



Provincia di Milano

*U.O. Interventi Acque Suolo e
Sottosuolo*

Ufficio bonifiche suolo e sottosuolo

LINEE GUIDA N. 2

**DEFINIZIONE DELLO STATO QUALITATIVO
DELLE ACQUE SOTTERRANE E CRITERI DI
MASSIMA PER LA PROGETTAZIONE DI
INTERVENTI DI DISINQUINAMENTO IN SITI
CONTAMINATI**

**Approfondimenti in merito a quanto previsto negli
allegati n. 2 e 3, D.M. n. 471/99, ai sensi dell'art. 17
D.Lgs. 22/97**



Milano, giugno 2000

Realizzazione a cura di:

Guido Rosti *Dirigente U.O. Interventi Acque Suolo e Sottosuolo*
Rosanna Cantore *Geologo Ufficio bonifiche suolo e sottosuolo*
Andrea Zelioli *Geologo Ufficio bonifiche suolo e sottosuolo*

Con la collaborazione dei Geologi dell'Ufficio bonifiche suolo e sottosuolo:
Federica Facchino, Gianni Porto, Paola Raimondi, Piergiorgio Valentini.

Il presente elaborato è disponibile sul sito web dell'U.O. Interventi Acque Suolo e Sottosuolo:

www.provincia.milano.it/ambiente/acquesuolo



INDICE

- 1. DEFINIZIONE PRELIMINARE DEL MODELLO CONCETTUALE IDROGEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO**

- 2. INDAGINI FINALIZZATE ALLA DEFINIZIONE DELLO STATO QUALITATIVO DELLE ACQUE DI FALDA**
 - 2.1 TIPI DI PIEZOMETRI E LORO PROFONDITÀ**

 - 2.2 UBICAZIONE**

 - 2.3 METODO DI PERFORAZIONE**

 - 2.4 DEFINIZIONE DELLA FENESTRATURA**

 - 2.5 SCELTA DEI MATERIALI, COMPLETAMENTO E SVILUPPO**

 - 2.6 RILEVAMENTO DEL LIVELLO DI FALDA E DI EVENTUALI SOSTANZE IMMISCIBILI**

 - 2.7 DEFINIZIONE DELLA PIEZOMETRIA E DELLE DIREZIONI DI FLUSSO DI FALDA**

 - 2.8 SPURGO DEI POZZI**

 - 2.9 PRELIEVO DEI CAMPIONI D'ACQUA**

- 3. CRITERI DI MASSIMA PER LA PROGETTAZIONE DI INTERVENTI DI DISINQUINAMENTO MEDIANTE POZZI DI SBARRAMENTO IDRAULICO**



PREMESSA

In adempimento alle le attività istituzionali ad essa demandate in materia di contaminazione del sottosuolo e delle acque sotterranee, la Provincia di Milano ha negli anni sviluppato un notevole bagaglio di conoscenze tecnico-scientifiche che si sono spesso concretizzate sotto forma di pubblicazioni ed articoli di approfondimento. Tale documentazione è stata da sempre prodotta con lo scopo prioritario di divulgare e trasmettere le esperienze maturate a tutti gli operatori del settore, sia pubblici che privati, al fine di interpretare al meglio il ruolo degli Uffici come “servizio di pubblica utilità” a disposizione dell’utenza, oltre, ovviamente, allo svolgimento delle attività demandate per legge.

In particolare, in applicazione di quanto previsto all’art. 17 del D.Lgs. 22/97 in materia di siti contaminati, l’Ufficio bonifiche suolo e sottosuolo della Provincia di Milano opera da tempo sulle centinaia di casi di contaminazione presenti sul proprio territorio. Le tematiche di competenza vanno dalla verifica tecnica in merito all’adeguatezza dei progetti presentati ed all’efficacia dei metodi di bonifica proposti, sino alle attività operative di controllo sulla conformità degli interventi predisposti in fase esecutiva, ai fini della certificazione finale.

Sulla scorta di tale esperienza ed al fine di ottimizzare la tempistica di intervento dell’Ufficio ed uniformarne le scelte operative ispirandole ai medesimi standards tecnici, è stata predisposta e divulgata tramite il sito Internet dell’U.O. Progetti Speciali la redazione di una serie di Linee Guida, anche al fine di permettere a tutti gli “addetti ai lavori” di trarne spunti nell’ambito delle proprie attività.

Già nel febbraio 1998, prima dell’entrata in vigore del DM 471/99 (quindi in mancanza di normative nazionali contenenti indicazioni di carattere tecnico-procedurale in materia di bonifiche dei siti contaminati), è stato redatto il documento Linee Guida n.1 “Perimetrazione e caratterizzazione di un sito contaminato”; realizzando un primo strumento metodologico che, successivamente, attraverso la collaborazione tra l’Ufficio Bonifiche ed il Ministero dell’Ambiente, ha costituito un elemento fondamentale per la stesura di parte degli allegati tecnici di tale Regolamento.

Nell’ottica dello sviluppo ed approfondimento di quanto già presente nell’allegato n. 2 e 3 del D.M. 471/99, sulla scorta delle esperienze maturate dall’Ufficio non solo nel campo delle bonifiche di terreni ma specialmente nelle pluriennali attività di monitoraggio e tutela delle acque di falda, l’Ufficio Bonifiche ha realizzato il presente documento, traendo peraltro ampiamente spunto sia da precedenti documenti prodotti dagli stessi Uffici, che dall’ampia bibliografia esistente.

L’esigenza di fornire approfondimenti su tali tematiche risulta prioritario, in quanto la definizione dello stato qualitativo delle acque di falda e delle modalità di propagazione dei contaminanti in essa, costituisce, in un sito contaminato, un elemento conoscitivo fondamentale rispetto a qualsiasi attività di bonifica dei terreni, e presuppone la conoscenza approfondita delle caratteristiche idrogeologiche del sito e dei relativi meccanismi di contaminazione della acque di falda.



In queste Linee Guida viene illustrato lo schema logico ed i contenuti tecnici delle attività che dovranno essere condotte dai progettisti che operano in aree soggette ad indagine o bonifica con particolare riguardo alle condizioni idrogeologiche e litostatigrafiche tipiche delle aree di pianura.

In sintesi, vengono fornite alcune indicazioni utili per la definizione preliminare del modello concettuale idrogeologico del sito, individuando successivamente la tipologia e le modalità di indagine diretta finalizzate alla definizione dello stato qualitativo delle acque di falda, con particolare riguardo alle specifiche costruttive che dovranno essere utilizzate per i pozzi spia, ai materiali più indicati per il loro completamento, al loro numero e la loro ubicazione; vengono inoltre fornite indicazioni in merito alle cautele da adottarsi durante le operazioni di rilevamento di eventuali sostanze immiscibili, nonché durante le attività di spurgo e prelievo dei campioni.

Vengono infine individuati alcuni criteri di massima utili alla successiva progettazione di interventi di disinquinamento e messa in sicurezza delle acque sotterranee mediante pozzi di sbarramento idraulico.

E' necessario comunque sottolineare che la progettazione delle attività di indagine dello stato qualitativo delle acque sotterranee e degli interventi di disinquinamento, secondo le indicazioni fornite, dovrà essere debitamente ponderata e commisurata alla pericolosità e tossicità delle sostanze presenti nel suolo e rintracciate in falda, alla loro concentrazione, alla loro possibilità di attenuazione naturale, nonché al grado di vulnerabilità all'inquinamento delle risorse idriche sotterranee e all'esistenza, nell'intorno del sito, di recettori umani e ambientali a rischio, prestando particolare attenzione alla presenza di pozzi e zone di riserva per l'approvvigionamento idropotabile.

1. DEFINIZIONE PRELIMINARE DEL MODELLO CONCETTUALE IDROGEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

Relativamente a questa attività si fa specifico riferimento a quanto già riportato e descritto nel documento *“Linee Guida n.1 – Perimetrazione e caratterizzazione di un sito contaminato; Provincia di Milano, Settore Ecologia, U.O. Tecnica Progetti Speciali – Ufficio bonifiche suolo e sottosuolo – Milano, 12 Febbraio 1999”*.

Dovrà innanzitutto essere ricostruito, sulla base dei dati esistenti ed eventualmente acquisendone di nuovi, un modello concettuale idrogeologico del sottosuolo contenente i seguenti punti:

- Ricostruzione idrogeologica preliminare finalizzata alla formulazione di un primo modello concettuale del sottosuolo;
- Raccolta, organizzazione ed elaborazione dei dati piezometrici;
- Raccolta, organizzazione ed elaborazione dei dati idrochimici;
- Prima parametrizzazione degli acquiferi (che può essere effettuata anche utilizzando i dati di collaudo dei pozzi esistenti con il metodo di Cassan);

Sulla base dei dati raccolti dovrà quindi essere effettuata una prima ricostruzione della struttura idrogeologica dell'area considerata, al fine di definire la geometria degli acquiferi, i rapporti tra gli stessi, la loro vulnerabilità, la direzione prevalente del flusso idrico sotterraneo delle singole falde, i rapporti corsi idrici superficiali/falda.

Tale fase risulta di fondamentale importanza al fine di dimensionare ed impostare correttamente il successivo piano delle indagini per la caratterizzazione dello stato di contaminazione del sottosuolo e delle acque sotterranee.

In particolare dovranno essere forniti i seguenti elaborati:

- sezioni idrogeologiche poste in direzioni ortogonali tra loro, corrispondenti alla direzione di massima e minima propagazione del flusso idrico sotterraneo, finalizzate a delineare un quadro attendibile delle geometrie dei corpi idrici sotterranei e degli aquitard e/o aquicludate a loro interposti;
- carte storiche delle isopiezometriche (m s.l.m.), finalizzate in particolare alla valutazione delle eventuali variazioni periodiche e/o stagionali della direzione del flusso idrico sotterraneo a scala adeguata a rappresentare il sito in oggetto in maniera compiuta e di visualizzazione complessiva;
- grafici relativi alle oscillazioni dei livelli piezometrici, atti a permettere l'individuazione dei periodi di massima e minima soggiacenza della falda freatica;
- carte della facies idrochimica delle falde presenti, carte storiche ad isoconcentrazioni delle sostanze ritenute di interesse e del loro andamento nel tempo, al fine di segnalare livelli anomali rispetto ai tenori medi del fondo, sia per le sostanze naturalmente presenti nelle acque sotterranee, che per sostanze di origine antropica, a scala adeguata a rappresentare il sito in oggetto in maniera compiuta e di visualizzazione complessiva;
- parametri idrogeologici dei singoli acquiferi provenienti da studi ed indagini pregresse (prove di pompaggio, prove in foro, ecc.)
- stima dei parametri idrogeologici dei singoli acquiferi (trasmissività e conducibilità idraulica) secondo il metodo Cassan (Cassan, 1980), utilizzando i dati disponibili riportati sulle stratigrafie relativi alle prove di collaudo dei pozzi/piezometri individuati sull'area in esame ed eventualmente presenti sul sito in oggetto.



Nella ricostruzione della struttura idrogeologica locale, parte significativa sarà svolta in stretta collaborazione con gli Enti pubblici competenti, i quali potranno mettere a disposizione i vari studi condotti precedentemente sull'area in esame o permettere la consultazione di specifiche banche dati georeferenziate mediante sistemi GIS.

La ricostruzione idrogeologica preliminare dovrà quindi permettere la formulazione di un primo modello concettuale, intendendo con questo termine una schematizzazione idrogeologica semplificata del sottosuolo e una prima parametrizzazione degli acquiferi. In pratica devono essere qui riassunte le proprietà geologiche e le caratteristiche idrogeologiche del sistema, con particolare riferimento ai meccanismi di ricarica degli acquiferi ed ai rapporti tra le falde superficiali e quelle profonde, nonché ai livelli di contaminazione delle acque sotterranee.

Procedendo in modo schematico si tratta quindi di definire una serie di caratteristiche di seguito illustrate.

Presenza di corpi acquiferi

Individuazione delle unità idrogeologiche sede di falde acquifere distinte.

Individuazione dell'estensione in profondità di tali acquiferi.

Definizione delle caratteristiche delle falde individuate (libere/freatiche, semiconfinata, in pressione/artesiana).

Rapporti esistenti tra i diversi acquiferi

Individuazione di eventuali fenomeni di "passaggio" ovvero di drenanza tra le diverse falde acquifere individuate (comunemente si parla di fattore di fuga e fattore di drenaggio), anche eventualmente indotti da un regime dinamico locale.

Direzioni principali di flusso idrico sotterraneo

Distinte le falde acquifere di interesse, dovrà essere definita per ciascuna di esse la direzione di flusso principale (scala sovracomunale/provinciale).

Eventuali rapporti con corpi idrici superficiali

Individuazione, soprattutto per le falde superficiali/libere, dei rapporti di drenanza e/o di alimentazione con corsi idrici superficiali, laghetti ("specchi" di cava), canali di irrigazione (non impermeabilizzati).

Tipo di utilizzo dei diversi acquiferi

Ricostruzione della distribuzione dei prelievi a scopo idropotabile.

Ricostruzione delle eventuali interferenze indotte sulla morfologia piezometrica da parte dei prelievi (pubblici e/o privati) ubicati in prossimità del sito.

Sensibilità degli acquiferi a fenomeni di contaminazione

In questa fase di caratterizzazione idrogeologica preliminare del sito la sensibilità degli acquiferi a fenomeni di contaminazione deve essere considerata in modo relativo e non assoluto; l'obiettivo è quello di discriminare, tra le falde presenti nel sottosuolo del sito specifico di interesse, quella più vulnerabile a fenomeni di degrado quali-quantitativo, al fine di programmare nel modo più opportuno sia le successive fasi di indagine che di intervento.

Potenzialità degli acquiferi



Prima stima delle potenzialità degli acquiferi individuati sull'area; con tale termine si intende genericamente la valutazione di una serie di parametri idrogeologici (permeabilità, spessore, trasmissività, velocità di deflusso sotterraneo), che esprimono la capacità di un acquifero di produrre in termini di portata di estrazione e/o di favorire il ricambio dell'acqua immagazzinata.

In questa fase di caratterizzazione idrogeologica preliminare del sito la definizione della potenzialità si correla innanzitutto alla valutazione della vulnerabilità degli acquiferi e in secondo luogo ha come obiettivo quello di fornire prime indicazioni sulle tipologie di intervento di disinquinamento attuabili sulla risorsa idrica sotterranea.

La ricostruzione del modello concettuale, unitamente alle informazioni desunte alle stratigrafie dei pozzi dovranno permettere di individuare i punti di captazione (pozzi) o di monitoraggio (piezometri) esistenti nell'area in esame suddivisi per ogni singolo acquifero.

Tale suddivisione dovrà essere la premessa per valutare e organizzare in modo omogeneo i dati censiti (analisi chimiche, piezometrie, parametri idraulici, ecc.) e produrre una caratterizzazione idrogeologica e idrochimica dei singoli acquiferi.

In caso di presenza di falde sospese, dovrà infine essere posta particolare attenzione:

- alla definizione della loro estensione;
- alla dinamica di alimentazione e di drenanza;
- alla stagionalità e descrizione del vettore di moto delle acque.

In tal modo sarà possibile pervenire ad una identificazione di dettaglio di fenomeni ad opera delle falde sospese quali eventuali dilavamenti dei contaminanti contenuti negli strati di terreno e loro trasferimento in profondità e/o verso falde più profonde.

2. INDAGINI FINALIZZATE ALLA DEFINIZIONE DELLO STATO QUALITATIVO DELLE ACQUE DI FALDA

Il piano di indagini finalizzate alla definizione dello stato qualitativo delle acque di falda deve tener conto non solo delle caratteristiche idrogeologiche definite precedentemente, ma anche dei seguenti elementi:

- natura dell'attività produttiva connessa al sito in esame;
- censimento dei punti di probabile origine dell'inquinamento;
- individuazione di tutte le possibili sostanze coinvolte, compresi i relativi prodotti di trasformazione o decadimento (metaboliti) in caso di presenza di composti organici.
- tipo e modalità di rilascio e propagazione della contaminazione nelle acque di falda.

Al fine di valutare le dimensioni del plume inquinante, sia in senso verticale sia orizzontale, è necessario perforare dei piezometri "di controllo", nei quali poter effettuare i prelievi per le necessarie analisi idrochimiche.

Gli elementi progettuali da definire in via preliminare sono:

- ubicazione dei piezometri,
- numero dei punti di controllo,
- profondità, lunghezza dei tratti finestrati e diametro di completamento.

L'efficacia e l'affidabilità delle indagini condotte è influenzata anche dalle modalità costruttive e di perforazione dei punti di controllo, dai materiali usati e dalle modalità di prelievo dei campioni, fermo restando che tutte le operazioni previste nel piano di caratterizzazione devono essere predisposte senza alterare le caratteristiche chimico-fisiche della falda e dell'acquifero oggetto di indagine.

Tenuto conto che non esiste, in realtà, una metodologia univocamente valida, è comunque possibile individuare, tra le varie procedure di intervento, quelle che meglio si addicono al contesto specifico del sito, al tipo di falda, alle caratteristiche dell'acquifero ed alle proprietà chimico-fisiche e biologiche dell'inquinante.

2.1 TIPI DI PIEZOMETRI E LORO PROFONDITÀ

Nel caso di falde freatiche, al fine di determinare il gradiente verticale di contaminazione della falda, i piezometri devono essere strutturati con filtri presenti in corrispondenza del livello di minima soggiacenza e sino al substrato impermeabile. Sarà inoltre opportuno effettuare anche prelievi delle acque di falda in fase di avanzamento durante la perforazione, tenendo presente che tali operazioni sono possibili solo con metodo di perforazione a rotazione con utilizzo del rivestimento.

Nel caso di falde artesiane, i piezometri possono essere dimensionati in modo tale da captarne o solo la parte superiore o l'intero spessore, a seconda della natura e del tipo di contaminazione in atto.

In presenza di un acquifero multifalda, è necessario eseguire più piezometri a diverse profondità o realizzare un unico pozzo multiplo a grande diametro con posa in opera di colonne dotate di finestre a differenti profondità. Quest'ultima scelta dovrà tenere in debita considerazione le eventuali difficoltà logistiche ed operative in relazione allo spazio disponibile nel sito ed alla natura



litologica del terreno; è richiesta inoltre un'accurata operazione di cementazione per isolare i tratti di colonna dai livelli acquiferi che non si vuole captare.

In entrambi i casi per evitare problemi di comunicazione nei diversi livelli di falda è necessario procedere alla perforazione fino al primo strato impermeabile, isolare la prima falda con una tubazione cieca cementata, operando ad esempio con il metodo tappo di fondo, estrarre l'acqua all'interno e procedere alla perforazione degli strati successivi.

2.2 UBICAZIONE

La scelta dell'ubicazione e del numero dei piezometri di controllo dipende dalle seguenti variabili:

- tipo di inquinante e sue caratteristiche chimico-fisiche;
- presenza di livelli impermeabili nel non saturo;
- presenza di litotipi fratturati;
- parametri idrogeologici dell'acquifero;
- direzione del flusso
- gradiente idraulico;
- valori di dispersione in falda.

Devono comunque essere posizionati dei piezometri di controllo nelle immediate vicinanze dell'area sorgente al fine di rilevare le continue variazioni del rilascio, ed, idrogeologicamente a valle, ad una distanza sufficiente a delimitare la zona interessata dall'inquinamento e definire l'estensione del plume di contaminazione.

2.3 METODO DI PERFORAZIONE

Il tipo di perforazione deve arrecare il minor disturbo possibile all'acquifero, producendo minime modifiche alle caratteristiche qualitative delle acque sotterranee.

In funzione delle caratteristiche litologiche delle unità che si incontrano e delle profondità da raggiungere, i metodi comunemente usati sono i seguenti:

- a rotazione o rotopercolazione con aria compressa o con acqua o fango,
- a percussione,
- con trivella (o vitone) ad aste cave o piene.

Il metodo più comunemente utilizzato per perforazioni di diametro medio-piccolo è quello a rotazione, il quale risulta abbastanza veloce ma presenta alcuni svantaggi:

- l'utilizzo di aria compressa può determinare una riduzione locale della concentrazione degli inquinanti organici volatili e un trasporto rapido di questi verso l'alto, mettendo a rischio l'incolumità degli operatori;
- l'utilizzo di acqua come fluido di perforazione può ostacolare l'individuazione dell'acquifero e, nei terreni incoerenti, può determinare instabilità del foro;
- l'utilizzo di fanghi a base di bentonite o a base di prodotti organici (polimeri) può causare alterazioni nel chimismo delle acque, pertanto, i prodotti più adatti risultano l'argilla naturale e la bentonite senza alcun additivo, seppure la bentonite comunemente reperibile in commercio, essendo di tipo sodico, presenta un alto potere di scambio ionico interferendo con l'acqua di falda specialmente se questa è ricca in calcio.



Per evitare fenomeni di inquinamento, che possono subentrare in presenza di strati superficiali contaminati, è necessario, dopo aver perforato il terreno inquinato, porre una tubazione cieca per un breve tratto e sostituire il fango contaminato con uno di nuova preparazione.

La perforazione a secco può causare inquinamento indotto; si dovrebbe perciò, dopo ogni “battuta” o prelievo di campione, lavare con vapore acqueo in pressione le pareti interne ed esterne del carotiere.

La perforazione a percussione, con cucchiaia o scalpello, non è molto utilizzata per i pozzi di monitoraggio data la scarsa velocità di avanzamento e la difficoltà di ottenere diametri di piccole dimensioni. Anche in questo caso, se effettuata con il metodo ad aste cave e l'utilizzo di fluidi di perforazione, si potrebbero alterare le caratteristiche qualitative della falda.

La perforazione con utilizzo della trivella comporta minori rischi di contaminazione “incrociata” tra i diversi livelli di acquifero, non necessita l'introduzione dei fluidi di perforazione, ma non riesce a perforare formazioni rocciose resistenti o sciolte con frazioni grossolane e può influenzare la permeabilità locale, diminuendo notevolmente l'efficienza dell'opera.

2.4 DEFINIZIONE DELLA FENESTRATURA

Una volta effettuata la prima perforazione, fonte di dettagliate informazioni sulla stratigrafia del sito, è di fondamentale importanza definire la profondità e la lunghezza dei tratti fenestrati ed il ripristino degli eventuali setti impermeabili; questo sia per evitare di mettere in comunicazione falde diverse, ma anche in base alla necessità di individuare la presenza di inquinanti a differente densità e miscibilità con l'acqua.

Nella definizione della disposizione della fenestratura, dovrà essere rivolta particolare attenzione alla presenza, anche nel mezzo non saturo, di livelli meno permeabili che abbiano eventualmente trattenuto i contaminanti. La perforazione, e la fenestratura anche al di sopra di questi livelli permetterebbe ai contaminanti di raggiungere le acque di falda percolando attraverso i pozzetti di monitoraggio. In questo modo si potrebbe rilevare la presenza di prodotto in galleggiamento dovuto peraltro ad un fenomeno locale di contaminazione indotta.

Se nelle acque sotterranee sono presenti grandi concentrazioni di sostanze immiscibili o a ridotta solubilità, con densità inferiore a quella dell'acqua (LNAPL), si può manifestare la presenza di prodotto libero in galleggiamento al di sopra della superficie della falda che si espande lateralmente seguendo la direzione di flusso sotterraneo. In queste condizioni è sufficiente attrezzare il pozzetto con fenestratura in corrispondenza dell'interfaccia saturo-non saturo, tenendo conto delle oscillazioni stagionali.

Nel caso di composti a densità maggiore dell'acqua (DNAPL), si può verificare un movimento verso il basso fino ad un substrato con bassa permeabilità, in corrispondenza del quale si può verificare anche una migrazione controcorrente del prodotto, dovuta al peso della massa sovrastante o alla particolare conformazione geologica del substrato. Si riscontrano in questa colonna verticale elevate concentrazioni e, data l'elevata solubilità, una quantità rilevante di inquinante è continuamente ceduta alla falda.

La fenestratura di conseguenza deve essere presente lungo tutto lo spessore del saturo.

Molto più complesso è il caso in cui il fluido è miscibile con l'acqua ed ha una densità prossima o di poco superiore a quella dell'acqua, è il caso ad esempio del percolato delle discariche. In questo



scenario l'evoluzione del plume inquinante segue traiettorie tridimensionali condizionate non solo da fenomeni di advezione e dispersione idrochimica longitudinale, trasversale e verticale, ma anche dall'eterogeneità del sistema acquifero e dall'eventuale presenza di sostanze organiche nel sottosuolo.

A tale riguardo le norme ISO 5667-11 suggeriscono un pozzo fenestrato al di sotto del livello di falda per le componenti più leggere dell'acqua e altri pozzi a distanze crescenti dalla sorgente lungo la direzione del flusso idrico, a differenti profondità.

2.5 SCELTA DEI MATERIALI, COMPLETAMENTO E SVILUPPO

La scelta dei materiali da utilizzare per il completamento del pozzo o piezometro deve offrire garanzie di durata nei confronti di processi di attacco e degradazione chimico-fisica da parte del contaminate.

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

- in acciaio: al carbonio, inossidabile, galvanizzato;
- a base di fluoropolimeri: PTFE, TFE, FEP;
- in materiali termoplastici: PVC, ABS, PP, HDPE;

Le tubazioni di acciaio al carbonio sono soggette a corrosione che può essere ritardata da una zincatura a caldo, l'acciaio inossidabile è più sicuro ma anche più costoso e, in particolari condizioni, può liberare ioni di Ni e Cr provocando contaminazione indotta delle acque. I fluoropolimeri sono più inerti e stabili e sono inattaccabili dagli acidi anche più aggressivi (alcuni esempi sono le tubazioni in "Teflon" e "Algofon"), per contro tali materiali, difficilmente reperibili in Italia, risultano molto costosi e presentano scarsa resistenza meccanica.

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, ad eccezione di alcuni solventi organici quali chetoni, aldeidi, ammine, alcheni ed alcuni clorurati. Tali variazioni chimiche avvengono solo nell'acqua contenuta nella colonna del pozzo ed in quella sita nelle immediate vicinanze; in questi casi pertanto, prima di effettuare il campionamento, è buona norma eliminare un volume d'acqua pari a 8-10 volte il contenuto del pozzo.

Risulta inoltre necessario lavare accuratamente tutte le tubazioni prima della posa in opera, ma evitare una disinfezione con ipoclorito di sodio per evitare la formazione di triclorometano.

Il piezometro deve essere cementato nella sua parte superiore con prodotti sigillanti quali cemento puro, cemento mescolato con bentonite, argilla. Al fine di evitare qualunque interferenza di tali prodotti con la falda, è necessario predisporre, al di sopra del dreno, uno strato di circa 50 cm di sabbia silicea, al di sopra del quale porre 0,5-1,0 m. di bentonite in forma di palline.

Particolare attenzione deve essere rivolta anche al dreno che deve risultare chimicamente inerte (è consigliabile usare ad esempio ghiaietto, sabbia quarzosa pulita, ma anche sferette in vetro).

Al termine della posa in opera della colonna fenestrata e dell'esecuzione delle cementazioni, sarà necessario effettuare accurate operazioni di spurgo ai fini dello sviluppo ed attivazione del pozzo, con lo scopo di eliminare eventuali residui del fango di perforazione, aumentare la permeabilità locale dell'acquifero ed ottenere una migliore portata specifica. Tali operazioni andranno effettuate, a seconda della struttura e delle caratteristiche dell'opera, mediante metodi quali il pistonaggio, il pompaggio prolungato e lo spurgo con aria compressa (air lift).



2.6 RILEVAMENTO DEL LIVELLO DI FALDA E DI EVENTUALI SOSTANZE IMMISCIBILI

Prima di procedere alla fase di campionamento delle acque occorre misurare il livello della falda e verificare la presenza di eventuali sostanze immiscibili.

I dispositivi e le procedure utilizzate per la verifica, dovranno necessariamente basarsi sui seguenti presupposti:

- il rilievo della profondità da piano campagna del livello statico della falda dovrà essere effettuata con uno strumento che consenta un margine di approssimazione inferiore a 0.5 cm., anche al fine di ricavare il volume di acqua stagnante all'interno del pozzo e di verificare eventuali intasamenti da materiale fine;
- la strumentazione adottata per le misure deve essere in materiale inerte ed essere decontaminata prima di ogni impiego e al passaggio da un punto all'altro di misurazione.
- il livello di riferimento da cui eseguire la misura deve essere opportunamente quotato e facilmente identificabile;
- il pozzo deve essere univocamente individuato, da un codice univoco identificativo e ubicato in carta tramite coordinate geografiche.

Operativamente, le attività di verifica dovranno essere eseguite secondo quanto di seguito descritto:

- rimozione del tappo di protezione;
- campionamento dell'aria presente alla sommità del pozzo tramite analizzatori fotoionizzati (PID) o analizzatori di vapori organici in modo tale da valutare il pericolo di infiammabilità, esplosibilità e tossicità del gas e fornire una prima indicazione sulla presenza eventuale di sostanze organiche immiscibili a bassa densità; possibilmente, durante ogni campagna di misura dovrà essere annotata la pressione atmosferica;
- determinazione della profondità del livello del liquido presente nel pozzo, senza individuarne la natura e senza distinguere la superficie di separazione tra la fase immiscibile e la fase acquosa;
- introduzione nel pozzo di una "sonda di interfaccia" per stabilire lo spessore dell'accumulo delle sostanze a bassa densità che galleggiano sulla superficie della falda e determinare la profondità di quest'ultima (la stessa strumentazione permette di identificare l'esistenza di sostanze immiscibili ad alta densità presenti alla base dell'acquifero).

Gli accumuli di sostanze immiscibili eventualmente individuati devono essere asportati prima di procedere alle fasi di spurgo e di campionamento.

Se lo spessore della fase immiscibile è di almeno 0,5 m. può essere utilizzato un campionatore con valvola di fondo calato fino all'interfaccia acqua-contaminante a profondità minori.

Se lo spessore della fase immiscibile è inferiore a 0,5m e la profondità dal piano campagna è inferiore a 7,5 m. può essere utilizzata una pompa a vuoto; nel caso in cui la profondità da p.c. è superiore a 7,5 m. allora è necessario utilizzare un campionatore modificato, al quale viene tolta la valvola di fondo e nel quale viene inserito un elemento di fluoroacarbonio di 5 cm. di diametro in grado di sigillare l'apertura di tale valvola. In questo modo si cala il campionatore sino ad una profondità pari ad una volta e mezzo lo spessore totale del livello, dopodichè viene rimossa la sfera della valvola, permettendo così al fluido di penetrare dall'alto.



2.7 DEFINIZIONE DELLA PIEZOMETRIA E DELLE DIREZIONI DI FLUSSO DI FALDA

Relativamente a questa attività si fa specifico riferimento a quanto già riportato e descritto nel documento *“Linee Guida n.1 – Perimetrazione e caratterizzazione di un sito contaminato; Provincia di Milano, Settore Ecologia, U.O. Tecnica Progetti Speciali – Ufficio bonifiche suolo e sottosuolo – Milano, 12 Febbraio 1999”*.

La campagna di rilevamento piezometrico della falda superficiale e le eventuali campagne piezometriche delle falde più profonde, secondo quanto descritto nel paragrafo 2.6, dovranno essere condotte nel rispetto di alcuni fondamentali criteri, al fine di rendere i dati acquisiti realisticamente rappresentativi e facilmente interpretabili.

La scelta del periodo di esecuzione delle campagne piezometriche dovrà essere opportunamente valutata in relazione all’andamento delle oscillazioni piezometriche evidenziate dalla ricostruzione idrogeologica preliminare (raccolta storica dei dati), in modo da essere, fermo restando la discrezionalità del professionista nella scelta dello specifico periodo, collocabile in modo preciso nel trend di oscillazione osservato e descritto sull’area di indagine.

Nel caso in cui dalla ricostruzione idrogeologica preliminare (raccolta storica dei dati) venissero rilevati fenomeni di notevole entità nella variazione della direzione di flusso idrico sotterraneo, dovranno essere valutati gli effetti del fenomeno sull’area di interesse e predisporre, nel caso, più campagne piezometriche rappresentative delle diverse situazioni.

L’identificazione della/e rete/i di monitoraggio piezometrico rispetto ai punti disponibili dovrà essere condotta in modo tale da fornire il maggior dettaglio in corrispondenza del sito di interesse.

Le indicazioni operative che devono essere rispettate sono:

- i pozzi/piezometri della rete devono possedere riferimenti altimetrici (m s.l.m.) ai quali riferire i livelli di falda misurati, nel caso in cui non si conoscesse tale informazione ciascun punto dovrà essere opportunamente quotato rifacendosi al caposaldo di riferimento altimetrico più prossimo facente parte della rete di inquadramento GPS istituita dalla provincia di Milano;
- le campagne di rilevamento piezometrico predisposte dovranno essere portate a termine in un arco di tempo ridotto, in funzione del numero di punti oggetto di misurazione e delle dimensioni dell’area sulla quale si indaga;
- le misurazioni del livello piezometrico devono essere rappresentative delle condizioni statiche e/o semistatiche delle falde, pertanto non si dovranno prendere in considerazione pozzi in attività e sui quali non è possibile interrompere l’emungimento; degli stessi ne dovrà essere data specifica nota;
- per misurazioni su piezometri esistenti è necessario verificare la funzionalità dei medesimi e accertare che il livello misurato sia realmente rappresentativo del livello di falda captata;
- nel caso in cui la falda e/o le falde che devono essere monitorate siano le stesse captate da centrali di pompaggio acquedottistiche e/o da pozzi di centri produttivi posti all’interno dell’area in esame e/o in prossimità del sito in oggetto, dovranno essere valutati gli effetti di tali emungimenti in relazione alle conseguenti deformazioni prodotte sui reticoli di flusso idrico sotterraneo.

2.8 SPURGO DEI POZZI

Le acque presenti nel pozzo, in condizioni statiche, non sono rappresentative di quelle presenti nell'acquifero, è necessario pertanto eliminare l'acqua di ristagno, gli eventuali i depositi accumulatisi tra un prelievo e l'altro e le varie impurità introdotte dall'esterno. Preliminarmente alle operazioni di spurgo devono comunque essere effettuate, come già descritto, le verifiche della presenza di liquidi in galleggiamento o sul fondo all'interno del pozzo e la misurazione del livello statico.

Un'accurata procedura di spurgo è funzione anche delle caratteristiche idrauliche del pozzo e della produttività dell'acquifero.

Il pompaggio dell'acqua non deve in ogni caso provocare un richiamo improvviso, con brusche cadute di acqua all'interno della colonna, altrimenti si possono verificare perdite di sostanze volatili e fenomeni di intorbidimento e agitazione.

Per appurare l'efficienza dello spurgo e per un controllo della stabilità e della qualità dei campioni è necessario effettuare, in tempi diversi, delle determinazioni analitiche del pH, della temperatura, della conducibilità elettrica specifica, del potenziale redox e dell'ossigeno disciolto.

L'interferenza del materiale che costituisce l'attrezzatura di campionamento, può essere eliminata ricorrendo a pompe volumetriche, pompe a cella in acciaio inossidabile o/e resine al fluorocarbonio.

Occorre del resto sottolineare che le pompe peristaltiche, le pompe ad immissione di gas, le pompe centrifughe e le pompe Venturi possono talvolta provocare la volatilizzazione di alcune sostanze o comunque determinare gradienti di pressione elevati alterando i valori originari di pH e conducibilità elettrica.

Le apparecchiature utilizzate nella procedura di spurgo e nella fase di campionamento devono essere sempre accuratamente controllate e decontaminate.

I criteri che devono essere adottati durante le operazioni di spurgo sono i seguenti:

- Numero di volumi dell'acqua del pozzo: con questo termine si intende il volume di acqua che è presente al di sopra dei filtri, essendo quella sottostante in grado di interagire con l'acquifero. Le norme ISO 5667-11 consigliano uno spurgo di un volume minimo pari a 4 e 6 volte il volume dell'acqua del pozzo, si ritiene comunque sufficiente effettuare uno spurgo di un volume pari a 3 5 volte, in accordo con quanto indicato nell'allegato n. 2., DM 471/99.
- Stabilizzazione di indicatori idrochimici: con questo termine si intendono generalmente parametri quali la temperatura, il pH, la conducibilità elettrica e il potenziale di ossido-riduzione che devono essere determinati prima dell'inizio e durante le operazioni di spurgo. E' possibile effettuare il prelievo di acqua solo quando questi parametri sono stabilizzati su valori pressoché costanti.
- Analisi di serie idrochimiche temporali, adottate su monitoraggi di lungo periodo: questo metodo prevede il prelievo di acque durante il pompaggio secondo una cadenza temporale ben precisa in corrispondenza a 1, 2, 4 e 6 volte il volume del pozzo. Successivamente vengono eseguite analisi sui parametri idrochimici precedentemente indicati e su altri composti ed elementi di interesse più immediato per l'area di studio. Per rendere conto di eventuali modifiche stagionali di composizione chimica, la procedura deve essere ripetuta per 2 volte nei primi 3 anni di attività. Si ripete l'operazione una volta ogni 3 o 4 anni successivi per confermare che il volume di spurgo non sia cambiato.

E' buona norma inoltre, ad integrazione dai criteri sovracitati, protrarre lo spurgo fino alla "chiarificazione", ovvero fintanto che l'acqua non si presenta priva di particelle in sospensione.



2.9 PRELIEVO DEI CAMPIONI D'ACQUA

Il campione prelevato, per essere rappresentativo delle caratteristiche delle acque sotterranee, non deve essere alterato da reazioni chimico-fisiche conseguenti all'azione stessa di campionamento.

Di conseguenza, come consigliato da National Water Well Association – 1986, devono essere utilizzati dispositivi di campionamento in acciaio inossidabile e/o resina al fluorocarbonio, devono essere impiegati campionatori singoli per ogni pozzo o comunque puliti ogni qualvolta vengano nuovamente riutilizzati, e i campioni devono essere collocati in contenitori specifici, al fine di mantenere l'originario contenuto in sostanze volatili.

Le strumentazioni impiegate indifferentemente per il campionamento di qualsiasi sostanza contaminante sono:

- pompe a pressione in acciaio inossidabile o in resina al fluorocarbonio, con controllo di flusso regolabile;
- campionatori in resina e/o acciaio inossidabile equipaggiati di doppia valvola di controllo e dispositivo di svuotamento al fondo;
- campionatori a siringa in acciaio inossidabile e/o resina al fluorocarbonio;
- campionatori in acciaio inossidabile e/o resina a valvola di controllo singola.

Talvolta può essere necessario anche campionare le acque presenti nel mezzo non saturo; tale operazione può avvenire mediante l'impiego di filtro-presse, pistoni idraulici e centrifughe, ma richiede necessariamente la perforazione di un sondaggio risultando così molto costosa.

In alternativa è possibile procedere all'installazione di lisimetri a suzione, costituiti da una coppa porosa collegata a un contenitore nel quale può esser accumulato il liquido da analizzare; sono presenti due tubazioni una per l'acqua e l'altra per l'aria.

Questo metodo ha il vantaggio di permettere nel tempo ripetute misure, tuttavia; si possono verificare delle variazioni di concentrazione dei metalli in tracce.

Altri tipi di lisimetri che possono esser utilizzati sono quelli di superficie, a pesata e sotterranei; il loro impiego è stato limitato ai livelli drenanti di discariche, per il controllo dell'eventuale infiltrazione di inquinanti.

Le limitazioni al loro uso sono dovute al rimaneggiamento del terreno, agli effetti di parete, alla presenza di una superficie d'acqua all'interno del dispositivo.

Al fine di evitare alterazioni delle caratteristiche qualitative originarie, tutta la strumentazione e le procedure utilizzate non devono provocare l'agitazione del campione e la sua esposizione all'aria deve essere ridotta al minimo.

I campionatori devono essere collegati alla superficie tramite l'utilizzo di catene o cavi anch'essi in materiale inerte (es. cavi rivestiti in resina al fluorocarbonio o cavi in acciaio inossidabile).

L'affidabilità della strumentazione viene garantita anche dal rispetto di una serie di indicazioni operative, tra le quali meritano particolare attenzione le seguenti:

- le pompe volumetriche devono funzionare continuamente, in modo da non produrre campioni contenenti aria;



- le valvole dei campionatori non devono essere ostruite, riducendo l'apporto di acqua e aumentando quello di aria al campione;
- il dispositivo di campionamento non deve mai essere lasciato cadere all'interno del pozzo, per evitare fenomeni di degassazione dell'acqua conseguentemente all'impatto;
- il liquido campionato deve essere trasferito con attenzione e celerità nell'apposito contenitore evitando di agitarlo e riducendo al minimo il suo tempo di esposizione all'aria;
- la pulizia dell'equipaggiamento di campionatura deve essere eseguita possibilmente in apposito luogo prima della sua introduzione nel pozzo, evitando la zona del cantiere a diretto contatto con il terreno che deve essere trattato.

È necessario evitare una contaminazione incrociata durante successivi campionamenti, provvedendo alla pulizia delle attrezzature con sostanze specifiche.

E' inoltre necessario ridurre l'esposizione degli addetti ai lavori a sostanze pericolose, nel caso si operi in presenza di solventi organici, occorre prestare particolare attenzione alle procedure di decontaminazione dei materiali, tali sostanze sono infatti in grado di danneggiare gli indumenti protettivi del personale addetto e costituire un pericolo per la sua incolumità.

Quando si campionano sostanze inorganiche la pulizia viene eseguita utilizzando una miscela di acqua e detergente privo di fosfati.

Il primo risciacquo dovrebbe essere eseguito con acido cloridrico diluito (0.1 N) o con acido nitrico; il secondo risciacquo avviene con acqua del rubinetto e infine con acqua distillata o deionizzata.

Nel caso di materiali in acciaio inossidabile si preferisce l'acido cloridrico all'acido nitrico, che può determinare fenomeni di ossidazione degli stessi materiali.

Quando si trattano contaminanti di tipo organico la strumentazione viene lavata con acqua (di rubinetto, distillata o deionizzata) e detersivi da laboratorio privi di fosfati e il risciacquo avviene con solvente (acetone, esano, metanolo) e poi con acqua distillata e/o deionizzata.

Inizialmente vengono campionati i pozzi a monte del sito in esame rispetto al flusso idrico sotterraneo e successivamente i pozzi a valle.

Quando si campionano acque contenenti composti volatili e gas l'utilizzo di pompe volumetriche permette una portata di estrazione inferiore al l/s in quanto portate maggiori possono determinare la perdita di sostanze volatili e variazioni del pH; solo dopo che è stato effettuato il prelievo del campione destinato all'analisi per la determinazione del contenuto di sostanze volatili è possibile aumentare la portata, pur imponendo regimi inferiori a quelli applicati nella fase di spurgo del pozzo.

Vengono di seguito fornite, a titolo esemplificativo, alcune indicazioni tratte dalla bibliografia, riguardo al tipo di contenitore da utilizzare, alle modalità di condizionamento e al tempo massimo di conservazione per i diversi parametri analizzati durante il monitoraggio (da AA.VV. 1994).

Parametro	Contenitore (1)	Modalità di conservazione e condizionamento (2-12)	Tempo massimo di conservazione (3)
Temperatura	P, V	-	Analisi immediata
PH	P, V	-	Analisi immediata
Conducibilità elettrica specifica	P, V	4 °C	28 giorni
Ossigeno disciolto	V (riempito e sigillato)	-	Analisi immediata
Potenziale redox	P, V	-	Analisi immediata

Torbidità	P, V	4 °C	48 ore
Colore	P, V	4 °C	48 ore
BOD ⁽⁵⁾	P, V	4 °C	48 ore
COD	P, V	4 °C, H ₂ SO ₄ a pH < 2	28 giorni
Microrganismi			
Coliformi fecali e totali	P, V	4 °C, 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ ⁽⁶⁾	6 ore
Streptococchi fecali	P, V	4 °C, 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ ⁽⁶⁾	6 ore
Composti inorganici ⁽⁵⁾			
Acidità	P, V	4 °C	14 giorni
Alcalinità	P, V	4 °C	14 giorni
Ammoniaca	P, V	4 °C, H ₂ SO ₄ a pH < 2	28 giorni
Bromuri	P, V	-	28 giorni
Cloruri	P, V	-	28 giorni
Cloro	P, V	-	Analisi immediata
Cianuri	P, V	4 °C, NaOH a pH>12, 0.6 g di acido ascorbico	14 giorni
Fluoruri	P	-	28 giorni
Durezza	P, V	HNO ₃ a pH< 2	6 mesi
Azoto totale	P, V	4 °C, H ₂ SO ₄ a pH < 2	28 giorni
Nitrati	P, V	4 °C	48 ore
Nitrati-Nitriti	P, V	4 °C, H ₂ SO ₄ a pH < 2	28 giorni
Nitriti	P, V	4 °C	48 ore
Ortofosfati	P, V	Filtrazione immediata, 4 °C	48 ore
Fosforo	V	4 °C	48 ore
Fosforo totale	P, V	4 °C, H ₂ SO ₄ a pH < 2	28 giorni
Residuo fisso, filtrabile e non filtrabile	P, V	4 °C	7 giorni
Silice	P	4 °C	28 giorni
Solfati	P, V	4 °C, acetato di zinco e NaOH a pH > 9	7 giorni
Solfiti	P, V	4 °C	Analisi immediata
Metalli ⁽⁵⁾			
Cromo esavalente	P, V	4 °C	24 ore
Mercurio	P, V	4 °C, HNO ₃ a pH < 2	28 giorni
Metalli	P, V	4 °C, HNO ₃ a pH < 2	6 mesi
Composti organici			
Oli e grassi	V	4 °C, H ₂ SO ₄ a pH < 2	28 giorni
Carbonio organico	P, V	4 °C, HCl o H ₂ SO ₄ a pH < 2	28 giorni
Tensioattivi	P, V	4 °C	48 ore
Composti organici ⁽⁵⁾			
Composti organici alogenati purgabili	V, T1	4 °C, 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ ⁽⁵⁾	14 giorni



Composti aromatici purgabili	V, T1	4 °C, 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ ⁽⁶⁾ HCl a pH<2	14 giorni
Acroleina e acrilonitrile	V, T1	4 °C, 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ ⁽⁶⁾	14 giorni
Fenoli	V, T2	4 °C, 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ ⁽⁶⁾	7 giorni per estrazione, 40 giorni dopo estrazione
Benzidina	V, T2	4 °C, 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ ⁽⁶⁾	7 giorni per estrazione, 40 giorni dopo estrazione
Esteri ftalici	V, T2	4 °C	7 giorni per estrazione, 40 giorni dopo estrazione
Nitrosammine	V, T2	4 °C, 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ ⁽⁶⁾ allo scuro	7 giorni per estrazione, 40 giorni dopo estrazione
PCB	V, T2	4 °C, pH 5-9	7 giorni per estrazione, 40 giorni dopo estrazione
Nitroaromatici e isoforone	V, T2	4 °C	7 giorni per estrazione, 40 giorni dopo estrazione
Idrocarburi policicli aromatici	V, T2	4 °C, 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ ⁽⁶⁾ allo scuro	7 giorni per estrazione, 40 giorni dopo estrazione
Aloeteri	V, T2	4 °C, 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ ⁽⁶⁾	7 giorni per estrazione, 40 giorni dopo estrazione
Composti organici alogenati	V, T2	4 °C	7 giorni per estrazione, 40 giorni dopo estrazione
TCDD	V, T2	4 °C, 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ ⁽⁶⁾	7 giorni per estrazione, 40 giorni dopo estrazione
Pesticidi	V, T2	4 °C, pH 5-9	7 giorni per estrazione, 40 giorni dopo estrazione
Particelle α, β e radio	P, V	HNO ₃ a pH < 2	6 mesi

- (1) P = Polietilene, V = vetro, T1 = teflon (lined septum), T2 = teflon (lined cap)
- (2) La conservazione dei campioni deve essere realizzata immediatamente dopo la loro raccolta. Per campioni compositi l'operazione deve essere eseguita immediatamente per ogni aliquota.
- (3) I campioni devono essere comunque analizzati nel più breve tempo possibile; il valore indicato rappresenta il periodo massimo di conservazione prima dell'analisi in quanto alcuni campioni possono non essere stabili in tale lasso di tempo. Il laboratorio che esegue le analisi deve considerare questa eventualità per non fare invecchiare inutilmente il campione.
- (4) I campioni devono essere immediatamente filtrati prima dell'aggiunta dei conservanti per i metalli
- (5) Deve essere osservata l'indicazione per campioni destinati a GC, LC o GS/MS per specifici composti
- (6) Deve essere utilizzato solo in presenza di cloro residuo. Uso di acido ascorbico solo in presenza di agenti ossidanti. Il tempo si riduce a 24 ore in presenza di solfuri. In alternativa il campione deve essere testato per verificare la presenza di solfuri con carta in acetato di piombo prima dell'aggiustamento del pH. Se i solfuri sono presenti si rimuovono con aggiunta di polvere di Nitrato di Cadmio fino a quando si ottiene una risposta negativa al precedente test. Il campione viene allora filtrato e viene aggiunto NaOH fino a pH =12.
- (7) Per l'analisi della difenilnitrosammina, aggiunta di 0.008% Na₂S₂O₃ e aggiustamento a pH 7-10 con NaOH entro 24 ore dal campionamento



- (8) L'aggiustamento del pH può essere eseguito al ricevimento in laboratorio e può essere omesso se il campione è estratto entro 72 ore dal prelievo; per l'analisi dell'aldrin aggiungere 0.008% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
- (9) Il tempo massimo di conservazione è di 24 ore se sono presenti solfuri
- (10) Il campione ricevuto senza aggiustamento del pH deve essere analizzato entro 7 giorni dal campionamento
- (11) Il campione ricevuto per la determinazione dell'acroleina deve essere analizzato entro 3 giorni dal campionamento
- (12) Il soggetto che spedisce i campioni con mezzi ordinari (posta, corriere, etc.) deve rispettare le regole vigenti per il trasporto di questi materiali.

3. CRITERI DI MASSIMA PER LA PROGETTAZIONE DI INTERVENTI DI DISINQUINAMENTO MEDIANTE POZZI DI SBARRAMENTO IDRAULICO

In relazione all'esigenza prioritaria di intervenire sulla diffusione dell'inquinamento eventualmente individuato in falda, gli interventi di sbarramento idraulico tramite pozzi di spurgo rivestono un ruolo rilevante, se non prioritario, nelle azioni di bonifica dei siti contaminati.

L'impegno economico e tecnico necessario alla realizzazione ed alla gestione di tali opere presuppone una approfondita conoscenza delle caratteristiche idrogeologiche dell'area, supportate da specifiche prove in campo, e dei meccanismi di propagazione dei contaminanti, definiti tramite le indagini eseguite e la ricostruzione del modello idrogeologico preliminare.

In assenza di tali informazioni di dettaglio gli interventi dovranno necessariamente basarsi su criteri di estrema cautela e, solo una volta accerta l'esistenza di condizioni idrogeologiche di sicurezza rispetto ad eventuali fenomeni di contaminazione delle falde profonde, si potrà prevedere lo sbarramento del solo acquifero superficiale, predisponendo comunque una rete di monitoraggio idrochimico separata per falde.

In sintesi, i criteri di massima da considerare in fase di progettazione sono i seguenti:

- il sistema dovrà essere costituito da uno o più "pozzi barriera", con la possibilità, ove ci siano i presupposti tecnici, di utilizzare totalmente o parzialmente opere già esistenti per l'estrazione delle acque;
- in casi ove sia necessario predisporre interventi di messa in sicurezza d'emergenza, lo sbarramento dovrà essere completo, ossia intercettare tutto lo spessore del saturo fino alla base della prima falda; qualora invece siano sufficientemente noti i meccanismi di propagazione degli inquinanti in falda ed il gradiente di contaminazione verticale, dovrà essere opportunamente definita la profondità e le fenestrate del sistema di sbarramento;
- in prima approssimazione, lo sbarramento dovrà essere completo anche nella dimensione orizzontale, captando l'intero acquifero interessato dalla contaminazione. In relazione alle dimensioni dell'area e/o in mancanza di informazioni di sufficiente dettaglio sui focolai di contaminazione, sarà necessario creare un fronte di richiamo tale da comprendere tutta l'area con un sufficiente margine di sicurezza, mediante un'allineamento di pozzi quanto meno in prossimità del confine idrogeologicamente a valle dell'area, anche al fine di contenere anche fenomeni di variazione della direzione del flusso idrico sia a livello stagionale che pluriennale;
- nel caso in cui siano state acquisite informazioni approfondite circa l'ubicazione dei focolai inquinanti e quindi definita con dettaglio l'estensione areale della contaminazione in falda, è possibile realizzare uno o più pozzi barriera di carattere puntuale, in corrispondenza dei focolai individuati.
- una volta acquisiti i parametri idraulici locali mediante prove di portata di lunga durata eseguite su un sistema pozzo/piezometro, la progettazione definitiva dell'intervento di sbarramento dovrà essere verificata utilizzando un apposito codice (modelli matematici analitici e/o semianalitici e/o numerici) in grado di simulare il funzionamento dei pozzi e quindi di valutarne l'effetto



complessivo sulle acque sotterranee, definirne l'ubicazione ottimale, la distanza dalla sorgente, la loro equidistanza e gli eventuali effetti di interferenza tra le opere, valutando la possibilità di utilizzare un modello analitico oppure la necessità del ricorso ad uno di tipo numerico.

- qualora sia presente una fase libera in galleggiamento, dovrà essere predisposto un sistema di recupero da attivare in concomitanza al funzionamento del sistema di prelievo delle acque, in questo caso il livello dinamico indotto dal sistema di emungimento dovrà provocare abbassamenti il più limitati possibile, compatibilmente con le necessarie portate di esercizio.
- lo sbarramento dovrà essere continuo anche nella dimensione temporale, quindi il pompaggio dovrà essere in attività 24 h su 24; dovranno possibilmente essere predisposti sistemi di registrazione in continuo del suo funzionamento, delle portate emunte (almeno mediante contatore piombato) e dei livelli dinamici.
- la portata da emungere, tenendo conto delle necessità di cui sopra, non dovrà comunque essere eccessivamente sovradimensionata;
- é necessaria la predisposizione di un sistema di monitoraggio idrochimico di valle, costituito da uno o più piezometri di controllo progettati in modo tale da avere caratteristiche, numero e posizione adeguati in relazione alla configurazione del sistema di sbarramento e dei meccanismi di contaminazione in atto. Anche il sistema di monitoraggio di valle dovrà essere preliminarmente testato mediante modellizzazione basata sugli effettivi parametri di funzionamento del sistema;
- il piano di monitoraggio delle acque sotterranee dovrà permettere di valutare l'efficacia del sistema, il monitoraggio riguarderà sia le falde interessate dagli interventi di disinquinamento che quelle immediatamente sottostanti. I risultati ottenuti dal monitoraggio saranno vincolanti rispetto alla necessità di effettuare ulteriori approfondimenti di indagine od estendere gli interventi di disinquinamento anche alle falde più profonde.
- anche ai fini delle necessarie autorizzazioni ai sensi della L. 152/99, prima dell'attivazione del sistema di sbarramento idraulico dovrà essere verificata, con opportuno anticipo, la destinazione delle acque emunte e la relativa idoneità ad un'eventuale recapito in fognatura comunale od in corso idrico superficiale; se necessario si dovrà prevedere, come parte integrante del progetto, anche la predisposizione di un sistema di trattamento delle acque emunte.

Bibliografia

AA. VV. – *Guida al disinquinamento degli acquiferi*, Vol. 1 Pitagora Editrice Bologna, 1994

Aller L., Bennet T.W., Hackett G., Petty R.J., Lehr J.H., Sedoris H., Nielsen D.M. – *Handbook of Suggested practice for the Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells*. National Water Well Association Dublin, Ohio, 1989:

ASTM, D 4448–85a: – *Standard Guide for Sampling Groundwater Monitoring Wells*”.

ASTM, D 4750–87: – *Standard Test Method for Determining Subsurface Liquid Levels in a Boreholes or Monitoring Well*

ASTM, D 5092–90: – *Standard Practice for Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells in Aquifers*.

ASTM, D 4696–92 – *Guide for pore-liquid sampling from the vadose zone*.

Beretta G.P. – *Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee*, Pitagora Editrice Bologna, 1992

Chiesa G. – *Inquinamento delle acque sotterranee*, Hoepli Editore, 1988

De Fraja Frangipane E., Andreottola G., Tatàno F. – *Terreni contaminati*, C.I.P.A. Editore, 1994

Di Molfetta A., Gautero L. – *Il monitoraggio delle acque sotterranee in siti pericolosi: impostazione metodologica, strumenti e costi*. IGEA, Milano 10 dicembre 1997

Geo Fluid – *Metodologie per il disinquinamento delle acque sotterranee*, atti del convegno, Piacenza 9 Ottobre 1992

International Organization for Standardization (1993): – *ISO 5667-11 Water Quality. Sampling. Guidance on sampling of groundwaters*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, pp.1-10.

International Organization for Standardization (1999): – *ISO Draft International Standard 5667-18 Water Quality. Sampling. Guidance on sampling of groundwater at contaminates sites*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, pp.1-33.

National Water Well Association – *RCRA Ground Water Monitoring Technical Enforcement Guidance Document*. NWWA/EPA Series, Dublin, Ohio, 1986

Provincia di Milano U.O. Interventi Acque Suolo e Sottosuolo: *Proposta per il Monitoraggio e la classificazione delle acque sotterranee in funzione degli obiettivi di qualità ambientale*, Manuale tecnico redatto per il Ministero dell’Ambiente e per il Gruppo di Lavoro sulle acque sotterranee



(WG3) del network europeo CLARINET (Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies), Milano, maggio 1999.

Provincia di Milano U.O. Interventi Acque Suolo e Sottosuolo: Linee guida n.1 - Perimetrazione e caratterizzazione di un sito contaminato, Milano, febbraio 1999.

Repubblica Italiana, Decreto Legislativo n. 152, 11 maggio 1999. – *Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.* – Ministero dell' Ambiente.

Repubblica Italiana, Decreto Ministeriale n. 471, 25 ottobre 1999. – *“Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n.22, e successive modificazioni e integrazion”.* – Ministero dell' Ambiente

UNICHIM, Manuale n. 175 – *Suoli e falde contaminati – Tecnologie di indagine e di bonifica*., Linee Guida UNICHIM, 1994

UNICHIM, Manuale n. 157– *Acque destinate al consumo umano. Metodi di Campionamento*, Linee Guida UNICHIM, 1997

