

## METODOLOGIE DI PERFORAZIONE E FILTRAGGIO DEI POZZI PER ACQUA

dr ing. Antonio Chiusano \* dr geol. Alessio Fileccia \*\*

### Premessa

L'articolo riassume i metodi più utilizzati per la perforazione di pozzi per acqua ed alcune considerazioni sulla scelta del sistema di filtraggio da adottare prima della messa in produzione.

Nella prima parte si tratta una breve descrizione dei sistemi di perforazione e delle attrezzature più utilizzate mentre nella seconda, una semplice procedura per la scelta dei filtri e del dreno in ghiaia.

### Scopo delle perforazioni

Lo sfruttamento delle risorse idriche del sottosuolo costituisce una notevole fonte d'alimentazione per uso non solo potabile.

Le falde acquifere sono in genere localizzate in profondità e per il loro sfruttamento uno dei metodi più utilizzati è quello della costruzione di un pozzo.

La costruzione di un pozzo implica due aspetti principali:

- la perforazione del foro;
- il completamento dello stesso per renderlo idoneo ad uno sfruttamento duraturo nel tempo.

La profondità può variare da poche decine di metri, per pozzi che vengono alimentati da acquiferi superficiali, sino a raggiungere anche i 2.000 m, come quelli perforati nelle formazioni dell'Albiano, che caratterizzano il sottosuolo del Nord Africa.

Nella costruzione di un pozzo, al fine di poter scegliere il metodo di perforazione più idoneo, oltre alla profondità, è importante conoscere indicativamente ed in anticipo, le caratteristiche dei terreni da perforare.

Vengono citati, a titolo di esempio, falde acquifere in due formazioni, il cui sfruttamento implica tecnologie di perforazioni diverse

- falde acquifere in formazioni alluvionali, come nella valle Padana, con pozzi profondi 300 – 400 m;
- falde acquifere in formazioni moreniche o rocce fessurate, con pozzi che possono superare anche i 1.000 m. di profondità.

### Sistemi di perforazione

- Perforazione a rotazione
  - a circolazione diretta (a fango o ad aria o mista aria-fango)
  - a circolazione inversa (a fango o ad aria o mista aria-fango)

---

\* ingegnere libero professionista, Bergamo \*\* geologo libero professionista, Treviso

- Perforazione a percussione
  - a circolazione inversa con acqua
  - a secco con tubazioni di lavoro
  - a secco, con infissione a pressione di colonna di rivestimento definitiva;
  
- Perforazione sistema misto:
  - rotopercussione

### Sistema a rotazione

Nel sistema a rotazione la perforazione viene eseguita per mezzo di un utensile, generalmente uno scalpello, sottoposto ad un peso appropriato che, ruotando sul fondo del foro, frantuma la formazione in detriti.

Nella perforazione a rotazione è importante la circolazione di un fluido (fango, acqua od aria compressa). Si può perforare qualsiasi tipo di terreno. La profondità di perforazione ed il diametro dei fori dipendono dalla potenza e dal tipo d'impianto.

La perforazione a rotazione, rispetto a come circola il fluido, può essere di due tipi:

- Circolazione diretta, quando il fluido è immesso nelle aste di perforazione e ritorna in superficie attraverso l'intercapedine foro-aste (fig. 1);
- Circolazione inversa, quando il fluido (acqua o fango) è immesso nello spazio anulare foro-aste e ritorna in superficie attraverso la batteria di aste (fig. 2). Nel caso di utilizzo di aria, come fluido di perforazione, essa viene inviata in corrispondenza dello scalpello oppure dei diffusori attraverso opportune intercapedini della batteria di aste.

### Perforazione a rotazione e circolazione diretta di fango

La perforazione a rotazione con circolazione diretta è il sistema più diffuso; quella con circolazione inversa (a fango o ad aria) può essere considerata una variazione della prima. L'avanzamento avviene per rotazione di un appropriato utensile, uno scalpello oppure un carotiere, situato all'estremità di una "batteria" di aste cave. Il moto rotatorio viene impresso alle aste, e quindi all'utensile, mediante una testa motrice che è collegata alle aste di perforazione". Lo scalpello riduce il materiale di formazione in detriti, i quali sono trasportati in superficie dal fango di perforazione.

Il ciclo del fango è il seguente (fig. 3): esso viene aspirato da una pompa e, passando attraverso la testa motrice, viene immesso in pressione all'interno della batteria di perforazione per fuoriuscire dai fori dello scalpello, assolvendo al duplice scopo di raffreddare e pulire l'utensile e di trasportare i detriti. Il fango risale attraverso lo spazio anulare esistente tra le pareti del foro e le aste, trasportando i detriti in superficie nella opportuna vasca di decantazione, dove si depositano. Esso stramazza in una seconda vasca che alimenta la pompa, ripetendo il ciclo esposto. Negli impianti di perforazione per pozzi profondi il fango, prima di essere immesso nella vasca di sedimentazione, passa attraverso un vibrovaglio che trattiene i detriti di dimensione maggiore della sua maglia. Nel caso in cui necessita avere campioni del terreno (carote) e non semplici detriti, si ricorre all'impiego di un carotiere, come utensile di perforazione.

### Perforazione a rotazione con circolazione diretta ad aria

Il sistema di usare come fluido di perforazione l'aria ha avuto notevoli successi, anche se il suo impiego è limitato nei pozzi profondi a causa dell'enorme quantità di fluido che occorrerebbe e, conseguentemente, della disponibilità di compressori troppo grossi ed ingombranti.

Lo scopo del fango di perforazione è di trascinare in superficie i detriti prodotti e sostenere le pareti del pozzo da eventuali frane. Nel caso di terreni compatti, dove non esistono problemi di collassi della parete, lo scopo del fluido è solo quello del trasporto dei detriti in superficie. L'aria, usata come fluido di perforazione, è fornita da un appropriato compressore, il quale sostituisce la pompa del fango. Essa passa nella batteria di aste, fuoriesce dallo scalpello e rifluisce in superficie attraverso l'intercapedine foro-aste, trasportando i detriti. Tale metodo è chiamato "perforazione ad aria a secco". In genere l'aria e le polveri sono scaricate lontane dal luogo di lavoro per mezzo di un convogliatore oppure le polveri sono separate dall'aria adoperando un opportuno collettore-separatore di polveri.

Perforando ad aria una formazione bagnata i detriti tendono ad agglomerarsi tra loro formando grossi noduli che possono depositarsi sullo scalpello, con possibili problemi di presa della batteria. Per evitare tali inconvenienti, la perforazione ad aria viene eseguita immettendo, nel flusso d'aria che fuoriesce dallo scalpello, un liquido chimico, detto schiumogeno, che tende a formare della schiuma, impastando e separando in tal modo i detriti. Tale sistema è chiamato "perforazione ad aria con schiumogeno". La miscela aria-schiuma-acqua trasporta facilmente i detriti in superficie. Lo schiumogeno viene immesso nella condotta di alimentazione dell'aria per mezzo di una pompa dosatrice.

Nella perforazione di terreni molto duri e compatti si può far uso di un attrezzo che frantuma il materiale con un sistema a "roto-percussione". L'attrezzo, chiamato "martello fondo-foro" lavora come un normale martello pneumatico, con la sola differenza che il moto di percussione è impresso solo all'utensile e non alle aste. Tale sistema è chiamato "perforazione ad aria con martello fondo-foro". La batteria di aste lavora solo a rotazione e non risente dei ripetuti colpi di percussione sullo scalpello.

Gli scalpelli usati nel martello fondo-foro hanno il tagliente a croce, con inserti di carburo di tungsteno.

### Perforazione a circolazione inversa a fango

Nella perforazione a circolazione inversa il ciclo del fango s'inverte (fig. 2). Esso scende lungo l'intercapedine foro-aste, entra nei condotti dello scalpello e, attraverso la batteria di aste, risale in superficie assieme ai detriti, risucchiato da una pompa aspirante. Il fango è quindi immesso nella vasca, scavata normalmente nel terreno, ripetendo il ciclo.

Le pompe usate sono generalmente pompe centrifughe con portate di 3000 - 4000 lt/min., idonee per aspirare fango e detriti di perforazione.

Con questo metodo si possono perforare pozzi di gran diametro, i quali richiederebbero, nel caso di circolazione diretta, notevoli portate di fango e, conseguentemente, grosse pompe per poter avere una velocità ascensionale del fango idonea per il trasporto dei detriti in superficie. Nel caso della circolazione inversa la velocità di risalita del fango è funzione solo del diametro delle aste e non dipende dal quello del foro perforato.

La profondità di un pozzo perforato a circolazione inversa è limitata dall'azione aspirante della pompa, quindi non si perforano pozzi oltre i 140 - 150 m. Ciò dipende dal fatto che oltre queste profondità la

perdita di carico idraulico all'interno delle aste diventa maggiore dell'altezza di aspirazione della pompa. Questa limitazione viene parzialmente superata immettendo nelle aste dell'aria, attraverso un ugello diffusore posto al di sopra dello scalpello. Per questa operazione occorrono delle aste appropriate. L'immissione dell'aria tramite un diffusore fa diminuire la densità del fango contenuto all'interno della batteria e conseguentemente la pompa può aspirare una colonna di fango maggiore.

#### Perforazione a circolazione inversa a fango ed aria.

Nella perforazione a circolazione inversa a fango ed aria (fig. 4) si fa uso di un compressore e di una batteria di aste a doppia parete; l'aria compressa viene immessa nello spazio anulare delle aste. Tale metodo sfrutta la variazione di densità tra la colonna d'acqua che si trova nell'intercapedine foro-aste e la colonna di acqua, mista ad aria, più leggera, all'interno della batteria di aste. Il suddetto squilibrio crea all'interno delle aste, un innalzamento del fluido con sua fuoriuscita e conseguente richiamo, dallo spazio anulare foro-aste, di altra acqua che dallo scalpello penetra all'interno della batteria, trasportando anche i detriti.

La profondità raggiungibile dipende dalla potenza del compressore, mentre la velocità di risalita dell'acqua mista a detriti è funzione della sua portata e del diametro interno delle aste.

La risalita dell'acqua mista a detriti avviene sempre per aspirazione, prodotta dalla differenza di densità delle due suddette colonne.

#### Componenti del sistema di circolazione del fango.

Il circuito di circolazione del fango comprende (fig. 3): la pompa di mandata; le condotte di superficie; la testa di rotazione; la batteria di aste di perforazione; lo spazio anulare fra aste e pareti del foro; le vasche del fango.

La pompa può considerarsi il cuore del sistema di circolazione del fango. Essa ha il compito di far circolare il fluido con velocità sufficiente per trasportare i detriti in superficie. La pompa del fango è del tipo a pistoni duplex o triplex.

Il fango di perforazione esegue un percorso a ciclo chiuso: esso viene aspirato dalla vasca tramite la pompa, mandato attraverso tubazioni ed aste cave in fondo al pozzo da dove risale e ritorna nella vasca di raccolta.

La velocità di risalita del fango nello spazio anulare tra la batteria di perforazione e la parete del foro deve essere tale da impedire la sedimentazione dei detriti. Se indichiamo con  $V_a$  la velocità ascensionale del fango, con  $V_d$  la velocità di caduta dei detriti nel fango (lungo l'asse di  $V_a$ , ma in senso opposto), la risultante vettoriale sarà:  $V = V_a - V_d$ . Per avere il trasporto dei detriti dovrà essere  $V_a > V_d$ . La velocità ascensionale del fango ( $V_a$ ) è funzione della portata della pompa ( $Q$ ) e dello spazio anulare ( $A$ ), cioè:  $V_a = Q/A$ .

La velocità di risalita del fango nell'intercapedine foro-aste deve essere compresa tra 0,6 e 1 m/sec. Il rispetto dei valori limiti del suddetto campo ha notevole importanza specialmente nella perforazione di pozzi profondi; per esempio, per valori minori di 0,6 m/sec il fango trasporta male i detriti, con pericolo

d'accumulo degli stessi sullo scalpello; per velocità superiori a 1 m/sec, esso può creare, in determinate formazioni, cavità e scavamenti, con pericolo di collasso del pozzo.

### Pompe utilizzate e criteri di scelta

Schematicamente una pompa alternativa è formata da un pistone collegato ad una manovella tramite una biella (fig. 5); la sua parte fondamentale è il gruppo camicia - pistone - valvole.

Una pompa si dice a "semplice effetto" quando ha una sola aspirazione ed una sola mandata; a "doppio effetto", quando ha due aspirazioni e due mandate. In quest'ultimo caso quando il pistone comprime da una parte, aspira contemporaneamente dall'altra; giunto a fine corsa, il moto si inverte con conseguente cambio delle sue funzioni. La pompa a doppio effetto ha, a parità di cilindrata, una portata quasi doppia di una a semplice effetto.

La pompa del fango può essere a due pistoni (duplex) a doppio effetto od a tre pistoni (triplex) a semplice effetto.

Il tipo a doppio effetto ha una velocità massima di 80 colpi/min., mentre quello a semplice effetto può arrivare a 175 colpi/min.

Grandi portate sono legate a basse pressioni mentre le piccole a pressioni più alte.

La scelta del tipo di pompa dipende dal diametro del pozzo, che seleziona la portata della pompa, e dalle perdite di carico idraulico nelle aste e nell'intercapedine foro-aste, che determinano la pressione della pompa. La portata della pompa deve essere tale che la velocità di risalita del fluido non produca sedimentazione dei detriti (circa 1 m/sec).

Il pistone per muoversi deve avere una pressione tale da vincere la resistenza incontrata dal fango nel circuito.

Per la scelta della pompa occorre calcolare la pressione per la massima profondità che si vuole raggiungere e la massima portata prevista. Essendo le camicie ed i pistoni intercambiabili si può disporre di una gamma di portate e pressioni del fango.

Normalmente una pompa viene indicata mediante il diametro del pistone e la corsa (entrambi in pollici): *modello pompa + diametro del pistone x corsa*. Esempio: POMPA BALLERINI TIPO D1 5 1/2"x8".

Durante il suo funzionamento, una pompa alternativa produce nel fluido degli impulsi discontinui che provocano nella condotta di mandata delle variazioni di pressione, le quali si ripercuotono negativamente sulla durata delle tubazioni del fango e sull'efficienza della pompa stessa. Allo scopo di ottenere durante il pompaggio una pressione più uniforme nelle tubazioni si fa uso di un "*ammortizzatore di pulsazioni*".

### Vasche di raccolta del fango

La quantità di fango necessaria per la perforazione dipende dal diametro e dalla profondità del foro. Il fango può essere preparato e raccolto in buche scavate nel terreno oppure in apposite vasche in dotazione all'impianto. Durante la perforazione il fluido riporta in superficie dei detriti che devono essere separati in modo da rendere il fango idoneo per il nuovo ciclo di pompaggio. Per tale scopo si utilizza

normalmente una vasca divisa in due scompartimenti oppure due vasche comunicanti. Per pozzi poco profondi e dove è possibile possono essere utilizzate due buche scavate comunicanti con un canaletto: la prima viene impiegata per far decantare i detriti; la seconda raccoglie il fango esente da detriti. Il volume delle buche dovrebbe essere il doppio di quello del foro.

Nel caso di utilizzo di masconi di superficie, la vasca principale di raccolta e di aspirazione del fango è suddivisa normalmente in due compartimenti mediante una parete divisoria, comunicanti tra di loro mediante una saracinesca.

Il fango proveniente dal pozzo prima di essere immesso nella vasca principale può essere separato dalla maggior parte di detriti con l'impiego di un vibrovaglio, costituito da una rete metallica montata con una leggera pendenza, messa in vibrazione da un albero rotante munito di masse eccentriche. I detriti trattenuti dalla rete cadono nel raccoglitore dei rifiuti; il fango passa attraverso le maglie e viene raccolto in una vaschetta collegata alla vasca principale. Per ridurre la presenza di sabbia nel fango si fa uso di dissabbiatori.

## **Attrezzature di perforazione ed accessori di corredo**

### Batteria di perforazione.

La batteria di perforazione ha lo scopo di trasmettere sia il moto rotatorio che un adeguato peso allo scalpello e di costituire una condotta d'adduzione del fango dalla testa rotazione sino allo scalpello. Essa è composta generalmente da: aste di perforazione ed aste pesanti od astoni (fig. 7).

Nella parete inferiore della batteria possono essere montati anche degli stabilizzatori.

### Aste di perforazione

Sono cave, raccordate tra di loro, che servono a collegare la testa motrice di rotazione alle aste pesanti e a trasmettere il moto rotatorio all'utensile di perforazione. Le aste per perforazioni profonde sono costruite in acciaio trafilato senza saldature, secondo le norme API. Le estremità delle aste possono essere ricalcate internamente (Internal Upset), esternamente (External Upset), contemporaneamente all'esterno ed all'interno (External-Internal Upset) e sono filettate secondo le specifiche API. I raccordi delle aste sono a perfetta tenuta per evitare, in corrispondenza della loro giunzione, la fuoriuscita del fluido di perforazione che circola in pressione.

Essendo le aste soggette a continui avvitamenti e svitamenti, le loro estremità sono provviste di giunti rapidi filettati (tool-joints).

Le aste impiegate nelle perforazioni poco profonde possono avere delle soluzioni costruttive diverse dalle norme citate. Le loro estremità possono essere munite di manicotti montati a pressione e saldati ed avere delle filettature non previste dalle norme.

### Aste pesanti (drill collar).

Le aste pesanti, anch'esse cave internamente, hanno un diametro maggiore di quelle da perforazione e servono a dare peso allo scalpello. Il loro diametro deve essere scelto in modo tale da lasciare un'intercapedine sufficiente per far passare il fango ed i detriti di perforazione. La loro sezione è normalmente circolare.

### Stabilizzatori.

Gli stabilizzatori hanno il compito di mantenere centrate le aste pesanti, creando dei punti d'appoggio sulla parete ed evitare deviazioni del foro durante la perforazione.

Diversi sono i tipi di stabilizzatori: a lame verticali, a lame a spirale, a rulli verticali, a rulli inclinati.

### Utensili di perforazione

Gli utensili usati per perforare il sottosuolo sono gli scalpelli, i quali riducono il materiale perforato in frammenti di piccole dimensioni (detriti) ed i carotieri, che vengono impiegati per prelevare campioni interi.

### Scalpelli

Lo scalpello è l'attrezzo che viene posto all'estremità inferiore della batteria di aste e perfora la formazione incontrata, riducendola in piccoli frammenti che vengono portati in superficie dal fluido di circolazione. Esso può essere paragonato alla punta di un trapano.

Per poter eseguire la perforazione lo scalpello ha bisogno di due movimenti:

- un moto rotatorio impresso, tramite la batteria di aste, dalla testa motrice;
- un moto di avanzamento regolato dalla testa motrice.

Gli scalpelli possono essere suddivisi in 3 categorie:

- scalpelli a lame, usati per perforare terreni teneri e sciolti;
- scalpelli a rulli, utilizzati per quasi tutti i tipi di formazione;
- scalpelli a diamante, utilizzati per formazioni molto dure e durissime.

La frantumazione della roccia può avvenire secondo due differenti principi, a seconda del tipo di scalpello usato:

- asportazione della roccia a scaglie, nel caso degli scalpelli a lame;
- sgretolamento della roccia per compressione, nel caso degli scalpelli a rulli e a diamante.

Gli scalpelli vengono scelti secondo il tipo di roccia da perforare.

### Carotieri

I carotieri sono impiegati per prelevare e trasferire in superficie delle porzioni di roccia durante la perforazione.

## Perforazione a percussione

Il metodo a percussione è idoneo per formazioni con ghiaia, sabbia, tutti i terreni fino a rocce di media resistenza; non è indicata per terre coesive molto consistenti e rocce con resistenza alta.

Nella perforazione a percussione (fig. 7) l'utensile di perforazione viene spinto nel terreno o per caduta dello strumento stesso o per infissione per mezzo di una mazza battente; quest'ultimo sistema è usato solo nei terreni incoerenti di copertura. L'impiego del metodo a percussione è di regola limitato alla perforazione eseguita nei terreni granulari o coesivi. La profondità e il diametro dipendono dal tipo di utensile usato e dall'energia d'urto nonché dalla natura del terreno; diametri usuali: 100 - 900 mm; profondità di riferimento: 100 m.

La perforazione a percussione a cavo, con utensile a caduta, viene effettuata per mezzo di un attrezzo pesante predisposto ad operare alternativamente in risalita ed in caduta libera, collegato ad un argano a frizione mediante un cavo di acciaio. Essa, in genere, viene eseguita a secco.

La parte inferiore dell'utensile colpisce la roccia e la frantuma. L'azione ripetitiva per un certo tempo consente la frantumazione della formazione.

I parametri che regolano l'avanzamento sono il peso dell'utensile, la sua altezza di caduta libera e la frequenza dei colpi. L'utensile di perforazione può avere un peso variabile da un quintale a qualche tonnellata, e ciò dipende dal suo diametro e dal tipo.

La roccia frantumata viene normalmente estratta dal fondo del foro per mezzo di una sonda a cucchiaio, formata da un corpo tubolare in acciaio, munito di valvola a ciabatta, che si apre verso l'interno.

La perforazione a percussione in terreni incoerenti implica l'uso di una o più tubazioni provvisorie di rivestimento che vengono fatte avanzare nel foro man mano che si perfora. Ciò per evitare frane della parete del pozzo. L'avanzamento nel terreno delle suddette tubazioni può avvenire mediante battuta sulla testa della colonna oppure mediante spinta verticale e semirotazione nei due sensi.

Per l'avanzamento a battuta vengono usati tubi filettati. La parte superiore della colonna è munita di testina di battuta mentre la sua parte inferiore di scarpa.

Il rivestimento provvisorio che viene infisso mediante spinta verticale e semi-rotazione nei due sensi è costituito da tubi saldati muniti all'estremità inferiore di una scarpa, con diametri normalmente compresi fra 500 e 1200 mm; per il suo avanzamento viene utilizzato il giracolonne idraulico montato sull'impianto.

La colonna di manovra può avere anche la funzione di tubazione definitiva ed infissa per mezzo di martinetti idraulici opportunamente ancorati al suolo. In questo caso la parte filtrante viene realizzata nel foro mediante uno speciale attrezzo.

La profondità di posa dipende dal diametro del tubo e dal metodo di infissione. La tubazione filettata, fatta avanzare per battuta, può scendere ad una profondità di 30-40 m; quella saldata, manovrata con movimenti di spinta e semi-rotazione, può raggiungere i 50-80 m.

## **Determinazione del filtraggio migliore per i pozzi**

### Considerazioni generali

Nelle formazioni rocciose compatte, l'acqua dell'acquifero entra direttamente nel foro non sostenuto.

Nelle formazioni sciolte alluvionali, la mancanza del rivestimento provoca un'ostruzione più o meno veloce.

Per evitare questo, nel foro è inserita una colonna di tubi, in genere avvitati tra loro, che, in corrispondenza dei livelli acquiferi è dotata d'aperture per l'entrata dell'acqua.

In questo modo si ottengono i seguenti vantaggi:

- Si stabilizzano le pareti del foro
- Si riduce l'entrata di sabbia
- Si minimizza la resistenza idraulica in fase di pompaggio

In certi casi i tubi di rivestimento sono perforati in cantiere con uno speciale utensile.

Questo è possibile sia prima del tubaggio sia quando la colonna è già stata calata nel pozzo.

Così facendo si ottengono aperture grandi, di forma irregolare e discontinuamente situate lungo le pareti; inoltre la percentuale filtrante è bassa e vi è maggiore facilità d'ingresso della sabbia.

Più comune è l'utilizzo di tubi finestrati precostruiti e con aperture di circa 1-6 mm.

La percentuale filtrante è in genere del 12-15%.

In aggiunta ai filtri, e sempre con lo scopo di ridurre ulteriormente l'entrata di frazione fine ed il progressivo intasamento, si ricorre all'uso di un dreno in ghiaia calato di solito dalla superficie e situato tra foro e colonna.

### Curva granulometrica

La metodologia più seguita è quella che prevede la determinazione della granulometria dell'acquifero e dei seguenti parametri:

- Coefficiente d'uniformità
- Diametro medio
- Diametro efficace

L'analisi granulometrica presenta anche l'utilità di fornire valori empirici di conducibilità idraulica.

Il campione è pesato, setacciato ed il peso d'ogni frazione trattenuta da uno dei setacci è espresso come percentuale del totale.

Su di un grafico è riportata in ordinata la percentuale cumulata, in scala aritmetica, ed in ascissa le aperture dei vari setacci a scala logaritmica.

La curva granulometrica è utile principalmente per:

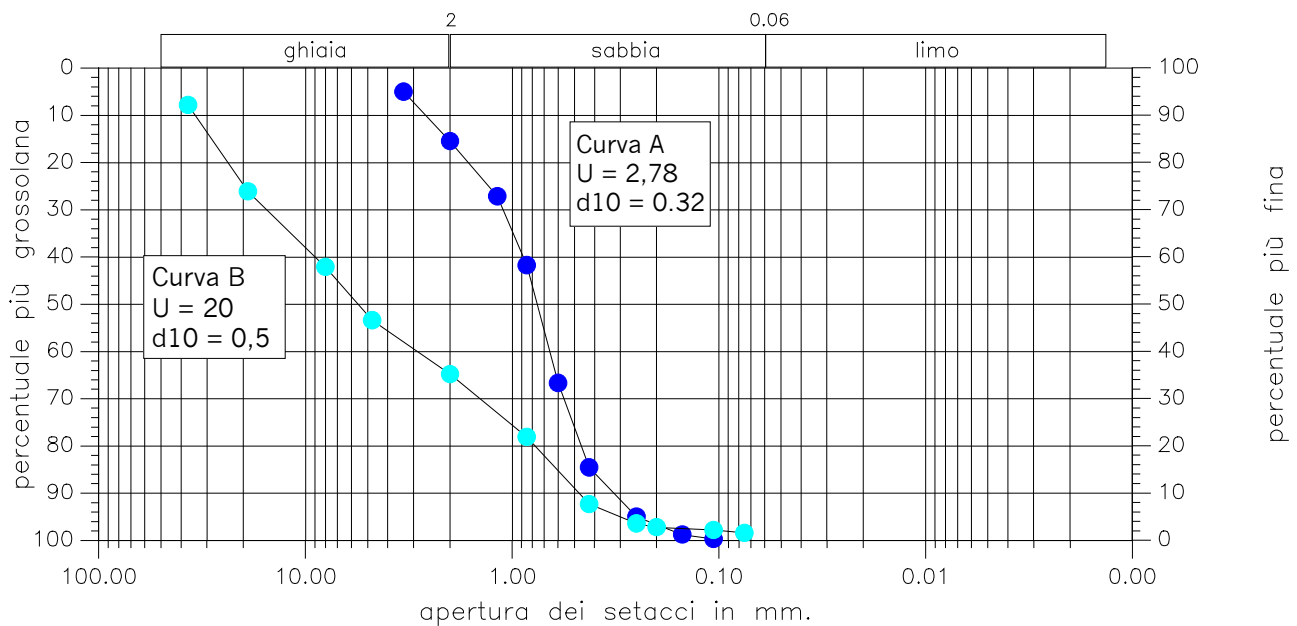
1. Determinare il grado d'uniformità

$$U = d_{60} / d_{10}$$

$d_{60}$  = diametro del setaccio che lascia passare il 60% del materiale in peso e quindi trattiene il 40%

$d_{10}$  = diametro del setaccio che lascia passare il 10% del materiale in peso e quindi trattiene il 90%

In genere  $U < 5$  indica un campione uniforme ed  $U > 5$  un campione poco uniforme.



**Fig. 1:** esempio di curva granulometrica con calcolo del coefficiente di uniformità e diametro efficace per la caratterizzazione del campione. Più basso è il valore di U, più è uniforme il campione (curva A). Valori alti di U, sono tipici di materiali con diverse granulometrie e con curve meno inclinate (curva B).

2. Determinare il diametro efficace ( $d_{eff}$ )

Tale valore corrisponde in genere a  $d_{eff} = d_{10}$  anche se alcuni utilizzano  $d_{eff} = d_{17}$  o  $d_{eff} = d_{20}$ .

E', infatti, la frazione fine che influisce di più sulla permeabilità generale dell'acquifero.

3. Determinare la scelta del dreno in ghiaia (vedi oltre)

4. Determinare un valore empirico per la conducibilità idraulica

Prima di illustrare un esempio pratico per la scelta del dreno, è utile soffermarci sul punto 4. precedente, ricordando le formule più utilizzate per ricavare la conducibilità: (Vukovic, Soro 1992)

*Equazione di Hazen*

$$K = C d_{10}^2$$

Dove il coefficiente C varia tra 1200, per sabbie pulite uniformi e 400 per sabbie eterogenee limoso-argillose.

Meglio ancora è la seguente modificata da Lange (1958):

$$K = g/v C_h f(n) d_{10}^2$$

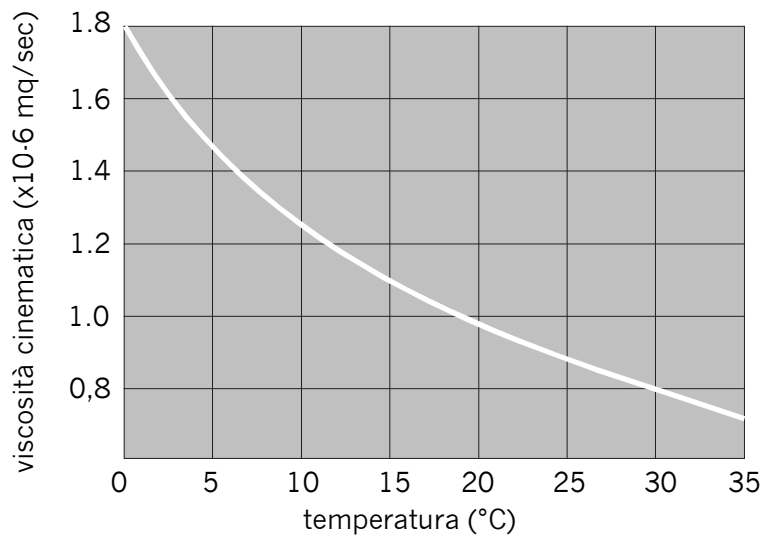
dove il coefficiente  $C_h = 6E-4$

$$f(n) = 1 + 10(n - 0,26)$$

n è la porosità

$v = \mu/\rho$  viscosità cinematica (in  $m^2/sec$ )

la formula è valida per sabbie medio fini uniformi con  $U < 5$ ;  $d_{10} = 0,1-3$  mm.



Variazione della viscosità con la temperatura (Maidment, 1993)

*Equazione di Kozeny*

Valida per sabbie grossolane

$$K = g/v C_h f(n) d_{10}^2$$

Dove il coefficiente  $C_h = 8,3 \text{ E-}3$

$$f(n) = n^3/(1-n)^2$$

*Equazione di Breyer*

valida per campioni poco assortiti (es.: sabbie limose), con  $U = 1-20$  e  $d_{10}$  compreso tra 0,06 e 0,6 mm

$$K = g/v C_b d_{\text{eff}}^2$$

Dove il coefficiente  $C_b = 6\text{E-}4 \log 500/U$

Le tre formule elencate si usano in cascata ed i risultati sono mediati tra loro, tenendo in maggiore considerazione le caratteristiche d'applicabilità delle formule stesse.

### Scelta del dreno

Il dreno filtrante in ghiaia si usa con i seguenti scopi:

- stabilizzare la formazione
- ridurre l'entrata di sabbia
- permettere dei filtri con aperture maggiori
- ridurre le perdite di carico

Il dreno aumenta la permeabilità tra acquifero e filtro ed aumenta in pratica il diametro del pozzo. Esso si dimostra utile negli acquiferi a grana fine ed uniforme così come in quelli con frequenti alternanze di livelli limosi e sabbioso-ghiaiosi.

Un altro grosso vantaggio è di ridurre od allontanare nel tempo i fenomeni d'incrostazione chimica e biologica.

I depositi di calcare, ferro o manganese sono i più comuni e legati alle variazioni di velocità che spostano gli equilibri chimici nelle vicinanze del filtro.

In pratica si è visto che lo spessore medio del materasso filtrante va mantenuto intorno a 6-8 cm.

Valori superiori tendono ad aumentare la resistenza ed a diminuire la pulizia della frazione fine.

Valori inferiori rischiano di aumentare troppo il trasporto di particelle limose.

La dimensione dei costituenti del dreno rappresenta un compromesso tra diverse procedure (Brandon 1986).

I criteri generali si possono così riassumere:

- Rapporto tra diametro dei grani del dreno e quello dell'acquifero di 4-6:1
- Luce del filtro in grado di trattenere il diametro corrispondente al 10% del materiale costituente il dreno

- Velocità d'ingresso dell'acqua di 3 cm/sec

Quest'ultimo criterio è legato anche alla lunghezza dei filtri.  
Tale valore minimo si può valutare in via approssimativa con la seguente formula:

$$L_{\text{filtri}} = Q / Q_{\text{spec}}$$

Dove  $Q_{\text{spec}}$  è la portata specifica (Q/s).

E' chiaro che lunghezze superiori, compatibilmente con la successione litologica, costituiscono sempre una scelta migliore.

Alcuni autori (Brémond, 1965) consigliano di ricavare dalla curva granulometrica il  $D_{85}$ .

La luce del filtro sarà inferiore a questo valore ed il dreno avrà un diametro medio 2-3 volte superiore.

Se ad esempio il  $D_{85} = 0,8$  mm, il filtro avrà una luce tra 0,6 e 0,8 mm ed il dreno una granulometria media di 1,5 mm (con aperture di 0,6 mm) e 2 mm (con aperture di 0,8 mm).

Nei casi d'acquiferi con  $U < 3$  si può inserire un dreno uniforme, applicando il seguente criterio:

- $D_{50} = 4-6$  volte  $d_{50}$

Dove  $D_{50}$  è l'apertura del setaccio che fa passare il 50% dei granuli del dreno e  $d_{50}$  è l'apertura che fa passare il 50% dei granuli di acquifero

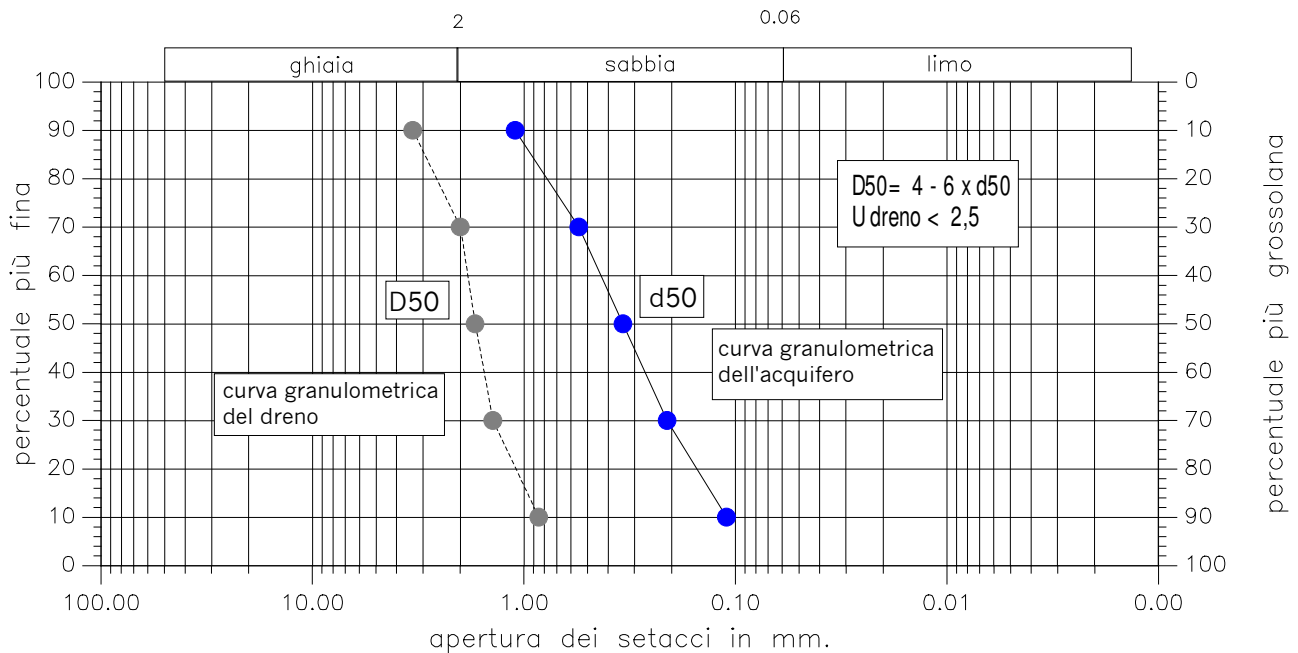
- $U_{\text{dreno}} < 2,5$

Nell'esempio in figura l'analisi granulometrica del materiale costituente il dreno, deve soddisfare le seguenti condizioni:

1. In prima approssimazione

$$D_{50} = 4,5 \times 0,34 \text{ mm} = 1,53 \text{ mm}$$

2. Il  $D_{50}$  scelto è quello più vicino alla dimensione del setaccio ASTM (n.12); si traccia la curva del dreno provvisoria, all'incirca parallela a quella dell'acquifero, verso i diametri più grossolani
3. La curva finale del dreno con i valori caratteristici ( $D_{10}, D_{30}, D_{50}, D_{70}, D_{90}$ ) passa per i diametri dei setacci standard e contemporaneamente deve avere  $U < 2,5$



**Fig. 2:** calcolo della granulometria del dreno in base a quella dell'acquifero

Qualora il materiale abbia invece una granulometria poco uniforme, il dreno artificiale dovrebbe soddisfare i seguenti criteri:

$$D_{15} \text{ del dreno} \geq 4-6 \text{ volte } d_{15} \text{ acquifero}$$

$$D_{85} \text{ del dreno} \leq 4 \text{ volte } d_{85} \text{ acquifero}$$

La curva granulometrica del dreno deve essere il più possibile parallela a quella dell'acquifero, verso i diametri più grossolani, con valori simili di coefficiente di uniformità

$$U_{\text{dreno}} \div U_{\text{acquifero}}$$

## Bibliografia

Brandon T.W., 1986, Groundwater: Occurrence, Development and Protection. Water Practice Manuals, The Institution of Water Engineers and Scientists, London.

Brémond R. 1965, Contribution à l'interprétation des mesures des debits et de rabattement dans les nappes souterraines, Gauthier-Villars, Paris.

Cerbini Gianni, 1992, Il Manuale delle acque sotterranee, Geo-Graph Milano

Chiesa Guido, 1992, Pozzi di rilevazione, Geo-Graph Milano

Vukovic M, Soro A, 1992, Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain size composition. Water Resources Publication, Littleton, CO