

Gruppo Trevi

TREVI – SOILMEC – PETREVEN - DRILLMEC

Il campo di attività del Gruppo Trevi si può a grandi linee suddividere fra:

1. Tecnologie del sottosuolo (Ground Engineering): tecniche per realizzare strutture all'interno del terreno capaci di sopportare carichi di varia natura.
2. Sondaggi (Soil Investigations): tecniche per esaminare il terreno e ricavarne le caratteristiche (composizione degli strati, presenza di acqua...).
3. Perforazioni (Drilling): tecniche per realizzare impianti per l'estrazione di sostanze dal sottosuolo (p.e. acqua, petrolio, gas, vapore).

La Trevi gestisce cantieri nel settore 1, la Soilmec produce macchine nello stesso settore. La Drillmec produce perforatrici per il settore 3 e la Petreven le utilizza in campo petrolifero. Esiste anche RCT che opera nel settore 2.

Tecnologie del Sottosuolo

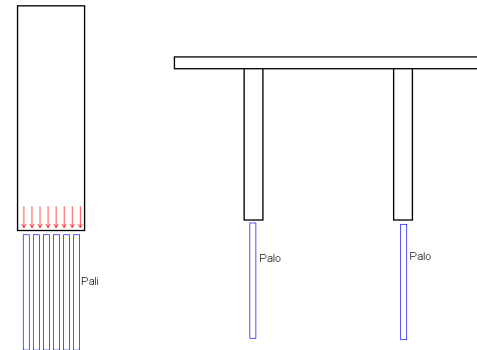
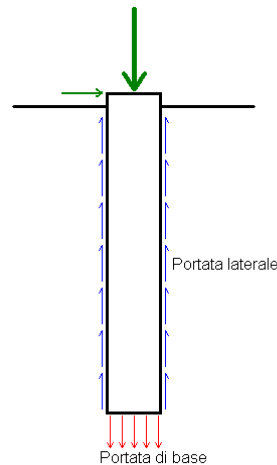
-tecniche per realizzare strutture all'interno del terreno capaci di sopportare carichi di varia natura.

1. **Fondazioni:** sono costituite da elementi collocati internamente al terreno, che hanno la funzione di sostenere carichi principalmente verticali, ma anche orizzontali, provocati da strutture sovrastanti. Si distingue fra fondazioni dirette, relativamente superficiali e fondazioni profonde. Fra queste ultime figurano i pali di fondazione, che sono in gran parte realizzati in cemento armato.

Funzionamento del palo: il palo riceve i carichi dalle strutture sovrastanti e li scarica sul terreno circostante in due modi:
A) tramite la superficie di base scarica peso nel terreno sottostante, dando luogo ad una portata di base.

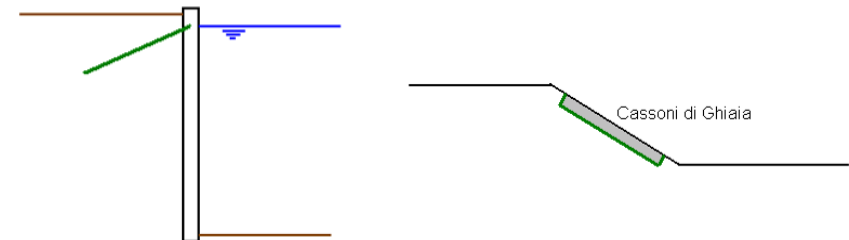
B) grazie all'attrito del terreno contro la superficie laterale si realizza una portata laterale.

Esempi: Un viadotto scarica il suo peso sul suolo in aree limitate, nelle quali vengono realizzati dei pali. Un palazzo scarica il suo peso in un'area più ampia nella quale vengono realizzati più pali ravvicinati.



2. **Opere di Contenimento:** si realizzano quando si vuole impedire il franare di terreno o di opere già esistenti. Tramite elementi disposti opportunamente all'interno del terreno si ottiene un trattenimento che elimina il rischio di frana o di crollo delle strutture.

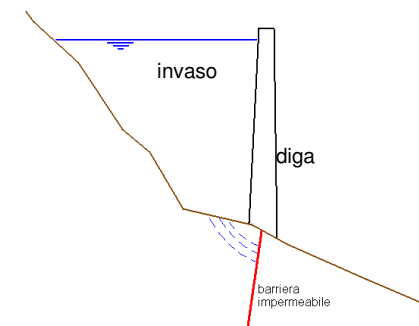
Esempi: Nei porti si realizzano delle paratie in cemento con l'aggiunta di un tirante. Nelle scarpate laterali di una strada sopraelevata si inseriscono dei cassoni di ghiaia che impediscono il franare del terreno lungo il piano inclinato.



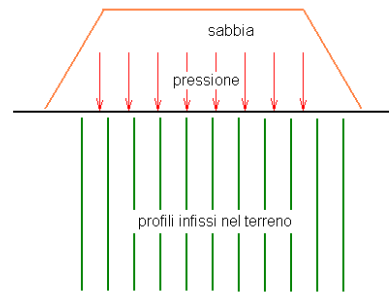
3. **Opere di Consolidamento:** si opera una modificazione delle caratteristiche del terreno mediante varie tecniche. Per esempio si possono migliorare le caratteristiche meccaniche di un terreno mediante processi chimici indotti tramite opportune sostanze.

4. **Impermeabilizzazioni:**

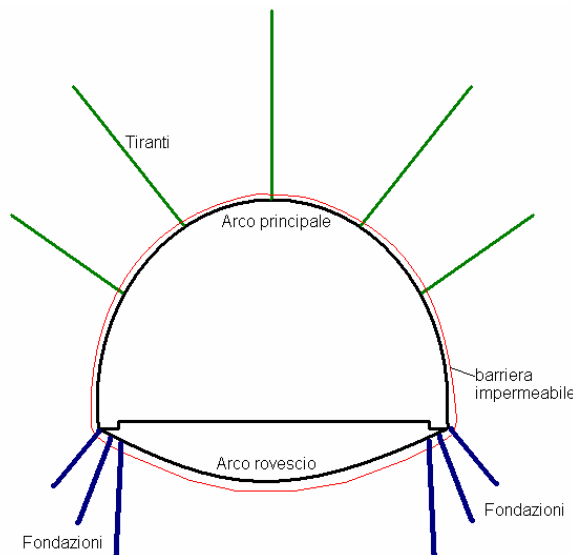
consistono nell'inserimento di barriere impermeabili all'interno del terreno, in zone nelle quali si vuole evitare l'infiltrazione dell'acqua. Esempi: Nel terreno sottostante una diga l'acqua può filtrare e sgorgare a valle: in questi casi si inserisce preventivamente una barriera impermeabile nella zona interessata.



5. **Drenaggi:** si effettua una accelerazione del processo di espulsione di acqua dal sottosuolo, per rendere più stabile il terreno. Vengono infissi nel terreno, ravvicinati fra loro, dei sottili profili ondulati ricoperti da materiale assorbente; in seguito viene applicato un carico al terreno (cumulo di sabbia), che induce una pressione che favorisce l'espulsione dell'acqua. L'espulsione è favorita dai profili che costituiscono uno sfogo per il liquido. Il processo ha una durata di 6 mesi.



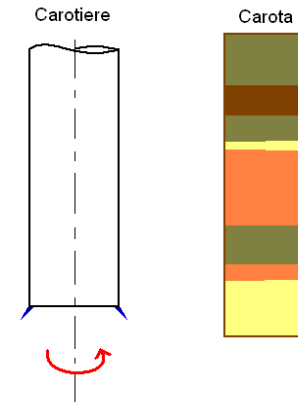
6. **Gallerie:** la realizzazione di gallerie prevede: un consolidamento preventivo della zona in cui eseguire il traforo, la costruzione di un arco principale (per contrastare la pressione del terreno) e di un arco rovescio sottostante (per contrastare la spinta geostatica), la costruzione di fondazioni reggispinta alla base dell'arco principale, l'inserimento di una barriera impermeabile negli archi e l'applicazione di tiranti all'arco principale.



Sondaggi

-tecniche per esaminare il terreno e ricavarne le caratteristiche (composizione degli strati, presenza di acqua...).

1. **Carotaggi:** Hanno l'obiettivo di analizzare la composizione stratigrafica del terreno. Un apposito utensile di forma cilindrica con una testa dentata detto "carotiere" viene fatto penetrare nel terreno tramite rotazione attorno al suo asse, e poi estratto. All'interno dell'utensile rimane una "carota" di terreno che viene analizzata.

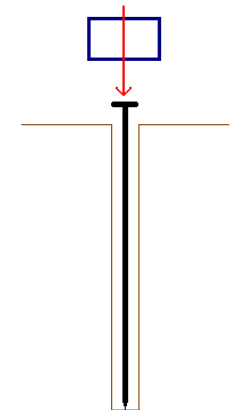


2. **Campionamenti:** sono molto simili ai carotaggi, ma vengono eseguiti in terreni più morbidi, utilizzando ad esempio un utensile cilindrico semplicemente piantato nel terreno.

3. **Prove Penetrometriche Statiche:** Vengono eseguite tramite una punta che viene fatta penetrare nel terreno in condizioni standardizzate di spinta e velocità di avanzamento. Sulla punta sono posizionati degli estensimetri che forniscono la misura di R_p = resistenza alla punta e F_r = resistenza laterale (tramite queste si può calcolare la teorica portata di base e laterale di un palo).

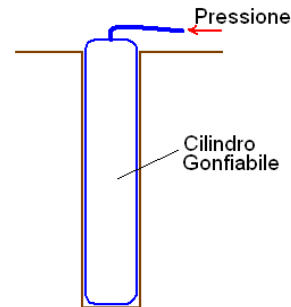
4. **Prove Penetrometriche Dinamiche:** vengono eseguite sulla superficie di fondo di un foro già eseguito in precedenza (per esempio durante un carotaggio). Un utensile a punta viene inserito nel foro e un maglio di peso standardizzato viene fatto cadere sull'utensile da un'altezza prefissata. Si misura l'SPT = numero di colpi che sono necessari per fare avanzare di un piede l'utensile. Questa prova viene eseguita a diverse profondità.

Pro: E' un metodo più economico del precedente, e può essere eseguito quando si fa un campionamento.
Contro: E' un metodo meno raffinato del precedente, e quindi meno preciso; inoltre fornisce risultati meno direttamente interpretabili. Volendo fare la prova a molteplici profondità c'è un forte dispendio di tempo, perché ogni volta gli utensili per la perforazione e per la prova devono essere tolti e poi reinseriti nel foro.

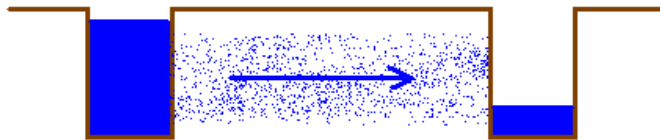


5. **Prove Piezometriche:** Sono indagini mirate alla individuazione di falde nel terreno ed alla misurazione della loro pressione.

6. **Prove Pressiometriche:** Si vuole misurare la pressione che il terreno esercita su una determinata superficie. Per fare ciò si esegue un foro e vi si inserisce un cilindro gonfiabile. Poi si mette in pressione il cilindro che, spingendo sulle pareti del foro lo fa deformare. Analizzando la deformazione del foro e la pressione del cilindro si ricavano le informazioni volute.



7. **Prove di permeabilità:** Sono prove mirate a stimare quanto il terreno fa passare l'acqua al suo interno, ovvero quanto è permeabile all'acqua. Utilizzando dei piezometri posizionati a monte e a valle della zona interessata, si ricava una stima della permeabilità del terreno.



Perforazioni

-tecniche per realizzare impianti per l'estrazione di sostanze dal sottosuolo (p.e. acqua, petrolio, gas, vapore...).

Hanno l'obiettivo di creare condotti nel terreno per estrarre sostanze (petrolio, acqua) dalle falde o dai giacimenti. La differenza principale rispetto alle tecnologie del sottosuolo è la profondità di perforazione: in questo caso si può arrivare a migliaia di metri di profondità.

Si opera eseguendo una perforazione tramite aste giuntate, che molto spesso permangono nel foro e costituiscono loro stesse il condotto di estrazione della sostanza.

Terreni

Classificazione dei terreni

Rocce: aggregati naturali di minerali tenuti assieme da forze di coesione permanenti.

Terre: aggregati naturali di minerali scindibili con metodi semplici (immersione in acqua)

Granulometria: criterio unicamente dimensionale per classificare i principali tipi di terre:

Argilla, limo, sabbia, ghiaia, ciottoli, trovanti.

Soil Classification based on Particle Size

							USCS	
Trovanti Boulders	Ciottoli Cobbles	Ghiaia	Sabbia			Limo	Argilla	
			Sand			Fines (Silt, Clay)		
			Coarse	Medium	Fine			
			300 mm	75 mm	4.75 mm	2.0 mm	0.425 mm	0.075 mm

							ASTM		
Trovanti Boulders	Ciottoli Cobbles	Ghiaia	Sabbia			Limo	Argilla	Colloidi	
			Sand			Silt	Clay	Colloids	
			Coarse	Medium	Fine				
			300 mm	75 mm	4.75 mm	2.0 mm	0.425 mm	0.075 mm	
							0.005 mm	0.001 mm	

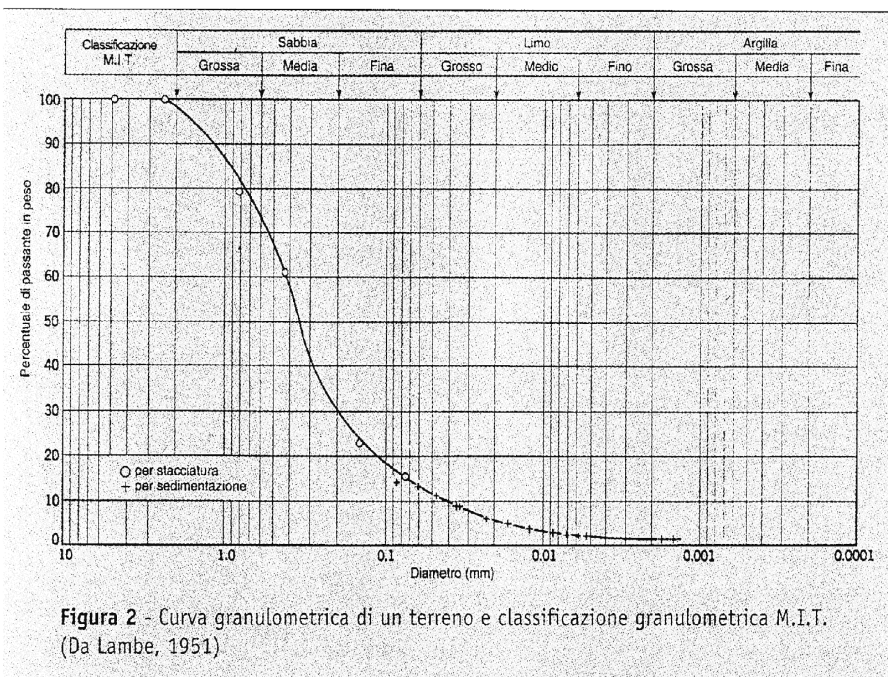
							AASHTO		
Trovanti Boulders	Ghiaia		Sabbia		Limo	Argilla	Colloidi		
	Gravel		Sand		Silt	Clay	Colloids		
			Coarse	Fine					
	75 mm		2.0 mm	0.425 mm	0.075 mm	0.005 mm	0.001 mm		

Curva Granulometrica: fornisce la distribuzione percentuale delle dimensioni delle particelle di un aggregato.

Fuso Granulometrico: racchiude fra due curve granulometriche minima e massima le distribuzioni granulometriche possibili di un aggregato variabile o di un aggregato da comporre industrialmente (es. limiti di tolleranza degli inerti di un calcestruzzo).

Argilla e limo sono terreni a particelle fini caratterizzati da coesione, plasticità, impermeabilità. La coesione è la prevalenza di forze attrattive fra le particelle che le fa stare assieme, la plasticità è la

capacità di stare assieme anche durante e dopo modifiche di forma, la impermeabilità è la opposizione al flusso di acqua attraverso l'aggregato.



Formazione dei terreni alluvionali

I terreni alluvionali sono formati dall'azione dell'acqua sulla superficie terrestre.

La pioggia e, in inverno, il ghiaccio consumano e spezzano la superficie delle rocce di cui sono fatte le montagne. Continuamente. I pezzi rotolano sul fondo della valle, trascinati dall'acqua. I torrenti e i fiumi continuano a trasportare questi pezzetti fino al mare. Naturalmente i pezzi più grossi, i trovanti e i ciottoli scendono subito sul fondo del fiume e rotolano con fatica. La sabbia scorre meglio, sempre sul fondo. Il limo e l'argilla, sotto l'aspetto di acqua fangosa, arrivano più facilmente fino al mare. Più è forte la pendenza del fiume e più è facile il trasporto. I pezzi che rotolano sul fondo, grossi o piccoli, continuano a consumarsi diventando sempre più piccoli e arrotondati. Infatti la ghiaia di fiume ha forme rotonde. Invece nella ghiaia delle spiagge marine, mandata avanti e indietro dalle onde, la forma tende a diventare piatta. In conclusione succede che le montagne si consumano continuamente e si abbassano, e le pianure, per effetto del deposito dei detriti, si rialzano. Questo deposito continuo, uno strato sopra l'altro, forma i terreni alluvionali. In generale, nella zona vicina alle montagne troveremo molti ciottoli e ghiaia, in pianura troveremo limo e argilla.

Negli anni ci sono stati periodi di grandi piogge, di gelo, di cambiamenti del livello del mare: di conseguenza in alcuni periodi si sono formati strati di ghiaia anche vicino al mare, alternati con

terreni più fini, e ci possono essere stratificazioni sabbiose e limose anche nelle zone alte della pianura.

L'azione di corrosione dell'acqua sulle rocce si chiama EROSIONE.

Poi c'è l'azione di TRASPORTO.

Durante il trasporto avviene anche la DEPOSIZIONE o SEDIMENTAZIONE.

Con SEDIMENTAZIONE SELETTIVA si identifica l'azione del fiume che seleziona la grandezza dei detriti e deposita prima quelli più grossi, e poi quelli più fini

È importante considerare anche l'effetto del peso del terreno negli anni: il peso degli strati superiori di terreno grava su quelli inferiori, strizzandoli come una spugna, espellendo una parte di acqua, addensando le particelle. L'espulsione di acqua richiede tempi rapidi nei terreni grossolani, migliaia di anni nelle argille. Un terreno si dice normal-consolidato quando il carico litostatico (peso del terreno sovrastante) ha raggiunto l'equilibrio con l'acqua contenuta. Sottoconsolidato se il processo non è ancora completo. Sovraconsolidato se il carico è diminuito (erosione).

Quando si fa una perforazione, si attraversa una grande varietà di strati formati dalla sedimentazione.

Durante una perforazione in pianura vicino alla foce di un fiume importante, è facile che trovare questa situazione:

- un primo strato di terreno prosciugato dal sole, che contiene anche residui vegetali recenti (radici, fibre).
- uno strato di argilla molto tenera, come fango molle, scivoloso e appiccicoso. Spesso contiene torba, cioè materiale vegetale in decomposizione e gas metano che viene dalla decomposizione. Sono strati poco stabili che possono franare. Strati di argilla sempre più consistenti, appiccicosi.
- Argilla più dura, plasmabile e poco appiccicosa.
- Argilla molto dura che potrebbe essersi trasformata in marna (roccia).

Naturalmente fra questi strati se ne trovano di solito altri di limo o sabbia.

Durante una perforazione più vicino alle montagne si trovano molti ciottoli e ghiaia, qualche trovante, e tutto spesso impastato con sabbia e limo. Siccome questo terreno è permeabile, probabilmente a una certa profondità è presente UNA FALDA acquifera.

Analisi dei terreni

Prima di qualunque costruzione è necessario conoscere e prevedere il comportamento meccanico del terreno su cui ci appoggiamo. Questo è lo scopo dei sondaggi e delle prove penetrometriche.

Sondaggi e stratigrafie

I sondaggi consistono nel prelievo di campioni a diversa profondità e nella loro classificazione. Il risultato è rappresentato nelle Stratigrafie o Bore Log.



LOG OF BORING

PROJECT: Riyadh Ring Road - Northwest Leg (S040122/8)
LOCATION: Wadi Ubayr
DRILLING DATE: 13/03/2004
DRILLING METHOD: Rotary Air Flush

Coordinates E:658050.579 N:2728508.08
BORING No.: 1
ELEVATION: 618.69
GROUND WATER DEPTH: N/E
TOTAL BORING DEPTH: 11

DEPTH (M)	ST	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	FI	S.P.T (N)	SYMBOL	DESCRIPTION	qu (kg/cm ²)	Dd (gm/cm ³)	REMARKS
1								wadi materials composed of silty sand with gravel and cobbles of limestone.			SPT or coring is not possible due to variation of strata between the boulders and silty soil which consists gravelly silty sand
2								Creamy, completely weathered limestone with gravelly silty sand.			
3								Yellowish brown, moderately fractured to slightly fractured marly limestone.			* From 2.5m to 5.5m very highly fractured to highly fractured rock
4		40	8	8							
5		60	30	27				* From 2.5 m to 5.5 m completely weathered Marly limestone			* From 5.5 m to 8.5 m highly weathered Marly limestone
6											
7		100	87	80	5						
8		100	82	70	8				249.8	2.359	
9		100	98	97	4			Gray, massive, moderately weathered argillaceous limestone	228	2.277	
10											

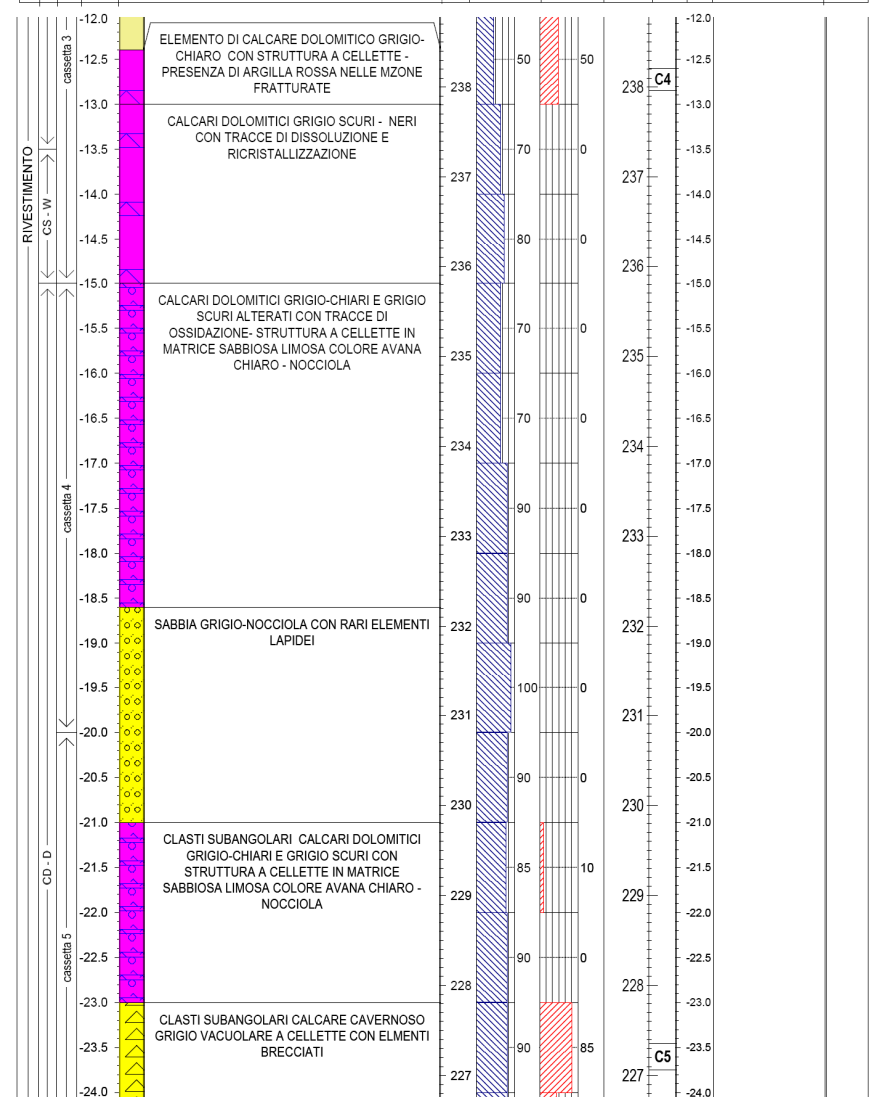
Hole Diameter: 10cm
 Type of Core: HWF
 ST: Sampler Type
 TCR: Core Recovery
 SCR: Solid Core Recovery

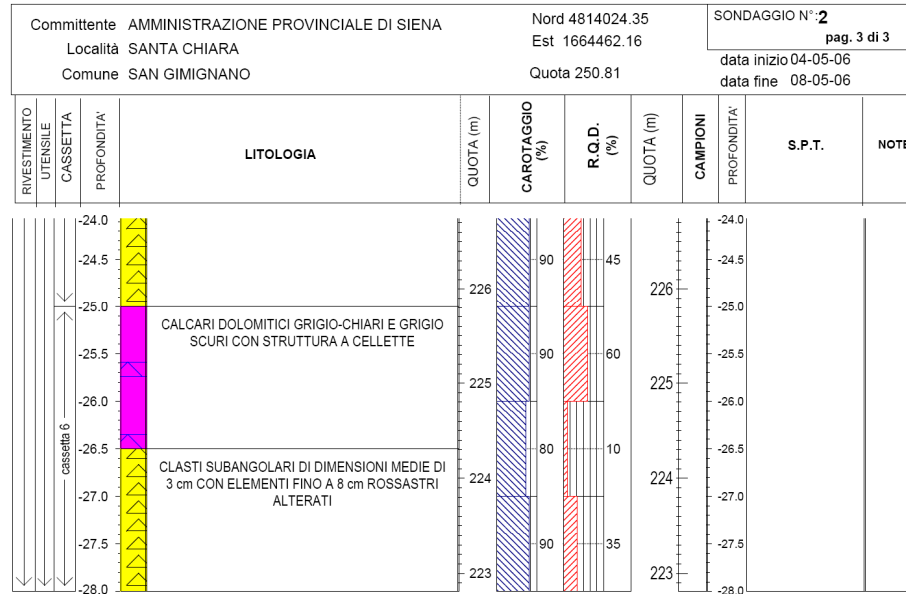
Type Of Bit: Diamond
 Type Of Rig: Boyles 37
 RQD: Rock Quality Designation
 SPT: Standard Penetration Test
 FI: Fracture Index

N/A: Not Available
 N/E: Not Encountered
 qu: Compressive Strength
 Dd: Dry Density

SHEET 1 OF 2

Committente AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI SIENA Località SANTA CHIARA Comune SAN GIMIGNANO	Nord 4814024.35 Est 1664462.16 Quota 250.81	SONDAGGIO N°: 2 pag. 2 di 3 data inizio 04-05-06 data fine 08-05-06
---	---	--





Oltre alla descrizione del terreno esaminato si riportano informazioni numeriche sulle proprietà meccaniche, ad esempio il numero SPT (standard penetration test).

TCR (total core recovery=recupero complessivo del campione) è la percentuale di "carota" estratta.

SCR (solid core recovery) è la percentuale di parti solide estratta (è pari al TCR cui viene tolta l'acqua)

RQD (rock quality designation=qualità di roccia) è la percentuale di pezzi di roccia più lunghi di 10 cm sul totale di un metro. Es. 12+15+18 cm = RQD 45

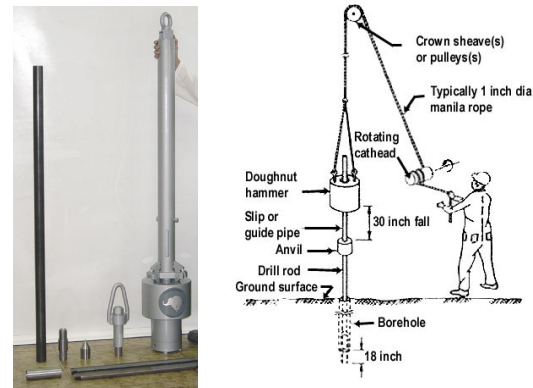
UCS (unconfined compressive strength=resistenza a compressione non confinata) è il carico di rottura della roccia in Kg/cmq o MPa.





Standard Penetration Test (SPT) o prova penetrometrica dinamica

Questo test consiste nel piantare per 45 cm (1,5 piedi) nel terreno sul fondo di un foro di sondaggio (che si trova alla profondità voluta) una punta di forma e dimensioni prefissate mediante la caduta di un peso di 65 Kg da una altezza di 76 cm. Dopo 15 cm si cominciano a contare i colpi necessari per infiggere i 30 cm successivi. Il numero di colpi cresce con la consistenza del terreno e va da 0 a 100. Si chiama prova penetrometrica dinamica.



Cone Penetration Test (CPT) o prova penetrometrica statica

Per i terreni è utilissima la prova penetrometrica statica (CPT), che consiste nelle infissione di una punta conica (diametro 35,7 mm = area 10 cmq) a velocità costante (2 cm/s). Si misura la resistenza alla penetrazione della punta R_p o Q_c (Mpa) e quella di attrito su una porzione di superficie laterale R_l o f_s (kPa). Il rapporto di queste misure è $Fr = f_s/R_p$ (friction ratio). Il tutto è riportato in grafici del tipo in figura.

Sono interessanti i grafici successivi che permettono di entrare in ordinate con R_p e in ascisse con $Fr (= f_s/R_p)$ per trovare il campo di tipologia del terreno attraversato (es. argilla). Sono disponibili grafici di questo tipo sia per penetrometri statici a misura elettrica (estensimetrica), che per penetrometri statici a misura meccanica (manometrica sul cilindro di spinta).

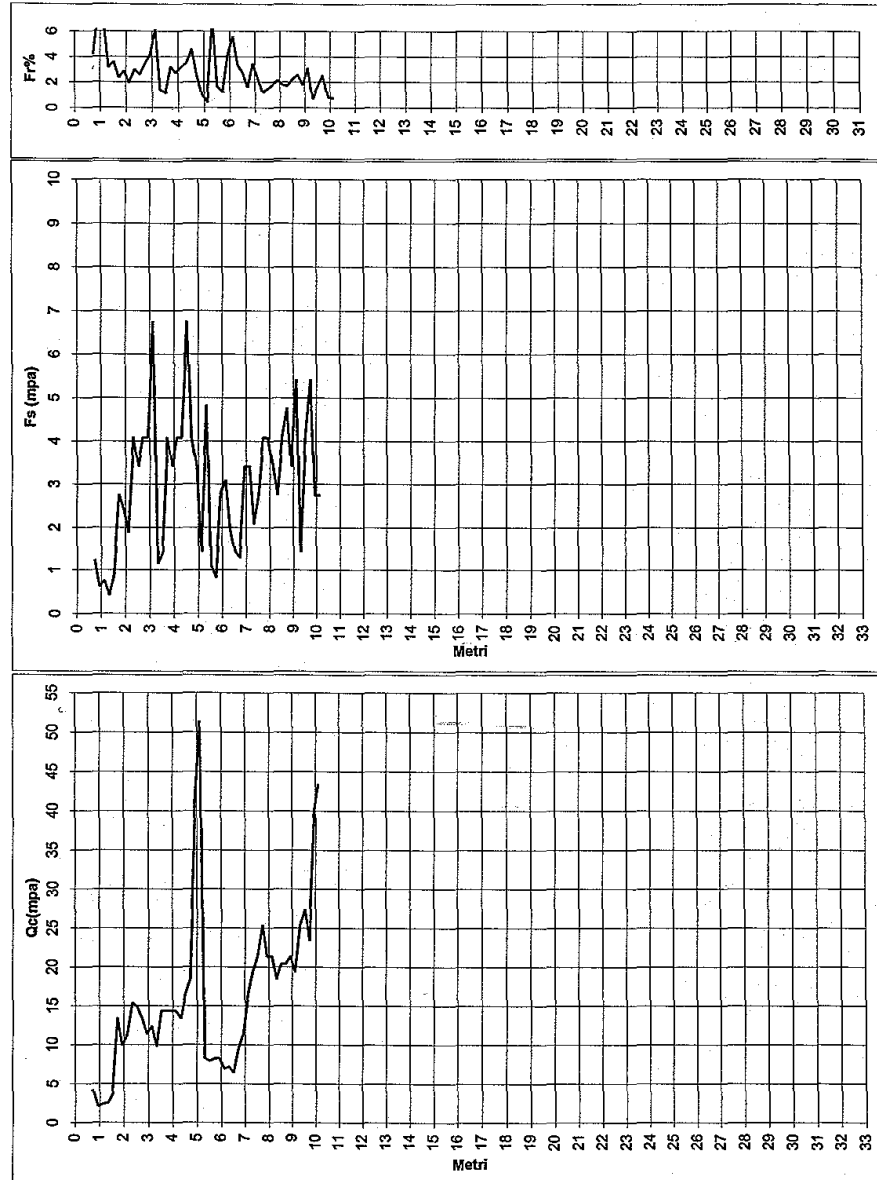
Infine, si ha un altro grafico utile, nel quale entrando in ascisse con la granulometria media del terreno si ottiene in ordinate il rapporto di conversione di un valore NSPT (prova dinamica) in R_p (prova statica).

Ad esempio per una sabbia un $SPT=30$ equivale a un $R_p=120$ bar o Kg/cmq.

Per l'argilla $SPT=30$ equivale a $R_p=60$ bar.

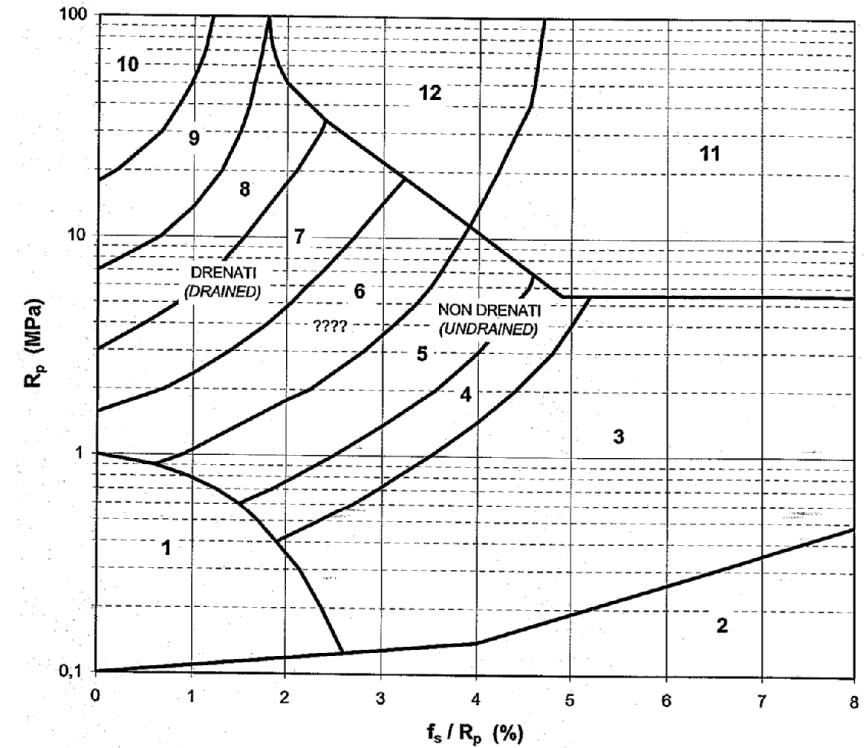
Cone Penetration Test

Prova Penetrometrica Statica



Prova Penetrometrica Statica con punta elettrica (CPTE)

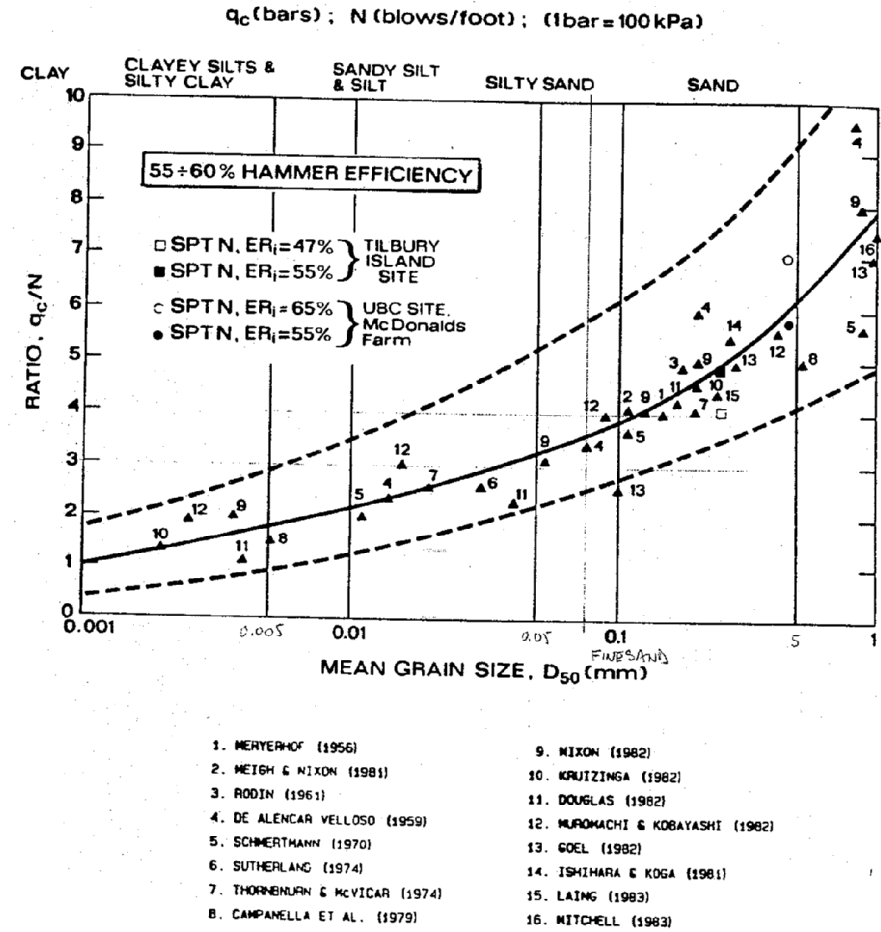
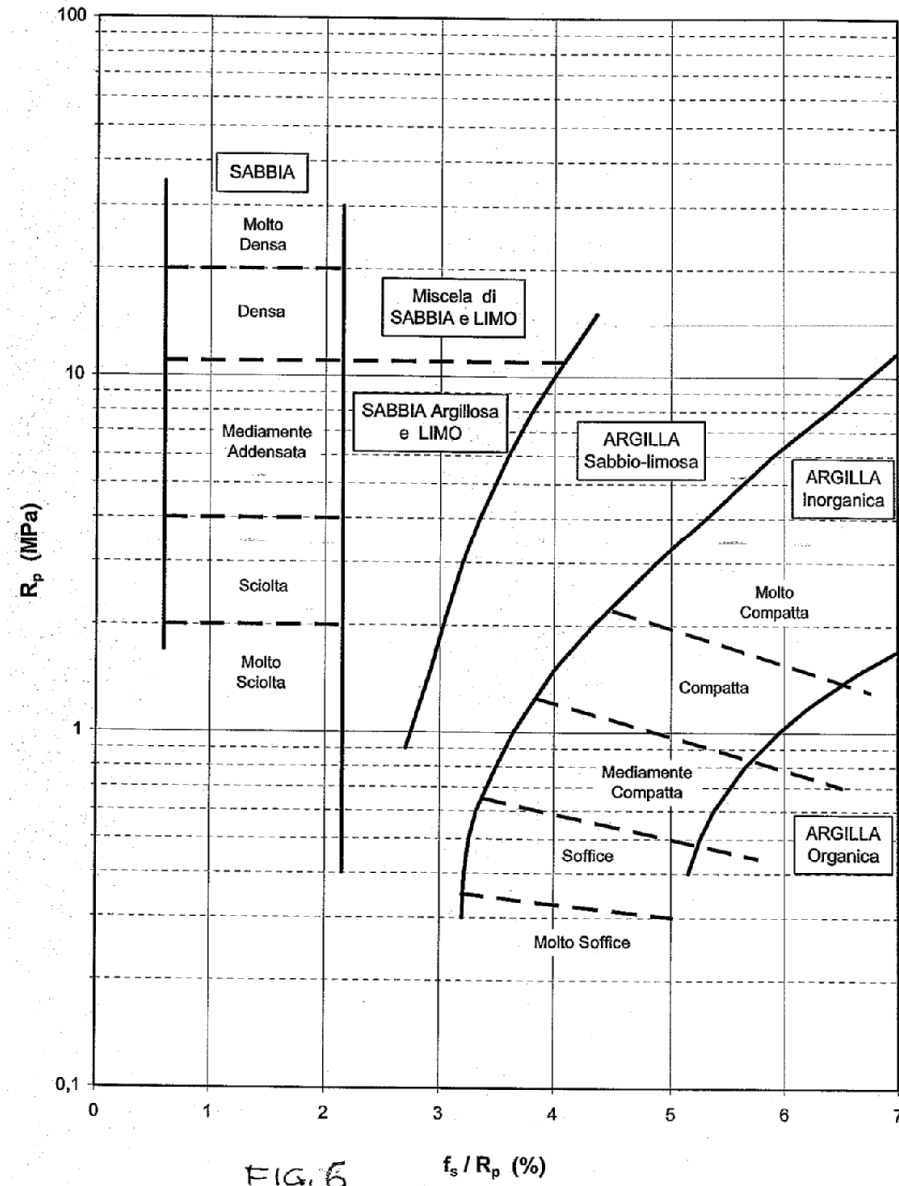
Classificazione del terreno secondo ROBERTSON - 1985



ZONA	R_p / N_{SPT}	TERRENO TIPO	(SOIL BEHAVIOUR TYPE)
1	2.0	LIMO e/o ARGILLA SENSITIVA	(SENSITIVE FINE GRAINED)
2	1.0	MATERIALE ORGANICO	(ORGANIC MATERIAL)
3	1.0	ARGILLA	(CLAY)
4	1.5	ARGILLA Limosa - ARGILLA	(Silty CLAY to CLAY)
5	2.0	LIMO Argilloso - ARGILLA Limosa	(Clayey SILT to Silty CLAY)
6	2.5	LIMO Sabbioso - LIMO Argilloso	(Sandy SILT to Clayey SILT)
7	3.0	SABBIA Limosa - LIMO Sabbioso	(Silty SAND to Sandy SILT)
8	4.0	SABBIA - SABBIA Limosa	(SAND to Silty SAND)
9	5.0	SABBIA	(SAND)
10	6.0	SABBIA GHIAIOSA	(GRAVELLY SAND to SAND)
11	1.0	LIMO e/o ARGILLA molto compatta (*)	(Very Stiff FINE GRAINED)
12	2.0	SABBIA - SABBIA Argillosa (*)	(SAND to Clayey SAND)

(*) Sovraconsolidato o Cementato (Overconsolidated or Cemented)

Prova Penetrometrica Statica con punta meccanica (CPT)
Classificazione del terreno secondo SCHMERTMANN - 1978



Pali di Fondazione

Classificazione dei pali di fondazione

I pali si differenziano tra loro per le dimensioni, per il materiale in cui sono realizzati e per la tipologia esecutiva adottata.

In base alla dimensione del palo si distinguono:

- Pali a grande diametro; aventi diametro maggiore di 700 mm;
- Pali di medio diametro; aventi diametro compreso tra 300 e 700 mm;
- Micropali o pali a piccolo diametro: aventi diametro minore di 300 mm;

In base alle tipologie realizzative si distinguono:

- Pali prefabbricati: vengono costruiti "fuori opera" e collocati nel terreno in un secondo momento; solitamente vengono infissi utilizzando una macchina "battipalo".
- Pali gettati in opera: costruiti "in opera" mediante getto di calcestruzzo direttamente entro un foro.

Oppure si può distinguere anche fra:

- Pali Infissi: sono pali, normalmente costruiti fuori opera, piantati nel terreno tramite varie tecniche.
- Pali Trivellati: vengono realizzati mediante asportazione del terreno da parte di un utensile di perforazione chiamato trivella. La trivella può avere diverse forme a seconda del terreno e della tecnica di perforazione utilizzata.

E' facile identificare i pali prefabbricati con quelli infissi e quelli gettati in opera con quelli trivellati. Nella maggior parte dei casi è così, ma esistono anche pali infissi gettati in opera e pali prefabbricati trivellati.

Pali Prefabbricati

I pali prefabbricati possono essere realizzati in: Legno (molto utilizzati nel passato), Acciaio e Calcestruzzo. La maggior parte dei pali prefabbricati sono realizzati in calcestruzzo, perché questo materiale offre buone caratteristiche meccaniche ad un costo contenuto.

Iter di un palo prefabbricato

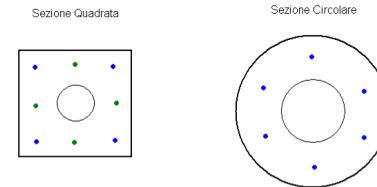
L'iter di un palo prefabbricato prevede tipicamente 5 fasi:

- Costruzione
- Trasporto
- Stoccaggio
- Movimentazione
- Infissione

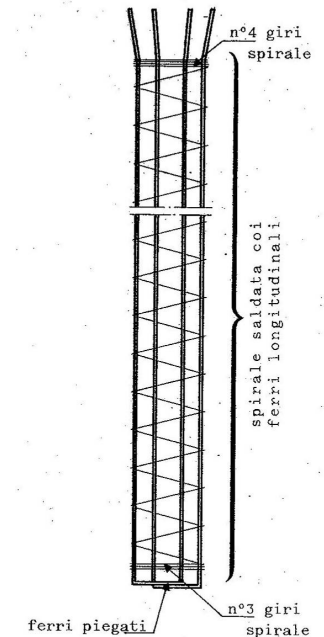
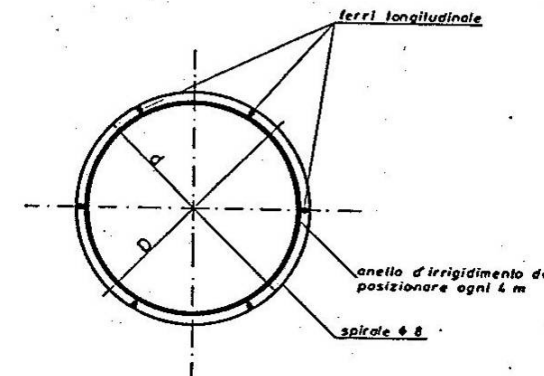
Costruzione

I pali in acciaio hanno principalmente forma circolare o ad H (tubi e putrelle commerciali)

Per i pali in calcestruzzo esistono principalmente due tipologie di sezioni: sezione quadrata e sezione circolare. (sono invece più rari pali di sezione esagonale ed ottagonale)

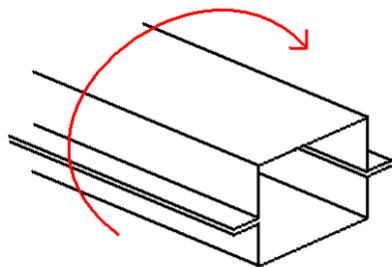


All'interno del palo è presente un'armatura costituita da dei ferri verticali disposti in modo da seguire la sagoma della sezione e da un cordone avvolto a spirale e saldato ad essi. Sono inoltre presenti degli anelli di irrigidimento a varie quote.



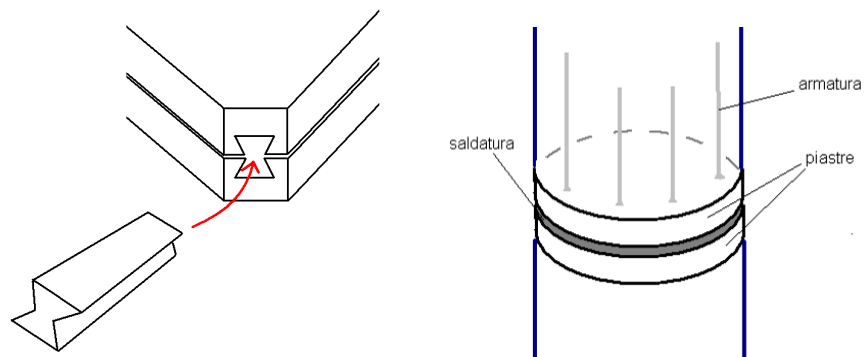
Per la realizzazione dei pali fuori opera si utilizza spesso una centrifuga: è costituita una cassaforma (di sezione coincidente con quella del palo da realizzare) divisibile in due metà, ed in grado di ruotare attorno al proprio asse. All'interno della cassaforma viene inserita l'armatura (che viene tenuta in posizione da opportuni distanziali) ed in seguito il calcestruzzo. A questo punto la cassaforma viene messa in rotazione, ed a causa della forza centrifuga il calcestruzzo si dispone all'esterno della cassaforma, aderendo alle pareti, lasciando un buco internamente. Una volta che il calcestruzzo si è solidificato, le due metà di cassaforma vengono rimosse ed il palo è completato. Il processo è accelerato con l'uso di vapore che aiuta la presa e la maturazione del calcestruzzo.

Centrifuga



Molto spesso, a fronte della necessità di realizzare pali molto lunghi all'interno del terreno, non è però possibile prefabbricarli interamente fuori opera. E' perciò necessario realizzarli in più parti e eseguire delle giunture al momento della messa in opera. Normalmente esistono due tipi di giunture:

1. Si saldano alle armature dei due capi da collegare delle piastre di ferro. Al momento della messa in opera le piastre vengono saldate ottenendo così la giunzione. Questo metodo risulta economico ma richiede tempi di realizzazione abbastanza lunghi.
2. Alle estremità delle parti da giuntare si collocano dei blocchi di acciaio, all'interno dei quali sono realizzate delle cave a forma di coda di rondine. Al momento della messa in opera le parti vengono accoppiate e viene inserito un cuneo sagomato che, infilandosi nell'apposita sede, rende solidali le parti. Questo metodo è molto più veloce del precedente ma anche più costoso.



Trasporto, stoccaggio, movimentazione

Le fasi di trasporto, stoccaggio e movimentazione assumono grande importanza, soprattutto quando il cantiere si trova in città o comunque in luoghi con spazi ristretti.

Infissione

Per l'infissione vengono utilizzati i magli, per la descrizione dei quali si rimanda ai paragrafi successivi. Pali gettati in opera-magli.

Pali gettati in opera

Iter di un palo gettato in opera

La realizzazione dei pali gettati in opera prevede due fasi principali, divise a loro volta in 3 fasi secondarie:

- SCAVO: Demolizione – Rimozione – Stabilizzazione
- COSTRUZIONE: Armatura – Getto – Maturazione

Inizialmente viene effettuato uno scavo tramite un utensile di perforazione. Il materiale rimosso dall'utensile deve essere estratto dal foro: a seconda della tecnica utilizzata queste prime due fasi sono realizzate in diversi modi. Infine avviene la stabilizzazione del foro: si tratta di assicurarsi che le pareti del foro non franino sotto la pressione del terreno circostante. Ci sono tre metodologie di stabilizzazione del foro:

1. Si utilizzano fanghi di perforazione (fanghi bentonitici o a base di polimeri) che riempiono il foro durante lo scavo e con la loro pressione contrastano quella del terreno, impedendo il franare della parete.
2. Si esegue lo scavo utilizzando dei tubi di rivestimento, che permangono nel foro e ne mantengono la forma.
3. Si può decidere di non operare alcuna operazione di stabilizzazione.

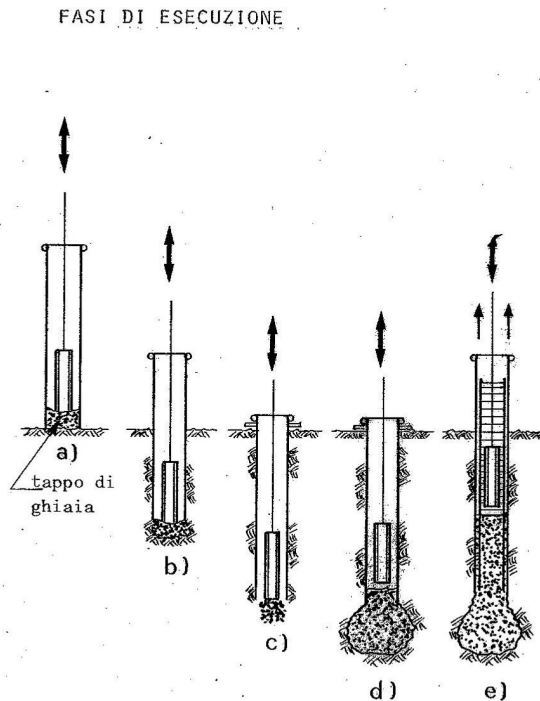
A questo punto si passa alla costruzione del palo: inizialmente viene introdotta la gabbia di armatura all'interno del foro, ed in seguito viene gettato il calcestruzzo. Trascorso il tempo necessario alla maturazione del calcestruzzo il palo si considera ultimato.

PALI INFISSI

Esempi di metodologie di costruzione di pali

Palo "TREVI"

Si ha un tuboforma metallico che inizialmente viene posizionato sul terreno; il fondo del tuboforma è aperto. Un tappo di ghiaia o calcestruzzo secco viene posizionato nella parte terminale: a questo punto tramite un maglio a caduta libera si inizia a battere il tappo di ghiaia. La ghiaia viene compressa contro il terreno e lateralmente verso le pareti del tuboforma. Il tappo di ghiaia penetra nel terreno e grazie all'attrito con le pareti trascina con se il tuboforma. Si ottiene così una trazione dal basso del tuboforma. Una volta fatto penetrare tutto il tuboforma, si continua a battere con il maglio, ma, limitando l'energia di battuta e trattenendolo con le funi di estrazione, si impedisce una ulteriore penetrazione del tubo nel terreno. Continuando con le percussioni il tappo di ghiaia penetra nel terreno sottostante e si allarga: ora, aggiungendo altra ghiaia con calcestruzzo e continuando con le percussioni, si tende a riempire il foro. Contemporaneamente si estrae il tuboforma e si inserisce l'armatura. Alla fine del processo si ottiene il palo completo. Con questo metodo si raggiungono i 30-40 colpi/minuto.

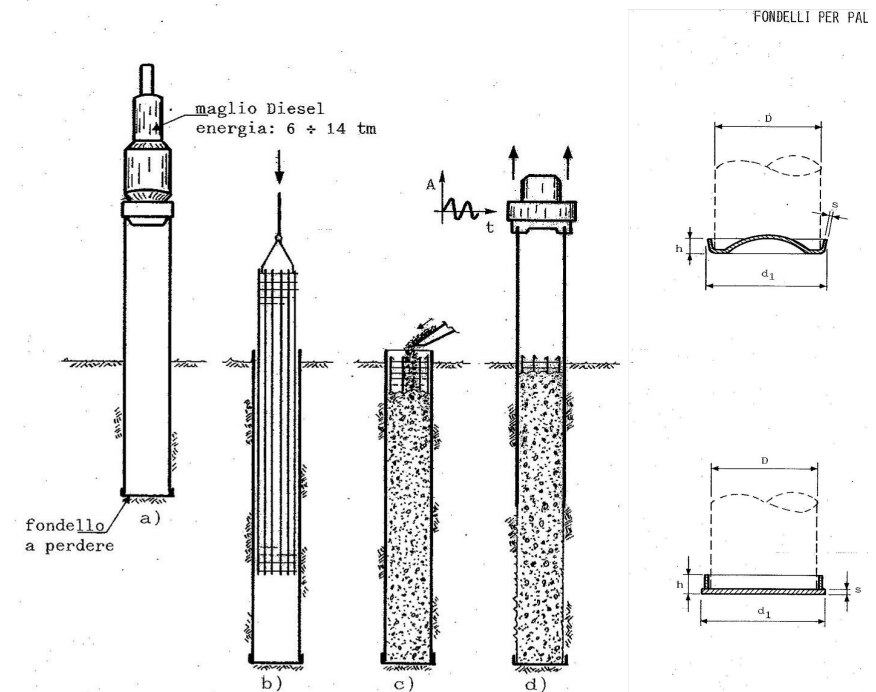


Palo "VIBROTREVI"

Si ha un tuboforma metallico che viene inserito nel terreno battendolo in testa tramite un Maglio Diesel. Sul fondo del tubo è presente un fondello che impedisce il penetrare del terreno nel tuboforma. Una volta completata l'infissione si inserisce nel tuboforma l'armatura, e si getta il calcestruzzo. A questo punto, tramite un vibratore a masse eccentriche si estrae il tuboforma dal foro, così il fondello si stacca dal tuboforma lasciando che il calcestruzzo vada a contatto con il terreno. La vibrazione inoltre favorisce l'assettamento del calcestruzzo.

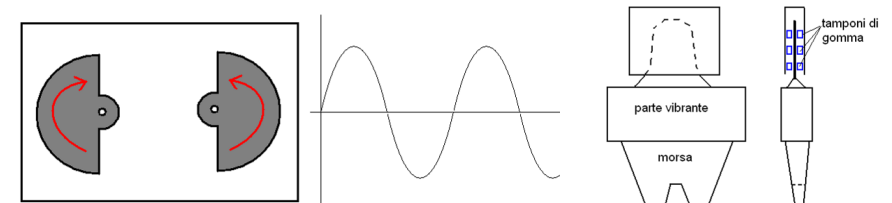
PALI "VIBROTREVI"

FASI DI ESECUZIONE



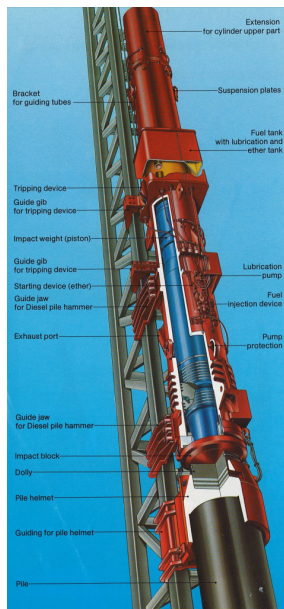
Vibratore a Masse Rotanti:

Il vibratore a masse rotanti fornisce una forza oscillante in direzione verticale, grazie alla rotazione eccentrica di masse, che bilanciano le loro azioni inerziali in direzione orizzontale e le sommano in direzione verticale. Originariamente i vibratorini erano alimentati da motori elettrici con trasmissione a cinghia, ed avevano prestazioni dell'ordine dei 1000-1500 rpm. Al giorno d'oggi sono alimentati da più motori idraulici e sono provvisti di più masse, sono molto sottili (circa 30 cm), e raggiungono i 3200 rpm. Questi vibratorini vengono utilizzati sia per estrarre che per piantare elementi nel terreno (per es. palancole)

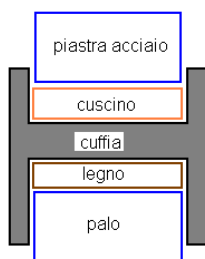


Magli

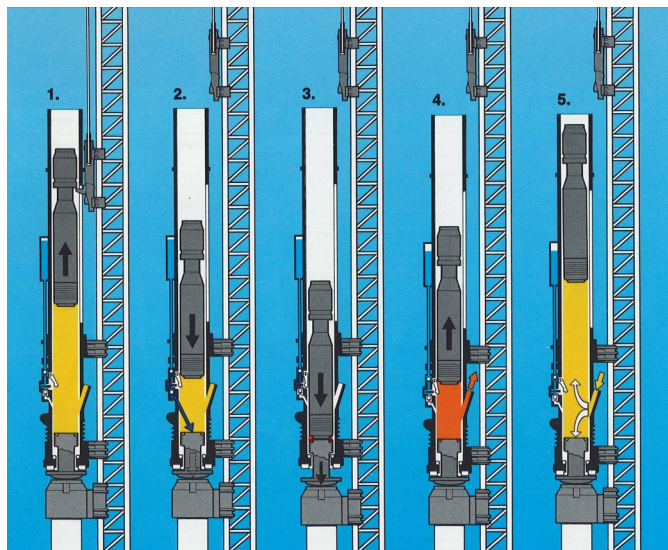
Maglio Diesel



Una prima tipologia di maglio è il Diesel. Si tratta di un motore diesel a iniezione che è costituito dalla massa battente del maglio. La massa è di circa 2,5 metri e non esiste un fermo a protezione del pistone. E' un maglio molto rumoroso ed inquinante, può essere utilizzato fino ad una inclinazione di 45°, varia fra i 40 e i 100 colpi/minuto, e induce ingenti vibrazioni nel terreno circostante. La potenza di un maglio dipende dalla durezza del terreno. Per l'avviamento del maglio si utilizza un carrello che trascina in quota il pistone e la lascia cadere effettuando l'accensione. Può capitare che il terreno sia troppo morbido e non fornisca una sufficiente resistenza: in questo caso non si ha la compressione necessaria per avviare il ciclo e bisogna procedere ad un nuovo avviamento.



Alla base del maglio è predisposta una cuffia in acciaio che con la sua parte inferiore abbraccia il palo (con l'interposizione di alcuni strati di legno) e nella sua parte superiore alloggia una piastra di acciaio che è a contatto col maglio e ne riceve i colpi. Il cuscino può essere formato da: legno, nylon, lamine di alluminio o amianto, funi d'acciaio in rotoli.



Maglio Idraulico

Il maglio idraulico funziona grazie a dell'olio che viene mantenuto in pressione da una pompa. Con riferimento alla figura a fianco, l'olio in mandata (rosso) solleva la massa (4), comprimendo il gas (verde) nella camera superiore. In questa fase la valvola R è chiusa. Poi di colpo la pressione di mandata viene azzerata tramite la chiusura della valvola P e l'apertura della valvola R, così la massa, sotto l'azione della forza di gravità e della pressione del gas (verde), accelera verso il basso vibrando il colpo sul palo. Durante questa fase l'olio viene scaricato attraverso la valvola R, ora aperta. I serbatoi 3 fungono da accumulatori, in modo che in mandata sia sempre assicurata una portata sufficientemente alta, ed evitare colpi di ariete allo scarico.

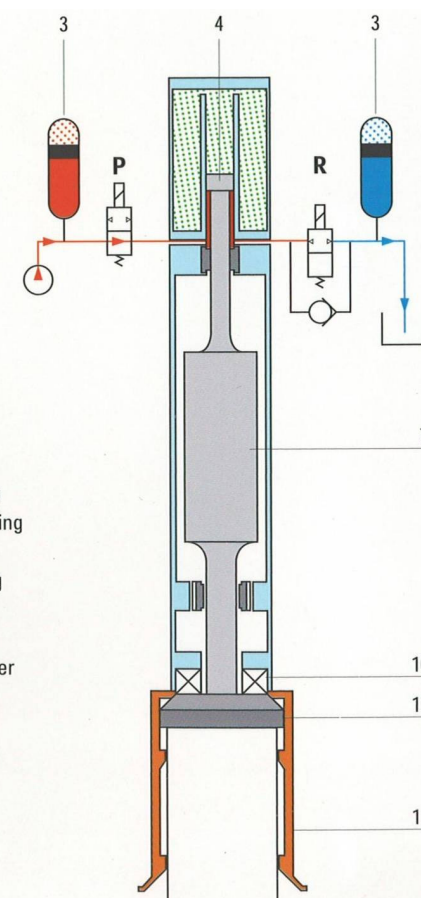
La frequenza di questo maglio può raggiungere i 100 colpi/minuto, ed in più l'energia fornita con l'impatto è superiore rispetto al maglio diesel. In più, ha dimensioni molto ridotte, è facilmente regolabile in funzione del tipo di terreno e non rischia di spegnersi. Può lavorare con inclinazioni molto elevate ed anche non giudato (semplicemente fissato al palo). Può però raggiungere dimensioni considerevoli in altezza, circa 10 metri.

Maglio idraulico a caduta libera

Si tratta semplicemente di una massa che viene sollevata tramite dei martinetti e lasciata cadere sul palo. La corsa della massa è di 1 metro, e può raggiungere la frequenza di 100 colpi/min.

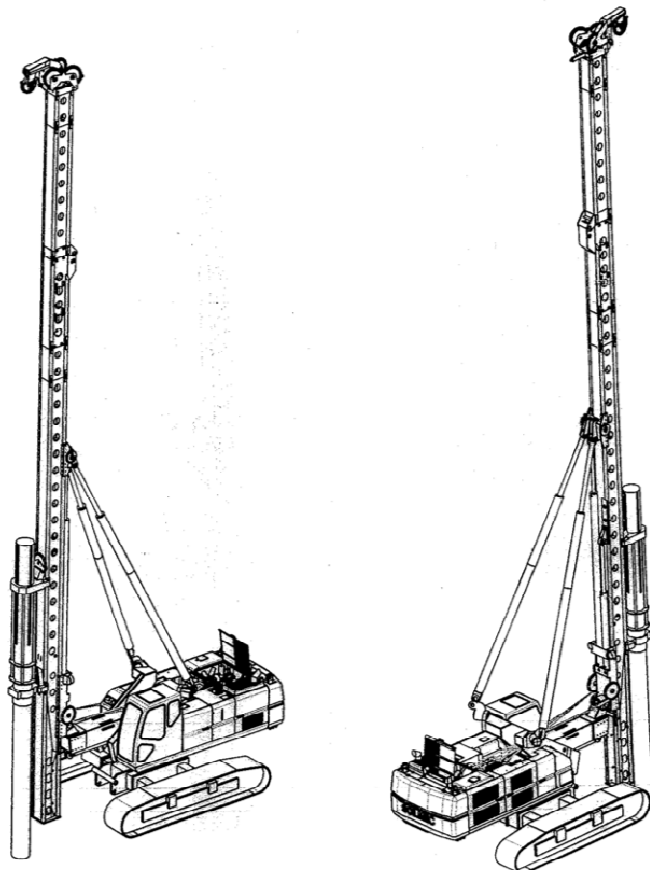
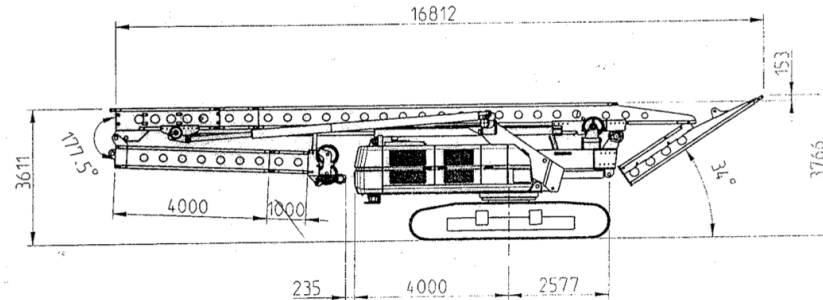
Altri magli

Esistono anche magli a vapore o ad aria compressa.



1. Valve plate
2. Upper leader attachment
3. Accumulator
4. Piston
5. Upper bearing
6. Hammer housing
7. Ram
8. Lower bearing
9. Lower leader attachment
10. Shock absorber
11. Pile sleeve
12. Pile
13. Anvil/Pile cap

Schema di macchina battipalo



Produzione

Per produzione di un cantiere si intende la quantità di pali prodotta giornalmente, in genere espressa in metri al giorno.

Detto così il dato sarebbe enormemente vago a causa di una elevata quantità di fattori imprecisati:

- Le ore giornaliere lavorate noi ne consideriamo 9
- La tipologia del terreno noi ci baseremo su condizioni ottimali
- La potenza della macchina noi ci baseremo su condizioni ottimali
- Le dimensioni del palo le definiremo caso per caso
- L'organizzazione del cantiere la definiremo caso per caso

Se utilizzato con attenzione, il dato permette di confrontare i risultati di cantieri diversi, tenendo però conto degli elementi comuni, ad esempio l'attrezzatura e la squadra, mentre cambiano le condizioni del terreno.

Altro confronto interessante è nello stesso cantiere fra macchine diverse.

Nel settore delle fondazioni esistono due modi di fissare i prezzi: quello degli enti pubblici, che stabiliscono dei valori di riferimento, e quello della trattativa privata che basa il prezzo sui costi reali e sulla produzione prevedibile.

Il secondo metodo tiene conto del costo giornaliero del personale, del costo di ammortamento della attrezzatura, dei consumi, dei tempi di impianto e smontaggio del cantiere, ecc. e li suddivide per la produzione prevista. Si vede quindi quanto sia importante la conoscenza dei fattori che possono influenzare la produzione.

Nel nostro corso utilizzeremo questo dato principalmente per confrontare fra di loro le diverse tecnologie, sia come convenienza tecnica sia come convenienza economica. Nel secondo caso ci serviranno anche elementi di costo.

A tale proposito non dimentichiamo di pensare al paese in cui si lavora.

Ricordiamo la storia curiosa dell'impresa italiana che doveva fare 100 pali trivellati in un paese del Far East entro un mese di tempo. Aveva previsto una macchina di trivellazione, un operatore con un aiutante italiani e tre manovali locali.

Una impresa locale aveva previsto cento manovali con piccone e pala in fondo ad ogni palo (il diametro lo consentiva), e altri cento (prevalentemente le mogli) fuori dello scavo a sollevare il secchio dei detriti da svuotare. La paga in quel paese era così bassa che è stata questa la "tecnologia" vincente. E ha dato da vivere a più di cento famiglie (per un mese).

Nel caso dei pali infissi si possono mettere a confronto, in condizioni favorevoli di terreno, di attrezzatura e personale e spazi di cantiere, le seguenti produzioni orientative.

PALI PREFABBRICATI IN CALCESTRUZZO	300-500 m/giorno
PALI FRANKI CON MAGLIO A CADUTA LIBERA	80-100 m/giorno
PALI VIBROTREVI DIESEL + MORSA	200-350 m/giorno

PALI TRIVELLATI

Esecuzione dello scavo

Come già accennato, l'esecuzione di un foro per la realizzazione di un palo prevede tre fasi: demolizione, rimozione dei detriti e stabilizzazione del foro.

Queste fasi variano in base al tipo di tecnica utilizzata per la realizzazione del palo. Verranno ora descritte in relazione ad una delle tecniche più utilizzate: LDP o Kelly ad aste telescopiche.

LDP (Large Diameter Piles) o Kelly

E' una delle tecniche con la maggior storia alle spalle, e, pur apparendo rudimentale, continua ad essere utilizzata, perché permette di raggiungere profondità e diametri non raggiungibili con altre attrezzature.

Utensili

L'utensile di perforazione può essere una trivella o un bucket.

La trivella è costituita da un tubo centrale con un piatto saldato a spirale attorno ad esso. All'estremità inferiore sono applicati dei denti di varia forma a seconda del terreno su cui si deve operare. In generale le trivelle si impiegano in terreni asciutti o coesivi. La presenza di acqua provoca facilmente lo svuotamento della trivella da detriti incoerenti.



Il bucket è costituito da un cilindro di lamiera che nella sua parte inferiore ha un fondo chiuso con dei denti e degli sportelli che permettono l'ingresso del terreno durante la perforazione, ma non lo lasciano fuoriuscire. Esiste un sistema di apertura del fondo del cilindro che permette di far fuoriuscire il terreno dal bucket quando lo si desidera. I bucket sono utensili chiusi e trattengono meglio i detriti in presenza d'acqua.

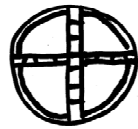
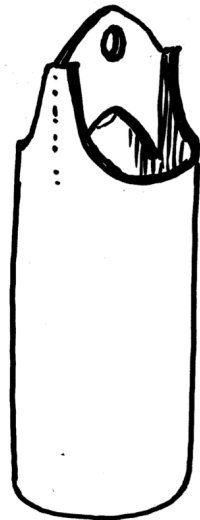


I denti di entrambi gli utensili possono avere forma piatta oppure di forma conica. Quelli di forma piatta sono fissi e si utilizzano in terreni più morbidi, quelli conici sono alloggiati su un supporto che permette loro di ruotare attorno al proprio asse. Questo movimento permette una auto-affilatura del dente. Perciò vengono utilizzati in terreni più duri. I denti sono distribuiti sulla superficie di un cono o su un piano. La distribuzione dei denti è studiata con precisione in modo che nel movimento di rotazione dell'utensile la traccia di ogni dente copre un settore della sezione di scavo.

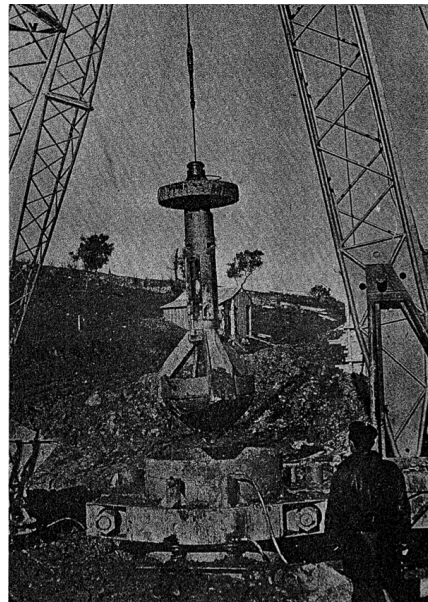
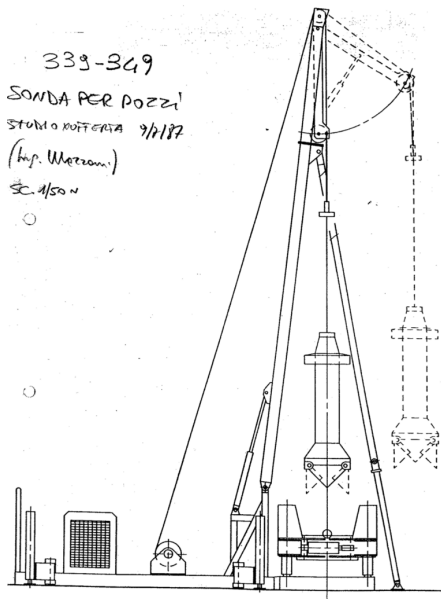
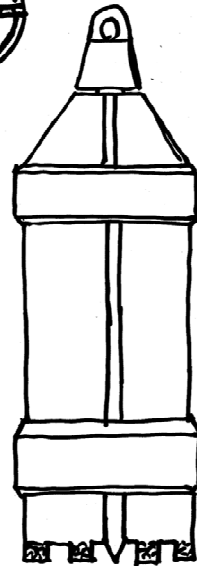
Quando durante la perforazione ci si imbatte in trovanti, rocce dure che non si riescono a scalfire, si può ricorrere ad utensili particolari: per esempio, si possono utilizzare sonde o scalpelli, utensili di cui si faceva largo uso in passato, e che ancora oggi all'occorrenza vengono impiegati. Le sonde sono cilindri metallici la bordo inferiore affilato, che vengono lasciati cadere, tramite la fune di servizio, all'interno del foro. L'impatto genera un taglio del terreno lungo la circonferenza del cilindro, che viene estratto e porta con sé i detriti. Lo scalpello è un cilindro con una struttura a croce nella parte inferiore. Sulla croce sono disposti dei denti. Anche questo utensile viene lasciato cadere nel foro, e nell'impatto frantuma il terreno tramite i denti.

In passato esistevano macchine che eseguivano scavi mediante questi utensili: in particolare la macchina Benoto utilizzava un grappino, ovvero una sonda provvista di valve azionabili. Il sistema Benoto prevedeva una morsa giracolonna che effettuava l'infissione di una tubo (camicia) nel terreno, che veniva svuotato dall'utensile. Il grappino veniva lasciato cadere sul terreno all'interno della camicia, le valve imprigionavano il terreno nell'utensile, che veniva poi estratto e scaricato tramite l'apertura delle valve.

SONDA

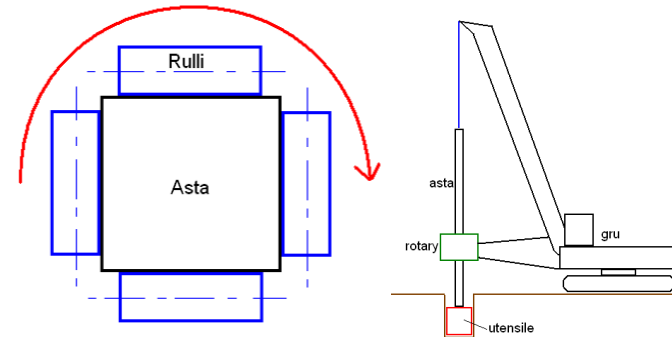


SCALPELLO



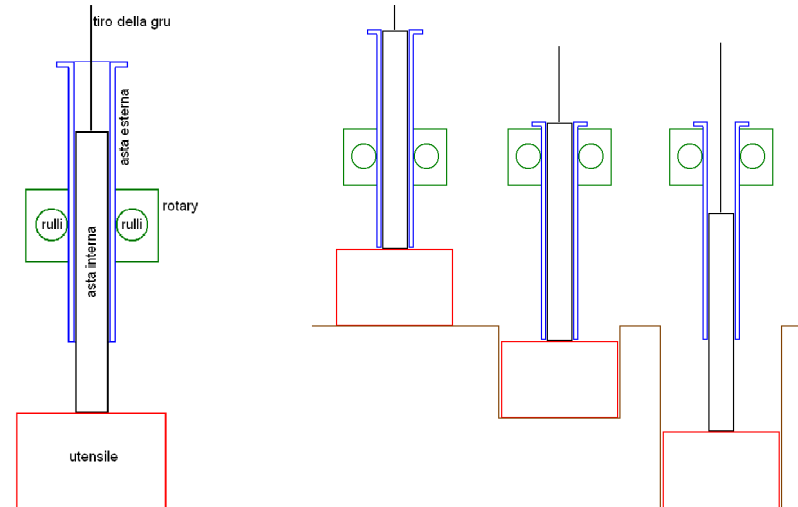
Aste

Inizialmente l'attrezzatura era costituita da un'asta di sezione quadrata e piena, alla cui estremità era applicato l'utensile. L'asta era messa in rotazione da una rotary con motore diesel fissata ad un mezzo cingolato come per esempio una gru. La coppia era trasferita all'asta tramite dei rulli le cui generatrici si appoggiavano sulle superfici laterali dell'asta. L'asta, sostenuta dalla gru, veniva messa in rotazione dalla rotary e l'utensile, grazie alla sua forma ed al suo peso penetrava nel terreno. Conseguentemente l'asta scorreva attraverso al rotary con attriti minimi per la presenza dei rulli.



Aste telescopiche

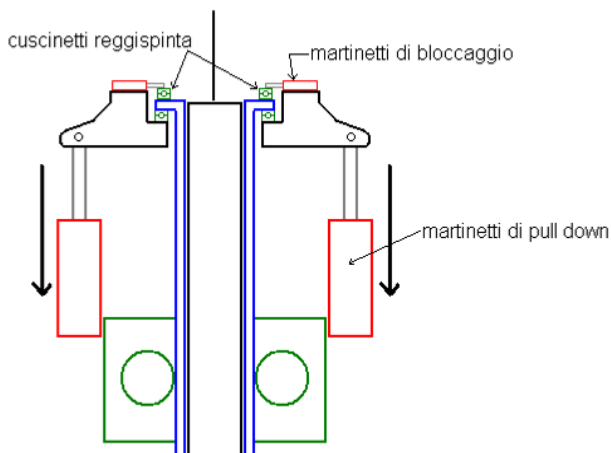
L'evoluzione successiva ha portato all'introduzione di aste telescopiche. Inizialmente si avevano due aste a sezione quadrata. Il tiro della gru sostiene l'asta interna. La rotary trasmette la coppia all'asta esterna e, grazie all'accoppiamento di forma, anche quella interna gira. Inizialmente le aste sono una dentro l'altra e la perforazione inizia. Una volta che la testa dell'asta esterna arriva a livello della rotary la sua discesa si ferma, mentre l'asta interna comincia a sfilarsi continuando la perforazione. In questo modo si aumenta la profondità di perforazione.



Per fare in modo che la fune che sostiene l'asta interna non si attorcigli su se stessa per effetto della rotazione, è presente un girevole, ovvero un sistema a cuscinetti che permette alla fune di sostenere le aste, senza però seguirle nella rotazione.

Pull down

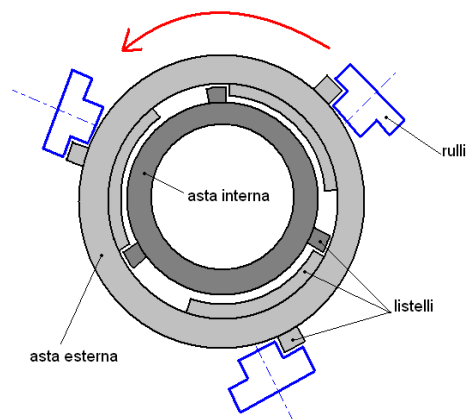
L'avanzamento in perforazione è affidato solamente al peso del sistema aste+utensile, e alla forma dell'utensile stesso. Specialmente nel caso di utensile bucket, l'avanzamento non è garantito, perciò si è inserito un sistema di spinta verso il basso, ovvero di pull-down. E' costituito da dei martinetti fissati alla macchina che, tramite un sistema di cuscinetti reggispinta ed un sistema di bloccaggio garantisce una spinta verso il basso in fase di perforazione. La spinta agisce sull'asta esterna.



Il pull-down, agendo solo sull'asta esterna, ha piena efficacia solo durante la fase di perforazione in cui le aste sono l'una dentro l'altra: infatti, siccome in questa fase l'asta esterna è appoggiata sull'utensile, la spinta si trasferisce direttamente. Invece quando l'asta interna inizia a sfilarsi la spinta viene trasferita per attrito tra le due aste. Questo, specialmente in presenza di terreni duri che provocano forti vibrazioni sull'attrezzatura, è un grosso svantaggio, poiché le vibrazioni fanno scivolare le aste e rendono precario il trasferimento della spinta. Può capitare quindi che l'avanzamento dell'utensile in questa fase sia molto minore della corsa del pull down.

Aste tonde - Kelly

Successivamente l'evoluzione ha portato ad aste di sezione circolare chiamate aste Kelly. La coppia fra le aste viene trasmessa per mezzo di listelli longitudinali saldati lungo l'asta, sia internamente che esternamente, in modo che si impegnino gli uni con gli altri. La coppia dalla rotary all'asta esterna viene trasmessa sempre per mezzo di rulli.



Con questa forma, è stato possibile aumentare il numero di aste inserite l'una dentro l'altra fino a 5.

Demolizione

Ciclo di lavoro: la trivellazione comprende una serie di operazioni cicliche:

- l'abbassamento dell'asta fino al contatto dell'utensile col suolo
- la trivellazione vera e propria, mediante rotazione dell'utensile fino al suo riempimento
- la risalita dell'asta
- la rotazione della torretta fino alla posizione di scarico dell'utensile
- lo scarico dell'utensile
- il ritorno della torretta con l'utensile sull'asse di perforazione

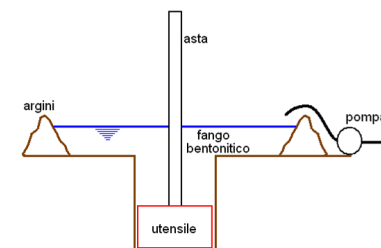
Rimozione dei detriti

La rimozione dei detriti dal foro viene eseguita dall'utensile ogni qual volta esce dallo scavo per l'operazione di scarico. Lo scarico di una trivella avviene per rotazione veloce (chiamata spin-off) della durata di 3-4 secondi, durante la quale la forza centrifuga spinge i detriti a staccarsi dall'utensile. Per un bucket lo scarico avviene tramite il fondo che si apre verso il basso per fare cadere i detriti. L'apertura viene comandata dall'operatore.

Stabilizzazione del foro

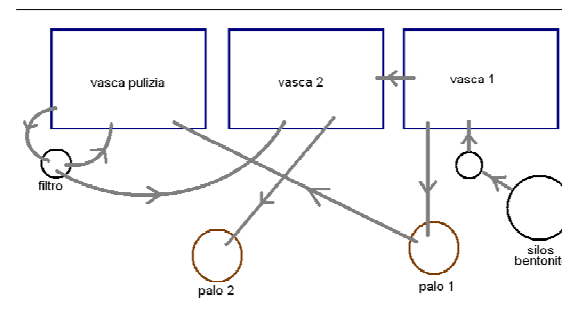
Fanghi Bentonitici

Per evitare il franamento delle pareti dello scavo si usano fanghi di perforazione (bentonite, polimeri) che con la spinta idrostatica e l'effetto impermeabilizzante che svolgono sulle pareti contrastano l'afflusso dell'acqua di falda, le spinte geostatiche e il cedimento delle pareti stesse. Si utilizza una miscela di acqua e bentonite per riempire il foro; questa miscela raggiunge una densità di 1,3 volte quella dell'acqua, permettendo di contrastare in parte la spinta geostatica del terreno. Il livello dei fanghi è mantenuto al di sopra di quello della falda o ancora meglio a bocca-foro. Per questo si usa costruire una piccola vasca con argini di terra attorno al foro e con una pompa centrifuga la si rabbocca ad intervalli per compensare le perdite di fango.



Per ottenere il fango bentonitico si utilizza un miscelatore, in cui si immette acqua e bentonite (la bentonite ha un dosaggio di 30Kg/mc); una pompa preleva miscela dal fondo del miscelatore e la reimmette tangenzialmente, in modo da avere una miscelazione ottimale.

In cantiere è necessario avere il fango bentonitico sempre disponibile per il rabbocco dei fori. E' inoltre necessario riutilizzare il fango bentonitico che si estrae dai fori dei pali completati, che è naturalmente inquinato da detriti e terreno provenienti dallo scavo. Si



utilizza perciò un sistema di vasche (decisamente ingombrante) per la miscelazione e la depurazione del fango bentonitico. Il fango viene preparato e mandato alla vasca 1 dove solitamente viene lasciato 24 ore a maturare. Dalla vasca 1 si estrae il fango necessario all'esecuzione del primo foro (ad es. per un palo di diam. 800 mm da 20m servono 10m cubi, per sicurezza se ne fanno 15). Il fango proveniente da primo palo viene inviato alla vasca di pulizia che lo filtra ripulendolo dalle impurità. Una volta pulito questo fango viene inviato alla vasca 2, nel quale si immette altro fango dalla vasca 1 per reintegrare le perdite. Dalla vasca 2 si estrae il fango per il secondo palo e per i successivi.

Il fango bentonitico per essere considerato idoneo alla stabilizzazione del foro deve rispettare dei requisiti per quanto riguarda viscosità, densità e contenuto in sabbia. E' importante controllare questi valori per evitare che sul fondo del foro si depositi uno strato impurità che potrebbe alterare la portata di base del palo.

Avampozzo

Per evitare il franamento della bocca dello scavo è frequente l'uso di uno spezzone di tubo di diametro maggiore dell'utensile, che viene inserito per qualche metro nello scavo appena iniziato. Uno dei metodi di infissione consiste nell'iniziare lo scavo per circa 3 m, allargarlo di 10-20 cm di diametro mediante l'apposito allargatore inseribile sopra l'utensile, e poi infiggere l'avampozzo spingendolo con l'utensile.

Vibratore

Un secondo metodo, da usare se il franamento è possibile a profondità maggiori, è la infissione di una camicia di rivestimento lunga, mediante vibrotore e gru, in anticipo rispetto alla perforazione.

Casing

Il terzo metodo, più in linea con l'uso della macchina, è l'uso di tubi di rivestimento convenzionali (casing), dotati di giunti e scarpa dentata. A questo scopo, sotto la rotory è collocata una ampia flangia di trascinamento del casing, a cui si salda un primo spezzone di casing chiamato bicchiere di trascinamento, lungo circa 1,5 m. Il movimento rotatorio e la spinta permettono l'infissione di elementi di casing accoppiandoli al giunto del bicchiere. Si prosegue infiggendo più elementi di casing giuntandoli successivamente.

Con questo metodo è possibile infiggere vari elementi di casing, svuotandoli ad intervalli mediante l'utensile. In tal modo si possono raggiungere profondità attorno ai 15-20 m effettuando quindi il cosiddetto intubaggio diretto. L'intubaggio previene il franamento dello scavo ed evita l'uso dei fanghi. L'uso di casing è la miglior garanzia di verticalità e rettilineità dello scavo. Quando il terreno include frammenti rocciosi o trovanti, che tendono a fare deviare le aste dall'asse previsto, si raccomanda la perforazione intubata. In caso contrario le aste possono subire seri danni.

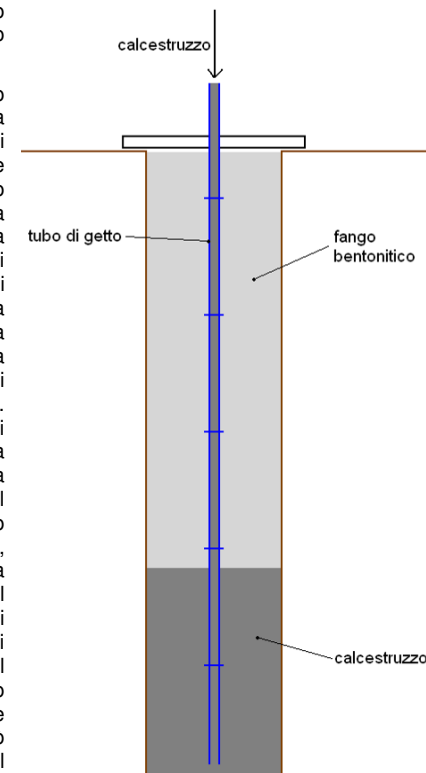
Costruzione del palo

Come già accennato, l'esecuzione di un foro per la realizzazione di un palo prevede tre fasi: inserimento dell'armatura, getto del calcestruzzo e maturazione del calcestruzzo.

Getto del calcestruzzo e inserimento dell'armatura

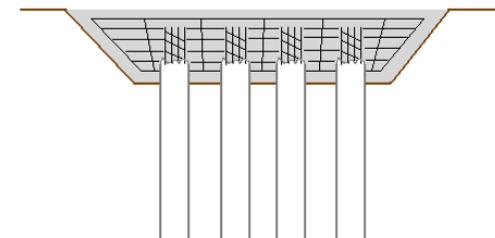
Si descrive la procedura di getto nel caso di palo eseguito con attrezzatura kelly e fango bentonitico.

Si ha il foro appena eseguito pieno di fango bentonitico e detriti di scavo. Si immerge una pompa sul fondo del foro e si estraggono i fanghi e i detriti dal fondo, reimmettendo nuova bentonite pulita da sopra. Si procede anche a pulire il fondo del foro con un apposito raschiatore. Una volta cambiata tutta la miscela bentonitica (si verifica misurando il contenuto in sabbia dei fanghi estratti), si inserisce la gabbia di armatura e si procede al riempimento del foro tramite la tecnica "contractor". Vengono inseriti dei tubi rigidi della lunghezza di circa 2 metri giuntati in sequenza fino a raggiungere il fondo del foro. Si procede poi all'immissione di calcestruzzo attraverso il tubo. Tramite una palla di gomma inserita nel tubo si separa il calcestruzzo dalla miscela bentonitica che invade il foro; una volta spinta fino in fondo la palla esce dal tubo e risale in superficie e il calcestruzzo invade il fondo del foro. Continuando immettere calcestruzzo si riempie il foro dal fondo, lasciando fuoriuscire la miscela bentonitica dalla bocca dello scavo (i fanghi sono ben separati dal calcestruzzo a causa della loro densità minore). Si arriva ad un punto in cui il peso della colonna di calcestruzzo nel tubo equivale a quello del calcestruzzo nel foro più quello del fango bentonitico rimasto, e non è quindi più possibile proseguire con il riempimento. Si procede perciò all'estrazione parziale del tubo (senza superare il livello del calcestruzzo nel foro) in modo da rendere nuovamente squilibrate le pressioni, consentendo l'immissione di nuovo calcestruzzo dall'alto. Arrivati al riempimento completo del foro, si rimuove l'attrezzatura e la parte superficiale del calcestruzzo (che è degradata dai detriti e dal dilavamento da bentonite).



Maturazione

Una volta atteso il tempo necessario alla maturazione del calcestruzzo, si procede all'esecuzione di uno scavo attorno al gruppo di pali della fondazione. Vengono demolite le teste dei pali e viene lasciata solo l'armatura. Si inserisce nello scavo una armatura che viene collegata a quelle dei pali, e si getta altro calcestruzzo, creando un plinto che unisce tutti i pali.



Esempio di macchina kelly: RT3

La macchina RT3 (vedi disegno) è costituita da un motore diesel collegato ad una tavola rotaria a rulli, il tutto collocato su un supporto montabile su una gru.

La tecnica ad aste telescopiche kelly eseguita con RT3 ha diversi svantaggi: il lavoro è ciclico e ci sono molti tempi morti fra le fasi di perforazione vera e propria (il rapporto tra tempo di perforazione e tempo totale varia fra 1/2 e 1/3), inoltre ci sono ingenti tempi per montare la macchina sulla gru. Ma tutti questi svantaggi sono compensati da prestazioni che non sono facilmente raggiungibili con altre tecnologie. Si raggiungono gli 80 metri di profondità con un'ampia gamma di diametri. Inoltre è una tecnica semplice, affidabile e relativamente economica.

PRO

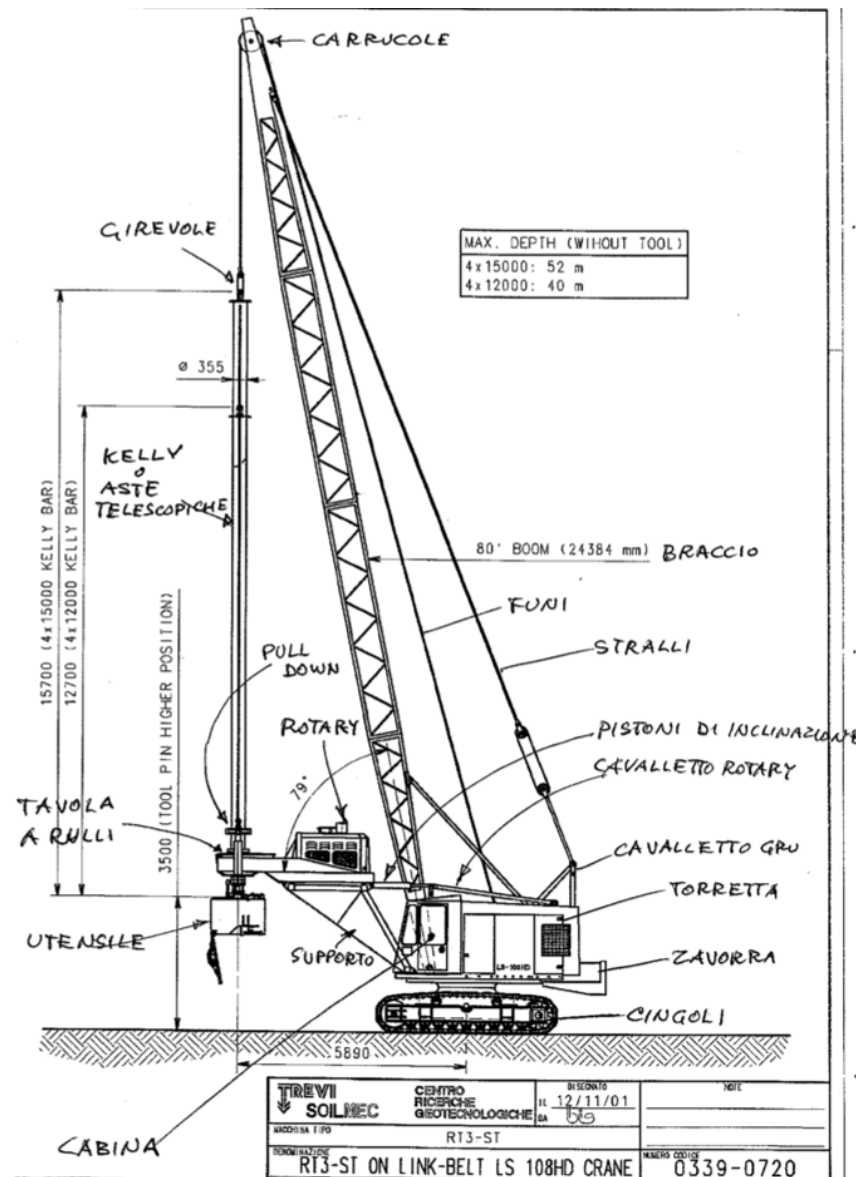
- UTILIZZABILE SU GRU DA 40 + IN SU
- SEMPLICE
- AFFIDABILE
- AUTONOMA
- FACILE INTERFACCIAMENTO CON GRU
- MONTAGGIO VELOCE
- MEDIO E GRANDE DIAMETRO (500-2500)
- GRANDI PROFONDITA' (70-80 m)
- ADATTA AI LAVORI SU PIATTAFORMA GALLEGGIANTE

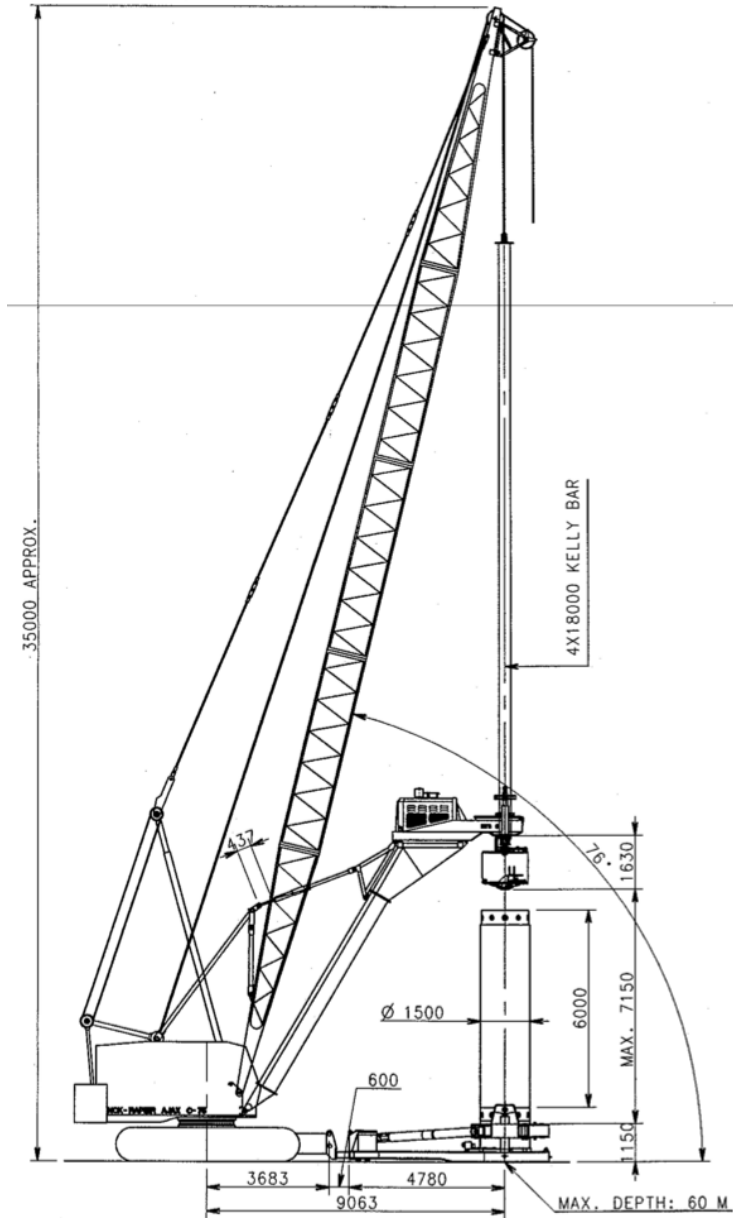
Contro

- PULL-DOWN LIMITATO
- POSIZIONE FISSA
- SENZA LIVELLAMENTO LATERALE

Opzioni

- ABBINABILE A MORSA GIRATUBI, SU TELAIO A GIRAFFA
- ABBINABILE A VIBRATORE, CON RINVIO A META' BRACCIO
- ABBINABILE AD ASTE A CREMAGLIERA
- POSSIBILI PALI INCLINATI SOTTOPANCIA

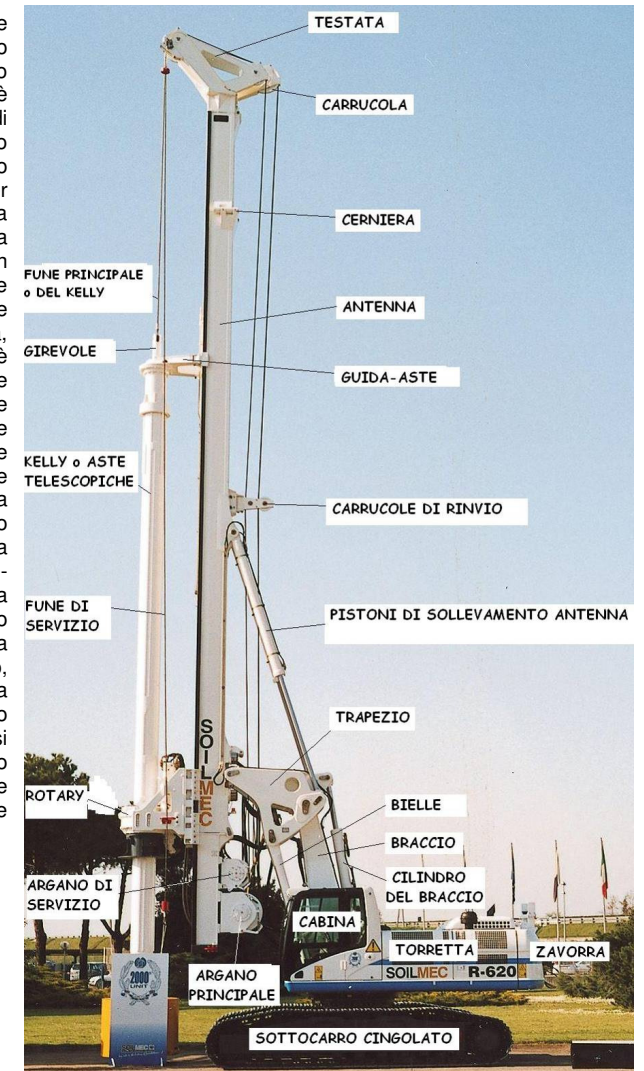




Macchine odierne dedicate all'utilizzo kelly - serie SR (Soilmec rotary)

Generalità

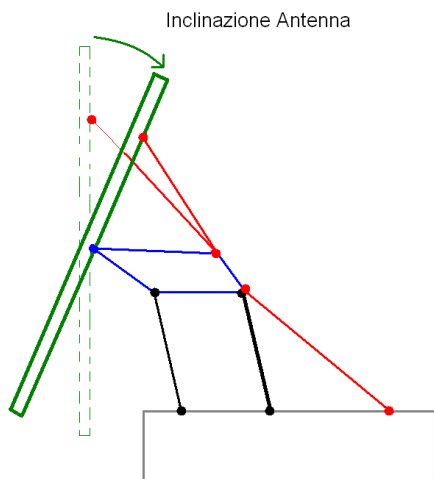
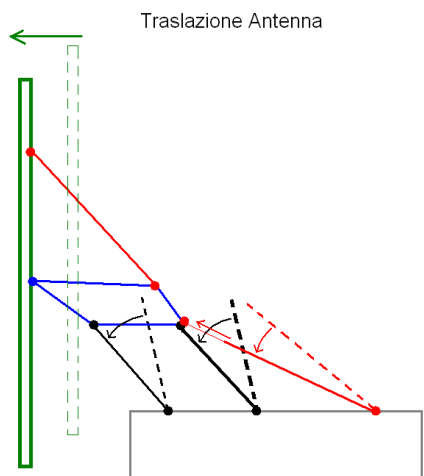
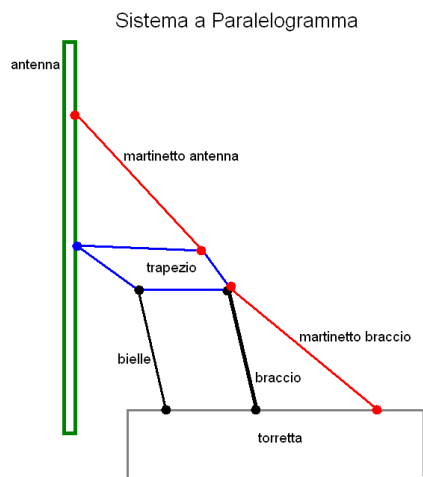
Sono macchine dedicate all'utilizzo con aste kelly. Sono costituite da un carro cingolato con torretta rotante, al quale è applicata un'antenna dotata di guide. La rotary è di tipo idraulico, perciò meno ingombrante della RT3; per questo, la rotary è montata sulle guide dell'antenna ed ha la possibilità scorrere in direzione verticale. Anche le aste sono impegnate sulle stesse guide dell'antenna, nella parte superiore, dove c'è il girevole. In questo modo le aste sono perfettamente guidate in direzione verticale perché nella parte superiore sono vincolate a traslare sulle guide-antenna, mentre nella parte inferiore passano attraverso la rotary, anch'essa scorrevole sulle guide-antenna. Per questo, si ha la certezza che le aste scorrono sempre in direzione parallela all'antenna, in questo modo, se si posiziona l'antenna perfettamente in verticale (o con un'inclinazione voluta), si ha la certezza che il palo risulterà perfettamente verticale (o con l'inclinazione voluta).



Sistema a parallelogramma

E' quindi necessario un posizionamento preciso dell'antenna, in modo da poter impostare in modo accurato la direzione del foro. Per ottenere questo risultato, Soilmec ha introdotto il sistema a Parallelogramma. Si tratta di un sistema di collegamento fra carro cingolato e antenna che, grazie a bielle, braccio e trapezio disposti secondo un parallelogramma, permetta all'antenna di compiere traslazioni in avanti e indietro rimanendo sempre verticale.

Con riferimento agli schemi sottostanti, allungando e accorciando il martinetto del braccio, si attua una rotazione del braccio e delle bielle, mantenendo però paralleli gli altri due lati del parallelogramma: perciò l'antenna trasla orizzontalmente mantenendosi verticale. Allungando ed accorciando il martinetto dell'antenna, si origina un'inclinazione della stessa in avanti o indietro.

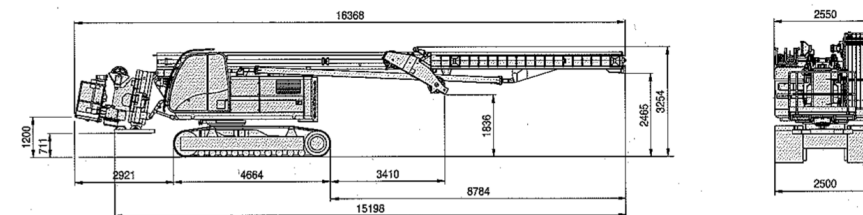
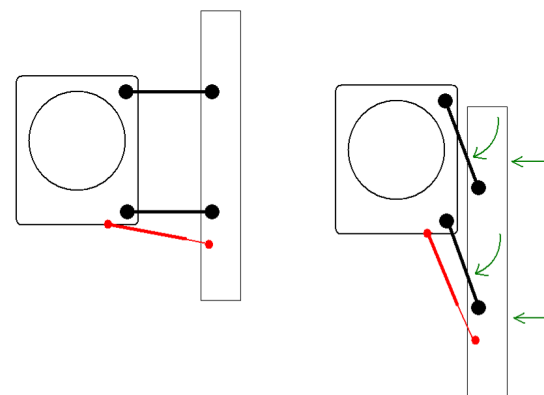


In realtà i martinetti dell'antenna sono due e questo, unito anche ad uno snodo apposito fra trapezio e antenna, permette rotazioni laterali dell'antenna.

Il sistema a parallelogramma offre un'altro importante vantaggio: è possibile effettuare un ripiegamento dell'antenna sulla macchina in posizione orizzontale, abbassando il trapezio al massimo e ribaltando all'indietro l'antenna contraendo il martinetto della stessa. Spesso l'antenna è divisa in due pezzi, collegati tramite uno snodo, e questo offre la possibilità di ripiegare ulteriormente l'antenna. In questo modo è possibile raggiungere un ingombro in posizione di trasporto molto limitato, in tempi brevissimi.

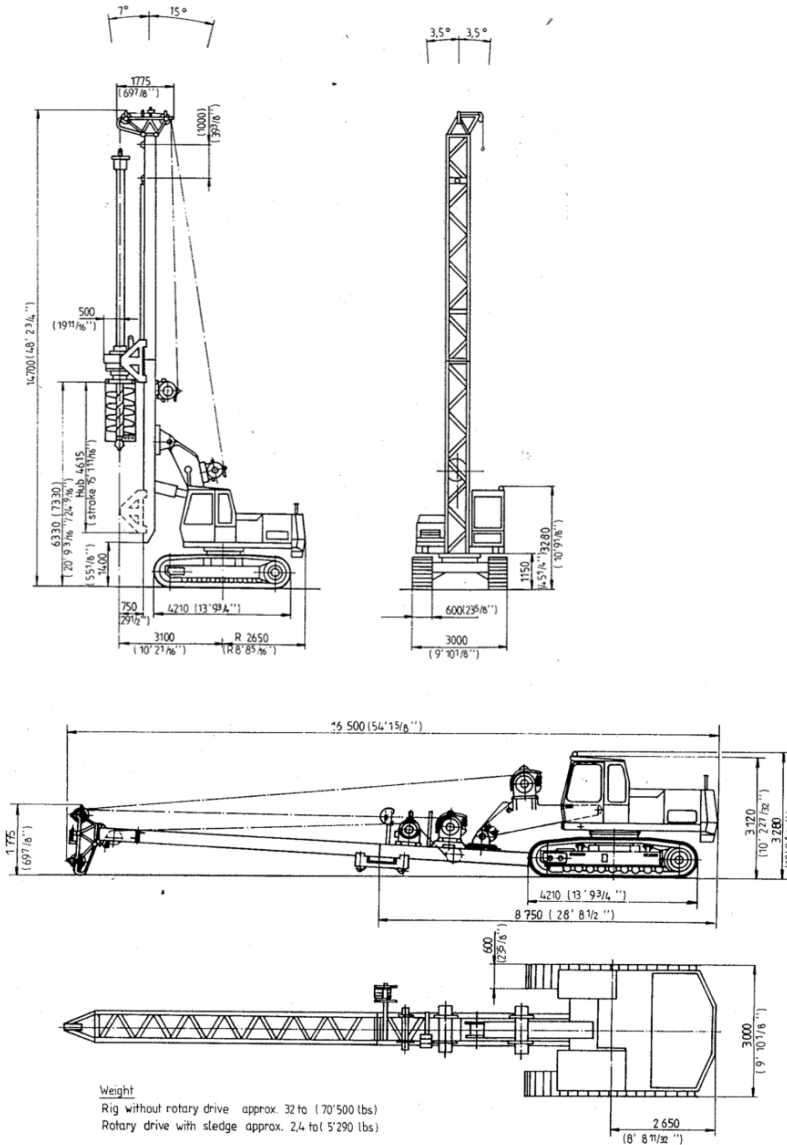


Per ottenere dimensioni minori in condizioni di trasporto si è studiato un'altro accorgimento: per ottenere un minor ingombro laterale, si sono fissati i cingoli a dei bracci oscillanti. Tramite un martinetto i cingoli possono così essere avvicinati alla macchina, diminuendo l'ingombro. Il movimento di rotazione in chiusura porta i cingoli verso la parte posteriore della macchina. Questo era un vantaggio per le macchine non dotate del sistema a parallelogramma, nelle quali l'antenna veniva rovesciata all'indietro, con conseguente spostamento del baricentro; la posizione dei cingoli arretrata in chiusura, favoriva la stabilità della macchina. Il sistema di ritrazione dei cingoli così concepito, creava problemi perché in chiusura il meccanismo si avvicinava ad un punto morto, con conseguente difficoltà nell'apertura successiva. Con l'avvento del sistema a parallelogramma, si è potuti perciò passare ad un sistema di ritrazione dei cingoli più semplice: i cingoli sono fissati alla macchina con un semplice accoppiamento prismatico che ne permette la traslazione laterale, comandata sempre da un martinetto.



Quando Soilmec ha introdotto il sistema a parallelogramma, le macchine della concorrenza utilizzavano sistemi di sostegno dell'antenna molto meno flessibili, e che portavano ad ingombri in posizione di trasporto molto elevati e a tempi lunghi di montaggio.

BAUER BG 7-3
Base Crane Liebherr R 932 T
– Drilling with Kelly Bar –



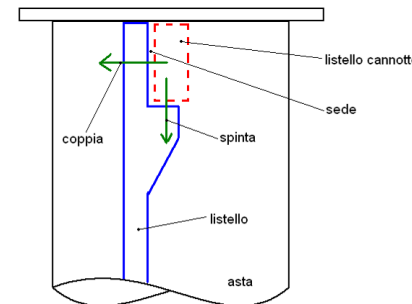
Pull down e accoppiamento rotary-aste

Un'altra importante caratteristica di questo tipo di macchine è la presenza di un martinetto di pull down. Questo martinetto è collocato sull'antenna e spinge direttamente sulla rotary, fornendo la forza necessaria alla penetrazione dell'utensile.

La presenza di questo pull down rimanda al problema già trattato precedentemente della trasmissione della spinta e della coppia fra rotary e aste e fra asta ed asta. Le rotary di queste macchine generalmente non sono provviste di rulli come quella della RT3, proprio perchè la rotary può scorrere sull'antenna verticalmente e non è quindi necessario che l'asta vi scorra dentro. In questo caso invece la rotary è dotata di un canotto con listelli rivolti verso l'interno, che si impegnano nei listelli delle aste trasmettendo la coppia. Per la trasmissione della spinta si hanno due situazioni:

Aste ad attrito

Si era già descritta la trasmissione della spinta per mezzo dell'attrito fra i listelli delle aste. In questo caso, anche fra canotto della rotary ed asta esterna si ha trasmissione di spinta per attrito, con i problemi connessi e già descritti precedentemente.



l'interno, che vanno ad impegnarsi nelle sedi dell'asta più interna.



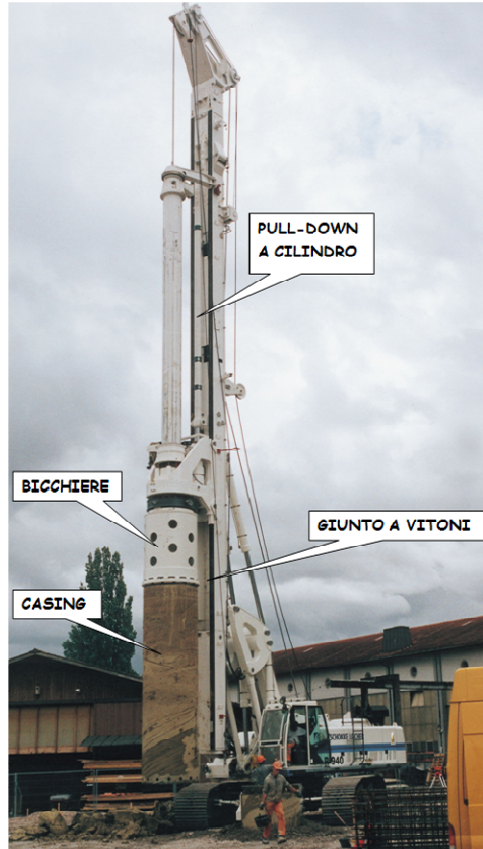
Aste a bloccaggio

Soluzione più utilizzata è invece quella delle aste a bloccaggio. Sull'asta esterna, in testa ed a metà asta, sono realizzate delle sedi dove si vanno ad impegnare i listelli del canotto della rotary. In questo modo si può trasmettere sia la coppia che la spinta. Per la trasmissione di coppia e spinta fra le aste il sistema è lo stesso: sul fondo di ogni asta è realizzato un canotto con listelli rivolti verso

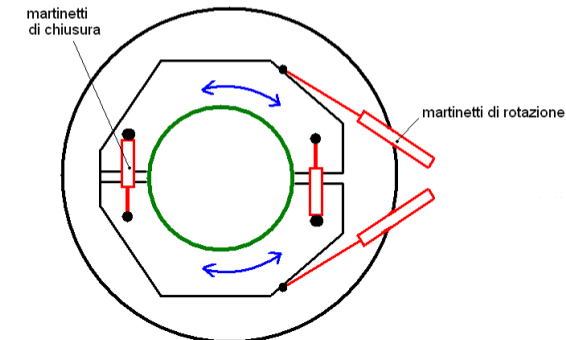
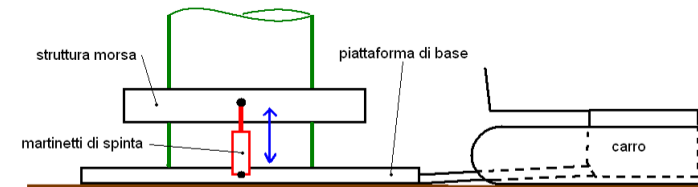
Casing

Questa tipologia di macchina si presta agevolmente all'utilizzo di casing durante lo scavo, visto che la rotary può traslare in verticale, lasciando lo spazio per l'elemento di casing. Esistono due modi per infiggere il casing:

1. Si applica il bicchiere alla rotary. Sotto il bicchiere è presente un giunto a vitoni a cui collegare l'elemento di casing. In questo modo grazie alla rotazione ed al pull down della rotary si riesce a infiggere il casing nel terreno per 15-20m, nel caso in cui questo sia adatto. Infatti, con questo metodo, non si riesce a infiggere il casing in terreni troppo duri, perchè la forza di pull down non è sufficiente.



2. Utilizzando la morsa giracolonna si possono infiggere casing in tutti i tipi di terreni, ma rispetto al metodo precedente è necessario più tempo, sia per la lentezza del meccanismo della morsa, sia per le operazioni di montaggio e smontaggio della stessa. La morsa giracolonna è costituita da una piattaforma che appoggia per terra attorno al palo ed è collegata alla macchina. Da questa piattaforma partono due martinetti che sostengono la una struttura che avvolge il casing e lo stringe tramite altri martinetti. Questa struttura è in grado di ruotare verso destra e verso sinistra di 24°, comandata da dei martinetti di rotazione. Una volta stretto il casing con la morsa, se si vuole infiggere un casing si contraggono i martinetti di spinta, scaricando tutta la trazione sulla piattaforma sottostante che tende ad alzarsi. Contemporaneamente si imprime una rotazione alternata al casing tramite i martinetti di rotazione: grazie alla rotazione ed al peso della morsa stessa il casing tende a scendere. Nel caso il peso non fosse sufficiente, la piattaforma è collegata al carro ed ha un blocco che ne impedisce l'innalzamento. La spinta perciò si scarica sulla macchina (tendendo ad alzarla), ed il casing si abbassa. Si continua così fino ad esaurire la corsa dei martinetti di spinta, ed a questo punto si ricomincia il ciclo, allentando la morsa, estendendo i martinetti di spinta e stringendo il palo con la morsa nuovamente in un punto più alto. Se invece si vuole estrarre il casing, si estendono i martinetti di spinta, che scaricano tutta la forza sulla piattaforma, e quindi sul terreno.



Per casi particolari esistono i rotators: sono macchine dedicate solo all'infissione di camicie. Sono in grado di eseguire una rotazione continua della camicia unitamente ad una spinta verticale. Il costo della macchina è molto elevato.

SERIE SR – ROTARY CINGOLATE AUTOMONTANTI

Pro

TRASPORTO MACCHINA COMPLETA

MONTAGGIO RAPIDO

ROTARY SCORREVOLE ADATTA A: INTUBAGGIO DIRETTO

MORSA GIRATUBI

ASTE A BLOCCAGGIO E NON

MEDIO E GRANDE DIA

METRO (500-3000 SECONDO IL MODELLO)

PROFONDITA' MEDIO-GRANDI (40-70 m SECONDO IL MODELLO)

POLIVALENTE (CFA, CSP, RCD, DTH, MIXING)

UTILIZZABILE SENZA INTUBAGGIO, A SECCO, CON BENTONITE O POLIMERI

LIVELLABILE SUI DUE ASSI

RAGGIO DI LAVORO VARIABILE

POSSIBILI PALI INCLINATI IN FUORI

Contro

INADATTA A LAVORI SU PIATTAFORMA GALLEGGIANTE

Opzioni

OPZIONE CORSA LUNGA

Produzione

Diamo valori indicativi per pali diam.800 lunghi 20 m, lavoro in condizioni ottimali, turni di 9 ore.

Ovviamente il getto del calcestruzzo eseguito con una macchina a parte accelera la produzione della macchina di perforazione (ma in genere aumenta i costi unitari).

TRIVELLATI A SECCO	90 m/giorno	CON GRU A PARTE PER GETTO	150 m/giorno
TRIVELLATI IN FANGO	65 m/giorno	CON GRU A PARTE PER GETTO	90 m/giorno
TRIVELLATI INTUBATI	40 m/giorno	CON GRU A PARTE PER GETTO	90 m/giorno

Si descriverà ora una tecnica per l'esecuzione dei pali gettati in opera trivellati molto diffusa ed efficace.

Elica continua - CFA (continuous flight auger) - serie SF (Soilmec Flight)

Tra le varie tecniche per realizzare pali trivellati, una delle più utilizzate è il palo trivellato ad elica continua. Questo metodo è impiegato in terreni di bassa e media consistenza, più o meno coesivi ed anche in presenza di falda acquifera. La tecnica di perforazione in oggetto è stata studiata principalmente per ridurre al minimo le vibrazioni, il rumore e la decompressione del terreno tanto da poter essere impiegato anche nelle vicinanze di strutture esistenti.

Questo palo può avere un diametro variabile da 30 a 120 cm e capacità portante fra 40 e 220 tonnellate; la profondità massima, che è in funzione della resistenza del terreno da attraversare, può raggiungere i 40 metri.

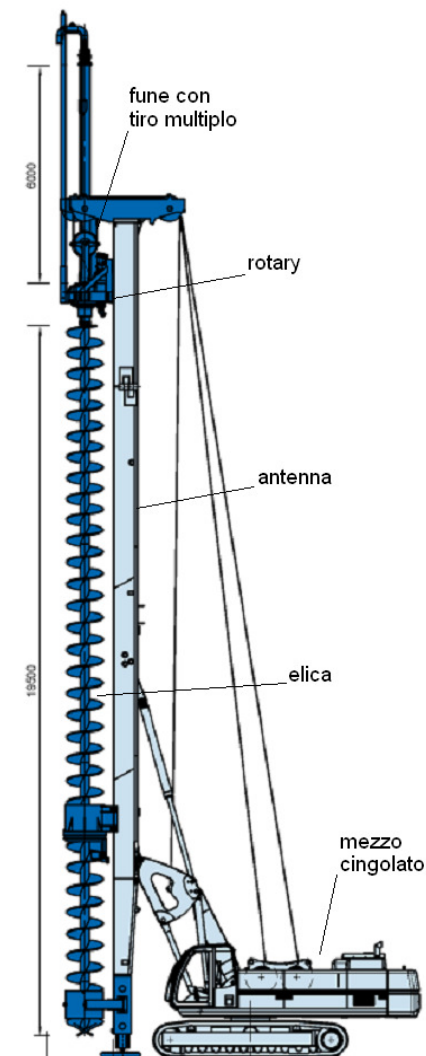
Esecuzione dello scavo

Utensile ed attrezzatura

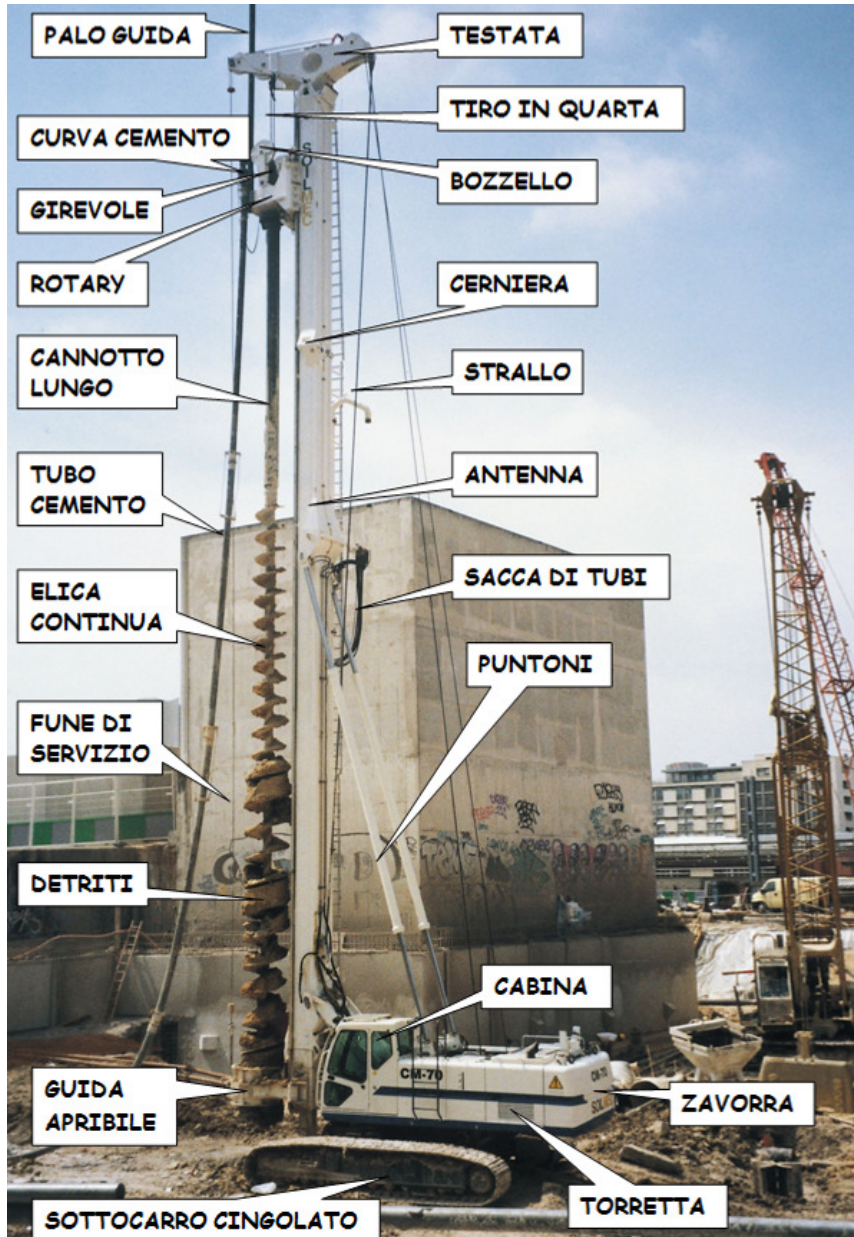
La perforazione si esegue mediante un utensile costituito da un piatto elicoidale in acciaio saldato ad un'asta cava centrale munita, in corrispondenza della estremità inferiore, di denti che ne facilitano la penetrazione nel terreno.

L'ingresso di terreno nella cavità centrale è impedito da una punta a perdere o da un coperchio collocati sul fondo. In cima all'elica è collocata una tavola rotaria, un apparato dotato di motori idraulici in grado di imprimere una rotazione attorno all'asse dell'elica, che opera con coppia torcente e sforzo assiale idonei a vincere la resistenza del terreno. Tutto questo apparato è fissato ad una torre in elementi flangiati o tubolari, chiamata antenna, di altezza adeguata alla lunghezza dei pali da eseguire, installata su un carro cingolato. La rotary (e con essa l'elica) è libera di muoversi verticalmente viaggiando su apposite guide dell'antenna. Il movimento verticale è limitato solo da una fune con tiro multiplo (5 o 4 rinvii) applicata alla rotary e collegata alla sommità dell'antenna.

L'attrezzatura CFA viene montata su macchine del tutto simili a quelle per utilizzo kelly. Si è operata una unificazione delle macchine per portare ad una polivalenza della stessa macchina fra le tecnologie: acquistando una macchina attrezzata per CFA, si può poi passare al kelly sostituendo alcuni componenti, e viceversa (Serie SR). Esistono anche macchine dedicate (Serie SF).



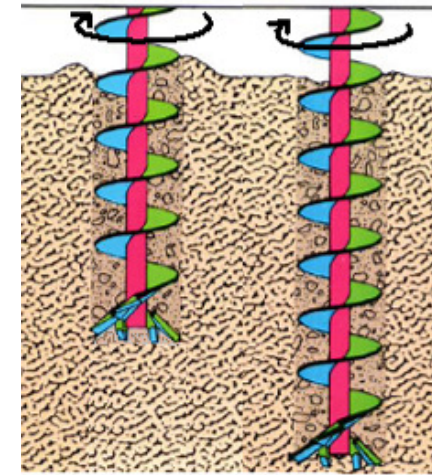
Nomenclatura



Demolizione

L'elica, grazie al suo peso ed alla rotazione garantita dalla tavola rotaria, penetra nel terreno e tende ad avvitarci in esso; il tiro multiplo della fune però trattiene l'elica, rendendo il suo avanzamento verticale minore del passo. In questo modo l'elica non si avvita nel terreno, ma avanza spostandolo lateralmente, e sollevandolo all'interno della coclea. C'è quindi una parziale costipazione del terreno circostante.

Trivellazione



Costruzione del palo

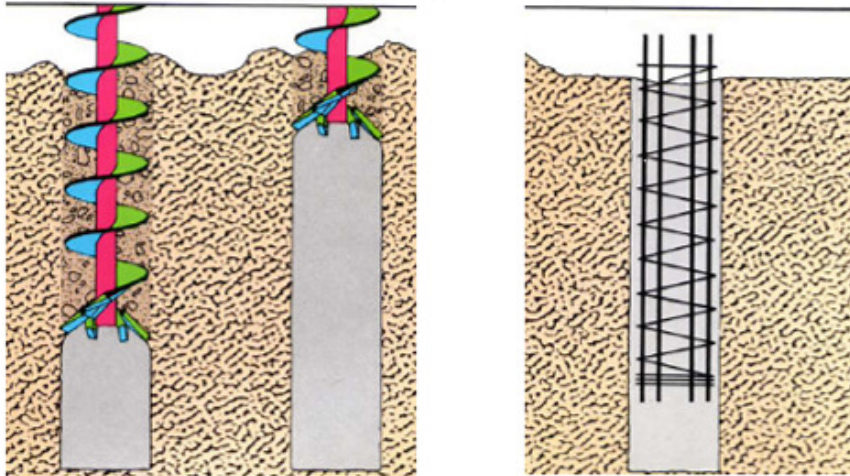
Rimozione dei detriti e getto del calcestruzzo

Una volta raggiunta la profondità desiderata, si procede all'estrazione dell'elica dal foro, che porta con se, intrappolati all'interno delle spire, detriti e blocchi di terreno compattato. Durante l'estrazione l'elica viene mantenuta ferma o in lenta rotazione solo nel senso di avvitarmento (in alcuni paesi è vietato ruotare l'elica durante l'estrazione), perché in caso contrario si avrebbe lo scarico dei detriti nel foro. Simultaneamente all'estrazione, viene pompato del calcestruzzo all'interno dell'asta cava centrale, in modo da riempire il foro man mano che l'elica viene estratta. In questo modo si sfruttano i tempi morti dell'estrazione per effettuare la gettata, evitando così di dover adottare metodi di consolidamento del foro, poiché lo scavo è sempre pieno, prima di terreno smosso, poi di calcestruzzo.

Inserimento dell'armatura

Terminata l'estrazione si colloca all'interno del foro pieno di calcestruzzo, una gabbia metallica costituente l'armatura del palo. Spesso è necessario usare una pala o un vibratore per far scendere l'armatura attraverso il calcestruzzo.

Estrazione ed esecuzione del getto Inserimento armatura



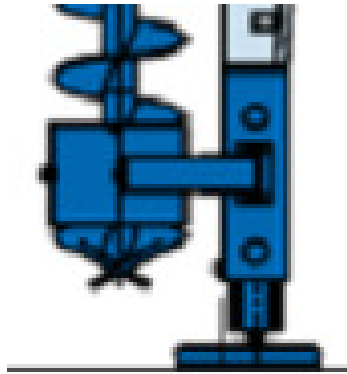
Particolarità costruttive

Tiro

Il calcolo del tiro necessario all'estrazione si esegue in questo modo: $\text{Volume cilindro perforato} \times 2 = \text{Tiro}$.

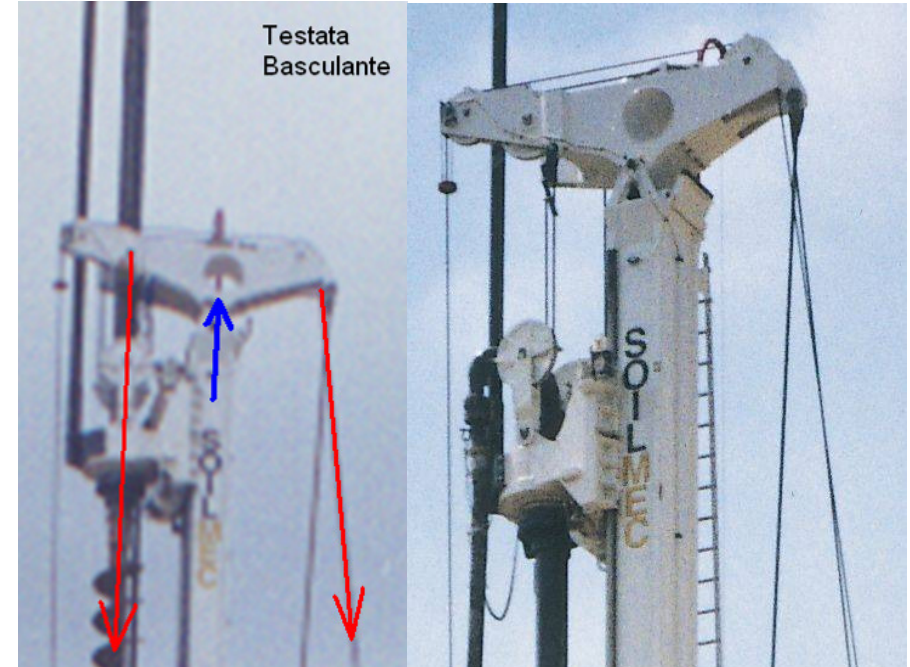
Piede

Una macchina per elica continua può avere un peso che si aggira sulle 30-40 tonnellate; spesso il tiro in estrazione ed in trattenimento è molto maggiore del peso macchina. Perciò si è dotata l'antenna di un piede telescopico che, al momento del posizionamento della macchina viene estratto ed appoggiato sul terreno, in modo da scaricare tutto il tiro al suolo durante il lavoro.



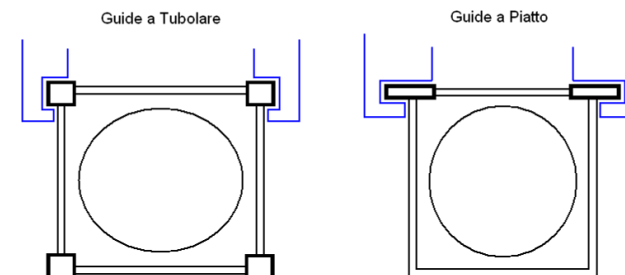
Testata

La testata ha una geometria particolare: è infatti basculante: questo accorgimento è stato adottato per evitare che, se la testata fosse stata a sbalzo, l'antenna si potesse inflettere sotto la forza di tiro. In questo modo invece, l'antenna è caricata sempre in maniera assiale, e non subisce sforzi di flessione. L'antenna può così essere costruita con lamiere di spessore sottile, ottenendo un risparmio di peso notevole.



Guide

Per quanto riguarda le guide dell'antenna su cui scorre la rotary ne esistono di due tipologie: a tubolare o a piatto.



Geometria elica

Esistono vari tipi di eliche, con diametri diversi e passi diversi.

Diametro	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
Passo	400	450	450	500	500	500	600	600	600	700	700	700	700

La parte iniziale dell'elica alloggia dei denti per scalfire il materiale, simili a quelli già citati per bucket e trivelle. La parte iniziale dell'elica è quasi sempre a due principi, ma dopo un giro una spirale si interrompe e l'elica continua ad un solo principio, assestandosi sul passo nominale. Il doppio principio viene creato perché in questo modo gli sforzi alla punta sono più equilibrati. Eliche ad un principio producono un flusso di detriti più scorrevole con sforzo minore.

Guida apribile

Alla base dell'antenna, fissata al piede, è posta una guida per l'elica costituita da due semicilindri che possono aprirsi scostandosi dall'elica. La guida serve nelle fasi iniziali della perforazione, per far avere un posizionamento preciso all'elica; in seguito, quando l'elica è già penetrata nel terreno, la guida viene aperta perché il foro fa da guida.

Pulitore

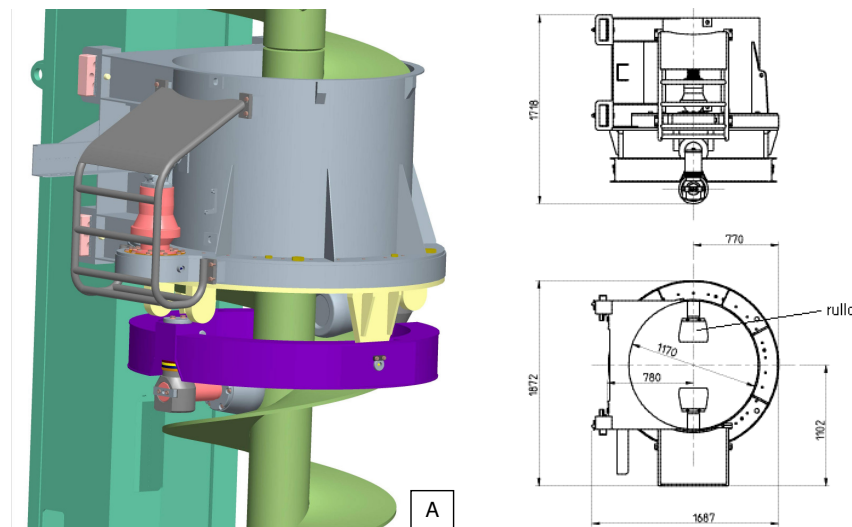
Una delle problematiche della perforazione ad elica continua è la permanenza di terreno e detriti all'interno delle spire dell'elica. Infatti quando l'elica viene estratta dal foro risulta sempre piena di terreno, ed il grado di riempimento fra spira e spira varia in funzione della profondità e della natura dei terreni attraversati: i riempimenti maggiori si verificano in presenza di terreni coesivi compatti.

Il materiale che rimane fra le spire costituisce un problema sotto due punti di vista: per prima cosa è molto pericoloso per gli operatori che lavorano attorno alla macchina, perché i blocchi di materiale compattato possono staccarsi imprevedibilmente dall'elica e cadere anche da grandi altezze; in secondo luogo, il materiale che non si stacca spontaneamente rimane sulle spire fino all'esecuzione del palo successivo e si stacca durante la perforazione, creando un accumulo eccessivo ed indesiderato all'imbocco del foro.

E' quindi necessario rimuovere il terreno ed i detriti dall'elica durante la fase di estrazione, facendo in modo che si stacchino dalle spire appena queste escono dal foro. È per questo che sono nati i pulitori d'elica: la tipologia di pulitore più diffusa ed efficace è il pulitore a rulli. Il funzionamento di questi dispositivi è semplice: l'obiettivo è di far sì che l'elica sia percorsa per tutta la sua lunghezza, in fase di estrazione, da un rullo, che poggiando sulla sua superficie stacchi i detriti e li faccia cadere. Esistono pulitori a uno o a due rulli, di diverse misure e tipologie; quelli ad un rullo possono essere o meno dotati di un vomere che raschia la superficie dell'elica.

Generalmente il pulitore a rulli è costituito da un cilindro in lamiera, di diametro poco superiore a quello dell'elica, ed altezza maggiore del passo, che circonda l'elica. Il cilindro presenta delle appendici che ospitano dei pattini, i quali si impegnano sulle guide dell'antenna (le stesse guide su cui scorre la rotary): in questo modo il cilindro può scorrere in direzione verticale. Nella parte inferiore del cilindro è collocata una ralla, che fa da interfaccia fra la parte fissa del pulitore, ovvero il cilindro, ed una parte rotante collocata sotto la ralla. La forma della parte rotante può variare a seconda della tipologia di pulitore che si sta considerando: nel pulitore a doppio rullo è costituita da una corona basculante su due appoggi, che ospita due incastri, dove si impegnano due alberi che sporgono verso l'interno e sorreggono i rulli. Nel pulitore a singolo rullo invece la parte rotante è costituita semplicemente da una corona che ospita un solo albero con un solo rullo.

La ralla è posta in rotazione da un motore idraulico collocato sulla parte fissa del pulitore.



Si prende in considerazione il pulitore a doppio rullo (A) allo scopo di descriverne il funzionamento. In condizione di lavoro, il pulitore poggia sull'elica per mezzo dei due rulli, sfalsati l'uno rispetto all'altro di mezzo passo-elica; durante la perforazione, l'elica ruota nel senso di avanzamento, perciò tende a far risalire il pulitore, che in questa fase non svolge alcuna funzione. Una volta terminata la perforazione, ed iniziata la fase di estrazione dell'elica, il pulitore inizia a svolgere la sua funzione di rimozione dei detriti. L'elica sale traslando secondo il suo asse, senza ruotare, mentre il pulitore viene messo in funzione dall'operatore, che aziona il motore idraulico, il quale trasmette il moto di rotazione alla ralla e quindi alla corona basculante con rulli annessi. I rulli perciò iniziano a ruotare attorno all'asse dell'elica, percorrendo le spire in senso discendente, e facendo quindi scendere il pulitore. Percorrendo l'elica i rulli incontrano il terreno ed i detriti intrappolati fra le spire, e li staccano facendoli cadere. Grazie alla corona basculante, che permette ai rulli di oscillare verticalmente, si ha la garanzia che entrambi siano sempre appoggiati sull'elica. Il pulitore in questa fase è posizionato ad una quota limitata, in modo che i detriti cadano da un'altezza non pericolosa.

Normalmente la velocità di discesa del pulitore è maggiore di quella di risalita dell'elica, quindi la pulizia viene eseguita ad intermittenza: quando il pulitore scendendo lungo l'elica arriva quasi al livello del terreno, il motore viene fermato; di conseguenza il pulitore risale trascinato dall'elica. Una volta raggiunta una quota massima, il motore viene fatto ripartire, ed il pulitore ricomincia la sua discesa fino al punto di minimo, e così via fino alla fine dell'estrazione dell'elica.

I pulitori d'elica a rulli è ritenuto il miglior metodo per ottenere una

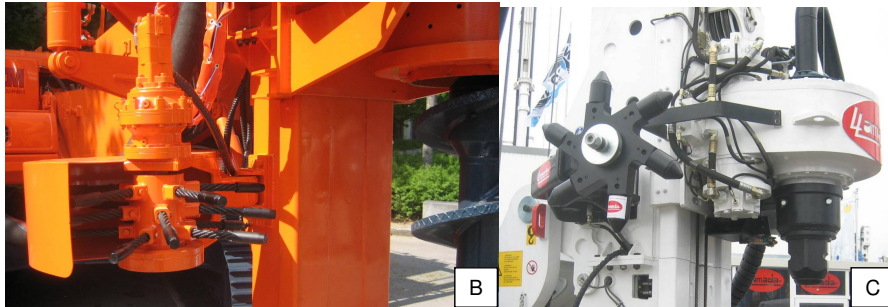


pulizia completa, sicura della coclea, soprattutto in presenza di terreni molto compatti. Questo metodo comporta uno svantaggio: il pulitore è sempre impegnato sull'antenna ed attorno all'elica, e non può essere smontato in fase di perforazione. Questo fatto pone una grande limitazione alle potenzialità della macchina perforatrice, perché rende impossibile alla rotary la discesa fino a fine corsa, limitando l'altezza di perforazione. La rotary non può arrivare a fine corsa per due motivi: prima di tutto i suoi pattini poggiano sulle stesse guide su cui sono appoggiati quelli del pulitore, perciò, una volta scesa all'altezza del pulitore, non può più avanzare. Inoltre l'ingombro del pulitore stesso attorno all'elica, impedisce alla rotary di procedere, fermandosi forzatamente prima di arrivare a livello del suolo. La decurtazione di profondità coincide con l'altezza del pulitore più un certo margine per evitare contatti, e si può quantificare in circa 2 metri.

Negli anni, sono stati sviluppati diversi sistemi di pulizia dell'elica che non comportano perdite in capacità di perforazione.

Un primo esempio sono i pulitori a spazzole (B): si tratta di due cilindri rotanti ai quali sono fissati, in direzione radiale, dei cavi in acciaio, in modo da formare una spazzola di forma cilindrica. Le spazzole nel momento opportuno vengono affiancate all'elica e messe in rotazione, in questo modo i cavi di acciaio colpiscono i detriti pulendo l'elica. Questo dispositivo però è pericoloso per la possibilità che i detriti vengano lanciati a vari metri di distanza dalle spazzole, nonostante la presenza di varie carenature al sistema. Inoltre non offre una pulizia perfetta perché le spazzole non passano in tutti i punti dell'elica, visto che sono fisse ai lati di questa; la sua applicazione perciò è possibile solo se si ha la possibilità di ruotare l'elica (nel senso di avanzamento) durante l'estrazione, pratica vietata in alcuni paesi.

Un secondo sistema sono i pulitori a stella (C): si hanno due serie di rulli (o di pale o anche cavi di acciaio) disposti a stella attorno ad un asse: la distanza circonferenziale fra gli elementi è pari al passo dell'elica. Le due stelle vengono accostate all'elica in modo che i rulli (o le pale) si impegnino fra le spire, e che grazie alla possibilità di ruotare attorno all'asse della stella possano seguire il movimento di risalita dell'elica: anche in questo caso non si ha garanzia di pulizia ottimale senza ruotare l'elica.



Tubo centrale

Il tubo centrale dell'elica serve per effettuare il getto di calcestruzzo. Per evitare che durante la perforazione entri del terreno nel tubo, si inserisce un coperchio a perdere di alluminio. Esiste un sistema, adatto per terreni duri, che prevede una curva del tubo di getto negli ultimi centimetri, in modo che la bocca di getto sia disposta più lateralmente. Nella zona opposta a quella della piega del tubo è posta una punta dentata per scalfire il terreno. Un ultimo sistema consiste in un tappo legato al tubo tramite una catenella.

Alla testa del tubo è posto un girevole che permette al tubo flessibile che porta il calcestruzzo nel tubo centrale di non attorcigliarsi trascinato dalla rotazione dell'elica.

Getto del calcestruzzo

La fase di getto del calcestruzzo ed estrazione dell'elica è particolarmente delicata. Se si estraesse l'elica senza immettere calcestruzzo si creerebbe una decompressione che provocherebbe il franamento delle pareti del foro. Il calcestruzzo perciò deve essere pompato con una velocità sufficiente ad assecondare la risalita dell'elica con il riempimento. Normalmente si cerca di far avere al calcestruzzo nel foro una pressione di circa 2 o 3 bar, in modo che eserciti una piccola spinta sulla base dell'elica. Nel caso si avesse una velocità di risalita troppo alta rispetto al calcestruzzo immesso, si creerebbe una intercapedine fra il livello del calcestruzzo e la base dell'elica: a causa della depressione si staccerebbero dei detriti dai bordi del foro che rimarrebbero intrappolati nel cemento, costituendo una discontinuità che può pregiudicare l'effettiva resistenza del palo. Nel caso invece la velocità di risalita sia troppo bassa, si avrebbero delle infiltrazioni del calcestruzzo al di sopra delle prime spire, con conseguente spreco di materiale. Normalmente si utilizza una macchina cingolata a sè che funge da serbatoio e pompa per il calcestruzzo. E' una pompa di tipo volumetrico.

Per controllare la buona riuscita del getto viene inserito un misuratore di pressione subito dopo la curva del tubo del calcestruzzo, in testa all'elica.

Controlli e prove sul palo

Per controllare la buona riuscita del palo si eseguono tre misurazioni durante l'esecuzione, che vengono graficate in funzione della profondità.:

1. Pressione del calcestruzzo
2. Pressione alimentazione rotary
3. Portata di calcestruzzo

La pressione deve avere un grafico con un picco alla profondità massima (indicativo dell'avvenuta espulsione del tappo), con una prima parte attorno ai 2 bar di pressione e tendente a zero fino alla fine. Tutto il grafico deve essere costellato di picchi rappresentativi delle pompate della pompa volumetrica. Il grafico della pressione alla rotary è rappresentativo della resistenza alla rotazione che l'elica affronta, ed anche questo presenterà valori più alti verso il fondo dello scavo, per via degli attriti di tutto il materiale intrappolato nell'elica contro le pareti del foro, via via calanti man mano che la profondità decresce. La portata in calcestruzzo vorrebbe essere una indicazione della forma del palo perché mostra punto per punto quanto calcestruzzo è entrato nel foro, ma in realtà non è una misura rigorosa.

Per verificare la buona riuscita di un palo si possono eseguire vari tipi di prove:

1. Prova di carico classica
2. Prova distruttiva (carotaggio interno al palo)
3. Prova ultrasonica a tre canne
4. Prova ultrasonica assiale

La prima prova mira a verificare l'effettivo carico sopportabile dal palo, le altre vogliono individuare eventuali discontinuità nel calcestruzzo.

Problematiche principali CFA

- Il problema principale è la qualità del palo, ovvero la possibilità di realizzare il getto il più omogeneo possibile, senza franamenti o infiltrazioni di terreno o strati di polvere e impurità che si depositino attraverso il calcestruzzo. Gli accorgimenti da adottare in getto e le prove

che si possono eseguire per verificare l'effettiva riuscita del palo sono una risposta a questo problema.

- Nel caso si voglia realizzare un palo CFA in un terreno sabbioso, se in un punto si verifica un piccolo franamento, le spire dell'elica continuano a passare davanti al franamento asportando materiale, aumentando l'entità della cavità dovuta al franamento. E' quindi possibile avere delle cavità che pregiudicano la riuscita del palo e la stabilità del terreno.

Modifiche per aumentare profondità raggiungibile

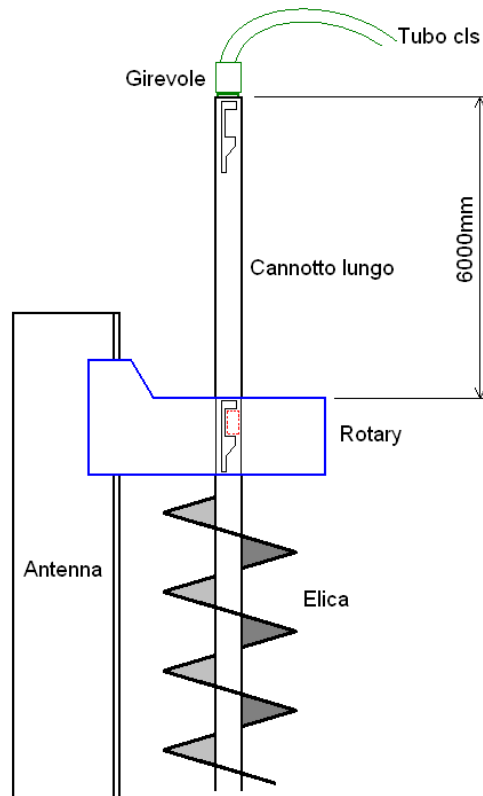
Si riporta un breve excursus delle soluzioni che sono state trovate per aumentare la profondità di perforazione.

Inizialmente le prime macchine ad elica continua avevano profondità massime raggiungibili dell'ordine di 20m.

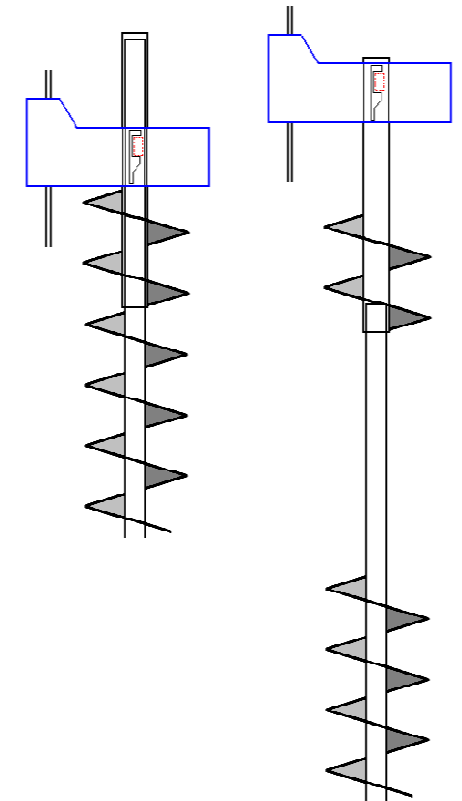
Si tentò di realizzare macchine più grosse, più alte, e quindi in grado di raggiungere profondità maggiori (circa 25m). Ne risultò però aumento di costo sproporzionato rispetto al guadagno di soli 5 m.

Si ideò quindi la soluzione del cannotto lungo: si tratta di una soluzione che modifica il fissaggio dell'elica alla rotary, rendendolo simile ad un'asta kelly a bloccaggio. Una volta che la rotary arriva a fine corsa in perforazione, la rotary si sgancia dal bloccaggio inferiore del cannotto lungo, risale per 6000mm e si impegna sul bloccaggio superiore. In questo modo ci sono altri 6000mm di perforazione utilizzabili.

Non si può andare oltre i 6000mm perché in tal caso si crea un blocco di materiale sopra l'ultima spira che costituisce un peso eccessivo e rischia di danneggiare la bocca del foro in estrazione. Con questo stratagemma si è riusciti a guadagnare 6 metri di profondità senza dover aumentare la taglia della macchina e conseguentemente con costi contenuti.



Per aumentare ulteriormente la profondità si pensò ad un cannotto a due sfili telescopico. Si ha un cannotto lungo che si protrae al di sopra dell'elica, che va ad infilarsi in un'altro cannotto, il quale nella sua parte inferiore porta alcune spire di elica, e nella parte superiore si impegna nel bloccaggio della rotary. In questo modo, quando il sistema è esteso, si ha un guadagno di 9 metri in profondità. Il materiale che si accumula sopra l'ultima spira dell'elica viene recuperato dalle spire aggiuntive del secondo cannotto, in modo da minimizzare l'effetto negativo descritto in precedenza.



Infine, si è giunti alla soluzione del caricatore: quando la rotary arriva a fine corsa in perforazione, viene scollegata dall'elica e risale per 6 metri. Nello spazio lasciato viene inserito uno spezzone di elica tramite un caricatore con pensilina per operatore (l'operatore ha un comando che controlla caricatore e rotary). Il collegamento fra le parti di elica avviene mediante giunto esagonale con spine: l'operatore esegue il collegamento manualmente. Una volta inseriti tutti gli spezzoni di elica si raggiunge una profondità di 40m. Durante l'estrazione tutti gli spezzoni di elica devono essere scaricati: per fare questo è necessario fermare l'estrazione e il pompaggio del calcestruzzo, effettuare lo scaricamento, e riprendere poi la risalita. In questa fase non si creano discontinuità nel palo perché c'è sempre la colonna di calcestruzzo nel tubo che tiene in pressione il calcestruzzo nel foro. Quando si scollegano gli spezzoni di elica, tutto il calcestruzzo presente nel tubo centrale dello spezzone che si sta scaricando fuoriesce dalla zona appena scollegata. Per evitarlo l'operatore ferma il pompaggio del calcestruzzo circa 3 metri prima di fermare l'estrazione: in questo modo lo spezzone da scaricare si svuota, ma il calcestruzzo nel foro rimane in pressione e non si allontana dall'ultima spira dell'elica.

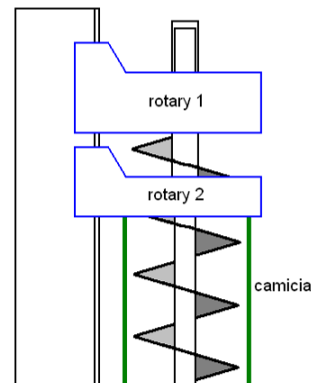


CFA intubato o CSP o CAP

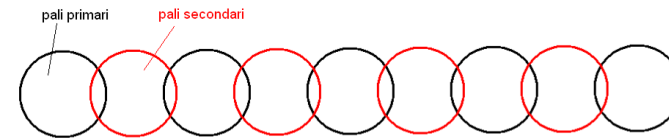
CSP: cased secant pile, CAP: cased auger pile.

L'attrezzatura CSP è prevista per la trivellazione di fori verticali con elica continua entro un tubo di rivestimento. L'attrezzatura è composta principalmente da due rotary: quella superiore per l'azionamento dell'elica continua, e quella inferiore per l'azionamento del tubo di rivestimento. La prima è la normale rotary per CFA, la seconda ha un passaggio integrale per la estrazione dell'elica.

Campi di applicazione: Viene utilizzata principalmente per eseguire pali secanti. Quando si vuole eseguire una catena di pali, tutti intersecati, in modo da formare una sorta di diaframma (parete) nel terreno, si adotta questo procedimento: si eseguono prima una serie di fori primari ad una certa distanza fra loro, ed in seguito si eseguono i fori secondari che sono collocati negli interspazi fra i fori primari, e li intersecano per delle piccole sezioni. Naturalmente, i pali secondari vengono eseguiti quando quelli primari sono già solidificati, perciò l'elica deve penetrare il cemento. Proprio



per questo, i pali secondari tendono a deviare il loro percorso dalla zona con calcestruzzo indurito verso quelle con terreno o calcestruzzo tenero, pregiudicando la rettilineità del diaframma e l'intersezione con i primari. E' per questo che si utilizza la camicia, che garantisce la rettilineità del palo: infatti, la camicia taglia il calcestruzzo dei pali primari, e l'elica, che viene tenuta pochi centimetri più arretrata rispetto alla camicia, scava il terreno e fa risalire i detriti. La problematica principale di questo sistema sono proprio i detriti: infatti i detriti hanno come unica via di uscita la testa della camicia. Capita perciò che i detriti fuoriescano da grande altezza creando vari problemi.



Si utilizza anche per pali ad elica continua in terreni particolarmente instabili: il rivestimento protegge dal franamento durante la perforazione (CAP).

Si adotta per pali ad elica continua in falde in movimento: il rivestimento previene il dilavamento del calcestruzzo.

Infine si usa se si vogliono eseguire pali con tolleranze strette sulla verticalità.

- Trivellazione

L'elica continua viene mossa verticalmente tramite un tiro in quarta della fune principale. La camicia di rivestimento viene movimentata verticalmente tramite un tiro in seconda della fune ausiliaria agente su un carrello scorrevole. Durante l'infissione il carrello viene fatto scendere alla base dell'antenna, fissato in tale posizione tramite due catenacci idraulici, e usato come rinvio della fune di servizio che scendendo dalla testata da un lato gira attorno ad una carrucola nel carrello e torna in su fino alla rotary di intubaggio. Qui gira attorno ad una carrucola fissata sotto la rotary e torna al carrello dove trova una seconda carrucola che la rinvia in testata. Durante l'estrazione il carrello scorrevole è appoggiato sotto la rotary intubatrice e la fune che scende dalla testata attraversa il carrello e risale in testata sul lato opposto. I passaggi su carrucole intermedie non interferiscono con la funzione di estrazione. Il normale senso di rotazione del tubo è antiorario, contrario a quello dell'elica per consentire la risalita dei detriti, infatti, se il rivestimento viene fatto ruotare nello stesso senso di rotazione dell'elica, i detriti si accumulano formando un tappo e impedendo ulteriormente la risalita. La bocca inferiore della camicia è fornita di denti come un carotiere. L'orientamento di questi denti è per la rotazione antioraria in fase di scavo. La risalita dei detriti, con elica pulita, porta inizialmente al riempimento dell'elica dentro al tubo. Solo successivamente, dopo aver scavato circa metà della parte intubata, i detriti cominciano a cadere fuori della bocca superiore del tubo.

- Estrazione-getto-pulizia elica

La procedura prevista e consigliata per il getto del calcestruzzo è quella di pomparlo estraendo solo l'elica, mentre il rivestimento resta in posizione infissa. In tal modo tutta l'elica viene fatta passare dentro ad un pulitore ed i detriti vengono rimossi nella maggior misura possibile. Il rivestimento verrà estratto solo a getto ultimato. Nel caso che tubo ed elica vengano estratti contemporaneamente, i detriti restano in gran parte sull'elica e vengono portati alla sommità del tubo: devono essere rimossi per evitare che successivamente cadono da grande altezza con i relativi pericoli.

Pro e Contro CFA

Pro:

- Molto veloce, alta produttività
- Sporca poco, non utilizza fanghi
- Medio-grande diametro: da 400mm a 1200mm (1500mm)

Contro:

- Profondità relativamente limitata
- Inadatta al lavoro su piattaforma galleggiante
- Diametri troppo piccoli non possibili, l'elica fletterebbe

Opzioni:

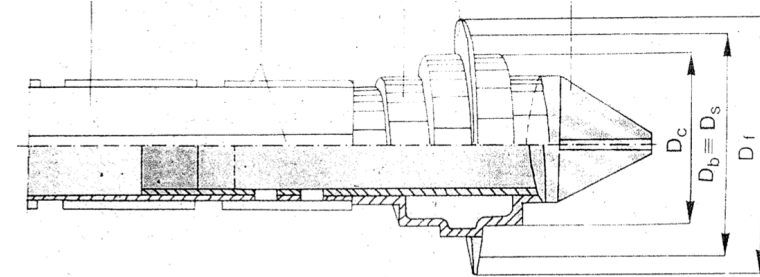
- Opzione canotto lungo
- Opzione caricatore

Pali costipati

Sono pali trivellati senza asportazione di terreno. Sono nati per essere realizzati in terreni paludosi. L'utensile penetra nel terreno, lo smuove e lo schiaccia sulle pareti del foro, compattandolo: in questo modo si ottiene un miglioramento delle caratteristiche meccaniche del terreno. Attualmente il metodo è stato esteso a terreni di media consistenza, con produzioni giornaliere paragonabili al CFA e ai terreni inquinati i cui detriti non possono essere smaltiti economicamente.

Palo Atlas

L'utensile è costituito da una punta seguita da un corpo costituito da una superficie, parallela all'asse dell'utensile, ed avvolta a spirale attorno ad esso con diametro prima crescente e poi calante. In corrispondenza del diametro massimo è presente un'aletta che sporge rispetto al fusto e si avvita nel terreno aumentando il diametro efficace del palo.



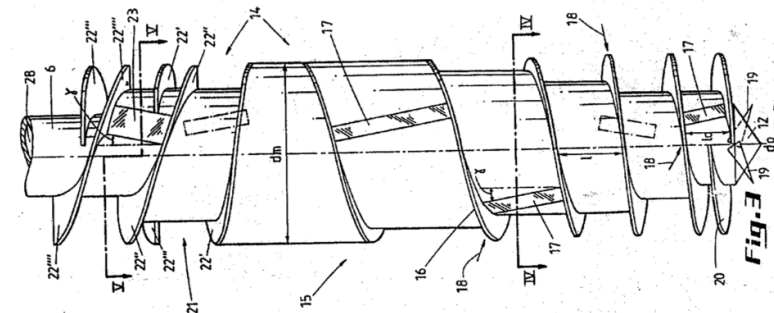
Questo utensile crea un palo costituito da un cilindro di cemento con una sporgenza avvolta a spirale attorno ad esso, creata dall'aletta. E' un utensile ormai obsoleto. Veniva costruito dalla ditta Franki

Palo Fundex

E' molto simile al precedente, veniva prodotto dalla omonima ditta Fundex.

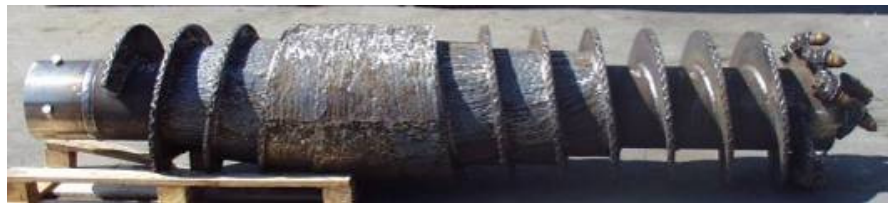
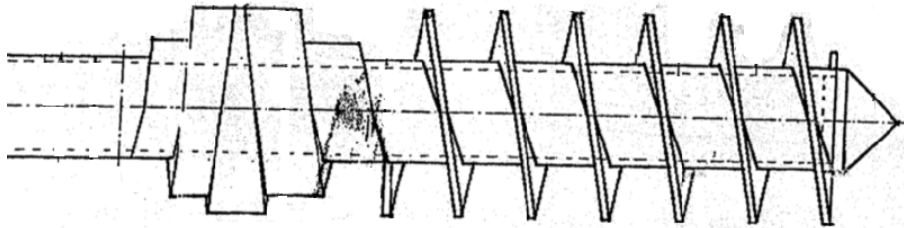
Palo Omega

Questo utensile è stato applicato da Socofonda, appartenente a Franki, brevetto del 1994 di Van Impe. E' costituito da una spirale di passo prima crescente, poi calante (quando cala cambia anche il senso di avvitemento), avvolta attorno ad un fusto centrale. Il fusto centrale aumenta di diametro fino a raggiungere quello della spirale nel punto in cui questa ha passo massimo, per poi calare nella parte successiva.



Palo De Waal

Costruito dall'omonima ditta. La geometria è simile a quella dell'utensile Atlas, ma in aggiunta c'è una punta conformata come un'elica continua che ha la funzione di avvitarsi nel terreno aiutando l'avanzamento, nonché di smuovere il terreno e trasportarlo verso la zona di costipazione.



Utensile costipatore a rullo

E' stato pensato per ridurre la richiesta di coppia alla rotary. L'utensile è costituito da un rullo (con due conicità) che ruota su un asse eccentrico e inclinato rispetto all'asse di rotazione della rotary. In questo modo quando la rotary mette in rotazione l'utensile, l'asse di rotazione compie un movimento conico, così le generatrici delle due tronchi di cono costituenti il rullo rotolano ricalcando le pareti del foro e costipando il terreno. La geometria del rullo è tale che la parte inferiore effettua una costipazione su un diametro inferiore alla parte superiore. In questo modo si hanno due passate di costipamento. Al di sotto del rullo è presente una punta con profilo ad elica. Lo stesso dicasi per la parte al di sopra del rullo.

La coppia richiesta dall'utensile è effettivamente inferiore, è così possibile avanzare più velocemente, in questo modo però serve una forza di pull down elevatissima e la macchina tende a sollevarsi.

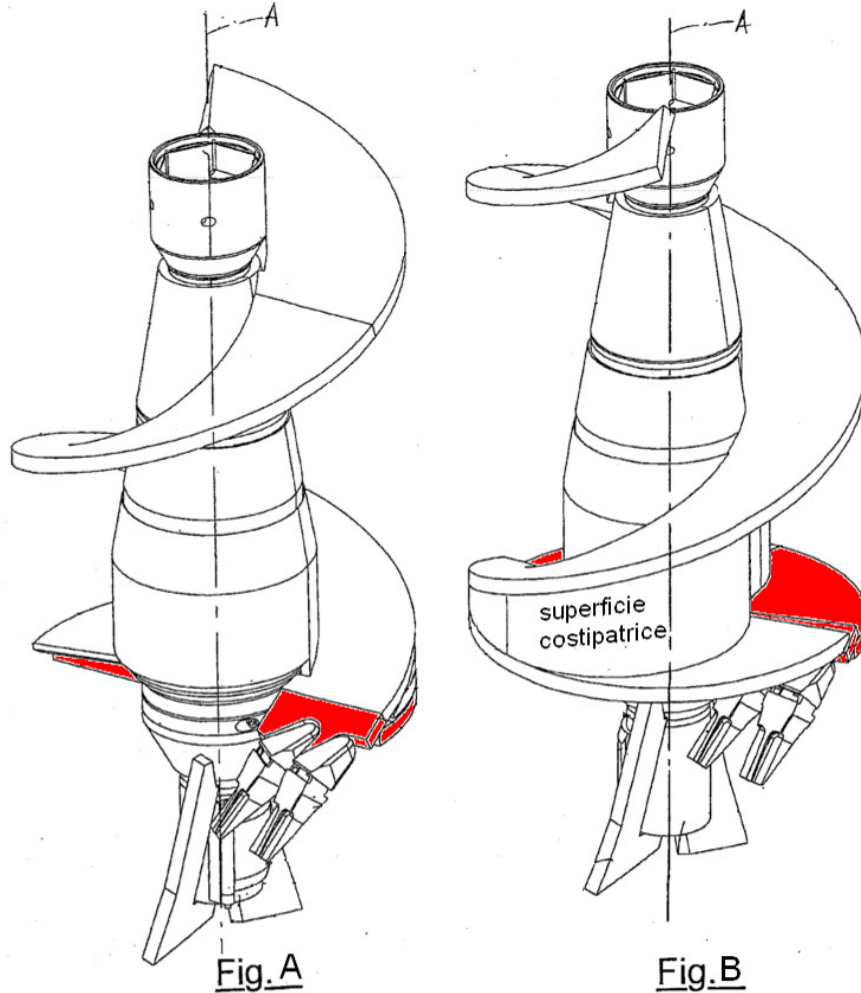
L'utensile ha problemi di affidabilità nell'accoppiamento fra rullo e asse: le tenute e i cuscinetti presenti sono soggetti a consumo eccessivo.



TCT - Costipatore in tiro

Il problema delle alte forze di pull down necessarie al costipamento (con il conseguente sollevamento della macchina nei casi estremi) hanno portato allo sviluppo di un utensile che esegua la costipazione nella fase di tiro.

L'utensile si presenta come in figura A.



Durante la perforazione ha un comportamento simile all'elica continua: in questa fase avviene una prima costipazione del terreno ad opera del fusto centrale. Gran parte del terreno però viene solo staccato dalle pareti del foro e rimane smosso appoggiato alle spire. Una volta giunti a fine perforazione, viene operata una rotazione contraria dell'utensile: la parte evidenziata in rosso in figura (costituita da una lamiera circolare con denti) è vincolata in modo da poter ruotare attorno

all'asse dell'utensile, perciò in questa fase tutto l'utensile ruota (in maniera contraria rispetto alla perforazione), e la parte evidenziata rimane ferma trattenuta dagli attriti dei denti contro il terreno. Si giunge così alla condizione di figura B. La piastra rossa, che prima era nascosta sotto l'ultima spira, ha ruotato di 180° relativamente al resto dell'utensile, fino ad andare in battuta contro la superficie che prima la copriva: le due lamiere che prima erano sovrapposte ora creano un disco circolare che copre tutto il diametro del foro. A questo punto si continua con la rotazione contraria dell'utensile, iniziandone l'estrazione tramite il tiro della fune. Tutto il terreno smosso presente sulle spire tende ad essere scaricato, ma incontra il disco che lo blocca. A questo punto entra in gioco la superficie costipatrice verticale indicata in figura, che ricalca il terreno ed effettua il costipamento sulle pareti del foro.

Tramite questa tecnica quindi si effettua la costipazione in due tempi: prima nella fase di perforazione si esegue una costipazione parziale, e nella successiva fase di estrazione, lavorando in tiro, avviene la costipazione definitiva. Inoltre, durante l'estrazione si esegue il getto del calcestruzzo: il disco separa il terreno che viene costipato dal calcestruzzo, evitando che vi siano impurità.

Trivellazione in roccia

Quando durante una perforazione si incontra uno strato di roccia è necessario adottare un utensile specifico per riuscire ad effettuare la perforazione. Spesso è necessario cambiare la tecnica di perforazione.

In generale, per scalfire la roccia si utilizzano delle particolari appendici, dette bits, che sono in grado di generare delle pressioni specifiche molto alte, frantumando la roccia. I bits possono avere varia forma, ma in generale sono costituiti da bottoncini in carburo di tungsteno inseriti in una matrice di acciaio.

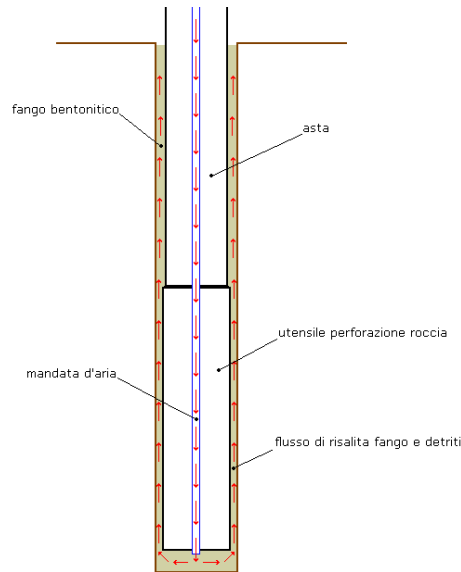


I bottoncini, quando vengono premuti contro la superficie rocciosa, inducono pressioni puntuali altissime che fanno esplodere la roccia creando uno strato di detriti (scaglie di roccia). I bits però lavorano in modo ottimale solo se lavorano direttamente a contatto con la roccia da scalfire: la presenza dei detriti impedisce loro il corretto funzionamento. Sono quindi stati realizzati vari sistemi per rimuovere i detriti, in modo che i bits incontrino sempre una superficie adatta. In generale questi sistemi si dividono in sistemi a circolazione diretta e sistemi a circolazione inversa.

Sistemi di circolazione

Circolazione Diretta:

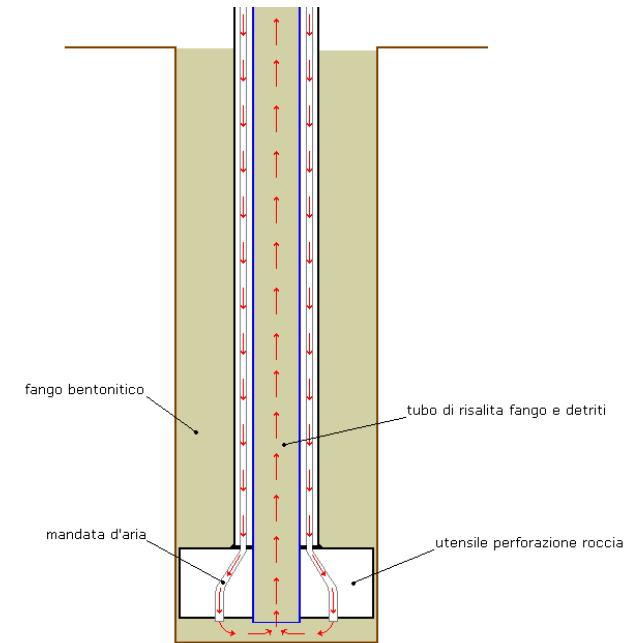
La circolazione diretta prevede un flusso d'aria che viene pompato attraverso un condotto centrale nella zona di interfaccia fra utensile e roccia: l'aria così immessa innesca un flusso di bentonite che trova sfogo nell'intercapedine fra utensile e bordo foro: si crea così un flusso di risalita. Questo flusso raccoglie sul fondo del foro i detriti di roccia creati dai bits dell'utensile, e li trasporta verso l'alto. Questa tecnica è molto spesso usata nelle perforazioni di diametro non troppo elevato.



Circolazione Diretta

Circolazione Inversa:

La circolazione inversa viene usata spesso in perforazioni di grande diametro: in questi casi infatti la circolazione diretta non sarebbe attuabile perché l'utensile non è mai così grande da occupare interamente il foro per un'altezza sufficiente a creare l'intercapedine nella quale far risalire la bentonite che trasporta i detriti. Per questo, viene realizzato un tubo centrale di risalita dei detriti e dei condotti laterali di pompaggio aria. L'aria viene immessa nella zona di interfaccia fra utensile e roccia e trova sfogo nel tubo centrale: quindi all'interno del tubo si trovano bentonite ed aria, mentre il foro è pieno di bentonite. La densità del fluido all'interno del tubo è minore di quella della bentonite nel foro (a causa della presenza dell'aria) e per questo si innesca una risalita del fluido all'interno del foro. Il flusso di bentonite che risale nel tubo centrale asporta i detriti dalla zona di scavo e li trasporta in superficie.



Circolazione Inversa

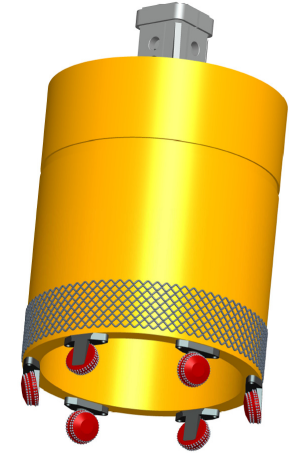
Bits

Esistono bits di varia forma e dimensione: normalmente sono di forma tronco conica o conica, con la possibilità di ruotare in maniera folle attorno al loro asse. Si può distinguere fra bit a sbalzo o a due appoggi, a seconda del modo in cui è vincolato il perno, oppure fra bit a bottoni o a disco a seconda che la frattura della roccia venga ottenuta per punti o per linee.



Carotieri

Quando si esegue una perforazione, ad esempio con aste kelly e bucket (o trivella) e si incontra uno strato roccioso, è possibile effettuare semplicemente un cambio dell'utensile, montando un carotiere: è costituito da un cilindro in lamiera che ha, nella sua parte terminale, dei roller bits. In questo modo si esegue un "taglio" della roccia lungo la circonferenza dell'utensile.



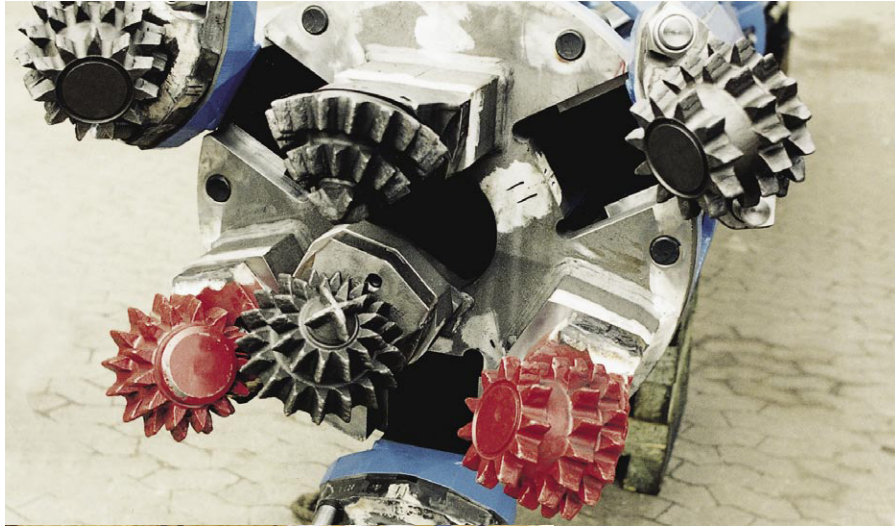
Perforazione roccia in piccolo diametro

Vengono realizzati bit a tricono rotante oppure scalpelli a tre lame, sempre composti da bottoni su una matrice di acciaio. I bit sono collocati all'estremità di un utensile di perforazione guidato da un'asta telescopica. E' sempre presente un foro per il passaggio di aria per la realizzazione della circolazione diretta.



Perforazione roccia in grande diametro

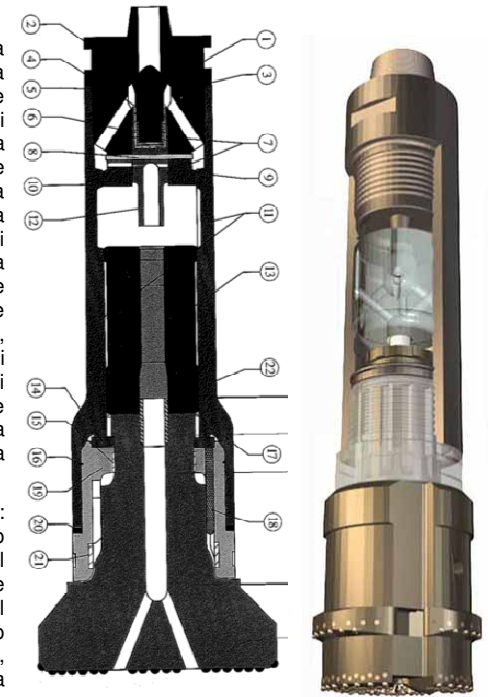
Per la perforazione nel grande diametro si utilizzano utensili speciali generalmente formati da un corpo in acciaio a cui sono fissati i bits. L'utensile è fissato ad una batteria di aste kelly che lo guidano durante la perforazione, e gli trasmettono la coppia di rotazione impressa dalla rotary. I bits sul fondo dell'utensile grazie alla rotazione rotolano attorno al proprio asse, percorrendo il fondo del foro e scalfendo la roccia. Sono disposti in maniera tale da coprire tutta la superficie del foro, senza che le tracce di ogni bit si sovrappongono durante la rotazione. Quasi sempre l'utensile è dotato dei tubi di mandata arie a di aspirazione fango necessari per la realizzazione della circolazione inversa.



Martelli di fondo foro - DTH

La penetrazione è realizzata tramite una percussione dell'utensile sulla roccia, indotta tramite aria compressa. La testa dell'utensile è un bit con bottoncini in carburo di tungsteno. Nell'utensile è presente una massa battente che, sollevandosi e scendendo, apre e chiude delle valvole. L'aria compressa inviata all'utensile fa muovere la massa fra due fine-corsa grazie al gioco di apertura e chiusura delle valvole e genera una percussione interna: la corsa è dell'ordine dei 100mm. Sulla testa dell'utensile è applicato un bit che, grazie alla percussione, scalfisce la roccia. Sono necessarie pressioni e portate d'aria molto alte. La rimozione dei detriti viene effettuata tramite circolazione diretta: viene sfruttata la stessa aria responsabile del movimento della massa battente.

La gamma dei diametri è molto varia: esistono martelli di fondo foro per piccolo diametro, dell'ordine di 100mm e altezza del martello di circa 1 metro, e martelli per grande diametro, dell'ordine di 700mm e altezza del martello di circa 3 metri. Quelli di piccolo diametro arrivano a 1800 colpi al minuto, mentre quelli di grande diametro arrivano a 900 colpi al minuto.

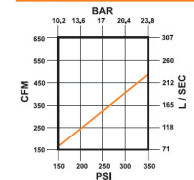


Down Hole Hammer

FEATURES

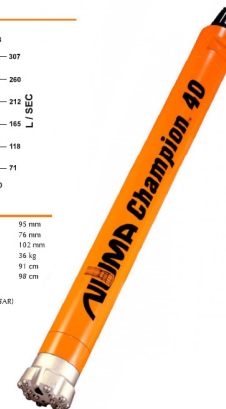
- For use in any hard rock application
- Valveless down hole hammer design
- Delivers more energy per blow while utilizing less air
- Designed to operate at pressures to 350 PSI (23.8 BAR)
- Ability to drill efficiently against high heads of water

AIR CONSUMPTION



SPECIFICATIONS

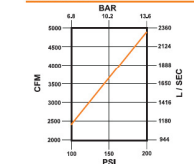
- | | | |
|--------------------------|---------|--------|
| Diameter | 3-3/4" | 95 mm |
| Base | 3" | 76 mm |
| Stroke | 4" | 102 mm |
| Weight (Hammer only) | 80 lbs | 36 kg |
| Length (Shank to Shank) | 35-3/4" | 91 cm |
| Length (Shank to B/Face) | 38-3/4" | 98 cm |
| A.P.I. Reg. Threads | 2-3/8 | |
- 1830 blows per minute at 350 PSI (23.8 BAR)
 - Drills holes from 4.125" to 5.125"
 - 1108 mm - 130 mm in diameter
 - Accepts 340A bit shank



FEATURES

- Valveless down hole hammer design
- Ability to drill efficiently against high heads of water
- Designed to operate at pressures to 200 PSI (13.6 BAR)
- Superior directional stability in horizontal applications
- Ejecting cuttings through the collection tube eliminates traditional hole cleaning problems
- Environmentally sensitive - no foam required for hole cleaning and lubricants are not free to contaminate the formation
- Typical vertical and horizontal applications include: caissons, pile/rock sockets, tunneling under roads, foundation drilling and other jobs where large volume rock excavation is required

AIR CONSUMPTION



SPECIFICATIONS

- | | | |
|--------------------------|-------------|----------|
| Diameter | 28" | 711 mm |
| Bore | 20" | 508 mm |
| Stroke | 5" | 127 mm |
| Weight (Hammer only) | 11,580 lbs. | 5,259 kg |
| Length (Shank to Shank) | 93' | 236 cm |
| Length (Shank to B/Face) | 112' | 285 cm |
- Several backhead threads available
- 900 blows per minute at 200 PSI (13.6 BAR)
 - Suitable for drilling holes from 30" to 36"
 - 1762 mm to 914 mm in diameter
 - Accepts RC300 bit shank



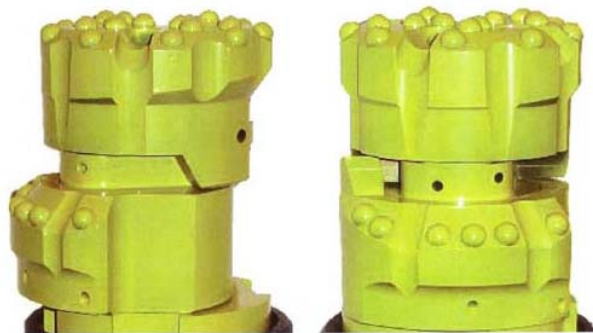
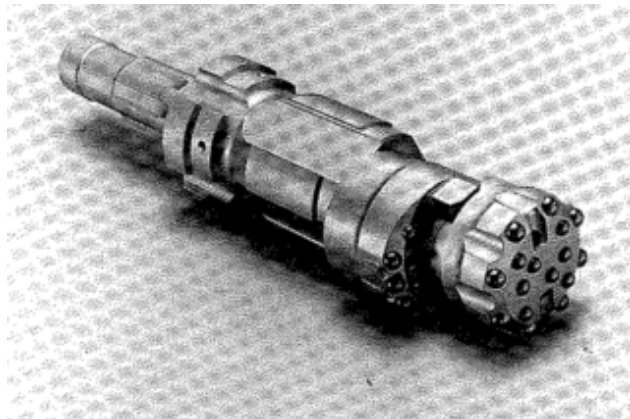
Dai diagrammi di consumo di aria compressa possiamo capire perché non si fanno (al momento) martelli DTH di diametro superiore ad un metro. L'azionamento richiede oltre due metri cubi d'aria al secondo, 140 metri cubi al minuto. Il costo dei compressori diventa esorbitante e non conveniente, nonostante la elevata produzione.

Le alternative possibili sono espone più avanti: i cluster (grappoli) di martelli usano molti martelli piccoli che hanno una somma di portate decisamente minore di un solo DTH grosso. La seconda alternativa è la circolazione inversa senza martellamento, ma con una spinta elevatissima su bit a rotolamento, sul principio dei triconi ma su grande scala.

Perforazione incamiciata

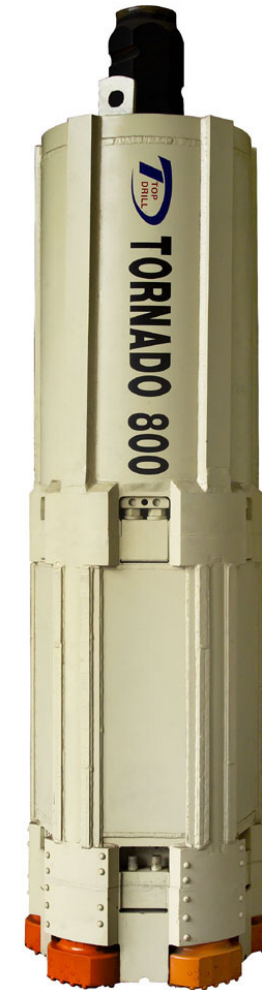
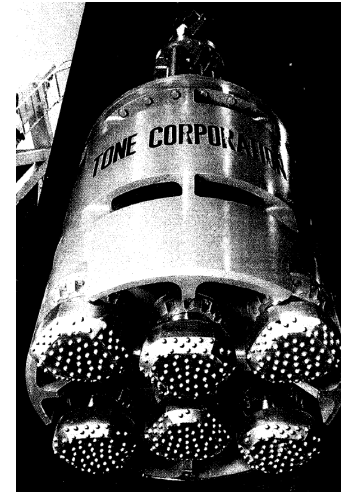
Esistono martelli di fondo foro in grado di eseguire perforazione con camicia. Sono dotati di una parte terminale asimmetrica che può essere collocata in due posizioni: può rimanere entro la sagoma del martello, in modo da passare all'interno della camicia, oppure può essere ruotata verso l'esterno, in modo da coprire un diametro più ampio, scavando al di sotto della camicia. La camicia viene fatta avanzare da un anello sporgente del martello, che percuote un anello interno alla camicia stessa. Nome commerciale del sistema è ODEX (Atlas Copco) o TUBEX (Sandvik)

Allo stesso scopo, ma senza eccentricità esistono sistemi che percuotono e mettono in rotazione un anello con bottoni fissato alla camicia. Nomi commerciali SYMMETRIX (Atlas) e CENTREX (Sandvik):



Cluster

Si tratta di un gruppo di martelli fondo-foro costruito per coprire diametri molto grandi. Alla sua base ha più bits che battono; i bits sono disposti in modo da coprire al meglio la superficie da scavare. Ogni bit è indipendente dagli altri e quindi non si ha una vibrazione in fase. Normalmente i bit non possono ruotare attorno all'asse di vibrazione, in compenso è tutto il cluster a ruotare attorno all'asse di perforazione. Un problema dei cluster è la possibilità che uno dei bits trovando una zona di roccia più fragile vi penetri: in questo caso la rotazione del cluster può stroncare il bit incastrato.



Circolazione Inversa

Una delle attrezzature per circolazione inversa più utilizzate è prodotta da Wirth. Si tratta di attrezzature che eseguono unicamente perforazione in roccia con circolazione inversa. Normalmente accade che durante una perforazione si incontrino prima strati di sabbia, ghiaia o argilla, e poi, a profondità più elevate, la roccia. Per questo la prima parte della perforazione si esegue tramite utensili adatti al tipo di terreno, come bucket o trivelle (più raramente tramite sonda e grappino). Quando si incontra la roccia è necessario installare la macchina Wirth per procedere nella perforazione: normalmente è presente un casing ad imbocco foro sul quale viene collocata la macchina sollevata con una gru.

L'attrezzatura è composta da una piattaforma con una incastellatura inclinabile che supporta la rotary. Dalla rotary parte una batteria di aste, giuntate tramite flange, alla cui estremità è fissato l'utensile. L'utensile di perforazione è una piastra che alloggia vari roller bit. Sopra di essa sono presenti varie zavorre sovrapposte, che servono per creare la pressione necessaria a far lavorare correttamente i roller bit. Sulla macchina è presente anche un pull down, ma normalmente viene utilizzato in maniera limitata, visto che le profondità di lavoro sono sempre piuttosto elevate, il pull down tenderebbe a incurvare le aste sotto carico di punta; esistono in ogni caso dei centratori, disposti a diverse altezze lungo le aste. Inoltre un utilizzo troppo spinto del pull down causerebbe lo sfilamento del casing dal terreno sollevando tutta l'attrezzatura.

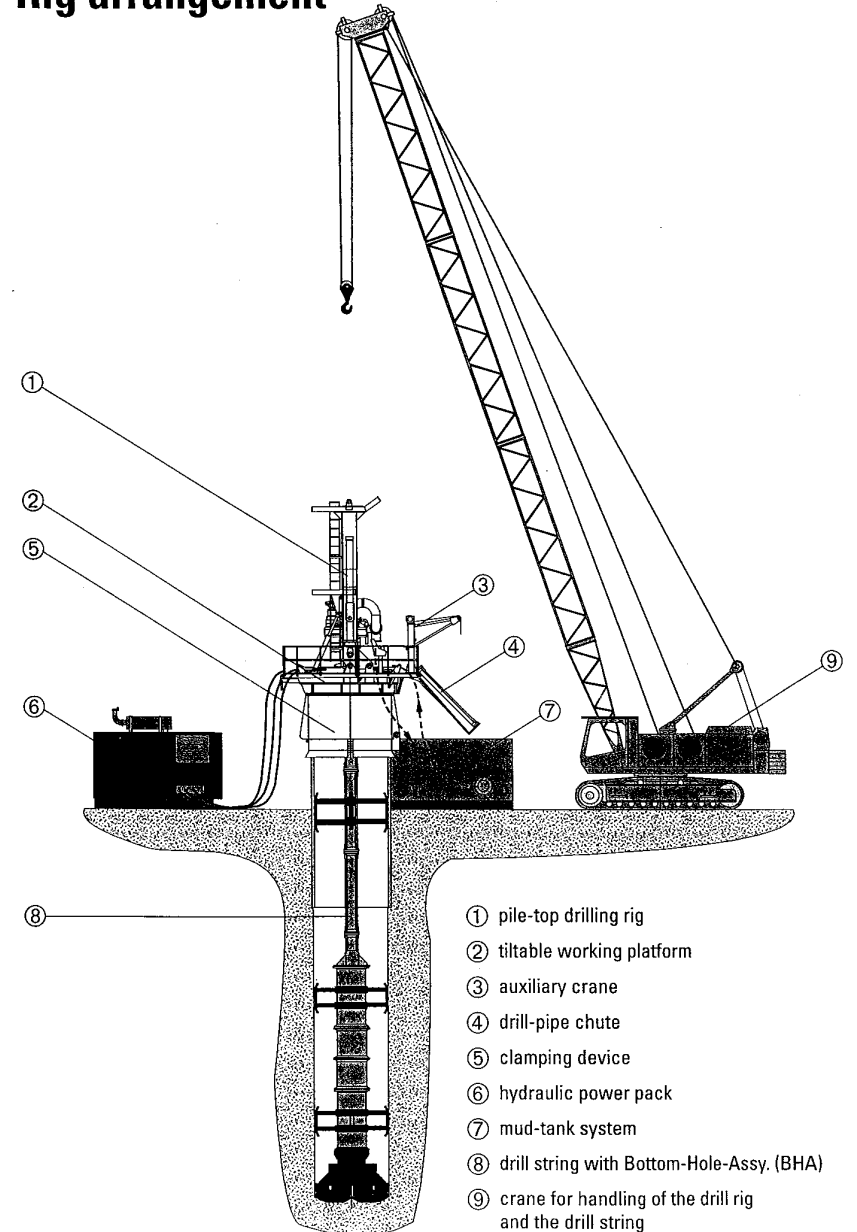


Una volta installata la piattaforma sul casing, si inclina l'incastellatura e si inserisce nel foro l'utensile da roccia tramite la gru e lo si fa scendere fino a che il suo giunto non è al livello dell'imbocco del casing, e lo si blocca; a questo punto grazie all'incastellatura in posizione inclinata si iniziano a caricare gli elementi di asta, e per ogni elemento caricato si riporta l'incastellatura in posizione verticale per giuntare l'elemento di asta a quello già nel foro. Così facendo si caricano tutti gli elementi fino a raggiungere la profondità di scavo. A questo punto ha luogo la perforazione tramite circolazione inversa, seguendo le modalità già descritte: ovviamente sono presenti sistemi di pompaggio di aria e di raccolta fanghi. Una volta ultimata la perforazione la macchina viene smontata seguendo la procedura inversa rispetto a quella di montaggio.

Le operazioni di montaggio di questo tipo di macchine richiedono molto tempo. Questa attrezzatura è particolarmente adatta all'utilizzo in mare, perché in questo caso è già presente il casing sul quale alloggiare la macchina.

LINKS: [cutters](#); [pile top](#)

Rig arrangement





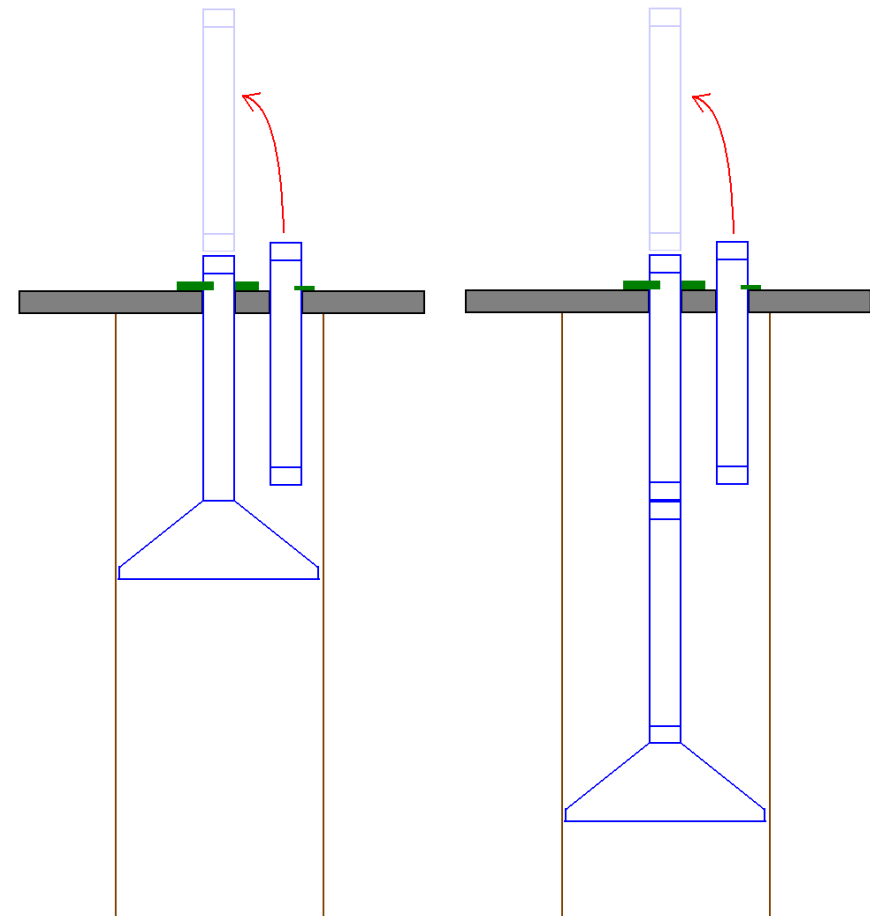
Molto spesso c'è la necessità di eseguire dei pali che attraversino tutti gli strati di sabbia e argilla fino alla roccia, e che poi penetrino nella roccia per qualche metro. In questi casi non è giustificato l'utilizzo di un'attrezzatura Wirth, e per il costo, e per i lunghi tempi di montaggio. Per questo Soilmec ha realizzato il metodo RCDS, che unisce la perforazione a mezzo di aste Kelly alla perforazione a circolazione inversa. Entrambe le tecniche sono eseguibili dalla stessa attrezzatura in quanto la progettazione dei componenti RDC garantisce un adattamento veloce, in meno di tre ore. La perforazione inizia secondo la modalità con aste Kelly, con strumenti come benna, trivella da roccia e carotiere, e continua poi con strumenti a circolazione inversa non appena il terreno si presenta più solido.

L'attrezzatura è composta da carro cingolato, antenna e rotary come in una classica applicazione di perforazione con kelly telescopico. La perforazione viene eseguita con uno dei sistemi tradizionali fino a che il terreno lo permette. Quando si incontra la roccia, il kelly telescopico viene raccolto e smontato. Sulla bocca del foro viene collocata una piattaforma con due fori. Nel foro centrale viene bloccato l'utensile di perforazione. Nel foro laterale viene collocato un elemento di asta. Tramite la rotary ed il toro della macchina si raccoglie l'elemento di asta e lo si posiziona sopra l'utensile: la giunzione viene effettuata tramite giunto esagonale con spine. L'utensile e l'elemento di asta giuntati vengono calati fino a bloccare l'elemento di asta sulla pedana. A questo punto con la stessa procedura viene aggiunto un'altro elemento di asta. Si procede alla stessa maniera fino al raggiungimento del fondo del foro. La pedana viene rimossa. Tramite un gancio a tre uncini basculanti vengono raccolte delle zavorre che vengono infilate sul kelly e calate fino ad appoggiarsi sull'utensile. Il sistema a tre uncini permette un aggancio ed uno sgancio rapido delle zavorre. I giunti esagonali sulle aste permettono di avere il kelly di diametro costante (nessuna flangia) così da poter eseguire l'inserimento delle zavorre senza ostacoli. Le zavorre vengono inserite separatamente dall'utensile e a blocchi in modo da non dovere mai spostare pesi troppo elevati, che richiederebbero una gru di servizio: in questo modo invece si utilizza sempre la macchina per la perforazione. Sempre con lo stesso gancio a tre uncini vengono inseriti dei centratrici. I centratrici hanno un sistema di camme differenziate che consentono ad ogni centratore di essere rilasciato dell'uncino bloccandosi sul kelly all'altezza opportuna. Tutti i sollevamenti in

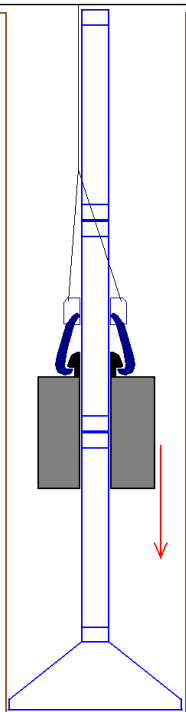
questa fase vengono effettuati tramite l'argano di servizio: infatti il primo argano, che veniva utilizzato durante la perforazione con metodi classici come argano principale, diventa ora argano ausiliario. L'argano ausiliario invece, durante questa fase diventa argano principale, grazie ad una testata particolare che crea una serie di rinvii attuando un tiro multiplo. Il montaggio può essere eseguito in poco più di 2 ore. Completato il montaggio si ha una batteria di aste con utensile a circolazione inversa e zavorra pronto per la perforazione. Una volta terminata la perforazione si smonta l'attrezzatura con procedura inversa a quella di montaggio.

I vantaggi di questa attrezzatura sono molteplici: si utilizza una sola macchina sia per la perforazione con metodi classici che per la circolazione inversa, la conversione a circolazione inversa è molto veloce, non si devono mai movimentare pesi eccessivi perchè l'attrezzatura è modulare.

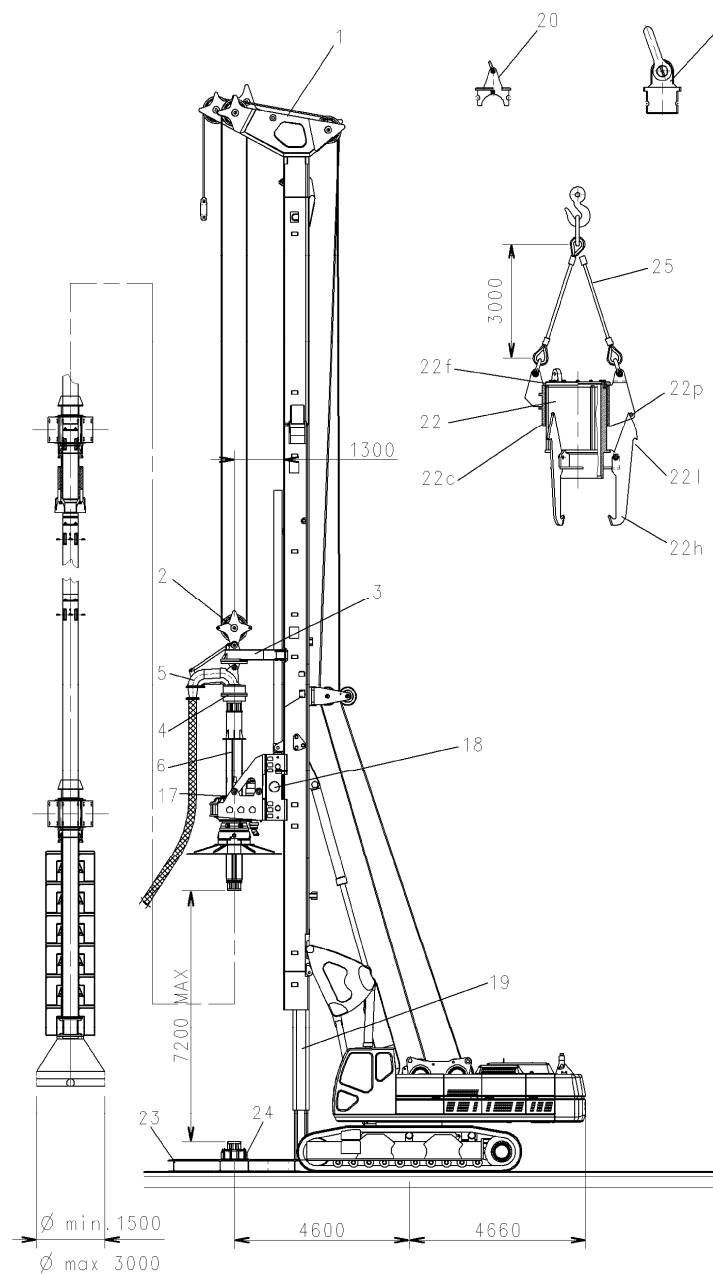
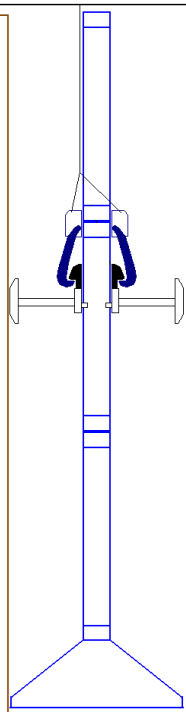
Impilaggio Aste



Posizionamento Zavorre



Posizionamento Centratori



Consolidamenti

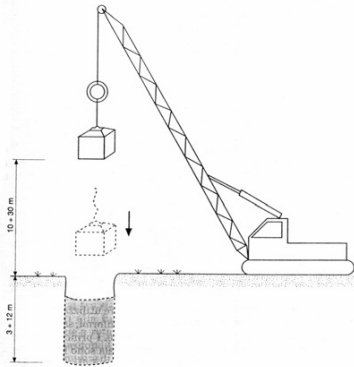
Il termine comprende tutta una serie di tecnologie diverse che mirano al miglioramento delle caratteristiche meccaniche di un terreno. Nei terreni rocciosi con elevata fratturazione il consolidamento può essere realizzato iniettando boiaccia che va a saturare i vuoti e saldare gli strati. Più in generale si ricorre ad interventi in parte meccanici, in parte chimico fisici.

Si opera nei terreni sabbiosi o con basse caratteristiche meccaniche, dove fare un palo con metodologie tradizionali non è conveniente, per via del franamento continuo del terreno.

L'operazione più semplice che si può fare è tentare di compattare il terreno eliminando i vuoti presenti al suo interno.

Compattazione dinamica

Si utilizza una gru che sostiene un peso e lo lascia cadere sul terreno più volte in punti vicini. Le vibrazioni indotte creano una compattazione del terreno e quindi un aumento della sua stabilità.



Blasting

Nel caso invece si presenti uno strato duro di terreno superficiale, con una zona sottostante di terreno da consolidare, si può operare con il Blasting: si inserisce una carica esplosiva nel terreno tramite un foro. L'esplosione della carica crea delle vibrazioni che compattano il terreno sottostante, facendogli franare sopra quello sovrastante. Il risultato è che la zona risulta più compatta e stabile che in precedenza.

Vibroflottazione

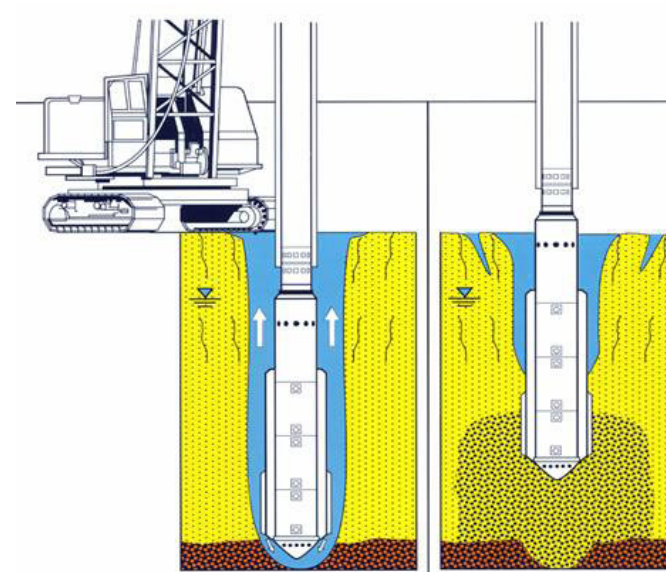
La vibroflottazione è usata per l'addensamento di terreni incoerenti quali sabbie e ghiaie prevalentemente fini e limi sabbiosi o argillosi più raramente. L'attrezzatura è formata da un vibratore sostenuto attraverso tubi di prolunga da un braccio montato su un mezzo cingolato.

Si inserisce nel terreno un utensile vibratore particolare che ha una distribuzione di masse eccentrica, cosicché, messo in rotazione, tenda a rotolare lungo la circonferenza del foro appoggiandosi alle pareti. Si inserisce il vibratore nel terreno: la vibrazione in senso orizzontale è provocata dai pesi eccentrici rotanti e la penetrazione del vibratore nel terreno è prodotta dal peso del vibratore e dei tubi di prolunga, dalla vibrazione stessa e da un getto d'acqua che esce dalla punta del vibratore. Durante l'estrazione si versa nel foro della sabbia che viene compattata dallo stesso vibratore: infatti la sabbia viene spinta contro le pareti del foro e compattata su di esse.

Questa operazione consolida il terreno circostante il foro. Quando le pareti sono sufficientemente consolidate, si solleva di un tratto la colonna e si operano delle punzonature sul fondo, ovvero si fa appoggiare la colonna sul fondo del foro a ripetizione in modo da compattare la base, accumulando sabbia compressa. Una volta compattata una certa altezza di terreno si ricomincia con la rotazione nel tratto superiore e si continua col ciclo fino ad arrivare al livello del suolo.

Esiste anche un vibratore con il quale il materiale di intasamento del foro viene fatto scendere direttamente alla punta del vibratore per l'azione dell'aria compressa, della vibrazione e della gravità.

Al termine del trattamento si ha la formazione di una colonna di inerte compattato unitamente all'addensamento del terreno circostante.



Stone Columns

Si tratta dello stesso procedimento usato per la vibroflottazione, nel quale invece di inserire sabbia si inserisce ghiaia.

Jet Grouting

Le tecniche del Jet Grouting consistono nella disaggregazione del terreno e nel suo mescolamento con miscele di cemento. In generale si ha una batteria di aste di piccolo diametro (100mm) che ospitano nella parte terminale un ugello diretto radialmente. Si immette all'interno di condotti interni alle aste una miscela di cemento in pressione che fuoriesce dall'ugello ad alta velocità smuovendo il terreno, infiltrandosi e mischiandosi ad esso. Si ruota lentamente l'asta in modo da coprire con l'ugello tutta la circonferenza. Durante la rotazione si effettua anche una lenta risalita in modo da sviluppare il getto di cemento in altezza. Se la velocità di risalita e di rotazione sono ben regolate in base allo spessore del getto, alla sua pressione e al tipo di miscela utilizzata, si ottiene una

colonna consolidata di terreno impastato con boiaccia. E' molto difficile prevedere una giusta stima di questi parametri, perciò molto spesso si fanno dei tentativi, con conseguente perdita di tempo.

Esistono tre tipi di Jet Grouting: 1 - Mono fluido; 2 - Bifluido; 3 - Triplo fluido.

La tecnica T1 è del tipo monofluido: si inietta boiaccia, e questa miscela ha il compito di disgregare e consolidare il terreno. Si raggiungono diametri di 800mm.

La tecnica T1/s è del tipo bifluido: si inietta la solita miscela di acqua-cemento, ma attorno a questo getto si crea un getto di aria che permette di raggiungere diametri maggiori, fino a 2500mm.

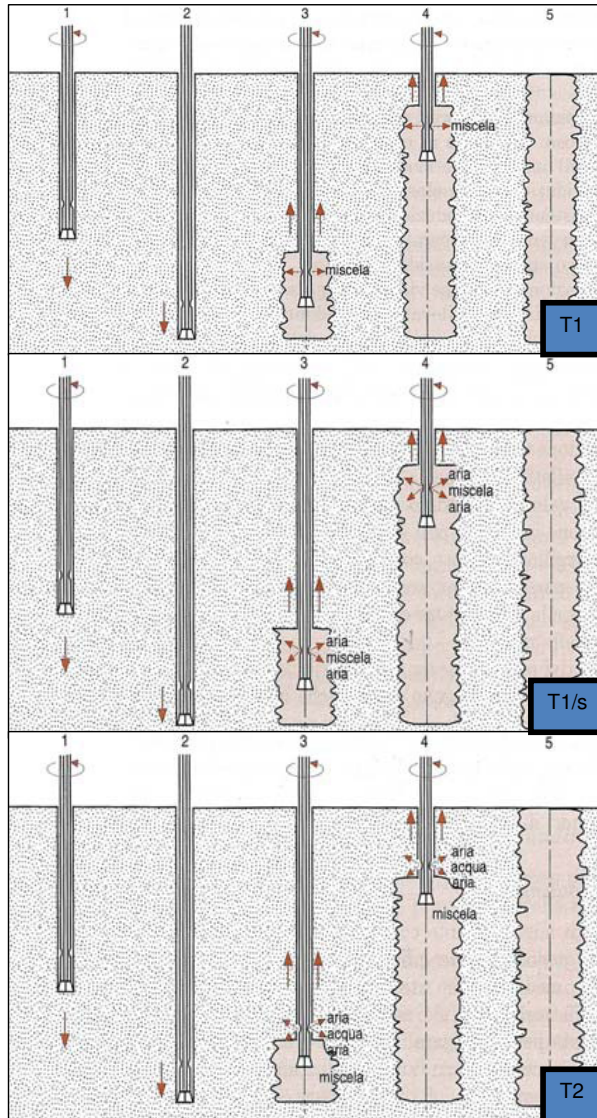
La tecnica T2 è del tipo triplo fluido: si ha un getto superiore di acqua ad alta pressione con attorno un getto di aria, con la funzione di disgregare il terreno. Poi c'è un getto inferiore di cemento a pressione più bassa che va a mischiarsi con il terreno smosso. Si raggiungono i 2500mm di diametro.

Questi sistemi vengono spesso utilizzati per creare un tampone di fondo impermeabilizzante.

Una parte della risalita viene fatta senza boiaccia.

Superjet

Sostanzialmente si tratta della stessa tecnica del T1/s, che è stata ottimizzata studiando la geometria del condotto in pressione, in modo da minimizzare le perdite di carico ed avere quindi velocità di uscita dall'ugello più alte. Si raggiungono i 4500mm di diametro.



Miscelazione meccanica secca

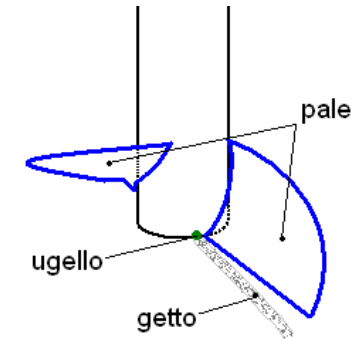
Nel caso nel terreno sia già presente una buona quantità di acqua, si può operare semplicemente aggiungendo cemento e miscelando il tutto con un utensile dotato di pale apposite.

Miscelazione meccanica umida

Si ha un getto di acqua e calcestruzzo a pressione media (30 bar) attraverso un utensile dotato di pale che sono in grado muovere il materiale mischiandolo con la miscela iniettata.

Turbojet

Si ha un utensile dotato di pale adatte a scalzare e muovere il terreno. Davanti alle pale passa un getto di boiaccia ad alta pressione (200-400bar) che fuoriesce dal fusto dell'utensile. Il getto passa proprio davanti allo spigolo di attacco della pala, in modo che possa farle strada attraverso il materiale. In questo modo si ha un diametro minimo garantito dal passaggio della pala.



Diaframmi

I diaframmi sono scavi di sezione rettangolare, di profondità normalmente variabile tra 30 e 50 metri (più rari con profondità di 50-80 metri). I diaframmi sono sostanzialmente dei muri di contenimento, realizzati per esempio nelle banchine dei porti. In generale si ha un utensile di sezione rettangolare che asporta il terreno creando uno scavo anch'esso rettangolare. Esistono anche utensili di forma rettangolare con lati corti circolari. Gli utensili più utilizzati sono le benne, ma esistono anche altre attrezzature per diaframmi, come per esempio le idrofresche. Normalmente si lavora in presenza di fango bentonitico per stabilizzare il foro. In seguito viene realizzato il getto di cemento con la stessa tecnica "a contractor" vista per i pali gettati in opera. Si ottiene un pannello di calcestruzzo nel terreno.

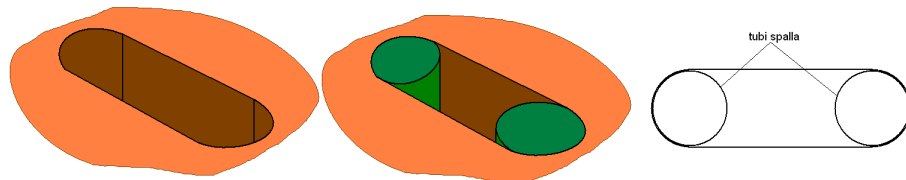
Lo scavo del pannello ha una sezione con misure caratteristiche legate alle dimensioni dell'utensile di scavo; genericamente si ha un rettangolo di misure $b \times h$. Per creare un muro di contenimento all'interno del terreno che si estenda con continuità per tutta la sua lunghezza è necessario realizzare numerosi pannelli rettangolari affiancati. E' naturalmente necessario collegare fra loro i vari rettangoli che compongono il muro per garantire resistenza strutturale e assicurare l'impermeabilizzazione.

Normalmente si procede come per i pali secanti: si esegue una serie di pannelli primari, distanziati fra loro di una misura di poco maggiore alla larghezza del pannello stesso. In seguito si eseguono i pannelli secondari, negli spazi lasciati fra quelli primari. L'utensile può entrare fra i pannelli primari grazie al margine lasciato fra loro, e rimuovere tutto il terreno presente.



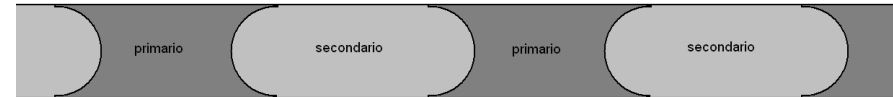
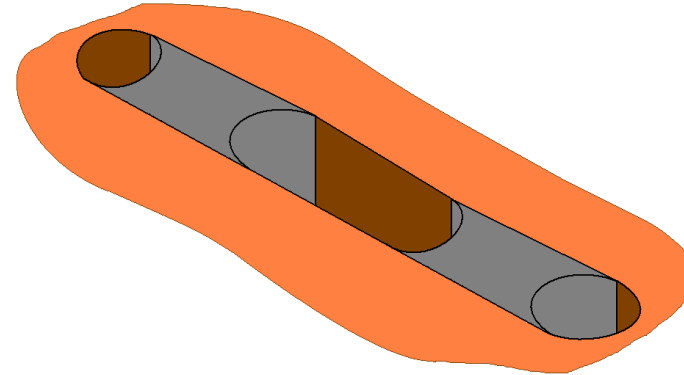
Per rendere i pannelli solidali fra loro ci sono varie tecniche: Tubi spalla, Tubi a perdere e Palancole.

1) TUBI SPALLA: Una tecnica molto usata in passato era quella dei tubi spalla. Questa tecnica si può utilizzare quando si eseguono gli scavi con benne a valve tonde (i lati corti delle valve non sono rettilinei bensì semicirconferenze). In questo caso si possono inserire dei tubi spalla ai lati dello scavo prima di eseguire il getto. I tubi poggiano sul fondo e copiano la forma circolare dei lati dello scavo. Il calcestruzzo gettato assume la forma dei tubi spalla, i tubi spalla rimangono pieni di fango bentonitico, ed il pannello creato risulta avere i lati corti concavi. Una volta creati i pannelli primari ed estratti i tubi spalla, si può procedere all'esecuzione dei pannelli secondari. In questo modo lo scavo del pannello secondario è guidato dalla forma dei pannelli primari, perché la benna a valve tonde si infila negli incavi dei pannelli già presenti.

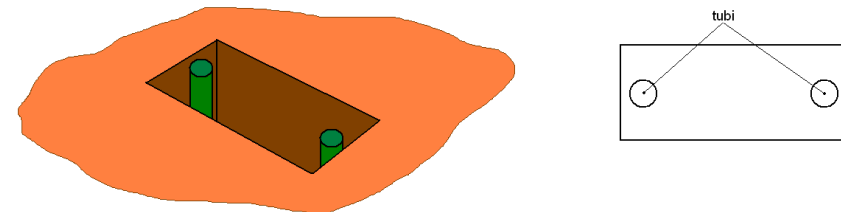


Una volta completato lo scavo dei pannelli secondari, si procede al getto. Il calcestruzzo va a riempire gli incavi dei pannelli primari, creando un vero e proprio incastro.

Questa tecnica ha il grande vantaggio di guidare lo scavo secondario, dando così la garanzia che i pannelli non divergano fra loro in profondità. Ad oggi però questa tecnica non è più usata, per lo più a causa dei lunghi tempi di attesa prima di poter estrarre i tubi spalla.

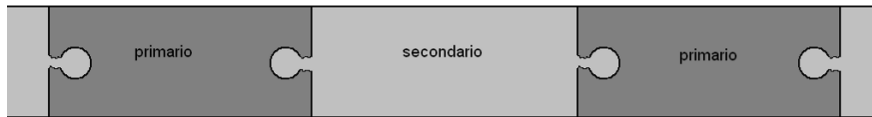
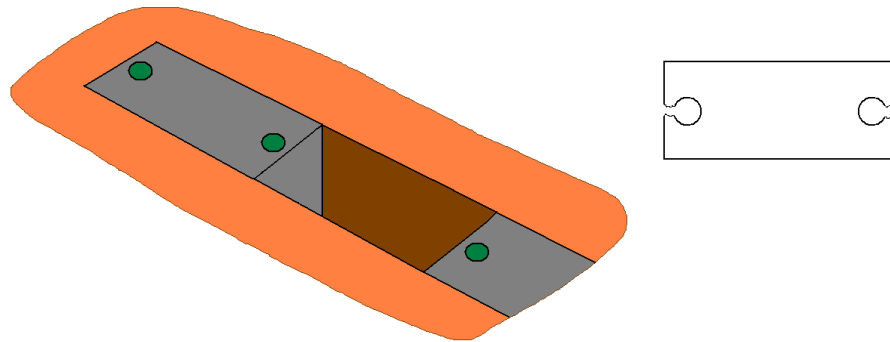


2) TUBI A PERDERE: Prima del getto del calcestruzzo si inseriscono negli scavi primari due tubi disposti verticalmente in prossimità dei lati corti del rettangolo. I tubi sono in PVC (plastica relativamente fragile) fissati alla armatura e vengono appoggiati sul fondo. Quando il calcestruzzo viene gettato, riempie tutta la sezione tranne i tubi, che rimangono pieni di fango bentonitico. Si ottiene perciò un pannello con due fori.

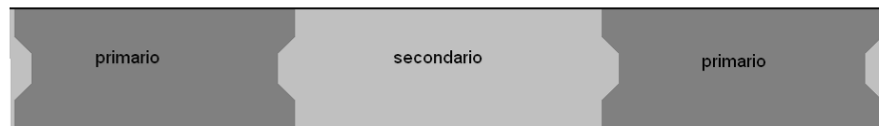
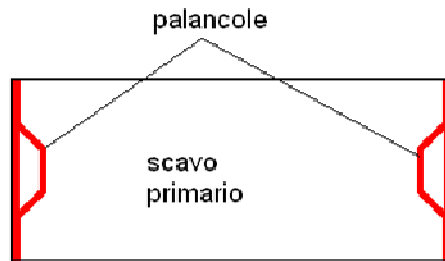


In seguito dopo aver eseguito gli scavi secondari, utilizzando un utensile apposito, si sgretola il cordone di calcestruzzo che separa il tubo dal pannello secondario, rompendo in questo modo anche il tubo. Così si viene a creare una rientranza di forma circolare nel pannello primario. Al momento del getto del pannello secondario il calcestruzzo riempie la rientranza creando un collegamento con il pannello primario.

Questo metodo non garantisce che i pannelli siano allineati.

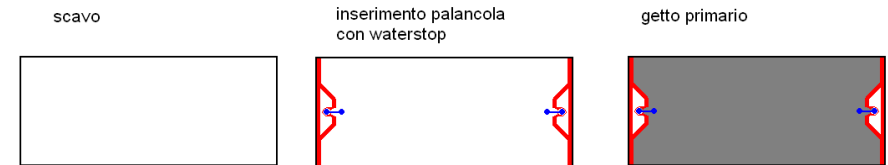


3) **PALANCOLE**: questo metodo prevede l'infissione di una palanca nello scavo del pannello primario, prima del getto. In questo modo, dopo il getto, il calcestruzzo sui lati corti assume la forma della palanca e crea una rientranza. Quando il calcestruzzo è abbastanza solido da mantenere la sua forma, si estraggono le palancole. E' necessario non attendere troppo prima di estrarre le palancole, perché se il calcestruzzo matura troppo, aderisce alle palancole e non si riesce ad effettuarne l'estrazione. In seguito si esegue lo scavo per il pannello secondario, e tramite un utensile apposito che copia la forma della rientranza del pannello primario, si rimuove il terreno da questa zona. Eseguendo il getto il calcestruzzo va a riempire la rientranza creando un incastro fra i pannelli.

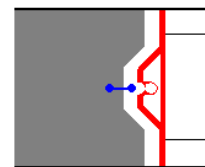


Neanche questa tecnica garantisce l'allineamento fra i pannelli, ma, tramite opportuni accorgimenti, ha il vantaggio di rendere possibile l'inserimento di elementi plastici, chiamati water stop, fra i pannelli, allo scopo di garantire una migliore impermeabilizzazione. Infatti, è possibile che nella zona di discontinuità fra pannello primario e pannello secondario avvenga l'infiltrazione di acqua.

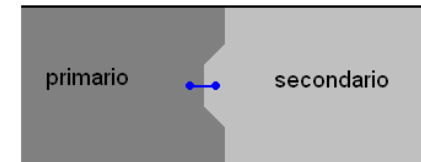
Per evitare queste infiltrazioni, si adotta la seguente tecnica: una volta eseguito lo scavo primario si inserisce una palanca speciale che alloggia un water stop, e poi si esegue il getto. Il getto avvolge una parte del water stop. Si procede poi all'esecuzione dello scavo secondario. In seguito le palancole vengono separate dal getto primario tramite l'introduzione di un elemento fra la palanca e il calcestruzzo. Questo elemento funge da cuneo e stacca la palanca dal calcestruzzo, lasciando però il water stop nella sua posizione. A questo punto viene eseguito il getto secondario, che avvolge il water stop: così facendo si è creata una barriera impermeabilizzante che attraversa l'interfaccia fra i pannelli primari e quelli secondari.



estrazione palanca



getto secondario



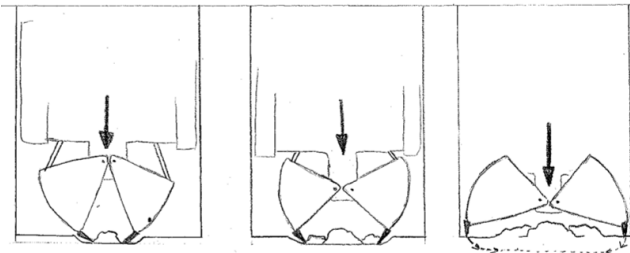
Benne

Le benne sono utensili di scavo per diaframmi, composti da due valve in grado di aprirsi e chiudersi raccogliendo materiale e trasportandolo fuori dallo scavo. I profili esterni sono dotati di denti per scalfire il terreno.



Normalmente le valve sono fissate su un corpo-benna, all'interno del quale è presente il sistema di apertura e chiusura delle valve. Ai lati del corpo benna sono fissati degli "scarponi" che hanno le stesse dimensioni della benna (aperta) e hanno la funzione di guidare l'utensile all'interno dello scavo, strisciando sulle pareti.

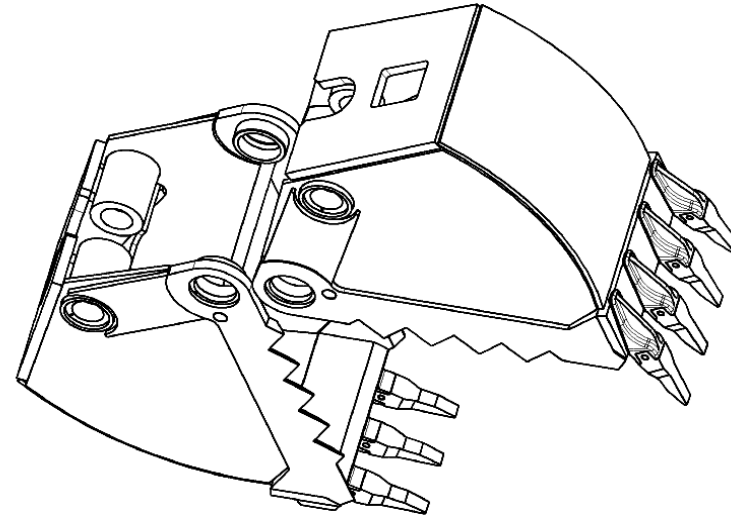
La benna è normalmente fissata ad una gru. Il ciclo di lavoro prevede l'appoggio della benna aperta al terreno: in questa fase il peso dell'utensile e la velocità fanno sì che i denti penetrino nel suolo. Azionando il meccanismo di chiusura, la benna smuove il terreno e ne racchiude una parte all'interno delle valve. A valve chiuse si solleva la benna e si effettua una rotazione della gru fino a portare l'utensile chiuso sopra una zona di scarico, dove le valve vengono aperte e il terreno scaricato. All'interno delle valve sono presenti delle griglie che, in fase di apertura non ruotano solidalmente alle valve, e quindi favoriscono il distacco del terreno, che altrimenti tenderebbe a rimanere attaccato all'utensile. Procedendo in questa maniera si produce uno scavo di sezione rettangolare: il ciclo viene ripetuto più volte, reimmettendo la benna nello scavo, scavandone il fondo, risollevando la benna e scaricando il materiale, fino al completamento dello scavo.



In realtà, molto spesso, gli operatori preferiscono effettuare l'operazione di scavo del terreno in più mosse: si appoggia una prima volta la benna semichiusa sul terreno e poi si solleva di poco lasciando cadere il terreno rimosso. Poi si

ripete l'operazione con le valve un po' più aperte, rimuovendo e lasciando ricadere altro terreno. Si procede così fino alla massima apertura: in questo modo si ha una buona quantità di terreno già smosso che viene raccolto chiudendo le valve.

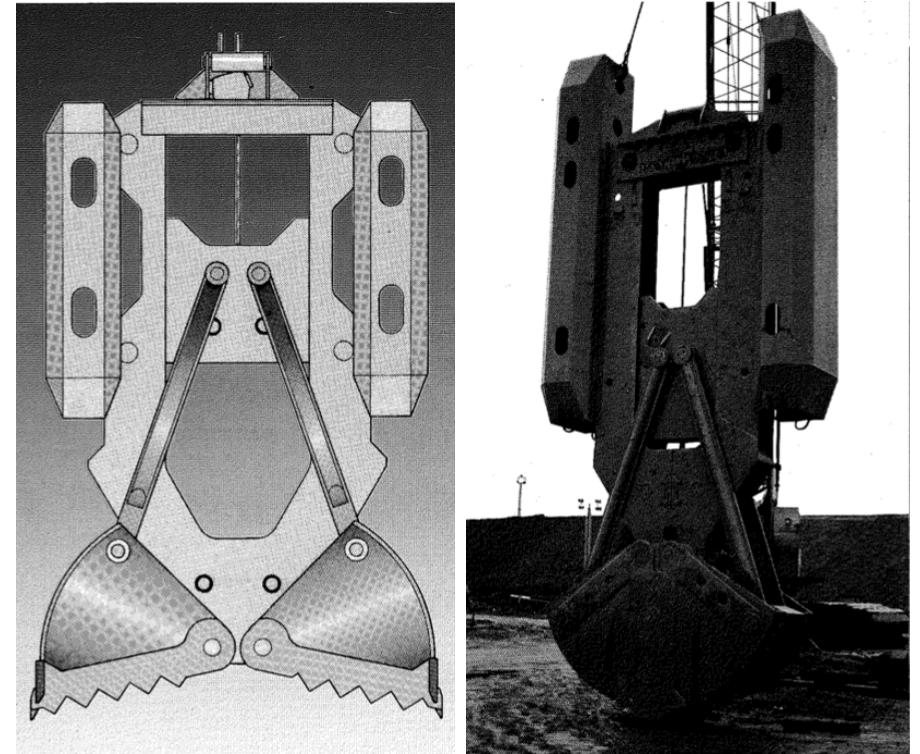
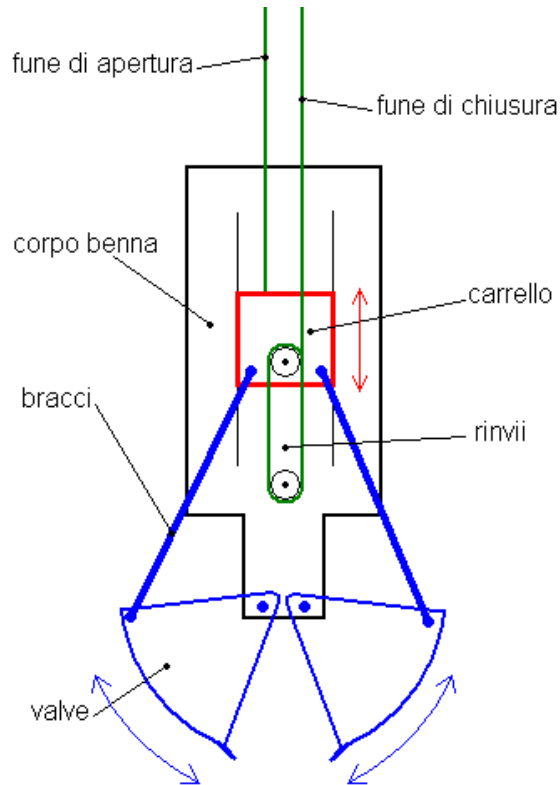
I denti collocati sulle valve sono disposti quasi sempre in questo modo: su una valva si ha un numero pari di denti, e su quella opposta si ha un numero dispari: questo è necessario per avere l'incastro corretto fra i denti in posizione di chiusura. Questa asimmetria crea un problema in fase di scavo. Infatti, il lato con più denti tende a scavare di più il terreno, perciò lo scavo ha la tendenza a deviare il suo percorso, discostandosi dalla rettilineità. Per ovviare a questo problema, si opera in questo modo: non si utilizza la benna sempre nello stesso verso, ma alternativamente in entrambi i versi: ogni volta che si introduce la benna nello scavo la si ruota di 180 gradi. In questo modo, una volta si scava rimuovendo più terreno su un lato, e alla successiva operazione si scava rimuovendo più terreno sul lato opposto.



Benne a Fune

Le benne a fune sono sospese alla gru per mezzo di due funi. Queste funi sono anche responsabili dell'apertura e chiusura delle valve. Sul corpo benna è presente un carrello scorrevole collegato alle valve per mezzo di due bracci. Il carrello è mosso dalle due funi: la fune di apertura lo trascina verso l'alto, provocando l'apertura delle valve. La fune di chiusura lo trascina verso il basso, tramite dei rinvii, provocando la chiusura. I rinvii sono presenti per creare un tiro multiplo ed avere così a disposizione una forza di chiusura elevata. Come detto, le funi oltre a provocare apertura e chiusura delle valve sostengono tutta la benna al braccio della gru: in particolare in fase di sollevamento è la fune di chiusura che sostiene il peso della benna, mentre in fase di discesa nello scavo è quella di apertura. Questo tipo di benna è molto difficile da manovrare perché, in fase di estrazione dallo scavo, va attuato un preciso controllo sul tiro delle funi, in modo che entrambe vengano avvolte, ma che sia sempre quella di chiusura ad avere il tiro maggiore, per tenere chiuse le valve. Anche in fase di discesa si procede ugualmente, ma tenendo in tensione la fune di apertura, per mantenere aperte le valve. Quindi, il sollevamento della benna si effettua tramite la fune di chiusura, mentre invece durante la discesa la benna è sospesa alla fune di apertura. Durante la fase di rotazione della gru per raggiungere la zona di scarico, la benna tende a ruotare e, quando la si deve re-immettere nello scavo, non è più allineata: così, grazie al fatto che le funi hanno avvolgimento l'una destro, l'altra sinistro, aumentando il peso che si scarica su una e sull'altra, gli operatori riescono a fare ruotare la benna, orientandola correttamente.

Grazie alle funi è possibile eseguire anche scavi inclinati rispetto alla macchina, proprio perché le funi permettono alla benna di disporsi, in pianta, in maniera inclinata rispetto alla macchina. Si vedrà in seguito che questa opzione non è sempre praticabile con altri tipi di benne.



Le benne a fune sono normalmente molto pesanti: infatti, in fase di chiusura delle valve sul fondo dello scavo, è il peso dell'utensile che permette alle valve una miglior penetrazione nel terreno e quindi una maggior riempimento. La chiusura delle valve però è attuata tramite il tiro di una fune, il quale contrasta in parte il peso della benna: perciò non tutto il peso della benna si scarica sul fondo dello scavo in maniera utile ma una parte di esso viene bilanciata dal tiro di chiusura delle valve. E' per questo che si tende a realizzare benne a fune molto pesanti.

La pesantezza della benna porta però un vantaggio in termini di verticalità dello scavo: infatti la benna appesa alle funi è come un filo a piombo, ed è quindi in grado di assicurare un'ottima verticalità. Altro vantaggio legato al peso sta nell'eventuale uso della benna come utensile a percussione, ottenendo un effetto simile allo scalpello. In tal caso la struttura deve essere sufficientemente robusta

Benne Idrauliche

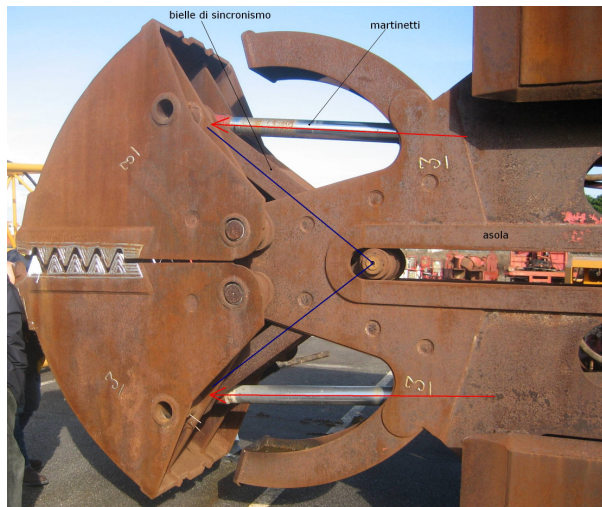
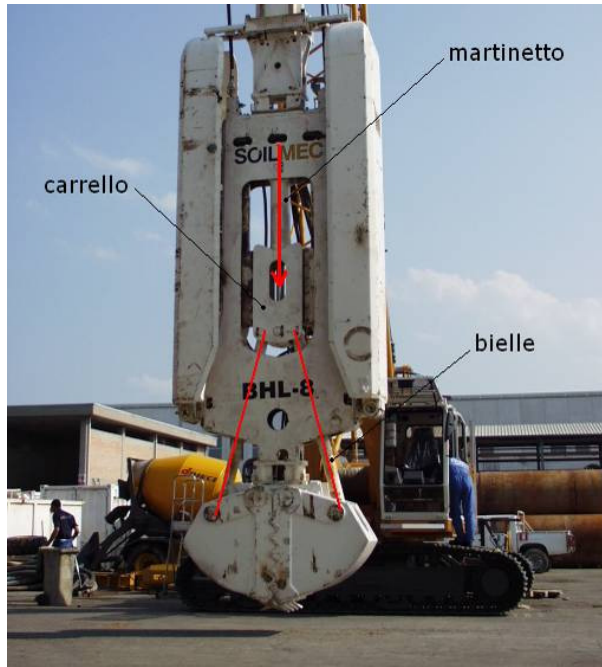
Le benne idrauliche sono dotate di martinetti che attuano l'apertura e la chiusura delle valve: si può avere un solo martinetto o due martinetti.

1) Nel primo caso si ha un carrello simile a quello delle benne a fune collegato alle valve tramite due bielle. Il martinetto è solidale al corpo benna e spinge sul carrello facendolo muovere, azionando così le valve.

2) Nel secondo caso si hanno due martinetti, uno per valva, fissati al corpo benna e disposti in modo da spingere sulle valve facendole aprire e chiudere. Il sincronismo delle valve è assicurato da due bielle collegate alle valve, che scorrono in un asola sul corpo benna.

Con l'utilizzo dei martinetti la benna diventa più sofisticata rispetto a quelle a fune, a causa della presenza dell'impianto idraulico di alimentazione dei martinetti.

D'altra parte, la benna può essere più leggera perché non c'è più l'effetto del tiro della fune di chiusura che contrasta il peso, ed è inoltre più facile da manovrare



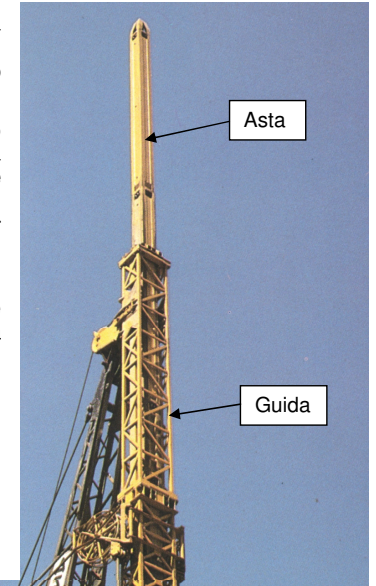
Anche le benne idrauliche sono sollevate dalla gru tramite delle funi. Si distinguono vari tipi di benne idrauliche a seconda del tipo di collegamento con la gru.

Benne a guida monolitica

Le benne a guida monolitica sono collegate ad un'asta Kelly che scorre all'interno di una guida. La profondità di scavo è limitata dalla lunghezza dell'asta. Il movimento verticale è attuato tramite una fune collegata all'asta.

L'asta ha il compito di guidare la benna lungo tutto lo scavo, assicurandone la verticalità. Inoltre l'asta mantiene in posizione la benna anche durante le operazioni di rotazione della torretta e di scarico: in questo modo la benna è sempre in posizione corretta per trovare l'imbocco dello scavo senza bisogno di operazioni di centraggio, con notevole risparmio di tempo.

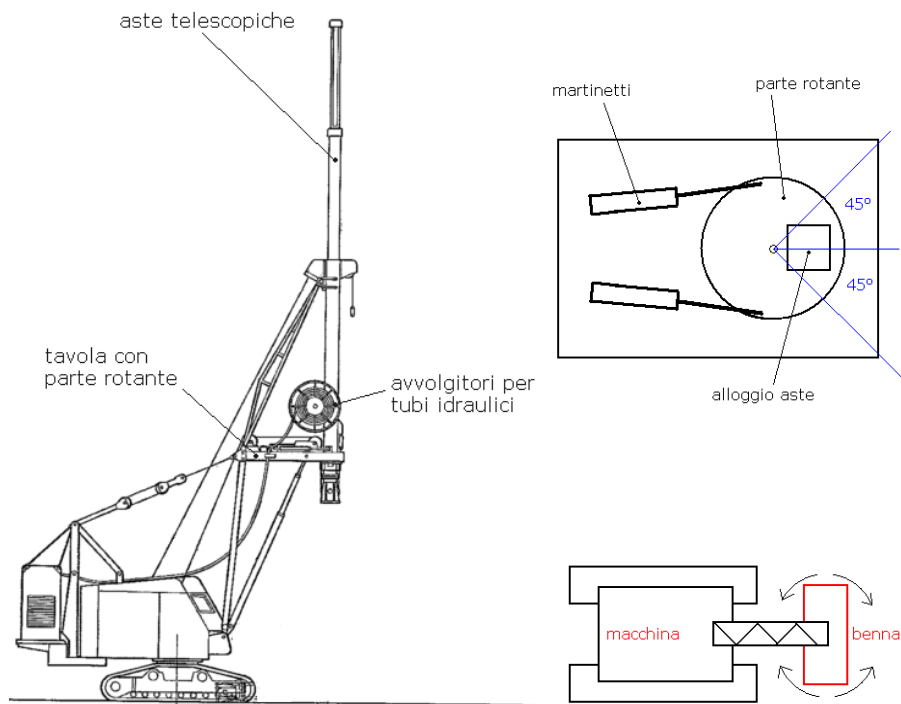
Con questo tipo di benna però, non è possibile realizzare scavi inclinati (in pianta) rispetto alla macchina, proprio a causa dell'asta di guida che ne blocca la rotazione.



Benne a guida telescopica

La limitata profondità di scavo raggiungibile con le benne a guida monolitica ha portato alla realizzazione di benne a guida telescopica. La benna è fissata ad una serie di aste telescopiche, che hanno la funzione di guidare lo scavo fino a profondità elevate. I movimenti verticali sono comandati da una fune con tiro in seconda, collegata alla benna.

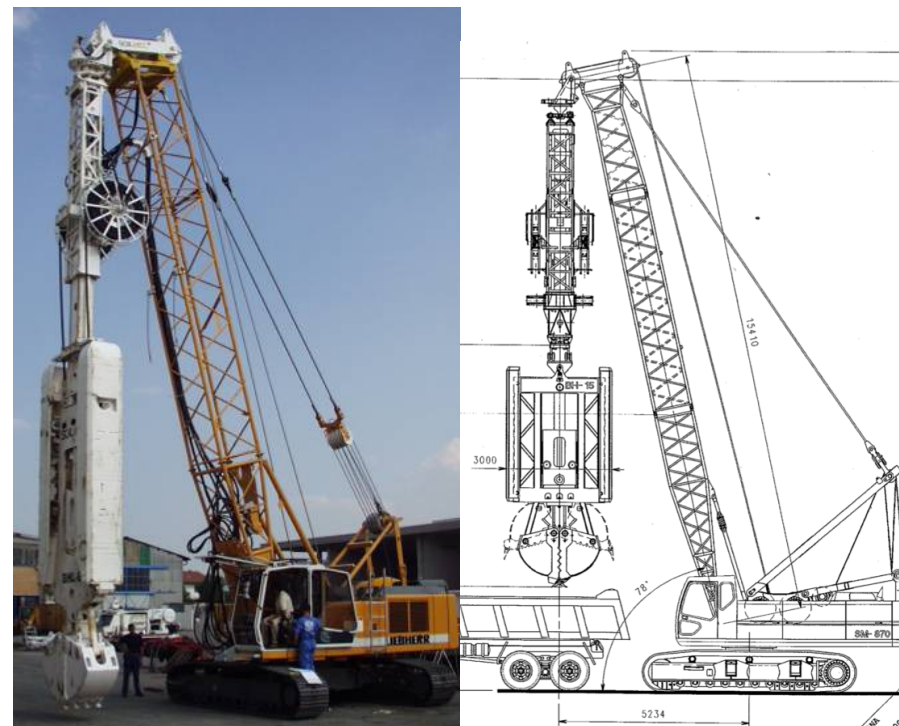
Viene introdotta anche la possibilità di orientare la benna: in una vista in pianta, normalmente la benna si trova disposta perpendicolarmente alla direzione longitudinale della torretta. E' interessante la possibilità di orientare la benna in maniera inclinata, in modo da poter realizzare scavi anche in zone con spazi ristretti, nelle quali non sarebbe possibile mantenere la benna perpendicolare alla macchina. Le aste sono fissate ad una tavola che ha una parte rotante. La rotazione è comandata da due martinetti. In questo esempio si può far ruotare la benna di 45 gradi a destra ed a sinistra.



Questo tipo di benna non è in grado di assicurare una buona verticalità dello scavo a causa dei giochi fra le aste telescopiche e della deformabilità delle aste stesse. Per profondità di 15-20 metri la verticalità è comunque discreta ed è in questo campo che questa soluzione ha ottenuto un ottimo successo di mercato.

Benna iniziale orientabile

Questo tipo di benna nasce con l'obiettivo di abbinare i vantaggi della benna guidata tramite asta telescopica e quelli delle benne a fune.



All'apice del braccio della gru è collocato un sistema di rotazione dotato di motore idraulico. Grazie a questo sistema la benna può compiere 180° di rotazione in entrambe le direzioni. Sotto il sistema di rotazione è collocata una guida all'interno della quale scorre un'asta solidale alla benna. Asta e benna sono sostenute da una fune. Quando viene attuata la rotazione, tutto il gruppo di guida, asta e benna ruota attorno alla fune disponendosi nella direzione voluta.

L'asta e la guida hanno una lunghezza limitata: infatti è previsto che l'asta si sfilì dalla guida dopo i primi metri di scavo. Le lunghezze di asta e guida sono tali che quando la benna entra nello scavo l'asta esce dalla guida e quando la benna esce dallo scavo l'asta rientra nella guida. In questo modo quando la benna è fuori dallo scavo è tenuta in posizione dalla guida, mentre, una volta dentro all'interno dello scavo, non ha più bisogno di essere guidata, perché è lo scavo stesso che la tiene in posizione.

Essendo la benna ad azionamento idraulico è presente un fascio di tubi che dalla macchina arriva alla benna portando l'olio in pressione. I tubi sono raccolti tramite due avvolgitori collocati sulla guida dell'asta: proprio per la presenza di questi tubi, che dalla macchina vanno verso gli avvolgitori, non è possibile compiere rotazioni più ampie di 180°, in tal caso infatti i tubi si attorciglierebbero attorno all'asta. La presenza degli avvolgitori sulla guida introduce problemi di ingombro in caso si eseguano scavi in prossimità di edifici.

Benna Iniziale Orientabile - Versione Rotograb

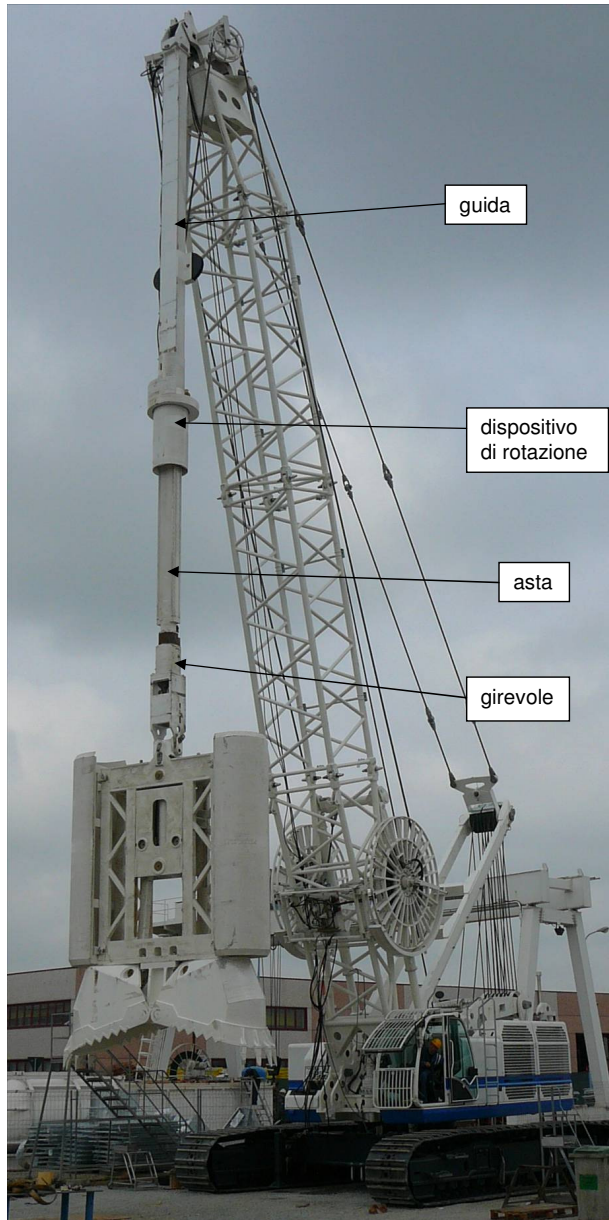
Per ovviare al problema dell'ingombro degli avvolgitori collocati sulla guida, è stata progettata la benna rotograb.

Si tratta sostanzialmente una benna a guida iniziale orientabile con gli avvolgitori collocati sulla gru, alla base del braccio. I tubi dell'olio partono dagli avvolgitori e passando dalla testa del braccio della gru si infilano all'interno della guida ed arrivano ad un elemento chiamato "girevole".

Il girevole funge da interfaccia fra la parte fissa (la guida) e la parte rotante (la benna), e permette il passaggio dell'olio fra le parti senza che vi sia alcun attorcigliamento di tubi. Il girevole è equipaggiato con un motore idraulico che permette di far ruotare asta e benna in ogni direzione senza limiti di ampiezza.

In particolare, in condizioni di scavo, la benna non ruota rispetto ad asta e guida perchè è tenuta in posizione da un dispositivo frenante all'interno del girevole. Quando la benna viene sollevata fino all'altezza massima, ed l'asta è completamente nascosta all'interno della guida, il girevole entra all'interno di un apposito cilindro che fa parte del dispositivo di rotazione: così facendo viene attivato un comando meccanico che sblocca il freno, ed è così possibile attuare la rotazione.

Con questo tipo di benne è possibile eseguire diaframmi in prossimità di altre costruzioni, avvicinandosi molto ad esse senza problemi di interferenza.



Benna Active - Benna Active

La verticalità di uno scavo di un pannello è affidata solo al principio del filo a piombo: la benna infatti è appesa alla gru e grazie al suo peso tende a scavare procedendo lungo una verticale. Naturalmente ci sono molti fattori che influenzano la verticalità dello scavo, e possono farlo deviare dal suo percorso ideale. Perciò quando si realizzano pannelli adiacenti c'è il rischio che in profondità essi divergano in direzioni opposte, divenendo separati fra loro, e perdendo perciò qualsiasi efficacia strutturale ed impermeabilizzante.

Spesso il controllo della verticalità è affidato al controllo della posizione della fune di sostegno della benna: se la fune è decentrata rispetto al baricentro della sezione dello scavo quando la benna è in profondità, significa che c'è stata una deviazione dalla verticale.

La benna Active introduce un controllo preciso sulla verticalità grazie a sensori che indicano con precisione se ci sono spostamenti dal percorso ideale. Inoltre, è dotata di scarponi regolabili: questi sono infatti fissati alla benna tramite dei martinetti che, se attivati, possono far variare la posizione degli scarponi. In questo modo, quando il sistema rileva una deviazione rispetto alla verticale, attua una correzione modificando la posizione degli scarponi, facendo così tornare lo scavo sulla linea esatta. Questo sistema però è molto costoso e complicato, e spesso non è conveniente applicarlo, in quanto si possono ottenere buoni risultati in termini di verticalità solo tramite il controllo della fune.

Pannelli a T: Benne Trivalve e Benne Quadrivalve

In alcuni casi è necessario realizzare pannelli a forma di T, quando per esempio si vuole aumentare la resistenza alla flessione del muro di contenimento.



Esistono utensili dedicati che creano degli scavi a forma di T. Si tratta di benne dotate di 3 o 4 valve. Nelle benne a 3 valve, due sono poste in posizione normale, mentre la terza è ortogonale e si chiude sul fianco delle prime 2, realizzando lo scavo a forma di T. Le benne a 4 valve sono sostanzialmente composte da due benne classiche (con 2 valve) ortogonali fra loro. L'utilizzo di queste benne è molto raro e complicato.

Più frequentemente si usa realizzare lo scavo in due fasi con benne normali: per primo si scava il pannello che costituisce la testa orizzontale della lettera T, subito dopo quello che fa da gamba verticale. Nella seconda fase i denti di una valva sfiorano la parete scavata in precedenza.

Naturalmente i detriti di scavo nella seconda fase cadono in parte dentro al primo scavo e a ciclo terminato occorre procedere ad una pulizia accurata.

Inoltre gli spigoli fra i due pannelli, nonostante la bentonite, tendono a franare alterando la sezione complessiva.

Le gabbie di armatura sono anch'esse a T e quindi la verticalità degli scavi è della massima importanza: una deviazione eventuale di uno dei due scavi può rendere impossibile la introduzione della gabbia fino al fondo.

Benna ad Eliche

Una benna classica, sia essa a fune che idraulica, occupa un volume molto elevato, se si considera tutta la sua struttura comprensiva di valve, corpo e scarponi. Se invece si considera il volume di terreno asportato e prelevato dallo scavo ad ogni ciclo, appare molto piccolo in relazione alla benna. E' perciò plausibile pensare di voler sfruttare tutto il volume disponibile per asportare la massima quantità di terreno possibile ad ogni ciclo, in modo tale da diminuire il numero totale di cicli e quindi anche il tempo di esecuzione dello scavo.

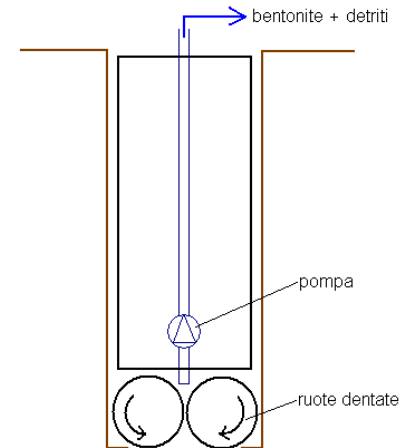
Le benne ad eliche nascono per massimizzare la quantità di terreno asportato. Queste benne sono costituite da quattro eliche intubate ed affiancate fra loro. In questo modo le eliche asportano terreno al fondo e lo immagazzinano all'interno dei tubi. Quindi, parità di volume occupato dall'utensile, queste benne asportano un volume di terreno 4 o 5 volte superiore rispetto alle benne classiche.

Questo tipo di benna ha però alcuni problemi: anzitutto la forma dello scavo non è rettangolare: per ovviare a ciò si sono introdotti degli elementi di collegamento fra i tubi (lamiere tangenti ai tubi) che, agendo come scalpelli, sgretolano gli spicchi di terreno non rimossi dalle eliche. Questo però comporta una limitazione in presenza di terreni duri, dove questi scalpelli non sono efficaci. Inoltre gli scavi con benna ad eliche non possono essere realizzati in presenza di bentonite, perché questa impedirebbe al terreno di rimanere sulle spire, ma lo farebbe scivolare, annullando l'effetto dell'elica.

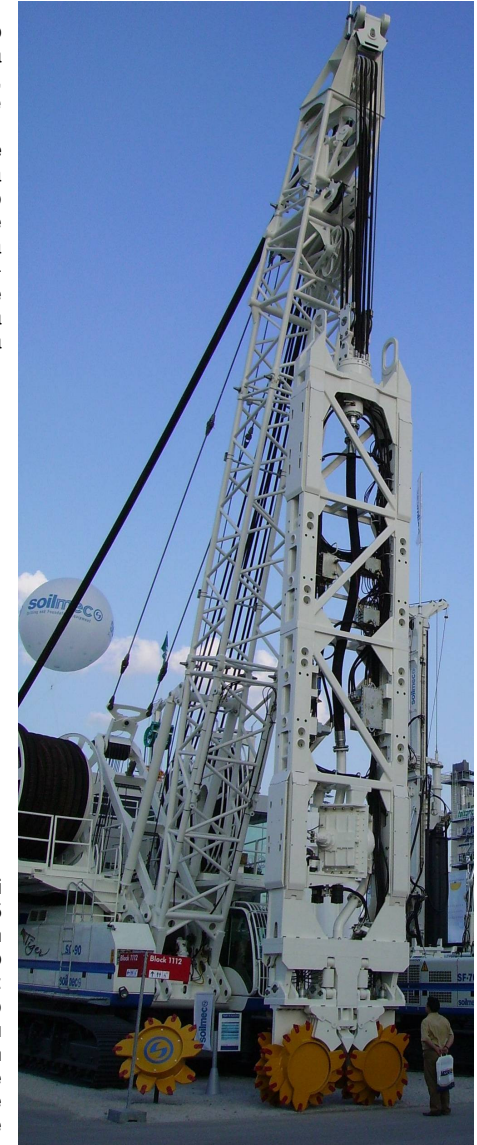


Idrofresa

Le idrofresse sono dotate di due grandi ruote dentate affiancate, disposte con assi paralleli al terreno. Le due ruote vengono messe in rotazione in modo che nella zona inferiore scavino il terreno tramite i denti, e tendano a trasportarlo nella zona fra di esse (zona di tangenza fra le ruote). Lo scavo viene eseguito in presenza di bentonite: è presente un sistema di ricircolo della bentonite che, grazie ad una pompa collocata nella parte bassa dell'idrofresa, preleva il fango bentonitico dalla zona fra le due ruote e lo porta in superficie. Tutto il terreno rimosso dalle ruote è in sospensione nella bentonite e viene perciò aspirato dalla pompa e portato in superficie. Il fango bentonitico perciò funge da vettore dei detriti, e deve essere depurato da essi una volta fuoriuscito dall'idrofresa, prima di essere re-immesso nello scavo. Le idrofresse sono inoltre dotate di un sistema attivo per il controllo e la correzione della verticalità, del tutto simile a quello delle benne Active.

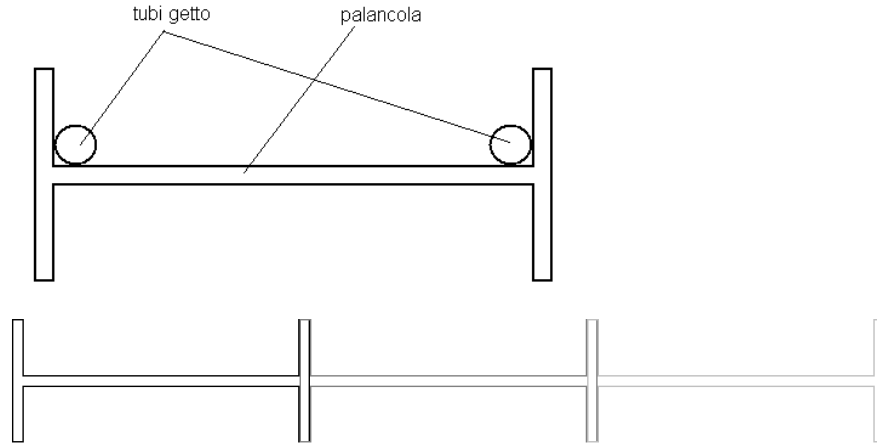


L'idrofresa permette di ottenere velocità di scavo dell'ordine dei 15 metri all'ora, circa 5 volte superiori rispetto alle benne, con profondità massime di 100 metri. Il rovescio della medaglia è l'alto costo dell'attrezzatura: l'idrofresa in se è un utensile molto ingombrante e costoso, che viene montato su gru dal tonnellaggio elevato. Inoltre serve un sistema di pompaggio della bentonite che garantisca portate molto elevate ed è necessaria una manutenzione molto frequente su tutta l'attrezzatura.



Diaframmi Sottili

Sono diaframmi che vengono realizzati con una tecnica poco costosa, e hanno principalmente la funzione di impermeabilizzazione. Si infolge nel terreno tramite un vibratore una palancola a forma di H. Annessi alla palancola sono presenti dei tubi di iniezione, attraverso i quali viene effettuato il pompaggio di boiaccia al momento dell'estrazione della palancola.



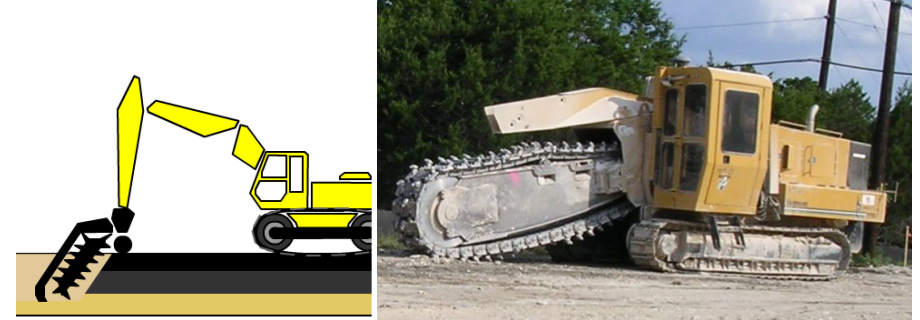
Diaframmi Plastici

Questi diaframmi vengono scavati utilizzando come metodo di stabilizzazione dello scavo una miscela particolare di acqua + bentonite + cemento in queste proporzioni: 1 m³ di acqua + 30 Kg di bentonite + 250 Kg di cemento.

I pannelli vengono eseguiti di seguito, in un' unica trincea allagata. Abituamente la sequenza è 1,3,2,5,4,7,6, ecc. Una volta completato lo scavo la miscela viene lasciata all'interno dello scavo. Il tempo di solidificazione della miscela è molto lungo, circa una settimana. Una volta solidificata la miscela dà luogo ad un pannello con caratteristiche particolari: è deformabile e ha bassa resistenza meccanica, ma offre un'ottima impermeabilizzazione. Perciò questo tipo di diaframmi viene usato con l'unica funzione di impermeabilizzare, senza alcuna funzione meccanica.

Diaframmi Continui: CDW

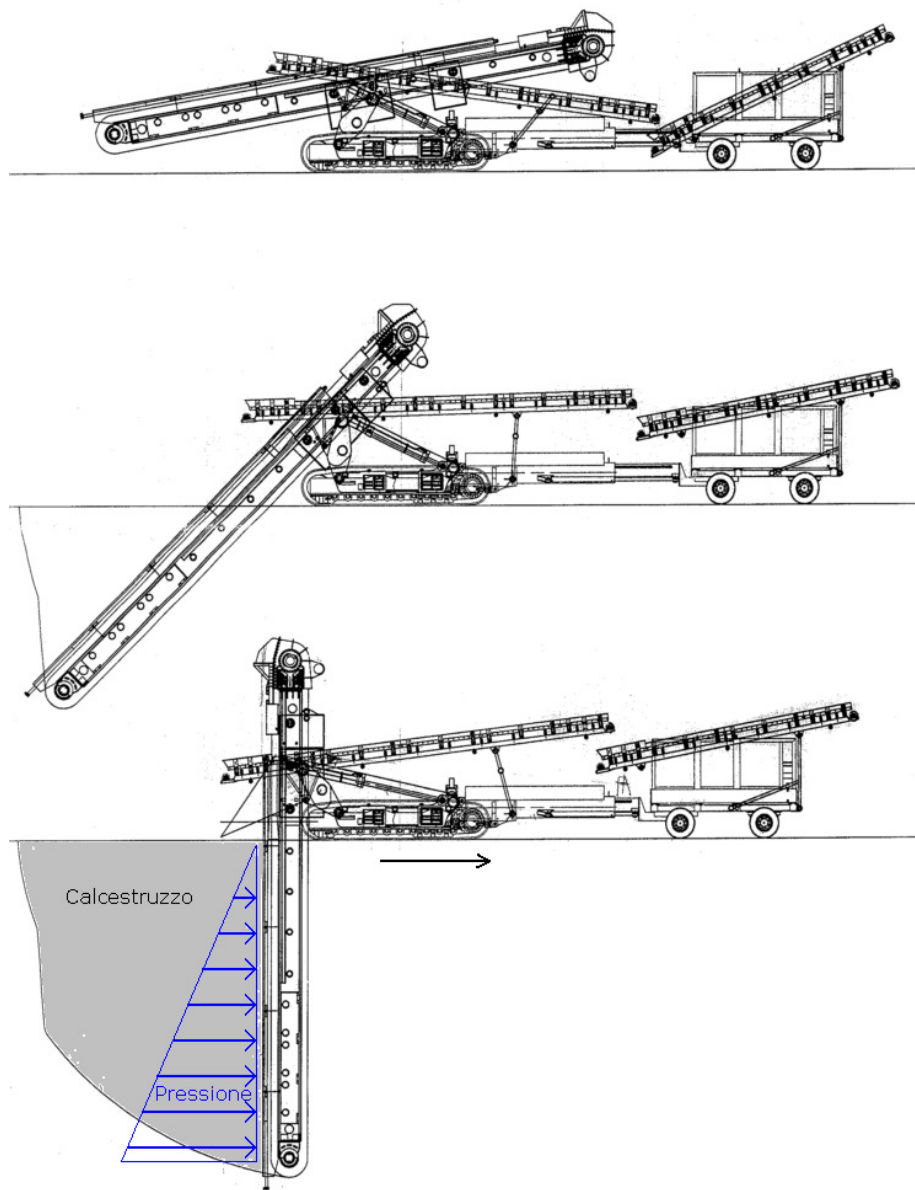
Esistono dei macchinari, i Trencher, appositamente progettati per eseguire scavi dal profilo rettangolare in maniera continua: sono dotati di un braccio attorno al quale scorre una catena dotata di denti. Il braccio penetra nel terreno e, mentre la macchina si muove all'indietro, esegue il fossato rettangolare. Queste macchine creano scavo continui ma di profondità limitata.



Prendendo spunto da questo tipo di macchine è stata studiata una tecnica in grado di eseguire diaframmi continui, chiamata Continuous Diaphragm Wall = CWD. Il macchinario è costituito da un carro cingolato sul quale è montato un braccio con catena dentata. Il braccio viene fatto penetrare nel terreno finché non viene a trovarsi in posizione verticale. A questo punto viene riempito lo scavo con calcestruzzo: il calcestruzzo non viene a contatto con la catena dentata perché questa è protetta da una lamiera appositamente fissata al braccio, che la separa dal calcestruzzo. La pressione del calcestruzzo si distribuisce idrostaticamente sulla lamiera di separazione ed agisce come spinta di scavo: preme la catena contro il terreno da scavare e fa avanzare la macchina. Man mano che la macchina avanza viene gettato altro calcestruzzo: il modulo è movimentato lungo lo sviluppo del diaframma, grazie alla spinta idrostatica esercitata dal calcestruzzo immesso nella cavità sul fronte opposto a quello di scavo. Alla fine dello scavo si estrae il braccio e, una volta che il calcestruzzo si è solidificato, si ha un diaframma continuo, cioè creato con un' unico getto, senza interruzioni.

Il particolare sistema di scarico del materiale di risulta, non inquinato dalla presenza di fanghi bentonitici, contribuisce a rendere estremamente pulita l'intera area di lavoro. La velocità d'esecuzione, l'assenza di giunti e la possibilità di utilizzare miscele cementizie autoindurenti, rende concorrenziale il sistema CDW nella realizzazione di diaframmi plastici impermeabili per cinturazioni di discariche e per qualsiasi intervento d'impermeabilizzazione idraulica.

Questa tecnica ha però alcuni difetti: la profondità di scavo non può essere troppo alta, perché in tal caso la pressione idrostatica sulla parte bassa del braccio sarebbe eccessiva e farebbe avanzare lo scavo in maniera maggiore nella parte bassa, tendendo a sollevare il carro cingolato. Nei terreni argillosi, la catena tende a trattenere blocchi di argilla perdendo capacità di taglio, mentre in terreni duri (come per esempio il tufo) la velocità di avanzamento è piuttosto limitata. Se l'avanzamento non è abbastanza rapido si corre il rischio di far solidificare il calcestruzzo, con la conseguente impossibilità di estrarre il braccio dallo scavo. Inoltre, se il terreno presenta delle cavità sotterranee, quando il braccio si trova a scavare in prossimità di esse, il calcestruzzo può aggirare la barriera di separazione e sommergere la catena.

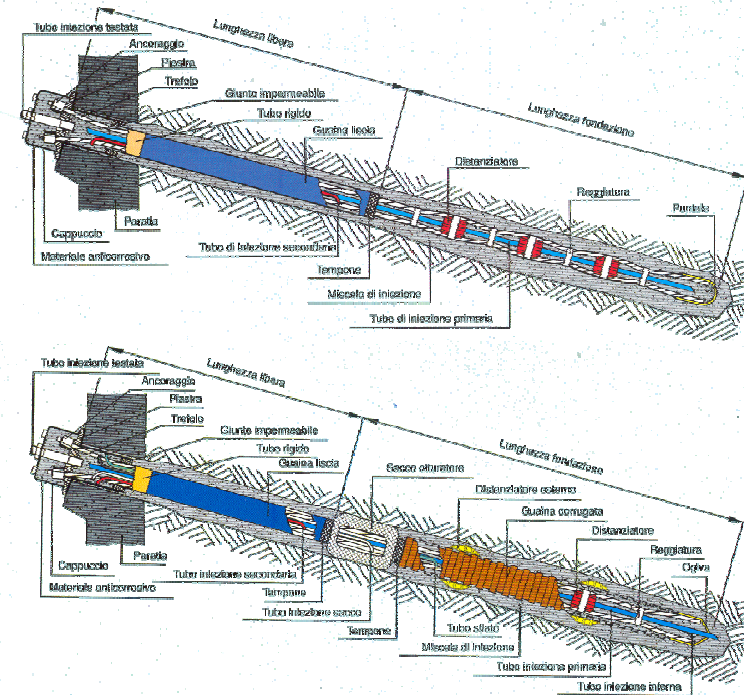
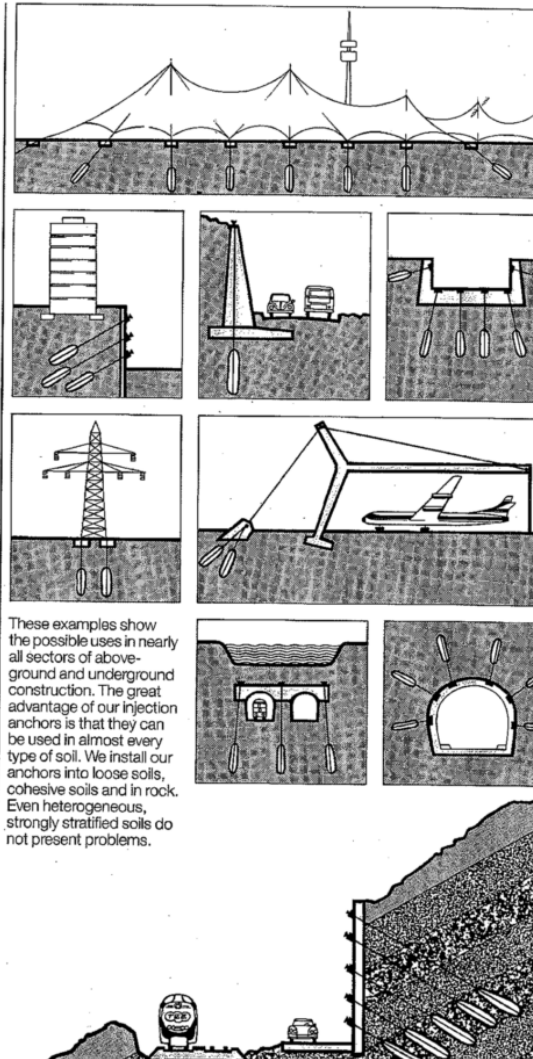


Ancoraggi, Micropali e Tunnel

Ancoraggi e Tiranti

Ancoraggi e tiranti trovano applicazione in strutture quali: tensostrutture, piloni, gallerie, tettoie, pareti di contenimento, vasconi, ecc. Il loro compito è quello trasferire il carico di trazione generato dalla struttura al terreno in profondità.

La loro realizzazione prevede una perforazione (inclinata in maniera opportuna, in modo da assecondare la direzione del carico che verrà applicato) nella quale viene inserita una barra di acciaio o dei trefoli anch'essi in acciaio, e la successiva iniezione di malte o miscele cementizie. La miscela cementizia è direttamente a contatto sia con il terreno sia con la parte in acciaio, in modo da trasferire il carico, e viene iniettata tramite un opportuno tubo collocato fra i trefoli. Una volta che la miscela si è solidificata, il tirante viene messo in trazione dall'esterno con un martinetto, e viene bloccato tramite dei cunei.



Un ancoraggio è composto di tre parti principali: testata, lunghezza libera e lunghezza di fondazione.

La testata dell'ancoraggio è di acciaio, ed ha forma e dimensione studiate per distribuire uniformemente lo stress sulla struttura, e per permettere un corretto alloggiamento dei trefoli, dei cunei e dell'eventuale guscio protettivo (cappuccio).

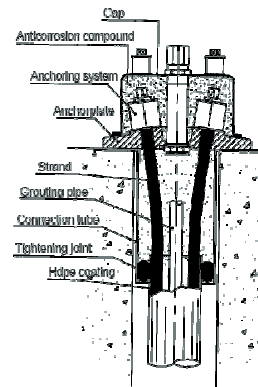
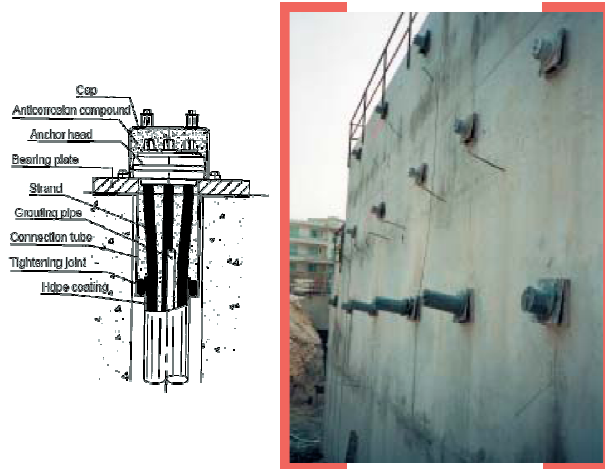
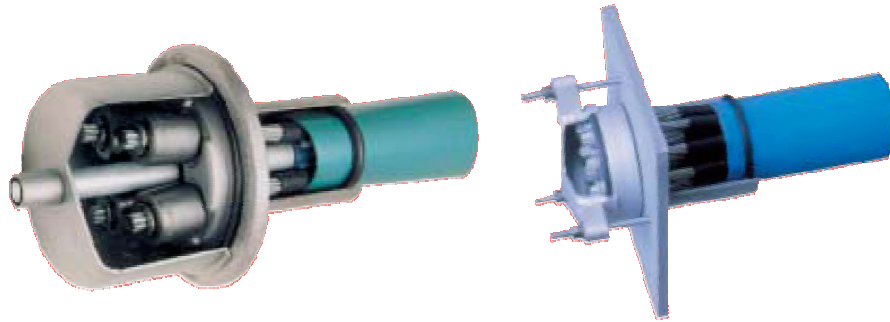
La lunghezza libera si trova fra la testa dell'ancoraggio e la parte vincolata al terreno: questa parte subisce l'allungamento durante le operazioni di tensionamento dell'ancoraggio. In questa zona i trefoli sono protetti da un fodero contro la corrosione e gli altri agenti esterni.

La lunghezza di fondazione è la parte dell'ancoraggio che trasmette lo sforzo di trazione al terreno, per mezzo della miscela cementizia, assicurando il bloccaggio degli elementi in tensione all'interno del foro. Per migliorare il bloccaggio dei trefoli all'interno della parte in cemento, i trefoli sono disposti secondo un intreccio sinusoidale, tramite opportuni distanziatori, e reggiature. All'estremità dell'ancoraggio è fissato un puntale con la funzione di favorire le operazioni di inserimento del tirante nel foro.

In figura alcuni tipi di distanziali e piastre di testa.



Nelle seguenti figure due tipologie differenti di testate.

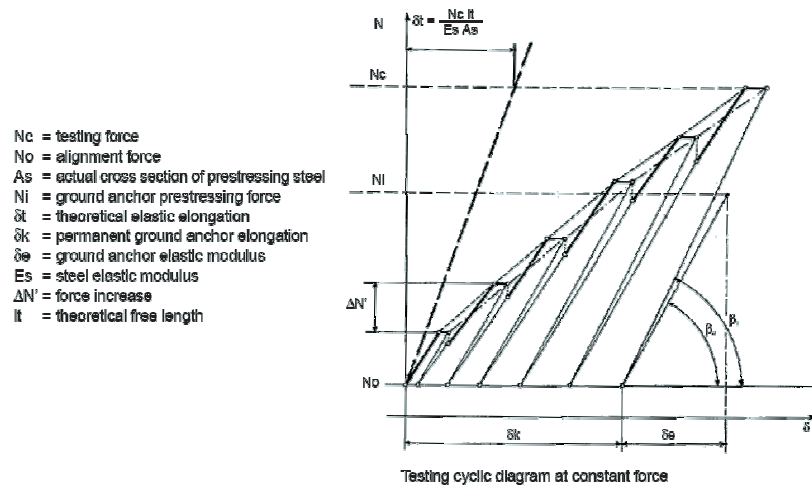


Al centro del fascio di cavi è fissato, per tutta la lunghezza del tirante, un tubo di iniezione. La sua estremità superiore è accessibile dalla testa. Il tratto corrispondente alla lunghezza di fondazione è dotato di fori laterali a diverse altezze. I fori sono generalmente coperti da un tubo di gomma che fa da valvola di non ritorno.

Una volta inserito il tirante nella perforazione va eseguita la iniezione della boiaccia che cementerà la zona attiva al terreno circostante. A tale scopo si usa un packer, tubo che va inserito nel tubo di iniezione ed è dotato di due tenute con guarnizioni espandibili. Decisa la posizione di intervento, le guarnizioni vengono espanse meccanicamente in modo da isolare un tratto del tubo dotato di una serie di fori valvolati. La boiaccia esce dal packer fra le due guarnizioni, esce dai fori del tubo di iniezione sollevando il manicotto di gomma e riempie la cavità del foro penetrando anche in profondità nelle fessure del terreno.

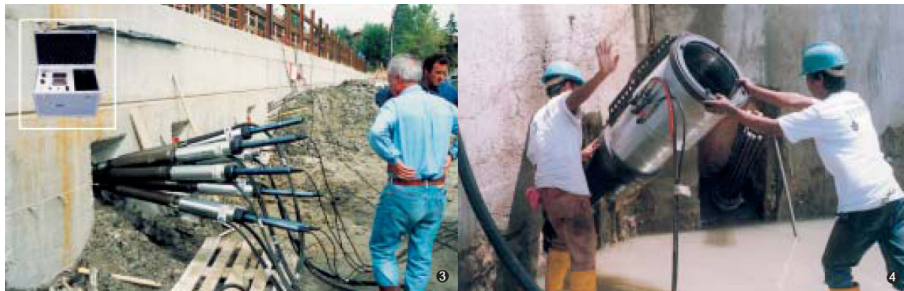
L'operazione viene ripetuta su tutte le serie di fori e all'occorrenza viene ripetuta nel tempo sugli stessi fori fino a garantire la formazione di un bulbo di ancoraggio ben radicato. Per questo scopo, alla fine di qualunque ciclo di iniezione, il tubo di iniezione viene lavato con acqua.

Dopo circa una settimana si può procedere alla tesatura dei cavi, che viene effettuata con un ciclo di carichi crescenti e scaricamenti intermedi.



- Nc = testing force
- No = alignment force
- As = actual cross section of prestressing steel
- Ni = ground anchor prestressing force
- δ_t = theoretical elastic elongation
- δ_k = permanent ground anchor elongation
- δ_e = ground anchor elastic modulus
- Es = steel elastic modulus
- $\Delta N'$ = force increase
- l_t = theoretical free length

L'attrezzatura può essere composta da singoli martinetti, uno per ogni cavo, o da un solo sistema che tesa contemporaneamente il fascio di cavi. Nel primo caso è possibile evidenziare l'eventuale cedimento di un cavo e riportarlo al valore degli altri per ottenere una tesatura bilanciata.



Su ogni cavo viene sistemato un manicotto con foro conico in cui sono alloggiati tre settori conici di grippaggio, corrugati nella superficie interna a contatto con il cavo. Il movimento di tesatura fa scorrere il cavo che si allunga e lo blocca appena viene rilasciato.

In caso di cedimento di tutto l'ancoraggio si deve annullare la tesatura e si può tentare di ripetere i cicli di iniezione. In tal caso il tubo di iniezione, precedentemente lavato, inietta nuova boiaccia nel foro, rompendo il bulbo precedente e diffondendosi ulteriormente nel terreno.

Quando la situazione è definitiva la testa del tirante viene ricoperta di materiale che la protegga dall'ambiente (gomma silconica) e incapsulata in un cappuccio.

La tesatura può sempre essere modificata negli anni per compensare gli assestamenti del terreno o della struttura.

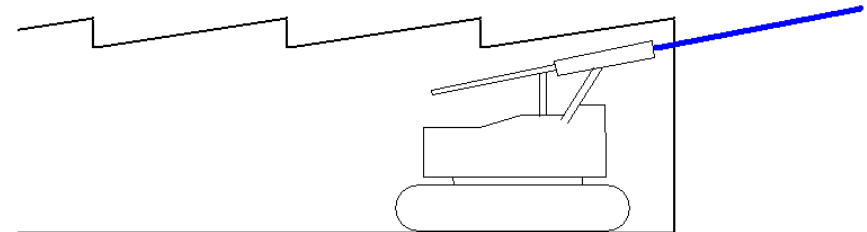
Tunnel

Il problema più consistente nell'esecuzione dello scavo di un tunnel è quello del contenimento del fronte di scavo e della volta. La rimozione del terreno lungo il percorso del tunnel provoca franamenti della volta e possibili fenomeni di estrusione del fronte di scavo (il terreno del fronte di scavo, sottoposto alla pressione degli strati sovrastanti, può crollare ed avanzare nel tratto di galleria già realizzato).

Una prima tecnica per realizzare tunnel prevede la realizzazione di tre gallerie di piccole dimensioni, disposte sul perimetro del tunnel. Due alla base e una all'apice. Le gallerie sono abbastanza grandi da essere percorse dagli operai, che partendo dalle gallerie di base eseguono uno scavo lungo il quale viene realizzato l'arco rovescio. Partendo dalla galleria superiore viene eseguito uno scavo verso le gallerie di base, realizzando la volta del tunnel. Infine viene rimosso il terreno all'interno del tunnel. Questa tecnica veniva utilizzata in passato e prevedeva mezzi di scavo prevalentemente manuali, con tempi di esecuzione molto lunghi.

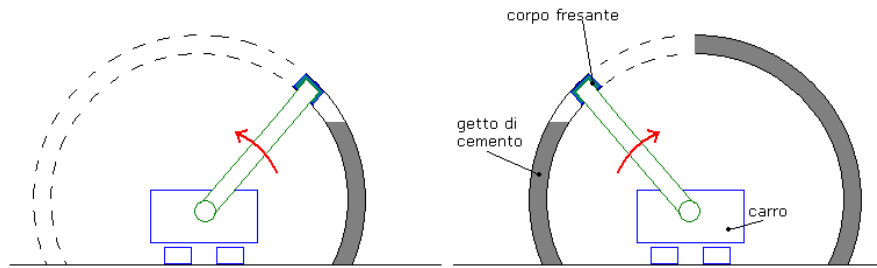
Infilaggi ad ombrello

Ad oggi la tecnica maggiormente utilizzata è quella degli infilaggi ad ombrello. Sul fronte di scavo vengono eseguiti degli infilaggi di pali in vetroresina: questa operazione è fatta per consolidare il fronte di scavo prevenendo franamenti ed estrusione. Essendo i pali in vetroresina consentono successivamente l'esecuzione dello scavo senza incontrare ostacoli. A questo punto vengono eseguiti degli infilaggi lungo il perimetro della volta del tunnel: l'infilaggio è eseguito con un'asta ed un utensile molto grezzo a perdere con successiva iniezione di calcestruzzo. Questi infilaggi sono eseguiti in maniera molto ravvicinata in modo da creare una volta sotto la quale scavare senza provocare franamenti. La realizzazione del tunnel prosegue a tratti, eseguendo gli infilaggi perimetrali e scavando sotto di essi. Ad ogni tratto vengono realizzate delle centine, spruzzato del cemento sulla volta ed in seguito viene inserita la cassaforma e gettato l'arco della galleria.



Pretunnel

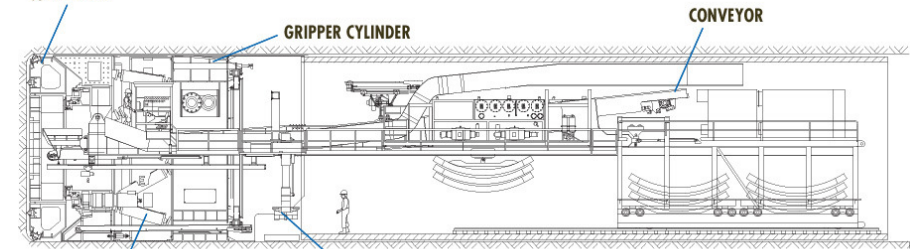
Una tecnica innovativa è quella del PRETUNNEL: il sistema PRETUNNEL si basa sull'esecuzione di una volta conica in calcestruzzo. La funzione di tale volta è di costituire un sostegno temporaneo del tunnel durante la perforazione e/o di sostituzione completa del rivestimento finale della galleria. La volta si ottiene tagliando il terreno a mezzo di un modulo fresante, movimentato lungo il contorno del tunnel. Il calcestruzzo potrà essere aggiunto posteriormente al modulo fresante durante la fase di taglio, limitando in questo modo i tempi di getto della volta necessari con la tecnica classica. Il macchinario per il pretunnel è costituito da un carro cingolato a cui è fissato un modulo fresante in grado di muoversi lungo un arco di cerchio. Lo scavo per la volta viene eseguito partendo dalla base e procedendo verso l'alto, in modo da poter eseguire il getto del calcestruzzo.

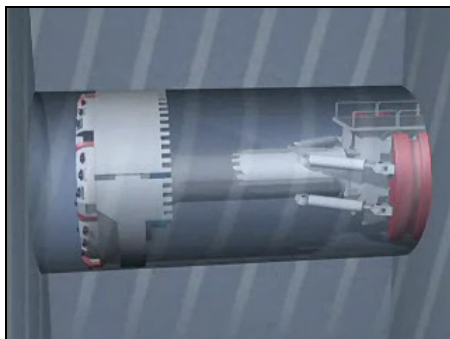


Tunnel boring machine: TBM

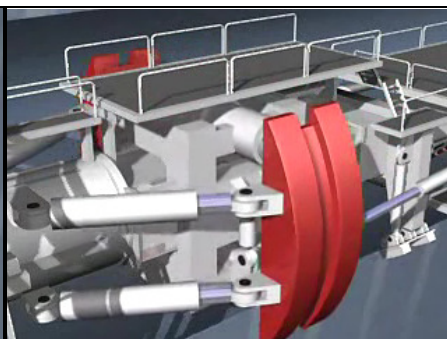
La tecnica più sofisticata e dispendiosa per la realizzazione di tunnel prevede l'utilizzo di una macchina chiamata Tunnel Borer. Questa macchina ha una testata circolare di diametro pari a quello del tunnel da realizzare, dotata di bits per scalfire il terreno. La testata viene messa in rotazione attorno al proprio asse. Un sistema di pompaggio di bentonite assicura che lo scavo avvenga sempre in presenza di fango su tutta la sua area. I detriti vengono raccolti da opportune paratie circolari che vengono premute contro la parete del tunnel (parte del tunnel già realizzata) da dei martinetti disposti trasversalmente: in questo modo si crea un appoggio che serve per realizzare la spinta di avanzamento dello scavo, tramite altri martinetti disposti longitudinalmente. Il macchinario avanza come un bruco: grazie all'appoggio sulle pareti del tunnel la perforazione avanza fino a che la corsa dei martinetti longitudinali lo consente, poi le paratie vengono retratte e fatte avanzare richiudendo i martinetti longitudinali, per poi ricominciare allargando nuovamente le paratie. Fra il sistema di appoggio alle pareti e la testata è presente un sistema in grado di eseguire infilaggi su tutti i 360° del tunnel, in modo da stabilizzare la volta appena scavata. Subito a valle di questo sistema, ci sono altri sistemi per collocare sulla volta delle reti metalliche di contenimento e delle centine, e in seguito sono presenti vari ugelli che spruzzano calcestruzzo sulla rete metallica per stabilizzare la volta. Tutti questi sistemi in serie occupano molto spazio, e questo rende il macchinario molto lungo. La macchina è sostenuta per tutta la sua lunghezza da dei piedi retrattili in grado di traslare: questi piedi vengono alternativamente retratti e fatti avanzare, in modo da seguire la progressione dello scavo. In caso di realizzazione di tunnel curvi, è sufficiente agire sui martinetti trasversali delle paratie per spostare l'asse di avanzamento dello scavo e realizzare la curva. I tempi di assemblaggio in loco della macchina sono di circa 1 anno.

CUTTERHEAD

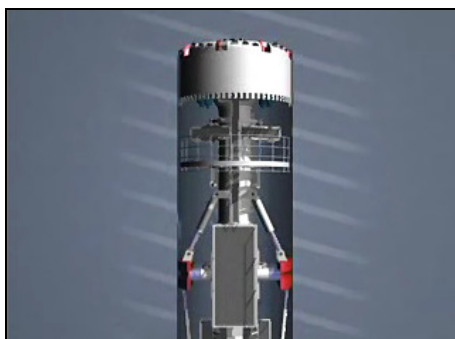




Testata e sistema di avanzamento



Paratie laterali e martinetti di spinta



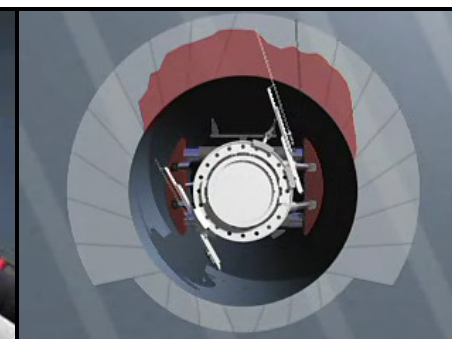
Vista superiore dell'avanzamento



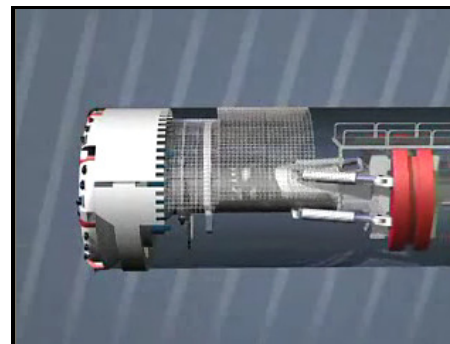
Raccolta dei detriti



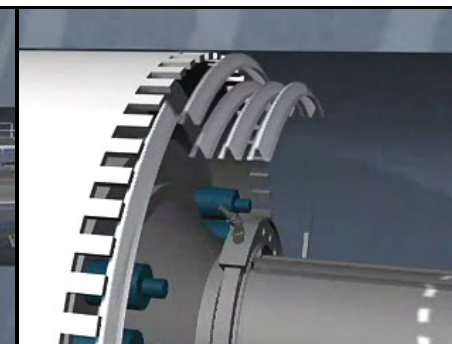
Raccolta dei detriti nel tubo centrale



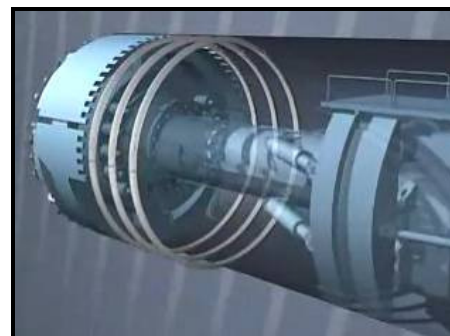
Infilaggi



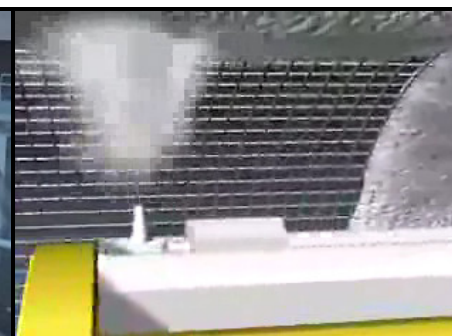
Posizionamento rete metallica



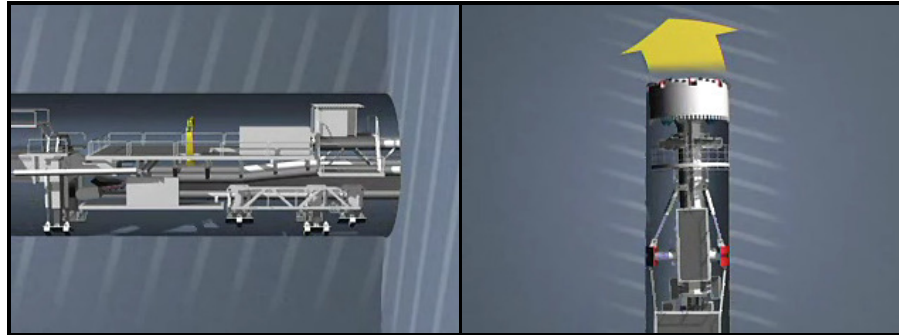
Inserimento centine



Centine complete



Spruzzaggio calcestruzzo



Movimenti piedi retrattili

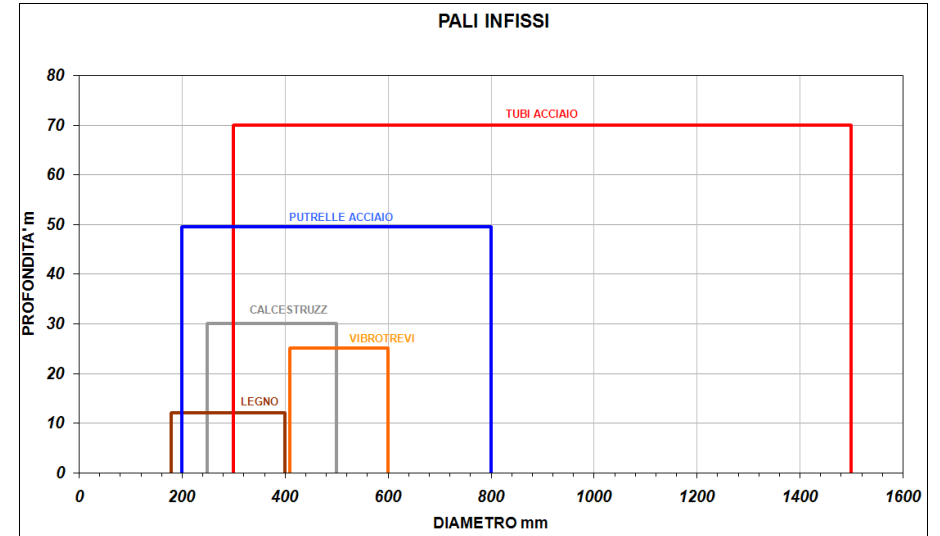
Realizzazione della curva

[LINKS: Tunnel; TBM](#)

Confronto e scelta delle tecnologie

Vengono proposti alcuni grafici che mettono a confronto i campi di variazione di profondità e diametro per le varie tecniche.

Pali Infissi



I campi di applicazione tipi dei pali infissi sono i terreni di bassa e media consistenza.

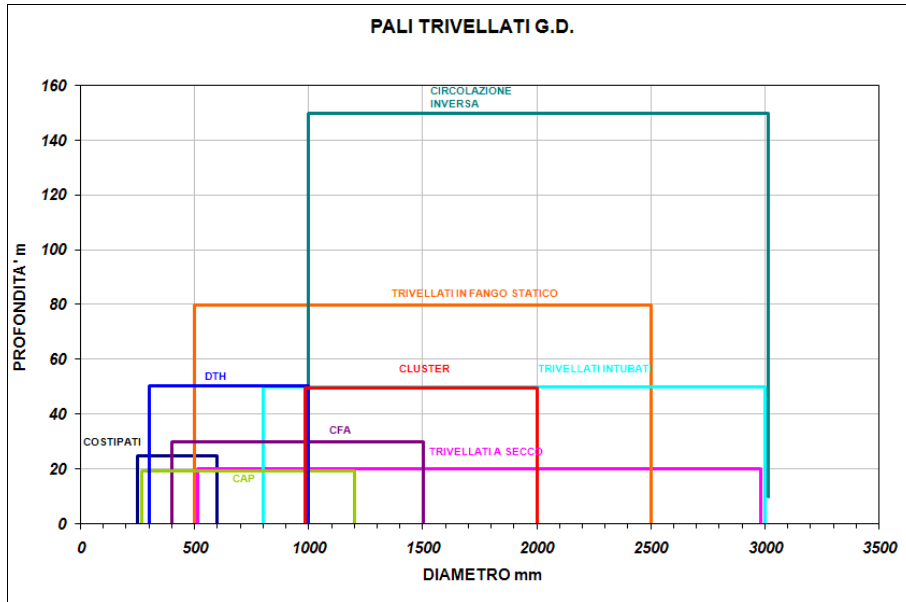
La sabbia addensata costituisce già un ostacolo difficile da superare.

Ghiaia e roccia fratturata sono affrontabili preferibilmente con tubi d'acciaio e putrelle.

PALI INFISSI CAMPI DI IMPIEGO

TIPO	DIAMETRO	PROFONDITA'	TERRENI
LEGNO	200-300	12 m	FACILI - MEDI
CALCESTRUZZO	300 -500	6-30 m	FACILI - MEDI - DURI
TUBI ACCIAIO	300-1500	12-50 m	FACILI - MEDI - DURI - (ROCCE)
PUTRELLE ACCIAIO	200-800	12-50 m	FACILI - MEDI - DURI - (ROCCE)

Pali Trivellati di Grande Diametro



I pali a costipamento del terreno sono destinati alla applicazione in terreni di bassa e media consistenza.

Quelli trivellati a secco e in fango statico ed il CFA, con appositi utensili, possono essere impiegati anche in terreni duri e rocce degradate.

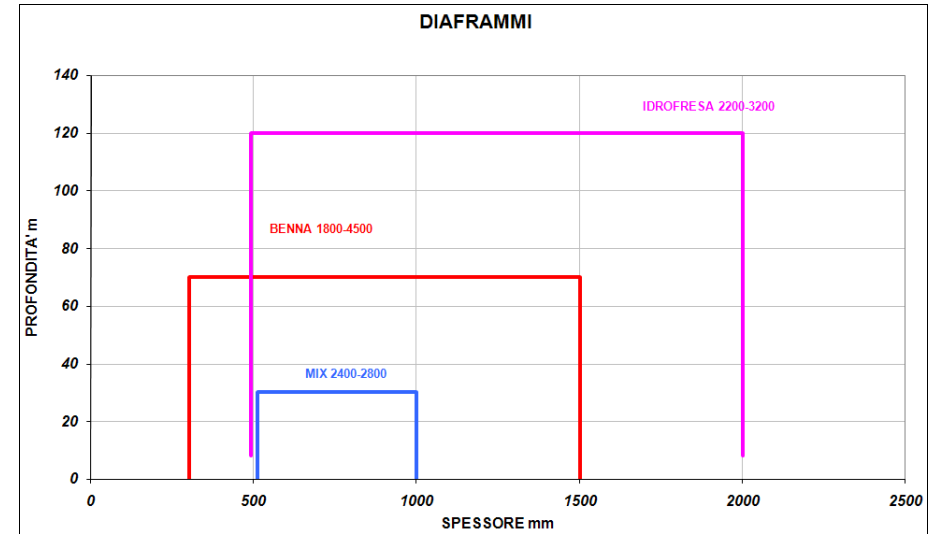
Le loro varianti quali i pali intubati ed il CAP-CSP, grazie all'effetto carotiere, si prestano a condizioni più difficili.

Per le rocce i sistemi più adatti sono in gradazione la circolazione inversa, il cluster e il DTH.

PALI TRIVELLATI CAMPI DI IMPIEGO

TIPO	DIAMETRO	PROFONDITA'	TERRENI
A SECCO	TUTTI	20 m	TUTTI PURCHE' STABILI
IN FANGO STATICO	500 - 2500	70 m	FACILI - MEDI - DURI - ROCCE
INTUBATI	800 - 3000	50 m	FACILI - MEDI - DURI - ROCCE
ELICA CONTINUA	400 - 1200	30 m	FACILI - MEDI - DURI
ELICA CONTINUA INTUBATA (CSP-CAP)	250 - 1000	20 m	FACILI - MEDI - DURI - ROCCE
PALI A COSTIPAMENTO	250 - 600	25 m	FACILI - MEDI

Diaframmi



Nel settore dei diaframmi vanno tenute presenti le diverse finalità dell'opera:

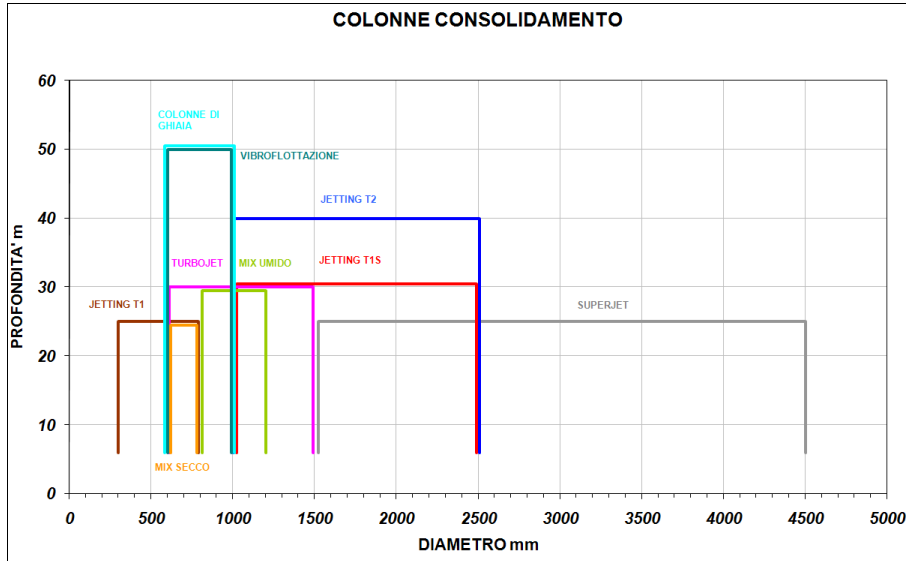
- I diaframmi miscelati si prestano alla creazione di barriere impermeabili senza funzione strutturale.
- I diaframmi scavati con benne, se gettati con miscela plastica raggiungono lo stesso scopo ma in un campo di dimensioni maggiori.
- I diaframmi gettati in calcestruzzo possono assumere importanti funzioni strutturali.

Le benne possono scavare anche in ghiaia, roccia fratturata e rocce di bassa qualità. Le idrofresse hanno dei limiti di profondità e spessore decisamente superiori e lavorano anche in rocce con UCS fino a 100 Mpa. Il loro costo operativo è di circa 10 volte superiore alle benne, che in situazioni confrontabili è in gran parte compensato dalla maggior produzione.

DIAFRAMMI CAMPI DI IMPIEGO

TIPO	DIMENSIONI	PROFONDITA'	TERRENI
MIX	500x2400 - 1000x2800	12 m	FACILI - MEDI
BENNE	300x2400 - 1000x4500	6-30 m	FACILI - MEDI - DURI
IDROFRESA	500x120 - 2000x3200	12-50 m	FACILI - MEDI - DURI - (ROCCE)

Colonne Consolidamento



COLONNE CONSOLIDATE CAMPI DI IMPIEGO

TIPO	DIAMETRO	PROFONDITA'	TERRENI
JETTING T1	300-800	6-25	FACILI - MEDI
JETTING T1-S	1000-2500	6-30 m	FACILI - MEDI
SUPERJET	1500-4500	25 m	FACILI - MEDI
JETTING T2	1000-2500	6-40 m	FACILI - MEDI
MISCELAZIONE MECCANICA UMIDA	800 - 1200	6-30 m	FACILI - MEDI
MISCELAZIONE MECCANICA SECCA	600 - 800	6-25 m	FACILI - MEDI
TURBOJET	600 - 1500	6-30 m	FACILI - MEDI
VIBRO FLOTTAZIONE	600-1000	6-50 m	FACILI - MEDI
STONE COLUMNS	500 - 600	6-25 m	FACILI - MEDI

Scelta fra tipi di palo

Oltre alle dimensioni Diametro e Profondità, la scelta del tipo di palo è orientata da altre considerazioni.

L'uso di un maglio battipalo e di un vibratore non sono particolarmente graditi in un ambiente urbano, per le vibrazioni e il rumore generati. In tempi recenti entrambe le tecniche sono in ribasso e vengono limitate ad aree extraurbane. Anche le aste telescopiche sono rumorose, in misura più tollerabile. L'elica continua presenta un disturbo minimo.

Il traffico intenso, con la possibilità di ritardare l'arrivo di autobetoniere, condiziona anch'esso la scelta. Una macchina ad elica continua o CSP che deve eseguire il getto subito dopo la perforazione, rischia di trovarsi ferma troppo spesso. Una soluzione possibile è quella di tenere una betoniera su piattaforma fissa come scorta di calcestruzzo da pompare.

I pali in bentonite invece, che possono essere gettati anche a qualche giorno di distanza, tollerano meglio eventuali ritardi delle betoniere. Intanto la macchina di perforazione può continuare il suo lavoro su pali successivi.

I pali prefabbricati presentano la possibilità di tenere scorte di pali pronti in cantiere per uno o più giorni di produzione, oppure di effettuare il loro trasporto in orari notturni di minimo traffico.

I pali con casing comportano il trasporto di questi elementi ingombranti, che devono poi trovare una sistemazione in cantiere.

L'alternativa sono i pali in bentonite, che richiedono vasconi e impianti di dissabbiamento, ancor più ingombranti dei casing. Per di più la bentonite impone lo smaltimento di detriti fangosi ritenuti inquinanti, quindi occorrono automezzi stagni e discariche autorizzate per questo tipo di materiale.

Sommario

Gruppo Trevi.....	1
TREVI – SOILMEC – PETREVEN - DRILLMEC	1
Tecnologie del Sottosuolo.....	1
1. Fondazioni.....	1
2. Opere di Contenimento.....	2
3. Opere di Consolidamento.....	2
5. Drenaggi.....	3
6. Gallerie.....	3
Sondaggi.....	4
1. Carotaggi.....	4
2. Campionamenti.....	4
3. Prove Penetrometriche Statiche.....	4
4. Prove Penetrometriche Dinamiche.....	4
5. Prove Piezometriche.....	5
6. Prove Pressiometriche.....	5
7. Prove di permeabilità.....	5
Perforazioni.....	5
Terreni.....	6
Granulometria.....	6
Curva Granulometrica.....	6
Fuso Granulometrico.....	6
Formazione dei terreni alluvionali.....	7
Analisi dei terreni.....	8
Sondaggi e stratigrafie.....	8
Standard Penetration Test (SPT) o prova penetrometrica dinamica.....	14
Cone Penetration Test (CPT) o prova penetrometrica statica.....	14
Pali di Fondazione.....	19
Classificazione dei pali di fondazione.....	19
Pali Prefabbricati.....	19
Iter di un palo prefabbricato.....	19
Costruzione.....	19
Trasporto, stoccaggio, movimentazione.....	21
Infissione.....	21

Pali gettati in opera.....	22
Iter di un palo gettato in opera.....	22
PALI INFISSI.....	23
Esempi di metodologie di costruzione di pali.....	23
Palo "TREVI".....	23
Palo "VIBROTREVI".....	23
Magli.....	25
Maglio Diesel.....	25
Maglio Idraulico.....	26
Maglio idraulico a caduta libera.....	26
Altri magli.....	26
Schema di macchina battipalo.....	27
PALI TRIVELLATI.....	29
Esecuzione dello scavo.....	29
LDP (Large Diameter Piles) o Kelly.....	29
Demolizione.....	34
Rimozione dei detriti.....	34
Stabilizzazione del foro.....	34
Costruzione del palo.....	36
Getto del calcestruzzo e inserimento dell'armatura.....	36
Maturazione.....	36
Esempio di macchina kelly: RT3.....	37
Macchine odierne dedicate all'utilizzo kelly - serie SR (Soilmec rotary).....	42
Generalità.....	42
Sistema a parallelogramma.....	43
Pull down e accoppiamento rotary-aste.....	46
Casing.....	47
SERIE SR – ROTARY CINGOLATE AUTOMONTANTI.....	49
Elica continua - CFA (continuous flight auger) - serie SF (Soilmec Flight).....	50
Esecuzione dello scavo.....	50
Costruzione del palo.....	52
Particolarità costruttive.....	53
Getto del calcestruzzo.....	58
Controlli e prove sul palo.....	58
Problematiche principali CFA.....	58
Modifiche per aumentare profondità raggiungibile.....	59
CFA intubato o CSP o CAP.....	61

Pro e Contro CFA	63
Pali costipati	64
Trivellazione in roccia	69
Sistemi di circolazione	69
Bits	71
Carotieri	72
Perforazione roccia in piccolo diametro	72
Perforazione roccia in grande diametro	73
Martelli di fondo foro - DTH	74
Perforazione incamiciata	75
Cluster	76
Circolazione Inversa	77
Consolidamenti	83
Compattazione dinamica	83
Blasting	83
Vibroflottazione	83
Stone Columns	84
Jet Grouting	84
Superjet	85
Miscelazione meccanica secca	86
Miscelazione meccanica umida	86
Turbojet	86
Diaframmi	87
Benne	91
Benne a Fune	93
Benne Idrauliche	95
Pannelli a T: Benne Trivalve e Benne Quadrivalve	100
Benna ad Eliche	101
Idrofresa	102
Diaframmi Sottili	103
Diaframmi Plastici	103
Diaframmi Continui: CDW	104
Ancoraggi, Micropali e Tunnel	107
Ancoraggi e Tiranti	107
Tunnel	112
Infilaggi ad ombrello	112
Pretunnel	112

Tunnel boring machine: TBM	114
Confronto e scelta delle tecnologie	118
Pali Infissi	118
Pali Trivellati di Grande Diametro	119
Diaframmi	120
Colonne Consolidamento	121
Scelta fra tipi di palo	122