European
Groundwater
and Wells
Associations
Companies

EGA Meeting 2013 - PIACENZA

Progetto di Norma UNI: PROGETTAZIONE DEI POZZI PER ACQUA

Il progetto di norma UNI elaborato da CTI (Comitato Termotecnico Italiano) in collaborazione con ANIPA è composto da n°7 Capitoli e n°17 Appendici

Si possono pubblicare in questa fase solo i seguenti estratti provvisori

n°2 Capitoli

- Cap. 5 "Progettazione Preliminare" pag. 1
- Cap. 6 "Progettazione Definitiva" pag. 4

n°7 Appendici

- Appendice B - Scheda per la progettazione preliminare pag. 7
- Appendice H - Scheda per il dimensionamento strutturale di un pozzo pag. 11
- Appendici I2, I3, I4 - Cementazione pozzi pag. 13
- Appendice S - Corrosione pag. 17
- Appendice V - Velocità di Flusso pag. 18
- Appendice I - Spessore dei tubi pag. 20
- Appendice C - Indice di Turbolenza T.I. pag. 20

CAP.5
5.PROGETTAZIONE PRELIMINARE

5.1 Generalità

Per la corretta progettazione di un pozzo per acqua occorre verificare che siano soddisfatti e compatibili nella soluzione tecnica le seguenti principali cautele ed obiettivi:

- salvaguardia ambientale (vedere punto 0.2)
- identificazione degli acquiferi (vedere punto 0.3);
- funzionalità ed efficienza idraulica del pozzo (vedere punto 0.4);
- affidabilità nel tempo ed economicità (vedere punto 0.5).

A questo scopo la Scheda per la progettazione preliminare (Appendice B) deve essere compilata in ogni sua parte.

5.2 Salvaguardia ambientale

5.2.1 *Impatto della perforazione*

L'impatto della perforazione sugli acquiferi e sulle falde deve essere analizzato come descritto al punto .....del capitolo 4

5.2.2 *Ripristino della continuità degli orizzonti*

Il ripristino della continuità degli orizzonti deve essere analizzato come descritto al punto .....del capitolo 4

5.2.3 *Gestione residui della perforazione e delle acque estratte*

La gestione dei rifiuti della perforazione deve essere fatta come descritto al punto .....del capitolo 4

5.3 Identificazione degli acquiferi

5.3.1 *Generalità*

Identificare preliminarmente un acquifero significa definirne le caratteristiche chimiche e idrauliche come descritto al punto ..... Se queste informazioni non fossero sufficienti si deve procedere con indagini dirette (per esempio prove su pozzi pilota) o indirette (per esempio indagini geofisiche), anche acquisendo informazioni da opere simili utilmente correlabili.

5.3.2 *Chimismo delle falde*

Per definire univocamente il chimismo di una falda, è necessario eseguire una prova di strato le cui procedure di esecuzione variano secondo la tecnica di perforazione adottata. Poiché in ogni caso va rispettato il requisito di captare esclusivamente il livello di interesse, avendo cura di isolare gli eventuali altri livelli acquiferi attraversati, è necessario scegliere la modalità che meglio si adatta al caso volta per volta, in relazione anche agli obiettivi di progetto. I metodi, i tempi di esecuzione e la rappresentatività delle varie tecniche sono riassunti nel **Prospetto 1**:

5.3.3 *Potenzialità idrica*

5.3.3.1 *Generalità*

Individuare le falde utili e stimarne la potenzialità consiste nel valutare la porosità primaria degli acquiferi formati da terreni incoerenti, generalmente di origine alluvionale, oppure la porosità secondaria degli acquiferi fessurati o fratturati formati da rocce coerenti.

A questo scopo, a seconda della tipologia degli acquiferi, si devono rispettare alcuni requisiti specifici e perciò si deve:

- raccogliere campioni quanto più rappresentativi del terreno attraversato dalla perforazione (vedere **Prospetto 2**), con eventuale definizione della granulometria per gli acquiferi formati da terreni incoerenti ;
- osservare e annotare nel corso della perforazione gli indizi utili a definire la porosità primaria o secondaria (come indicato nel punto 150.3.3);
- eventualmente eseguire una prova di strato in corso di avanzamento della perforazione per raccogliere campioni d'acqua e misure di livello e portata e, se necessario, logs geofisici in pozzo.

5.3.3.2 *Campionamento del terreno*

Poiché le attività di campionamento dei terreni variano in base alla loro natura e alla tecnica di perforazione utilizzata è necessario individuare le variazioni della stratificazione nei limiti delle peculiarità di ciascuna tecnica:

- **perforazione a percussione/a secco**: con questo metodo di perforazione i campioni raccolti sono rappresentativi, nonostante la bassa selettività del metodo in quanto il tratto di perforazione effettuato può arrivare anche ad un metro di spessore;
- **circolazione inversa**: utilizzando questo metodo si può osservare con molta precisione la variazione verticale della granulometrica stratigrafia anche se il dilavamento del fluido può nascondere la componente più sottile del terreno.
- **circolazione diretta**: a causa della bassa velocità di risalita del fluido si può assistere ad una classazione del detrito che rende poco rappresentativo il campione, soprattutto nella perforazione di ghiaie a causa della frantumazione provocata dallo scalpello.

Le caratteristiche del campione raccolto a seconda della metodologia di perforazione utilizzata sono riassunte nel **Prospetto 2.**

Prospetto 2 - Caratteristiche del campionamento a seconda della metodologia di perforazione utilizzata

	Facilità	Selettività	Rappresentatività del campione
Perforazione a percussione/a secco	alta	media	alta
Perforazione a circolazione inversa	media	alta	media
Perforazione a circolazione diretta	bassa	bassa	bassa

Se è necessario definire con maggiore dettaglio la stratigrafia del terreno, la procedura di campionamento deve essere esplicitamente indicata.

5.3.3.3 *Stima della porosità*

Durante la perforazione si deve stimare la porosità dei terreni osservando i seguenti indizi:

- caratteristiche del detrito di perforazione;
- risalita dell'acqua;
- diluizione del fluido di perforazione;

Prospetto 1 - Indicazioni sulle prove di strato

	Metodo	Tempi di esecuzione	Rappresentatività
Perforazione a percussione/a secco	Pompa nei tubi di rivestimento	Rapidi	Buona
Perforazione a circolazione inversa	Filtro temporaneo con aste, drenaggio, isolamento	Lenti	Ottima
Perforazione a circolazione diretta / ad aria compressa	Filtro e tubi temporanei, drenaggio isolamento	Molto lenti	Ottima
Perforazione ad aria compressa	Campionamento dell'acqua di scarico della perforazione	Molto rapidi	Buona

- assorbimento di fluido di perforazione;
- variazione di velocità avanzamento della perforazione;
- saltellamenti della batteria di perforazione.

Nel caso di perforazione ad aria compressa con martello fondo foro o con lo scalpello a rulli, l'individuazione dei livelli produttivi è immediata in quanto la risalita dell'acqua avviene insieme ai detriti della perforazione, salvo la presenza di fratturazione macroscopica capace di disperdere aria e fluidi in risalita.

Nelle tecniche di perforazione a rotazione con fluido di circolazione l'osservazione degli eventuali assorbimenti anomali o dell' ingresso di acque di falda nel foro indica la presenza di livelli porosi. Gli indizi particolari di questi eventi sono:

- abbassamento dei livelli nel foro e nella vasca dei fanghi
- innalzamento dei livelli nel foro e nella vasca dei fanghi con diluzione dei fluidi

Le manifestazioni sono necessariamente riferite ad una singola porzione dell'orizzonte in attraversamento. Poiché le variazioni dei livelli devono essere contrastate modificando le caratteristiche del fluido (per esempio aumentando la viscosità al fine di minimizzare gli assorbimenti, oppure aumentandone la densità per contrastare la sovrappressione dell'acqua di falda), questo è causa dell'oscuramento delle variazioni di livello che si potrebbero verificare nel corso dell' ulteriore avanzamento della perforazione. Per questo motivo la variazione della velocità, e/o i saltellamenti della batteria di perforazione divengono i principali indizi utili a stimare la porosità.

5.3.3.4 *Prova di strato con test idraulico*

La prova di strato con test idraulico deve essere eseguita analogamente alla prova per il prelievo del campione destinato all'analisi chimica (vedere **Prospetto 3**) ma si differenzia da quest'ultima per la portata della pompa che deve essere compresa tra il 10% e il 30% della potenzialità presunta del livello da testare.

I parametri da indicare e acquisire sono i seguenti:

- data e condizioni atmosferiche della prova;
- caratteristiche dell'impianto di sollevamento;
- distanza del recapito delle acque estratte;
- misura del livello di falda iniziale;
- ora inizio prova di pompaggio;
- portate;
- misure di variazioni di livello in discesa e risalita del livello di falda;
- misure dei tempi di risalita del livello di falda;
- ora fine prova di strato.

Prospetto 3 - Identificazione della porosità nel corso della perforazione

Indizio	Metodi di perforazione		
	Rotazione ad aria	Rotazione a fango	Percussione/rotazione a secco
Variazione livelli	Si	Si	Si
Variazione velocità*	Si	Si	Si
Risalita di acqua	Si	Si	Si
Saltellamento batteria	Si	Si	No**
Detriti di perforazione	Si	Si	Si
*: valido per parametri di perforazione costanti e nello stesso strato			
** con solo riferimento al metodo a percussione			

La prova di strato richiede una cura particolare nel caso di perforazione con metodo a circolazione diretta e inversa a causa delle possibili pressioni negative in gioco nelle condizioni di foro aperto: in questi casi deve essere indicato lo spessore del setto di separazione (utilizzando materiali con k (permeabilità idraulica) superiore a 10^{-9} m/s) tra il livello captato dalla prova idraulica e il fluido presente nella restante parte della perforazione, calcolato secondo la formula (1):

$$h_s = \frac{((l_d - l_f) \times d)}{10 \times d_{ss}} \qquad (1)$$

$h_s = ((H \times d) - (l_d)20$ dove:

$\mathbf{h_s}$ è lo spessore del setto di separazione, espresso in m
$\mathbf{l_d}$ è il livello dinamico in fase di prova, espresso in m dal piano campagna
$\mathbf{l_f}$ è il livello del fango, espresso in m dal piano campagna
d è la densità del fango, espressa in ton/m^3
$\mathbf{d_{ss}}$ è la densità del setto di separazione, posta uguale a 1 ton/ m^3

Si deve inoltre tenere conto del fatto che la prova fornisce dati approssimati poiché lo sviluppo dello strato difficilmente si può considerare completato in queste condizioni operative.

5.4 Funzionalità ed efficienza idraulica del pozzo

5.4.1 *Generalità*

La funzionalità del pozzo deve risultare coerente agli obbiettivi di progetto; inoltre il pozzo deve essere in grado di accogliere l'impianto di sollevamento, una o più pompe sommerse, i tubi di aspirazione delle pompe orizzontali. Si devono valutare inoltre le tolleranze dimensionali (vedere punto 0.4.2) e i margini di sicurezza per l'installazione degli impianti (vedere punto 0.4.2), oltre ai particolari che consentono le attività di manutenzione del pozzo e degli impianti (vedere punto 1.6.1).

L'efficienza idraulica, definita in Appendice C, è legata sia alla tecnica di perforazione (vedere APPENDICE A), che determina diversi gradi di alterazione della formazione acquifera, sia ai particolari del progetto di completamento: dimensionamento di tubi, filtri, dreno e tecnica di sviluppo (vedere APPENDICE D e APPENDICE E).

Nei terreni alluvionali la realizzazione di un drenaggio artificiale di adeguato spessore e composizione granulometrica si dimostra sempre efficace. Fanno eccezione le condizioni estreme di ghiaie ad elevatissima permeabilità e basso coefficiente di uniformità granulometrica dove il drenaggio artificiale può risultare poco utile.

Anche nella costruzione dei pozzi in terreni rocciosi è prevalentemente trascurabile la funzione di drenaggio del ghiaietto posto nell'intercapedine fra filtro e perforo. Quindi spessore e granulometria sono ininfluenti purché non riducano la permeabilità locale.

Per migliorare l'efficienza idraulica si deve operare scegliendo la tecnica di perforazione meno invasiva per il contesto litologico-idraulico nel quale si prevede di operare, dimensionando la struttura del pozzo secondo le indicazioni al punto 542 e 543 e 544 e adottando le tecniche di sviluppo più efficaci (vedere APPENDICE TECNICHE DI SVILUPPO).

Nel caso in cui la portata di esercizio del pozzo in progetto risulti inferiore a 1,5 l/s e inferiore al 10% della portata massima di un pozzo progettato per estrarre la portata massima estraibile nello stesso punto, i requisiti di progettazione relativi all'efficienza idraulica possono essere tralasciati.

5.4.2 *Predimensionamento delle tubazioni*

II diametro della tubazione del pozzo deve essere determinato partendo dalle dimensioni di ingombro dell'impianto di sollevamento e dei suoi accessori.

La velocità di flusso all'interno della corona circolare libera della pompa sommersa deve essere calcolata secondo la formula (2):

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times (d_{it}^2 - d_{it}^2)} \qquad (2)$$ dove:

Q è la portata massima di esercizio del pozzo, espressa in m^3/s
$\mathbf{d_{it}}$ è il diametro interno del tubo di rivestimento, espresso in m
$\mathbf{d_p}$ è il diametro della pompa, espresso in m
La velocità di flusso non deve essere superiore a 4,0 m/s.

Per garantire il corretto raffreddamento del motore sommerso si deve

rispettare la velocità minima indicata dal costruttore, calcolata come in formula (3):

$$v_m = \frac{4 \times Q}{\pi \times d_m^2} \quad (3)$$ dove:

Q è la portata massima di esercizio del pozzo, espressa in m^3/s

$\mathbf{d_m}$ è il diametro del motore sommerso, espresso in m

La velocità di flusso non deve essere superiore a quella indicata dal produttore.

Inoltre, per non determinare eccessive perdite di carico idraulico nella tubazione di mandata della pompa, la velocità di flusso deve essere calcolata secondo la formula (4):

$$v_f = \frac{4 \times Q}{\pi \times d_{itm}^2} \quad (4)$$ dove:

Q è la portata massima di esercizio del pozzo, espressa in m^3/s

$\mathbf{d_{itm}}$ è il diametro interno del tubo di mandata , espresso in m

La velocità di flusso non deve essere superiore a 2,5 m/s.

Al di sotto della pompa sommersa è inoltre necessario verificare che la velocità di risalita dell'acqua all'interno della tubazione di rivestimento del pozzo deve essere calcolata secondo la formula (5):

$$v_r = \frac{4 \times Q}{\pi \times d_{iti}^2} \quad (5)$$ dove:

Q è la portata massima di esercizio del pozzo, espressa in m3s

$\mathbf{d_{iti}}$ è il diametro interno del tubo di rivestimento fra la pompa e il filtro, espresso in m

La velocità di flusso non deve essere superiore a 1 m/s.

5.4.3 *Predimensionamento dei filtri*

La velocità dell'acqua in corrispondenza dei filtri calcolata secondo la formula (6) non deve essere superiore a 3 10^{-2} m/s al fine di evitare perdite di carico legate al regime turbolento che si determina oltre tale valore, eccezione fatta per terreni grossolani con porosità superiorie al 30%. Si deve tenere conto inoltre che circa il 25% delle luci di passaggio di un filtro risultano generalmente chiuse dai grani del drenaggio e che la percentuale aperta della superficie di un filtro risulta del 6-13% per i filtri a ponte e del 10-30% per i filtri a spirale (vedi allegato F)

$$v_{fl} = \frac{1{,}3 \times Q}{\pi \times d_e \times l \times L_p} \quad (6)$$ dove:

$\mathbf{v_{fl}}$ è la velocità sul filtro, espressa in m/s

Q è la portata, espressa in m^3s

$\mathbf{d_e}$ è il diametro esterno, espresso in m

l è la lunghezza del filtro, espressa in m

$\mathbf{L_p}$ è la percentuale della luce del filtro, espressa in %

Il filtro deve interessare il 100% dello spessore della falda artesiana da captare, salvo un margine di massimo 1,5 m, utile per garantirsi dal rischio di dilavamento delle argille ai limiti dello stesso acquifero. Nel caso di falde freatiche il filtro deve interessare comunque la porzione satura dell'acquifero anche in condizioni dinamiche.

5.4.4 *Predimensionamento del drenaggio artificiale*

La procedura per il dimensionamento granulometrico è descritta nell' Appendice D.

Il dreno artificiale deve avere uno spessore compreso tra gli 8 e i 15 cm; lo spessore di 15 cm compensa le tolleranze fra il diametro di perforazione, i centralizzatori e la non perfetta linearità delle perforazioni a rotazione.

Si consiglia inoltre di non superare i 25 cm di spessore per non rendere difficoltosa la successiva fase di sviluppo.

5.4.5 *Rischi di alterazione degli acquiferi e delle falde*

Tutte le tecniche di perforazione creano un'alterazione della formazione attraversata, intesa come riduzione della porosità nell'intorno del foro per effetto di intasamenti e costipamenti che modificano i parametri idraulici naturali. In alcuni contesti (specifiche condizioni di perforazione a percussione o ad aria) l'alterazione può aumentare la porosità naturale.

Il grado di riduzione della porosità indotta e le modalità di risoluzione della stessa risultano estremamente variabili in rapporto alla tecnica di perforazione e al contesto lito-stratigrafico.

Le diverse tecniche di perforazione presentano vantaggi e svantaggi, in termini di variazione della porosità indotta, riassunti in appendice I:

0.4.6 *Tecniche di sviluppo dei pozzi*

Lo sviluppo di un pozzo per acqua ha il compito di risolvere le alterazioni al naturale regime idraulico della formazione acquifera provocati dalla perforazione e migliorare la permeabilità nell'intorno del sistema filtrante per ottimizzarne l'efficienza.

Si deve valutare la possibilità di applicare le tecniche di sviluppo prescelte, anche in abbinamento fra di loro, in rapporto alla struttura del pozzo da realizzare e alle attrezzature normalmente disponibili sulla tipologia di perforatrice impiegata per la costruzione del pozzo.

Le tecniche di sviluppo disponibili sono diverse (per esempio: semplice pompaggio, sollevamento ad aria compressa (*air lift*) diretta o con doppia colonna, pistonaggio con vari tipi di pistone a fune, pistonaggio con aste, pistonaggio con aste e *air lift*,, pistonaggio pneumatico, con generatore pneumatico di impulsi (*jetting tool*), trattamenti chimici, trattamento con anidride carbonica, impulsi pneumatici ad alta pressione) e ogni tecnica ha un campo di applicabilità e un grado di efficacia diverso in base al contesto litologico-idraulico e operativo, quindi legato alla struttura del pozzo realizzato (allegato A)

0.5 Affidabilità nel tempo ed economicità

0.5.1 *Generalità*

I fenomeni di corrosione, incrostazione ed erosione sono la causa prevalente della perdita di efficienza, potenzialmente fino al collasso dei pozzi; talvolta anche l'assestamento del dreno e del terreno circostante possono determinare la compromissione irreversibile del pozzo; per questo motivo si deve porre particolare cura nella prevenzione di questi fenomeni.

La perdita di efficienza determina l'incremento dei costi energetici per il sollevamento dell'acqua. Mantenere il pozzo in condizioni di esercizio efficienti è garanzia di durevolezza dell'opera e di economicità gestionale.

0.5.2 *Corrosione*

La prevalenza dell'uso di materiali ferrosi per la realizzazione delle tubazioni permanenti dei pozzi rende possibile il fenomeno della corrosione, legato alla presenza di importanti differenze di potenziale elettrico indotte (per esempio vicinanza di sottostazioni elettriche o linee ferroviarie) o dall'aggressività chimica dell'acqua della falda interessata.

Le caratteristiche dell'acqua di falda devono essere indagate per valutarne l'aggressività in termini di pH di saturazione del carbonato di calcio (pHs), secondo il Prospetto 4

Prospetto 4 - Aggressività dell'acqua a seconda del pHs

- pHs > pH acqua aggressiva
- pHs = pH acqua bilanciata
- pHs < pH acqua incrostante

Nel caso in cui l'acqua risulti aggressiva è necessario approfondire l'indagine determinando il valore degli indici LSI ed RSI definiti come

- LSI = pH - pHs
- RSI = 2 pHs - pH

Inoltre devono essere valutati i parametri del Prospetto 5

Prospetto 5 - Caratteristiche di acqua potenzialmente corrosiva

LSI<-0,5	H_2S>1 mg/l	O_2>2 mg/l	RSI>7
CO_2>50 mg/l	Cloruri>200 mg/l	TDS>1000 mg/l	

Nel caso in cui almeno due dei parametri illustrati nel Prospetto 5 risultino verificati allora deve essere considerata alta la probabilità di attacco corrosivo.

La soluzione o la mitigazione dei fenomeni di corrosione è legata alla scelta dei materiali utilizzati e alla loro corretta messa in opera. Per contrastare il rischio di corrosione si devono impiegare materiali non ferrosi (PVC, PP, PE, VTR) oppure acciaio inox (304L -316L secondo denominazione AISI) che sopportano meglio l'aggressività dell'acqua, anche se sono sensibili alle correnti galvaniche indotte. Alcune note informative sulla scelta del materiale sono presentate in Appendice.

5.5.3 *Incrostazione*

Per limitare il fenomeno di incrostazione si devono utilizzare materiali plastici o acciaio inox.

L'incrostazione dei filtri si manifesta in presenza di acqua con pH alto e concentrazioni elevate di carbonati, Fe, Mn. Talvolta la falda e il terreno che la ospita possono favorire la rapida proliferazione di ferrobatteri che provocano a loro volta intasamenti e, a lungo andare, corrosioni. Anche in questo caso il danneggiamento può manifestarsi molto rapidamente con significativa riduzione della portata. Un buon intervento di manutenzione può riportare il pozzo alle condizioni originarie.

5.5.4 *Erosione*

L'erosione si concentra sulla luce dei filtri aumentandone le dimensioni fino a permettere l'ingresso del dreno artificiale o del terreno. Il fenomeno dell' erosione può manifestarsi anche in corrispondenza dell'aspirazione della pompa.

L'erosione è causata da una velocità eccessiva del flusso dell'acqua nei punti critici, o da un non corretto dimensionamento del sistema filtro-dreno, che può determinare un passaggio continuo di materiale dall'acquifero al pozzo.

5.5.5 *Instabilità del dreno*

L'instabilità del dreno è causata dal dimensionamento improprio del sistema filtrante o da un insufficiente sviluppo del pozzo. Durante il pompaggio dell'acqua, entrambe possono essere causa della continua estrazione di materiale e del rischio di formare sfornellamenti o scavernamenti del terreno che nel tempo determinano ulteriori rischi di disarticolazione della struttura del pozzo.

5.5.6 *Scelta dei materiali*

5.5.6.1 *Generalità*

I materiali necessari per la costruzione di un pozzo sono i seguenti:

- tubi;
- filtri;
- prodotti per il drenaggio;
- cementazioni.

5.5.6.2 *Tubi*

I materiali con cui vengono realizzate le tubazioni definitive dei pozzi devono soddisfare i seguenti requisiti:

- adeguata resistenza alla corrosione, al fine di garantire un'opportuna durata nel tempo dell'opera;
- adeguata resistenza all'erosione, al fine di garantire un'opportuna durata nel tempo dell'opera;
- atossicità, al fine di evitare la contaminazione delle acque destinate al consumo umano.

Alcuni materiali che soddisfano i requisiti sopra riportati sono elencati in Appendice F.

5.5.6.3 *Filtri*

I materiali di cui sono costituiti i filtri devono soddisfare i requisiti esposti per i materiali costitutivi i tubi (vedere punto 0.5.6.2); i filtri sono disponibili nelle seguenti tipologie di prodotto:

- filtri a spirale continua, realizzati essenzialmente con fili e barrette in acciaio inox o acciaio al carbonio;
- filtri punzonati a ponte, costruiti in materiale metallico; non sono disponibili in materiali plastici;
- filtri punzonati ad asola passante, costruiti in materiale metallico; non disponibili in materiali plastici;
- filtri fresati, realizzati con tutti i materiali e principalmente sui tubi in materiale plastico.

5.5.6.4 *Drenaggio*

I materiali utilizzati per il drenaggio devono soddisfare i seguenti requisiti:

- avere granulometria selezionata;
- essere arrotondati ;
- essere lavati;
- essere inerti.

I materiali lapidei o provenienti da processi di trasformazione (per esempio sfere di vetro) utilizzati devono essere prevalentemente silicei (SiO_2 maggiore o uguale al 93%). Materiali non silicei possono essere utilizzati nel caso in cui l'acqua di falda non sia aggressiva o incrostante.

Di questi prodotti devono essere disponibili i certificati di origine e composizione mineralogica

5.5.6.5 *Isolamenti, cementazioni, e riempimenti*

I materiali utilizzati per la cementazione devono avere:

- adeguata resistenza meccanica;
- brevi tempi di maturazione;
- eventuale resistenza ai solfati, nel caso di acque fortemente aggressive.

Per i cementi sono ammessi alcuni additivi quali per esempio:

- bentonite, per conferire plasticità, viscosità e per contenere il ritiro;
- $CaCl_2$, per accelerare la presa;
- ritardante della presa;
- mica o perlite per diminuire la densità del cemento.

Per l'impermeabilizzazione efficace anche di spessori di pochi metri è possibile utilizzare montmorillonite, ovvero argilla disidratata in cilindretti.

Per il riempimento dei tratti di intercapedine non interessati da drenaggio o cementazione si possono utilizzare prodotti granulari da frantumazione di roccia calcarea.

CAP.6
6.PROGETTAZIONE DEFINITIVA

6.1 Generalità

La quota del livello acquifero da captare e la successione litologica prevista devono essere ricavati, con la migliore approssimazione possibile, dallo studio geologico. La definizione dell'obbiettivo di progetto e il progetto preliminare completano il quadro necessario per il dimensionamento strutturale dell'opera.

Oltre a questo è opportuno verificare le eventuali interferenze passive indotte sull'opera prevista da opere o attività esistenti, quali per esempio linee ferroviarie o altri centri di dispersione di correnti vaganti, cabine elettriche, altri centri di dispersione termica e altre opere che interferiscono con terreni e falde.

Per la progettazione definitiva di un pozzo per acqua occorre verificare che siano soddisfatti e compatibili nella soluzione tecnica i seguenti principali aspetti:

- dimensionamento dell'opera e sua verifica strutturale;
- scelta della tecnica di perforazione;
- predisposizione delle opere di completamento;
- definizione della manutenzione, della durata prevista dell'opera e della eventuale dismissione del pozzo.

6.2 Dimensionamento strutturale dell'opera

Deve essere seguita la procedura di cui all' appendice H o, quella di cui all' Appendice G [scheda per il dimensionamento strutturale semplificato] nel caso di pozzi con portata attesa minore o uguale a 1,5 l/s e al 10% della portata critica misurata nel pozzo più prossimo che interessa il medesimo

acquifero, omettendo la compilazione del punto B.4 dell'Appendice Progettazione Preliminare.

6.2.1 *Diametro delle tubazioni e dei filtri*

Per determinare i diametri si devono tenere in considerazione i seguenti elementi, come indicato in Appendice B:

- **portata attesa**: deve essere indicata la potenzialità massima dell'acquifero cercato e la portata con la quale si intende utilizzare il pozzo.
- **verifica della velocità di flusso nei filtri**: si deve verificare la velocità dell'acqua nel transito attraverso il sistema filtrante, tenendo conto dello spessore previsto dell'acquifero, utilizzando come valore massimo di riferimento v = 3 cm/s. Si ricava in questo modo la prima indicazione sul diametro minimo del filtro da installare.
- **valutazione delle perdite di carico idraulico nella tubazione del pozzo** (tratto al di sotto della pompa) utilizzando come valore di riferimento v = 1 m/s. Si ricava in questo modo la prima indicazione sul diametro minimo del pozzo.
- **valutazione delle perdite di carico idraulico nella tubazione di mandata della pompa** utilizzando come valore di riferimento v = 2 m/s. Si determina il diametro della tubazione di mandata.
- **dimensioni massime di ingombro dell'impianto di sollevamento**: tenendo conto del diametro della pompa (aumentato della sezione circolare libera per il rispetto delle velocità massime di flusso e minime per il raffreddamento del motore), delle dimensioni delle flange o di altri elementi di giunzione dei tubi di mandata, dell'ingombro dei cavi elettrici e dei tubi per gli strumenti di livello.

Coi dati ottenuti è possibile determinare i diametri minimi di tubazioni e filtri. Nel caso questi risultino di misura diversa è preferibile utilizzare il diametro maggiore, al fine di mantenere costante il diametro del pozzo per l'intera profondità (ad eccezione dei pozzi a cannocchiale).

6.2.2 *Diametro di perforazione*

Per determinare il diametro/diametri della perforazione si deve tenere conto dei seguenti elementi che concorrono a individuare il diametro in corrispondenza del filtro (nel caso in cui nella perforazione si utilizzino tubazioni di rivestimento si deve individuare il diametro finale):

- valutazione della necessità di realizzare un drenaggio artificiale in corrispondenza del filtro oppure contare sul solo drenaggio naturale che si creerà in fase di sviluppo. Nel primo caso si deve calcolare uno spessore dell'intercapedine compresa fra 8 cm e 15 cm;.
- nei pozzi cluster si deve mantenere lo spessore minimo di drenaggio per ogni filtro, per la porzione prossima alla superficie della perforazione;
- per l'esecuzione di cementazioni selettive si deve calcolare uno spessore di 15 cm. Per le sole cementazioni superficiali (ovvero nei primi 15 m di profondità) lo spessore può essere ridotto a 5 cm. Per le cementazioni con scarpa (pozzi a cannocchiale) lo spessore della cementazione non è determinante ai fini dell'individuazione del diametro di perforazione
- per la posa della montmorillonite si deve calcolare uno spessore minimo di 15 cm.

Con questi elementi si deve calcolare il diametro di perforazione sommando gli spessori dell'intercapedine al diametro dei tubi/ filtri prima individuati (vedere l'Appendice I_4).

6.2.3 *Spessore delle tubazioni*

Ad esclusione dei pozzi molto profondi rivestiti in materiale plastico, per i quali si rimanda ai dati del costruttore per la resistenza dei sistemi di giunzione), si può considerare trascurabile la resistenza alla trazione e quindi le sollecitazioni che i tubi devono sopportare sono legate essenzialmente alle pressioni esterne che si determinano nelle varie fasi della costruzione del pozzo.

Per la determinazione della resistenza allo schiacciamento si devono utilizzare la formula e il nomogramma dell' Appendice I_0

Per valutare le pressioni che si determinano nelle varie fasi si deve tener conto dei seguenti elementi:

- la pressione litostatica dei materiali di riempimento e del terreno naturale;
- la pressione idrostatica;
- la pressione causata dalla differenza di densità fra la boiacca di cemento esterna al tubo e la densità del fluido interno;
- il livello dell'acqua interno ed esterno al pozzo nelle diverse fasi di lavorazione;
- l'abbassamento del livello dell'acqua nelle varie fasi di sviluppo e pistonaggio.

La determinazione dei valori sopra indicati non è di facile soluzione anche perché alcuni di essi sono legati alle condizioni oggettive, altri alle tecnologie adottate per l'esecuzione dei lavori (vedere per esempio l' Appendice I_3).

6.2.4 *Resistenza dei filtri*

La realizzazioni dei filtri sul materiale tubolare costituisce un indebolimento della struttura con conseguente minore resistenza. Il filtro annulla però la pressione idrostatica, quella in fase di cementazione e buona parte di quella in fase di sviluppo. Ciò giustifica la prassi corrente di mantenere lo stesso spessore del tubo anche per il tratto filtrante.

I filtri utilizzati devono essere di una delle seguenti tipologie:

- **filtro punzonato a ponte**: modeste riduzioni della resistenza allo schiacciamento e al carico assiale;
- **filtro punzonato ad asola passante**: significativa riduzione della resistenza allo schiacciamento e al carico assiale;
- **filtri fresati in materiale plastico**: importante riduzione della resistenza allo schiacciamenti e al carico assiale;
- **filtri a spirale**: costruiti e certificati per varie classi di resistenza allo schiacciamento. Non sono adatti e non sono certificati per sopportare

6.2.5 *Altezza delle impermeabilizzazioni*

Cemento e montmorillonite sono chiamati a svolgere contemporaneamente funzione di tenuta idraulica lungo l'intercapedine e di stabilizzazione del foro: per questo si distinguono due condizioni operative:

- **boiacca di cemento**: se messa in opera prima del pistonaggio per assestamento del dreno si deve raggiungere un'altezza dell'impermeabilizzazione maggiore di 10 m; se viene messa in opera dopo il pistonaggio deve essere maggiore di 5 m;
- **montmorillonite**: se messa in opera prima del pistonaggio per assestamento del dreno si deve raggiungere un'altezza dell'impermeabilizzazione maggiore di 5 m; se viene messa in opera dopo il pistonaggio deve essere maggiore di 2 m..

Ove si prevedano assestamenti del dreno superiori a 2 m si devono installare tubi di ricarica di diametro superiore o uguale a 3 pollici.

Nelle condizioni di forte differenza di pressione fra l'interno del pozzo e l' acqua o il gas presente nei livelli non messi in produzione, l'altezza della cementazione deve essere non minore del carico idrostatico con coeff. 0,5, come indicato nell'Allegato I_2.

6.2.6 *Profondità*

La profondità del pozzo indicata in progetto può variare del 10% per le tecniche di perforazione che richiedono tubi di rivestimento (percussione, a secco ecc.) e del 20% per le tecniche a rotazione. Le perforazioni con pura finalità esplorativa devono avere una specifica definizione.

6.3 Scelta della tecnica di perforazione

Il progetto deve indicare le tecniche di perforazione compatibili con la realizzazione del progetto e quindi utilizzabili dall'installatore/perforatore, scelte tra le seguenti disponibili (vedere l' Appendice I_1):

- a percussione;
- a rotazione con asta telescopica;
- a rotazione con circolazione diretta del fluido;
- a rotazione con aria compressa;
- a rotazione con circolazione inversa del fluido.

Si deve verificare se la successione litologica prevista presenti caratteristiche tali da giustificare il mantenimento della stessa tecnica di perforazione per l'intera profondità del pozzo, oppure se sia necessario cambiare tecnica indicando la profondità presunta, oppure indicare le specifiche procedure per superare livelli litologici incompatibili con la tecnica prevista.

6.4 Verifiche di capacità dei pozzi

Il progetto deve indicare i parametri da acquisire nel corso delle verifiche di capacità del pozzo. I parametri principali che si devono acquisire sono i seguenti:

- data e condizioni atmosferiche della prova;
- distanza del recapito delle acque estratte;
- piano di riferimento delle misurazioni (per esempio il piano campagna)
- misura del livello di falda iniziale (livello statico);
- ora inizio e fine prova di pompaggio;
- portate;
- misure in discesa e risalita del livello dinamico di falda in funzione del tempo;
- temperatura.

La verifica deve essere eseguita garantendo una portata maggiore di almeno il 30% della massima portata di esercizio prevista; in particolare il progetto deve indicare gli equipaggiamenti da utilizzare come indicato nel **Prospetto 6.**

Prospetto 6 - Equipaggiamento e caratteristiche da indicare

Tipologia di equipaggiamento	Caratteristica da indicare
Impianto di sollevamento	portata massima
	prevalenza corrispondente alla portata massima
	quota di installazione massima della pompa
	lunghezza e diametro della tubazione di scarico
Misuratore di portata	portata massima
Misuratore di livello	profondità massima
Misuratore di temperatura	grado di precisione

Nel caso di prove a gradini si deve indicare il numero e la durata temporale di ogni gradino; in caso di prova di lunga durata si deve indicare la durata della prova.

6.5 Operazioni complementari

6.5.1 *Predisposizioni*

La sommità del pozzo, o testa pozzo, deve impedire infiltrazioni e ingressi di corpi estranei anche occasionali adottando sistemi di chiusura a tenuta, stagna ove necessario, e sfiati nel caso di installazioni sottosuolo.

6.5.2 *Disinfezione*

Per i pozzi destinati al consumo umano si deve prescrivere l'esecuzione della procedura di disinfezione con ipoclorito di sodio o perossido di idrogeno della tubazione definitiva e degli equipaggiamenti interni dopo l'installazione definitiva dell'impianto di sollevamento.

6.5.3 *Produzione del pozzo*

Gli esiti delle prove di portata rapportati agli obbiettivi e alle finalità d'uso del pozzo contribuiscono a definire le caratteristiche dell'impianto di sollevamento o di reimmissione che deve essere installato.

Oltre all'effettivo dimensionamento, nonché alla scelta dei prodotti e materiali, il progetto deve indicare la portata di esercizio e l'abbassamento massimo ammesso.

6.6 Manutenzione, durata e dismissione

6.6.1 *Programma di manutenzione*

La manutenzione del pozzo deve essere finalizzata a mantenere un accettabile livello di efficienza, che in forma semplificata significa mantenimento nel tempo del rapporto portata d'esercizio/abbassamento (Qes/ΔS) del livello in pozzo definito dal collaudo.

I controlli, anche automatizzati in continuo, della portata e del livello devono consentire al gestore di verificare il valore di Qes/ΔS. Il progetto deve indicare di effettuare questa verifica almeno ogni sei mesi.. Qualora la verifica indichi una diminuzione della portata maggiore o uguale al 30%, a pari abbassamento del livello dinamico, si deve indicare di procedere ad eseguire le attività di manutenzione e rigenerazione.

I fenomeni di incrostazione o deposizione di ferro-batteri che non producano perdita di portata devono essere risolti periodicamente con adeguati interventi di manutenzione.

La periodicità degli interventi di manutenzione, condizionata da molti fattori (chimismo delle acque, materiali utilizzati per la costruzione, modalità d'uso, ecc.), deve essere definita nel documento progettuale ed eventualmente modificata in fase di realizzazione del pozzo sulla base di motivati elementi emersi a seguito della ricerca e della effettiva costruzione.

6.6.2 *Vita utile del pozzo*

La durata della vita utile del pozzo deve essere definita in base a:

- finalità d'uso del pozzo;
- contesto lito stratigrafico;
- caratteristiche chimiche dell'acqua;
- intensità d'uso;
- programma di manutenzione;
- qualità dei materiali impiegati.

6.6.3 *Dismissione del pozzo*

Il progetto di dismissione del pozzo deve adottare due distinte procedure, in ragione della necessità di intervenire su un pozzo costruito in conformità alle norme vigenti oppure realizzato in modo non conforme, in particolare non rispettando l'isolamento degli acquiferi e prevenendo infiltrazioni dalla superficie.

- Per la dismissione di un pozzo conforme alla presente norma si devono introdurre prodotti cementanti all'interno della tubazione in modo da mantenere la continuità dei livelli impermeabili della formazione geologica e degli isolamenti/cementazioni eseguiti nell'intercapedine fra perforazione e tubazione definitiva. In corrispondenza dei tratti dell'intercapedine non impermeabilizzati si potranno usare anche prodotti porosi (es. in corrispondenza dei filtri).
- Per la dismissione di un pozzo non conforme alla presente norma, nel caso in cui si verifichi che nell'intercapedine non siano state create correttamente le condizioni di isolamento dei livelli acquiferi, si deve procedere preliminarmente alla cementazione dell'intercapedine nei tratti impermeabili della formazione, ad esempio mediante punzonatura dei tratti ciechi; quindi si deve procedere al riempimento dell'interno secondo le procedure del punto precedente.

APPENDICE B: **SCHEDA**

PROGETTAZIONE PRELIMINARE DI UN POZZO PER ACQUA

B.1 Generalità

L' Appendice presenta una scheda per la progettazione di un pozzo per acqua che deve essere compilata in ogni sua parte, indicando le scelta effettuate e illustrando i contenuti tecnici delle parti richieste.

B.2 SALVAGUARDIA AMBIENTALE

I prospetti B.1, B.2 e B.3 devono essere compilati durante la raccolta preliminare dei dati.

Prospetto B.1 Impatto della perforazione sugli acquiferi

☐ PERFORAZIONI A FANGO		
• Previsti assorbimenti	SI ☐	NO ☐
Modalità di risoluzione ……..		
☐ PERFORAZIONI AD ARIA COMPRESSA		
• Previste perdite/ assorbimenti nella formazione	SI ☐	NO ☐
Modalità di risoluzione ……..		
• Previsto scarico di acqua in perforazione	SI ☐	NO ☐
Modalità di risoluzione ……..		
☐ RISCHIO MICROBIOLOGICO		
• Pozzo per uso potabile, esistenza del rischio	SI ☐	NO ☐
Modalità di risoluzione ……..		

Prospetto B.2 Ripristino degli orizzonti a bassa permeabilità

Orizzonti impermeabili previsti	SI ☐	NO ☐
• Numero degli orizzonti a bassa permeabilità	n° ☐	
• Ripristino impermeabilità dei livelli		
	cementazione dal basso	cementazione selettiva
L1 da m……. a m…….	☐	☐
Li da m……. a m…….	☐	☐
Modalità di esecuzione, prodotti e quantità……		

Prospetto B.3 Gestione dei residui della perforazione

• Piano di utilizzo delle "*terre e rocce da scavo"*	SI ☐	NO ☐
Depositato presso ……..		
Modalità di riutilizzo:		
In situ ☐	Ex-situ ☐	Azienda recupero ☐
• Autorizzazione allo scarico delle acque	SI ☐	NO ☐
Richiesto a ……..		
• Analisi per caratterizzazione dei solidi e dei liquidi	SI ☐	NO ☐
• Smaltimento rifiuti speciali (fluido) cod. C.E.R. 010504	SI ☐	NO ☐
• Smaltimento rifiuti speciali (solido palabile) cod. C.E.R. 010504	SI ☐	NO ☐

B.3 IDENTIFICAZIONE DEGLI ACQUIFERI

I prospetti B.4 e B.5 devono essere compilati durante la raccolta preliminare dei dati.

B.4 Caratteristiche chimiche degli acquiferi

• Chimismo acquiferi noto	SI ☐	NO ☐
• Prova di strato per prelievo campione	SI ☐	NO ☐
Modalità di esecuzione della prova e del prelievo……		

B.5 Potenzialità dei livelli produttivi

☐ Dati stratigrafici correlabili noti	SI ☐	NO ☐
Tecnica di perforazione prescelta ……...		
☐ Modalità di campionamento dei terreni		
In terreni alluvionali ……		
In roccia ……..……		
☐ Analisi granulometrica	in laboratorio ☐	in cantiere ☐
☐ Prova di strato con test idraulico	SI ☐	NO ☐
Modalità di esecuzione della prova e del test ……		

B.4 FUNZIONALITA' ED EFFICIENZA

I prospetti B.6, B.7, B.8, B.9 e B.10 devono essere compilati durante la raccolta preliminare dei dati.

Prospetto B.6 Drenaggio artificiale

• Efficacia filtrante	SI ☐	NO ☐
Drenaggio con spessore netto efficace (tra cm 8,00 e cm 15,00) pari a cm ……		
Ghiaietto con spessore netto (solo riempimento) pari a cm ……		

Prospetto B.7 Filtri

Portata attesa (l/s):……..			
Spessore dell'acquifero interessato dalla captazione: …… (m)			
Lunghezza dei filtri: …… (m), pari a …….% dello spessore dell'acquifero			
Luci di passaggio dei filtri (mm):…….			
Tipologia di filtro prescelta			
Spirale ☐	Ponte ☐	Asola ☐	Fresato ☐
Luci di passaggio …….%			
• Verifica massima velocità di flusso < cm/s= 3 tenendo conto della riduzione della sezione di passaggio pari al 25% dovuta alla presenza dei grani		SI ☐	NO ☐
Diametro minimo dei filtri: ….....(mm)			

Prospetto B.8 Tubazioni di rivestimento del pozzo – determinazione dei diametri

Portata attesa	l/s	
Diametro minimo dei filtri	mm	
Diametro interno della tubazione di mandata (velocità di flusso minore di 2,5 m/s)	mm	
Diametro d'ingombro totale degli elementi di giunzione compresi i cavi, tubo piezometrico ed altri eventuali elementi	mm	
Diametro d'ingombro della pompa sommato alle intercapedini che garantiscano una velocità di flusso inferiore a 4 m/s	superiore a mm	
Diametro d'ingombro del motore sommato alle intercapedini massime che garantiscano almeno la velocità di flusso di raffreddamento indicata dal produttore	inferiore a mm	
diametro minimo della tubazione del pozzo non interessato dall'impianto di sollevamento che garantisca una velocità di flusso minore di 1 m/s	mm	
diametro dei tubi di rivestimento (ovvero il diametro maggiore risultante dalla verifica)	mm	

Prospetto B.9 Impatto della perforazione sulla formazione

Date le caratteristiche tecniche della costruzione del pozzo per limitare e risolvere in modo efficace l'impatto della perforazione sui livelli acquiferi si privilegia la tecnica…….		
Si accettano altre tecniche	SI ☐	NO ☐
Quali ……		

Prospetto B.10 Tecniche di sviluppo dei pozzi

• Per risolvere efficacemente l'impatto della perforazione ed incrementare la permeabilità si prevedono le seguenti tecniche di sviluppo		
	INDISPENSABILE	INTEGRATIVO
Pompaggio	☐	☐
Air-lift diretto	☐	☐
Air-lift doppia colonna	☐	☐
Pistonaggio a fune	☐	☐
Pistonaggio con aste c.i.	☐	☐
Pistonaggio pneumatico	☐	☐
Generatore pneumatico di impulsi	☐	☐
Jetting-tool	☐	☐
Acidificazione	☐	☐
Trattamenti chimici	☐	☐

B.5 AFFIDABILITA' NEL TEMPO ED ECONOMICITA'

I prospetti B.11, B.12, B.13, B.14, B.15 e B.16 devono essere compilati durante la raccolta preliminare dei dati.

Prospetto B.11 Caratteristiche di acqua potenzialmente corrosiva

LSI<-0,5	H_2S>1 mg/l	O2>2 mg/l	RSI>7
CO_2>50 mg/l	Cloruri>200 mg/l	TDS>1000 mg/l	
Nel caso in cui almeno due dei parametri illustrati nel risultino verificati allora deve essere considerata alta la probabilità di attacco corrosivo.			
L'impiego di prodotti ferrosi risulta:			
☐ Compatibile ☐ Non Compatibile			

Prospetto B.12 Incrostazione

• Effettuata la valutazione dei rischi inerenti la possibilità che si manifestino fenomeni di incrostazioni, si adottano le seguenti strategie:
➢ Materiale che limiti il fenomeno di adesione quale …….
➢ Rigenerazione del pozzo con frequenza …….

Prospetto B.13 Scelta dei materiali dei tubi

• Si prescrive l'uso dei tubi in:
☐ Acciaio (___)
☐ Acciaio zincato
☐ Acciaio inox AISI……
☐ PVC
☐ PEAD
☐ PoliPropilene
☐ Vetroresina
☐ Altri (Specificare): _____

Prospetto B.14 Scelta dei materiali dei filtri

• Si prescrive l'uso di filtri tipo:
☐ Filtri a spirale in acciaio ……..
☐ Filtri punzonato a ponte in acciaio……
☐ Filtri punzonato ad asola passante in acciaio……
☐ Filtri fresato in acciaio ……..
☐ Filtri fresati in PVC o PoliPropilene

Prospetto B.15 Scelta dei materiali dei dreni

• Si prescrive l'esecuzione del drenaggio con:
☐ Ghiaietto siliceo arrotondato (min al 93%)
☐ Ghiaietto arrotondato di fiume
☐ Altri (specificare) _____

Prospetto B.16 Scelta dei materiali delle cementazioni degli isolamenti e dei riempimenti

• Si prescrive l'impiego dei seguenti prodotti alle quote indicate nel progetto
☐ Montmorillonite in ambiente saturo e confinato
☐ Boiacca di cemento con dosaggio……..
☐ Additivi per boiacca…….
☐ Calcestruzzo
☐ Ghiaia di cava per riempimenti

APPENDICE H SCHEDA

DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE DI UN POZZO PER ACQUA

DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE

Per effettuare un corretto dimensionamento dell'opera, si deve disporre dei seguenti dati:

- risultati della progettazione preliminare;
- previsione di successione litologica;
- quota piezometrica dei livelli acquiferi attraversati e da captare;
- portata di progetto del pozzo;
- portata potenziale di un pozzo nell'acquifero prescelto;
- diametro di ingombro massimo dell'impianto di sollevamento.

Il dimensionamento deve essere svolto procedendo come indicato di seguito:

Prospetto H.1 Dati di progetto

Dati necessari	• Portata potenziale di un pozzo nell'acquifero prescelto (l/s)……	
	• Portata di progetto (l/s)……..	
	• Diametro di ingombro massimo dell'impianto di sollevamento (mm):……	
	Per pozzo realizzato a cannocchiale	
	Quota riduzione diametro da piano campagna ……..m	
Principali verifiche da effettuare	• Velocità di flusso nei filtri è effettivamente pari a cm/s……..	
	• Perdita di carico nel pozzo Δp=……..	
	• Perdita di carico nella tubazione di mandata Δp=……..	
	Diametro dei tubi pozzo verificato	**Ø= mm……..**

DIAMETRO DI PERFORAZIONE

a) POZZO CON DRENAGGIO a filtrazione EFFICACE

Diametro tubi pozzo	**Ø= mm**
• Incremento per drenaggio a filtrazione efficace (80 mm< spessore < 150 mm)	a=spessore x 2 = mm.....
• Incremento per cementazione selettiva (100 mm< spessore < 150 mm)	b=spessore x 2 = mm……..
• Incremento per posa montmorillonite (120 mm< spessore < 200 mm)	c=spessore x 2 = mm ……
Diametro di perforazione risultante	**Øtubo pozzo + max(a,b,c)= mm ……..**

b) POZZO SENZA DRENAGGIO a filtrazione EFFICACE

Diametro tubi pozzo	**Ø= mm**
• Incremento per tolleranza tecnologica	d=Øtubo +25%= mm……..
• Incremento per cementazione in risalita con scarpa di cementazione	e=Øtubo +25%= mm……..
• Incremento per cementazione superficiale entro 30 m	f= 100 mm
• Incremento per cementazione selettiva (120 mm< spessore < 150 mm)	g=spessore x 2 = mm ……
Diametro di perforazione risultante	**Øtubo pozzo + max(d,e,f,g)= mm ……..**

c) POZZO CLUSTER

Diametro perforazione risultante dalla tabella pozzo con drenaggio?	**Ø= mm**
• Incremento diametro 2° tubazione	h= ……. mm
• Incremento per giunzioni e cementazione	i= 50 mm
Diametro perforazione pozzo cluster	**Øtubo pozzo + h + i= mm ……..**

SPESSORE DELLE TUBAZIONI

•Individuazione dei punti di criticità e massima pressione allo schiacciamento alla profondità di	
m.……..	Psch.……
m.……..	Psch.……
m.……..	Psch.……
• La pressione di schiacciamento nei punti critici si determina secondo l'allegato informativo I_3……	
• Per la determinazione dello spessore dei tubi si utilizza il nomogramma allegato I_0…… o la relativa formula ……tubi Ø mm……; spessore mm ……	

RESISTENZA DEI FILTRI

• Per i filtri a ponte, ad asola o fresati sul tubo, verificare che le condizioni operative per la posa non creino rischi di intasamenti; considerata la modesta incidenza del differenziale idrostatico e del carico litostatico si mantiene lo stesso spessore prima calcolato per la tubazione, salvo condizioni critiche che richiedano un calcolo statico specifico.
• Per i filtri a spirale devono essere rispettati limiti indicati dal costruttore nel certificato di origine per la resistenza allo schiacciamento ed alla trazione assiale. Non devono essere previste compressioni assiali, anche transitorie, salvo che per la tipologia con armatura interna.

ALTEZZA DELLE IMPERMEABILIZZAZIONI E DEL DRENAGGIO

Materiale	Fase di lavoro	Altezza minima
Boiacca di cemento	☐ prima del pistonaggio	m 10
	☐ dopo il pistonaggio	m 5
Montmorillonite	☐ prima del pistonaggio	m 10
	☐ dopo il pistonaggio	m 2
Boiacca di cemento	☐ cementazioni con forti sovrappressioni	h= (carico idrostatico+sovrappressione) * 0,5
Ghiaietto del drenaggio	☐ verifica dopo il pistonaggio	1 m
Ghiaietto del drenaggio	☐ verifica prima del pistonaggio	1 m + 10% dell'altezza del tratto di ghiaietto messo in opera

PROFONDITA'

Le profondità indicate in progetto si intendono incrementabili in fase esecutiva per:
☐ 0 20% per le tecniche a rotazione
☐ 0 10% per le tecniche che richiedono tubi di rivestimento

APPENDICE I_2

CEMENTAZIONE CON FORTI SOVRAPPRESSIONI (acqua o gas)

Le conoscenze geologiche preliminari ci danno informazioni approssimate sulle piezometrie degli acquiferi e delle eventuali sovrappressioni legate alla presenza di gas. Per calcolare l'altezza minima della cementazione in presenza di sovrappressioni viene usata la seguente formula:

$h_{c\ min}$= (A+B-C)x0,5

dove:

L_{s1}= Livello statico della falda sospesa (valore relativo da p.c.) (m)

L_{s2}= Livello statico (o pressione del gas) della falda da captare (valore relativo da p.c.) (m)

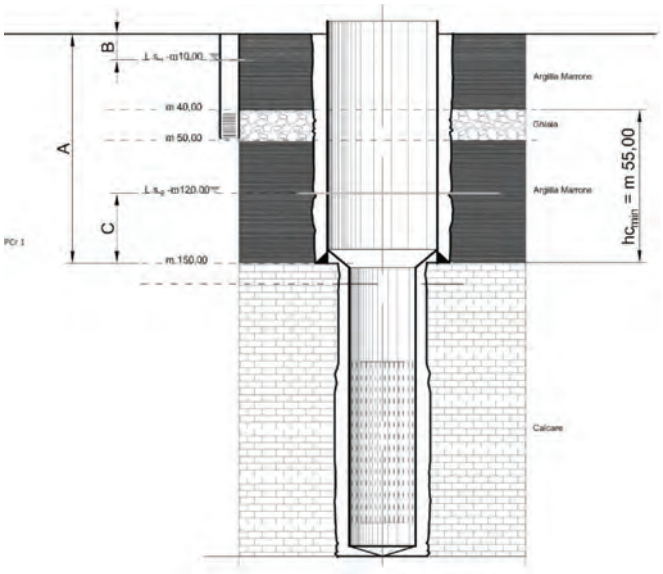
A = Distanza del tubo da cementare dal p.c. (m) (sempre positivo)

B = Distanza del livello Ls_1 (in valore relativo) dal p.c. (m) (positivo se sopra il p.c.)

C = Distanza del livello Ls_2 (in valore relativo dalla scarpa di cementazione (m) (sempre positivo, in quanto insignificante se più profondo di PCr1)

Le condizioni reali ci permettono di valutare quanto incrementare la profondità PCr1 per ottenere una cementazione efficace (se il quadro stratigrafico lo consente), oppure valutare il rischio di un' incerta tenuta della cementazione

ESEMPIO IPOTETICO: Calcolare l'altezza minima (hc_{min}) di cementazione sovrastante il punto critico PCr1



hc_{min}= (A+B-C) x 0,5= [150+ (-10) – 30] x 0,5 = m 55

APPENDICE I_3

ESEMPI DI VALUTAZIONE DELLE CRITICITA' DELLE PRESSIONI ESTERNE

Calcolo delle pressioni critiche di schiacciamento dei tubi

Per semplificare le operazioni di installazione è consuetudine utilizzare tubazioni di spessore costante nei tratti a pari diametro anche se questo non corrisponde alla necessità di contrastare le effettive pressioni esterne che variano in base alla profondità, ai carichi idraulici e alle attività effettivamente svolte.

Valutare le sollecitazioni allo schiacciamento delle tubazioni su tutta la loro lunghezza e in tutte le fasi di lavorazione ed esercizio del pozzo risulta piuttosto complesso. Per semplificare, senza penalizzare il risultato si vanno ad individuare i punti di maggiore criticità su cui effettuare i calcoli. Si estendono gli effetti sui tratti omogenei annullando i rischi strutturali sia pure a danno di maggiori costi.

Si opera valutando le fasi critiche delle lavorazioni e le quote dove si raggiungono le massime differenze di pressione tra interno ed esterno, tenendo conto dei seguenti fattori, legati alle fasi critiche della lavorazione:

- cementazioni;
- perdite di circolazione;
- spurgo e sviluppo;
- posa in opera tubi, filtri, ghiaietto.

Per la determinazione delle pressioni interne ed esterne alle tubazioni e la loro differenza (ΔP) che il rivestimento del pozzo deve essere in grado di sopportare, si assumono i seguenti parametri e valori (densità stimata):

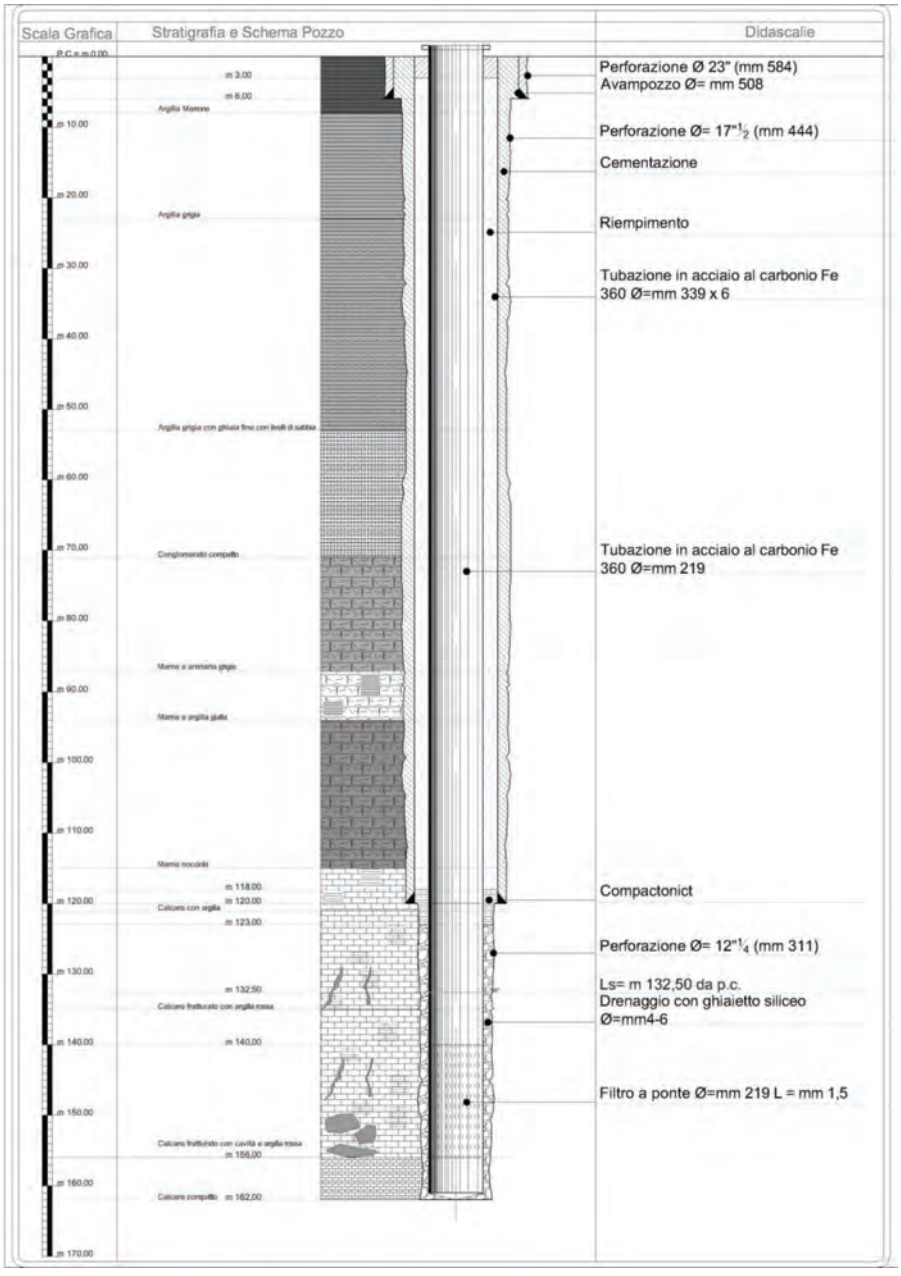
Prospetto XX.1: Valori da assumere per la determinazione delle pressioni nei punti critici

Pressione interna	**Pressione esterna**
- idrostatica H_20	- Litostatico: strati della formazione
- idrostatica fango (peso specifico 1,08 – 1,25 kg/l)	- Litostatico: materiali di riempimento
- idrostatica H_2O ridotta dell'abbassamento del livello in fase di sviluppo	- Idrostatico H_2O di falda
	- Idrostatico miscela di cementazione (peso specifico circa 1,8 kg/l)
	- Rigonfiamento dei prodotti impiegati o delle litologie di strato per effetto dell'idratazione

La valutazione delle fasi e dei punti di maggiore criticità è legata a fattori oggettivi dipendenti dal sottosuolo e dai prodotti utilizzati, quindi valutabili seppur in maniera approssimata. Gli esempi allegati mostrano alcune criticità ricorrenti che sono prevalentemente legati alla differenza dei carichi idraulici indotti (cementazione e sviluppo) o accidentali (perdite di circolazione).
Le criticità sono anche legate alle operazioni svolte in pozzo, quindi a possibili pressioni anomale determinate dalle attività dell'impresa. Fra queste l'attività di spurgo e pistonaggio oltre a generare abbassamenti importanti del livello all'interno della tubazione del pozzo, può indurre la fluidificazione del dreno nell'intercapedine generando una spinta equivalente al carico del prodotto mobilitato.
Anche queste devono essere valutate dal progettista, indicando, ove necessario, precise prescrizioni che limitino gli eccessi di pressione per garantire piena funzionalità, senza incrementi inutili dei costi.

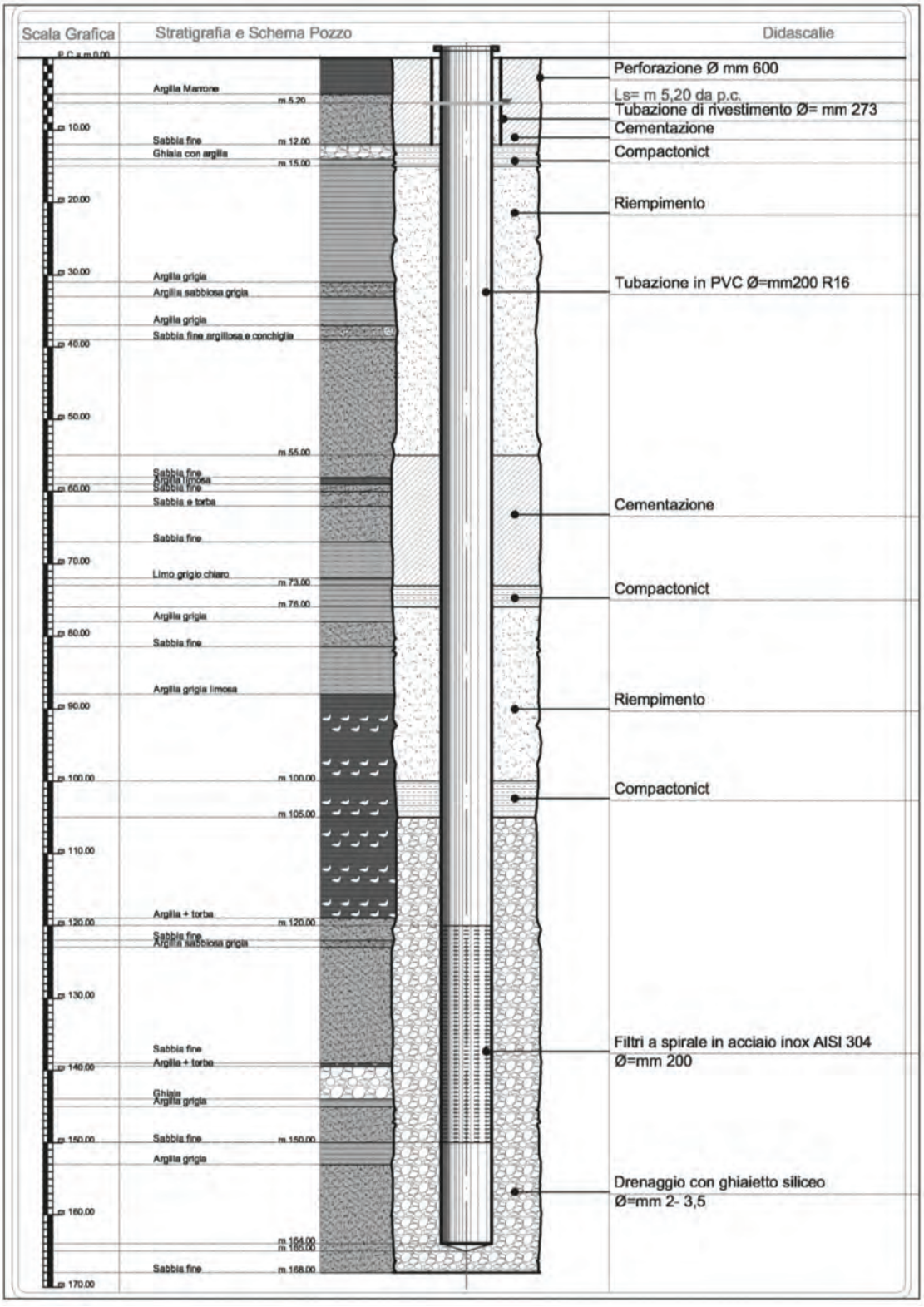
ESEMPIO DI VALUTAZIONE DELLE CRITICITA' DELLE PRESSIONI ESTERNE NELLA PERFORAZIONE A CIRCOLAZIONE DIRETTA

PROFONDITA' CRITICHE (m)	FASI DI LAVORO	PRESSIONI INTERNE (bar)	PRESSIONI ESTERNE (bar)	ΔP (bar)
120	cementazione in presenza di fango	14,40	21,60	7,20
120	perdita fango	0,00	21,60	21,60
160	sviluppo	3,00	7,60	4,60



ESEMPIO DI VALUTAZIONE DELLE CRITICITA' DELLE PRESSIONI ESTERNE NELLA PERFORAZIONE A CIRCOLAZIONE INVERSA

PROFONDITA' CRITICHE (m)	FASI DI LAVORO	PRESSIONI INTERNE (bar)	PRESSIONI ESTERNE (bar)	ΔP (bar)
m 100	sviluppo	6,00	11,50	5,50
m 160	sviluppo	12,00	19,00	7,00



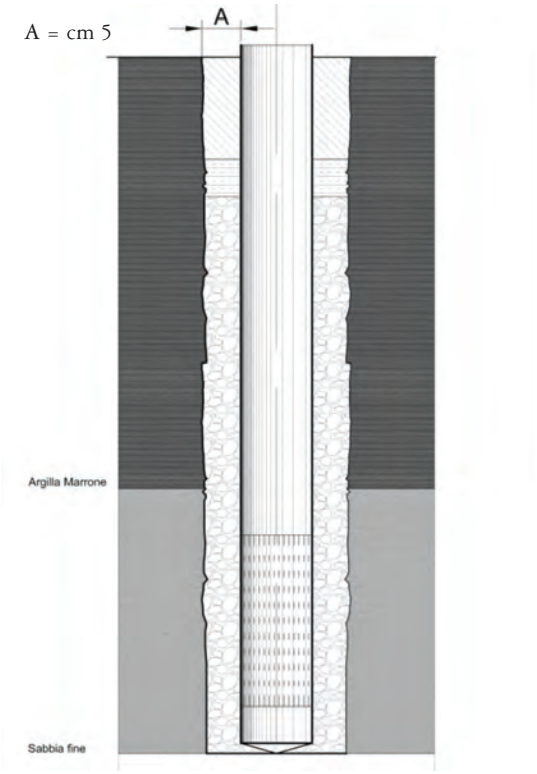
APPENDICE I 4

CEMENTAZIONE DEI POZZI

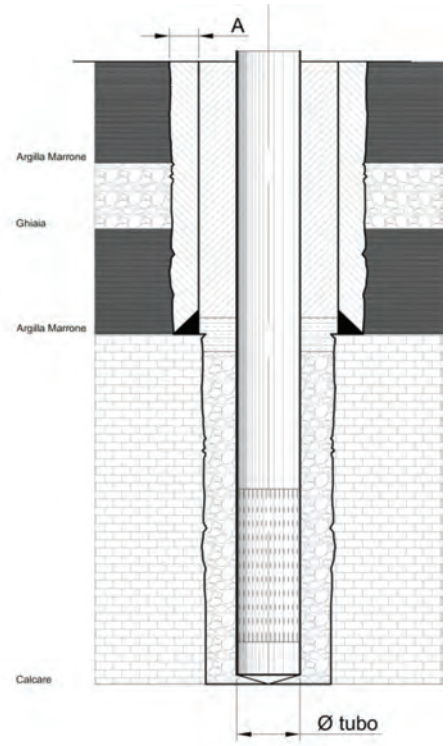
Lo spessore delle intercapedini comprese fra la perforazione e le tubazioni di rivestimento del pozzo varia secondo le condizioni operative, le condizioni ambientali e gli obbiettivi costruttivi che l'opera vuole raggiungere.

A titolo di esempio si allegano alcune delle condizioni più ricorrenti.

CEMENTAZIONE SUPERFICIALE
(per esempio piccoli pozzi ad uso domestico)

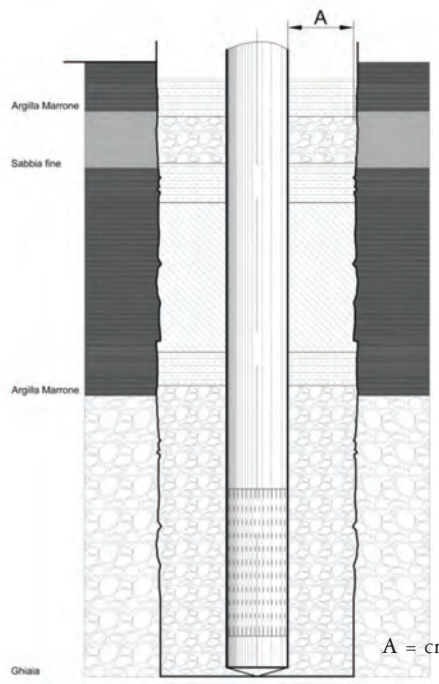


POZZO A CANNOCCHIALE CON SCARPA
DI CEMENTAZIONE



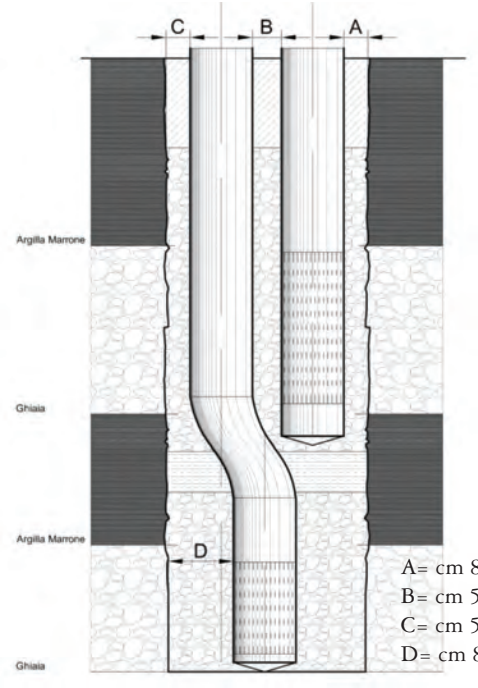
A= minimo tecnologico (perforazione/tubo)=Øtubo + 25% circa

CEMENTAZIONE SELETTIVA



A = cm 10-15

POZZO CLUSTER
DRENAGGIO/CEMENTAZIONE



A= cm 8-15
B= cm 5
C= cm 5
D= cm 8-15

APPENDICE S

PROBLEMI DI CORROSIONE E INCROSTAZIONE DELLA COLONNA POZZO

La colonna pozzo in acciaio, sia al carbonio che inox, può essere sottoposta a fenomeni di corrosione e/o incrostazione dovuti alle caratteristiche dell'acqua, alla presenza di correnti vaganti, all'innescarsi della corrosione galvanica.

Quest'ultima avviene qualora due metalli o parti dello stesso metallo a diverso potenziale, vengano posti in opera in contatto in presenza di un elettrolita quale l'acqua di falda; si forma una cella galvanica in corto circuito: gli atomi di ferro metallico dell'acciaio trovano le condizioni energetiche favorevoli per passare in soluzione nell'acqua come cationi di ferro ferroso. La parte di metallo meno nobile (a potenziale minore) si ossida; per ogni ione di ferro passato in soluzione corrispondono due elettroni in eccesso che migrano verso la parte di metallo più nobile (il catodo) e poi passano ad una delle due specie riducibili presenti in soluzione: Fe^{2+} e O^2. Siccome l'ossigeno è più ossidante del ferro, si riduce formando ioni ossidrili che reagiscono a loro volta col ferro ferroso formando idrossido ferroso $Fe(OH)_2$, precipitato poco solubile. Se nell'acqua è presente anche ossigeno disciolto l'idrossido ferroso si ossida e forma idrossido ferrico $Fe(OH)_3$ che è un prodotto completamente insolubile con una buona adesione al metallo su cui va a depositarsi; questo fatto si traduce nella formazione di una specie di pellicola protettiva che inibisce il proseguimento del processo corrosivo (Chiesa, 2003).

L'acqua di falda intercettata dal pozzo può risultare incrostante, corrosiva o addirittura indurre contemporaneamente sia corrosione che incrostazione. In generale, il fenomeno più spesso innescato dall'acqua di falda è quello dell'incrostazione, soprattutto quando si tratta di pozzi per acqua fredda; può capitare tuttavia di trovare acque sottosature in carbonato di calcio che devono essere considerate corrosive. Il carbonato di calcio è il più comune prodotto dell'incrostazione ma comunque molto frequenti sono anche gli ossidi di ferro e/o manganese, questi ultimi sovente associati ad attività batterica.

La durezza dell'acqua può essere definita come il suo contenuto in sali di calcio e di magnesio. Alla durezza totale contribuiscono in misura minore alluminio, manganese, ferro e zinco. La durezza relativa al solo contenuto dei carbonati di calcio e magnesio è definita durezza temporanea; il contributo dei non carbonati è normalmente una piccola componente della durezza totale e ai fini della determinazione della capacità corrosiva o incrostante dell'acqua può essere trascurata (Schnieders, 2003).

La quantità di sali di calcio che principalmente determina la durezza dell'acqua di falda è un parametro molto importante in quanto è sulla capacità dell'acqua di depositare o sciogliere carbonato di calcio che si basano le valutazioni sul potere incrostante o corrosivo dell'acqua stessa.

Per determinare il carattere corrosivo o incrostante dell'acqua di falda sono utilizzati comunemente due indici numerici: il **Langelier Sauration Index (LSI) e il Ryznar Stability Index (RSI).** Entrambi questi indici si basano sul calcolo del pH di saturazione per il carbonato di calcio (pH_s) il quale poi viene messo in relazione col pH effettivo dell'acqua secondo le seguenti relazioni:

$$LSI = pH - pH_s$$
$$RSI = 2\ pH_s - pH$$

LSI e RSI si basano entrambi sull'assunto che quando il carbonato di calcio eccede la quantità che può restare in soluzione allora precipita e che quanto più il pH è basso tanto più l'acqua risulterà aggressiva. Il fatto che la corrosione si manifesti a bassi livelli di pH è un assunto che va bene in sistemi idraulici principalmente costituiti da materiali ferrosi. In generale quindi:

pH_s > pH acqua aggressiva
pH_s = pH acqua bilanciata
pH_s < pH acqua incrostante

Per il calcolo di questi indici è necessario conoscere la quantità totale di solidi disciolti, detta TDS, il pH, la durezza e la temperatura all'origine oltre che l'alcalinità totale (di solito espressa in termini di contenuto di bicarbonati). E' possibile trovare molti calcolatori online di questi due indici (ad es. http://www.lenntech.com/calculators/ryznar/index/ryznar.htm e http://www.lenntech.com/calculators/langelier/index/langelier.htm).

La quantità totale di solidi disciolti è un buon indicatore speditivo della qualità dell'acqua. In genere ad un aumento del TDS corrisponde una maggiore probabilità di avere a che fare con problemi di qualità. La quantità totale di solidi disciolti è in rapporto di proporzionalità diretta con la conducibilità elettrica e quindi può essere stimata sulla base delle misure di conducibilità.

Bisogna prestare attenzione al fatto che mentre l'incrostazione avviene in dipendenza dei fattori TDS – pH – temperatura – alcalinità – durezza, questi influiscono sulla capacità corrosiva dell'acqua in modo indipendente. Per esempio nel caso dell'LSI, acque con bassa alcalinità, morbide ma con pH molto alto o molto basso possono essere corrosive anche se l'indice non lo predice. Questo a causa del fatto che non c'è sufficiente quantità di carbonato di calcio e alcalinità per la formazione di una incrostazione protettiva. E' bene utilizzare LSI solo quando l'alcalinità è maggiore di 40 mg/l, c'è una sufficiente concentrazione di calcio e il pH varia tra 6,5 e 9,5.

Entrambi questi indici, proprio perché si basano sulla saturazione in carbonato di calcio, sono molto più validi per predire l'incrostazione che non la corrosione. Tuttavia l'indice di Ryznar fornisce predizioni migliori.

Secondo Schnieders (2003) un acqua con alcune delle seguenti caratteristiche deve essere considerata potenzialmente corrosiva:

LSI<-0,5	H_2S>1 mg/l	O_2>2 mg/l	RSI>7
CO_2>50 mg/l	Cloruri>200 mg/l	TDS>1000 mg/l	

Quando due o più dei precedenti agenti corrosivi si manifesta contemporaneamente, l'alta probabilità dell'attacco corrosivo al metallo deve destare preoccupazione e uno dei possibili indirizzi progettuali per quanto riguarda il casing è senz'altro l'acciaio inox di tipo austenitico. L'AISI 304 è un materiale che mostra un'ottima resistenza agli attacchi corrosivi di natura chimica ma in presenza di acque in condizioni anossiche o di alte concentrazioni di cloruri o alogenuri può subire danni corrosivi consistenti in tempi relativamente brevi. Infatti se l'acqua presenta una forte carenza di ossigeno lo strato di ossido di cromo può avere difficoltà a conservarsi; i cloruri e gli alogenuri (soprattutto lo ione Cl^-) spezzano il film passivante. In questo caso occorre orientarsi verso altri acciai come il 316 o il 316L che grazie alla presenza del molibdeno assicurano un migliore resistenza. Sicuramente l'alta percentuale di elementi pregiati come Ni, Cr, Ti, Nb, Ta, rende questo tipo di acciaio piuttosto costoso.

L'altro indirizzo progettuale nel caso di acque fortemente aggressive è senz'altro il materiale termoplastico se naturalmente questo soddisfa le esigenze legate alle sollecitazioni meccaniche.

I materiali termoplastici disponibili per i pozzi attualmente in commercio sono il PVC ed il PPHM; entrambi hanno un'ottima resistenza all'aggressività dell'acqua ed inoltre sono molto meno sottoposti dell'acciaio alle incrostazioni sia minerali che batteriche. I materiali termoplastici cono

inoltre insensibili all'azione delle correnti vaganti.

Il fenomeno della corrosione da correnti vaganti è responsabile di notevoli danni a carico delle strutture metalliche interrate, in particolare tubi. Il terreno infatti, a causa della sua umidità permanente e dei Sali in esso disciolti costituisce la fase a conduzione ionica di una vera e propria cella galvanica i cui elettrodi sono due punti diversi della struttura metallica interrata, nel caso in cui questa sia percorsa da una corrente elettrica vagante.

Si definisce corrente vagante una corrente dispersa nel terreno da tutti gli impianti elettrici con presa a terra: linee di trazione elettrica con ritorno su rotaia; impianti radiofonici e telefonici, ecc.

Queste correnti incontrando nel loro percorso un materiale metallico vi penetrano a causa della minore resistività di questo rispetto al terreno e quindi ne fuoriescono; sfruttano il metallo interrato come corsia preferenziale nel loro viaggio di ritorno alla sottostazione.

Poiché il metallo è un conduttore di prima classe, il punto di ingresso della corrente è quello a potenziale elettrico minore (catodo) mentre quello di uscita è a potenziale elettrico maggiore (anodo);dato che la natura chimica del metallo attraversato è la stessa subisce la corrosione la zona a potenziale elettrico maggiore. Il polo positivo si trova, nella tubatura interrata, proprio nel punto di uscita della corrente vagante.

Le lesioni da correnti vaganti sono difficilmente contrastabili con sistemi passivi: le condutture importanti (olio, gas) sono protette in modo attivo col sistema della protezione catodica, facendo percorrere la tubazione da una corrente.

Quando si è in presenza di correnti vaganti perciò, il metodo di contrasto più efficace è quello dell'utilizzo di materiali termoplastici per lo meno fino a profondità di sicurezza. Altrimenti si può realizzare un avampozzo di profondità adeguata, completamente cementato in modo da sfruttare quanto più possibile le caratteristiche di materiale dielettrico e impermeabile.

E' importante in fase progettuale capire per quanto possibile con che tipo di acqua si avrà a che fare: la cosa è naturalmente più semplice sei sta progettando un'opera nuova nell'ambito dell'ottimizzazione e/o dell'espansione di un campo pozzi già esistente mentre è più complicata se il target della perforazione è una falda sconosciuta. E' inoltre importante verificare il contesto ambientale con particolare riguardo alla presenza di correnti vaganti. Occorre infine evitare di porre in opera acciai con caratteristiche diverse.

Come accennato, le acque più comuni sono di tipo incrostante. Se l'acqua è dura e la velocità di ingresso nel pozzo si avvicina troppo o eccede 0,03 m/s, l'acqua tende a degassare perdendo CO_2 e precipitando carbonato di calcio.

Le incrostazioni sono relativamente facili da trattare prima che induriscano e diventino troppo dure e più difficili da trattare. Questo non vale solo per le incrostazioni dovute al carbonato di calcio ma anche per quelle dovute agli ossidi di ferro e manganese.

In generale un'acqua deve essere considerata incrostante se:

LSI>2	pH > 7,5	Fe>0,5 mg/l
Durezza>30°F	Mn>0,2 mg/l	RSI<7

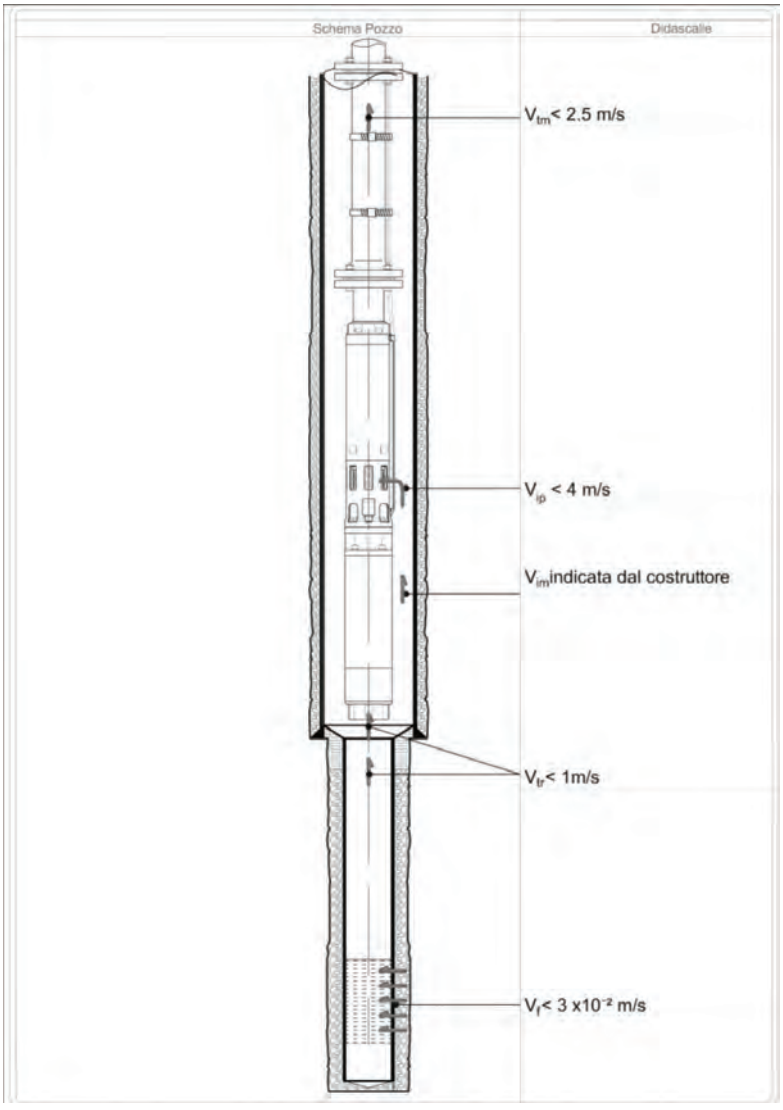
Le incrostazioni su tubi e filtri possono essere rimosse sia per via meccanica che chimica o tutte e due. Pistonaggio, jetting tool e hydropuls sono i metodi meccanici più comuni e sono molto efficaci ma devono essere utilizzati da esperti in quanto una erogazione insufficiente dell'energia non sarebbe efficace e al contrario una erogazione eccessiva potrebbe causare brutte sorprese come il lesionamento del pozzo o addirittura il suo franamento. Il metodo chimico si basa sul lavaggio del pozzo con prodotti destinati alla rimozione delle incrostazioni ed alla disinfezione.

APPENDICE V
VELOCITÁ DI FLUSSO

Il rispetto dei limiti della velocità di flusso dell'acqua in un pozzo ha lo scopo di:

- Evitare il moto turbolento in corrispondenza dell'ingresso dell'acqua nei filtri e quindi minimizzare le perdite di carico idraulico.
- Contenere le perdite di carico idraulico lungo i diversi tratti di tubazione.
- Consentire lo scambio termico sufficiente al raffreddamento del motore sommerso.

Legenda della figura
V_{tm} = velocità nel tubo di mandata della pompa
V_{ip} = velocità nell'intercapedine pompa - tubazione
V_{im} = velocità nell'intercapedine motore sommerso – tubazione
V_{tr} = velocità nella tubazione di risalita al di sotto della pompa
V_f = velocità di flusso nel filtro meccanico



APPENDICE I
SPESSORE DEI TUBI

Lo spessore della tubazione di rivestimento sarà calcolata essenzialmente in funzione della resistenza allo schiacciamento.

Per eseguire tale calcolo si userà la seguente formula:

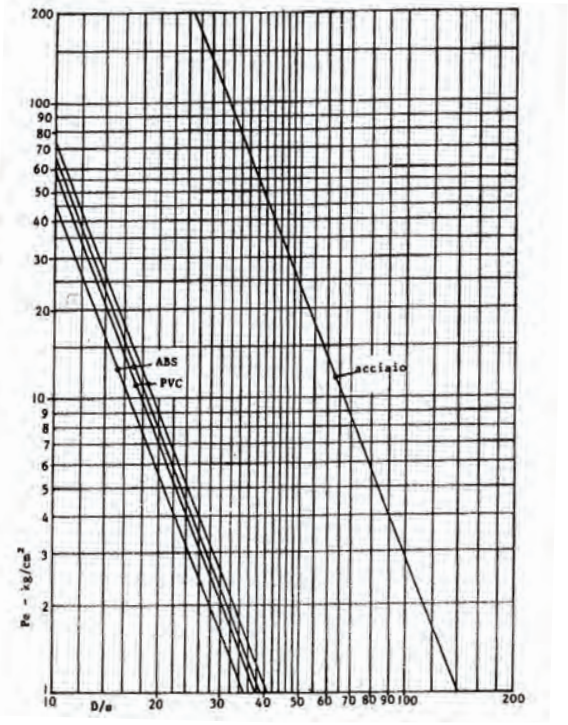
$$Pe = \frac{2E/(1-\rho^2)}{(D/s)(D/s-1)^2}$$

s = spessore, mm
D = diametro esterno, mm
E = modulo elasticità
(2.100.000 kg/cm² per acciaio
25.000 kg/cm² per PVC (oppure 32.000))
ρ =rapporto di Poisson (=0,3)

Si applicherà quindi un coefficiente di sicurezza pari a 1,5.

Resistenza alla pressione esterna per tubi in acciaio e PVC

D = diametro esterno, S = spessore



APPENDICE C (Informativa)
DETERMINAZIONE DELL'INDICE DI TURBOLENZA (TURBULENCE INDEX T.I.)

Il criterio di valutazione dell'efficienza del pozzo denominato "metodo dell' indice di turbolenza (Turbulence Index Method - T.I.M.) si basa sul calcolo di un indice di turbolenza. TI, che è calcolato mediante l'equazione A l :

$$TI(\%) = 100 \times (C \times Q^n)/S \qquad (Al)$$

dove:

- **C** è il fattore delle perdite di carico per moto turbolento (s^2/m^5 il cui valore si ricava come coefficiente angolare della retta relativa al diagramma s/Q - **Q** [l] oppure tramite la formula di Castany [2];
- **n** è l 'esponente delle perdite di carico in regime turbolento, assunto pari a 2;
- **Q** è la portata del pozzo (m^3/s), ossia il volume di acqua estratta nell'unità di tempo, misurabile mediante gli usuali sistemi di cantiere (vasca di volume noto, flussimetro, contatore Woltmann ecc.);

s è l 'abbassamento rilevato in pozzo (m), ovvero la differenza tra il livello statico, con pozzo a riposo, ed il livello dinamico, con pompa in esercizio.

Il prospetto A. l fornisce i valori di *TI.* per la valutazione dello stato del pozzo.

Prospetto A.l Valutazione dello stato del pozzo mediante il *T.I.*

Valori del *T.I.* (%)	**Valutazione dello stato del pozzo**
T.I. < 10%	Perdite per flusso turbolento fortemente ridotte, pozzo molto efficiente
I l % < *T.I.* < 20%	Perdite per flusso turbolento limitate, pozzo efficiente
21% < *T.I.* < 30%	Perdite per flusso turbolento aprezzabili, pozzo discretamente efficiente
31 % < *T.I.* < 50%	Perdite per flusso turbolento sensibilmente elevate, pozzo ai limiti dell' efficienza: possibile necessità di rispurgare il pozzo per tentare di abbassare il *T.I.*
51 % < *T.I.* < 65%	Perdite di carico per turbolenza notevoli, pozzo inefficiente: si rendono necessarie indagini ad hoc per stabilire le cause
66 % < *T.I.* < 80%	Perdite per flusso turbolento non accettabili: pozzo difficilmente recuperabile
T.I. > 81%	Pozzo mal completato e sviluppato: non recuperabile con gli usuali metodi di sviluppo

Nell' esecuzione della prova si deve tenere presente che:
a) la prova di portata deve essere realizzata effettuando almeno 4 gradini di portata;
b) il primo gradino di portata deve essere dimensionato sia in termini volumetrici sia di portata;
c) se la curva *T.I.* - Q ha un andamento di tipo sinusoidale, ossia con due massimi separati da un valore più basso di tale indice, il collaudo è da ritenersi poco affidabile (per esempio, per un'insufficiente durata degli "step" di emungimento).