

# Qualità costruttiva delle opere di captazione e problematiche di contaminazione

## *Build quality of groundwater wells and contamination problems.*

Fabio Montagnani, Fausto Berti e Stefano Magini

**Riassunto:** La salvaguardia delle risorse idriche dai rischi di inquinamento non può prescindere dal considerare la qualità costruttiva delle opere di captazione, con particolare riguardo ai pozzi per acqua.

Le sue caratteristiche costruttive risultano fondamentali per preservare le caratteristiche qualitative e quantitative della risorsa messa in carico.

Gli elementi costruttivi dell'opera pozzo che possono generare rischio di contaminazione delle falde acquifere, sono diversi e differenti sono i processi ed i percorsi di contaminazione che vengono generati.

La testa pozzo risulta un elemento costruttivo spesso trascurato ma costituisce il primo veicolo di contaminazione degli acquiferi sotterranei per infiltrazione superficiale diretta dal piano campagna.

Le rotture delle tubazioni rappresentano poi un secondo importante elemento per la contaminazione degli acquiferi attraverso percorsi di cross-contaminazione. Il naturale in-

vecchiamento delle opere per la presenza di corrosioni e correnti vaganti unitamente all'impiego di materiali di scarsa resistenza ed il loro non corretto dimensionamento sono la principale cause di questo fenomeno. Risulta quindi importante il dimensionamento esecutivo del casing con le relative verifiche di resistenza.

Un altro importante elemento costruttivo che ingenera spesso problematiche di contaminazione degli acquiferi, sia da parte delle infiltrazioni superficiali sia per interconnessione tra acquiferi diversi, è la cementazione e più in generale gli isolamenti. La loro funzione principale è infatti quella di isolare i circuiti messi in carico dal pozzo impedendo miscele tra acquiferi separati. Vengono analizzati e descritti i principali metodi ed i materiali impiegati unitamente alle procedure operative per la corretta esecuzione degli interventi di cementazione.

**Parole chiave:** contaminazione, tubaggio del pozzo, cementazione, pozzo per acqua.

**Keywords:** contamination, well casing, cementation, groundwater well

**Abstract:** *The protection of water resources from pollution risks cannot be considered apart from the build quality of water work, particularly with regard to water wells.*

*Its design features are essential to preserve the quality and quantity of the resource put in charge.*

*The construction elements work well, which can lead to contamination of groundwater, are different and have different processes and pathways of contamination that are generated.*

*The wellhead is a constructive element often overlooked but is the first vehicle of contamination of underground aquifers by infiltration surface direct from the floor bell.*

*The breaking of the casing are then a second important element for contamination of aquifers through paths of cross-contamination. The natural aging of the works for the presence of corrosions and stray currents together with the use of materials of low resistance and their incorrect project are the main causes of this phenomenon. It is therefore important to the executive project of the casing with the relative strength checks.*

*Another important constructive element which generates often problems of contamination of aquifers, both on the part of the infiltration surface both for interconnection between different aquifers, is cementation and more generally the isolations. Their main function is that of isolating the circuits put in charge of the well preventing mixing between aquifers separated. Are analyzed and described the main methods and materials used in conjunction with the operating procedures for the proper execution of cementation.*

Fabio MONTAGNANI 

Associato ANIPA

Indago snc

Viale De Amicis, 14 - 50052 Certaldo (FI)

Tel. 0571/632640 - Fax 0571/636089

info@indagosnc.it

Fausto BERTI

Stefano MAGINI

Indago snc

Viale De Amicis, 14 - 50052 Certaldo (FI)

Ricevuto: 11 dicembre 2012 / Accettato: 22 maggio 2013

Publicato online: 30 giugno 2013

© Associazione Acque Sotterranee 2013

## Introduzione

Nell'accezione comune, la qualità delle risorse idriche dipende prevalentemente dalle caratteristiche di vulnerabilità intrinseca degli acquiferi e di pericolosità e pressione delle attività antropiche che vi sono residenti (Gorla, 2009, 2010; Castany, 1982). In realtà, bisogna pensare che le risorse idriche sotterranee sono in molte aree intercettate da opere di captazione profonda (pozzi) allo scopo di attingerne la risorsa acqua. Infatti le risorse idriche sotterranee sono generalmente caratterizzata da buona qualità e garantiscono una discreta costanza negli apporti.

La tutela della risorse idriche sotterranee e la loro salvaguardia dai rischi di inquinamento, non può quindi prescindere dal considerare la qualità costruttiva delle opere di captazione, con particolare riguardo ai pozzi per acqua. Il pozzo è definibile, in quest'ottica, come un'opera edile speciale che per le sue peculiarità interagisce in maniera diretta con le risorse idriche sotterranee, in quanto finalizzato alla captazione di acquiferi sotterranei. Le sue caratteristiche costruttive in termini di qualità e di efficienza idraulica risultano quindi fondamentali per preservare le caratteristiche qualitative e quantitative della risorsa messa in carico (Driscoll, 1986).

Gli elementi costruttivi dell'opera pozzo che possono provocare un rischio di contaminazione delle falde acquifere, sono molteplici così come differenti sono i processi ed i percorsi di contaminazione che vengono generati.

La testa pozzo risulta un elemento spesso trascurato in quanto non sovente realizzato dall'impresa costruttrice del pozzo stesso, ma che costituisce il primo potenziale veicolo di contaminazione degli acquiferi sotterranei per infiltrazione superficiale diretta dal piano campana degli acquiferi sotterranei.

Le rotture delle tubazione rappresentano poi un secondo importante elemento per la contaminazione degli acquiferi attraverso percorsi di cross-contaminazione. Il naturale invecchiamento delle opere per la presenza di corrosioni e correnti vaganti unitamente all'impiego di materiali di scarsa qualità sono la principale cause di questo fenomeno.

Si ritiene inoltre utile sottolineare l'importanza di altre parti dell'opera, destinate a proteggerla dalle infiltrazioni e dalla cross-contaminazione: la cementazione e gli isolanti. La loro funzione principale è infatti quella di isolare i circuiti messi in comunicazione dal pozzo impedendo miscele tra acquiferi naturalmente separati costituendo così un elemento che sostanzialmente ha la funzione di ricostruire l'originaria stratigrafia nello schema di completamento dell'opera.

Vi possono essere infine una miriade di altre problematiche diverse o collegate a quelle descritte sostanzialmente ascrivibili a deficienze progettuali e costruttive dell'opera. In questo contesto risulta importante una buona progettazione e direzione lavori dell'opera eseguita da tecnici specializzati (geologici) ed inoltre risulta fondamentale la qualificazione tecnico-professionale delle imprese costruttrici, che devono avere personale specializzato adeguatamente formato e macchinari ed attrezzature idonei all'opera da costruire.

## Elementi costruttivi che possono ingenerare problemi di contaminazione degli acquiferi

### Tubazioni

Le rotture delle tubazioni possono essere dovute ai seguenti fattori:

- materiali non idonei (PVC in pozzi profondi, acque aggressive)
- errato dimensionamento (spessori delle tubazioni ridotti)
- difetti costruttivi (saldature, giunzioni)
- sovrappressioni non valutate
- correnti vaganti, corrosione galvanica e biocorrosione

I materiali impiegati nella realizzazioni dei pozzi per acqua sono diversi: si va dai materiali termoplastici ai materiali ferrosi a seconda della destinazione d'uso dell'opera, delle modalità di perforazione, della profondità e di altre caratteristiche che concorrono al dimensionamento esecutivo (Campbell e Lehr, 1977; Cerbini, 1992).

La scelta del materiale che va a formare la colonna di produzione cieca ed il suo conseguente dimensionamento sono funzione di una serie di elementi

Le caratteristiche qualitative delle acque del circuito idrogeologico obiettivo della ricerca, possono condizionare la scelta dei materiali. Per esempio acque corrosive o incrostanti possono fare optare per la scelta di materiali ferrosi pregiati tipo acciaio INOX. Inoltre vi può essere il caso di acque termali ad elevata temperatura che richiedono l'uso di materiali particolari (Chetoni, 2000).

La profondità del pozzo influisce direttamente sulla pressione esterna di schiacciamento, più propriamente detta di collasso radiale, del materiale e tale fattore governa quindi la scelta del tipo di materiale e dei parametri dimensionali della tubazione (Bowen 1983, Celico 1988; Cerbini e Gorla 2004).

La resistenza a schiacciamento ammissibile ( $FS=1.5$ ) di un materiale è direttamente proporzionale alla pressione esterna secondo la relazione (1):

$$\sigma = Pe \times [D/(100 \cdot s)] \quad (1)$$

Dove:

Pe = pressione esterna di schiacciamento (kg/cm<sup>2</sup>)

D = diametro della tubazione (cm o mm)

s = spessore della tubazione (cm o mm).

Nella figura 1 viene diagrammata questa relazione (esplicitata rispetto a Pe) per vari materiali

Nella pratica progettuale corrente per i tubi in acciaio si assume una pressione di schiacciamento teorica di 25 bar, mentre per quelli in PVC tale valore scende a 7 bar. In realtà la resistenza è funzione del modulo elastico del materiale impiegato e ancor più del rapporto tra diametro e spessore della tubazione (SDR) secondo la relazione (2):

$$\sigma = \frac{1.15E}{(SDR - 1)^2} \quad (2)$$

che graficamente (figura 2) risulta così rappresentata per un materiale termoplastico con modulo elastico di 2.600 MPa.

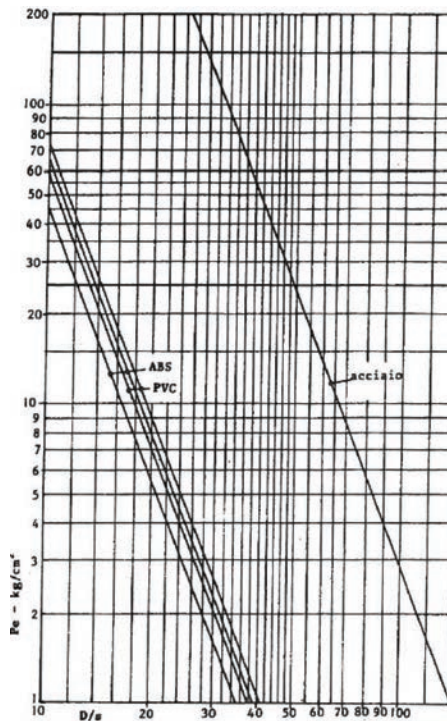


Fig. 1 - Pressione esterna di schiacciamento in funzione del rapporto D/s (Chiesa, 1992).

Fig. 1 - Compression stress as a function of D/s ratio (Chiesa, 1992).

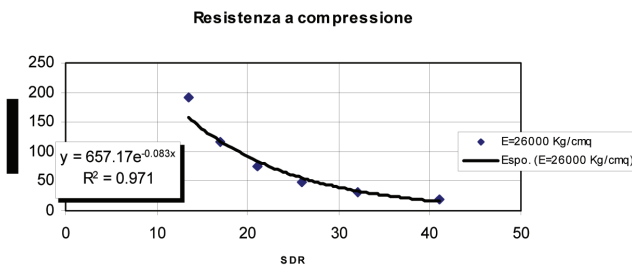


Fig. 2 - Resistenza a compressione di una tubazione in materiale termoplastico in funzione di SDR (Montagnani, Berti e Falciani, 2005).

Fig. 2 - Casing compression strength of thermoplastic material as a function of SDR (Montagnani, Berti e Falciani, 2005).

Da notare che le resistenze a schiacciamento o collasso radiale ottenibili massime per  $SDR < 15$  non superano i 20 MPa mentre per esempio per l'acciaio inox AISI 304 si possono ottenere valori di  $\sigma = 500$  MPa e resistenza a trazione di circa 1/3 di questo valore.

È possibile poi ricavare per altra via l'equazione della pressione esterna di schiacciamento in funzione dei moduli elastici del materiale impiegato e del rapporto di Poisson  $\mu$  (PVC=0.36) secondo la relazione di Timoshenko (3):

$$Pe = \frac{2E}{1 - \mu^2} \frac{1}{(SDR - 1)^3} \quad (3)$$

Va sottolineato che l'espressione (3) è valida per tubazioni perfettamente circolari per cui può essere in taluni casi opportuno tenere analiticamente conto dell'eccentricità delle tubazioni.

La relazione (3) risulta esprimibile graficamente per materiali termoplastici aventi moduli elastici differenti (figura 3):

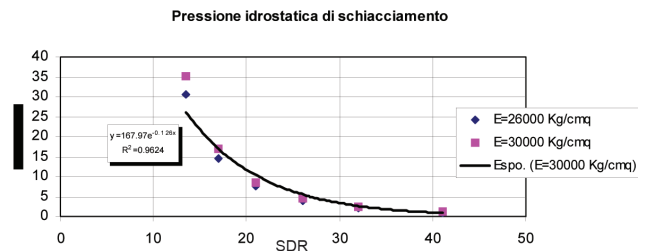


Fig. 3 - Pressione idrostatica di schiacciamento di una tubazione in materiali termoplastici in funzione di SDR.

Fig. 3 - Hydrostatic pressure strength of thermoplastic casing as a function of SDR.

La valutazione della massima pressione esterna effettiva di schiacciamento in sito risulta un aspetto estremamente delicato e complesso in quanto dipendente sia dalle caratteristiche litologiche (secondo la teoria di Einstein Schwartz - nel caso del contatto liscio la pressione litostatica agente sulla corona circolare risulta spesso trascurabile per terreni coesivi e litoidi) ma soprattutto da quelle idrogeologiche (pressioni idrostatiche e idrodinamiche), anche per la presenza, a volte di sovrappressioni non valutate.

In generale i terreni che si attraversano in perforazione possono essere definiti "selfsupporting" con valori di spinta attiva agenti sulla sezione della corona circolare bassi. Nel caso in cui questa ipotesi non sia verificata alcuni autori (Mehmert M., 2007) consigliano di considerare come agente sulla tubazione un valore di pressione e crescente linearmente con la profondità.

In buona sostanza attraverso queste relazioni è quindi possibile dimensionare lo spessore della tubazione in funzione del diametro scelto e del materiale impiegato nota la profondità di installazione e la pressione esterna massima di schiacciamento alla quale la tubazione potrà essere soggetta.

Sulla base delle precedenti equazioni è stata elaborata la tabella 1 che consente, in assenza di una determinazione analitica di dettaglio, di determinare agevolmente (con colorazione a semaforo) la profondità massima di installazione di una tubazione in materiali termoplastici in funzione del rapporto SDR tra diametro e spessore.

Un altro fattore che condiziona la tipologia di materiale impiegato per il condizionamento del pozzo risulta essere la tecnica di perforazione e conseguentemente il diametro. Su pozzi a circolazione inversa ad elevato diametro difficilmente potranno essere impiegate tubazioni in PVC. Lo stesso dicasi per pozzi a circolazione diretta ad elevata profondità anche perché su questi materiali non possono essere installati o sono difficilmente installabili, dei centralizzatori. Anche in pozzi in roccia perforati con martello fondo-foro bisogna prestare estrema cautela nell'impiego di tubazioni in materiali termoplastici per le complicazioni legate alla posa in opera delle tubazioni (Michigan Department of Public Health, 1994).

Altra problematica legata all'impiego di tubazioni in materiali plastici riguarda le operazioni di sviluppo che considerate

Tab. 1 - Profondità massima di infissione di una tubazione in materiale termoplastico in funzione del rapporto  $SDR=D/d$  (Montagnani, Berti e Falciani, 2005).

Tab. 1 - Installation maximum depth of thermoplastic casing as a function of  $SDR=D/d$  ratio (Montagnani, Berti e Falciani, 2005).

PROFONDITA'	SDR					
	13.5	17	21	28	32	41
P<10	SI	SI	SI	SI	SI	SI
10<P<25 m	SI	SI	SI	SI	SI	SI
25<P<50	SI	SI	SI	SI	SI	NO
50<P<100	SI	SI	SI	SI	NO	NO
100<P<175 m	SI	SI	SI	NO	NO	NO
175<P<350 m	SI	NO	NO	NO	NO	NO
	35.3	18.8	8.8	4.4	2.3	1

Pressione idrostatica di schiacciamento ( $Kg/cm^2$ )

le medio-basse caratteristiche di resistenza non possono essere eseguite con alcuna tecnica se non con estrema cautela (per esempio pistonaggio).

La presenza di completamenti che prevedono elevati spessori di cementazioni rende molto difficile, se non con procedure e tecniche particolari, l'utilizzo di materiali termoplastici (a causa delle elevate pressioni di schiacciamento generate dalla colonna di cementazione) non in ultimo per la presenza di incrementi di temperatura legate al processo di maturazione del getto della boiaccia.

I costi dei materiali ovviamente sono molto diversi per cui in fase di redazione del capitolato la scelta della tipologia del materiale va attentamente ponderata in funzione della destinazione d'uso dell'opera.

Da ultimo ma non meno importante vi è la problematica legata alla miriade di norme statali, regionali e locali che in alcuni casi e per determinate tipologie di opere impongono specifiche caratteristiche costruttive prevedendo o escludendo l'impiego di determinati materiali.

Il punto di debolezza della colonna, ovviamente dopo il tratto filtrato, risulta quello di giunzione tra gli spezzoni. I filtri, soprattutto a spirale continua sono un punto di debolezza della stringa di completamento, soprattutto durante la posa in opera del dreno e molto più sul lato del tensile strength ovvero la tensione assiale che dipende dal carico sottostante. Nella figura 4 viene rappresentata una immagine ripresa da una ispezione televisiva in foro nella quale si nota una concrezione di carbonato di calcio in corrispondenza di un tratto di giunzione non perfettamente stagna.

La qualificazione tecnico professionale dell'impresa risulta fondamentale per la realizzazione a regola d'arte della colonna. Soprattutto nelle tubazioni in materiali ferrosi risulta fondamentale realizzare delle buone saldature di giunzione. Tubazioni intestate e cianfrinate garantiscono poi un lavoro di saldatura ottimale.

Per le tubazioni in materiali termoplastici è opportuno il ricorso a giunzioni filettate. Talvolta è possibile l'utilizzo di giunzioni con manicotto rivettato previa verifica a taglio e rifollamento dei rivetti.



Fig. 4 - Immagine ripresa da telecamera da pozzo di una tubazione rotta in corrispondenza di una giunzione.

Fig. 4 - Well camera image of a joint casing.

Sempre nelle tubazioni costruite con materiali ferrosi risulta fondamentale l'installazione di una protezione catodica contro la corrosione da correnti vaganti, che possono causare un eccessivo e veloce deterioramento del materiale.

### Testa pozzo

Il completamento delle teste pozzo risulta comunemente un'opera edile accessoria e pertanto spesso trascurata, soprattutto per i pozzi ad uso irriguo e domestico. In realtà la protezione e l'isolamento della testa pozzo risulta molto importante al fine di prevenire infiltrazioni di contaminanti chimici e biologici all'interno della tubazione di completamento e quindi direttamente a contatto con la risorsa idrica.

Emblematiche da questo punto di vista risultano le immagini di seguito riportate riferite ad un pozzo ad uso irriguo in val di Cecina dove si vede chiaramente che il casotto di protezione risulta aperto (figura 5) e la testa pozzo risulta mancante della flangia di chiusura (figura 6) con totale esposizione dell'acquifero, che in questo modo risulta assolutamente vulnerabile.

Gli elementi che dovrebbero caratterizzare il condizionamento della testa pozzo con riferimento ad un pozzo ad uso idropotabile e/o minerale, che quindi necessita di massima protezione, possono essere descritti come segue:

### Casotto di presa

Volume chiuso a protezione della testa pozzo e di alloggiamento della strumentazione di controllo.

Il casotto deve essere munito di:

- porta di accesso serrabile,
- apertura per la ventilazione protetta da griglia anti-insetto
- botola di ispezione stagna per l'estrazione della colonna di mandata.

Le pareti del casotto devono essere lavabili fino ad una altezza di 2 m ed inoltre il pavimento deve essere munito di griglia di scarico.



Fig. 5 - Casotto di presa di un pozzo irriguo in Val di Cecina.  
Fig. 5 - Wellhead building of an irrigation well in Cecina valley.

### Testa pozzo

La testa del pozzo, rialzata rispetto alla platea di base del casotto deve essere ermeticamente chiusa con flangia, controflangia e relativa guarnizione. Sulla testa devono essere praticati fori per fare passare l'alimentazione della pompa, i cavi di alimentazione delle sonde di livello (muniti tutti di presa-cavo) e la tubazione guida per le misure freatimetriche. Centralmente vi è poi alloggiata la tubazione di mandata collegata alla pompa e va garantita l'areazione tramite un filtro batteriologico.



Fig. 6 - Testa pozzo di un pozzo irriguo in Val di Cecina.  
Fig. 6 - Wellhead of an irrigation well in Cecina valley.

### Colonna di mandata

Deve essere attrezzata con saracinesca, misuratore di portata ed eventualmente misuratore in linea di temperatura e conducibilità elettrica. Sulla tubazione deve essere alloggiato un rubinetto di prelievo per il campionamento durante le analisi ufficiali (Michael e Khepar, 1989).

Lo schema della figura 7 e l'immagine fotografica di figura 8 documentano le modalità di un corretto completamento della testa pozzo nel caso di captazione rispettivamente ad uso potabile e minerale.

### Cementazioni

La funzione delle cementazioni dei pozzi risulta sostanzialmente duplice (Stuart 1993; Chiesa 1992):

- protezione sanitaria da infiltrazioni di acque superficiali inquinate, flussi tra acquiferi diversi (cross-contamination) ed isolamento di acquiferi contaminati
- protezione meccanica da fenomeni corrosivi di tipo chimico e meccanico nonché rinforzo delle tubazioni contro il rischio di schiacciamento e punzonature (soprattutto le tubazioni in PVC)

Per quanto concerne il primo aspetto lo schema idrogeologico che descrive il fenomeno può essere rappresentato nella figura 9a/b.

Nella figura 9b è rappresentato lo schema di flusso che può dare origine un fenomeno di cross-contaminazione tra due acquiferi sovrapposti messi entrambi in carico dall'opera di captazione senza interposizione di un tampone intermedio e senza cementazione di uno dei due orizzonti acquiferi, ma solati naturalmente da un acquicludo (rappresentato con tratteggio continuo).

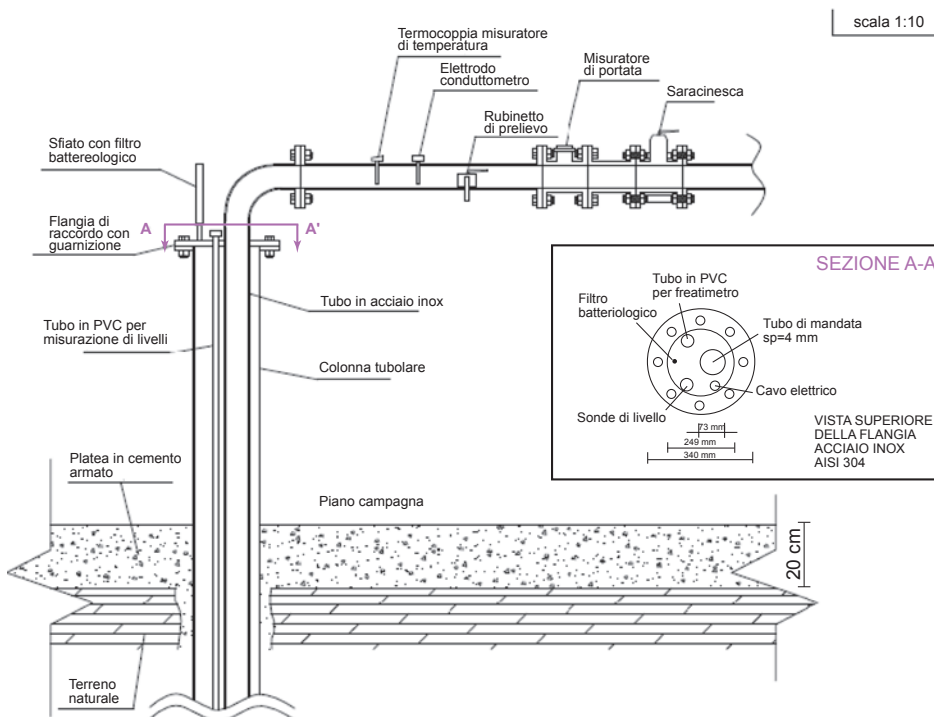


Fig. 7 - Progetto di condizionamento della testa di un pozzo ad uso idropotabile.

Fig. 7 - Wellhead project of a drinking water well.

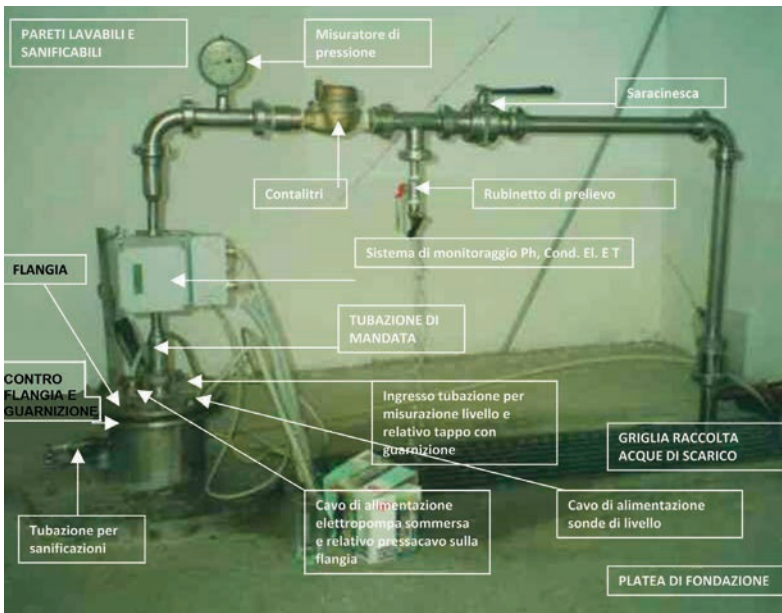


Fig. 8 - Immagine della testa pozzo di un pozzo ad uso minerale.

Fig. 8 - Wellhead image of a mineral well.

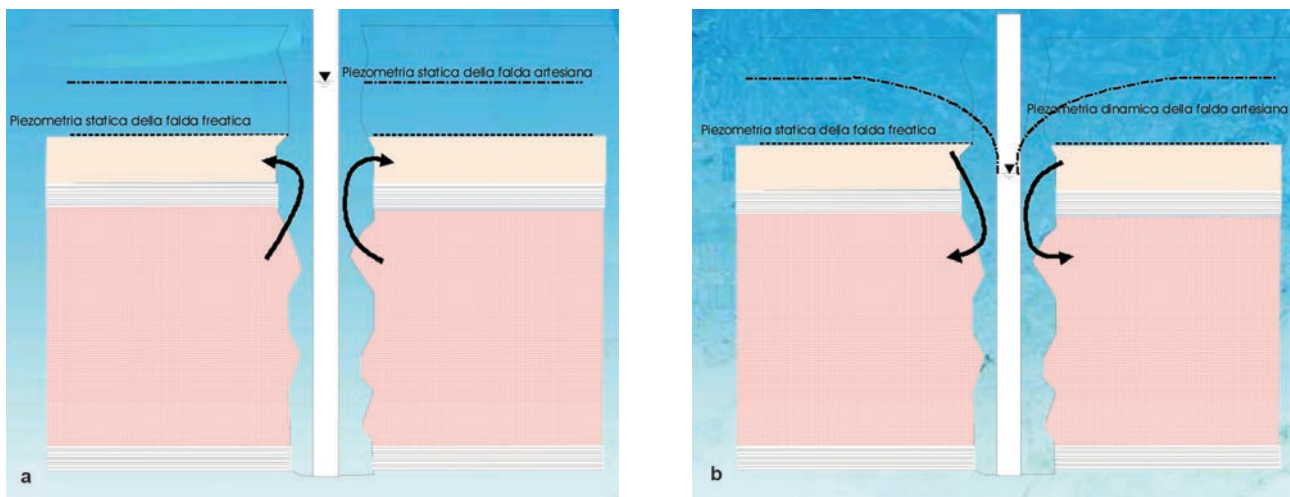


Fig. 9a,b - Schema di un fenomeno di cross-contaminazione su pozzo non cementato in quiete (a) ed in pompaggio (b).

Fig. 9a, b - Cross-contamination scheme in an uncemented stationary (a) and pumping (b) well.

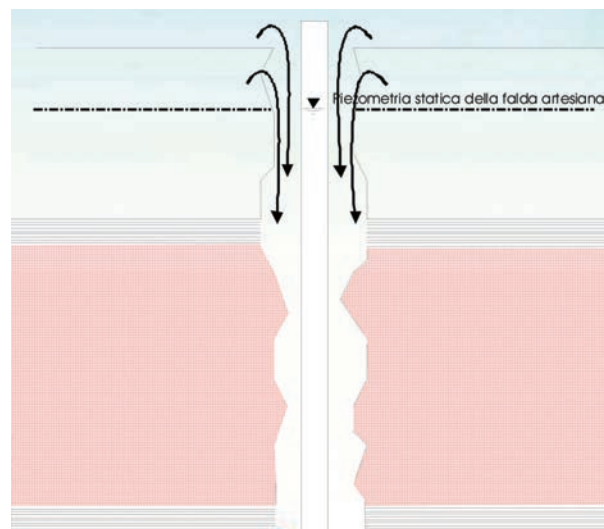


Fig. 10 - Schema di contaminazione per infiltrazione in un pozzo senza cementazione.

Fig. 10 - Contamination scheme by infiltration in an uncemented well.

Come si osserva i flussi risultano invertiti in condizioni statiche e dinamiche per effetto della depressione piezometrica causata dal pompaggio. Se uno dei due acquiferi risulta inquinato in una delle due condizioni rappresentate la contaminazione si propaga anche nell'altro.

Nella fig 10 è schematizzato invece il caso più semplice di infiltrazione dalla superficie o da strati superficiali contaminati direttamente nel pozzo per effetto della mancanza di una cementazione superficiale.

Per quanto concerne i metodi di cementazione (Guido Chiesa, 1992), riportiamo sinteticamente gli schemi dei metodi più comuni nelle figure 11, 12 e 13.

Il metodo di spiazzamento (figura 11) prevede l'inserimento della tubazione all'interno del perforo già riempito di boiaccia, per questo la tubazione deve essere chiusa e munita di tappo di fondo; per facilitare la calata occorre inserire acqua al suo interno in modo tale da appesantire la tubazione.

**METODO DI SPIAZZAMENTO**

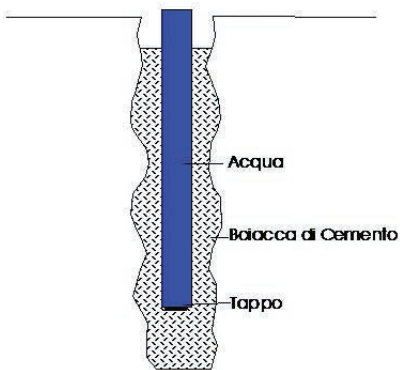


Fig. 11 - Schema di cementazione col metodo di spiazzamento.

Fig. 11 - Cementation scheme with displace method.

Un metodo tra i più utilizzati è la cementazione con tubazione esterna tramite imbuto o pompa di iniezione (figura 12).

Il metodo risulta consigliabile per cementazioni fino a 150-200 m in ragione dei limiti delle pompe di iniezione e delle pressioni in gioco. Allo scopo di ridurre la pressione di schiacciamento agente sulla tubazione è preferibile riempirla con acqua o bentonite.

L'intercapedine (calcolata rispetto al diametro nominale di perforazione) deve essere di almeno due volte il diametro del tubo getto che va ovviamente scelto in funzione della portata di iniezione.

**METODO CON TUBO ESTERNO**

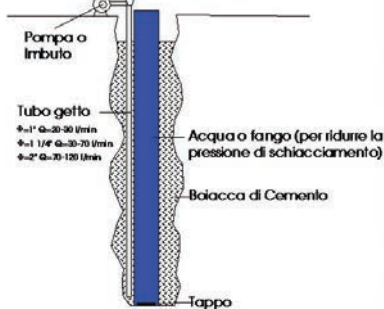


Fig. 12 - Schema di cementazione col metodo della tubazione esterna

Fig. 12 - Cementation scheme with external tubing method.

E' sempre opportuno calcolare il volume di cementazione in modo tale da operare una verifica quantitativa sulla presenza di variazioni sensibili di diametro.

Nella cementazione con tubo-getto la velocità del flusso deve essere tale da ingenerare turbolenza così da non canalizzarsi e riempire tutte le intercapedini, spiazzando i fanghi di perforazione.

Una procedura più complessa ma più affidabile nonchè valida per qualsiasi profondità è la cementazione con tubazione interna e scarpa di cementazione (figura 13). Tale procedura prevede l'iniezione dal piano campagna di boiaccia attraverso l'impiego di una colonna di cementazione avvitata ad una scarpa con filetto sinistro e munita di valvola di non ritorno. La scarpa di cementazione ha la caratteristica di essere fresabile per permettere il proseguimento della perforazione internamente alla tubazione cementata.

**METODO CON TUBO INTERNO**

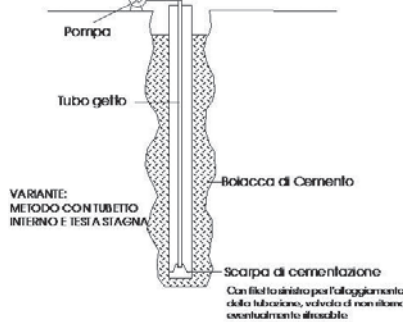


Fig. 13 - Schema di cementazione col metodo della tubazione interna e scarpa di fondo.

Fig. 13 - Cementation scheme with internal tubing method and casing shoe.

Per quanto concerne infine i materiali usati per le cementazioni e più in generale per gli isolamenti questi possono essere raggruppati in due macro- categorie: boiacche di cemento e boiacche di bentonite.

Le boiacche cementizie a sua volta si dividono in:

- Calcestruzzo: questo massello ha un ritiro minore ed aumenta molto l'adesione con le pareti. Si usa solo in assenza di acqua nel perforo. Risulta più difficilmente pompabile.
- Boiaccia a base di cemento: Risulta molto bene pompabile tuttavia soggetta a ritiro. Il tempo di presa è direttamente proporzionale alla temperatura e alla pressione ma inversamente proporzionale alla conducibilità elettrica dell'acqua. Occorre attendere 6-12 ore prima di procedere alle operazioni di sviluppo. Il rapporto acqua/cemento varia tra 40-55 (cementazioni a gravità) e 30-40 per (cementazioni tramite pompaggio). Per ridurre il tempo di presa si usa cloruro di calcio in 2-4% in peso di cemento. Importante l'analisi chimica dell'acqua per la scelta di casi particolari
- Boiaccia a base di cemento e bentonite: Per ridurre il ritiro del massello si può aggiungere il 2-5% in peso di bentonite. Essa rende il massello più plastico ed inoltre diminuisce il tempo di presa riducendo però la resistenza a compressione

Le boiacche bentonitiche possono essere a loro volta distinte in:

- Bentonite in polvere: è lo stesso materiale del fango di perforazione ma si usa più denso e con viscosità  $> 70s$  Marsh
- Bentonite granulare: granuli  $\Phi=1\text{mm}$ . Boiaccia abbastanza pesante (200 Kg/mc) e poco viscosa. Tempo di idratazione: 15 minuti. Si prepara con fango.
- Bentonite in scaglie: granuli  $\Phi=5\text{mm}$ . Questi vengono immessi nel pozzo per gravità per formare strati isolanti al di sotto delle cementazioni
- Bentonite in pellets: stessa funzione della bentonite in scaglie risulta di dimensioni di 10 mm. Pressata aumenta notevolmente il volume (300-700%) – Nota anche come Compactonite.

Nella pratica corrente spesso vengono impiegati più sistemi di cementazione sovrapposti sulla stessa colonna di completamento.

Il caso riportato nella figura 14 rappresentante lo schema di completamento di un pozzo ad uso minerale nell'aretino con i seguenti isolamenti:

- prima cementazione dell'avampozzo con scarpa becker, perforato alla profondità di 15,5 m e tubato in ferro  $\Phi=508\text{ mm}$   $sp=3\text{ mm}$ ; tale cementazione ha avuto lo scopo di isolare i circuiti saturi superficiali, stabilizzare gli strati di copertura e proseguire la perforazione con un diametro adeguato ( $14\text{ " } \frac{3}{4}$ );
- tamponamento con bentonite in pellets dell'intervallo, al di sopra del prefiltro, 34-38 m dal p.c. Il tamponamento in argilla in pellets (compactonite) ha lo scopo di impedire che eventuali infiltrazioni superficiali provenienti da discontinuità o fratture nella cementazione superficiale possano penetrare all'interno del dreno e quindi contaminate i circuiti idrici minerali messi in carico;
- seconda cementazione con tubazione esterna nell'intervallo 0-32 m dal p.c. con boiaccia a base di cemento previa interposizione di un sottofondo in sabbia grossa allo scopo di proteggere il tamponamento sottostante dall'erosione.

Allo scopo di eseguire meglio le operazioni di cementazione e più in generale di condizionamento dell'"out-case" (drenaggio, tamponamenti) viene previsto l'inserimento sulla colonna

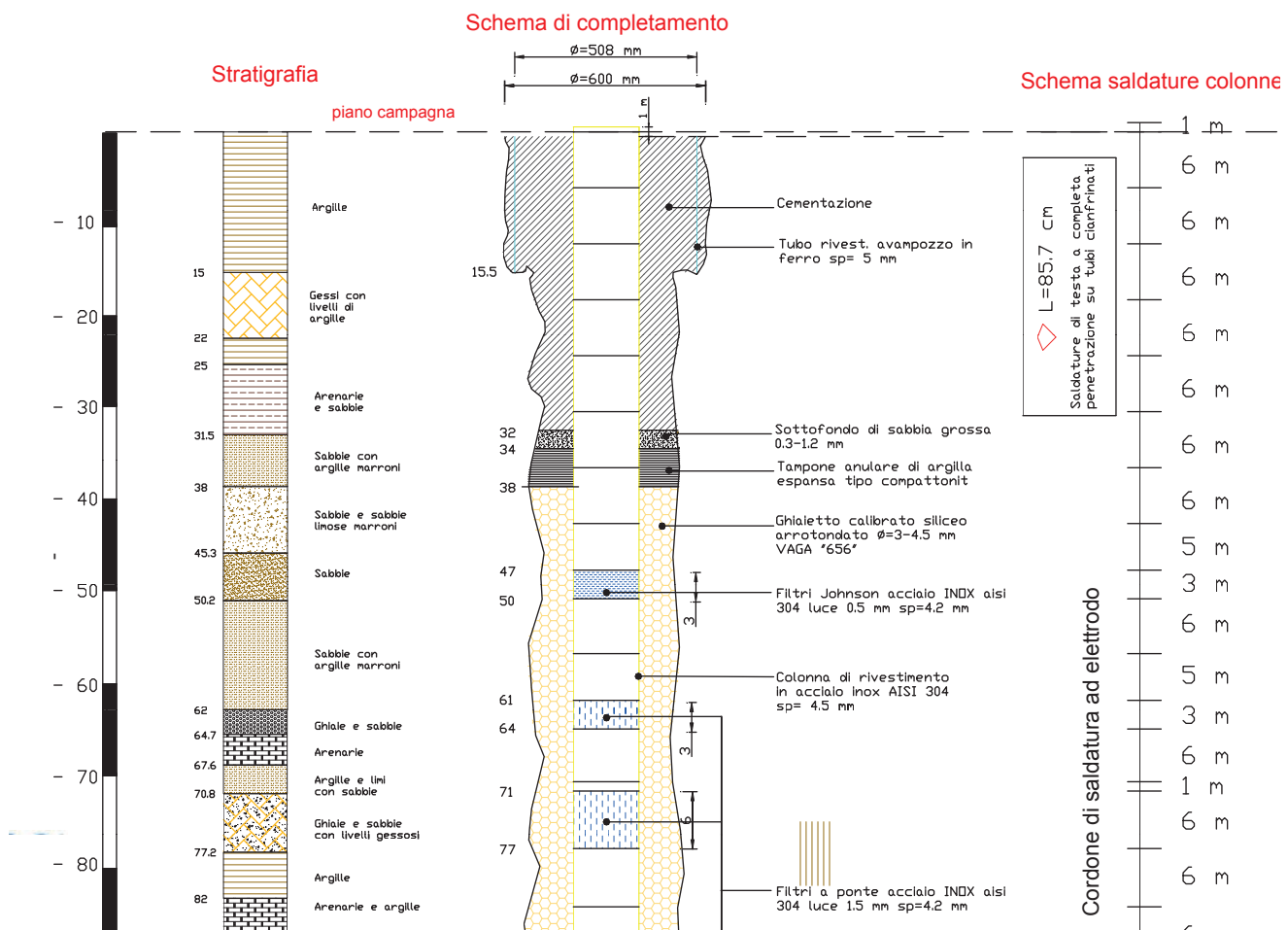


Fig. 14 - Stratigrafia e schema di tubaggio di un pozzo di acqua minerale.

Fig. 14 - - Stratigraphy and casing scheme of a mineral well.



di centratori costituiti da barrette piegate e saldate come da schema di progetto e illustrato nella figura 15.



Fig. 15 - Immagine durante la fase di inserimento della colonna munita di centratori (da IDROGEO).

*Fig. 15 - Image of well in the completion phase installing casing with centralizer (by IDROGEO).*

I centratori possono essere in numero e dimensioni variabili in funzione delle profondità e dei diametri del pozzo (figura 16).

Sulle opere esistenti è in genere abbastanza difficile intervenire per eseguire cementazioni selettive o chiusure. Tuttavia esistono sul mercato specifici tool con tecniche spesso brevettate che consentono di effettuare questo tipo di operazioni su pozzi esistenti.

Nella figura 17 viene rappresentato un utensile che serve a predisporre forature sulle tubazioni in modo poi da potere operare per esempio delle cementazioni selettive.

Nella figura 18 viene raffigurato invece un altro attrezzo che consente di posare (facendoli aderire perfettamente) tratti di tubazione cieca addossati a vecchi tratti di tubazione danneggiata (qualora l'obiettivo sia quello di riparare una tubazione rotta) o fenestrata (qualora si voglia chiudere un filtro).



Fig. 17 - Tool per il punzonamento ed iniezione per cementazioni selettive di pozzi esistenti (da IDROGEO).

*Fig. 17 - Cutting injection tool for selective cementation in existing wells (by IDROGEO).*



Fig. 18 - Tool per chiusure selettive di tratti di tubazioni (filtri o rotture) – SISTEMA Idroreamer® (IDROGEO)

*Fig. 18 - Selective shut tool of casing length (filters or joints) - Idroreamer® SY-STEM (by IDROGEO).*

#### Dettaglio centratori

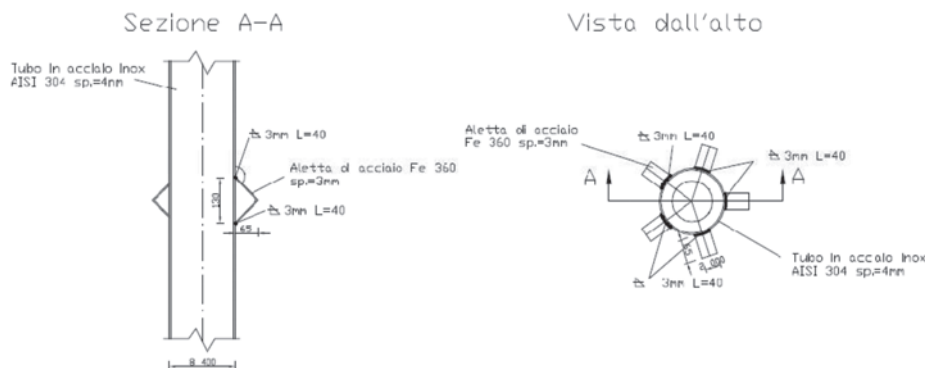


Fig. 16 - Progetto esecutivo dei centratori sulla colonna di un pozzo.

*Fig. 16 - Executive project of centralizer casing well.*

**BIBLIOGRAFIA**

- Bowen R.C., Parkhouse W. G. (1983). Petroleum Engineer International – AGIP Spa (Direzione esplorazione idrocarburi)
- Campbell M.D., Lehr J.H. (1973). Water Well technology – McGraw-Hill
- Castany G. (1982). Idrogeologia “Hydrogeology” – Flaccovio editore
- Celico P. (1988). Prospezioni idrogeologiche “Hydrogeological exploration” – Liguori editore
- Cerbini G., Gorla M. (2004). Idrogeologia applicata. Principi, metodi e misure “Applied Hydrogeology. Principles, methods and measurements” – Geo-Graph
- Cerbini G.: (1992). Il manuale delle acque sotterranee “Groundwater handbook” – Geo-Graph
- Chetoni R. (2000). Acque minerali e termali “Mineral and thermal water” – Geo Graph
- Guido Chiesa (1992). Cementazione dei Pozzi “Well cementation” – ANIPA
- Driscoll F.G. (1986). Groundwater and well – Johnson Division
- Gorla M. (2009). Idrogeofisica “Hydrogeophysics” – Flaccovio editore
- Gorla M. (2010). Pozzi per acqua “Groundwater wells” – Flaccovio editore
- Michael A. M., Khepar S.D. (1989). Water well and pump engineering – McGraw-Hill
- Mehmert M. (2007), Johnson screens in “groundwater and wells” - ANIPA
- Michigan Department of Public Health (1994). Groundwater well cementation – ANIPA
- Montagnani, Berti e Falciani (2005). Utilizzo di tubazioni in materiali termoplastici per il completamento dei pozzi: Proprietà fisiche e specifiche per il dimensionamento e la posa in opera “Using piping in thermoplastic materials for the completion of wells: Physical and specifications for the design and installation” – pubblicazione inedita per conto di GVM S.p.A.
- Stuart S.A. (1993). Well Cementation – ANIPA