

PIEZOMETRO DI MONITORAGGIO

Il piezometro, nel campo dell'idrogeologia, è un pozzo di osservazione avente lo scopo di misurare il carico idraulico di una falda ad una certa profondità. L'uso di piezometri consente di ricostruire la superficie piezometrica della falda, ossia la superficie lungo la quale la pressione dell'acqua è pari a quella atmosferica. La superficie piezometrica viene ricostruita interpolando le misure effettuate in più piezometri presenti nell'area investigata.

Informazioni ottenute con piezometri:

- pendenza, detta gradiente idraulico
- direzione del flusso di falda
- Offrono la possibilità di effettuare misure e rilevazioni dirette della falda e di prelevarne campioni d'acqua a diverse profondità.

Rispetto ai pozzi, i piezometri presentano diametri più piccoli e minore profondità e solo occasionalmente sono equipaggiati con una pompa per il prelievo dell'acqua di falda.

Piezometri permanenti : costruiti in modo da durare nel tempo e impedire la loro interazione con gli equilibri chimici e idrologici propri della falda.

Piezometri temporanei : installati per il tempo necessario all'acquisizione dei parametri chimico-fisici, ambientali e idrogeologici e poi abbandonati previa sigillatura della tubazione o estratti con ritombamento del foro. Per tale motivo essi sono quasi sempre di diametro assai piccolo (<2") e di rapida installazione.

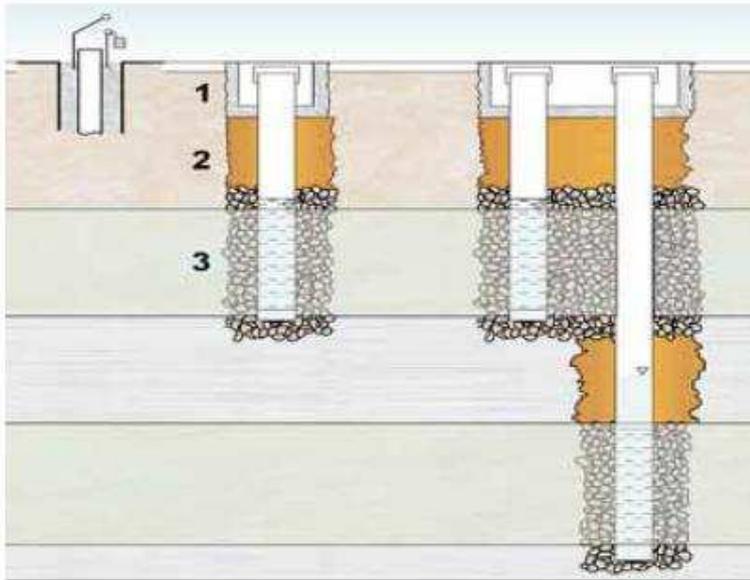
Per l'ubicazione e le loro caratteristiche costruttive devono tener conto di:

- modello idrogeologico (contesto geologico e morfologico dell'area, stratigrafia locale, parametri idrodinamici dell'acquifero e rapporti tra acquifero e reticolo idrografico)
- caratteristiche della contaminazione (tipologia di contaminante, potenziali sorgenti attive o inattive, possibili percorsi di migrazione, presenza di potenziali bersagli).

Il metodo di perforazione più utilizzato per l'installazione è quello a rotazione con carotaggio continuo, poiché assicura la necessaria precisione nella ricostruzione della successione stratigrafica e consente il prelievo di campioni di gas del suolo e/o terreno. Per la costruzione di pozzi con diametro maggiore di 6", invece, si ricorre a sistemi a distruzione di nucleo o a percussione.

I principali elementi costituenti il piezometro sono:

- **Filtro; parte del piezometro dotata di fenestratura**
- **Tubo cieco**
- **Dreno: strato inerte posto attorno al filtro in ghiaia silicea o sfere di vetro**
- **Sigillatura della parte superiore del filtro, per evitare infiltrazione di inquinanti dalla superficie**
- **Cementazione del tratto terminale più in superficie**
- **Chiusura con pozzetto e tappo con lucchetto**



Grande importanza riveste la scelta del materiale da utilizzare per il completamento del pozzo o del piezometro, il cui scopo è di garantire la durata nei confronti di processi di attacco e degradazione chimico-fisica da parte dei contaminanti. Infatti, in presenza di soluzioni acquose chimicamente reattive, alcuni componenti potrebbero essere rilasciati nei campioni che vengono prelevati, i quali, pertanto, non sarebbero più rappresentativi.

Le tubazioni comunemente utilizzate per il rivestimento possono essere schematicamente suddivise in tre tipologie:

- in acciaio: al carbonio, inossidabile, galvanizzato
- a base di fluoropolimeri: politetrafluoroetilene (PTFE) o Teflon, fluoroetilene (TFE), etilen propilene fluorato (FEP)
- in materiali termoplastici: cloruro di polivinile (PVC), acrilonitrile butadiene stirene (ABS), polipropilene (PP), polietilene ad alta densità (PEAD).

Le tubazioni in acciaio hanno grande resistenza meccanica al contrario dei fluoropolimeri che però sono più inerti e stabili e sono inattaccabili anche dagli acidi più forti. I materiali più versatili e maggiormente utilizzati sono i materiali termoplastici, che possiedono una buona resistenza meccanica, anche se minore degli acciai, e una buona resistenza all'attacco chimico. Anche il costo di ciascuna tipologia di materiale potrebbe essere un criterio di scelta vincolante.

FILTRO: porzione di piezometro che consente all'acqua di falda di penetrare al suo interno. Esso è costituito da una serie di piccole aperture (fenestrazione) omogeneamente distribuite sulla superficie del tubo la cui funzione è quella di lasciar passare l'acqua trattenendo le particelle di terreno.

Il posizionamento del filtro rispetto all'acquifero è fattore essenziale.



Vengono detti piezometri (o pozzi) completi quelli che attraversano l'intero spessore dell'acquifero. Sono detti piezometri incompleti quelli che intercettano solo una porzione dell'acquifero. La scelta tra i due è strettamente legata al tipo di contaminanti da campionare.

Le sostanze ad alta miscibilità in acqua tendono ad occupare tutto lo spessore dell'acquifero.

Quelle immiscibili o poco miscibili, dopo aver saturato l'acqua della falda, tendono a formare fasi separate il cui posizionamento in seno all'acquifero dipende dalla loro densità.

NAPL (Non-Aqueous Phase Liquids), cioè liquidi in fase non acquosa hanno valori della concentrazione a saturazione in acqua estremamente bassi e formano una fase propria o fase libera o separata.

LNAPL, Light-NAPL, cioè NAPL leggeri, sono sostanze la cui densità è inferiore a quella dell'acqua e galleggiano sulla falda,

DNAPL, Dense-NAPL, ovvero NAPL densi infatti la loro densità è maggiore a quella dell'acqua e si adagiano al di sopra del letto impermeabile che sta alla base dell'acquifero.

DRENO: materiale permeabile con cui viene riempita la zona rappresentata dall'intercapedine tra il foro di sondaggio e il filtro. Serve per consentire al filtro di svolgere efficacemente la sua funzione. Il dreno deve essere chimicamente inerte e pulito. I migliori dreni sono costituiti da ghiaia silicea o sfere di vetro cui dimensioni vanno scelte in base alla granulometria dell'acquifero e alla dimensione della finestratura del filtro.

SIGILLATURA: Ogni tipo di pozzo o piezometro deve essere cementato nella sua parte superiore con prodotti sigillanti quali cemento puro, cemento mescolato con bentonite, argilla, affinché l'acqua o contaminanti superficiali non trovino una via preferenziale per infiltrarsi nel sottosuolo.

Ne esistono due tipi:

sigillatura dell'intercapedine; forma un tappo di materiale denso sopra il dreno che impedisce l'infiltrazione verticale dell'acqua esterna nel sistema acquifero, in genere costituita da cemento o bentonite.

sigillatura della superficie; evita l'infiltrazione dell'acqua meteorica, in genere viene realizzata con una leggera pendenza centrifuga rispetto al pozzo, si usa solitamente cemento per la sua resistenza agli agenti esterni.

BOCCAPOZZO: è la sistemazione della testa del piezometro che va protetta adeguatamente affinché non venga danneggiata nè manomessa. Possono essere installati dei pozzetti di protezione e tappi con sistema di chiusura lucchettabile

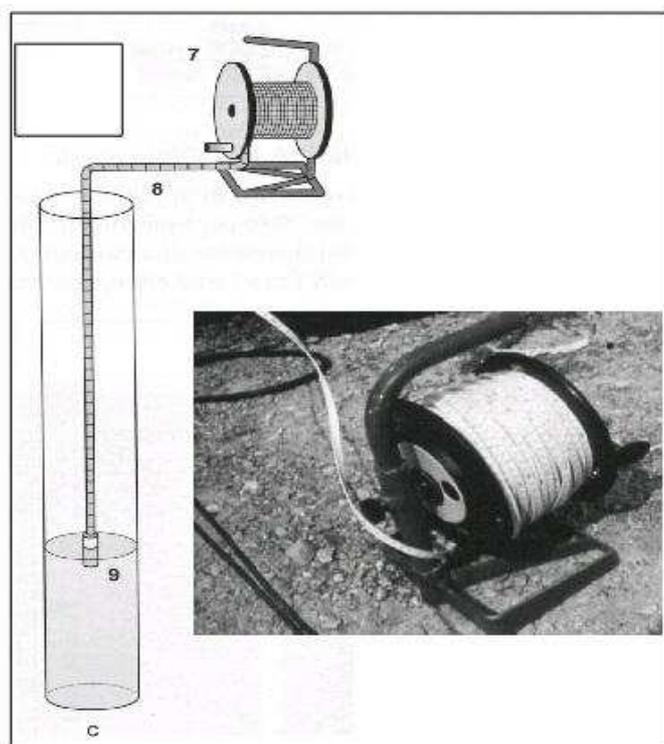
Un piezometro permette di misurare la profondità della falda rispetto al piano di calpestio, di misurare alcuni parametri chimico-fisici dell'acqua di falda e di prelevare campioni di tale acqua, di monitorare il funzionamento di un pozzo in emungimento nelle immediate vicinanze, di immettere in falda sostanze traccianti o reagenti.

E' detta soggiacenza della falda la profondità della sua superficie rispetto alla superficie topografica.

- Livello statico, se la misura della soggiacenza è relativa ad una falda indisturbata, rappresenta la profondità della superficie piezometrica della falda "a riposo". Il livello statico è soggetto a cicliche fluttuazioni dovute a cause naturali (variazioni della pressione atmosferica, del regime di alimentazione della falda, ecc.).
- Livello dinamico, se la misura della soggiacenza si riferisce ad una falda perturbata (ad esempio da un pozzo in pompaggio).

Indipendentemente dal tipo di livello di una certa falda, la misura della soggiacenza va effettuata prima di ogni altra operazione per evitare di alterare il livello dell'acqua nel piezometro, in particolare spurgo e campionamento.

Freatimetro: il livello della falda viene segnalato dalla chiusura di un contatto elettrico, rilevabile a mezzo di segnale sonoro e/o luminoso.



Misura in campo di parametri di qualità dell'acqua

sonde mono o multiparametriche consentono la misura in continuo di uno o più parametri contemporaneamente; la misura utilizza tecniche potenziometriche. Parametri rilevabili: T, pH, potenziale redox, conducibilità elettrica, salinità, torbidità, profondità, ossigeno disciolto, clorofilla-a, cianobatteri, ioni specifici.



La misura può essere eseguita:

- Calando la sonda all'interno del piezometro
- Eseguendo la misura in una cella di flusso (flow-through cell)

.Cella di flusso: è costituita da una piccola camera con un ingresso e un'uscita; durante la fase di spurgo l'acqua attraversa la camera; dopo la stabilizzazione dei parametri è possibile procedere alla lettura degli strumenti senza disturbo dell'atmosfera esterna.

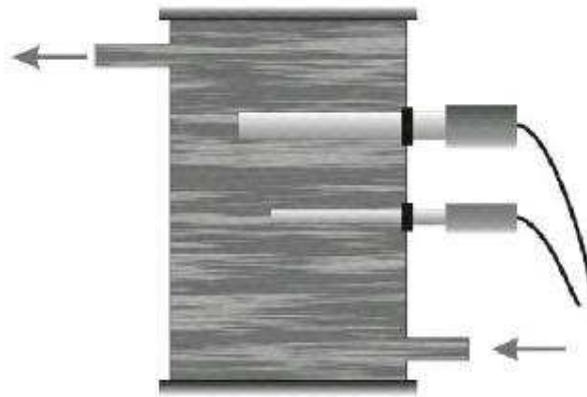


Fig. 24. Schema di una cella di flusso (flow through cell).

TECNICHE DI REALIZZAZIONE DEI PIEZOMETRI

- A rotazione: senza distruzione del nucleo (idoneo per il prelievo di campioni di suolo, acqua e gas), con distruzione di nucleo (per diametro >6")
- A percussione (direct push): più rapido

Al termine della posa in opera e dell'esecuzione delle cementazioni sarà necessario effettuare il cosiddetto sviluppo del piezometro per assicurare una corretta connessione idraulica con l'acquifero. Durante l'installazione, infatti, potrebbero introdursi nell'acquifero circostante fluidi estranei.

Lo sviluppo rimuove i sedimenti fini lungo il contatto filtro-acquifero e per un certo tratto all'interno della formazione. I metodi di sviluppo differiscono per il tipo di apparato utilizzato e per il tipo di movimento impresso all'acqua attraverso i filtri:

Pompaggio



Pistonaggio



Spurgo con aria compressa (air lift)

CAMPIONAMENTO

Obiettivo del campionamento è quello di rendere disponibile per le analisi chimiche un'aliquota dell'acqua appartenente all'acquifero di cui si vuole conoscere lo stato chimico-fisico in un dato momento.

Prima di prelevare un campione di acqua è necessario assicurarsi che esso rappresenti effettivamente la falda nell'intorno del piezometro. Infatti, all'interno del piezometro l'acqua potrebbe rimanere intrappolata, specie quella che eventualmente dovesse trovarsi al di sopra del tratto filtrante, e quindi essere soggetta a fenomeni chimico-fisici che non riguardano invece l'acquifero. Inoltre, è possibile che si verifichino perdite di composti volatili dalla colonna d'acqua, o miscele con l'ossigeno atmosferico o adsorbimento di sostanze sulle pareti del piezometro o sul dreno, o interazioni chimiche con la bentonite o infiltrazioni dalla superficie. Per ovviare a questi inconvenienti, ogni operazione di campionamento deve essere preceduta da un corretto spurgo del piezometro.

SPURGO DEI POZZI

Lo scopo dello spurgo è quello di eliminare il volume d'acqua che staziona all'interno del piezometro, in quanto sottoposto ad equilibri chimici e fisici differenti da quelli presenti nell'acqua della falda, per via delle interferenze con i materiali di rivestimento del pozzo e del contatto con l'atmosfera.

Tale eliminazione consente quindi il prelievo di un campione rappresentativo di acqua di falda.

L'operazione di spurgo deve creare il minor disturbo possibile alle condizioni naturali di deflusso.

Criteri di spurgo: la portata di spurgo non deve essere né troppo elevata (può creare torbidità o richiamo di prodotto libero), né troppo bassa (tempi lunghi, operazione incompleta).

TECNICHE DI SPURGO

Spurgo tradizionale (portata pari a pochi l/s):

a) criterio basato sul volume del pozzo; è sufficiente lo spurgo di un volume pari a 3-5 volte quello del pozzo in condizioni statiche, metodo semplice, tempi e volumi elevati per pozzi di grandi dimensioni.

b) criterio legato alla stabilizzazione di parametri chimico-fisici; durante lo spurgo sono monitorati alcuni parametri on-line (conducibilità, ossigeno, pH, T), mediante sonde multiparametriche; lo spurgo si può fermare quando il parametro scelto si stabilizza in valore; difficoltà nella scelta del parametro

Low-flow purging (portata $<0,5$ l/s): con portate molto basse di spurgo, si può ipotizzare che solo la portata al di sopra della parte finestrata sia stagnante, mentre la parte in corrispondenza di questa è in comunicazione con la falda; lo spurgo a bassa portata viene eseguito calando lentamente nel pozzo la pompa in modo da evitare la miscelazione dell'acqua, estraendo la portata finché non si verifica la stabilizzazione dei parametri chimico-fisici; tecnica efficace per i piccoli volumi spurgati e il modesto disturbo dato così all'equilibrio dei contaminanti.

PRELIEVO DI CAMPIONI

L'obiettivo primario dell'operazione di campionamento consiste nel prelievo di un campione di acqua che sia il più rappresentativo possibile della composizione chimico-fisica della falda. È quindi necessario:

- . Evitare l'uso di strumenti che introducano aria o gas inerti per il sollevamento del campione, che introducano variazioni di pressioni significative o elevata turbolenza;
- . Adoperare sistemi di sollevamento che applichino sul campione pressioni positive, piuttosto che negative, al fine di limitare i fenomeni di volatilizzazione;
- . Scegliere materiali tali da minimizzare i fenomeni di trasferimento di sostanze da e verso il campione quali liberazione di additivi, adsorbimento ecc; pompe e campionatori in acciaio inossidabile o resina al fluorocarbonio
- . Riempire il contenitore in modo tale che tra il pelo libero e il tappo resti intrappolata la minor quantità d'aria.

TIPOLOGIE DI CAMPIONAMENTO

Statico: viene prelevata manualmente una parte dell'acqua presente all'interno del piezometro/pozzo, previo spurgo. Il metodo consente il prelievo di eventuali fasi separate in galleggiamento, il prelievo di campioni a diversa quota. Pericolo che il campione non sia rappresentativo della qualità dell'acqua di falda, ma solo di quella temporaneamente presente nel piezometro/pozzo.

Dinamico: il campione viene prelevato mediante pompa, previo spurgo. Il metodo consente il prelievo di un campione “medio” dell'acqua presente nel pozzo, rappresentative alla composizione media della falda indagata. Pericolo che le operazioni di prelievo modifichino le caratteristiche idrodinamiche e di qualità della falda.

PORTATE E VOLUMI DI CAMPIONAMENTO

Al fine di ottenere un'elevata qualità dei campioni occorre sollevare una portata modesta, inferiore a quella di spurgo nel piezometro.

La tecnica più idonea a tale scopo è quella del “low-flow sampling”, con prelievo di una portata bassissima ($<0,3$ l/min), in grado di minimizzare il disturbo del sistema acquifero, lo stripping dei contaminanti e la mobilizzazione dei solidi sospesi. Il volume di campionamento dipende dal numero di parametri da analizzare; volume minimo opportuno >1 litro.

MODALITA' DI CAMPIONAMENTO

Campionatori in linea: riempimento del recipiente con la tubazione immersa nel liquido, eliminando quello in eccesso con un tubo di scarico; in tal modo si evita lo “spazio di testa”.

Campionatori puntuali: utili per il prelievo di campioni senza pompaggio

- bailers: recipienti cilindrici lunghi 1-2 m, in acciaio inox, PEAD, PVC, legati a un cavo e dotati di valvola sferica di fondo, apribile con raccordo per lo svuotamento dal basso, al fine di evitare l'aerazione del campione;
- campionatori a siringa

POMPE SOMMERSE

L'apparato di pompaggio dell'acqua è calato all'interno del pozzo. In questa categoria le pompe centrifughe sono quelle più largamente diffuse; sono costituite da un corpo cilindrico in acciaio al cui interno è alloggiata una serie di eliche (dette giranti) con il compito di sollevare l'acqua fino in superficie. Le più evolute fra queste sono dotate di dispositivi elettronici che consentono di regolare con precisione la portata agendo direttamente sulla velocità delle giranti e di ottenere portate estremamente basse, adatte al campionamento low-flow. Utilizzabili in piezometri di diametro >2"; non risultano adatte a spurghi di acque eccessivamente torbide a causa della tendenza ad intasarsi e alla delicatezza delle parti interne. Tra le pompe sommerse si va diffondendo l'uso delle pompe a soffiutto (bladder pump), facilmente trasportabili e particolarmente adatte al campionamento a bassa portata ed in piezometri di piccolo diametro (1"). Il corpo pompa contiene un soffiutto (bladder) che, mediante una serie di cicli di compressione-decompressione generati da un flusso intermittente di aria o gas compressi, provoca una spinta verso l'alto dell'acqua. Regolando la pressione dell'aria (o gas) compressa è possibile ottenere portate anche estremamente basse; inoltre, l'acqua non entra mai in contatto con l'atmosfera e vengono evitati i problemi di degasaggio del campione.

POMPE ASPIRANTI

Tra queste si segnalano le peristaltiche, costituite da una tubazione di mandata in gomma calata nel piezometro e collegata ad un rotore che, mediante dei cilindretti, comprime la tubazione stessa creando una pressione negativa capace di richiamare acqua dal piezometro. Sistemi come quello descritto sono detti “a depressione” e hanno un limite fisico di funzionamento che è in teoria prossimo ai dieci metri di colonna d'acqua ma in pratica difficilmente superiore agli otto. I modelli più economici prevedono il funzionamento manuale del rotore tramite una manovella, mentre quelli più sofisticati posseggono un motore alimentato elettricamente (da rete o batteria) e dotato di potenziometro per la regolazione di fine della velocità di rotazione e, di conseguenza, della portata. L'uso di pompe peristaltiche consente il campionamento di acque superficiali (<8-9 m) da piezometri anche di piccolo diametro (2") ma, a causa del funzionamento a depressione, è sconsigliato nel campionamento di composti volatili poiché ne favorisce l'estrazione dall'acqua.

POMPE INERZIALI

È la tipologia più semplice. Costituita da una tubazione in polietilene ad alta o bassa densità (PEAD o PEBD) la cui estremità sommersa è fornita di una valvola di non ritorno, funziona imprimendo, di solito manualmente, movimenti alternati dal basso in alto e viceversa. Il sistema si dimostra assai economico e consente il campionamento a discrete profondità. Di contro, l'agitazione provocata dal funzionamento tende ad intorbidire l'acqua che risale. Per consentire maggiore prevalenza e costanza alla portata fornita, è possibile applicare a queste pompe un meccanismo manuale o a motore.

Il numero dei campioni da prelevare in ciascuna campagna di indagine va stabilito di volta in volta in base alle esigenze del lavoro e alla disponibilità di una rete di monitoraggio. Affinchè i dati di una campagna siano confrontabili con quelli delle precedenti e delle successive e preferibile che ciascuna campagna interessi gli stessi piezometri e che vengano seguite le medesime metodologie di campionamento. Operata la scelta dei piezometri da campionare, si procede al prelievo dei campioni dopo aver concordato con il laboratorio di analisi la quantità di acqua necessaria a formare ciascun campione e la tipologia di contenitore da utilizzare per le varie analisi. E' prassi comune, a questo proposito, che la vetreria necessaria venga preparata ed inviata dal laboratorio incaricato delle analisi, il quale assicura anche la perfetta sterilità di tutto il materiale inviato. E' bene richiedere al laboratorio di inviare assieme alla vetreria un campione di controllo di natura nota denominato trip blank (bianco di trasporto) in contenitore sigillato sul quale il laboratorio stesso eseguirà analisi di controllo per verificare che non vi sia stata contaminazione della vetreria durante il trasporto verso e dal sito d'indagine. Prima di iniziare il riempimento del recipiente o dei recipienti destinati a ciascun campione, questi devono essere "avvinati", ossia sciacquati con l'acqua proveniente dal piezometro (in genere l'acqua di spurgo immediatamente prima del campionamento).