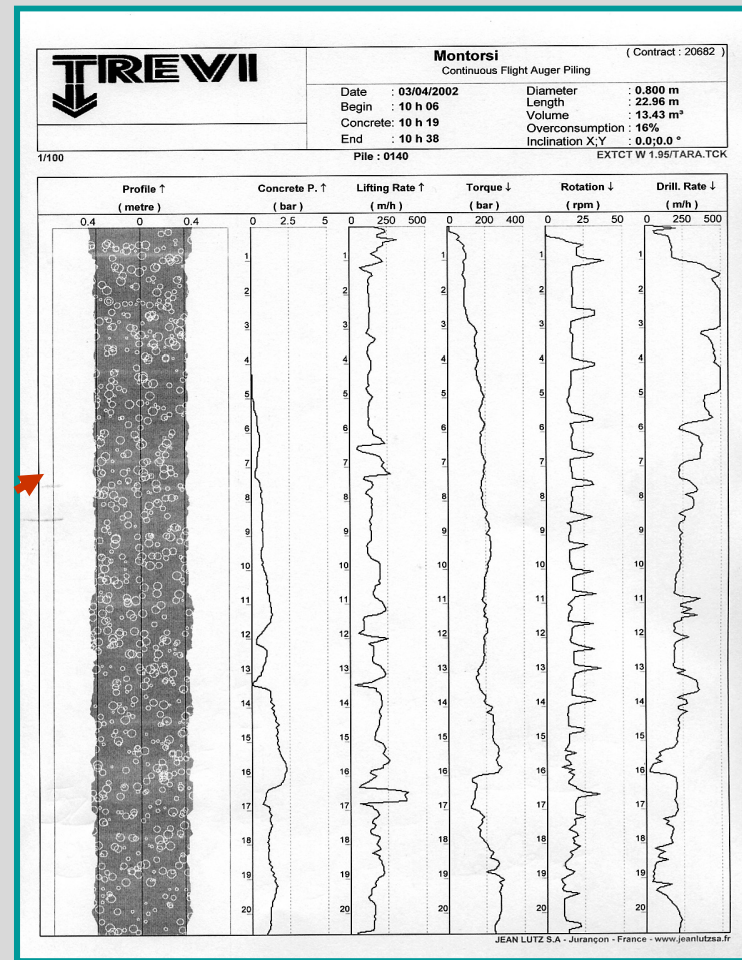
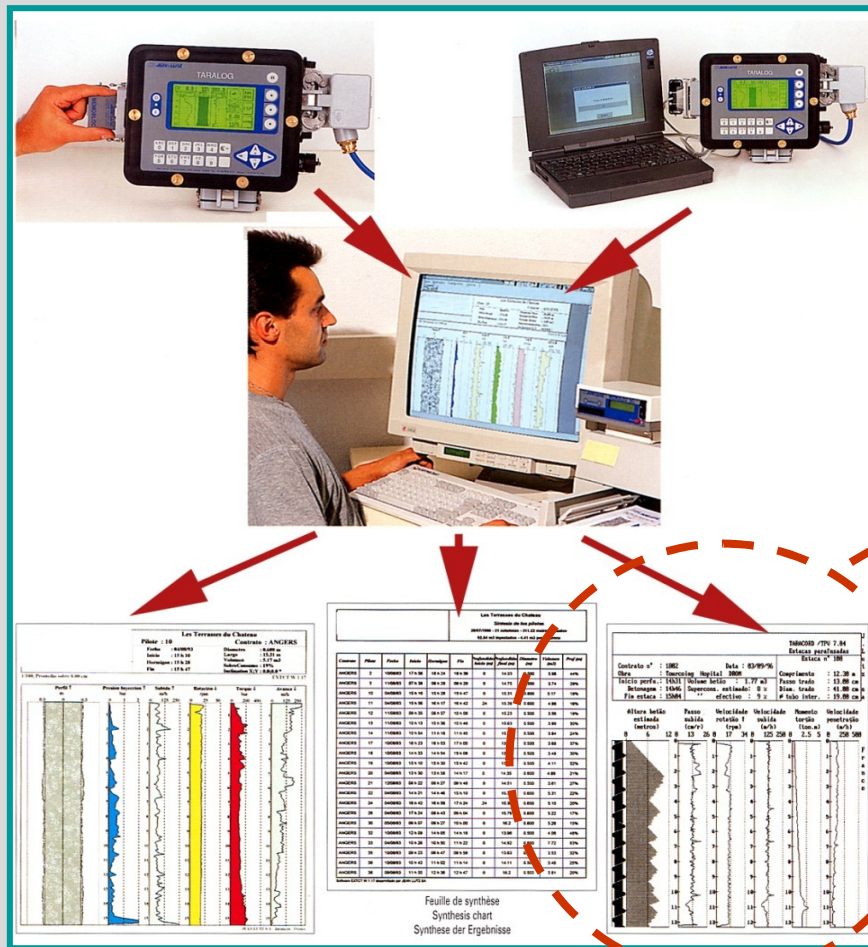
Le attrezzature per eseguire i pali ad elica continua sono generalmente dotate di una strumentazione in grado di registrare e monitorare i parametri esecutivi del palo stesso. Vengono quindi installati sensori per il controllo della verticalità dell'antenna, per la misura della profondità e della velocità d'avanzamento e di risalita e di rotazione dell'elica. Inoltre, vengono controllati anche i parametri di getto del palo (pressioni e volumi).



# Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno

## STRUMENTAZIONE

La strumentazione viene collegata con un PC per la restituzione dati.



# I pali ad elica continua

## *Case History*

L'impiego dei pali trivellati ad elica continua nei cantieri della  
**LINEA ALTA VELOCITA' - BOLOGNA – MILANO**

La particolare disposizione della linea alta velocità, viaggiando a lato della linea ferroviaria già esistente ed adagiandosi sui terreni alluvionali della Pianura Padana con rilevati di notevole lunghezza e con altezze che arrivano oltre i 6-7 m, ha reso necessario la predisposizione di una fondazione del rilevato.

La fondazione, permettendo il trasferimento dei carichi, ha consentito la messa in opera in tempi brevi dei rilevati stessi, evitando le lunghe attese che si sarebbero dovute sostenere pensando di utilizzare dreni verticali prefabbricati.

Il palo ad elica continua ha trovato quindi una particolare funzione strutturale, ottenendo con successo un impiego estensivo e collaudato.

La stratigrafia presenta alternanze di limi ed argille da mediamente a molto compatte per profondità di almeno 60 metri, caratterizzati dai seguenti parametri:

✚	$g_n$ : 19	KN/m <sup>3</sup>
✚	$q_c$ : 850 - 1700	KPa
✚	$C_u$ : 50-100	KPa
✚	$c'$ : 5 - 10	KPa
✚	$f'$ : 25	

# I pali ad elica continua

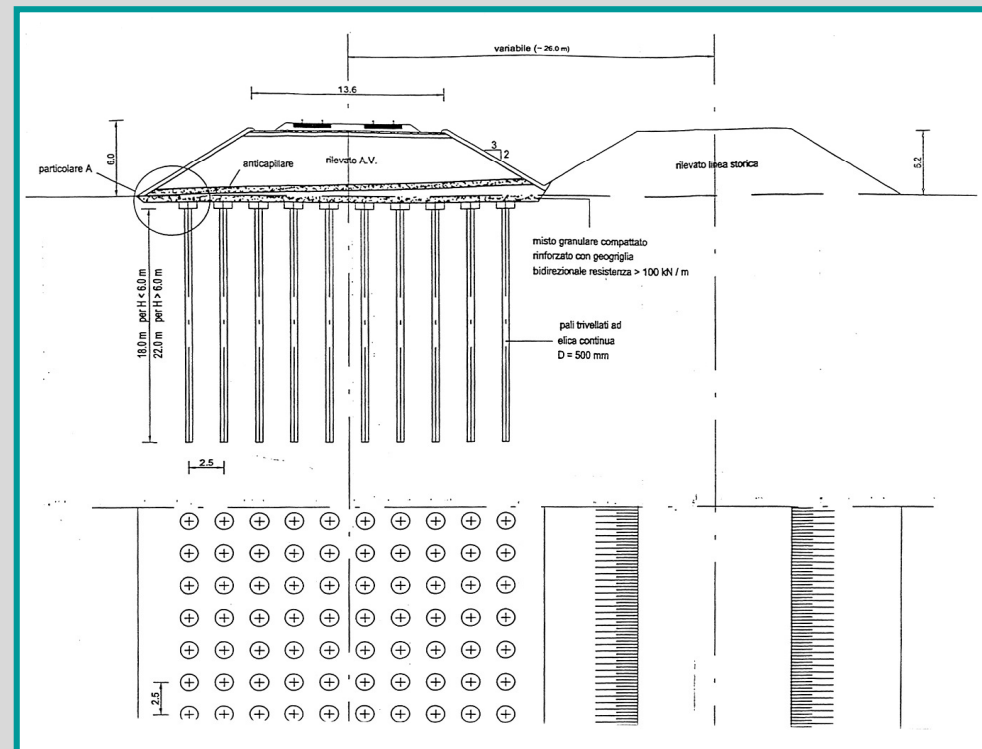
## *Case History*

In una prima fase, la scelta progettuale è stata quella di adottare pali ad elica continua con maglia quadrata di 2,80 x 2,80 m solo per quei rilevati aventi altezze superiori ai 5 m circa.

Mentre, per tutti i rilevati di altezza inferiore, restava valida la scelta dei dreni a nastro associata al pre-carico del rilevato per ottenere il consolidamento del terreno.

Successivamente si è optato per la sostituzione praticamente integrale dei dreni a nastro con pali ad elica continua, consentendo in tal modo una accelerazione dei tempi complessivi di realizzazione dell'opera.

La scelta più onerosa dei pali ad elica continua ha consentito un risparmio generale sull'economia dell'opera, rispetto alla scelta sicuramente meno onerosa dei dreni a nastro.

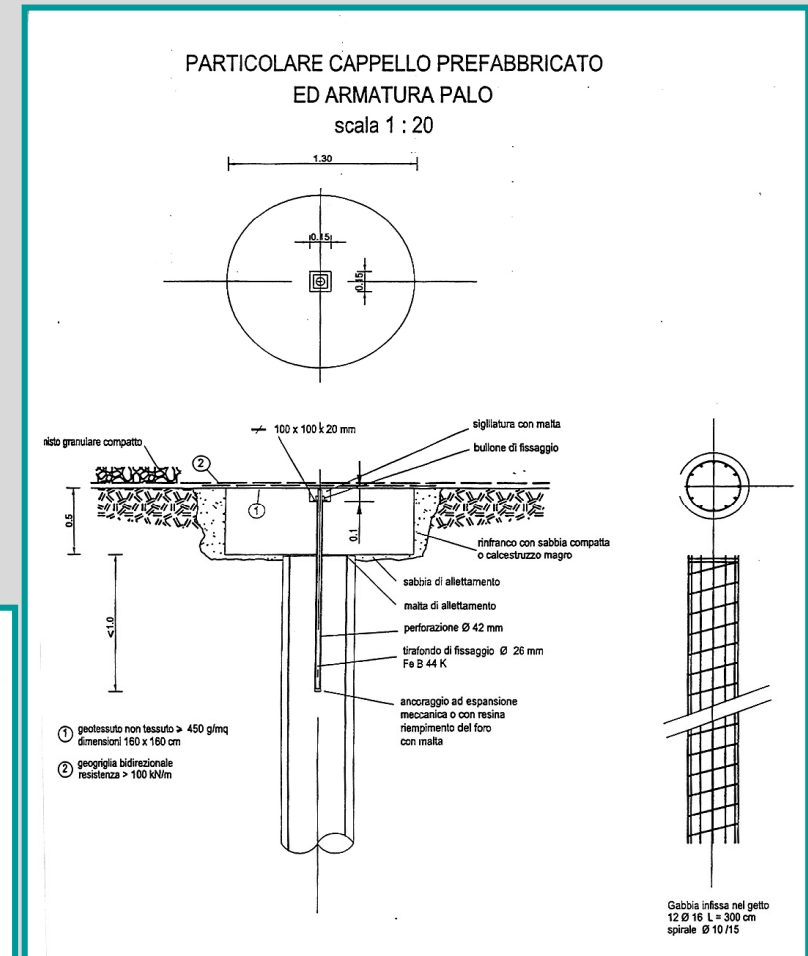
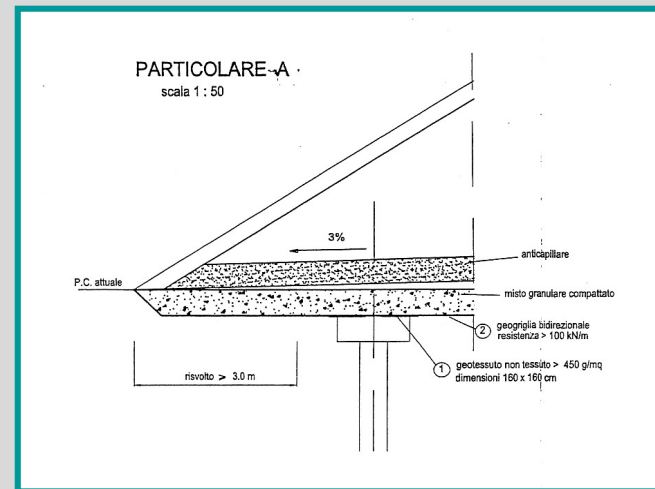


# I pali ad elica continua

Per queste opere di consolidamento sono stati utilizzati pali non armati aventi diametro pari a 500 mm. Le profondità, variabili da 8 a 30 m, sono state determinate sia in funzione delle caratteristiche dei terreni di base sia in funzione dell'altezza del rilevato.

Il collegamento fra i pali e il rilevato sovrastante è stato realizzato mediante l'inserimento di un dado rettangolare o circolare fra la testa del palo e la base del rilevato.

## Case History



# I pali ad elica continua

## *Case History*



Cantiere TAV  
PALI CFA



Cantiere TAV  
CAPPELLOTTI SU  
PALI CFA

## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con tubo di rivestimento

Il sistema **CAP** ("cased auger piles") è stato sviluppato come evoluzione del CFA per l'esecuzione di pali con rivestimento recuperabile, trova applicazione in modo particolare per l'esecuzione di pali in terreni difficili o dove è richiesto l'incastro in roccia. Altra applicazione è quella per l'esecuzione di pali secanti per la realizzazione di diaframmi in c.a. a tenuta stagna (pali CSP).

Il sistema si compone di due rotary sovrapposte che ruotano l'una in senso contrario all'altra, fra le due rotary si interpone il pulitore che asporta il detrito dalle spire dell'elica. L'intubatore dispone poi di un sistema pull-down per agevolare l'avanzamento del tubo di rivestimento nel terreno.

Il getto del calcestruzzo e la messa in opera della gabbia vengono eseguiti con le stesse modalità dei pali CFA.



## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con tubo di rivestimento



Il palo CAP solitamente viene eseguito con diametri 615, 765 e 920 mm con profondità massima di 18-21 m.

Particolare attenzione bisogna porre nella scelta delle corone e delle punte a seconda del tipo di roccia da attraversare e della sua durezza .



Corona impiegata nelle trachiti di Portoscuso consumo medio 1,25 dente/metro



Corona con denti per terreni non abrasivi



Corona con denti Boart RM8 utilizzata nel cantiere Fiera di Genova in rocce calcaree aventi resistenze a rottura da 200 a 800 kg/cm<sup>2</sup>  
Nella tabella sottostante sono riportati i risultati ottenuti con questo tipo di corona.

CORONA	PALI ESEGUITI	AVANZAMENTO	AVANZAMENTO IN ROCCIA	TEMPO TOTALE IN ROCCIA	RESA IN ROCCIA
N°	N°	ML	ML.	H	ML/H
2	22	278,56	39,01	17:43	2,24
3	51	668,66	90,56	25:07	2,58
4	63	885,60	136,75	54:13	2,63
5	61	745,71	109,11	60:02	1,82

## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con tubo di rivestimento

Le caratteristiche ed i vantaggi principali della tecnologia **CAP** sono:

- ➔ Alto grado di verticalità di perforazione, derivante dall'utilizzo del rivestimento. La deviazione dalla verticale risulta minore dell' 1% - 1.5%
- ➔ Capacità di attraversamento di solette in calcestruzzo debolmente armato.
- ➔ Minimizzazione dell'installazione di impianto cantiere
- ➔ Possibilità di operare in spazi ristretti



## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con tubo di rivestimento

Inoltre, la tecnologia **CAP** permette la realizzazione di pali senza l'utilizzo di fanghi bentonitici in ogni condizione di terreno, anche in presenza di falda.

Vengono quindi eliminati i problemi connessi all'impiego di fanghi.

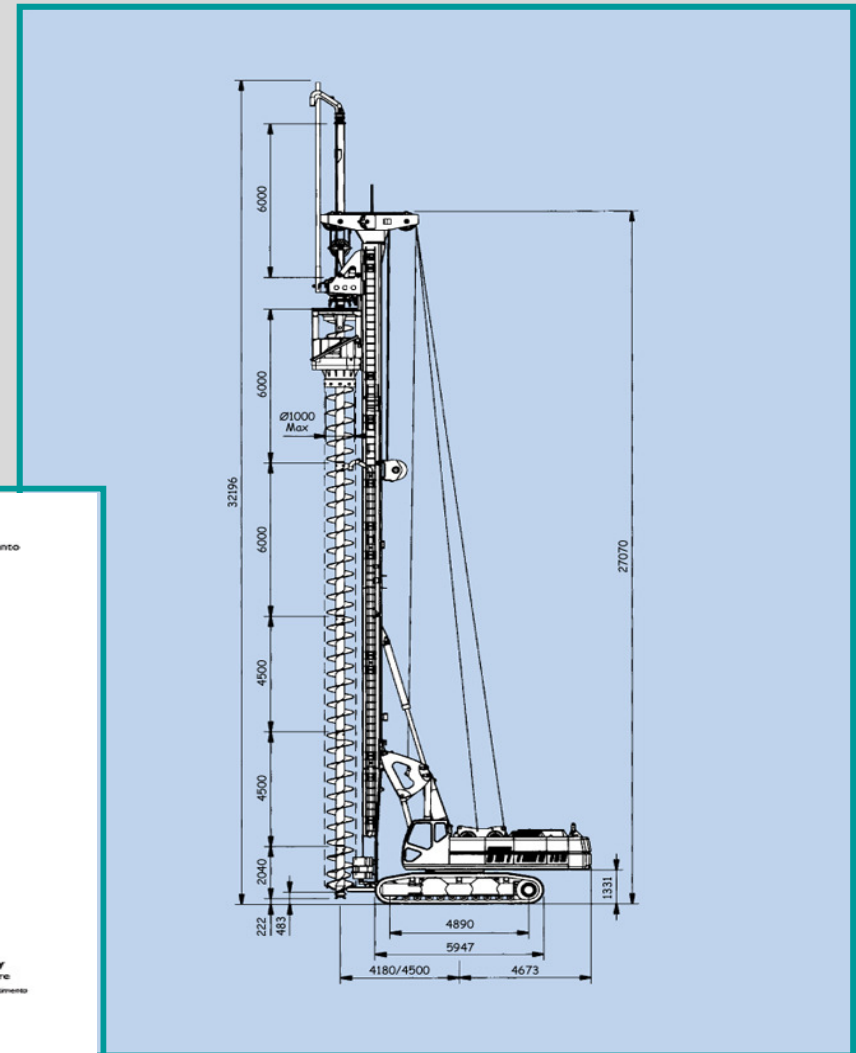
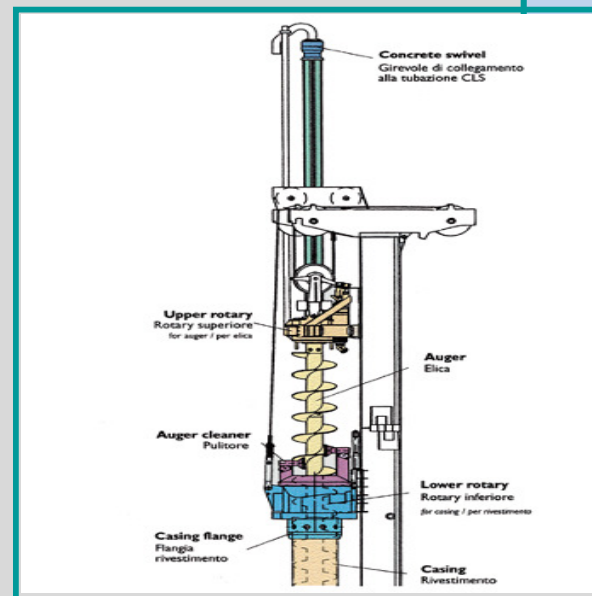
- ➔ Installazione impianto di produzione/stoccaggio e processo di dissabbiamento di fanghi bentonitici in molti casi non accettabile per problemi di spazi ristretti in aree urbane
- ➔ Operazioni di pulizia in cantiere
- ➔ Trasporto del materiale di scavo (inquinato da fanghi bentonitici) in discariche controllate
- ➔ Transito di camion carichi con terreno inquinato da fanghi bentonitici



# Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con tubo di rivestimento

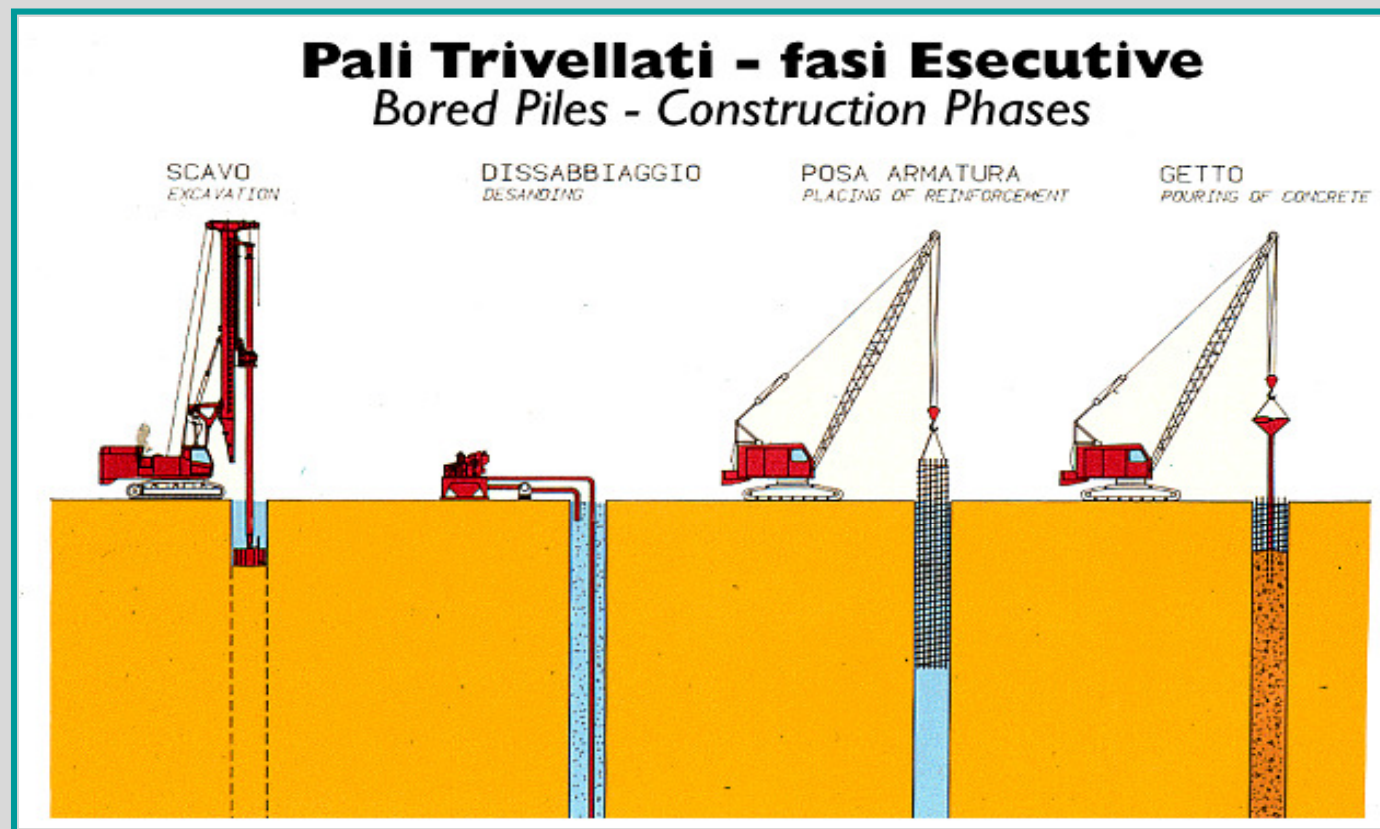
## Attrezzatura C.A.P.

- ➔ Perforatrice Idraulica dotata di due tavole "rotary" indipendenti
- ➔ Aste ad elica poste all'interno di un "casing" (rivestimento)
- ➔ Pulitore delle aste
- ➔ Pompa per getto del calcestruzzo



## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di fanghi

La tecnica dei pali trivellati rappresenta la più utilizzata e diffusa al mondo, nasce all'inizio del secolo scorso con l'introduzione di nuove macchine più potenti e dell'uso dei fanghi bentonitici che permettono di realizzare pali in ogni tipo di terreno per diametri sino a 3 m e profondità sino a 100 m.

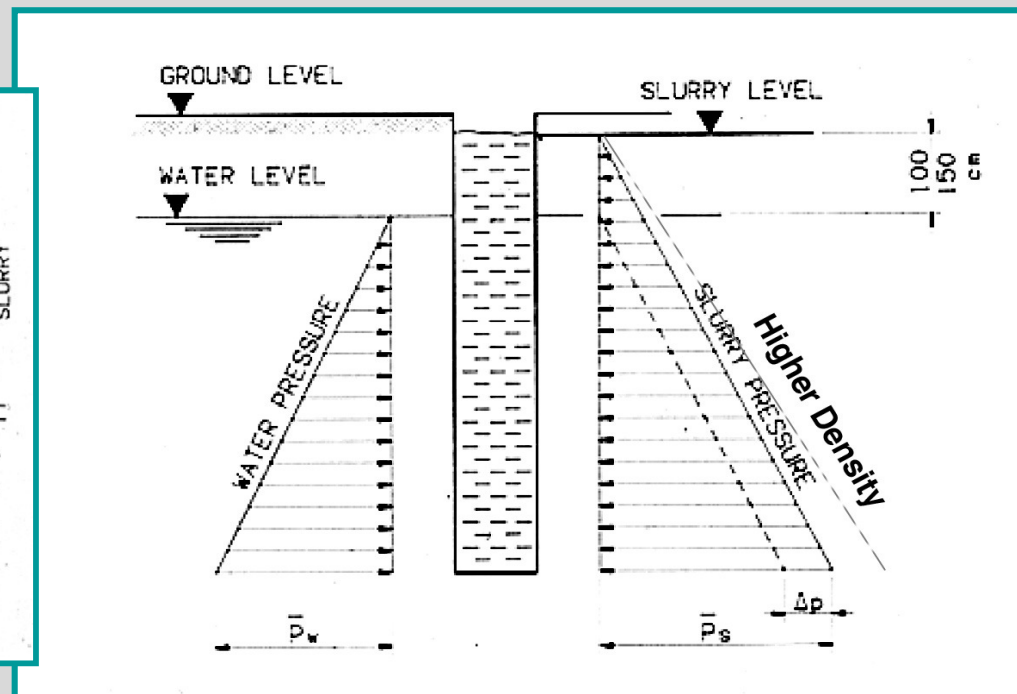
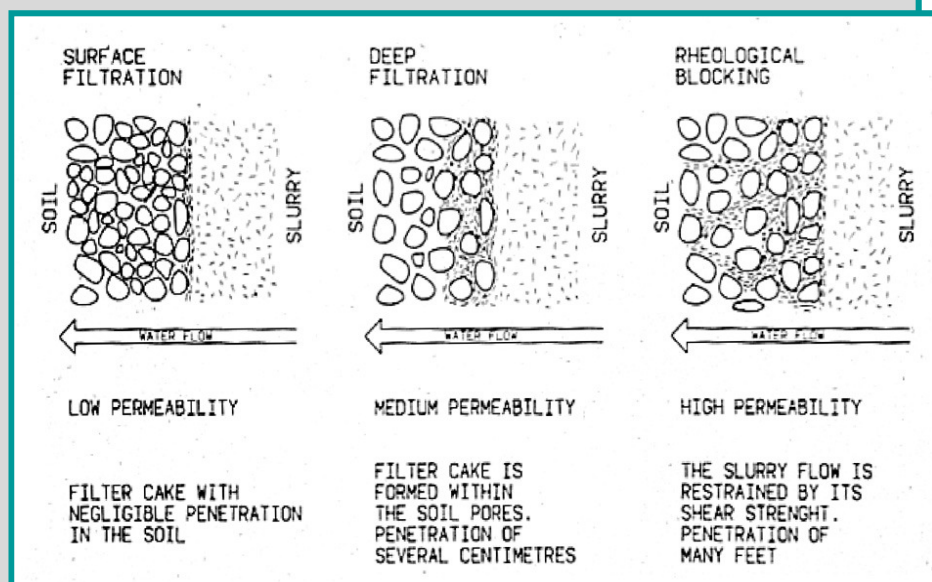


La sequenza operativa prevede l'asportazione del terreno mediante appositi utensili, generalmente in presenza di un fango bentonitico o polimerico, il dissabbiamento del fango di perforazione, l'inserimento della gabbia di armatura e quindi il getto di calcestruzzo dal basso verso l'alto tramite il metodo cosiddetto "Contractor".

## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di fanghi

Nei pali trivellati il fango Bentonitico viene utilizzato per sostenere le pareti di scavo sino alla fase di getto del calcestruzzo.

Grazie alle proprietà tixotropiche del fluido bentonitico ed al maggior livello rispetto al livello di falda il fango penetra nel terreno e forma una "pellicola" millimetrica o centimetrica (a seconda del grado di permeabilità del terreno) sulle pareti di scavo, bloccando la perdita di fluido e garantendo la stabilità dello scavo.



## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di fanghi

Il fango bentonitico deve essere gestito in appositi impianti.

Ove possibile e per progetti di notevole dimensione, le vasche possono essere realizzate mediante scavo del terreno ed impermeabilizzazione del fondo con calcestruzzo.

Devono sempre realizzarsi 3 vasche.

- La prima per la produzione del fango bentonitico fresco (*24 ore di maturazione sono necessarie per completare l'idratazione*)
- La seconda per lo stoccaggio del fango da inviare al palo in fase di scavo
- La terza per il riciclaggio del fango proveniente dallo scavo



Le vasche sono equipaggiate con pompe sommerse per mantenere il fango in agitazione.

In aree ristrette vasche metalliche o in PVC possono sostituire le vasche in calcestruzzo.


## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di fanghi

Per la produzione del fango bentonitico, sono generalmente utilizzati impianti di tipo automatico a ciclo continuo.

L'intero impianto è assemblato all'interno di un container da 20" e due silos per la bentonite vengono montati sopra il container.

Il confezionamento del fango polimerico risulta in genere molto più semplice e, in alcuni casi, può avvenire direttamente a "bocca foro".

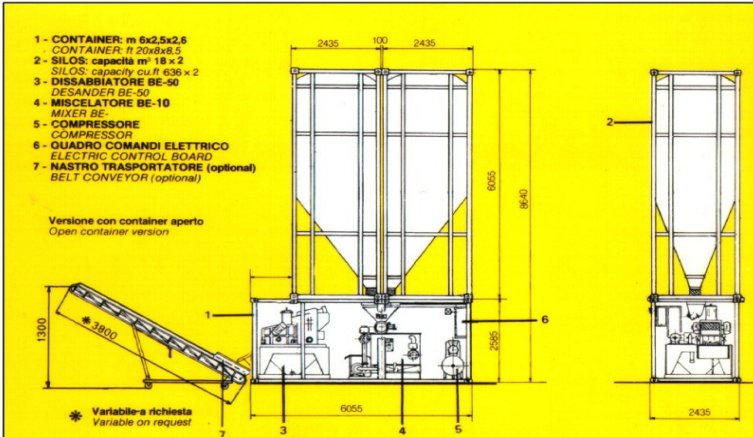
VERSIONE CON CONTAINER CHIUSO  
CLOSED CONTAINER VERSION



**BE-12/50**

- 1 - CONTAINER: m 6x2,5x2,6  
CONTAINER: ft 20x8x8,5
- 2 - SILOS: capacità m<sup>3</sup> 18 x 2  
SILOS: capacity cu.ft 636 x 2
- 3 - DISSABBIATORE BE-50  
DESANDER BE-50
- 4 - MISCELATORE BE-10  
MIXER BE-
- 5 - COMPRESSORE  
COMPRESSOR
- 6 - QUADRO COMANDI ELETTRICO  
ELECTRIC CONTROL BOARD
- 7 - NASTRO TRASPORTATORE (optional)  
BELT CONVEYOR (optional)

Versione con container aperto  
Open container version



\* Variabile a richiesta  
Variable on request

Capacità ammissibile di trattamento	m <sup>3</sup> /h	50	
Feeding capacity	cu.ft/h	1766	
Resa fanghi disabbatiati	m <sup>3</sup> /h	12,5-37,5	
Desanded mud output	cu.ft/h	442-1325	
Produzione oraria miscelatore	m <sup>3</sup>	12	
Mixer hour production rate	cu.ft	424	
Compressore	Portata	l/min	
	Compressor	Delivery	U.S.G.p.m.
	Pressione	Bar	8
		p.s.i.	115
Capacità silo	m <sup>3</sup>	18 x 2	
Silo capacity	cu.ft	636 x 2	
Peso silo	Kg	2070 x 2	
Silo weight	lb	4570 x 2	
Peso totale	Kg	9200	
Total weight	lb	20300	

## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di fanghi

kg di bentonite per mc di fango	% bentonite	densità kg/dm <sup>3</sup>	viscosità	
			sec	cps
0	0	1,000	27	1,0
20	2	1,010	28	1,1
30	3	1,020	30	2,2
40	4	1,025	35	3,7
50	5	1,035	40	6,6
60	6	1,035	40	12,0
70	7	1,040	45	19,0
80	8	1,045	55	35,0
90	9	1,070	60	68,0
100	10	1,075	70	92,0

Nelle tabelle qui riportate sono indicati i valori dei pesi e delle viscosità del fango bentonitico in funzione della percentuale di bentonite impiegata.

Si riporta poi il quantitativo di barite necessaria per aumentare il peso specifico del fango.

densità iniziale kg/dm <sup>3</sup>	densità desiderata in kg/dm <sup>3</sup>									
	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6
	viscosità necessaria in secondi									
	38	40	40	45	50	50	55	55	60	70
barite da aggiungere: kg per m <sup>3</sup> di fango										
1,05	139	210	290	360	430	530	610	690	785	890
1,07	90	170	252	341	373	490	570	655	740	845
1,10	65	139	218	286	364	445	598	614	703	796

## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di fanghi

Speciali unità di dissabbiamento sono utilizzate per separare la parte sabbiosa, limosa e i grani di maggior dimensione (ghiaia) contenuti nel fango al termine della fase di perforazione. Vagli vibranti (vibro-vagli) e separatori centrifughi (idro-cycloni) sono impiegati per separare particelle con dimensioni dei grani fino a 0,1 mm.

La capacità di dissabbiamento degli impianti varia da 50 e 200 m<sup>3</sup>/ora.



## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di fanghi

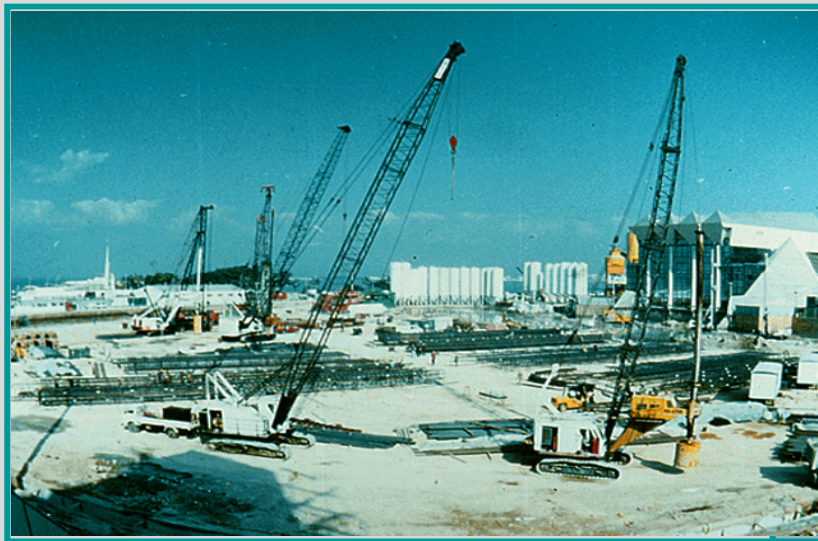
Le attrezzature per lo scavo di pali trivellati possono suddividersi in:

- ATTREZZATURE MONTATE SU GRU
- ATTREZZATURE AUTO-MONTANTI



## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di fanghi

Nei pali trivellati le tavole "rotary" possono essere montate su gru standard (40-80 t) come illustrato nelle foto seguenti.



## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di fanghi

Le attrezzature auto-montanti sono macchine idrauliche composte da un carro base, una antenna e una "rotary" idraulica

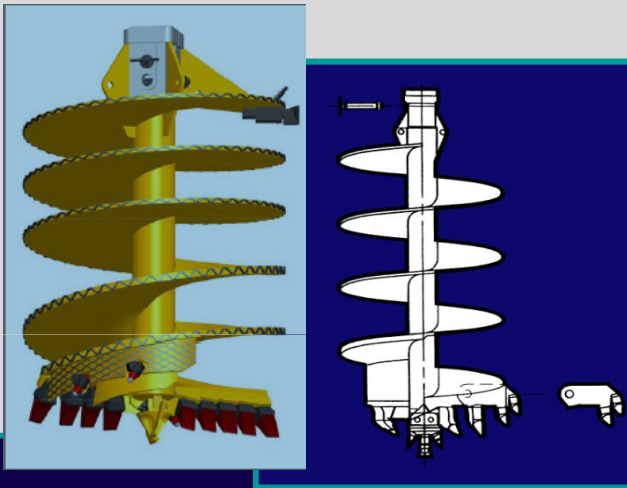
Esse hanno rappresentato una svolta epocale nelle operazioni di perforazione.



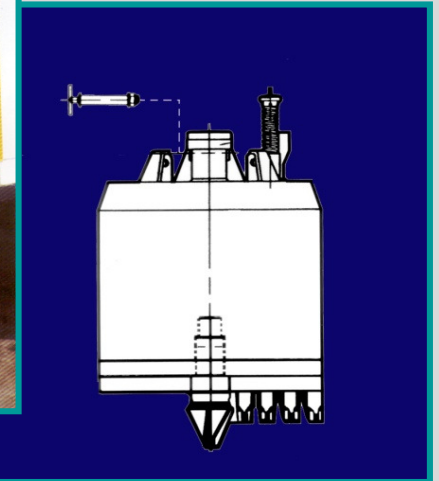
## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di fanghi

Lo scavo del terreno è eseguito utilizzando utensili diversi a seconda della natura del materiale da attraversare ("bucket", trivella, carotiere ecc.), connessi ad un "kelly bar" telescopico movimentato dalla tavola "rotary".

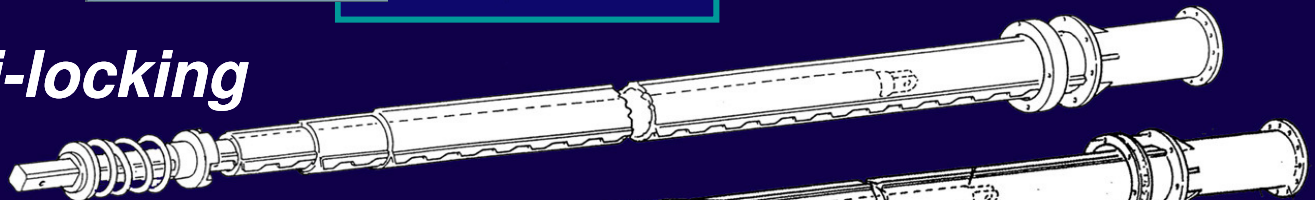
**Trivella**



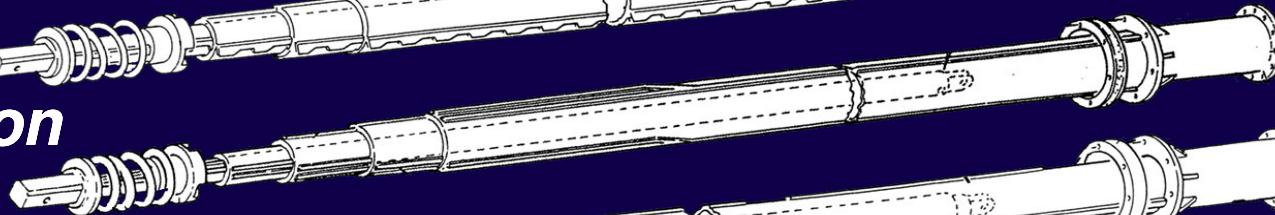
**"Bucket"**



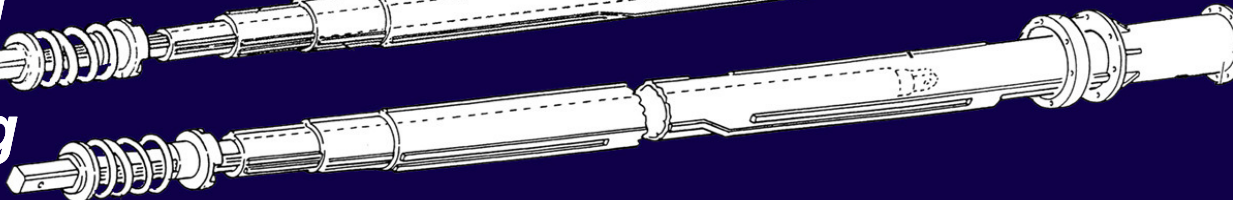
**Multi-locking**



**Friction**



**Locking**

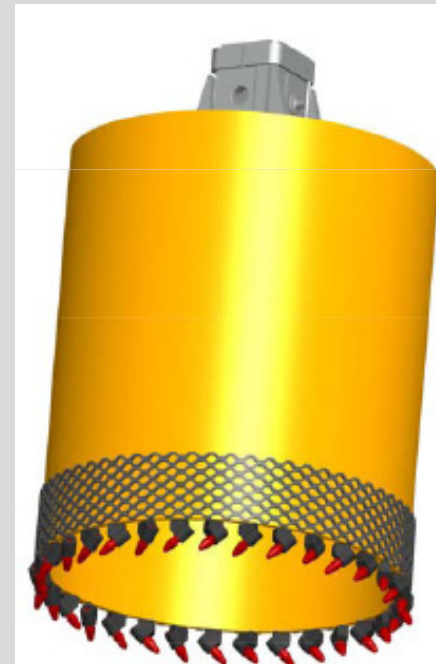


## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di fanghi



Esistono utensili speciali di scavo per pali trivellati:

- bucket a farfalla
- bucket allargatore
- carotiere

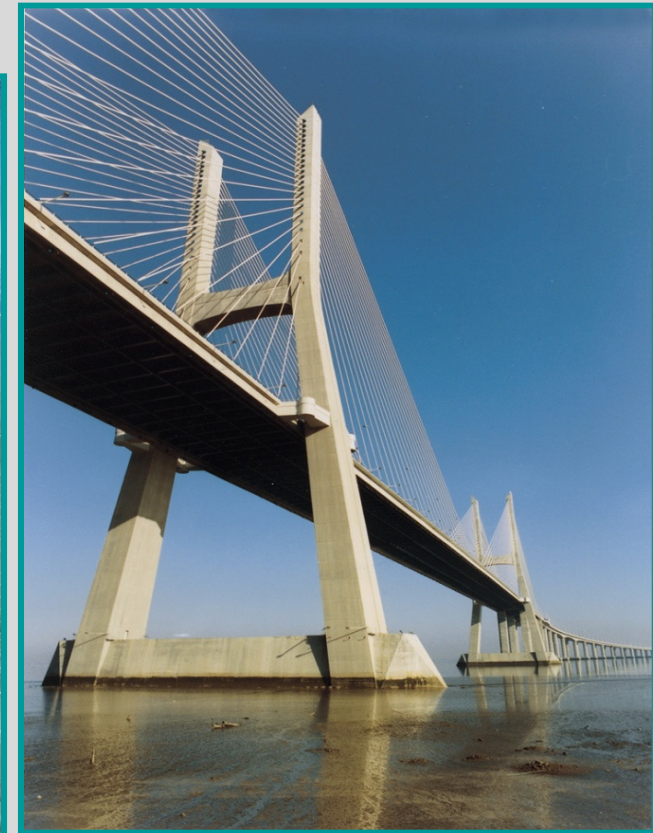


## I pali trivellati

## *Case History*

Un recente lavoro della Trevi nel settore dei pali trivellati è la realizzazione delle fondazioni per il ponte **Vasco da Gama** a Lisbona, Portogallo.

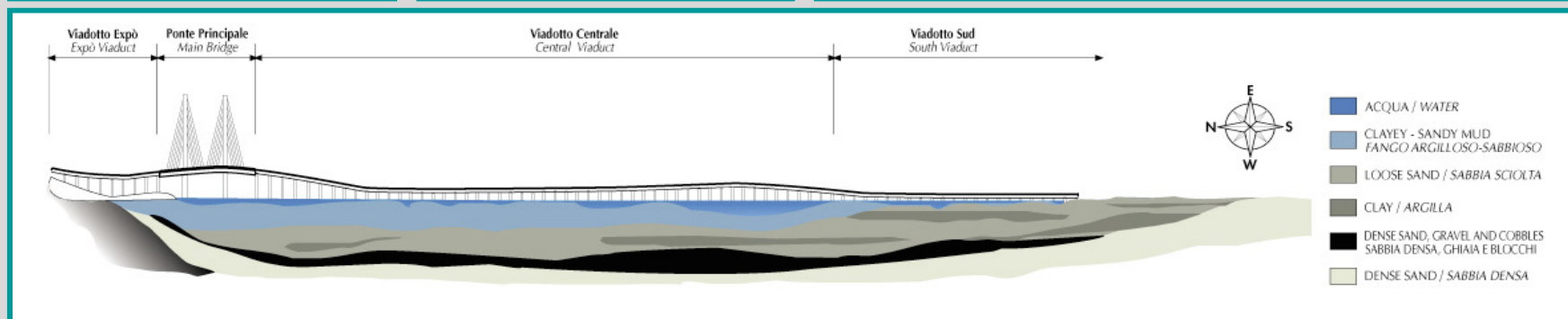
Il contratto, di importo totale pari a 52 milioni di US\$, prevedeva la costruzione di **n 148 pali trivellati di diametro pari a 2,2 metri** per profondità variabili da **55 a 73 metri**.



# I pali trivellati

## Case History

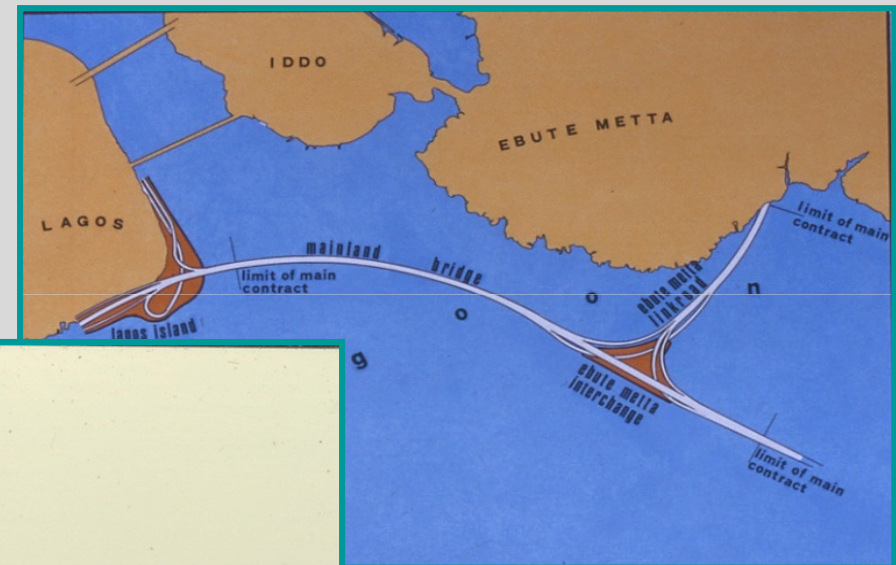
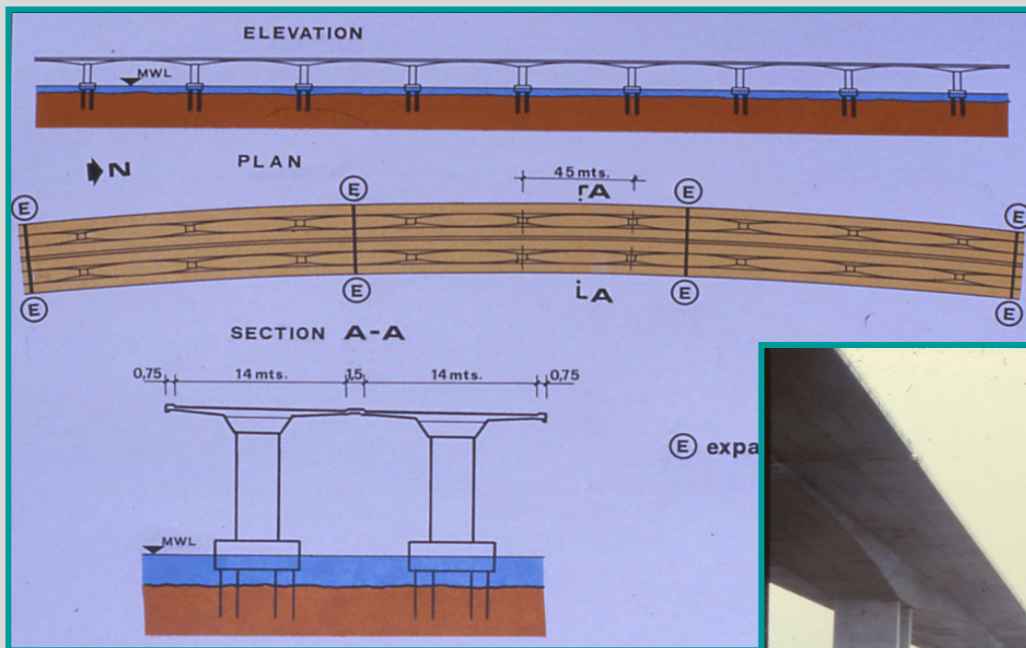
I pali in acqua erano realizzati da piattaforma infiggendo un rivestimento metallico sino alla profondità di 40 m circa e poi scavati sino alla profondità di progetto.



# I pali trivellati

## Case History

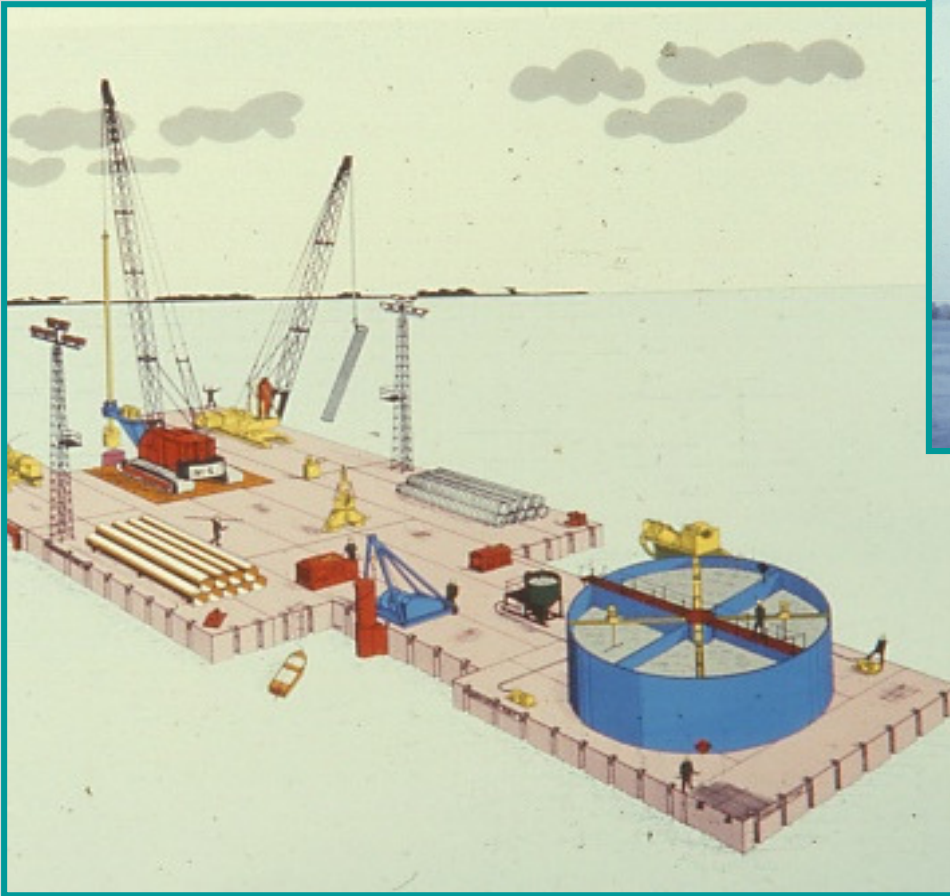
Un altro grande lavoro della Trevi nel settore dei pali trivellati è la realizzazione delle fondazioni per il **Third Mainland Bridge** a Lagos, Nigeria. Ogni pila a mare poggia su 4 pali trivellati di diametro 1500 mm con profondità variabili tra 40 e 50 m.



# I pali trivellati

## *Case History*

Nel disegno si può vedere l'organizzazione del cantiere sul pontone di lavoro. Si può notare il serbatoio per la gestione del fango bentonitico (fango fresco, recuperato, rigenerato).



# I pali trivellati

## *Case History*

Le fasi di lavoro prevedevano l'infissione tramite vibratore del rivestimento metallico sino ad intestarsi nel terreno coesivo compatto.

Quindi, seguivano le fasi di scavo (utilizzando fango bentonitico), dissabbiamento del palo, inserimento della gabbia di armatura e getto del calcestruzzo.



## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di casing

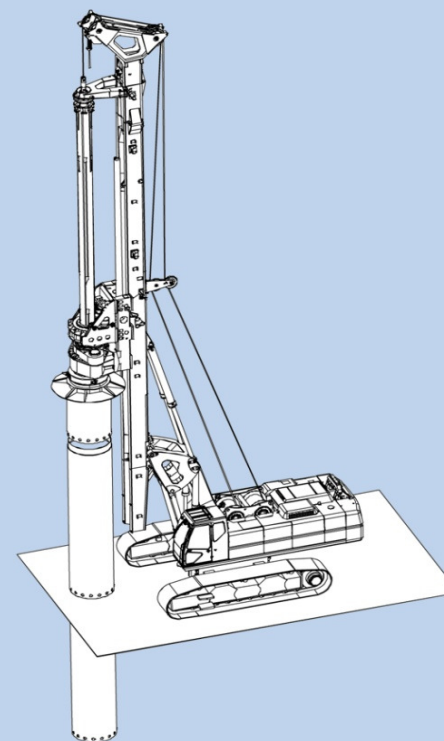
Una alternativa all'utilizzo del fango bentonitico o polimerico per la stabilizzazione del foro è rappresentata, per pali di diametro sino a **2,5 m**, dall'utilizzo di un rivestimento metallico ("casing"), infisso dalla stessa "rotary" o per mezzo di una apposita attrezzatura chiamata "casing oscillator".



## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di casing

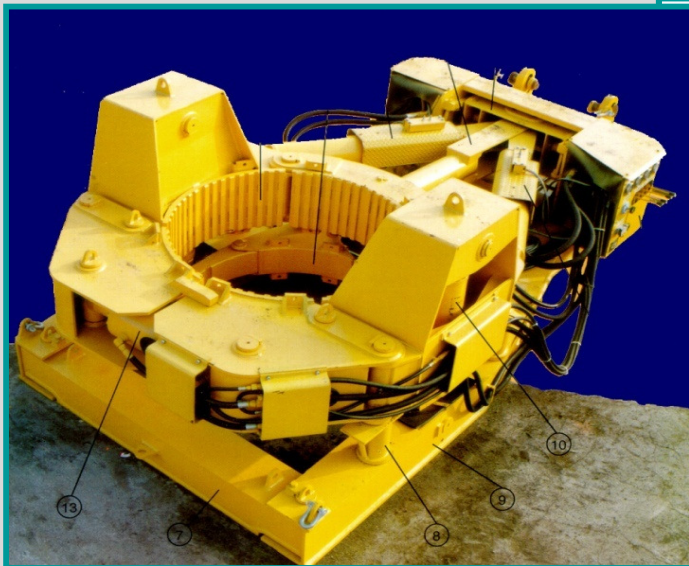
Con la tavola "rotary" dell'attrezzatura di perforazione è possibile infiggere rivestimenti fino ad una profondità di circa **20-30 metri**, mentre le fasi di perforazione possono proseguire sotto il rivestimento fino a **50-70 metri**.

Se il rivestimento viene infisso sino a raggiungere uno strato impermeabile, lo scavo può continuare senza ausilio di fango sempre che i terreni sottostanti non tendano a decomprimersi o a franare nel qual caso verrà riempito il foro con fango stabilizzante.



## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di casing

Con l'attrezzatura "casing oscillator" è possibile infiggere rivestimenti fino ad una profondità di circa **30-50 m**, mentre le fasi di perforazione possono proseguire sotto il rivestimento sino a **50-70 m**.



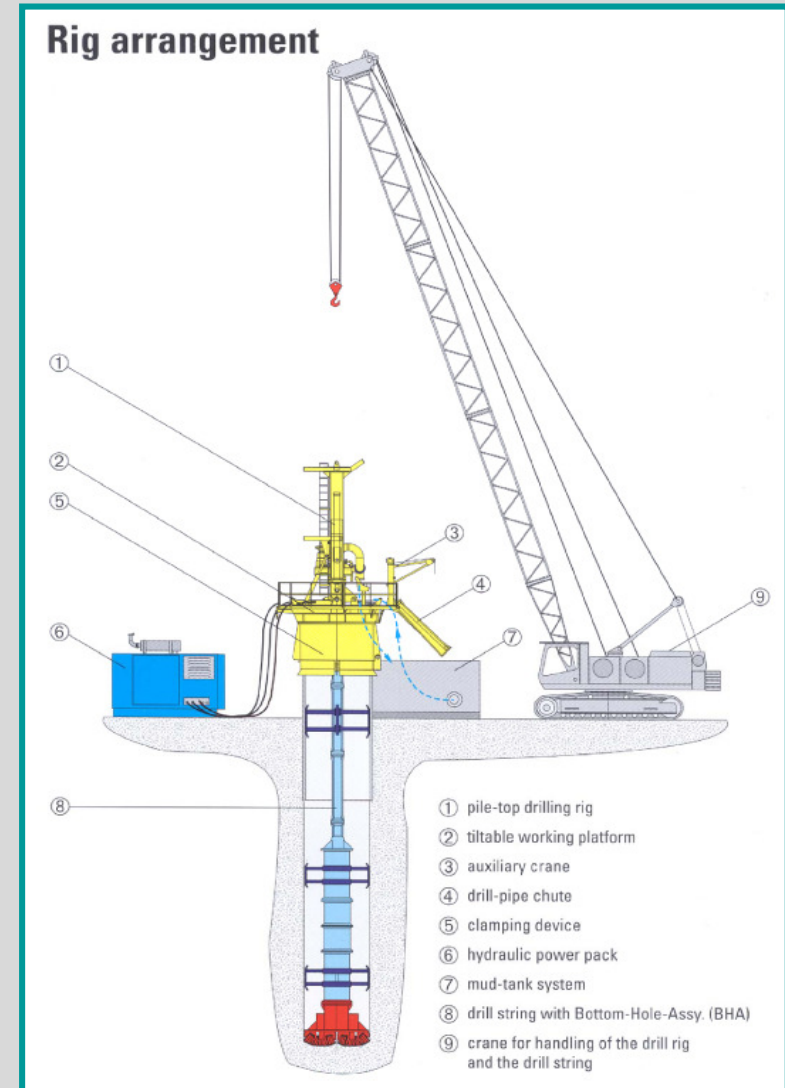
## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di fanghi a circolazione inversa

La tecnologia "reverse circulation system" consente l'esecuzione di pali trivellati in terreni particolarmente difficili (graniti ecc.), al fine di realizzare l'incastro dei pali profondi nello strato roccioso portante. Il sistema prevede lo scavo in presenza di un fango di perforazione con un utensile che rimane sempre sul fondo.

La risalita dei detriti di perforazione si ottiene grazie ad un effetto "air lift", immettendo aria al fine di alleggerire il fango e portarlo in superficie all'interno delle aste (circolazione inversa).

Nel disegno si possono vedere il gruppo "rotary" (in giallo), le aste e relativi dispositivi di centraggio (in celeste) e l'utensile di perforazione (in rosso).

In generale, una gru viene impiegata per movimentare il gruppo "rotary" e la batteria di aste da un palo all'altro.



## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di fanghi a circolazione inversa

Un lavoro della Trevi nel settore dei pali trivellati con la tecnologia RCS è la realizzazione di un diaframma impermeabile al di sotto della diga esistente W.F.G. in Alabama (USA).

Il contratto, dell'ammontare totale di 51 milioni di US\$ ha previsto la realizzazione di **21.000** m<sup>2</sup> di diaframma costituito da pali secanti.



## Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di fanghi a circolazione inversa

Il progetto ha previsto l'esecuzione di pali secanti di diametro pari a 1340 mm e lunghezza 60 m, posti ad un interasse di 1000 mm.

I primi 30 m (in acqua) sono stati rivestiti infiggendo una camicia metallica. I pali sono stati riempiti con calcestruzzo plastico.

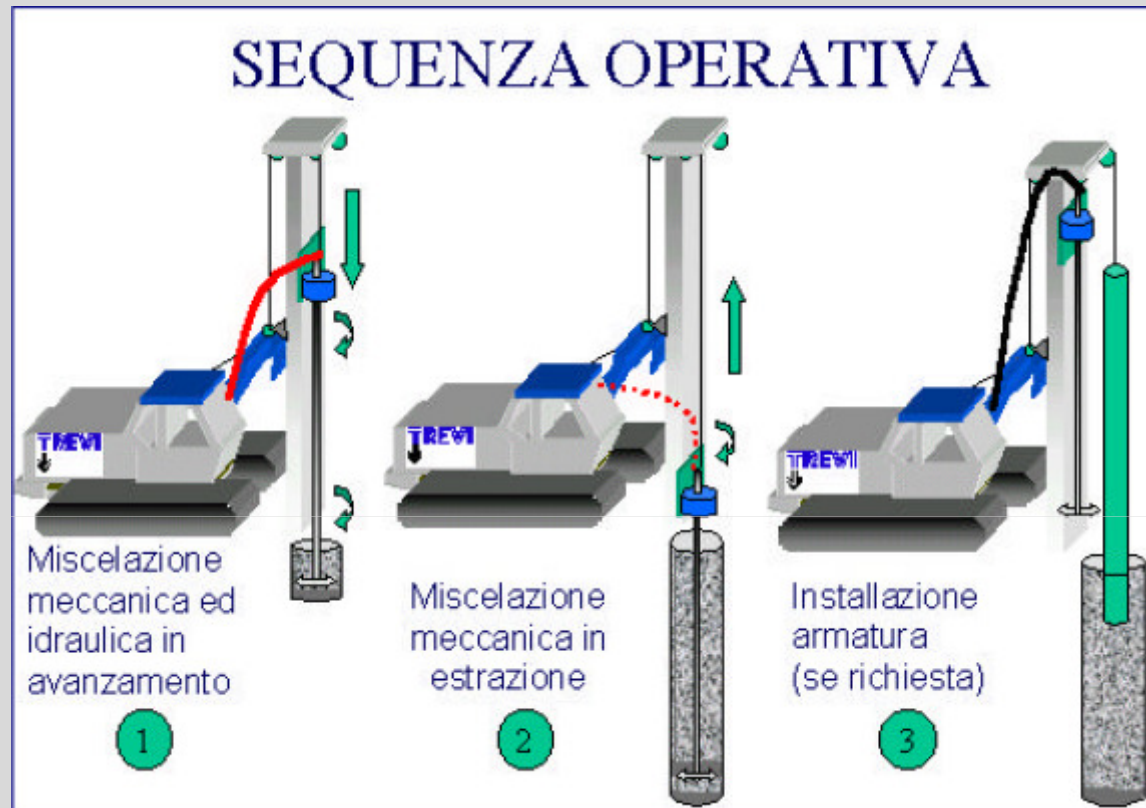


# Tecniche di perforazione pali con asportazione del terreno con uso di fanghi a circolazione inversa



## Tecniche di perforazione pali con asportazione parziale del terreno

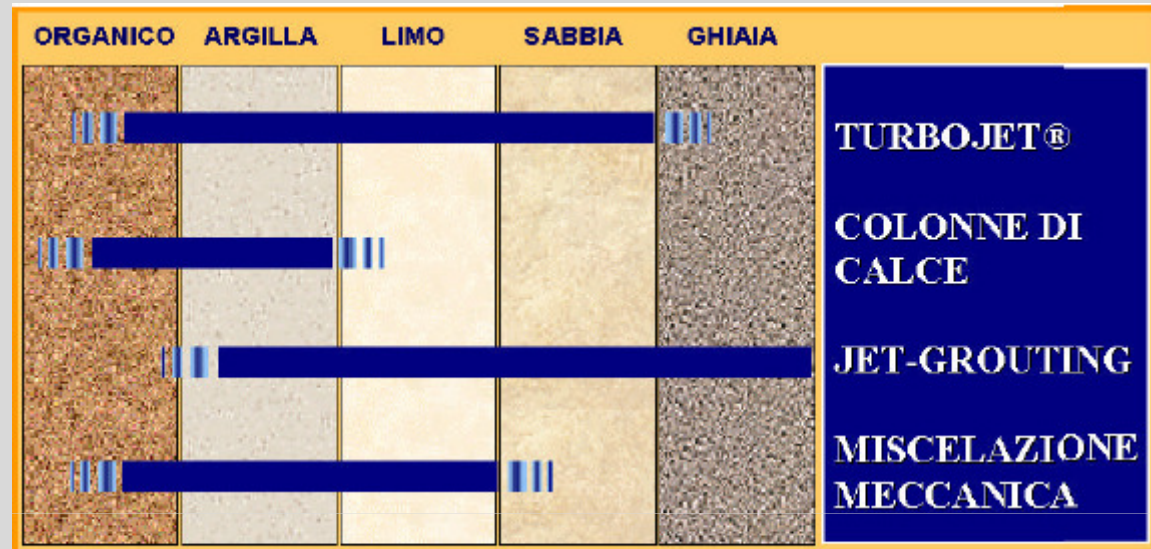
La tecnologia “**Turbo-jet**” nasce dalla combinazione di due note tecnologie: miscelazione meccanica del terreno e jetting. Alla disgregazione meccanica ottenuta mediante un particolare utensile a pale si associa l'effetto di miscelazione prodotto dal trattamento ad alta pressione del jetting.



Con il “Turbojet “ la perforazione e il trattamento avvengono in un'unica fase tale azione combinata aumenta sensibilmente la quantità di volume di terreno trattato. Con la tecnologia Turbojet garantisce l'ottenimento del diametro prestabilito attraverso l'utensile meccanico.

## Tecniche di perforazione pali con asportazione parziale del terreno

Con tale tecnologia è possibile realizzare colonne di terreno consolidato di diametro compreso dai 60 cm ai 140 cm con lunghezze dell'ordine dei 20-30 m. le velocità di avanzamento dell'utensile è funzione del tipo di terreno e varia da 0,5 a 10 m/min. mentre la velocità di rotazione è compresa fra i 35 e i 55 rpm . La miscela cementizia viene iniettata con pressioni comprese fra i 10 e i 30 Mpa con portate fra i 50 e 450 lt/min.



Le caratteristiche dei terreni trattati è funzione del tipo di terreno, in generale il quantitativo di cemento in polvere immesso nel terreno varia dal 5% al 12% del peso di terreno.

- da 1,0 a 3,0 Mpa per terreni coesivi
- da 3,0 a 5,0 Mpa per terreni incoerenti

# Tecniche di perforazione pali con asportazione parziale del terreno

## Attrezzature per “Turbojet”:

- perforatrice idraulica tipo R-825 o CM-120
- impianto di confezionamento di miscela cementizia ad alta capacità tipo GM14/20
- pompa ad alta pressione tipo SOILMEC /T-450/800
- strumentazione di registrazione e controllo dei parametri di trattamento



## Tecniche di perforazione pali con asportazione parziale del terreno



### Varie tipologie di utensili per Turbojet



# Gli utensili





# La scelta dell'utensile

## Codifica e Descrizione

<b>M</b>	<b>Q</b>	<b>110</b>	<b>425</b>	<b>W</b>
m	mm	mm	mm	kg
Costruttore	Serie	Diametro nominale (cm)	Tipo / versione utensile	Attacco asta

La descrizione attribuita a ciascun codice è di tipo parlante, ovvero fornisce informazioni base sulle caratteristiche dell'asta stessa.

Qui di seguito un esempio esplicativo:

**Costruttore: M** = CM Mazzoni

**Serie:**

- Z** = serie leggera per argilla (denti Esco Super V)
- H** = serie pesante per argilla (denti Esco Super V)
- Q** = serie pesante per roccia (denti Bit Kennametal o equivalenti)

**Versione:**

- 130** = trivella 2 principi; realizzata in serie pesante per argilla H e in serie pesante per roccia Q
- 140** = trivella 2 principi; realizzata in serie leggera Z
- 150** = trivella 1 principio per roccia; realizzata in serie pesante Q
- 200** = carotiere Ripper; realizzato in serie pesante Q
- 210** = carotiere a picchi; realizzato in serie pesante Q
- 220** = carotiere a inserti; realizzato in serie pesante Q
- 230** = carotiere a inserti intercambiabili; realizzato in serie pesante Q
- 405** = bucket fondo standard
- 425** = bucket fondo ghigliottina (n°2 aperture se realizzato in serie leggera Z o pesante H, n°1 apertura se realizzato in serie pesante Q)
- 400** = bucket a corpo apribile per piccoli diametri
- 410** = bucket allargatore
- 420** = bucket a doppio diametro

**Attacco asta: W** = 130x130 SoilMec  
**X** = 150x150 SoilMec  
**Z** = 200x200 SoilMec

## La scelta dell'utensile

Nella realtà, il problema della scelta dell'utensile più appropriato è alquanto più complesso in quanto "entrano in gioco" innumerevoli altre variabili.

- ➔ Raramente il terreno oggetto dello scavo si presenta omogeneo. Il più delle volte capita di attraversare formazioni di diversa natura.
- ➔ Talvolta, per ragioni progettuali, tale attraversamento di terreno di diversa natura è previsto già in origine. Tipico esempio: la richiesta di incastro "in roccia" del piede del palo.
- ➔ Per le terre coerenti (limi ed argille), proprietà quali plasticità, compressibilità ecc. sono ben più significative del valore di resistenza alla compressione.
- ➔ Per le terre incoerenti (sabbie e ghiaie), fattori quali la presenza o meno di acqua nel terreno e caratteristiche quali dimensione massima delle grani, densità relativa ecc. sono ben più significativi di altri.
- ➔ Per le rocce, la presenza e la configurazione (principalmente inclinazione) di eventuali stratificazioni è talvolta più significativa del valore di resistenza alla compressione.

## La scelta dell'utensile

Proprio in relazione a tali problematiche, Trevi e Soilmec hanno formato un gruppo di lavoro congiunto allo scopo di:



Studiare, anche in collaborazione con fornitori esterni (es. i produttori dei denti), sperimentare e commercializzare utensili da scavo (bucket, trivelle, carotieri) di configurazione nuova, più efficace ed efficiente.



Fornire ai propri Clienti (interni ed esterni) più precisi e dettagliati consigli sulla scelta dell'utensile più appropriato per le diverse tipologie di terreno.

# La scelta dell'utensile

Studio, sperimentazione e commercializzazione



# La scelta dell'utensile

Studio, sperimentazione e commercializzazione



# La scelta dell'utensile

Studio, sperimentazione e commercializzazione



# La scelta dell'utensile

Aiuto nella scelta dell'utensile più appropriato

UCSC Soil Description						Rotary Drilling Tool		
						Bucket	Auger	Core Barrel
C o a r s e  S o i l s  G r a 	Gravels > 50% of coarse fraction retained on N°4 sieve	Clean Gravels	GW	33°-45° 0 KPa	Well-graded gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines	MZ-425 Standard or MH-425 HD	Not recommended	Not recommended
			GP	33°-45° 0 KPa	Poorly graded gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines	MZ-425 Standard or MH-425 HD	Not recommended	Not recommended
		Gravel with Fines	GM	30°-40° 0 KPa	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures. > 12% fines	MZ-425 Standard or MH-425 HD	Not recommended	Not recommended
			GC	30°-40° 0 KPa	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures. > 12% fines	MZ-425 Standard or MH-425 HD	Not recommended	Not recommended
	Sands >= 50% of coarse fraction retained on N°4 sieve	Clean Sands	SW	30°-40° 0 KPa	well graded sand, fine to coarse sand	MZ-425 Standard or MH-425 HD	Not recommended	Not recommended
			SP	30°-40° 0 KPa	poorly-graded sand	MZ-425 Standard or MH-425 HD	Not recommended	Not recommended
		Sands with Fines	SM	28°- 35° 0 KPa	Silty sands, sand-silt mixtures	MZ-425 Standard or MH-425 HD	MZ-140 Standard or MH-130 HD	Not recommended
			SC	28°- 35° 0 KPa	Clayey sands, sand-clay mixtures	MZ-425 Standard or MH-425 HD	MZ-140 Standard or MH-130 HD	Not recommended
F i n e  S o i l s  G r a 	Silts and Clays liquid limit (LL) < 50	ML	0-200 KPa	Inorganic silts, very fine sands, rock four, silty or clayey fine sands	MZ-405 standard or MH-405 HD	MZ-140 Standard or MH-130 HD	Not recommended	
		CL	0-300 KPa	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly/sandy/silty/lean clays	MZ-405 Standard or MH-405 HD	MZ-140 Standard or MH-130 HD	Not recommended	
		OL	0-200 KPa	Organic silts and organic silty clays of low plasticity	MZ-405 Standard or MH-405 HD	MZ-140 Standard or MH-130 HD	Not recommended	
	Silts and Clays liquid limit (LL) >= 50	MH	0-20 KPa	silt of high plasticity, elastic silt	MZ-405 Standard or MH-405 HD	MZ-140 Standard or MH-130 HD	Not recommended	
		CH	0-200 KPa	clay of high plasticity, fat clay	MZ-405 Standard or MH-405 HD	MZ-140 Standard or MH-130 HD	Not recommended	
		OH	0-10 KPa	organic clay, organic silt	MZ-405 Standard or MH-405 HD	MZ-140 Standard or MH-130 HD	Not recommended	
Highly Organic Soils	Pt	0-10 KPa	Peat, muck, and other highly organic soils	MZ-405 Standard or MH-405 HD	MZ-140 Standard or MH-130 HD	Not recommended		

# La scelta dell'utensile

Aiuto nella scelta dell'utensile più appropriato

