

Corso di Idrogeologia Applicata
Dr Alessio Fileccia

Tecniche di perforazione

Le immagini ed i testi rappresentano una sintesi, non esaustiva, dell'intero corso di Idrogeologia tenuto presso il Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell'Università di Trieste. Il programma completo prevede, oltre agli argomenti in elenco e per ogni capitolo, una serie di esercizi con applicazione delle formule analitiche, la descrizione di alcuni software specifici per geostatistica, prove di portata, modellistica ed un'uscita con prove pratiche in un campo pozzi. Le lezioni sono periodicamente aggiornate e controllate. Per una versione definitiva, informazioni, segnalazione di errori o commenti, rivolgersi a:

Dr Alessio Fileccia (geofile@libero.it)

Per scaricare l'intero corso: www.disgam.units.it/didattica/insegnamenti-13.php

(figure e foto sono dell'autore, se non diversamente specificato)

Tecniche di perforazione

**La perforazione del terreno è una metodologia di studio diretta,
ed impiegata per vari scopi, tra i quali:**

Studi geotecnici per costruzioni

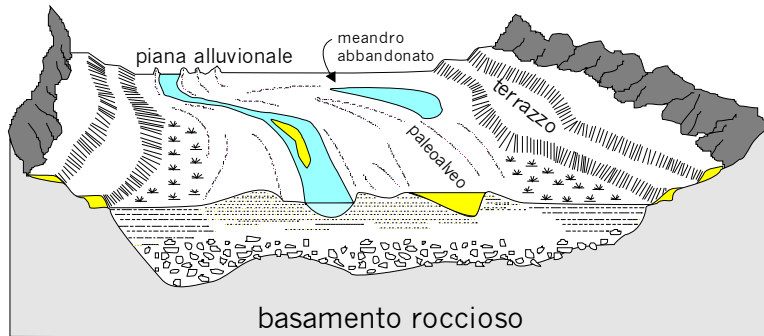
Ricerche minerarie

Ricerche idriche e prelievi d'acqua

Iniezioni di consolidamento

**Utilizzi vari per fori di drenaggio, ventilazione, posa cavi,
condotte, ecc...**

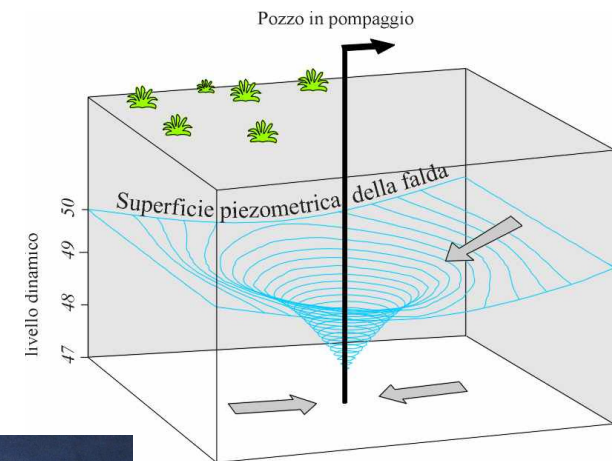
Importanza della perforazione



Conoscenze idrogeologiche preliminari

Ubicazione del pozzo e prove

Tecniche di perforazione e materiali



(Idrogeologia: Tecniche di perforazione e materiali)

Fattori da considerare nella scelta dell'ubicazione dell'opera di presa

Piezometria locale
(direzioni di flusso, aree a diversa permeabilità)

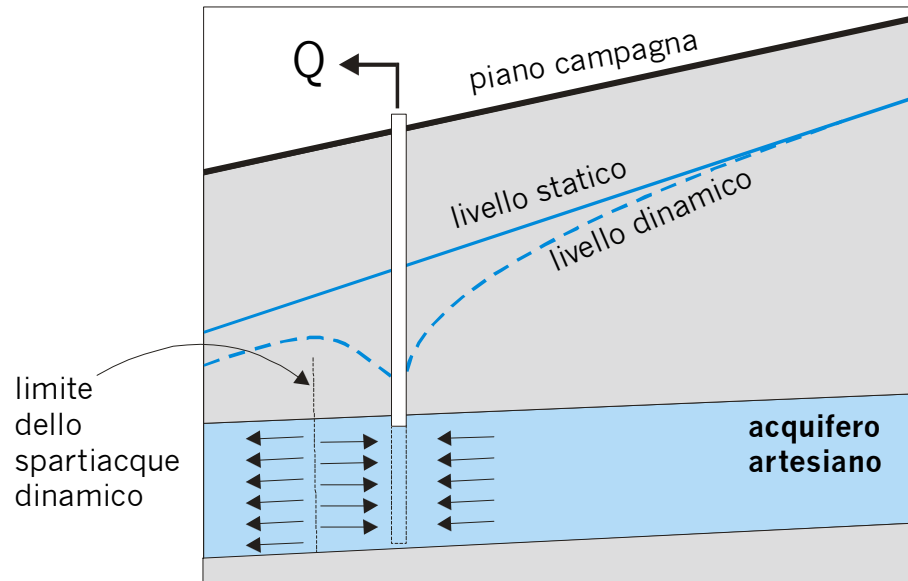
Velocità di flusso della falda

Isocrone

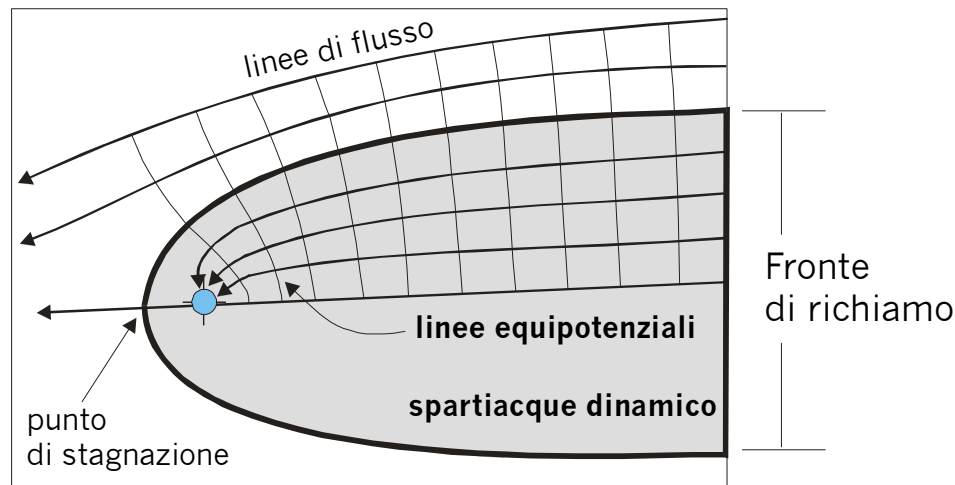
Bacini idrici e corsi d'acqua

Sorgenti inquinanti

Punti di captazione



schema in sezione



(Todd)

schema in pianta

Fronte di richiamo attorno ad un pozzo

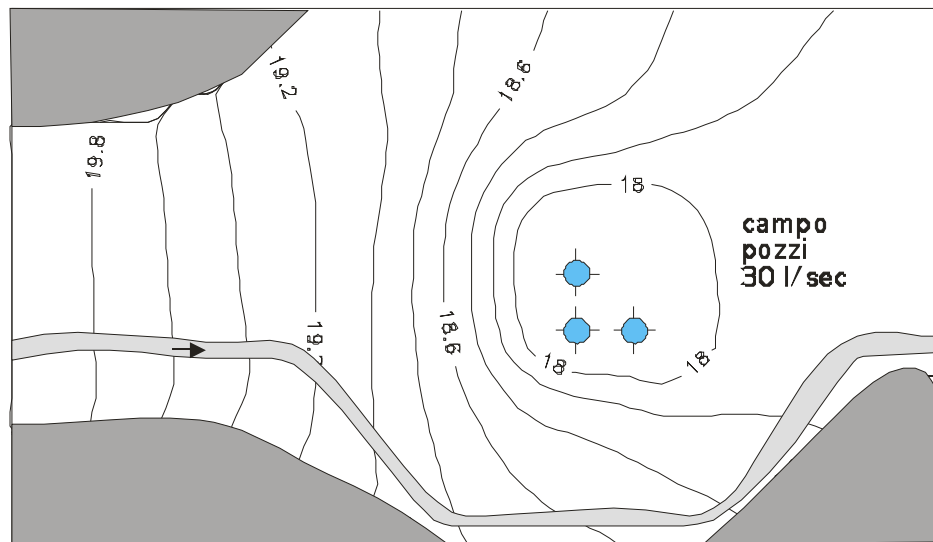
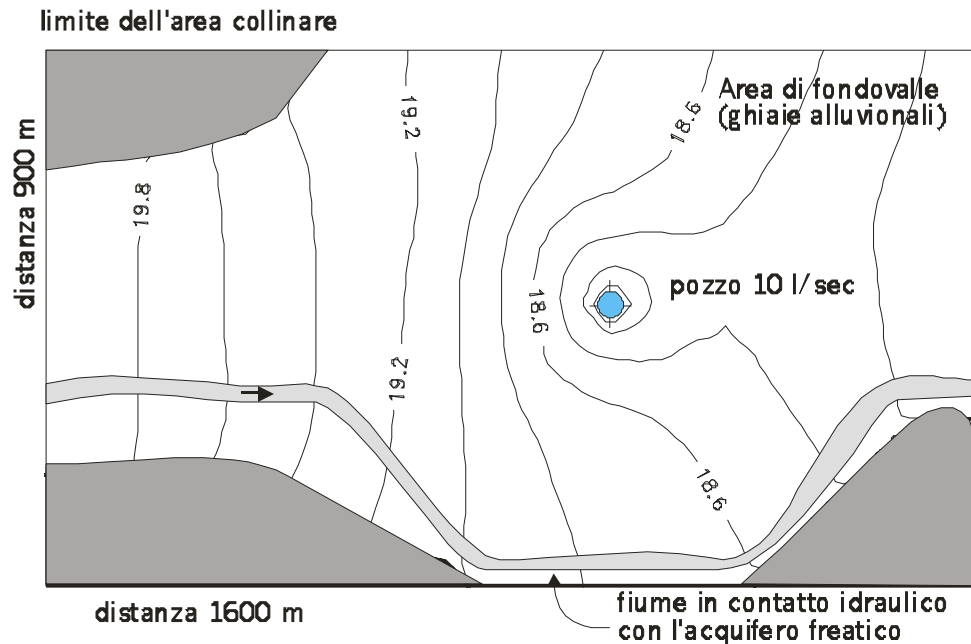
L'acquifero ha un gradiente piezometrico i .

Larghezza del fronte di richiamo (F):

$$F = Q/Ti$$

Distanza pozzo - punto di stagnazione:

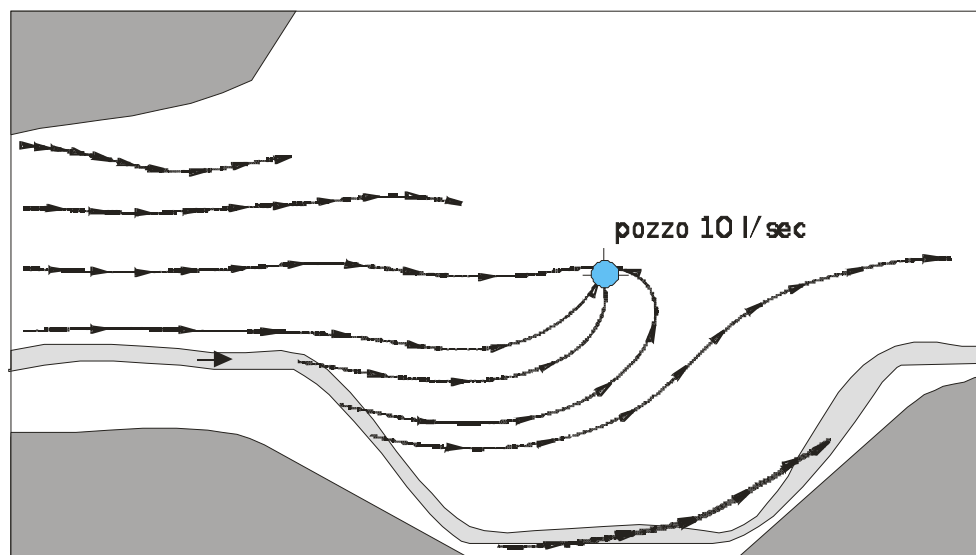
$$x = Q / 2\pi Ti$$



Calcolo del fronte di richiamo, delle linee di flusso e delle isocrone attorno ad un pozzo in pompaggio mediante simulazione numerica

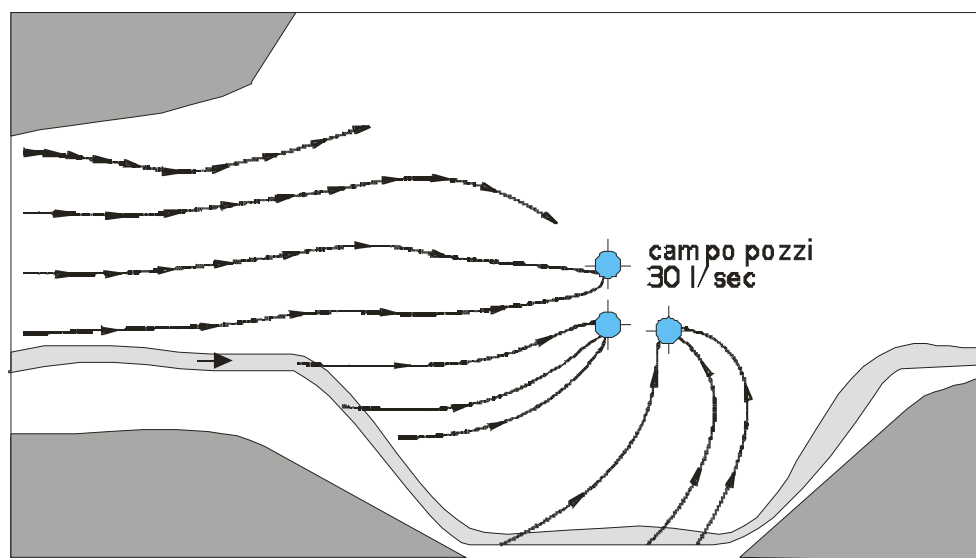
Nell'acquifero alluvionale rappresentato in pianta, scorre un fiume da W verso E. La conducibilità idraulica è costante e la direzione di flusso della falda è anch'essa verso est. La figura mostra la variazione del fronte di richiamo con l'aumento di portata da 10 (in alto) a 30 lt/sec (in basso). La piezometria è calcolata con un modello numerico di simulazione bidimensionale dell'acquifero.

A piezometria dinamica

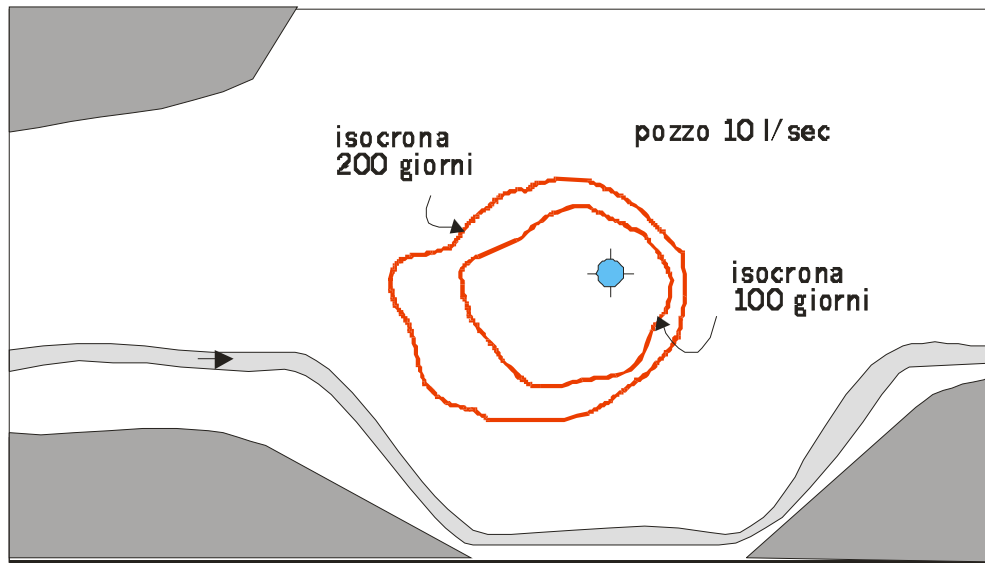


Calcolo del fronte di richiamo, delle linee di flusso e delle isocrone attorno ad un pozzo in pompaggio mediante simulazione numerica

La figura mostra lo spostamento delle linee di flusso con l'aumento di portata da 10 (in alto) a 30 lt/sec (in basso, e rappresentano la posizione delle particelle fluide, a 1000 giorni dal loro ingresso lungo il lato sinistro dell'acquifero. Le linee di flusso sono state calcolate con un modello numerico di simulazione bidimensionale dell'acquifero.

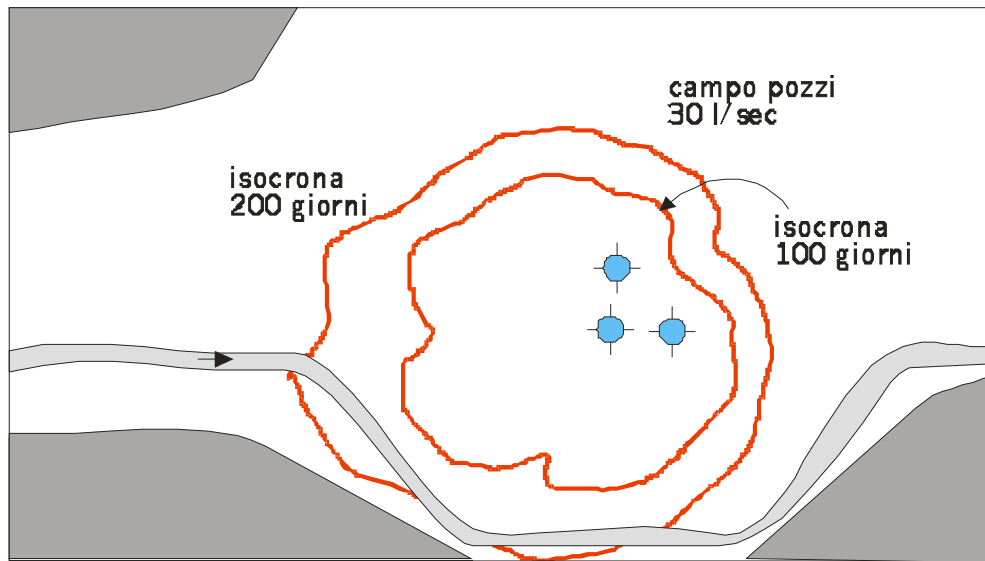


B linee di flusso



Calcolo del fronte di richiamo, delle linee di flusso e delle isocrone attorno ad un pozzo in pompaggio mediante simulazione numerica

La figura mostra le linee isocrone per portate di 10 (in alto) e 30 lt/sec (in basso). Le isocrone sono state calcolate con un modello numerico di simulazione bidimensionale dell'acquifero e rappresentano i tempi di arrivo di un inquinante al punto di prelievo, per sola convezione.



C isocrone

Per le ricerche idriche sono utilizzate metodologie, la cui scelta finale dipende da vari fattori, (profondità da raggiungere, natura del terreno, quantità d'acqua da estrarre, ecc.) ; tali metodi si possono sintetizzare nei seguenti:

- a getto, e guidati
- a percussione a secco
- a rotazione (con circolazione diretta od inversa)
- martello fondo foro

Per ottenere una fornitura d'acqua costante e pulita nel tempo, l'esecuzione di un pozzo comprende più fasi e non è solo limitato alla perforazione del foro ma deve occuparsi anche delle seguenti:

- studio geologico/idrogeologico preliminare
- eventuale foro pilota
- sondaggio di produzione
- eventuali logs elettrici
- tubaggio e filtraggio
- sviluppo
- prove di portata
- collegamenti alla rete

Un pozzo eseguito in modo non appropriato può avere una serie di conseguenze negative che possono essere riconosciute dopo un attento esame e talvolta solo nel caso siano state seguite personalmente tutte le fasi di cantiere:

- bassa portata specifica (potenzialità)
- elevata presenza di sabbia
- probabile inquinamento della falda da parte di acque superficiali o fluidi di perforazione
- riduzione di portata di pozzi limitrofi
- cedimento del terreno nelle vicinanze del pozzo

Per evitare queste conseguenze e l'insorgere di lunghi contenziosi con l'Impresa è necessaria una chiara formulazione delle specifiche tecniche ed una presenza costante in cantiere da parte della D.L. Questo permette anche di risolvere eventuali problemi che si dovessero incontrare e dovuti ad imprevisti, quali:

- franamenti del foro
- intasamento del dreno in ghiaia
- pannello bentonitico troppo spesso

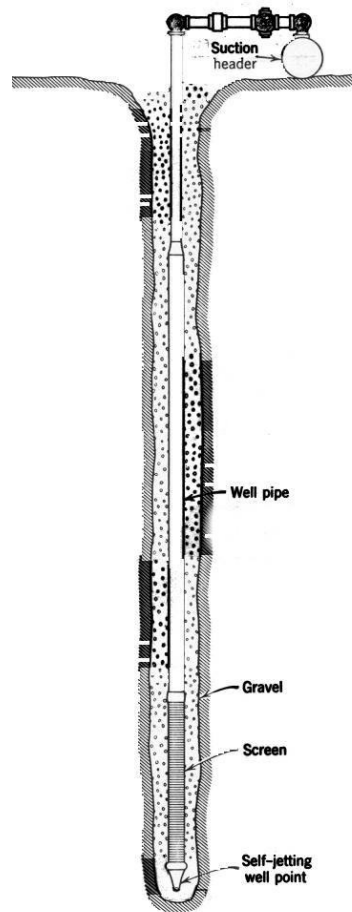
E' quindi importante che qualunque sia la metodologia adottata, il progettista dei lavori di perforazione prenda in esame tutti i seguenti aspetti:

METODO DI PERFORAZIONE
PROFONDITA' E DIAMETRI DI PERFORAZIONE
TUBAZIONI (pozzo e piezometri)
FILTRI E DRENO
FLUIDI DI PERFORAZIONE
SVILUPPO E PROVE DI PORTATA
CEMENTAZIONE
PRELIEVO DI CAMPIONI E DISINFEZIONE DEL POZZO
ASPETTI PARTICOLARI
(approfondimento e chiusura del pozzo)
COLLAUDO

METODI DI PERFORAZIONE

I pozzi a getto

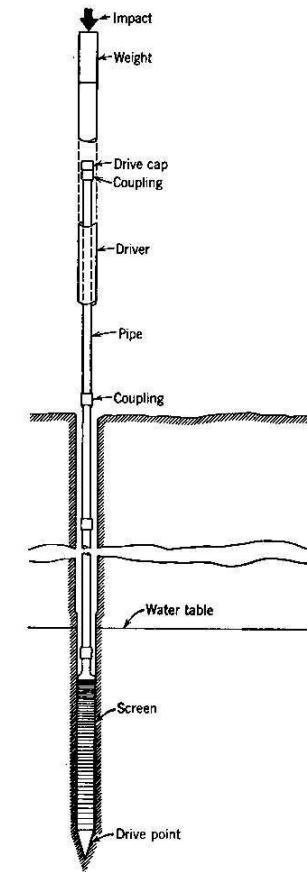
utilizzano una punta tagliente munita di un ugello attraverso il quale esce acqua in forte pressione. Si usa in terreni fini, molto sciolti, a bassa profondità, sia con rivestimento sia senza. Il diametro è in genere piccolo (max. 10 cm). Nel caso senza rivestimento, l'estremità del tubo è filtrata direttamente e può essere lasciata in posto a fine foro. *(a sinistra)*



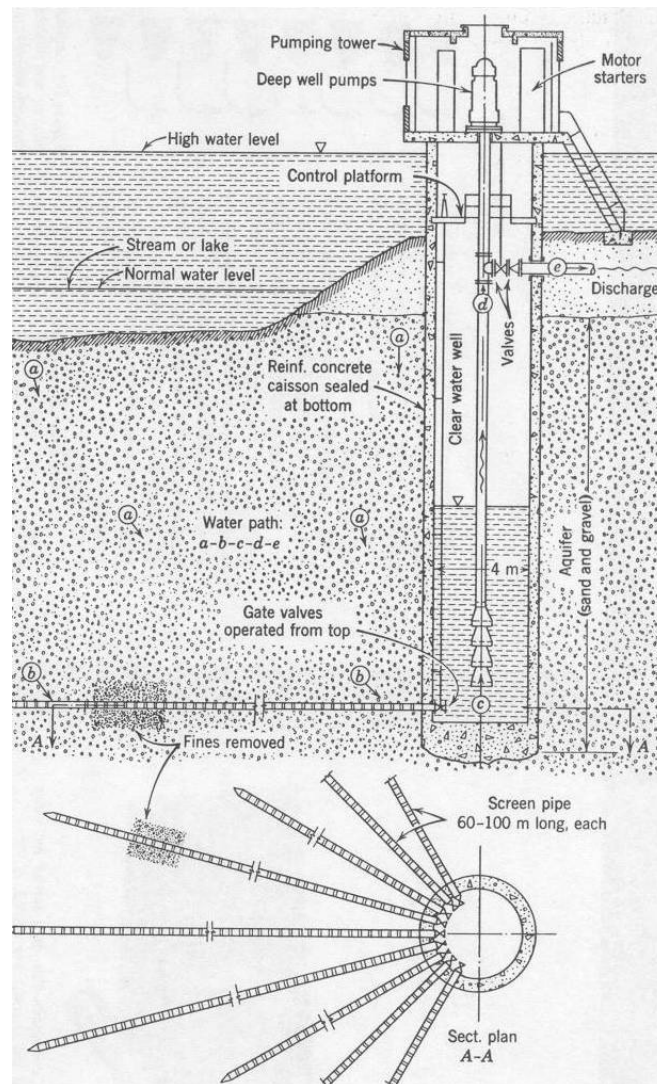
(Todd)

I pozzi guidati

utilizzano aste infisse nel terreno mediante un maglio. L'estremità inferiore è filtrante e protetta da una punta conica in acciaio. Si usa in terreni fini, molto sciolti, a bassa profondità, sia con rivestimento sia senza, anche se per mantenere la verticalità, i primi 2-3 metri sono rivestiti. Il diametro è in genere piccolo (max. 10 cm). La pompa per l'acqua è del tipo a vuoto e quindi la profondità della falda resta inferiore a 5-6 m dal piano campagna. *(a destra)*



(Todd)



(Todd)

Pozzi Ranney

Per grosse forniture idriche in zone vicine a corsi d'acqua o laghi, sono utilizzati i pozzi di raccolta (Ranney). Sono costituiti da un cilindro centrale di 5 m circa di diametro, infisso nell'alveo. Il fondo è sigillato e da esso sono infissi a raggiera, tubi filtranti da 15 – 20 cm, per 60 – 100 m. L'elevata superficie forata assicura una grossa fornitura idrica ad una velocità di ingresso bassa.

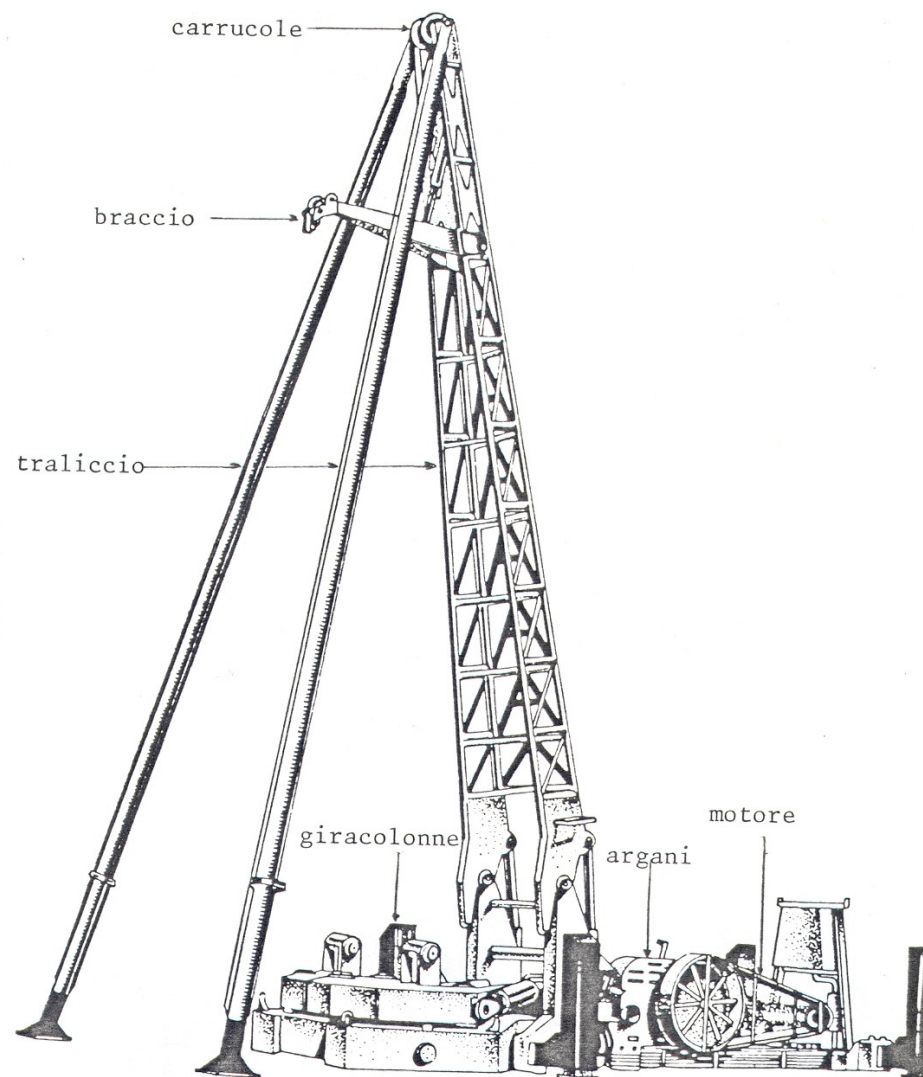


**Impianto
per la perforazione
di pozzi in terreni
incoerenti**

(Idrogeologia: Tecniche di perforazione e materiali)

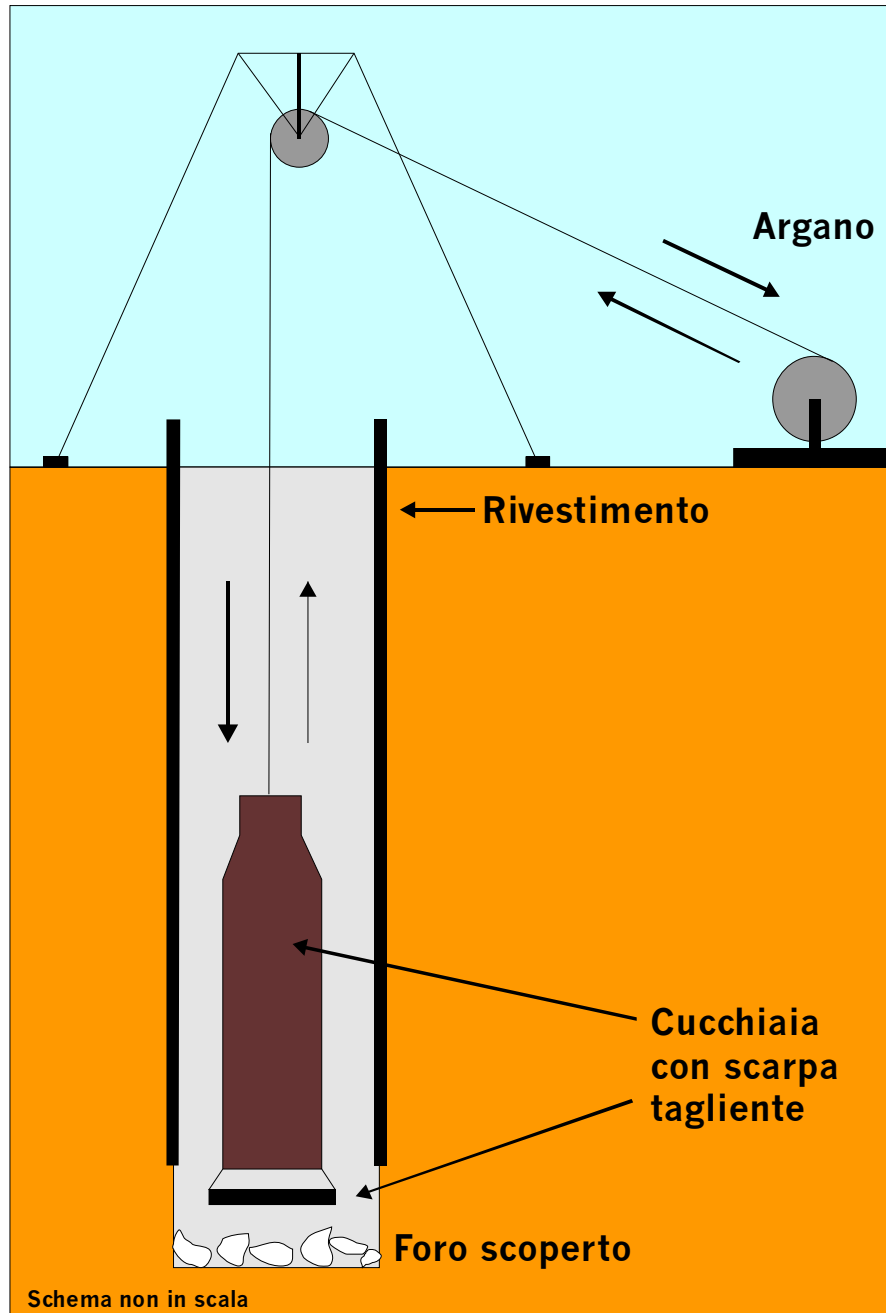
Percussione a secco

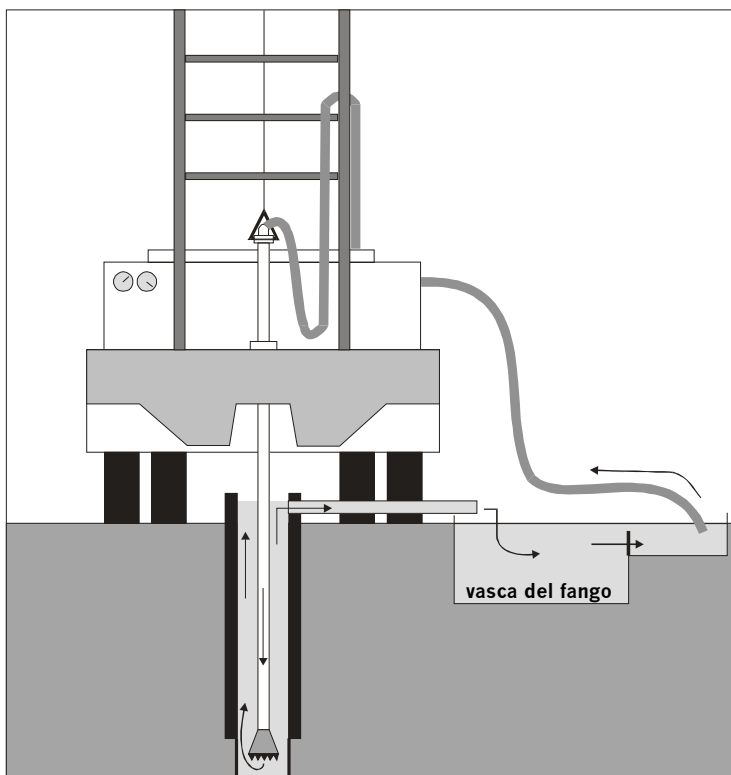
E' il metodo più antico e consiste nel forare il terreno con una sonda pesante e lasciata cadere da qualche metro di altezza, tramite una fune d'acciaio ed un argano. L'attrezzo frantuma il terreno che viene poi recuperato in superficie. In terreni incoerenti (sabbia – ghiaia) si perfora in scarpa, tramite una tubazione di rivestimento; in quelli coesivi e/o compatti si può perforare fuori scarpa (senza rivestimento). E' consigliabile mantenere il fondo foro con acqua (od acqua e fango leggero), per recuperare più facilmente i cuttings. La profondità massima è intorno a 120-150 m, con il vantaggio però di non inquinare l'acquifero perché non usa acqua o fango e di poter utilizzare grandi diametri (0.7 – 1 m). E' il metodo migliore per i pozzi per acqua potabile.



Perforazione a percussione

(schema operativo)





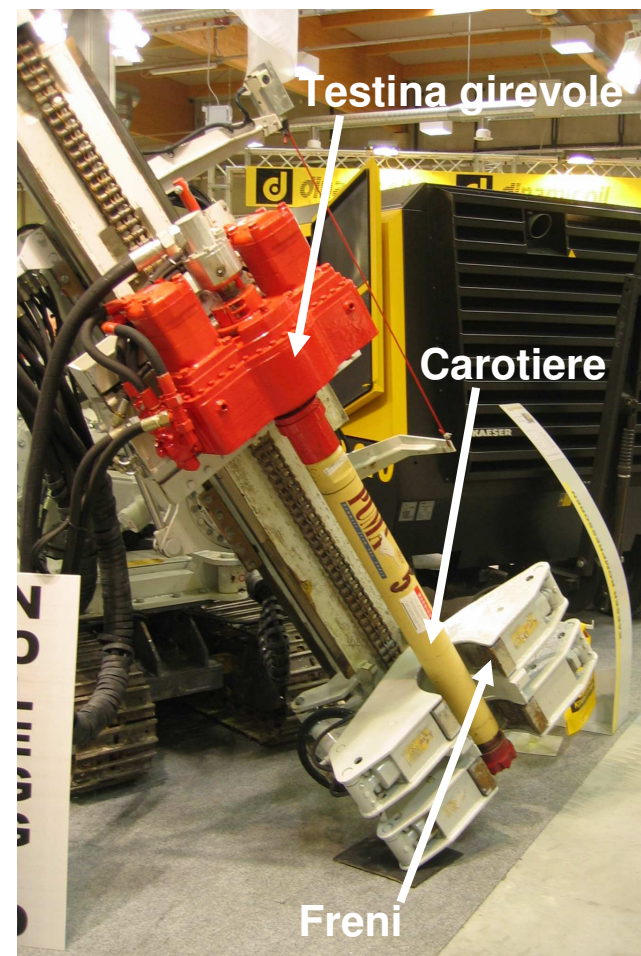
Perforazione a circolazione diretta

E' il metodo più in uso, sia in formazioni dure che sciolte e per profondità anche notevoli (centinaia di metri).

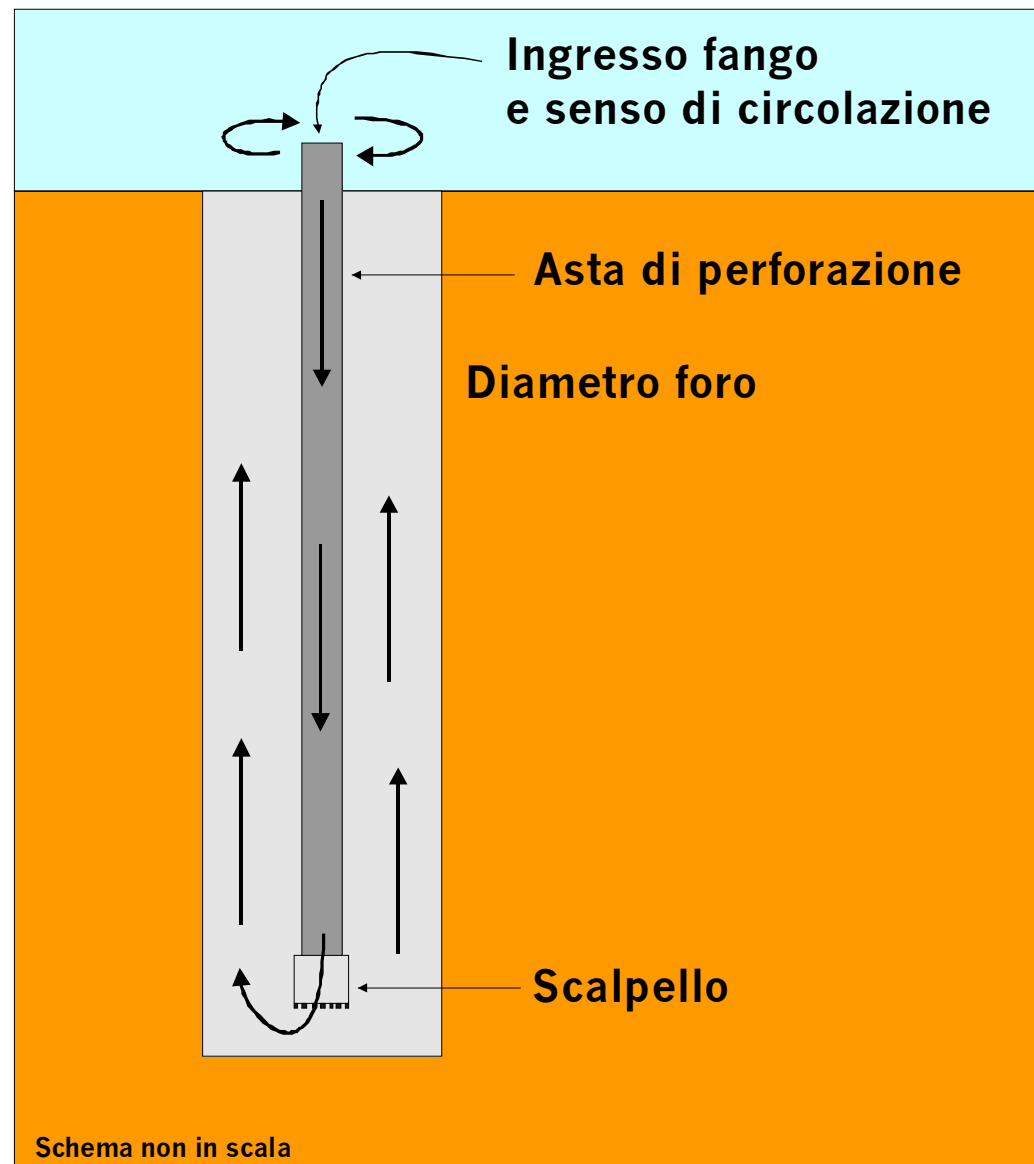
L'avanzamento è assicurato dalla rotazione e frantumazione del terreno e dal peso delle aste. Il sostentamento del foro ed il raffreddamento dello scalpello è ottenuto dal fango di circolazione.

Il fango è aspirato da un vascone ed iniettato in profondità attraverso la punta e le aste. Il movimento ascensionale riporta in superficie i cuttings ad una velocità in genere inferiore a 15m/min.

I diametri ottenibili sono inferiori a 40-60 cm, la ricostruzione della litologia è più difficile, così come la formazione del dreno artificiale



Circuito del fango nella circolazione diretta



Perforazione con tubi di rivestimento

E' una variante al precedente utilizzata anche insieme e nei casi di terreno superficiale sciolto.

L'avanzamento avviene tramite i tubi di rivestimento, anche a secco, muniti di una scarpa tagliente.

In questo modo è tutta la colonna che avanza e raggiunta una certa profondità (in genere pochi metri) si prosegue calando le aste all'interno e secondo il metodo classico.

Carotieri

Sono gli elementi più importanti della batteria di perforazione, con il compito di raccogliere la "carota" impedendo che venga distrutta ed alloggiandola nel suo interno.

L'estrattore posto all'interno della corona oltre che a permettere di strappare il campione dal fondo, ne impedisce la sua caduta durante il recupero della batteria.

All'estremità inferiore del carotiere è avvitata la corona, con il compito di ricavare una carota cilindrica che entrerà poi nel carotiere; essa sarà poi espulsa tramite la pompa del fango; l'abrasione è ottenuta con diamanti industriali annegati od incastonati nell'acciaio o con tasselli in lega dura (carburo di tungsteno, vidia). I tipi principali sono due: carotiere semplice e doppio; il primo è indicato in formazioni dure o coesive, mentre il secondo per formazioni sciolte o nel caso in cui si richiedono campioni con un basso grado di disturbo per analisi particolari; in entrambi può essere inserita una fustella (tubo cilindrico a parete molto sottile) per alloggiare la carota che viene fatta scivolare fuori una volta in superficie.

Carotaggio a fune (wire-line)

Il sistema deriva dalla perforazione petrolifera ed è stato introdotto per velocizzare i tempi di recupero delle carote a grande profondità.

Necessita di aste di grande diametro (comuni nelle perforazioni molto profonde) che consente di fare scendere velocemente un carotiere in fondo al foro. La batteria è così recuperata solo quando si deve cambiare la corona e se ne utilizzano due per l'avanzamento, una all'estremità delle aste ed una a quella del carotiere.

Il recupero del carotiere è effettuato da un pescante a punta conica, calato dall'alto tramite un cavo d'acciaio collegato al verricello in testa, che si aggancia in profondità alla testa del carotiere vero e proprio.

Il vantaggio di questo metodo è quindi la velocità, dato che riduce i tempi di manovra, ed esso risulta conveniente per profondità di 100-200 m, un po' meno se il sondaggio deve arrivare a 50-60 m.

Nel caso di avanzamento a distruzione si utilizza invece il cosiddetto tricono, costituito da cilindri rotanti con tasselli o bottoni vidia.

Carotaggio a fune (wire-line)



Il carotiere (1) viene calato e recuperato tramite il pescante (2) ed il cavo d'acciaio ad esso collegato (Cantiere SPG, TV)



Corona a gradini a pietre incastonate.



Corona a impregnazione diamantina.

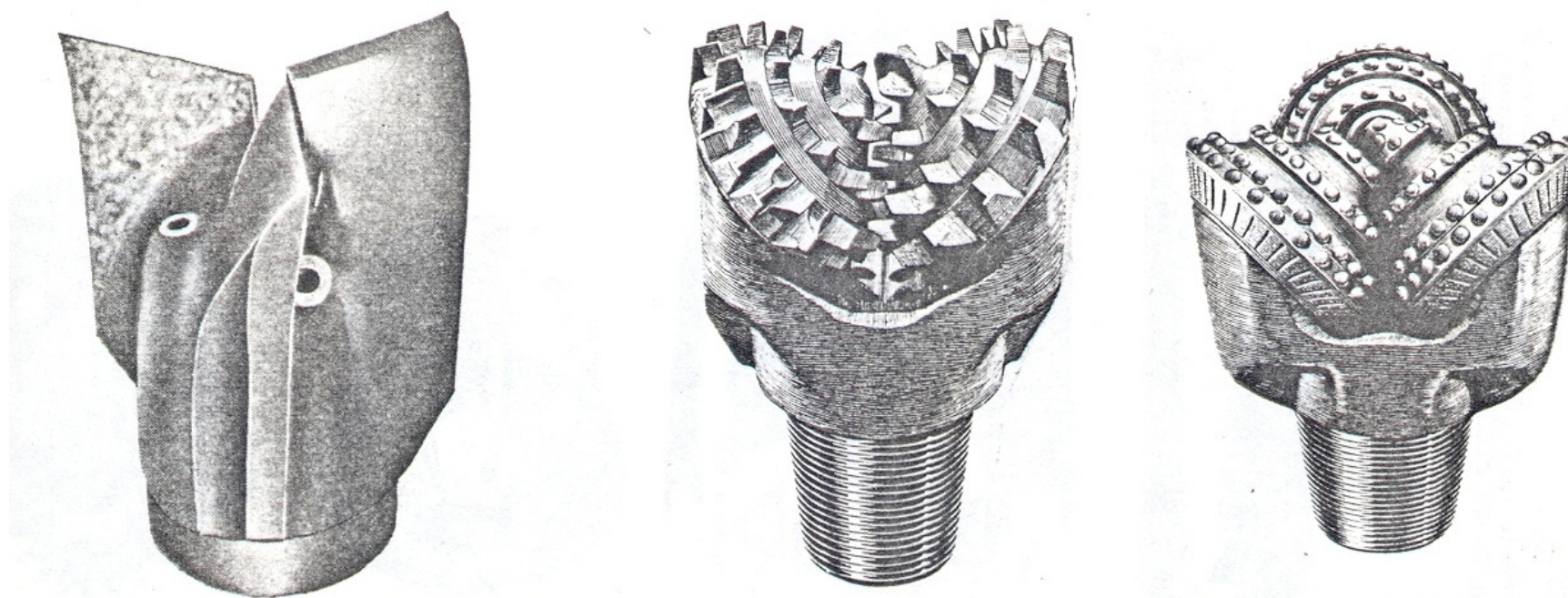


Corona al carburo di tungsteno.



Corone a diamanti incastonati.

Vari tipi di scalpelli (triconi) usati nella perforazione a distruzione



Alesatore

La sua funzione è di mantenere il foro di sondaggio a piena misura, in modo che quando viene sostituita la corona, perché consumata, la nuova possa scendere senza danni al fondo foro. In formazioni sedimentarie poco cementate, l'alesatore non è molto importante come nelle rocce dure. In genere un alesatore resiste a 3-4 cambi di corone.



Attrezzatura varia



Cantiere di perforazione per geognostica (circolazione diretta e carotaggio continuo)

Vasche
del fango

Carotiere
semplice



(Cantiere SPG a Follina, TV)

Cantiere di perforazione per geognostica (circolazione diretta e carotaggio continuo)



(Cantiere SPG a Follina, TV)

Sistema di iniezione della bentonite

Vasche del fango



Cantiere di perforazione per geognostica (circolazione diretta e carotaggio continuo)



Particolare dei freni usati per le manovre di aste e rivestimenti

Fase di recupero di una carota di terreno incoerente grossolano



(Cantiere SPG a Follina, TV)

Cassette di campioni

Terreno incoerente grossolano recuperato con carotiere semplice



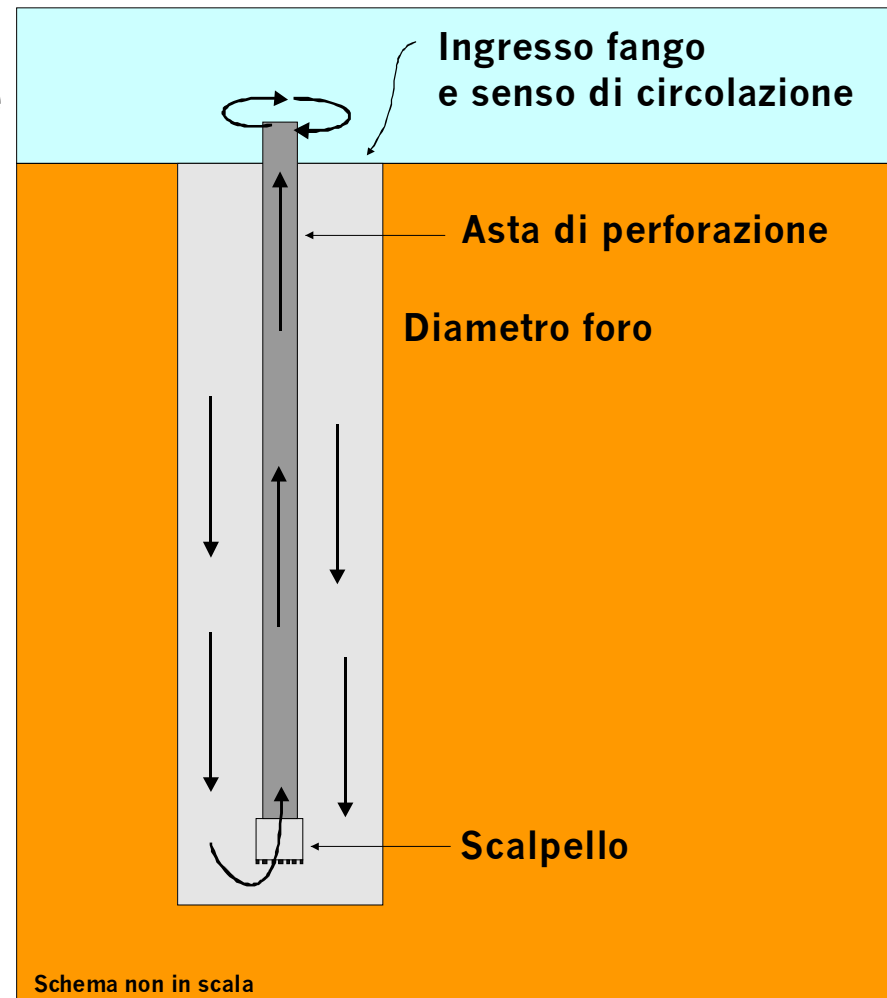
(Cantiere SPG a Follina, TV)

(Idrogeologia: Tecniche di perforazione e materiali)

Trivellazione a rotazione con circolazione inversa del fango

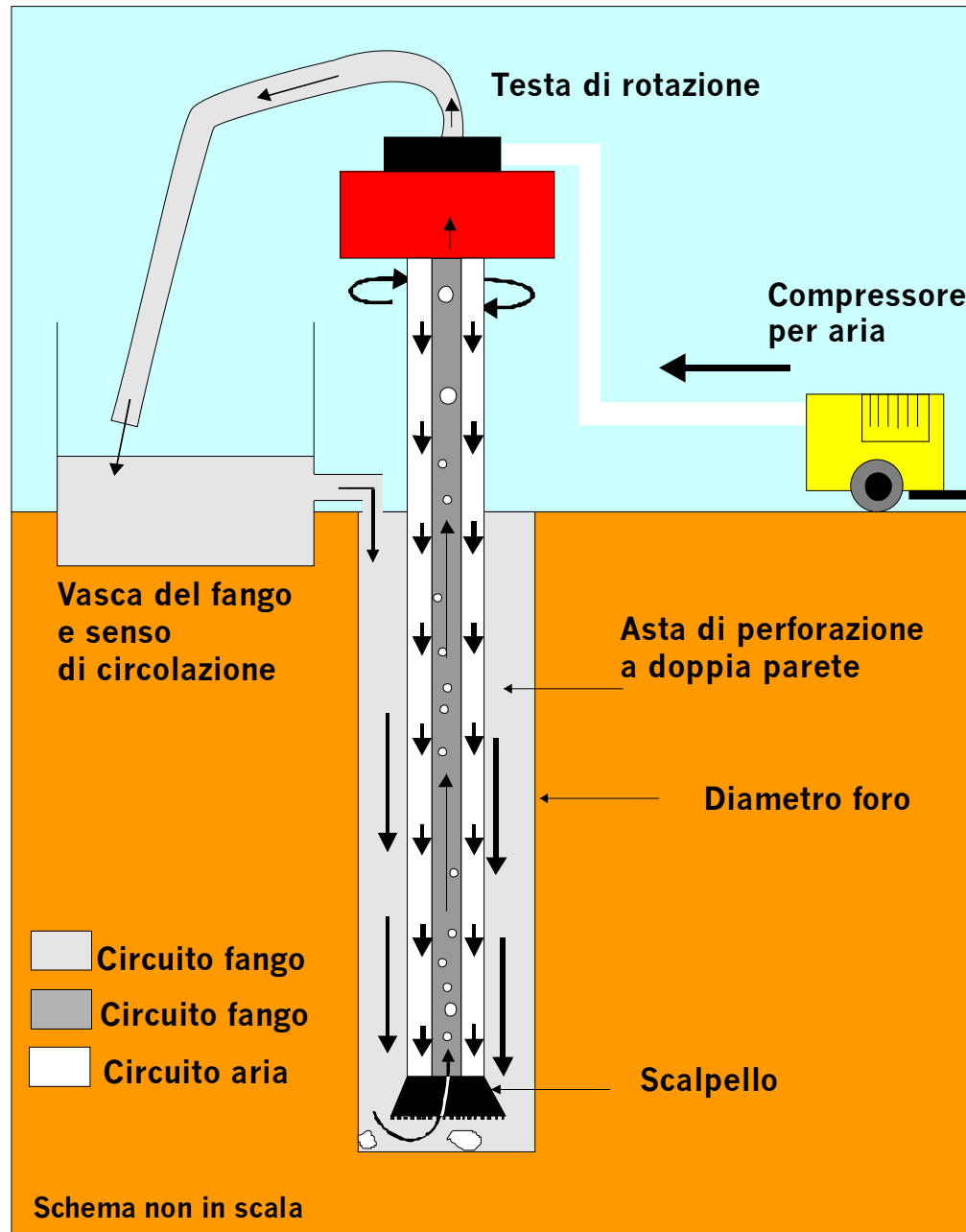
Il metodo è simile al precedente, ma in questo caso il fluido di perforazione scende lungo lo spazio aste-rivestimento (*annular volume*) e sale all'interno delle aste. Si raggiungono anche elevate profondità e grandi diametri, con ottime velocità di avanzamento. Tra i vantaggi maggiori vi sono:

- utilizzo di acqua di falda come fluido di perforazione
- migliore qualità dei campioni raccolti
- il terreno, anche se incoerente non tende a franare



(a questo scopo è fondamentale che il livello nel foro e vascone, sia sempre a piano campagna), d'altro canto i costi esecutivi sono più alti, soprattutto con pozzi di piccolo diametro e bassa profondità.

Circolazione inversa a fango ed aria



Perforazione con martello fondo foro

Si opera come per la circolazione diretta ma usando l'aria compressa come fluido di perforazione.

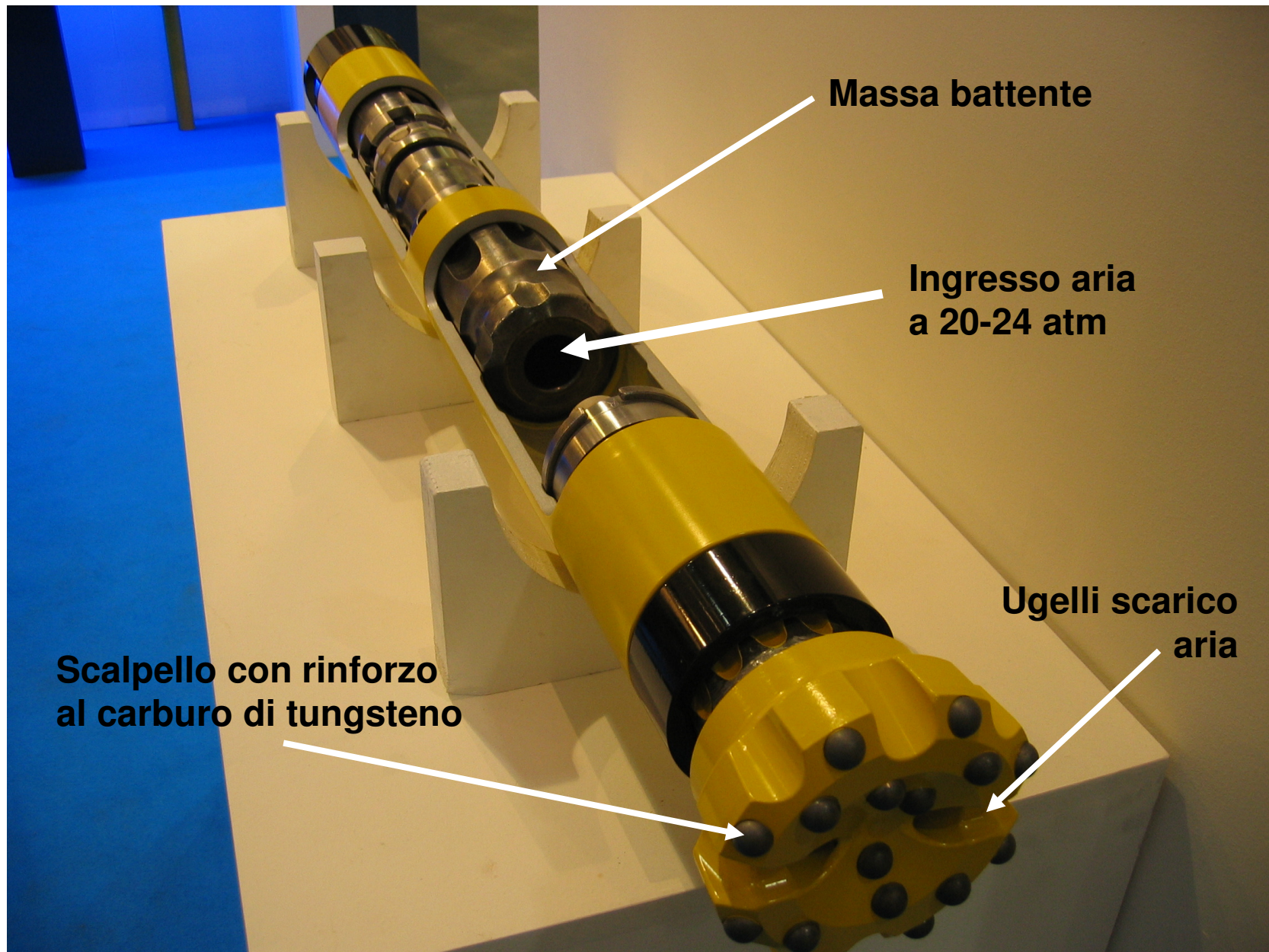
Il metodo va bene in terreni compatti (rigidi) che non richiedono la formazione di pannello.

L'aria viene iniettata attraverso le aste, a fondo foro tramite un compressore, sia a secco sia miscelata a schiumogeno (acqua + bentonite + carbonato di sodio + schiumogeno)

Durante la perforazione, il rivestimento segue a breve distanza lo scalpello.

All'estremità inferiore delle aste è posta una massa battente comandata da aria compressa (20 – 24 atm).

Martello fondo foro (Atlas Copco)



(Idrogeologia: Tecniche di perforazione e materiali)

Alcuni pregi e difetti della rotopercussione:

- la pulizia del foro è completa e lo scalpello si usura meno lavorando più velocemente
- velocità di avanzamento elevata anche in terreni compatti
- si evitano le perdite di circolazione (è quindi indicata nei terreni fratturati e/o carsici)
- gli impianti di questo tipo sono poco comuni
- costo elevato
- possibilità di blocco del rivestimento a profondità elevate
- il martello per lavorare bene deve essere abbondantemente lubrificato, può pertanto inquinare l'acquifero
- il foro va rivestito con terreni incoerenti
- la qualità dei campioni in terreni sciolti non è buona



Aste di perforazione di un impianto con martello fondo foro, dopo una caduta di 18 m per mancata tenuta del martinetto in superficie (Cirenaica, Libia)

PROFONDITA', DIAMETRI E TUBAZIONI

Questi parametri vanno scelti in base ai risultati dello studio idrogeologico preliminare ed al tipo di pompa (quindi dalla portata richiesta). Il diametro va scelto anche in base allo spessore del dreno, (vedi oltre) e del tipo di cementazione. Per avere dei valori indicativi il diametro interno del rivestimento deve essere 1,2-1,3 volte quello esterno della pompa, in pratica per ridurre le perdite di carico l'intercapedine deve essere di circa 5 cm. Di questo va tenuto conto anche in corrispondenza delle giunzioni tra tubi, che può essere fatta mediante:

- manicotti filettati
- filettature maschio – femmina
- saldature

(sono invece sconsigliabili le flange imbullonate, perché non garantiscono la tenuta e costituiscono un incastro per le eventuali sonde di misura)

Il PVC non va usato per profondità superiori a 100-120 m, questo materiale è comunque indicato (insieme all'acciaio) per i pozzi uso potabile e per acque aggressive. La tubazione va dotata di centralizzatori sopra e sotto il filtro, oppure sotto lo strato filtrante più profondo in caso di più filtri. All'estremità inferiore la tubazione ha un tratto cieco (1-3 m) munito di tappo di fondo (puntazza).

**Diametri minimi del tubaggio in relazione alle portate da estrarre
(U.S.B.R.)**

Portata mc/giorno	Diametro tubo pompa	Diametro rivestimento in cm		
		Pozzo senza dreno	Pozzo con dreno	Diametro del filtro in cm
Fino a 270	15	25	45	5
270 - 680	20	30	50	10
680 - 1900	25	35	55	15
1900 - 4400	30	40	60	20
4400 - 7600	35	45	65	25
7600 - 14000	40	50	70	30
14000 - 19000	50	60	80	35
19000 - 27000	60	70	90	40

Fattori influenzanti la scelta del metodo di perforazione

Metodo	Terreno	Profondità	Diametro	Cond. Locali (acqua – area)
A getto, guidato	Incoerente (sabbie limi sabbiosi pref. saturi)	Bassa, 10-20 m	Piccolo, 5-10 cm	Disp. acqua minima Area piccola
A percussione a secco	Incoerente (sabbia - ghiaia) Compatto tenero (argilla - marna - calcare) Campatto duro (arenaria - congl.-rocce metamorfiche) <i>lento !</i>	120 – 150 m	0.5-1 m o più	Area estesa (stoccaggio tubi) Disponibilità acqua minima
Rotazione circolazione diretta	Incoerente (sabbia - ghiaia) Compatto tenero (argilla – marna - calcare) Campatto duro (arenaria - congl.-rocce metamorfiche) <i>perdite circolazione !</i>	Centinaia di m	0,4-0,5 m	Area più piccola di quella per la circ. inversa
Rotazione circolazione inversa	Incoerente (ghiaia grossa) Compatto tenero (argilla – marna - calcare) Campatto duro (arenaria - congl.-rocce metamorfiche) <i>perdite circolazione !</i>	Centinaia di m	0.5-1 m o più	Area estesa (vascone) Disponibilità acqua elevata
Rotopercussione	Compatto tenero (argilla – marna - calcare) Campatto duro (arenaria - congl.-rocce metamorfiche) Compatto durissimo (rocce metamorfiche e cristalline)	Centinaia di m	0,4-0,5 m	Area piccola Disponibilità acqua minima