



SITI INQUINATI

(1)

SPECIFICHE TECNICHE PER INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE IN SITU

Gennaio 2003

Dr. Gianni Menchini
Dr. Davide Brandolin

PREMESSA

Il presente documento, stilato anche in base alle correzioni e integrazioni pervenute dai Dipartimenti Provinciali ARPA FVG e da alcuni professionisti, che hanno partecipato alle Sessioni della Scuola Permanente sui Siti Contaminati (www.arpa.fvg.it) ed operato per la caratterizzazione di siti inquinati in Friuli Venezia Giulia, vuole rivolgersi a chi (tecnici ARPA, enti pubblici, amministrazioni, imprese) debba affrontare la progettazione e la gestione delle indagini geognostiche nell'ambito del D.M. 471/99. A breve saranno predisposti due altri documenti, uno riguardante i **campionamenti** e l'altro le **analisi di laboratorio** sui campioni prelevati in sito.



L'intenzione è quella di standardizzare il più possibile a livello regionale le procedure e le tecniche d'indagine applicate in un sito contaminato, in modo da poter **gestire** in seguito in modo **organico** le informazioni acquisite sul campo. Non si vuole entrare nel merito della dimensione o della gravità dell'evento inquinante, quanto del **metodo** di approccio alle tecniche di indagine e ai **risultati** che si vogliono ottenere (tecniche e analisi saranno condotte in modo analogo, sia che si tratti di un serbatoio interrato che di un polo chimico).



Entra in gioco quindi la fondamentale presenza di un **tecnico**, incaricato dal committente, con il compito di progettare, coordinare e seguire le indagini sin dal primo intervento, curandone e registrandone gli aspetti più importanti e delicati. Non è immaginabile elencare e trattare tutta la casistica possibile di eventi, per cui tale figura di tecnico "in situ", dovrà agire con professionalità nell'affrontare le problematiche che gli si porranno innanzi e dovrà ovviamente confrontarsi con i tecnici delle diverse autorità di controllo, fermo restando l'attenersi alle indicazioni di massima sotto riportate, previste tra l'altro già negli allegati del D.M. 471/99.

Ciò che è auspicabile è che nell'agire vengano salvaguardati i punti cardine del suddetto decreto, riassumibili nei concetti del:

- 1) **comprendere** la situazione naturale presente nelle sue varie matrici;
- 2) **conoscere** le sostanze contaminanti, le concentrazioni, la pericolosità, il danno prodotto ed il rischio;
- 3) **ripristinare**, per quanto possibile, la situazione preesistente.

Il terzo punto sarà difficilmente raggiungibile se i primi due saranno stati affrontati in modo superficiale. Ad esempio, un piezometro correttamente ubicato nel sito perderà gran parte della sua utilità se, a causa del diametro ridotto, non consentisse il prelievo di campioni d'acqua, o un campionamento eseguito con una quartatura approssimativa diventerà fonte di insanabili conflitti in successive sedi amministrative o legali. Sono innumerevoli gli esempi di imprevedibili conseguenze per scelte apparentemente irrilevanti fatte in campo.



Gli interventi condotti in modo concordato e competente dovrebbero produrre due ordini di risultati: l'**efficacia**, derivante da un approccio univoco da cui consegue una robusta base di conoscenza per affrontare i successivi passi nelle procedure di bonifica;

l'**omogeneità** delle informazioni acquisite, più agili da ordinare, informatizzare e gestire.

Questi risultati corrispondono agli obiettivi di creare una procedura d'intervento, grazie alla quale qualsiasi soggetto coinvolto nella caratterizzazione di un sito inquinato faccia riferimento sempre ad un determinato criterio, e di ottenere gli elementi per costruire un Sistema Informativo Territoriale che consenta di avere in tempo reale un quadro dettagliato delle diverse situazioni e indicazione sulla loro evoluzione.

INDICE

1. DOCUMENTAZIONE GENERALE DI CANTIERE	4
--	---

INDAGINI DIRETTE

2. POZZETTI ESPLORATIVI O SCAVI GEOGNOSTICI	5
3. SONDAGGI MECCANICI E PERFORAZIONI	7
3.1 Prescrizioni generali	7
3.2 Caratteristiche esecutive e stratigrafia	
3.2.1 Utensili ed attrezzature	8
3.2.2 Modalità esecutive	9
3.2.3 Rilievo litostratigrafico	11
3.2.4 Rilievo della falda	11
3.2.5 Cassette catalogatrici	12
3.2.6 Fotografie	12
3.3 Prova penetrometrica SPT	13
3.4 Prova di permeabilità in pozzo (Lefranc)	13
3.5 Altri metodi di perforazione	
3.5.1 “Wire-line” (recupero a fune)	15
3.5.2 Aria a circolazione diretta	16
3.5.3 Aria a circolazione inversa	16
3.5.4 Percussione a secco	17
3.6 Indagine con sonda televisiva	18
3.7 Piezometri T/A (tubo aperto)	
3.7.1 Modalità di installazione	18
3.7.2. Sviluppo del pozzo	20
3.7.3. Spurgo del pozzo	20
3.8 Piezometri tipo Casagrande	21

INDAGINI INDIRETTE

4. PROVE PENETROMETRICHE STATICHE	23
5. METODO “GEON (ex-BAT)”	24
6. CONDUCIBILITA' IDRAULICA- DIREZIONE DI FLUSSO	25
6.1 Pozzetto superficiale	25
6.2 Slug Test	25
6.3 Prova di pompaggio (Acquifer Test)	25
6.4 Traccianti	26
7. METODI GEOFISICI	28

ALLEGATI

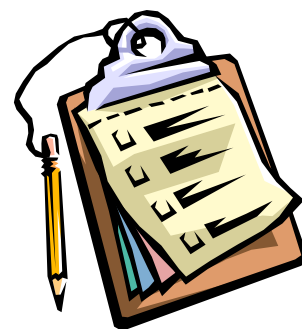
Allegato A – PRESCRIZIONI GENERALI	29
Allegato B – CARATTERISTICHE ESECUTIVE DEI SONDAGGI	33
Allegato C – PIEZOMETRI	39
Allegato D – PROVE PENETROMETRICHE STATICHE	41
Allegato E – SISTEMA “GEON”	45
Allegato F – CONDUCIBILITA' IDRAULICA	47
Allegato G – SOLUZIONI PER DECONTAMINAZIONE	50
Allegato H – MATERIALI PER TUBAZIONI PIEZOMETRICHE	51
Allegato I – PIEZOMETRI: PROBLEMI DA ERRATA PROGETTAZIONE	52

1 DOCUMENTAZIONE GENERALE DI CANTIERE

Le tipologie di indagine di seguito elencate sono caratterizzate da modi, mezzi impiegati e tempi di svolgimento molto diversi.

Esse sono d'altra parte accomunabili dal punto di vista descrittivo per tutta una serie di elementi ed informazioni che possono essere standardizzate e uniformate.

A prescindere dal tipo di indagine sarà pertanto possibile, e auspicabile, fornire comunque una documentazione contenente dati generali omogenei, quali:



- la **data** o il periodo delle indagini;
- **indirizzo**, località, comune, provincia;
- il **tipo di indagine** effettuato;
- **nome** dell'operatore o della ditta esecutrice;
- una **cartografia** d'inquadramento C.T.R. (Carta Tecnica Regionale) scala 1:25.000;
- se reperibile, **cartografia storica** dell'area interessata;
- una planimetria del sito (C.T.R. scala 1:5000) con l'indicazione dei punti indagati;
- mappa catastale (alle scale disponibili);
- estratto cartografico dello **strumento urbanistico** comunale vigente (P.R.G.C.) riguardante la zonizzazione e le norme di zona;
- l'ubicazione **georeferenziata** delle aree o dei punti indagati: se riportato su una C.T.R. il dato è da riferire al reticolo di coordinate chilometriche Gauss-Boaga (es. 5070325,5 Nord - 2410222,8 Est - Ellissoide Roma 1940) oppure se ricavato da misurazione GPS, si dovrà restituire il dato in coordinate geografiche riferite al sistema WGS 84 (es. 45° 46' 624" Nord – 13° 35' 301" Est);
- tipo o modello dei mezzi utilizzati e loro descrizione sommaria;
- documentazione **fotografica** a colori dello svolgimento dell'indagine e dei mezzi impiegati;
- eventuale documentazione fotografica o filmata in formato digitale (file con estensione .bmp, .gif, .tif, .jpg, .mpeg, .avi, ecc.);
- note riguardanti il motivo dell'indagine e qualsiasi dato ritenuto significativo o anomalo;
- **responsabile del procedimento** che segue tutte le fasi delle indagini, la cui sequenza dovrà essere riportata in un **cronoprogramma** (vedi all.A), concordato anche in eventuali tavoli tecnici



Per quanto riguarda le forme d'indagine, dirette ed indirette, di seguito elencate, sotto la voce **documentazione** verrà volta per volta richiesta un'ulteriore lista di informazioni necessarie per la migliore gestione dei dati acquisiti.

INDAGINI DIRETTE

2 POZZETTI ESPLORATIVI O SCAVI GEOGNOSTICI

I pozzetti esplorativi sono realizzati, per mezzo di un **escavatore** a benna rovescia (o di altro mezzo meccanico con prestazioni analoghe) e vanno spinti sino alla profondità massima consentita dal braccio, in genere 4 - 6 metri.

L'ambito di utilizzo riguarda i **terreni sedimentari** e rocce molto tenere o alterate.



Particolare attenzione dovrà essere rivolta agli scavi eseguiti in aree con **livello falda** prossimo alla superficie; sarà buona norma informarsi sui livelli freatici al fine di evitare lo sfondamento di eventuali strati impermeabili che proteggono l'acquifero.

Il **materiale estratto** dal pozzetto dovrà venire accumulato ordinatamente di fianco al pozzetto stesso, ad una distanza dalle pareti dello scavo sufficiente a permettere il proseguimento dello scavo ed il prelievo di campioni in condizioni di sicurezza.

Durante gli scavi verranno prelevati dei **campioni** di terreno da sottoporre ad analisi di laboratorio (*per le operazioni di prelievo e formazione del campione si veda la dispensa n° 2, di prossima redazione*). Per scavi di profondità superiore a 1,5 m, il campionamento, per ragioni di sicurezza, non dovrà mai essere eseguito dall'interno del pozzetto, ma sempre dal materiale scavato. I campioni potranno essere prelevati dalle pareti e dal fondo soltanto qualora siano state garantite le condizioni di sicurezza e la stabilizzazione delle pareti.

I **parametri geotecnici** acquisibili in situ, per profondità superiori a 1,5 m, vanno presi su zolle e blocchi estratti dallo scavo; è da sconsigliare infatti per motivi di sicurezza l'acquisizione di qualsiasi dato direttamente dalle pareti di scavo, utilizzando la benna per calarsi nel pozzetto.

E' indispensabile prevedere la conoscenza delle reti interrato: lo scavo deve procedere gradatamente con metodo e accuratezza per limitare i danni che si potrebbero causare per l'eventuale intercettazione di **sottoservizi** non segnalati (*vedi par.7 – Metodi geofisici*). Inoltre è necessario prevedere la presenza di una persona di supporto all'operatore dell'escavatore meccanico che proceda nelle situazioni più complesse con scavo a mano.

E' opportuno verificare l'assenza di **perdite di lubrificanti**, oli e altre sostanze dai macchinari, dagli impianti e da tutte le attrezzature utilizzate durante il campionamento; nel caso di perdite si verifica che queste non producano contaminazione del terreno prelevato. Si devono riportare comunque le informazioni nel verbale di giornata.

Per l'eventuale **decontaminazione** delle attrezzature deve essere predisposta un'area delimitata.

Tutto il macchinario venuto in contatto con terreno **potenzialmente inquinato** dovrà essere lavato e pulito prima di essere utilizzato in un altro pozzetto. Si dovrà utilizzare acqua potabile e preferibilmente un'idropulitrice ad acqua calda in pressione, in modo da rimuovere tutti i residui dalle attrezzature prima di effettuare lo scavo successivo (*vedi all. A*)

In base all'ubicazione dei pozzetti, decisa preventivamente, l'area di "decontaminazione" sarà collocata in luogo idoneo (non interferente con gli scavi), con una "canaletta di sgrondo" che

convogli le acque di lavaggio lontano dalle zone d'indagine e da zone presumibilmente non contaminate.

E' da raccomandare che gli operatori abbiano sempre con sé alcuni teli impermeabili in plastica: in presenza infatti di **contaminazione evidente** già agli operatori, sarà necessario che il materiale prelevato dallo scavo venga posto sopra un telo e non direttamente sul terreno. In questi casi nell' "area di decontaminazione" si dovrà altresì allestire uno scavo a vasca impermeabilizzata che consenta il successivo pompaggio e aggottamento del liquido proveniente dai lavaggi delle attrezzature.

Al **termine delle operazioni** di esame e campionamento gli scavi verranno richiusi riportando il terreno scavato in modo da ripristinare all'incirca le condizioni stratigrafiche originarie e costipando adeguatamente il riempimento.

Documentazione

La documentazione di ciascuno scavo comprenderà, oltre alle informazioni generali contenute a pag. 4:



- una stratigrafia sommaria di ciascun pozzetto con la descrizione degli strati rinvenuti;
- l'indicazione dell'eventuale presenza d'acqua ed il corrispondente livello dal piano campagna;
- l'indicazione di eventuali colorazioni anomale, di odori e dei campioni prelevati per l'analisi di laboratorio;
- l'indicazione dell'eventuale presenza di sottoservizi o manufatti;
- il valore di eventuali parametri geotecnici misurati in situ.

OPERATIVITA' DI ARPA- FVG:

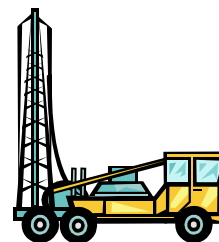
I tecnici ARPA-FVG possono trovarsi ad operare in:

- **Direzione Lavori**
- **Assistenza alle indagini**

3. SONDAGGI MECCANICI E PERFORAZIONI

3.1 Prescrizioni generali

I sondaggi devono seguire per quanto possibile le seguenti modalità esecutive (*vedi allegato A*):



1. (no collegamento livelli freatici)

- Le verticali di perforazione costituiscono elemento di vulnerabilità in quanto pongono potenzialmente in comunicazione matrici ambientali in genere nettamente separate. E' raccomandata la cautela nell'avanzamento della perforazione, evitando, quando non richiesto, di attraversare il primo strato impermeabile sottostante il livello di terreno inquinato, determinando così l'indesiderata comunicazione idraulica fra livelli freatici diversi.

2. (no sostanze esterne)

- E' da evitare l'utilizzo di qualunque sostanza in grado di compromettere la rappresentatività, dal punto di vista chimico, dei campioni di terreno prelevati. Pertanto gli strumenti e le attrezzature impiegate nelle diverse operazioni devono essere caratterizzati da modalità costruttive e materiali tali da non comportare nessuna contaminazione o variazione delle caratteristiche chimico-fisiche delle matrici ambientali indagate;
- è tassativamente vietato l'utilizzo di oli e grassi che non siano di origine vegetale e l'utilizzo di corone verniciate;
- dovrà essere verificata la messa a punto ed il corretto funzionamento dei macchinari, degli impianti e di tutte le attrezzature da utilizzare per l'indagine, prima dell'uso effettivo sul sito, in modo da evitare la perdita di lubrificanti, carburanti e altre sostanze durante le fasi di perforazione e campionamento;
- particolare cautela sarà necessaria nei primi metri di avanzamento per evitare la perforazione di eventuali fusti interrati.

3. (no fluidi di perforazione)

- Il carotaggio dovrà avvenire a secco, fin quando possibile, ed a bassa velocità. Qualora dovesse risultare indispensabile per l'avanzamento l'utilizzo del fluido di perforazione, dovrà essere usata acqua pulita, eventualmente additivata con polimeri biodegradabili;
- l'estrusione della carota dovrà avvenire a secco.

4. (lavaggio)

- Sarà predisposta un'area per la decontaminazione delle attrezzature; è necessario che tale area sia delimitata e resa impermeabile (*vedi pozzetti geognostici cap. 2*), posta ad una distanza dal punto di campionamento sufficiente ad evitare diffusione del materiale inquinante dilavato;
- prima dell'inizio della perforazione il carotiere, le aste ed i rivestimenti metallici dovranno essere accuratamente lavati con acqua potabile, utilizzando l'idropulitrice ad acqua calda ed alta pressione;
- analogo procedimento sarà da applicare ad ogni manovra di carotaggio, rimuovendo completamente, dall'esterno e dall'interno dell'utensile, qualsiasi residuo di materiale potenzialmente inquinante; l'acqua e la condensa presenti sulle pareti dell'utensile devono poi evaporare naturalmente o, quando ciò non avviene, essere asciugate con carta da filtro pulita;
- per quanto detto sopra è consigliabile ricorrere all'uso alternato di due carotieri;

- è necessaria infine la pulizia dei contenitori e dell'impianto di circolazione per l'acqua di perforazione prima dell'inizio di ogni sondaggio.
- la decontaminazione può avvenire attraverso l'utilizzo di diversi tipi di soluzioni, a seconda del tipo di inquinante e di inquinamento (*vedi tabella in all. G*)

5. (acquisizione di elementi in situ)

Sono da determinare:

- la stratigrafia dei materiali incontrati;
- il livello della falda o delle falde eventualmente presenti;
- parametri geotecnici con prove geotecniche in sito quali: permeabilità (prova Lefranc), coesione apparente e angolo d'attrito (Vane Test e Pocket Penetrometer);
- evidenze visive e olfattive del campione, atte alla caratterizzazione litologica ed all'individuazione di inquinanti presenti nel terreno;

6. (prelievo di campioni → dispensa n° 2 di prossima pubblicazione)

7. (chiusura del foro)

- Tutte le perforazioni non attrezzate con tubi piezometrici dovranno essere interamente riempite e sigillate con bentonite granulare e/o con iniezione di miscela di bentonite/cemento tramite aste da fondo foro.

8. (registro di giornata)

- Tutte le operazioni effettuate in cantiere dovranno essere riportate nel verbale di giornata; è tassativo riportare qualsiasi informazione riguardante condizioni operative o eventi accidentali accaduti nell'ambito delle operazioni di sondaggio che possono avere causato omissioni o difformità rispetto ai punti sopra elencati.

E' opportuno che tutte le suddette operazioni vengano seguite da un tecnico esperto, iscritto all'ordine professionale, che firmi i relativi elaborati.

3.2 Caratteristiche esecutive e stratigrafia

3.2.1 Utensili e attrezzature

UTENSILI DI PERFORAZIONE

- Carotieri semplici, con valvola di testa a sfera e calice, carotieri doppi e tripli;
- diametro nominale $\varnothing_{est}$: non inferiore a 101 mm;
- lunghezza utile ($l = 150 \div 300$ cm)
- corone di perforazione in widia o diamante (da escludere corone verniciate);
- aste di perforazione (*filettatura tronco-conica*, $\varnothing_{est} = 60 \div 76$ mm)

UTENSILI DI PULIZIA FONDO FORO

- Carotieri semplici ($l = 40 \div 80$ cm)
- Campionatore (*a pareti grosse*, - diam. $\varnothing 100$ mm - con cestello di ritenuta alla base)

RIVESTIMENTI PROVVISORI

Il rivestimento provvisorio seguirà immediatamente la manovra di perforazione. Qualora i terreni attraversati assicurassero il temporaneo autosostentamento delle pareti del foro, l'avanzamento del rivestimento seguirà le manovre di carotaggio. I rivestimenti saranno in acciaio, con le seguenti caratteristiche:

- Spessore tubo ($8 \div 10 \text{ mm}$)
- Diametro esterno $\varnothing_{\text{est}}$ ($127-178... \text{mm}$)
- Diametro interno $\varnothing_{\text{int}}$ ($110-162... \text{mm}$)
- Lunghezza spezzoni ($50 \div 150 \text{ cm}$)

STRUMENTI DI CONTROLLO E PROVA

Devono fare parte del corredo della sonda i seguenti strumenti:

- Scandaglio a filo graduato, per misura della quota reale di fondo foro
- Sondina piezometrica elettrica
- Penetrometro tascabile, fondo scala $\geq 5 \text{ Kg/cm}^2$
- Scissometro tascabile

3.2.2 Modalità esecutive

Le modalità esecutive del sondaggio sono le seguenti:

a) Carotaggio

Si definisce “carotiere” un tubo di acciaio, sagomato in modo da avere una parte tagliente all'estremità inferiore. Esistono molti tipi di carotiere (semplice, doppio, per roccia, ecc) ma il principio d'uso è sostanzialmente lo stesso.

Il sistema convenzionale per l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo consiste nell'infissione (a spinta e rotazione) di un carotiere (semplice o doppio) per una lunghezza variabile. La spinta e la rotazione vengono impresse da aste di piccolo diametro; il recupero del carotiere, al termine della manovra di carotaggio, avviene con le aste stesse, così come il posizionamento del carotiere a fondo foro prima della manovra di carotaggio.

Il tratto precedentemente carotato, dopo l'estrazione del carotiere, viene rivestito con tubazione di diametro interno maggiore di quello del carotiere.

Il carotaggio deve essere integrale e rappresentativo del terreno attraversato, con percentuale di recupero $> 90\%$. La velocità di rotazione dovrà essere moderata per limitare l'attrito con il conseguente surriscaldamento del terreno, soprattutto nel caso di ricerca di elementi volatili o termodegradabili.

Qualora le necessità di indagine lo richiedano (es.: piezometri per acquiferi profondi, ricerche mirate,...) o le condizioni di avanzamento diventino difficoltose (necessità di fluido di perforazione, sondaggi inclinati,...), sarà possibile attraversare livelli particolarmente compatti o ritenuti non interessanti ai fini dell'indagine, utilizzando la modalità a **distruzione di nucleo** (l'attrezzo di perforazione avanza fresando e sbriciolando la roccia ed i frammenti – “cuttings” – vengono portati in superficie dal fluido di perforazione).

Resta comunque ferma la necessità di eseguire accurati campionamenti con frequenza pari almeno al 15-20% dello spessore degli strati attraversati; per tali operazioni sarà necessario

utilizzare un **doppio carotiere** (rigido o girevole), in modo da isolare il campione dal fluido di circolazione e preservarne le caratteristiche. In questo modo sarà possibile ottenere informazioni utili sulla stratigrafia, sui litotipi incontrati, sulla presenza ed il grado di fatturazione o di porosità secondaria, riservandosi la possibilità di eseguire analisi di laboratorio, pur evitando gli oneri di un avanzamento a carotaggio continuo in profondità.

Come opzione al carotaggio a fondo foro possono essere prelevati campioni o eseguite prove in situ (prove di permeabilità, prove di resistenza meccanica, ecc).

b) Prelievo di campioni indisturbati

Il campionamento indisturbato al fondo di un foro di sondaggio può avvenire con:

1. campionatori a pareti sottili (tipo Shelby, Osterberg....)

Vengono utilizzati in terreni coesivi e semi-coesivi da teneri a compatti. In questi:

- per parete sottile si intende che il rapporto fra la sezione del ferro e quella del campione deve essere inferiore a 0,15;
- la superficie interna della fustella/campionatore deve essere liscia, non ovalizzata, pulita ed a basso coefficiente di attrito (acciaio inossidabile);
- è auspicabile la presenza del pistone fisso, alla base della fustella, in modo da:

- evitare l'ingresso di terreno nella discesa a quota del campionatore;
- superare, prima di iniziare il campionamento, la parte più disturbata del terreno al fondo del foro;
- creare un vuoto alla testa del campione che ne impedisce la fuoriuscita per gravità durante l'estrazione.

Il tipo "Osterberg" garantisce una migliore qualità per terreni argillosi molli.

2. campionatori a pareti grosse

Ora non più impiegati in geotecnica (se non per campioni in sabbie e/o ghiaie), sono più utilizzati in caso di indagini "ambientali" dove la qualità del campione dal punto di vista geomeccanico non è importante rispetto all'esigenza di preservarne le caratteristiche chimiche; in qualche tipo di terreno la campionatura a percussione (o anche applicando spinta e rotazione) è l'unica alternativa al campione indisturbato a pareti sottili.

3. campionatori rotativi (tipo Denison, Mazier...)

Il loro campo di utilizzo riguarda in particolare terreni coesivi molto consistenti e talvolta anche materiali granulari compatti con matrice limo argillosa o con un certo grado di cementazione.

Per i campionatori rotativi è essenziale:

- che la scarpa tagliente abbia, nel tratto che sporge dalla corona in rotazione, un rapporto delle aree (fra ferro e campione) analogo a quello di quelli a pareti sottili;
- la parete del portacampione interno non deve ruotare e ciò deve essere garantito anche in presenza di notevoli pressioni verticali necessarie per la penetrazione/perforazione;
- che la superficie interna della fustella/campionatore sia liscia, non ovalizzata, pulita ed a basso coefficiente di attrito (acciaio inossidabile); spesso è anzi preferibile utilizzare una scarpa tagliente con un diametro di ingresso leggermente minore (decimi di millimetro) rispetto a quello interno della fustella per facilitare lo scorrimento fra le due superfici.

c) Rivestimento

La perforazione sarà seguita dall'infissione del rivestimento metallico, che avverrà a rotazione, a bassa velocità e con l'uso di fluido in circolazione rappresentato da acqua potabile, solo se dovesse risultare assolutamente indispensabile a consentire l'avanzamento della tubazione.

d) Stabilità a fondo foro

La stabilità del fondo foro sarà assicurata in ogni fase della lavorazione con particolare attenzione nei casi in cui il terreno necessiti di rivestimento provvisorio. L'estrazione degli utensili deve avvenire con velocità iniziale molto bassa ($1 \div 2$ cm/sec), eventualmente intervallata da pause di attesa per il ristabilimento della pressione idrostatica del fluido sul fondo foro. Ciò riguarda le fasi dell'estrazione del carotiere e delle fustelle dei campionatori ad infissione conclusa.

Indesiderabili effetti di risucchio possono anche verificarsi nel caso di brusco sollevamento della batteria di rivestimento, qualora occlusa all'estremità inferiore dal terreno per insufficiente circolazione di fluido durante l'infissione.

e) Controllo lunghezza batterie inserite in foro

La lunghezza esatta delle batterie inserite nel foro sarà misurata e riportata, a cura del geologo responsabile alla sonda, in un'apposita tabella.

f) Fluidi di circolazione

Il fluido di circolazione sarà costituito da acqua potabile. L'utilizzo di una modica quantità di acqua potabile sarà consentita solo durante l'infissione del rivestimento metallico, unicamente nei casi dove la tipologia del terreno attraversato imponga tale modalità di esecuzione.

g) Filtri (vedi par.3.5 – *installazione piezometri*)

3.2.3 Rilievo lito-stratigrafico

Il tecnico responsabile del cantiere compilerà una dettagliata scheda stratigrafica del sondaggio.

Documentazione

- vedi allegato B



3.2.4 Rilievo della falda

Nel corso del sondaggio verrà rilevato in forma sistematica il livello della falda nel foro. Qualora sia necessaria o prevista la perforazione di strati anche parzialmente impermeabili, è consigliabile eseguire misure del livello piezometrico al fine di rilevare eventuali variazioni dei livelli idrici (sfondamento di piccole falde sospese o risalita di falde artesiane).

Le misure verranno eseguite in particolare ogni mattina, per tutta la durata della campagna d'indagine, prima di riprendere il lavoro, con annotazione di quanto segue:

Documentazione

- livello acqua nel foro rispetto al p.c.;
- quota del fondo foro;
- quota della scarpa del rivestimento;
- data ed ora della misura.



Tali annotazioni devono comparire anche nella documentazione definitiva del lavoro.

3.2.5 Cassette catalogatrici

Le carote estratte nel corso della perforazione verranno sistemate in apposite cassette catalogatrici (in legno, metallo o plastica), munite di scomparti divisorii e coperchio, dopo averle avvolte in un telo di polietilene nuovo. Le carote coesive verranno scortecciate, le lapidee lavate.

Dei setti separatori suddivideranno i recuperi delle singole manovre, recando indicate le quote rispetto al piano campagna.

Negli scomparti saranno inseriti blocchetti di legno o simili a testimoniare gli spezzoni di carota prelevati ed asportati per il laboratorio con le quote di inizio e fine di tali prelievi.

Tutte le indicazioni segnate sulla cassetta, sui separatori e sui blocchetti di commento devono essere scritte chiaramente con pennarello indelebile. Le cassette catalogatrici devono essere riposte in luogo coperto e asciutto, e, in caso di sondaggi considerati “sensibili”, il luogo deve risultare inaccessibile ad estranei (deposito, container, magazzino ecc., chiudibile con lucchetto).

3.2.6 Fotografie

Le singole cassette verranno fotografate con pellicola a colori entro le 8 ore dal loro completamento, con pannello colorimetrico standard e scala di riferimento. Si richiede la completa leggibilità di tutte le indicazioni esistenti sulla cassetta ed una visione chiara delle carote contenute; si consiglia quindi una foto dall’alto e scattata da una distanza non superiore a 2 metri. Il negativo e 3 copie delle fotografie verranno allegate alla documentazione di lavoro fornita dall’Impresa esecutrice.

In alternativa, ferme restando le condizioni in sito, è possibile l’acquisizione delle immagini in alta risoluzione con mezzi digitali e restituzione su supporto informatico, in formato non compresso (.bmp, .tif., ecc.).

OPERATIVITA' DI ARPA- FVG:

I tecnici ARPA-FVG possono trovarsi ad operare in:

- ***Direzione Lavori***
- ***Assistenza alle indagini***

3.3 Prova penetrometrica SPT

SPT è l'acronimo di Standard Penetration Test (prova penetrometrica standard) e consiste in una prova di tipo discontinuo che viene eseguita nel corso della perforazione. Le caratteristiche sono standard: un maglio di 63,5 kg, cadendo su una batteria di aste da un'altezza di 76,2 cm, infigge a percussione un campionatore a pareti grosse per 3 tratti da 15 cm. La prova è eseguita in materiali fini con un campionatore che, estratto alla fine, contiene il materiale corrispondente all'intervallo indagato; vengono contati i colpi necessari per l'infissione solo degli ultimi due tratti. In materiali ghiaiosi o rocce tenere, il campionatore viene sostituito una punta conica chiusa, con angolo 60°. Il ritmo della percussione dovrà essere compreso tra 10 e 25 colpi/min. Il numero di colpi superiore a 50 per uno dei tratti di 15 cm indica l'avvenuto raggiungimento del rifiuto e la fine della prova.

La fase di avanzamento di un sondaggio viene interrotta (ad intervalli regolari o prestabiliti) per eseguire tale prova che consente di ottenere dati sulla consistenza e sul grado di addensamento dei terreni attraversati, nonché un loro campione. Il fondo del foro deve risultare al di sotto della scarpa dei tubi di rivestimento ed inoltre non più di 7 cm sopra la quota raggiunta con la manovra di perforazione e pulizia della scarpa (a causa di rifluimento di terreno o deposizione di detriti). Con uno scandaglio deve essere controllata la quota del fondo del foro prima dell'esecuzione della prova stessa: se la differenza con le quote raggiunte in precedenza dall'ultima manovra di perforazione o pulizia supera i cm 7, la prova deve venir sospesa e quindi si dovrà correggere l'avanzamento del tubo di rivestimento o ripetere l'operazione di pulizia e scandaglio.

Documentazione

- numero o riferimento del sondaggio in cui si esegue la prova;
 - quota di esecuzione della prova o delle prove SPT nel foro;
 - numero di colpi relativi ai due tratti di 15 cm;
 - descrizione del materiale presente all'interno del campionatore;
- (in genere i dati suddetti sono compresi nella scheda del sondaggio)



3.4 Prova di permeabilità in pozzo (Lefranc)

Si tratta di una prova di permeabilità (meglio “*conducibilità idraulica*”) da eseguirsi in fase di avanzamento della perforazione in terreni non rocciosi sotto falda o fuori falda, in quest'ultimo caso dopo avere saturato con acqua il terreno.

La prova, eseguita con le modalità di seguito specificate, è destinata a misurare la conducibilità idraulica orizzontale del terreno; si esegue misurando gli assorbimenti di acqua nel terreno, facendo filtrare l'acqua attraverso un tratto di foro predeterminato.

Tutto il tratto del foro non interessato dalla prova deve essere rivestito con una tubazione; particolare cura va rivolta all'evitare la risalita dell'acqua all'esterno del tubo di rivestimento, ad esempio mediante la posa in opera di un otturatore pneumatico (packer) atto ad isolare la cavità di prova immediatamente sotto la scarpa del rivestimento.

Nel caso di terreni a conducibilità medio-bassa la prova si esegue a carico idraulico variabile, nel caso di elevata conducibilità, a carico idraulico costante.

Le **modalità esecutive** di ciascuna prova saranno le seguenti:

- perforazioni con carotiere fino alla quota di prova;
- rivestimento del foro fino alla quota raggiunta dalla perforazione, senza uso di fluido di circolazione almeno negli ultimi 100 cm di infissione;
- nel caso il terreno interessato dalla cavità tenda a franare o a rifluire, si provvederà all'inserimento nella colonna di rivestimento di ghiaia pulita, fino a creare uno spessore di 60 cm dal fondo foro;
- sollevamento della batteria di rivestimento di 50 cm, con solo tiro della sonda o comunque senza fluido di circolazione;
- misura ripetuta più volte del livello d'acqua nel foro;
- nel caso di terreno fuori falda, immissione continua di acqua pulita nel foro per almeno 30 minuti primi.

Carico idraulico variabile

- Riempimento con acqua fino all'estremità del rivestimento (o abbassamento nel caso di prova sotto il livello di falda).
- Misura del livello dell'acqua all'interno (senza ulteriori immissioni) a distanza di 15'',30'',1',2',4',8',15' dall'inizio dell'abbassamento, fino al ristabilirsi del livello originale.

Carico idraulico costante

- Immissioni di acqua pulita nella batteria di rivestimento fino alla determinazione di un carico idraulico costante, cui corrisponde una portata assorbita dal terreno costante nel tempo e misurata.
- Il controllo della portata immessa a regime idraulico costante sarà determinata con contaltri di sensibilità pari a 0.1 litri.
- La taratura del contaltri deve essere verificata in sito riempiendo un recipiente di volume noto e di capacità superiore a 100 litri.
- Le condizioni di immissione a regime costante devono essere mantenute, senza variazione alcuna, per 10-20 min.

Il risultato ottenuto, se ricavato in **terreni insaturi**, deve essere considerato orientativo e utilizzato con cautela.

Documentazione

La documentazione di ciascuna prova comprenderà:

- informazioni generali;
- schema geometrico della prova;
- livello di falda;
- tempo di saturazione;
- portata a regime;
- registrazione degli abbassamenti in relazione ai tempi progressivi.



3.5 Altri metodi di perforazione

3.5.1 Metodo “wire-line”

I campionatori rotativi possono essere utilizzati anche con il sistema “a cavo” o “wire-line” (WL) o “recupero a fune”. Il metodo, nato inizialmente per la perforazione profonda (in particolare petrolifera) e poi a carotaggio continuo in roccia, è stato successivamente modificato per l'esecuzione di sondaggi in terreni di qualsiasi natura.

In ambito puramente “ambientale” superficiale (dell'ordine della decina di metri), la necessità di non impiegare fluido di circolazione limita l'impiego di qualsiasi sistema che faccia uso di circolazione di acqua o acqua e polimeri, fra cui il sistema WL che quindi si pone come metodo per l'esecuzione di indagini profonde.

Il sistema WL per l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo consiste nell'impiegare il carotiere dopo averlo reso solidale alla colonna di rivestimento (che, in questo caso, di fatto sostituisce le aste di perforazione); spinta e rotazione vengono impresse quindi dallo stesso rivestimento. Il sistema pertanto è costituito essenzialmente da:

aste di perforazione (o “colonna” di rivestimento) entro le quali, nella parte bassa terminale, è ricavata una sede per il carotiere o l'utensile di perforazione in genere;

carotiere o utensile di perforazione in genere: scorre all'interno delle aste di perforazione e possiede un sistema di aggancio che lo rende solidale alle aste, sia in termini di rotazione che di spinta; nell'intercapedine fra la parete esterna del carotiere e la parete interna delle aste scorre il fluido di circolazione, che ha il compito di lubrificare il foro ed asportare i detriti di perforazione.

Il fluido viene recuperato e decantato in superficie prima di essere rimesso in circolo.

A seconda del tipo di terreno vi possono essere diversi tipi di carotiere (a testa fissa, più o meno sporgenti dall'estremità delle aste, a doppia parete, ecc) o al posto del carotiere può essere calato dentro la batteria di aste un utensile disagregatore (trilama o scalpello a rulli) o un campionatore, o altro.

Metodo “WIRE-LINE”	
Vantaggi	Svantaggi
- qualità migliore del carotaggio (ossia con effetti di disturbo più limitati se confrontati con i metodi tradizionali) e (in genere) maggior percentuale di recupero; - maggior rapidità di esecuzione oltre una certa quota, il vantaggio cresce più che proporzionalmente con la profondità; - è richiesto minor sforzo alla perforatrice: il rivestimento è costantemente in rotazione e lubrificato dal fluido; - possibilità di intercambiare diversi tipi di utensile, sempre con recupero a fune e di eseguire anche manovre di recupero dopo brevi tratti di perforazione con conseguente aumento dell'accuratezza e senza aggravii per quanto riguarda i tempi complessivi di esecuzione.	- maggior complessità d'uso e necessità di grande esperienza da parte dell'operatore; - necessità di avere una continua circolazione di acqua e/o acqua e bentonite (polimero) all'esterno delle aste di perforazione, e quindi in caso di indagini ambientali tale sistema può provocare la diffusione di inquinanti assieme al fluido di circolazione; - maggior impegno nella installazione della sonda e preparazione dell'impianto di ricircolo dei fanghi; - gestione dei fanghi di perforazione (preparazione, iniezione, dosaggio, ricircolo, smaltimento a fine lavori); - maggior costo complessivo della perforatrice per la presenza di pompa fanghi adeguata e argano speciale, e soprattutto maggior costo dei carotieri e relativi accessori

Complessivamente quindi, salvo poche eccezioni, il sistema wire-line è applicabile e suggeribile limitatamente a sondaggi di una certa profondità (il limite inferiore di convenienza può essere considerato a circa 50 metri), in certi tipi di terreno, se il tipo di lavoro lo richiede e avendo a disposizione impianti adeguati e personale esperto. In sondaggi a scopo ambientale limitati a pochi metri di profondità tale sistema è sconsigliato, preferendo il sistema tradizionale ad aste, carotiere e rivestendo il foro “a secco” (ovvero con poca acqua). Viceversa tale sistema praticamente non ha alternative per indagini profonde.

3.5.2 Metodo ad aria a circolazione diretta

Identica alla perforazione con fanghi, solo che il fluido utilizzato è l'aria ad **alta pressione** (7 ~ 20 Atm). La velocità di avanzamento può essere aumentata aggiungendo piccole quantità d'acqua o altre soluzioni. I detriti portati in superficie sono di piccole dimensioni.

Per terreni incoerenti o sotto falda è consigliabile l'utilizzo del **rivestimento**, l'avanzamento del quale è “a secco” di circa 15-30 cm alla volta. L'utilizzo di uno scalpello **eccentrico** di diametro maggiore del rivestimento(es. metodo Odex), ne consente l'abbassamento per peso proprio ed una più facile estrazione.

Metodo ad "ARIA CON CIRCOLAZIONE DIRETTA"	
Vantaggi	Svantaggi
- tipi di impianti sempre disponibili; - elevata velocità di avanzamento in terreni rocciosi o molto compatti; - non c'è limitazione alla profondità raggiungibile; - facilità di identificazione delle variazioni litologiche; - con l'utilizzo del rivestimento si ottiene un buon isolamento degli orizzonti acquiferi e/o inquinati - è possibile il campionamento di livelli d'acqua in avanzamento	- senza rivestimento non applicabile in terreni sciolti o sottofalda per l'inevitabile frammento delle pareti; - detriti molto piccoli se si opera solo con aria; - necessario arrestare l'avanzamento per identificare acquiferi poco produttivi; - difficile identificare falde poco produttive operando con fluidi; - con l'utilizzo della tubazione provvisoria di rivestimento, la profondità raggiungibile è limitata dalla potenza di estrazione di essa, in genere 40-60 m; - per evitare alterazioni necessario filtrare l'aria usata per la perforazione.

3.5.3 Metodo ad aria a circolazione inversa

L'aria viene immessa nell'intercapedine asta cava/tubazione ed esce carica di detriti dall'interno delle aste. La frantumazione al fondo può avvenire per **percussione** o per **rotazione**. Il metodo a percussione avviene percuotendo dall'alto la tubazione esterna; in presenza di terreni duri e molto compatti non è sempre possibile l'avanzamento a percussione per cui bisogna perforare a **rotazione** o **rotopercussione**, con uno scalpello di diametro leggermente maggiore della tubazione di rivestimento, e sporgente circa 30 cm al di sotto di essa.

Metodo ad "ARIA CON CIRCOLAZIONE INVERSA"	
Vantaggi	Svantaggi
- si possono ottenere avanzamenti di 15-18 m/h in terreni sciolti e raggiungere profondità superiori ai 100 m; - detriti in superficie di medie dimensioni e mai impastati di fango; - possibile un campionamento perfetto dei terreni; - possibile un'ottima ricostruzione stratigrafica; - possibile ottenere campioni di acqua rappresentativi del livello a cui si opera; - possibile determinare la conducibilità idraulica alla profondità desiderata (carico costante o variabile); - in terreni compatti tubi fino a 6"	- possibile reazione aria-inquinanti/materiale organico; - limitazione nei diametri da utilizzare; - attualmente poco disponibile in Italia

3.5.4 Metodo a percussione a secco

Perforazione: si utilizza un utensile di scavo che opera battendo sul terreno (sonda o benna); la **sonda** consiste in un tubo con valvola a piattello sul fondo che viene battuto a fondo foro riempiendosi di detriti; la **benna** ha due valve che si chiudono battendole sul fondo foro, scavando in tal modo il terreno. In terreni incoerenti è necessaria la tubazione di rivestimento.

Metodo a "PERCUSSIONE A SECCO"	
Vantaggi	Svantaggi
- utilizzabile in qualsiasi terreno (rocce escluse); - non ci sono limitazioni per diametri e profondità raggiungibili; - facilità di completamento e sviluppo dei pozzi; - prelievi di ottimi campioni di acqua e terreno.	- avanzamento molto lento; - metodo piuttosto costoso; - senza opportuni accorgimenti facile rifluimento di terreni sciolti o falde in pressione.

3.6 Indagine in foro con sonda televisiva

E' opportuno eseguire indagini televisive in foro con l'uso di telecamere.

Si tratta di strumenti di piccole dimensioni (diametro talvolta inferiore ai 3 cm) che possono essere calati in pozzi, tubature, scavi profondi, e collegati con la superficie tramite un cavo lungo anche decine di metri. L'ottica, costituita da lenti del diametro di alcuni millimetri, a fuoco fisso, consente la visione anche con illuminazione inferiore ad 1 lux.

E' possibile, con un aumento del diametro (~ 4,5 cm) comunque dotare il dispositivo di LED luminosi per le indagini in condizioni di scarsa visibilità o per profondità in genere superiore ai 5 metri.

La telecamera può essere utilizzata anche immersa in acqua; in genere però la tenuta stagna è garantita fino a circa 2,5-3 bar, quindi un battente d'acqua di 25-30 metri.

L'utilizzo può essere finalizzato all'indagine in pozzo per definire lo stato delle tubazioni, la posizione dei filtri, la torbidità dell'acqua, il controllo di eventuali attrezzature immerse, quali pompe o sensori, ecc.

Documentazione

- caratteristiche strumentazione utilizzata;
- descrizione struttura indagata;
- filmato su supporto magnetico o digitale;



3.7 Piezometri T/A (tubo aperto)

Il piezometro (*vedi allegato C*) è costituito da una batteria di tubi giuntati in forma solidale fino all'ottenimento della lunghezza richiesta; il tratto immerso nell'acquifero è parzialmente finestrato. Il diametro deve poter consentire il prelievo di campioni, la posa di sonde e strumenti di misura.

I piezometri dovranno essere realizzati in materiali compatibili con gli inquinanti presenti nel sito e dovranno essere installati in numero sufficiente a caratterizzare gli acquiferi indagati. E' necessario separare eventuali acquiferi sovrapposti ed evitare infiltrazioni dalla superficie realizzando idonei isolamenti idraulici.

Di norma la configurazione deve prevedere il posizionamento di un piezometro a monte e due a valle dell'area indagata, in relazione alle linee direttrici del flusso di falda. In presenza della necessità di monitorare due o più falde alternate a livelli impermeabili, sarà da prevedere la perforazione di più piezometri, ciascuno finestrato solo nel livello interessato e reso cieco agli altri.

3.7.1 Modalità di installazione

Le modalità di installazione sono le seguenti:

- l'avanzamento del rivestimento sino a fondo foro di diametro non inferiore a 127 mm (tale diametro è reso necessario dall'esigenza di dotarsi di un tubo piezometrico di diametro sufficiente da poter effettuare lo spurgo ed i campionamenti con una pompa sommersa di

piccolo diametro, magari contemporaneamente alla presenza all'interno del foro di sonde parametriche);

- prima di estrarre il rivestimento provvisorio si laverà l'interno del foro con abbondante acqua pulita;

- l'installazione del fondo del piezometro deve raggiungere il **substrato** impermeabile e intestarsi per almeno 30 cm, mentre la quota di posizionamento del tubo cieco e della porzione filtrante sarà stabilita in funzione dei risultati della perforazione;

- in caso di piezometro incompleto (non infisso nello strato impermeabile), il fondo foro dovrà essere chiuso da un tappo dello stesso materiale del tubo o in cemento/bentonite;

- la porzione **filtrante** deve permettere di filtrare tutta la zona satura estendendosi parzialmente, comunque, nella zona insatura in considerazione dell'entità delle fluttuazioni del livello piezometrico;

- si getterà poi nell'intercapedine tubo-rivestimento materiale **granulare pulito** (sabbia silicea, sferette di vetro, ecc., diametro $\varnothing$ 2÷4 mm) fino a risalire all'estremità superiore del tratto finestrato, estraendo progressivamente il rivestimento senza l'ausilio della rotazione;

- il tubo-filtro sarà costituito di materiale compatibile con i composti da campionare (per i materiali da utilizzare vedi allegato H) con diametro interno nominale pari ad **almeno 4"** (pollici) e aperture definite in funzione della granulometria effettiva dell'acquifero da filtrare. *(Tale diametro può sembrare esagerato rispetto a quelli usualmente utilizzati per le tubazioni piezometriche (talvolta 1"- 2"), ma è necessario ribadire che un sito contaminato può presentarsi la necessità di eseguire prelievi con campionatori diversi, con la possibilità della presenza di sonde fisse o altri strumenti, magari a decine di metri di profondità);*

- si eseguirà la **chiusura del fondo** del tubo piezometrico mediante fondello cieco impermeabile. E' consigliabile applicare sulla parte fessurata una fascia di tessuto non tessuto;

- la giunzione dei tubi di assemblaggio del piezometro deve essere realizzata **evitando di forzare** l'avvitamento dei manicotti filettati e di storcere le estremità dei tubi, per garantire il passaggio degli strumenti di campionamento delle acque e degli strumenti di lettura dei livelli piezometrici;

- a seguito dell'installazione, si verificherà **l'assenza di ostruzioni** o comunque di impedimenti al passaggio degli strumenti, inserendo per tutta la lunghezza del piezometro gli strumenti stessi o strumenti testimone di dimensioni comparabili;

- si continuerà la costruzione dell'intercapedine immettendo sabbia per uno spessore di 0,5 metri al di sopra del dreno seguita dal **tappo impermeabile** di bentonite per lo spessore di almeno 0,5 metri e si colmerà il tratto rimanente sino ad 1 metro dal p.c. con miscela ternaria acqua/cemento e bentonite. Si rabboccherà il foro per compensare il naturale abbassamento della miscela (l'ultimo metro sarà riempito da miscela ternaria poco plastica);

- si chiuderà con un tappo il tubo di rivestimento che fuoriesce dal piano campagna;

- il **pozzetto** deve essere cementato nel terreno;

- dovrà essere realizzata una **testa pozzo** di protezione fornita di coperchio carrabile e munita di chiusura a chiave (lucchetto). La testa del pozzo non deve essere lubrificata;

- almeno 12 ore dopo l'installazione si eseguirà lo **sviluppo** del piezometro (vedi paragrafo successivo);

- è necessario marcare in modo **indelebile** sulle tubazioni, sul pozzetto e su un segnale fissato in vicinanza il numero identificativo del piezometro e la quota della testa tubo espressa in m.s.l.m. con precisione centimetrica, indicando con una tacca il punto di riferimento della misura qualora la testa della tubazione piezometrica termini con un taglio inclinato;

- le **chiavi**, identificate da un cartellino completo delle indicazioni del caso, saranno consegnate ad un rappresentante la Committenza;

- terminata l'installazione del piezometro, l'impresa dovrà misurare ed **annotare il livello** della falda, ripetendo la stessa operazione, possibilmente ogni giorno (o più volte al giorno, se in prossimità del mare) per tutta la rimanente durata del cantiere.

3.7.2 Sviluppo del pozzo

Il piezometro (o meglio **pozzo di rilevazione**, in quanto consente anche la determinazione di altri parametri idrologici ed il prelievo di campioni d'acqua) deve rappresentare l'acquifero nel modo più fedele possibile. Le operazioni di sviluppo del pozzo hanno lo scopo di riportare le condizioni originarie attorno al filtro, rimuovendo le modifiche locali arrecate con la perforazione. Tali modifiche essenzialmente possono essere riassunte in:

- **costipazione** del terreno o variazione dell'addensamento (pozzi battuti, infissione rivestimenti,...);
- **intasamento** e contaminazione da fanghi (perforazione con fluidi o bentonite);
- **“intonacatura”** da “panello” di fango sulle pareti (come sopra);

Lo sviluppo del pozzo consiste principalmente nell'eliminazione della parte più fine dell'intorno del foro e nella rottura dei “ponti” granulari che si vengono a formare attorno al filtro.

I metodi più comuni, basate sull'utilizzo di pompe e sonde, si riassumono in:

- **“air-lifting”** o soffiaggio: si immette aria compressa attraverso una tubazione (il metodo però può intasare il pozzo);
- **pistonaggio**: movimento sali-scendi eseguito in corrispondenza dei filtri con un corpo cilindrico immerso in acqua, aderente alla tubazione;
- **pompaggio** (lavaggio controcorrente): con una pompa immersa si emunge una portata superiore a quella critica del pozzo, creando così il richiamo e l'espulsione di materiale fine; di seguito si inverte il flusso della pompa in modo da rompere ponti e ostruzioni formatesi esternamente al filtro;
- **scucchiamento**: la sonda viene calata rapidamente e fatta immergere sbattendo nell'acqua (flusso verso la falda) e recuperata velocemente (risucchio, flusso verso il pozzo); si crea un richiamo di materiale poi depositato sul fondo e recuperato dalla sonda stessa (metodo per ghiaie e sabbie pulite)

Per alcuni dei problemi derivanti da errata progettazione o esecuzione di un piezometro vedi **allegato I**.

Documentazione

- informazioni generali;
- identificazione singolo piezometro;
- schema geometrico di installazione;
- quota assoluta del terminale piezometrico;
- tabelle con letture piezometriche.
- **volume d'acqua presente nel piezometro** (questo dato, facile da acquisire in fase di realizzazione del piezometro ed allegato alla documentazione dello stesso, risulterà molto prezioso per il calcolo del volume d'acqua di spurgo al personale tecnico che in seguito dovrà eseguire il campionamento).



3.7.3 Spurgo del pozzo per campionamenti

L'acqua presente nel pozzo di monitoraggio solitamente non rappresenta l'acqua dell'acquifero circostante, infatti:

- a contatto con l'aria può subire processi di ossidazione;

- a contatto con la tubazione possono avvenire fenomeni di scambio ionico;
- i composti volatili possono disperdersi facilmente;
- le caratteristiche chimiche possono variare a causa di infiltrazioni dalla superficie.

Dalle suddette premesse si deduce che **l'acqua contenuta nel pozzo e nelle sue immediate vicinanze, non è rappresentativa di tutta l'acqua di falda della zona in esame.**

La principale operazione da effettuare, al fine di ottenere un campione di acqua sotterranea che sia realmente rappresentativa dell'ambiente idrico, è lo spurgo del pozzo prima del campionamento vero e proprio. (N.B.: tale operazione è finalizzata al campionamento e non ha attinenza con lo spurgo eseguito in fase di realizzazione e sviluppo del pozzo, sopra descritta).

Per lo spurgo è possibile utilizzare bailers, pompe peristaltiche, aria o gas inerte compressi, pompe sommerse.

Nel caso di utilizzo di pompa sommersa, posizionata ad una profondità intermedia tra il livello della falda ed il fondo del pozzo di monitoraggio, la portata di spurgo deve essere inferiore a quella utilizzata per lo sviluppo del pozzo di monitoraggio al fine di evitare, da un lato, il trascinamento di materiale fine con rischio di intorbidimento dell'acqua, dall'altro, l'abbassamento eccessivo del livello di falda con possibile volatilizzazione dei gas disciolti, nonché di taluni composti organici;

Si dovrà continuare nelle operazioni di spurgo fino al conseguimento di **almeno una** delle seguenti condizioni:

- eliminazione di 3 - 5 volumi di acqua contenuta nel pozzo. Se la misura del volume di acqua contenuta nel pozzo di monitoraggio non è presente nella scheda costruttiva del medesimo, per il calcolo vedi allegato C.
- venuta d'acqua chiarificata e stabilizzazione dei valori relativi a pH, temperatura, conducibilità elettrica, misurati in continuo durante lo spurgo ($\pm 10\%$);
- sia trascorso il tempo di emungimento determinato preventivamente in funzione delle caratteristiche idrauliche dell'acquifero;

N.B.: L'acqua estratta va scaricata ad una distanza sufficientemente lontana dal punto di campionamento o da altri punti che devono essere successivamente campionati. Nell'eventualità di operare in ambito di falda di cui è già noto o fortemente sospettato l'inquinamento, l'acqua di spurgo dovrà essere raccolta in cisterne e opportunamente trattata oppure smaltita come rifiuto.

Al termine delle operazioni di spurgo bisogna estrarre l'apparecchiatura utilizzata e ancora presente nel pozzo e lasciare il pozzo in quiete fino al ripristino del livello iniziale, prima di effettuare le operazioni di campionamento dell'acqua per le successive determinazioni previste.

Le operazioni di spurgo ed eventuali anomalie da segnalare verranno annotate nel verbale di giornata.

OPERATIVITA' DI ARPA- FVG:

I tecnici ARPA-FVG possono trovarsi ad operare in:

- **Direzione Lavori**
- **Assistenza alle indagini**

3.8 Piezometri tipo Casagrande

Il piezometro tipo Casagrande è costituito da un cilindro di pietra porosa, di lunghezza variabile (in genere 20 - 30 cm), collegato alla superficie da due tubi in PVC. Viene utilizzato in condizioni di terreni meno permeabili ($K < \sim 10^{-6}$ m/sec), i cosiddetti “acquitardi” dove non troverebbe utilità il tubo finestrato convenzionale per eccessivi tempi di risposta. Ferme restando le suddette procedure di perforazione, pulizia del foro e posa del materiale drenante, questo tipo di piezometro consente una vantaggiosa soluzione al problema del monitoraggio multifalda: è possibile infatti immettere più piezometri all'interno dello stesso foro, isolandoli con tappi bentonitici (vedi **all.C**)

Appare chiaro d'altra parte che per il tipo di apparecchiatura e per la natura stessa dei terreni nei quali è impiegata, il piezometro di Casagrande è utile solamente ai fini della misura dei livelli piezometrici, essendo impraticabile il campionamento di sufficienti quantità d'acqua e tanto meno lo spurgo della stessa.

INDAGINI INDIRETTE

4. PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

La prova consiste nel far penetrare “a pressione” una punta conica, verticalmente, nel terreno, misurando lo sforzo necessario per la penetrazione. La prova è eseguibile in terreni fini (argille, limi, sabbie) nei quali si possono raggiungere profondità anche superiori ai 30 metri.

L’attrezzatura di spinta è il “penetrometro statico” costituito da un telaio sul quale sono montati uno o più pistoni idraulici; l’attrezzatura è zavorrata o ancorata al terreno circostante per il necessario contrasto. Non sono infrequenti le attrezzature miste cioè zavorrate fino ad un certo peso ed anche ancorate per poter incrementare la spinta fino a 20 tonnellate (o più). Tale tipo di indagine è stata introdotta a partire dagli anni '50 ed oggetto di una “Raccomandazione Internazionale”: trattandosi di una prova soggetta a standard, viene eseguita ovunque con le medesime modalità ed specifiche delle attrezzature. Le prove si distinguono in relazione al tipo di punta e della modalità di misura impiegate (*vedi allegati D*):

Prove con punta meccanica (CPT)

Nella CPT (Cone Penetration Test) la punta è racchiusa da un manicotto esterno; dall’alternata e successiva infissione dei due, si ottengono i valori di resistenza alla rottura del terreno e di attrito laterale.

Prove con punta elettrica (CPTE)

A differenza della precedente, la resistenza dei terreni è misurata da una cella di carico installata nella punta, collegata ad un trasduttore di pressione per cui i valori di resistenza alla punta e attrito laterale vengono forniti in continuo.

Prove con piezocono (CPTU)

Oltre alla cella di carico, la punta contiene un filtro poroso che consente la misura in continuo della dissipazione delle pressioni interstiziali.

*Per ulteriori dettagli vedere **Allegato D***

Documentazione

- informazioni generali;
- metodologia utilizzata;
- grafico ottenuto (all. D, fig. 2)
- eventuali elaborazioni e commenti



OPERATIVITA' DI ARPA- FVG:

I tecnici ARPA-FVG possono trovarsi ad operare in:

- ***Direzione Lavori ...***
- ***Assistenza alle indagini***

5. METODO GEON (ex – “BAT”)

Il metodo GEON della svedese GEONORDIC (ex-metodo BAT dalle iniziali del suo ideatore Torstensson) sfruttando l’infissione statica della punta, viene utilizzato in terreni fini ed a bassa permeabilità. Il sistema si basa su una punta filtrante fissa avvitata all’estremità di un tubo da un pollice (1”); al variare degli accessori del kit utilizzato, consente di:

- determinare la conducibilità idraulica per afflusso o per deflusso;
- determinare la pressione interstiziale, utilizzando il campionatore in afflusso o in deflusso.

In pozzi o piezometri già installati consente il prelevamento di campioni d’acqua alla profondità voluta (vedi ***allegato E***).

Documentazione

- informazioni generali;
- strumentazione e dispositivi utilizzati;
- grafico ottenuto (all. D, fig 2)
- eventuali elaborazioni e commenti



OPERATIVITA’ DI ARPA- FVG:

I tecnici ARPA-FVG possono trovarsi ad operare in:

- ***Direzione Lavori ...***
- ***Assistenza alle indagini***

6. CONDUCIBILITA' IDRAULICA – DIREZIONE DI FLUSSO

La conducibilità idraulica e la direzione di deflusso sono parametri fondamentali da conoscere per la caratterizzazione di un sito inquinato. Sono numerose le prove esistenti per determinare il valore di permeabilità dei terreni ed in questa sede verranno citate solo le più comuni.

6.1 Pozzetto superficiale

Nelle norme AGI (Associazione Geotecnica Italiana) del 1977 vengono descritte le specifiche per eseguire questa prova, utilizzando un pozzetto scavato con base circolare o quadrata, riempito d'acqua, nel quale si registrano i valori tempi/abbassamenti; da eseguirsi in terreni con permeabilità non inferiore a 10^{-6} m/s, quindi utilizzabile dalle ghiaie alle sabbie fini, con poca matrice. E' indispensabile, per ottenere un dato realistico delle caratteristiche idrauliche locali dell'acquifero, che questo, almeno nell'intorno dello scavo, sia in *fase satura*, per cui le registrazione delle misure di abbassamento andranno prese in seguito all'immissione di un adeguato volume d'acqua.

Si tratta di una prova economica e speditiva che consente un risultato non molto preciso e riferibile solo ai livelli più superficiali, ma che può rappresentare un approccio al problema (*vedi allegato F*). Valgono tutte le precauzioni già ascritte alla scavo dei pozzetti geognostici.

6.2 Slug Test

Gli Slug Test, eseguibili sia in falda libera che confinata, consistono nell'immissione o nel prelievo istantaneo di un volume noto di acqua da un pozzo, rilevando il momento di ripristino dell'originario livello di falda. Il metodo trova applicazione per valori di conducibilità non inferiori a 10^{-5} m/s. Dalla conoscenza dei dati geometrici del pozzo e dalla costruzione di un grafico $t/\Delta h$, è possibile ottenere il valore T della trasmissività, da cui poi ricavare il valore di conducibilità idraulica k. (*vedi allegato F*). Il metodo non è adatto a formazioni ghiaiose per il k troppo elevato.

6.3 Prova di pompaggio (aquifer test)

Disponendo nell'area indagata di un pozzo produttivo (con pompa sommersa) e di alcuni piezometri correttamente ubicati, sarà possibile eseguire delle prove di pompaggio per definire caratteristiche dell'acquifero quali conducibilità idraulica, trasmissività e direzione di deflusso.

I dati verranno riportati nel grafico tempi/abbassamento. Variando la portata emunta dalla pompa sarà possibile effettuare la prova "a gradini di portata", o di "breve durata"; in caso di pompa a portata costante, sarà possibile eseguire solo la prova cosiddetta "di lunga durata". Dall'interpolazione dei punti ottenuti si determinano così delle curve, dette "caratteristiche" del pozzo e dell'acquifero. Tali curve forniscono inoltre dati fondamentali nella conoscenza della geometria dell'acquifero, quali la presenza di anisotropie, di limiti verticali (permeabili o impermeabili) e confinamenti. Le prove di lunga durata consentono di ottenere i parametri idrologici caratteristici dell'acquifero; le prove a gradini consentono di ottenere dati sull'efficienza del pozzo.

6.4 Traccianti

I traccianti sono sostanze solide, coloranti, chimiche o radioattive, facilmente identificabili. L'impiego dei traccianti consente la determinazione delle caratteristiche dell'acquifero mediante l'introduzione puntuale in falda di una sostanza chimica a concentrazione nota ed il successivo monitoraggio della sua diffusione. L'immissione nell'acquifero può essere di tipo istantaneo o continuo. I metodi più comuni si basano su:

punto di diluizione unico (SPDM – Single Point Dilution Method): in cui, disponendo di un solo pozzo o punto di immissione in falda, la concentrazione della sostanza immessa verrà controllata nel tempo ad intervalli regolari; dalla curva di tempo/concentrazione e dai parametri di pozzo sarà possibile ricavare il valore di filtrazione reale. L'iniezione di una sostanza tracciante può avvenire in modo **istantaneo** o **continuato**. Il primo tipo consiste nell'introdurre una massa M di un tracciante nell'acquifero durante un intervallo di tempo molto breve rispetto alla durata del trasferimento tra il punto di iniezione e quello di prelievo.

L'iniezione costante invece è registrabile dalla curva di restituzione, che tende ad assumere un andamento asintotico dovuto al fatto che nel tempo si raggiunge un equilibrio tra massa del tracciante immesso, diluizione da parte delle acque della falda e dispersione durante il trasporto. Questo tipo di esperienza è raramente realizzata nei test in situ per i costi elevati di iniezione di una massa notevole di tracciante e per la lunga durata necessaria per le misurazioni; tuttavia in molti casi si hanno tipologie di contaminazione dovute all'immissione costante di sostanze nelle acque sotterranee (ad esempio un fiume contaminato alimentante la falda) interpretabili con questo tipo di comportamento.

- sistema multipozzo: si dispone di un pozzo di immissione ed uno o più pozzi di misura.

In questo caso sarà possibile monitorare la concentrazione del tracciante nel tempo in più punti, ricavare la velocità e la direzione di deflusso.

Disponendo di un pozzo con possibilità di emungimento, sarà possibile applicare il metodo del gradiente indotto, introducendo il tracciante in un piezometro posto a distanza nota dal pozzo e registrandone presso quest'ultimo la curva di restituzione.

Nonostante gli svantaggi e le limitazioni legate all'uso (variazione di densità indotta, forti quantitativi di sostanza necessaria, ecc ...), è consigliabile usare come tracciante il **cloruro di sodio** (NaCl), per diversi motivi, tra i quali si ricorda:

- l'uso di traccianti colorati (blu di metilene, fluoresceina, ecc..) può creare disguidi e falsi allarmi in zone antropizzate;
- i traccianti radioattivi (trizio) comportano particolari e complesse procedure di utilizzo;
- il cloruro di sodio è commercialmente economico e di facile reperimento, è poco soggetto a fenomeni di adsorbimento e non provoca danni agli acquiferi; si può assumere che una concentrazione di 0,1 g/l iniettati in una falda a resistività vicina a 10 Ohm x m, provochi un abbassamento della resistività dell'acquifero dell'ordine del 15%;
- la rilevazione può essere effettuata agevolmente e in modo rapido, eseguendo un monitoraggio nei piezometri di osservazione attraverso la misura della conducibilità elettrica; disponendo di un singolo pozzo, dopo l'immissione dell'elettrolita, è possibile seguirne il movimento in falda attraverso la prospezione geoelettrica; è possibile utilizzare varie configurazioni elettrodiche (quadripoli Schlumberger o Wenner disposti a diverse orientazioni, oppure applicando il dipolo singolo, con misura della variazione di corrente, eseguita dopo opportuna taratura).

Documentazione



La documentazione di ciascuna prova comprenderà:

- descrizione situazione stratigrafica;
- descrizione metodologia utilizzata;
- dati acquisiti ed elaborati;
- grafici e diagrammi;
- valori risultanti.

OPERATIVITA' DI ARPA- FVG:

I tecnici ARPA-FVG possono trovarsi ad operare in:

- ***Direzione Lavori***
- ***Assistenza alle indagini***

7. METODI GEOFISICI

I metodi geofisici, in quanto non invasivi e di rapida applicazione, consentono un primo inquadramento dell'area e una delimitazione per alcune tipologie di inquinanti. Al variare della finalità dell'indagine e del metodo utilizzato, trovano vaste applicazioni in tutti i tipi di terreni e rocce. Poiché si tratta, però, di metodi indiretti, non possono essere utilizzati indipendentemente per la caratterizzazione di un sito, possono d'altra parte essere confrontati e calibrati sulle indagini dirette (e fornire un prezioso supporto per una prima definizione di un'area o di un volume di terreno indagati o per scelta dell'ubicazione di un sondaggio).

L'analisi di tipo non "intrusivo" deve essere effettuata su ogni sito potenzialmente inquinato. Con i metodi geofisici è possibile ispezionare grandi superfici in tempi limitati, lasciando il sito perfettamente integro.

Si descrivono sinteticamente di seguito alcune caratteristiche dei metodi più diffusi e la loro applicabilità in sito.

G.P.R (Ground Probing Radar)

Il metodo si basa sull'immissione impulsiva di un'onda elettromagnetica ad alta frequenza verso il suolo: l'onda riflessa viene captata da un'antenna e trasmessa all'unità di acquisizione.

Il range di frequenza utilizzato per l'onda trasmessa è generalmente compreso tra valori inferiori ai 100 MHz (Mega-hertz) per maggiore profondità d'indagine (scarso dettaglio) e superiori a 1,5 GHz (Giga-hertz) per una maggiore risoluzione (scarsa profondità di penetrazione).

Dato che la propagazione e la riflessione dell'onda immessa dipende dalle proprietà elettriche e magnetiche dei materiali attraversati, il sistema è adatto a cogliere forti differenze di contrasto tra i materiali stessi, per cui trova applicazione nel definire, oltre alle strutture sepolte, il contatto terreno naturale – materiale di riporto, terreno asciutto-terreno saturo, terreno-rifiuti, metallo, ecc.

E' un metodo di rapido impiego, utilizzato prevalentemente per la ricerca di sottoservizi (cavi, tubazioni, cisterne, fusti), da applicare in fase decisionale di ubicazione di scavi e sondaggi in zone industriali o edificate, con frequenti strutture e impianti interrati, di cui si ignora l'esistenza o la posizione.

Metodi geoelettrici

Dalla misura della corrente immessa nel terreno e dalla tensione ottenuta, si ottiene il parametro della resistività apparente e della polarizzazione indotta. Attualmente con sistemi di acquisizione multicanale è possibile gestire automaticamente stendimenti o griglie (*arrays*) formate da decine o centinaia di elettrodi. Dalla diversa configurazione delle disposizioni elettrodiche e dal numero degli elettrodi si ottengono diversi metodi d'indagine (SEV, profili, tomografie 2D e 3D) applicabili soprattutto per la caratterizzazione e la delimitazione degli acquiferi o di consistenti volumi di terreno.

OPERATIVITA' DI ARPA-FVG:

I tecnici ARPA-FVG possono trovarsi ad operare in:

- **Direzione Lavori ...**
- **Assistenza alle indagini**

Allegato A – PRESCRIZIONI GENERALI

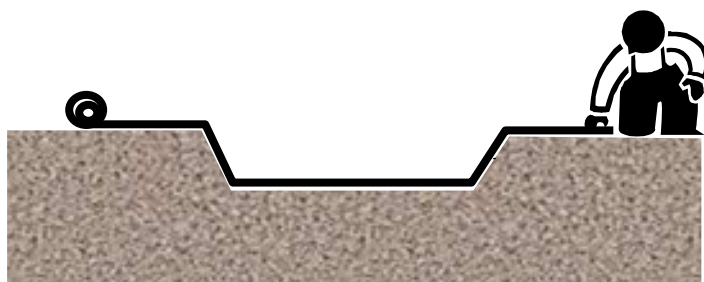
ESEMPIO PROGRAMMA LAVORI – INDAGINI SITO : STABILIMENTO X															PROGRAMMA N° 1	
MESE															DATA: 03/10/2003	
OTTOBRE 2003															IMPRESA: PINCO S.r.l.	
MESE																
GIORNO	LU	MA	ME	GI	VE	SA	DO	LU	MA	ME	GI	VE	SA	DO	NOTE	
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Fase di preparazione																
DELIMITAZIONE CANTIERE																
RILIEVO TOPOGRAFICO															Teodolite + GPS	
RICERCA E IDENTIFICAZIONE SOTTOSERVIZI															Georadar	
IDENTIFICAZIONE AREA DECONTAMINAZIONE																
IDENTIFICAZIONE PUNTI POZZETTI GEOGNOSTICI																
IDENTIFICAZIONE PUNTI SONDAGGIO																
Fase di indagine																
ALLESTIMENTO AREA DECONTAMINAZIONE																
ALLESTIMENTO CANTIERE SONDA																
SCAVO POZZETTI GEOGNOSTICI 1-8															Benna cingolata – scavo fino prima falda m	
SONDAGGIO MECCANICO N°1 (0-10 m)																
SONDAGGIO MECCANICO N°1 (10-18 m)																
SONDAGGIO MECCANICO N°1 (18-25 m)																
Fase di campionamento																
CAMPIONAMENTO TERRENO SCAVI 1- 4															3 aliquote per scavo	
AGGOTTAMENTO E CAMP. ACQUA SCAVI 1-4															3 aliquote per scavo	
CAMPIONAMENTO TERRENI DA SONDAGGIO 1															3 aliquote per scavo	
CAMPIONAMENTO ACQUA DA SONDAGGIO 1															3 aliquote per scavo	
Presenze personale previsto																
TOPO-XY Rilievi	3	3	3	3	3											
SuperScavi S.n.c.	4	4	4	4	4											
Hydrochim SpA								1	2	2	2	2				
MegaDRILL								3	3	3	3	3				

Firma del Responsabile _____

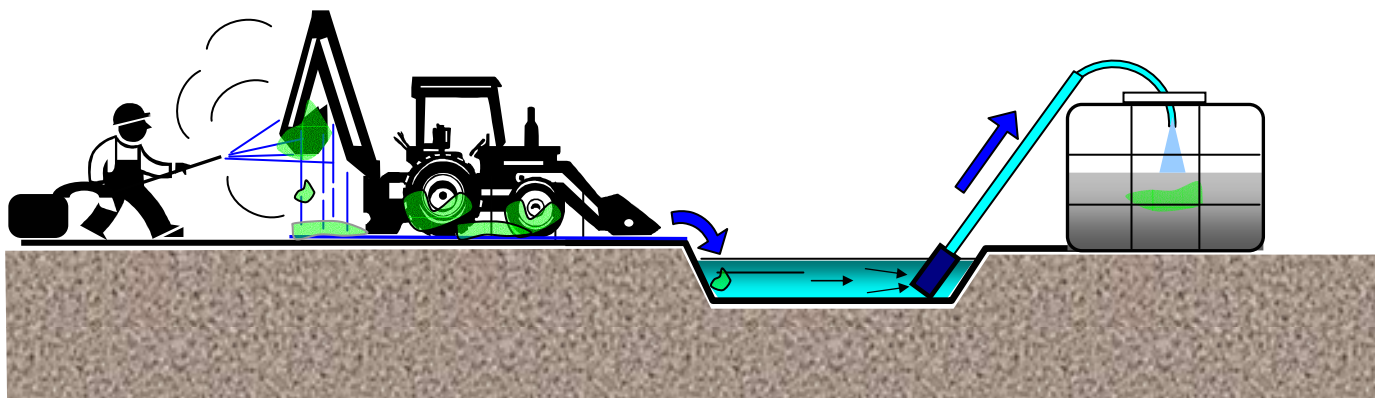
1 – allestimento schematico “area decontaminazione” per i mezzi d’indagine -



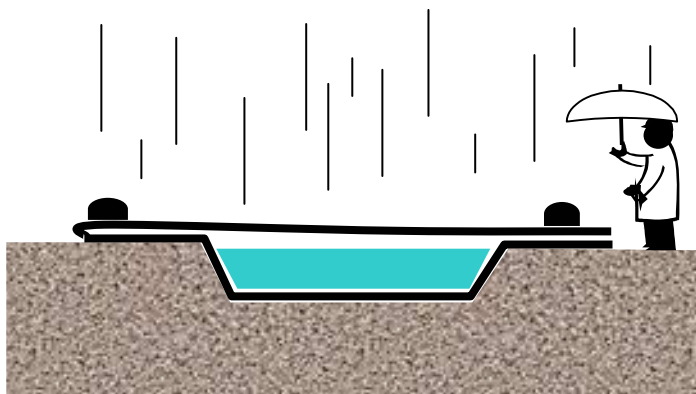
a) esecuzione scavo per “fossa di raccolta”.
Le dimensioni devono essere sufficienti a consentire le operazioni di raccolta e pompaggio delle acque contaminate (p.es. 1,0 x 1,0 x 0,5 m)



b) lo scavo sarà quindi rivestito con una guaina o un telo impermeabile, che ricoprirà anche una parte della superficie adiacente alla “fossa”



c) i mezzi impiegati nelle indagini e contaminati dai materiali inquinanti verranno lavati con un getto d’acqua a pressione. Le acque di lavaggio confluiranno nella “fossa” da cui verranno pompate in apposite cisterne e smaltite.

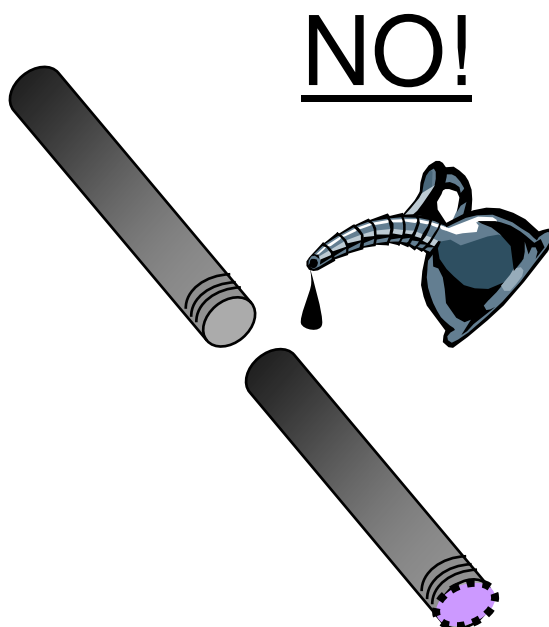


d) in caso di forti piogge, il telo dovrà essere ripiegato in modo da coprire lo scavo in modo da impedire il riempimento e la tracimazione delle acque raccolte

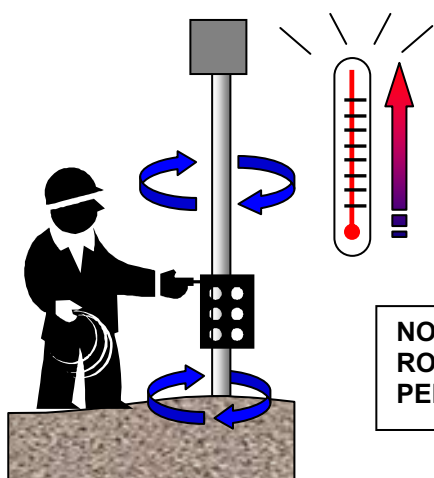
2 – Indicazioni schematiche per non compromettere la rappresentatività dell'indagine



**NO PERDITE COMBUSTIBILI E
LUBRIFICANTI DAI MACCHINARI !**



**NO LUBRIFICANTI DI ORIGINE
MINERALE PER UTENSILI DI
PERFORAZIONE !**



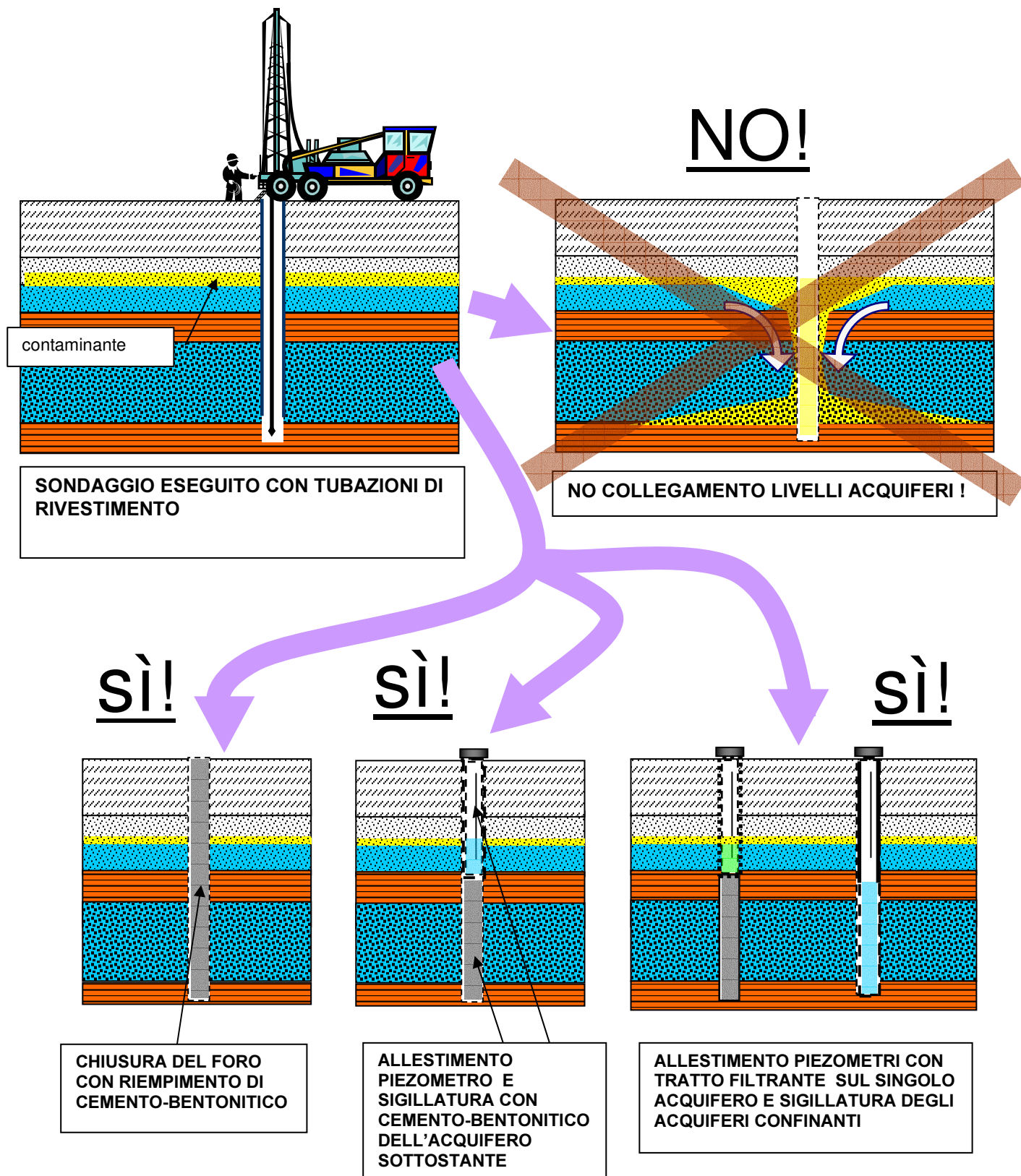
**NO ALTA VELOCITA' DI
ROTAZIONE DURANTE LA
PERFORAZIONE**

In caso...

**QUALSIASI DIFFORMITA',
INCONVENIENTE O
IMPREVISTO VA REGISTRATO!**



3 – indicazioni schematiche per la tutela degli acquiferi durante e alla fine della fase di indagine



Allegato B – CARATTERISTICHE ESECUTIVE DEI SONDAGGI*(da specifiche Studio Geotecnico Italiano)***scheda tipo per la stratigrafia da sondaggio**

DITTA:																COMMITTENTE:						N° SONDAGGIO																			
INDIRIZZO:																LOCALITÀ:																									
																UBICAZIONE:																									
SUPERVISORE/ASSISTENTE																SONDATORE:						SONDA:																			
																CAMPIONI		STANDARD PENETRATION TEST																							
DATA		Tipo diam./carotiere Rivestimento		Profondità assoluta (m.s.l.m.m.)		Profondità relativa (rif. p.c.)		Legenda		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA				Percentuale carotaggio ROD		Manovre		Disturbati		Indisturbati		N° colpi 0-15 cm		N° colpi 15-30 cm		N° colpi 30-45 cm		Punta aperta		Punta chiusa		Pocket Penetrometer Test Kg/cm ²		Livello Falda		Piezometro		Permeabilità Lefranc k (m/s)		NOTE	

elementi guida per la compilazione della stratigrafia

1. DATI GENERALI E TECNICI

- **Documentazione generale** (vedi pag. 4)
- Quota testa foro rispetto a livello marino (precisione al centimetro)
- Metodo di perforazione
- Attrezzatura impiegata
- Diametro di perforazione
- Fluido di circolazione
- Nominativo del compilatore
- Manovre (in metri)
- Altri eventuali dati

2. DESCRIZIONE STRATIGRAFICA

La descrizione stratigrafica sarà compilata in modo tale da specificare per ciascuno strato quanto relativo ai punti sotto elencati:

- a) Tipi di terreno
- b) Condizioni di umidità
- c) Consistenza
- d) Colore
- e) Struttura
- f) Evidenze connesse alla possibile esistenza di tratti contaminati (colore, odore)
- g) Litologia ed origine

La scheda stratigrafica comprenderà inoltre osservazioni in merito alla falda idrica, compatibilmente con le modalità esecutive del sondaggio e con la strumentazione installata. Le modalità di descrizione di seguito illustrate riguardano le terre sciolte. Per ciascuno dei punti da descrivere, il compilatore della stratigrafia sceglierà dal testo del presente capitolo le parti di interesse specifico, trascurando il resto, ma avendo cura di non tralasciare nessuno degli aspetti da considerare.

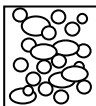
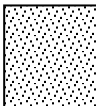
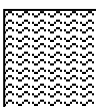
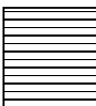
a) Tipi di terreno

Si farà riferimento alla seguente tabella **a**. La descrizione sarà conforme alle raccomandazioni AGI (1977).

Si elenca per primo il nome del costituente principale, seguito dal costituente secondario nella forma:

- preceduto dalla congiunzione “con”, se rappresenta una percentuale compresa fra il 25 ed il 50%;
- seguito dal suffisso “oso” se rappresenta una percentuale fra il 10 ed il 25%;
- preceduto da “debolmente” se rappresenta una percentuale compresa fra il 5 ed il 10%;
- preceduto da “...con tracce di...” o “rari...” con frazione < 5%.

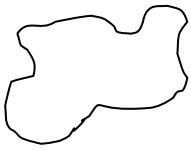
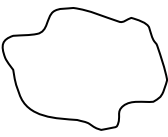
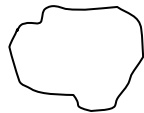
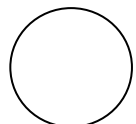
Tabella a
Tipi di terreno

Definizione		Diametro dei grani (mm)	Criteri di identificazione				
	Blocchi	>200	Visibili ad occhio nudo				
	Ciottoli	200÷60					
	Ghiaia	grossa			60÷20		
		media			20÷6		
		fina			6÷2		
	Sabbia	grossa			2÷0.6		
		media	0.6÷0.2				
		fina	0.2÷0.06				
	Limo	0.06÷0.002	Solo se grossolano è visibile a occhio nudo poco plastico, dilatante, lievemente granulare al tatto; si disgrega velocemente in acqua si essicca velocemente; possiede coesione ma può essere polverizzato fra le dita				
	Argilla	<0.002	I frammenti asciutti possono essere rotti, ma non polverizzati fra le dita; si disgrega in acqua lentamente- liscia al tatto- plastica-non dilatante; appiccica alle dita- asciuga lentamente- si ritira durante l'essiccazione				
	Terreno organico o vegetale		Contiene una rilevante percentuale di sostanze organiche vegetali				
	Torba		Predominano resti lignei non mineralizzati, colore scuro, bassa densità				
	Riporto		Materiale estraneo al terreno naturale, (terreno da scavo, macerie, scarti da cava, ecc.)				
	Conglomerato		Calcare		Arenaria		Marna

Esempio: un materiale costituito da ghiaia (60%), sabbia (35%), argilla (5%), diventerà una *ghiaia con sabbia debolmente argillosa*

Della frazione ghiaiosa e ciottolosa occorre specificare il grado di arrotondamento, con riferimento alla seguente tabella **b**.

Tabella b
Arrotondamento dei clasti

Forma	Definizione	Arrotondamento	Descrizione
	Angolare	$0 \div 0.15$	Nessun smussamento
	Sub-angolare	$0.15 \div 0.25$	Mantiene forma originale con evidenze di smussamento
	Sub-arrotondata	$0.25 \div 0.40$	Smussamento considerevole e riduzione dell'area di superficie del clasto
	Arrotondata	$0.40 \div 0.60$	Rimozione delle superfici originali, con qualche superficie piatta
	Ben arrotondata	$0.60 \div 1$	Superficie interamente compresa da curve ben arrotondate

Si deve anche specificare il diametro massimo della ghiaia e quello dei ciottoli e dei blocchi e precisare il grado di uniformità della composizione granulometrica.

b) Condizioni di umidità naturale

Le condizioni di umidità naturale saranno definite utilizzando uno dei seguenti termini:

- asciutto
- debolmente umido
- umido
- molto umido
- saturo.

Si deve descrivere la condizione propria del terreno naturale, escludendo quanto indotto dalla circolazione di fluido connesso, alle modalità di perforazione adottate.

c) Consistenza

Si distinguono terreni coesivi e semicoesivi, granulari.

La consistenza dei terreni coesivi e semicoesivi sarà descritta con riferimento alla tabella c, misurando la resistenza al penetrometro tascabile sulla carota appena estratta e scortecciata con frequenza di 1 prova ogni 20÷30 cm.

Tabella c
Consistenza terreni coesivi

Definizione	Resistenza al penetrometro tascabile (kg/cm²)	Prove manuali
Privo di consistenza	<0.25	Espelle acqua quando strizzato fra le dita.
Poco consistente	0.25÷0.5	Si modella fra le dita con poco sforzo; si scava facilmente.
Moderatamente consistente	0.5÷1.0	Si modella fra le dita con un certo sforzo. Offre una certa resistenza allo scavo.
Consistente	1.0÷2.0	Non si modella fra le dita. E' difficile da scavare.
Molto consistente	>2.0	E' molto resistente fra le dita e si scava con molta difficoltà.

Nel caso di terreni granulari la consistenza in termini di addensamento, con riferimento alla tabella d.

Tabella d
Addensamento terreni granulari

N_{SPT}	Valutazione dello stato di addensamento	Prove manuali
0÷4	Sciolto	Si scava facilmente con un badile
4÷10	Poco addensato	Si scava abbastanza facilmente con badile e si penetra con una barra
10÷30	Moderatamente addensato	Difficile da scavare con badile, o da penetrare con una barra
30÷50	Addensato	Molto difficile da penetrare; si scava con piccone
>50	Molto addensato	Difficile da scavare con piccone

d) Colore

Il colore sarà descritto scegliendo o combinando i seguenti termini:

- Rosa
- Rosso
- Viola

- Arancione
- Giallo
- Marrone
- Verde
- Grigio
- Nero

Precisandone se necessario la tonalità e l'intensità. Si distinguerà il colore del terreno intatto e quello delle superfici di separazione (fratture, discontinuità), evidenziando ciò che può dare indicazioni sulla presenza di filtrazione idrica. Si indicherà inoltre qualunque variazione, anche di dimensione centimetrica, del colore legata ad eventuali estranei o contaminazioni localizzate.

e) Struttura

Indicare la presenza e le caratteristiche di strutture particolari legate a processi di alterazione o trasporto, quali la presenza di clasti in matrice soffice o isole di materiale poco alterato in matrice profondamente alterata, e simili.

f) Particolarità aggiuntive

Si devono indicare tutte le caratteristiche significative ai fini della schematizzazione geotecnica ad ambientale le quali non siano già inserite in qualcuno dei parametri descrittivi già elencati.

Si segnali a titolo di esempio la presenza di quanto segue:

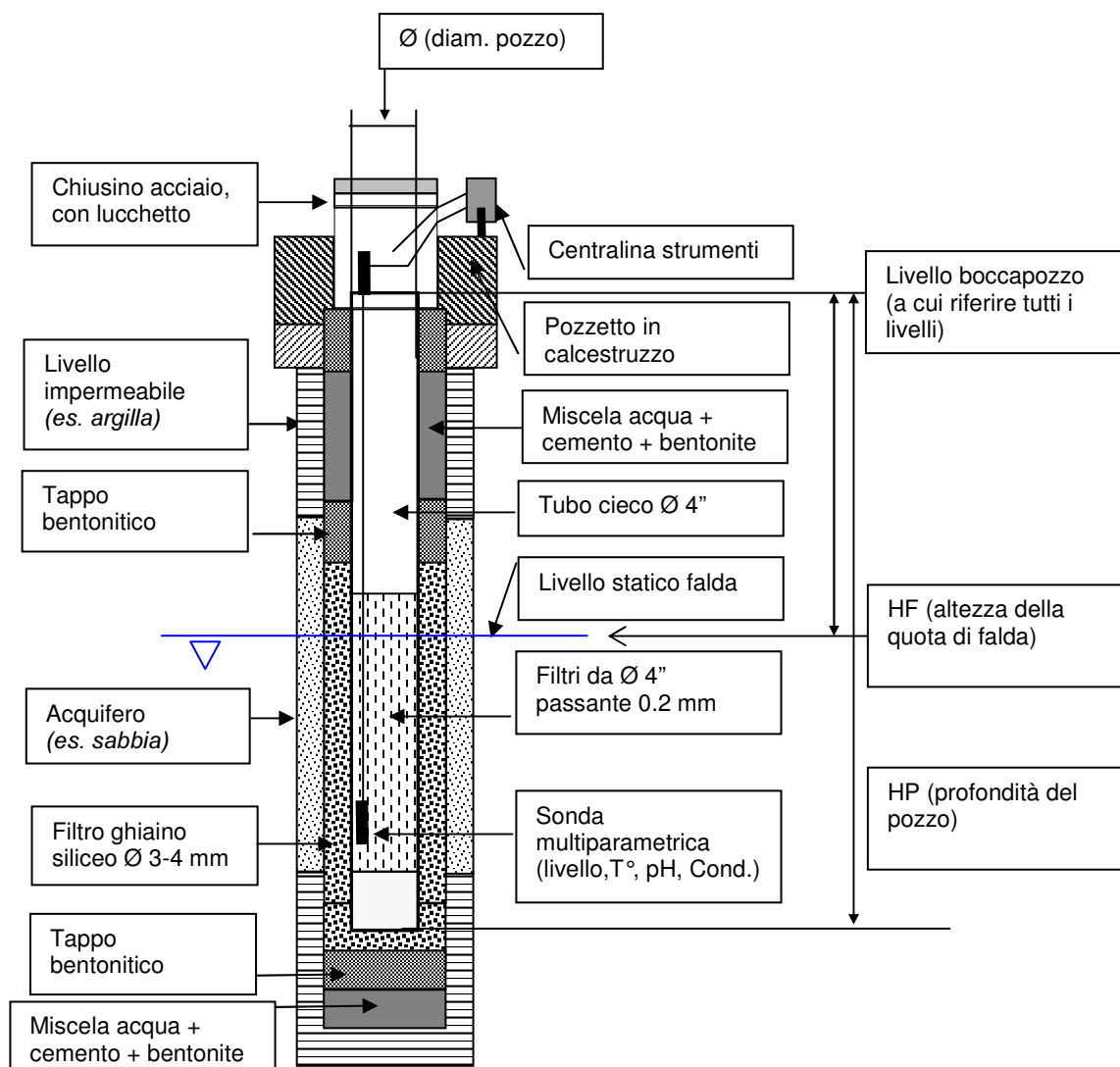
- radici;
- manufatti, riporti, materiali di discarica;
- fossili o residui organici vegetali;
- sostanze deperibili, friabili, solubili;
- cementazione più o meno regolare e relativo grado.

g) Altre registrazione in corso di perforazione

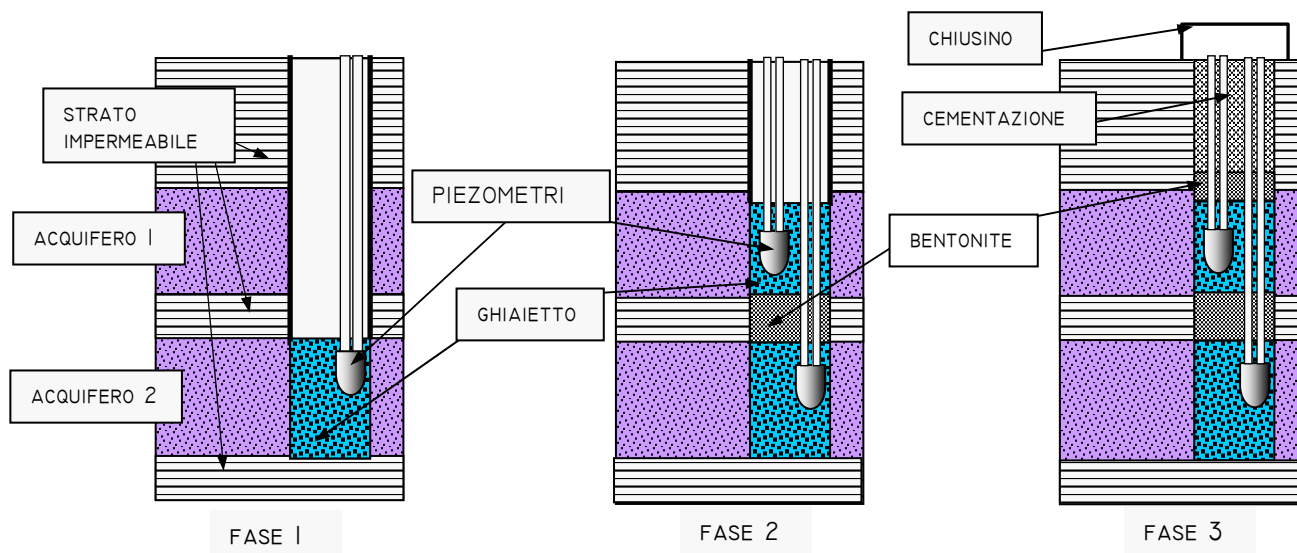
Oltre alla registrazione della stratigrafia, il geologo responsabile di cantiere annoterà sinteticamente, nella documentazione del lavoro, ogni notizia utile o interessante:

- percentuale di recupero;
- velocità di avanzamento;
- perdite di fluido di circolazione;
- rifluimenti in colonna;
- manovre di campionamento o prove non condotte a termine;
- altre.

Schema piezometro tipo Tubo Aperto



Piezometri di Casagrande



calcolo del volume di spurgo del pozzo

Tale fase richiede la massima standardizzazione di tutte le operazioni e sono indispensabili le seguenti indicazioni:

- misura dell'altezza di quota di falda (utilizzando un freatimetro) (HF);
- misura del fondo pozzo (profondità del pozzo) dato reperibile nella documentazione di costruzione (HP);
- misura del diametro del pozzo (da testa foro) ($\varnothing$);

Da questi dati viene calcolato il volume di acqua presente nel pozzo applicando la seguente formula:

$$V = \frac{(HP - HF) \varnothing^2}{4} * 3.14$$

I valori delle altezze vanno referiti sempre alla stessa quota (es.: *testa pozzo, piano campagna, pozzetto in cemento, ecc.*) prima di effettuare il calcolo del volume di acqua presente nel pozzo il volume minimo da spurgare è di 5 volte il volume calcolato V.

La pompa di spurgo (elettropompa di tipo sommerso) va calata nel pozzo ad una distanza di circa 3 m dal fondo del pozzo (ma comunque non inferiore a 1,5 m dal fondo stesso).

Per l'accensione della pompa e le eventuali operazioni preliminari si fa riferimento agli specifici manuali d'uso.

Vanno comunque presi sempre i seguenti accorgimenti:

- se non sono disponibili collegamenti elettrici di cantiere, ed è quindi necessario utilizzare un generatore di corrente, questi va posizionato sempre sotto vento rispetto al punto di campionamento;
- la velocità di spurgo dell'acqua deve essere tale da non portare a secco il pozzo, se la pompa utilizzata non permette di regolare il flusso è opportuno consultare i dati di costruzione del pozzo per verificare che i tempi di ricarica del pozzo stesso siano compatibili con la portata di spurgo della pompa (valori di trasmissività del terreno acquifero/ diametro del pozzo);
- nel caso vi sia la presenza di sedimenti le operazioni vanno sospese immediatamente e la pompa va riposizionata ad una quota superiore fino all'assenza di tale inconveniente. La presenza di sedimenti compromette seriamente il funzionamento della pompa.

Allegato D – PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

(da F.Cestari - M.Sacchetto – Atti Scuola permanente suoli e siti contaminati –2001/2002)

Punta meccanica CPT

La punta meccanica (prova CPT: *cone penetration test* propriamente detta) è il modello meno recente. Consiste di:

- una parte terminale (punta vera e propria) di forma conica di area equivalente di 10 cm^2 che riceve la spinta da una batteria di astine concentriche alle aste “principali”,
- di un “manicotto” disposto sopra la punta e dotato di movimento “di scorrimento alto-basso” separato dalla punta, di un sistema di misura della resistenza alla penetrazione interposto fra la testa di spinta e l'estremità delle aste.
- Sistema di misura in superficie: manometri o cella di carico.

La prova CPT avviene secondo le seguenti fasi

a) spinta sulle astine interne a velocità costante per 4 cm e rilievo della resistenza necessaria (cosiddetta res.di punta)

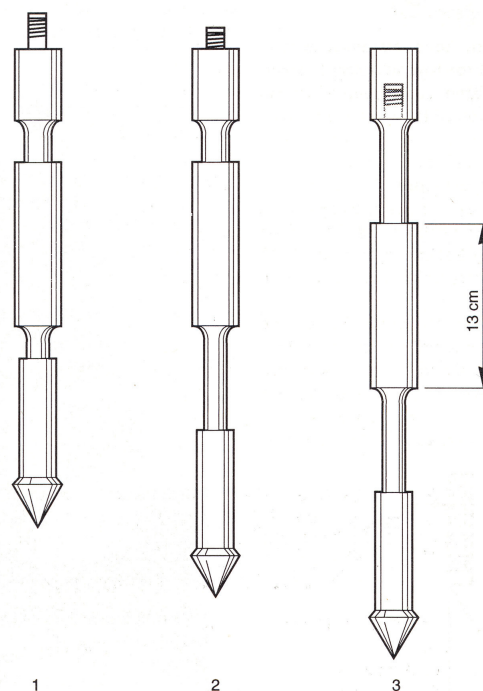
b) dopo i 4 cm iniziali di infissione, attraverso un meccanismo interno viene agganciato il manicotto alla punta cosicchè la spinta esercitata sempre sulle astine interne fa avanzare contemporaneamente la punta ed il manicotto assieme di altri 4 cm. Il valore di questa resistenza così misurata, detta resistenza “totale” (punta+manicotto) detratto della corrispondente porzione di res.di punta (quella relativa ai secondi 4 cm) dà la resistenza di attrito laterale, ovvero lo sforzo per infiggere un manicotto in un terreno già “rotto” dalla punta nella fase (a).

c) dopo gli 8 cm delle fasi (a) e (b) in cui sono state compiute le misure sopra descritte, viene spinta di ulteriori 12 cm tutta la batteria di aste, agendo sulle aste principali (esterne) e senza rilevare i valori di rottura locali (punta+manicotto) ma solo, in qualche caso, lo sforzo totale di penetrazione di tutta la batteria di aste.

Si identificherà con:

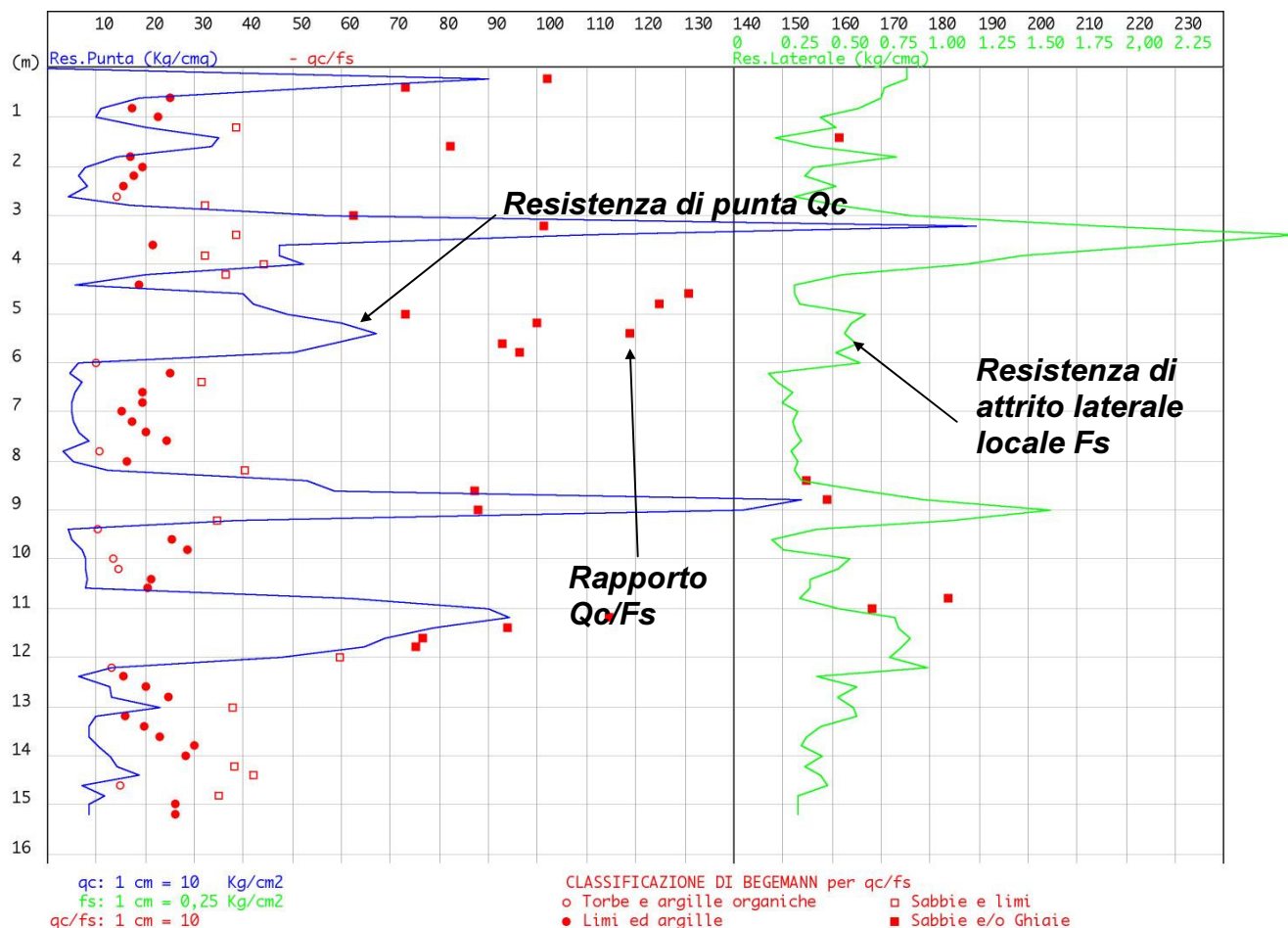
R_p = resistenza alla punta

F_s = resistenza laterale (o *friction*)



Attraverso i dati rilevati viene comunemente calcolato il rapporto fra la resistenza di punta e la resistenza di attrito laterale locale (rapporto cosiddetto “Begemann”) o il reciproco (rapporto delle resistenze o friction ratio $F_R = 100 \cdot F_s / Q_c$).

A parità di resistenza di punta, più basso è il rapporto Begemann Q_c / F_s e più il terreno è argilloso.



Vantaggi e svantaggi

Si può quindi affermare che:

- i parametri ottenibili **sono molti e relativamente affidabili** (angolo d'attrito ϕ° , Densità relativa D_r , Coesione non drenata c_u , modulo di elasticità E) proprio grazie alla notevole diffusione da molti anni di questa prova e le conseguenti possibilità di taratura sia con altre metodologie di indagine che anche attraverso possibilità di verifica in casi reali.

D'altro canto la prova soffre di evidenti limitazioni quali:

- **scarsa precisione del sistema di misura** dovuto anche alla presenza di molte parti in movimento e quindi attriti e dall'imprecisione intrinseca dei sistemi di misura tutt'oggi ancora diffusamente impiegati e dal fatto che

- **l'effettiva misura si riferisce ad un tratto di soli 8 su 20 cm.**

Un'analisi critica delle **correlazioni** indica che il campione di indagini su cui si basa la validità di certe correlazioni è abbastanza ristretto, ovvero si può affermare che nella maggior parte dei casi le correlazioni hanno **una validità strettamente locale**, quindi è necessaria in ogni caso una taratura delle CPT con prove specifiche, in qualche caso **diffidando da correlazioni troppo spinte** (troppo spesso i calcoli geotecnici sono fatti in base ai risultati delle sole prove penetrometriche statiche, dove la natura dei terreni lo permette, molte volte non tenendo conto dell'intrinseca imprecisione dello strumento di misura).

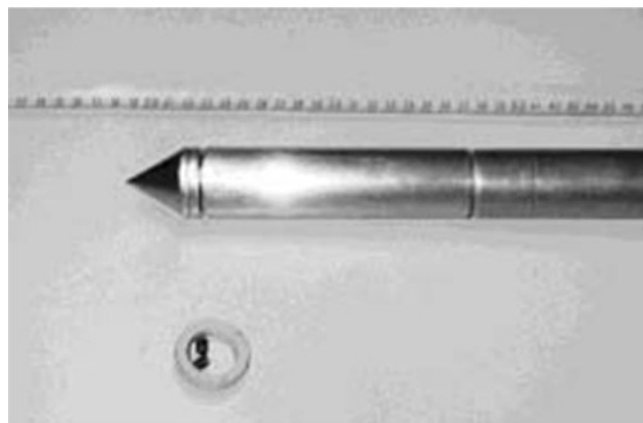
Anche in caso di manometro perfettamente tarato la scala del quadrante è tale che i valori bassi (da 1 a 10 kg/cmq) sono a malapena avvertibili dal movimento della lancetta sul quadrante.

Le prove penetrometriche statiche con punta meccanica **CPT** dovrebbero essere considerate prevalentemente "**qualitative**", riservando il rilievo di parametri utili per la progettazione a prove più precise (ad es. CPTE e CPTU) o prove specifiche (prove in situ o prove di laboratorio).

Tale opinione è confortata dal fatto che l'Italia resta uno dei pochissimi paesi al mondo (forse l'unico) dove la stragrande maggioranza delle prove penetrometriche viene eseguita con punta meccanica e dove ancora si producono sistemi CPT.

Punta elettrica e piezocono CPTE e CPTU

La prova con **punta elettrica** (CPTE) o con **piezocono** (CPTU) è l'evoluzione della prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT). Di seguito sono riportate alcune foto del piezocono (la prima evidenza il piezocono con filtro a fessura, la seconda evidenza un filtro "standard" di metallo sinterizzato):



I valori di resistenza del terreno non vengono più rilevati con un sistema di aste scorrevoli che trasmettono i carichi ad un manometro di superficie, bensì con degli **estensimetri posti direttamente all'interno della punta**. Questi estensimetri, con deformazioni meno che millimetriche dei componenti della punta (cono e manicotto), producono dei segnali elettrici proporzionali alle variazioni di carico e quindi alle componenti di resistenza del terreno.

I segnali elettrici (analogici) vengono digitalizzati con convertitori direttamente posti all'interno della punta e vengono memorizzati in un circuito interno; possono quindi essere inviati direttamente in superficie dove è presente una apposita "centralina" con funzioni di memorizzazione, stampante, salvataggio dati su dischetto ed eventuale trasmissione a PC.

I **vantaggi** rispetto alla prova statica con punta meccanica CPT sono in sintesi:

- **Precisione e linearità della lettura:** L'aumento di sensibilità è indispensabile nel rilievo dei valori di resistenza di materiali molto soffici. La linearità è una caratteristica molto importante in quanto garantisce che i valori letti siano quelli reali in tutto il "range" di misura dello strumento.

- Rilievo dei **valori ogni 2 cm** (o meno) invece dei 20 cm della prova CPT
- Piezocono CPTU: Rilievo dei valori di **sovrappressione U** durante l'infissione. L'infissione della punta, in caso di terreno saturo, produce una variazione della pressione neutrale (U) inversamente proporzionale alla permeabilità.

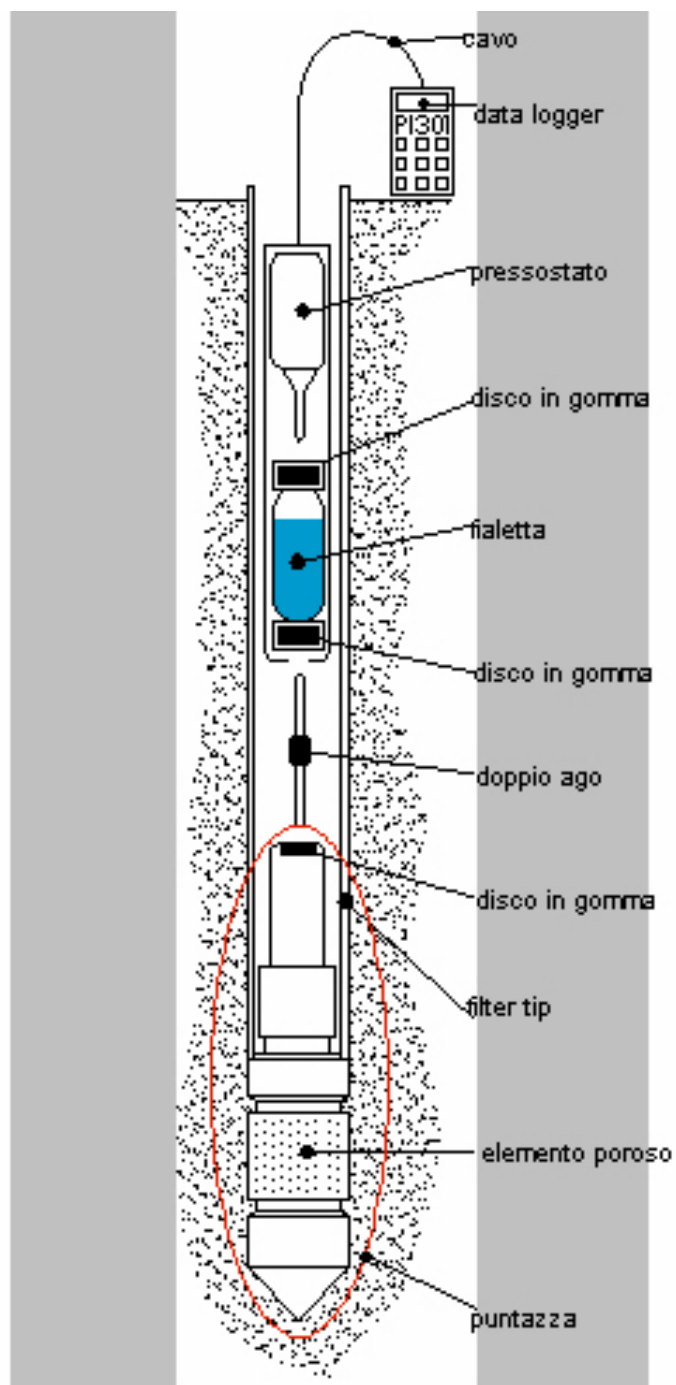
Il rilievo della U in fase di avanzamento permette il confronto fra diversi parametri o combinazioni dei tre parametri rilevati (Q_c, F_s, U) e quindi consente anche una classificazione del terreno in questo senso.

Punte "ambiente"

Nella categoria **punte ambiente** (*environmental cones*) ricadono tutte quelle punte che, in aggiunta o in alternativa ai rilievi di Q_c, F_s, U , permettono il rilievo diretto di parametri chimici del terreno, o di parametri correlabili alla presenza di inquinanti. Nel primo caso le punte ambientali con rilievo dei parametri direttamente in punta tramite una sonda multiparametrica montata sopra il piezocono: si tratta quindi essenzialmente di una punta penetrometrica CPTU strumentata con sensori aggiuntivi che permettono di rilevare pH, Redox, conducibilità, temperatura, Ossigeno disciolto negli strati dove il piezocono rileva una maggior permeabilità (sabbie, limi). I valori vengono acquisiti e memorizzati in tempo reale con il medesimo sistema usato per le prove con piezocono.

Allegato E - SISTEMA "GEON" (ex-"BAT")

(da M.Sacchetto – Atti Scuola permanente suoli e siti contaminati – maggio 2002)



Sostanzialmente con il GEON è possibile intervenire nei seguenti modi :

Calcolo della permeabilità

Il GEON può essere impiegato sia nei fori di sondaggio sia spinto con il penetrometro (come una normale punta) per il calcolo della permeabilità in maniera molto più precisa di altri metodi e soprattutto in tempo reale. Praticamente la prova consiste nel calare entro la batteria di aste infisse nel terreno (con la punta-filtro all'estremità inferiore) una fialetta in cui è stato creato il vuoto collegata ad un misuratore di pressione (pressostato) . La fialetta viene calata con un cavo che connette il pressostato con un microcomputer e data-logger adeguatamente programmato. In terreni saturi il calcolo del coefficiente di permeabilità viene eseguito misurando la variazione di pressione all'interno della fialetta in funzione del tempo fino a stabilizzazione. La fialetta sotto vuoto è messa in comunicazione con la punta-filtro (cella piezometrica) tramite un sistema di doppio ago ipodermico; si ha

quindi la certezza che la connessione (e quindi le misure) è stabilita al momento dell'immissione della fialetta+pressostato entro le aste e in corrispondenza della punta-filtro. Il microcomputer (data logger) è programmato in modo da visualizzare il calcolo del coefficiente di permeabilità K per ogni intervallo di tempo oppure medio; i dati sono scaricabili in un PC. In una verticale penetrometrica la scansione delle misure può essere anche decimetrica e quindi si può avere una mappa delle permeabilità del terreno in tempo reale.

Il calcolo di K può essere eseguito anche in terreni non saturi, mediante pressurizzazione dell'acqua dentro la fialetta e graduale rilascio una volta stabilita la connessione con la punta-filtro. Il sistema può essere impiegato anche dentro i fori di sondaggio, oltre che essere impiegato con il penetrometro (più economico). Con una serie di verticali si può comporre una “mappa” delle permeabilità e quindi avere una sorta di mappa di rischio-contaminazione, in tempi brevissimi e con costi estremamente più ridotti rispetto ad altri sistemi.

Una pesante limitazione di tale sistema nell'ambito di un uso come permeametro risiede nel fatto che la “resistenza idraulica” dell'intero sistema composto da: filtro e doppio ago ipodermico è tale da non poter valutare permeabilità più alte di circa 10^{-4} cm/s, il che limita l'uso del permeametro GEON al massimo al range di permeabilità che va dalle bentoniti (materiale quasi impermeabile) ai limi sabbiosi/argillosi. In una sabbia “pulita” (che abbia una permeabilità dell'ordine di $10^{-2} - 10^{-3}$ cm/s) non è possibile rilevarne la permeabilità.

Per ovviare a tale inconveniente è allo studio una modifica del sistema (ad es. impiegando un doppio ago ipodermico di sezione maggiore) tale per cui possa aumentare il “range” della permeabilità misurabile.

Campionamento di acqua e di gas (water-gas-sampling)

E' analogo a quanto descritto sopra, con la differenza che alla fialetta non è connesso un pressostato e quindi viene semplicemente riempita per differenza di pressione. In questo caso l'installazione del piezometro è “fissa” per il monitoraggio di una particolare falda. Può essere impiegato indifferentemente per campionamento di fluidi, di gas, di inquinanti particolari, dato che non vi sono collegamenti elettrici. E' considerato il metodo più affidabile per ottenere campioni di fluidi dal sottosuolo.

Vantaggi:

Infatti rispetto ai sistemi tradizionali offre i seguenti vantaggi :

- non vi è contatto diretto con il campione durante le operazioni di campagna;
- non vi è rischio di contaminazione fra differenti aquiferi (*cross-contamination*);
- la probabilità di ossidazione del campione nella fase di evacuazione del campionatore è molto ridotta rispetto a sistemi tradizionali;
- il gas disciolto può essere analizzato separatamente;
- in caso di installazioni fisse il prelievo dei campioni di acqua o gas avviene solo in corrispondenza del livello in corrispondenza del quale sono posizionate le celle piezometriche.

Le celle piezometriche sono comunemente disponibili nei diametri corrispondenti ad un volume di campionamento di 35, 150, 500 ml .

Allegato F - CONDUCIBILITA' IDRAULICA

(da G.P. Beretta – Atti Scuola permanente suoli e siti contaminati – maggio 2002)

Pozzetto superficiale

Le condizioni ottimali prevedono una profondità dello scavo pari a 1/7 di quella intercorrente tra base dello scavo e livello di falda, con diametro o lato di 10-15 volte il diametro massimo dei granuli terreno non inferiore a 10-6 m/s.

Nelle prove con pozzetto **circolare** la conducibilità idraulica è data da:

a carico costante:

$$k = \frac{Q}{d h_m \Pi}$$

- a carico variabile

$$k = \frac{d (h_2 - h_1)}{32 (t_2 - t_1) h_m}$$

Per il pozzetto a base **quadrata**:

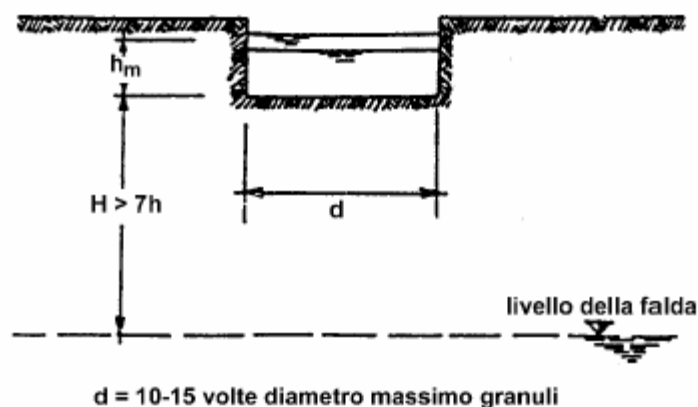
a carico costante:

$$k = \frac{Q}{27hb + 3b^2}$$

- a carico variabile

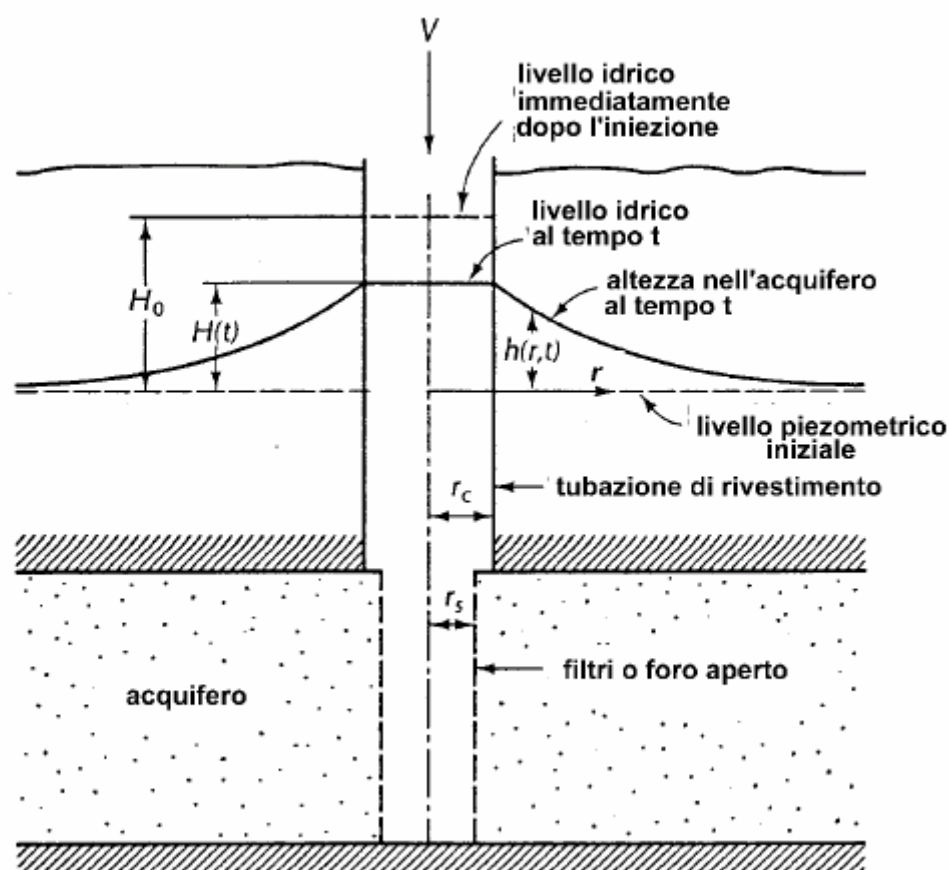
$$k = \frac{(h_2 - h_1) [1 + (2h_m/b)]}{(t_2 - t_1) (27 h_m/b) + 3}$$

essendo Q (m^3/s) la portata di assorbimento a livello costante, h_m (m) l'altezza media dell'acqua nel pozzetto (maggiore di $d/4$), d (m) il diametro del pozzetto cilindrico, b (m) il lato della base quadrata, $(t_2 - t_1)$ l'intervallo di tempo (s) nel quale si misura la variazione di livello dell'acqua nel pozzetto ($h_2 - h_1$) (m).



Slug Test

Gli slug tests consistono nell'immissione o nel prelievo istantaneo di un volume noto di acqua da un pozzo, registrando il momento di ripristino dell'originario livello della falda; il medesimo fenomeno può essere riprodotto depressurizzando il pozzo e verificando la risalita del livello dell'acqua al rilascio della pressione.



Nello schema soprastante vengono illustrate le caratteristiche geometriche e le variabili che devono essere note per l'esecuzione di tale prova nel caso di falda confinata. Questo procedimento è generalmente il medesimo per falde libere o confinate e viene utilizzato per valori di k di 10^{-5} m/s, anche se è possibile impiegarlo nei livelli acquiferi.

Le variazioni del livello dell'acqua vengono registrate usando un trasduttore di pressione con registratore a nastro o una sonda piezometrica elettrica.

Per provare terreni ad elevata permeabilità viene generalmente utilizzato un sistema registratore-trasduttore a risposta rapida poiché generalmente l'intero recupero di livello avviene in pochi minuti. Siccome il valore di risposta del livello dell'acqua decresce nel tempo, il livello dell'acqua e le variazioni di pressione possono essere rilevate secondo incrementi che sono approssimativamente ugualmente spazati rispetto al logaritmo del tempo a partire dall'abbassamento del livello nel pozzo.

La prova deve continuare fino a che il livello dell'acqua nel pozzo abbia raggiunto almeno l'85% del valore di partenza.

Per una corretta interpretazione dei risultati e una valutazione appropriata della conducibilità idraulica occorre tenere presente i seguenti elementi relativi agli slug tests:

- forniscono informazioni limitate unicamente alla porzione adiacente alla parte filtrata del pozzo;
- la lunghezza dei filtri controlla direttamente l'estensione della zona realmente indagata e la conducibilità idraulica delle porzioni superiore ed inferiore alla fenestrata non influiscono sull'esito della prova;
- è necessario verificare che i filtri e il dreno in corrispondenza degli orizzonti esaminati siano stati sviluppati in modo adeguato;
- gli strumenti usati per ricavare i dati devono considerare la natura dell'acquifero in quanto da esso dipende la velocità di variazione dei livelli e l'entità della portata estratta o immessa.

La metodologia di applicazione è descritta in numerosi manuali e pubblicazioni, ai quali si rimanda (*Beretta G.P., 1992, Bouwer H., 1978, Bouwer H., Rice R.C., 1976, Bredehoeft J.D., 1980, Cooper H.H., Bredehoeft J.D., Papadopoulos I.S., 1967, Fetter C.W., 1980, Papadopoulos S.S., Bredehoeft J.D., Cooper H.H., 1973, U.S.Environmental Protection Agency, 1984 e 1986c*).

Allegato G - SOLUZIONI E SOSTANZE PER DECONTAMINAZIONE

(da G. Chiesa - Pozzi di rilevazione – Quaderni delle acque sotterranee n°2)

Prodotti usati	Soluzioni	Usi
Acqua potabile	----	In pressione o come vapore per eliminare le parti più grossolane
Detergenti non fosfatici	Su indicazioni del fornitore	Per ogni uso
Carbonato di sodio	soluzione al 5%	Per neutralizzare acidi organici e metalli pesanti
Bicarbonato di sodio	soluzione al 5%	Per neutralizzare basi o acidi neutri
Fosfato trisodico	soluzione al 5%	Come il bicarbonato di sodio per solventi ed per alcuni composti organici
Cloruro di calcio	soluzione al 10%	Per i pesticidi, fungicidi, fenoli, clorurati, diossina, cianuri, ammoniaca, e prodotti inorganici non acidi.
Acido cloridrico	soluzione al 1,2%	Per basi inorganiche, basi e composti caustici
Acido citrico, ossalico e tartarico	soluzione al 5%	Per metalli pesanti
Solventi organici	concentrate	Per composti organici e per pulire superfici (tubi) oleose

Allegato H - MATERIALI PER TUBAZIONI PIEZOMETRICHE

(Da AA.VV.)

MATERIALI	APPLICAZIONI	SVANTAGGI
Fluoropolimeri: (Teflon) (PTFE) Politetrafluoroetilene, (TFE) Tetrafluoroetilene, (FEP) Etilpropilene fluorinato, (PFA) Perfluoroalcoxi (PVDF) Polivildene fluoruro	Resistono a qualsiasi attacco chimico-biologico, specialmente agli acidi forti (fluoridrico, nitrico, solforico,) ad acidi organici, all'ossidazione, ai raggi ultravioletti e qualsiasi tipo di degradazione. Non assorbono e non rilasciano costituenti chimici in presenza di una soluzione. Possiedono elevata costante dielettrica, basso coefficiente d'attrito ed elevato coefficiente di dilatazione.	Molto costosi (10 x il PVC), meno maneggevoli in quanto più pesanti (2 x il PVC), più flessibili (colonne lunghe tendono a "sedersi" e attorcigliarsi); se bagnati scivolano facilmente; meno resistenti alla trazione (prof. max 100 m); scarsa resistenza alla compressione (rottura dei giunti o schiacciamento delle fenestrate in profondità) Il PTFE assorbe rapidamente grandi quantità di tetracloroetano
Metallici: Acciaio normale, acciaio a basso contenuto di carbonio , acciaio galvanizzato , acciaio inox (AISI 304 e 316)	Meccanicamente e termicamente più resistenti degli altri; <u>applicabili con:</u> pH superiore a 7,0, ossigeno disciolto < 2 mg/l; H ₂ S < 1 mg/l; solidi disciolti < 1000 mg/l; CO ₂ < 50 mg/l; Cl ⁻ < 500 mg/l; La zincatura aumenta la resistenza alla corrosione (anche se non in tutti gli ambienti); l'inox resiste in ambienti ossidanti; inox AISI 316 resiste bene ai composti dello zolfo (acido solforico) ed acidi organici.	Tubi pesanti e poco maneggevoli; soggetti a corrosione di vari tipi: selettiva (dezincificazione) o perdita di un componente della lega con indebolimento; bimetallica per effetto galvanico (giunzioni tra metalli); ossidazione , con formazione di ruggine; acciai al carbonio corrodendosi danno origine a composti di Fe e Mn, come solfuri, ossidi e idrossidi; in ambiente riducente si liberano metalli allo stato puro; la catramatura è inutile; sconsigliabile <u>acciaio normale e zincato</u> in pozzi di rilevazione; ferrobatteri possono degradare acciaio inox.
Termoplastici: (PVC) Cloruro di polivinile, (ABS) Acrilonitrile butadiene stirene	Leggeri e maneggevoli; costo decisamente inferiore; resistenti corrosione elettrochimica e galvanica; resistenti attacchi biologici; resistenti all'abrasione; elevato rapporto resistenza/peso; durata in ambiente idrico sotterraneo; facilmente lavorabili (taglio, incollaggio, filettature), richiedono scarsa manutenzione dovuta ad incrostazioni; ABS ha elevata resistenza alla temperatura; PVC non assorbe Tricloroetilene, bromoformio, tricloroetano, cromo. Per le possibili quantità disciolte, in ogni caso necessario lo spurgo prima del prelievo di campioni d'acqua.	Meno resistenti, meno rigidi e più sensibili alle temperature dei materiali metallici; lunga esposizione alla luce solare, ai raggi ultravioletti ed alle basse temperature fa aumentare rigidità e fragilità. Vengono intaccati chimicamente (solvatazione) da soluzioni concentrate di alcuni solventi organici (THF, MEK, MIBK, cicloesano) Il PVC 1, usato per i pozzi, è risultato sensibile all'attacco di CHETONI, ALDEIDI, amine, alcheni, solventi CLORURATI, che ne riducono la durata. Alcune sostanze plastificanti e stabilizzanti possono liberarsi nell'acqua (dipende da T°, pH, composizione ionica). Talvolta il PVC può assorbire piccole quantità di tetracloroetilene e grandi quantità di piombo. Se lavate con ipoclorito di sodio (candeggina) possono liberare triclorometano .

Allegato I - PIEZOMETRI: PROBLEMI DA ERRATA PROGETTAZIONE

(da G. Chiesa - Pozzi di rilevazione – Quaderni delle acque sotterranee n°2)

Una o più delle situazioni illustrate possono dare luogo a seri problemi fino a rendere inutilizzabile il pozzo:

CAUSA	PROBLEMA
Materiali delle tubazioni e/o dei filtri non compatibili con l'ambiente idrogeologico, con l'eventuale tipo di inquinante e con il programma di campionamento dell'acqua	Alterazione chimica dell'acqua, campioni non rappresentativi
Filtri imperfetti (finestrati in cantiere o con finestratura non idonea)	Acqua torbida, presenza di sabbia
Posizionamento sbagliato dei filtri (rispetto livelli acquiferi) o filtri di lunghezza errata	Caratteristiche desunte degli acquiferi erranee o mancanti
Materiale per il dreno non adatto e/o sua messa in opera non appropriata	Alterazione chimica dell'acqua, intasamento dei filtri
Materiale cementante non adatto e/o sua messa in opera non appropriata	Alterazione chimica dell'acqua, intasamento dei filtri
Insufficiente o non adeguata protezione superficiale	Probabile infiltrazione di acqua superficiale o piovana

Bibliografia essenziale:

GNDCI – Guida al disinquinamento degli acquiferi, 42, Pitagora Editrice

Segr. Tecnica per l'Accordo di Programma sulla Chimica a Porto Marghera – Protocollo operativo per la caratterizzazione dei Siti ai sensi del D.M. 471/99...

ATTI Scuola Permanente sui Siti Contaminati – ARPA FVG – SISS 2001-2002

Beretta G. – Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee, Pitagora Editrice

Casadio, Elmi – Il manuale del geologo, Pitagora Editrice

Cerbini G. – Il manuale delle acque sotterranee - Geo Graph

G.Chiesa – Pozzi per acqua, Hoepli editore

G.Chiesa – Quaderni delle acque sotterranee (1,2,3), Geo-Graph

Pernice-Tunesi – La bonifica dei Siti Inquinati, Manuali de Ilsole24ore

Provincia di Milano, Settore Ecologia – Linee Guida n° 1 e 2