

## Linee guida per la predisposizione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee in impianti produttivi



# **Linee guida per la predisposizione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee in impianti produttivi**

**Firenze, aprile 2019**



# Linee guida per la predisposizione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee in impianti produttivi

A cura di:

*Fabrizio Franceschini*, Dipartimento ARPAT di Pisa

*Silvia Giovannetti*, Dipartimento Scienze della Terra, Università di Pisa

Editing e copertina:

*ARPAT, Settore comunicazione, informazione e documentazione*

## INDICE

1.0 PREMESSA.....	5
2.0 INTRODUZIONE.....	5
3.0 DEFINIZIONI.....	6
4.0 VALUTAZIONE DELLO STATO DI QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE.....	7
5.0 RICOSTRUZIONE DEL MODELLO IDROGEOCHIMICO SITO-SPECIFICO.....	8
5.1 Relazione Idrogeologica Preliminare.....	8
5.2 Relazione Idrogeologica Conclusiva.....	8
6.0 I POZZI DI MONITORAGGIO DELLA FALDA.....	9
6.1 Caratteristiche dei pozzi di monitoraggio.....	9
6.2 Misure piezometriche.....	11
6.3 Specifiche tecniche per la dismissione di pozzi.....	11
7.0 SPURGO DEL POZZO DI MONITORAGGIO.....	12
7.1 Spurgo volumetrico.....	12
7.2 Spurgo dinamico.....	12
8.0 ESECUZIONE PROVA DI FALDA A POZZO SINGOLO.....	13
9.0 MISURA IN CAMPO DEI PARAMETRI CHIMICO-FISICI.....	14
9.1 Conducibilità.....	14
9.2 Temperatura dell'acqua.....	15
9.3 Potenziale redox (Eh, ORP).....	15
9.4 pH.....	15
9.5 Ossigeno disciolto.....	15
10.0 CAMPIONAMENTO.....	16
10.1 Prescrizioni di carattere generale.....	16
10.2 Criteri generali per la scelta della procedura di campionamento.....	16
10.3 Procedura di campionamento.....	17
10.4 Prelievo del campione.....	18
11.0 BIBLIOGRAFIA.....	20

## ALLEGATI

**Allegato 1** – Scheda pozzo di monitoraggio

**Allegato 2** – Scheda per l'esecuzione della prova di falda

**Allegato 3** – Scheda per il campionamento

## **1.0 PREMESSA**

Il presente documento rappresenta uno strumento operativo utile a realizzare e mettere a regime una rete di monitoraggio qualitativo delle acque sotterranee in corpi idrici a media e bassa permeabilità che per le loro caratteristiche peculiari si discostano spesso dalle normali procedure di campionamento in acquiferi produttivi. Il documento non ha alcuna volontà impositiva e deve essere interpretato ed utilizzato esclusivamente come documento di supporto nelle attività di caratterizzazione e certificazione dello stato di qualità sito-specifico per la matrice acque sotterranee del sottosuolo di attività produttive potenzialmente impattanti. Esso sostituisce in toto il precedente documento ARPAT (2007).

## **2.0 INTRODUZIONE**

L'impatto di un'attività produttiva sulle matrici suolo e sottosuolo è normalmente riflesso nella qualità delle acque sotterranee superficiali dove con questo termine, nella maggior parte dei casi, non si intende la falda utilizzata per gli emungimenti, spesso ubicata in acquiferi profondi ma le acque sotterranee presenti nell'immediato sottosuolo dell'area, in equilibrio con la pressione atmosferica. Queste acque sotterranee vanno a saturare il primo strato di terreni (falda freatica o libera) situato al di sotto della zona vadosa e sono praticamente sempre presenti anche in terreni a bassa permeabilità. In zona satura l'acqua tende a riempire la porosità della roccia dividendosi in acqua di ritenzione, praticamente immobile, e acqua gravifica, mobile a seguito di variazioni del gradiente idraulico. La determinazione del gradiente idraulico permette di definire anche la direzione di scorrimento del flusso acquifero. Dove le condizioni di circolazione delle acque (permeabilità) non permettono un flusso significativo il corpo idrico è conosciuto con il termine tecnico di "aquitardo". La totale assenza di circolazione delle acque nel sottosuolo è un evento eccezionale, verificato solo in presenza di terreni a dominante argillosa (acquicludo) dove è assente la componente di acqua gravifica e molto bassa la capacità trasmissiva del mezzo poroso.

Eventuali punti occulti di rilascio di contaminanti nel suolo/sottosuolo rappresentano sorgenti puntuali di non facile identificazione mediante prelievo di campioni di terreno. Invece, una contaminazione nel suolo superficiale o profondo, anche se estremamente puntuale, con il tempo tenderà a trasferirsi, per lisciviazione, nelle acque sotterranee del primo livello saturo sottostante distribuendosi e allargandosi secondo le direzioni imposte dal gradiente idraulico. Se la sorgente di rilascio del contaminante è alimentata o comunque lisciviata con continuità, la contaminazione delle acque sotterranee tenderà ad allargarsi rendendo più semplice la sua identificazione mediante il campionamento da pozzi di monitoraggio ambientale. In caso di terreni a bassissima permeabilità e/o bassi gradienti idraulici il movimento del contaminante solubilizzato nelle acque sotterranee avverrà essenzialmente per diffusione in tutte le direzioni; in terreni permeabili si svilupperà invece un pennacchio di contaminazione, allungato secondo la direzione di scorrimento della falda. L'estensione del pennacchio sarà tanto più accentuata quanto maggiore è la permeabilità del terreno e il valore del gradiente idraulico.

In genere le acque freatiche si rinvencono in terreni a profondità che raramente superano i 20m e sono sempre presenti anche in litologie caratterizzate da medio-basse permeabilità (aquitardi). Una rete di monitoraggio efficiente e ben progettata permette l'identificazione dei rilasci accidentali occulti di contaminanti nel sottosuolo prevenendo nel tempo l'instaurarsi di contaminazioni diffuse difficilmente rimediabili. Il monitoraggio periodico qualitativo di questa matrice rende quindi possibile e particolarmente efficace il controllo degli impatti delle attività

produttive su suolo e sottosuolo fornendo anche i requisiti per accertare le eventuali misure necessarie al ripristino delle condizioni di qualità precedenti all'inizio dell'attività produttiva. L'eventuale necessità di monitorare corpi idrici più profondi potrà essere presa in considerazione solo nel caso di chiare evidenze di contaminazione delle acque freatiche o in presenza di condizioni tali da far presupporre immissioni di contaminanti nelle falde profonde attraverso i pozzi presenti sul sito.

Il monitoraggio periodico qualitativo si realizza mediante la predisposizione di un congruo numero di stazioni di monitoraggio (pozzi di monitoraggio) e la pianificazione di attività di campionamento idonee alla ricostruzione di un modello idrogeochimico sito-specifico (Relazione Idrogeologica). Tutte le attività produttive che comportano movimentazione, lavorazione e stoccaggio di sostanze atte a modificare in modo deletereo (*"compromissione o deterioramento significativi e misurabili"*, art.452bis e 452quater, Cod.Pen.2015) la qualità del suolo e del sottosuolo e di conseguenza delle acque sotterranee (art.208, AIA, Dlgs 36/03 etc.) devono provvedere a realizzare una rete di monitoraggio delle acque sotterranee.

### 3.0 DEFINIZIONI

Acque sotterranee. In ambito di controllo ambientale si definiscono acque sotterranee tutte le acque presenti al di sotto del primo livello di saturazione. Sono comprese, quindi, tutte le acque contenute in acquiferi produttivi o potenzialmente produttivi, di qualsiasi tipo, sia le acque sotterranee contenute in aquitardi.

Acquifero è una formazione geologica in grado di immagazzinare acqua all'interno dei suoi pori o delle sue fessure e di consentire la circolazione (o il flusso) con portate economicamente utilizzabili dall'uomo. In ambito di controllo ambientale è definito acquifero qualsiasi corpo idrico che permette di mantenere in un pozzo di estrazione portate > di 7 L/minuto.

Acquitardo è una formazione geologica, satura in acqua, caratterizzata da permeabilità medio-bassa che non può essere utilizzata come formazione produttiva ma che, per effetto di variazioni dinamiche di carico idraulico, può consentire un significativo flusso idrico. Per significativo flusso idrico nel contesto di questo documento si intende la capacità di trasporto, in tempi storici, di sostanze contaminanti.

Pozzo spia, piezometro, pozzo di monitoraggio sono tutti termini che indicano una stazione di monitoraggio ambientale della matrice acque sotterranee. Nell'ambito di questa Linea Guida si definisce stazione di monitoraggio ambientale della matrice acque sotterranee qualsiasi opera in sotterraneo ad andamento verticale atta alla misura delle caratteristiche quantitative e qualitative delle acque sotterranee della prima falda superficiale. Le perforazioni realizzate con penetrometri o ad infissione, dotate di tubazioni provvisorie a piccolo diametro, eseguite a soli scopi geotecnici e finalizzate ad individuare gli acquiferi e caratterizzarli dal punto di vista fisico e geometrico, nonché individuare la direzione di flusso delle acque sotterranee, non sono normalmente idonee al campionamento delle acque sotterranee.

Completamento di un pozzo di monitoraggio. L'insieme delle operazioni di perforazione e sviluppo che portano alla realizzazione dell'opera finalizzata al prelievo di un campione rappresentativo dello stato chimico-fisico di un'acqua sotterranea. Per essere rappresentativo, un campione di acqua sotterranea, in superficie deve possedere le medesime caratteristiche chimico-fisiche (conducibilità, temperatura, pH, potenziale redox, contenuto di anioni e cationi maggiori e elementi in tracce) delle acque contenute nel mezzo poroso da cui è estratto.

Prova di falda a pozzo singolo La prova di falda a pozzo singolo è una prova di pompaggio che ha la finalità di determinare la conducibilità idraulica dell'acquifero nelle immediate vicinanze del pozzo di monitoraggio e soprattutto definirne la portata caratteristica che sarà utilizzata nelle attività di spurgo e campionamento. Ogni piezometro di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee dovrebbe essere sempre dotato di grafico abbassamento/tempi di ricarica acquisito mediante prova di falda dedicata.

Spurgo del piezometro Il campionamento di pozzi di monitoraggio a fini ambientali deve essere realizzato dopo il completo ricambio, mediante pompaggio, dell'acqua contenuta nella tubazione. Queste acque, permanendo a lungo all'interno del pozzo, in mancanza di comunicazione con le acque di falda, modificano le caratteristiche attraverso effetti di diluizione con acque meteoriche, fenomeni di interazioni con i materiali con i quali è stato costruito il pozzo, fenomeni di riequilibrio alle pressioni parziali atmosferiche di CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, o per azione batterica. Questa attività preliminare al campionamento è definita spurgo e permette di ripristinare le corrette condizioni di comunicazione idraulica tra la falda e l'interno della tubazione di prelievo.

Campionamento dinamico e statico Per campionamento di tipo dinamico o in flusso, si intende un prelievo di acque effettuato tramite pompa sommersa, in continuità con lo spurgo. Durante il campionamento la portata usata nella fase di spurgo deve essere ridotta al minimo (<5L/min), compatibilmente con l'attrezzatura utilizzata. Per campionamento di tipo statico, si intende un campione prelevato con pozzo non in emungimento, mediante metodo manuale (es. bailer), sempre previo spurgo e dopo il ripristino delle condizioni statiche.

#### **4.0 VALUTAZIONE DELLO STATO DI QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERANEE**

2.0 La legislazione vigente (Dlgs 30/09<sup>1</sup>) definisce acquifero uno o più strati sotterranei di roccia o altri strati geologici di permeabilità sufficiente da consentire un flusso significativo di acque sotterranee o l'estrazione di quantità significative di acque sotterranee. Tale quantità significativa è valutata in 10 mc/giorno (all.1, Parte A2 al Dlgs 30/09), corrispondenti a una portata di 7 L/minuto.

Al fine di proteggere gli ecosistemi acquatici, terrestri e gli usi legittimi, reali e potenziali, delle acque sotterranee connessi al corpo idrico sotterraneo oggetto del monitoraggio si utilizzano come limiti assoluti le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) della tab.2, all.5 alla Parte Quarta del Dlgs 152/06 smi e come limiti di riferimento gli Standard di Qualità Ambientale (SQA) o i Valori Soglia (VS) riportati nelle tabelle 2 e 3, parte A, all.5 al Dlgs 30/09 smi. Nei casi in cui la portata risulti inferiore a 7 L/min restano comunque validi i limiti assoluti imposti dalle CSC per le acque sotterranee. Dato che i corpi idrici utilizzati o che saranno utilizzati per l'estrazione di acque destinate al consumo umano, che forniscono in media oltre 10 m<sup>3</sup>/giorno o servono più di 50 persone, devono essere assoggettati ad una protezione tale che impedisca il peggioramento della loro qualità o un aumento del livello di trattamento per la potabilizzazione necessaria a garantire i requisiti di qualità di cui al Dlgs 2 febbraio 2001, n. 31 (art.4, comma 3 del Dlgs 30/09), anche tali requisiti (Valori Limite, parte A, B e C, all.1) costituiscono valori di riferimento idonei.

---

<sup>1</sup> Decreto Legislativo 16 marzo 2009, n. 30 "Attuazione della direttiva 2006/118/CE, relativa alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento" Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n.79 del 4 aprile 2009.

Nel caso di superamento delle CSC o dei valori di riferimento (SQA, VS o VL) per almeno due campionamenti consecutivi deve essere immediatamente comunicato l'evento e attivata, in condivisione con ARPAT, un'indagine specifica per la conferma del valore anomalo e la ricerca della/e sorgente/i di contaminazione.

## **5.0 RICOSTRUZIONE DEL MODELLO IDROGEOCHIMICO SITO-SPECIFICO**

Dato che la conoscenza dell'assetto idrogeologico dell'area in cui insiste l'attività produttiva è fondamentale per la corretta predisposizione della posizione e caratteristiche di completamento dei pozzi di monitoraggio e delle modalità di spurgo/campionamento, preliminarmente, deve essere effettuata un'apposita indagine i cui risultati, riorganizzati nella Relazione Idrogeologica Preliminare, conterrà anche la proposta di rete di monitoraggio delle acque sotterranee. Per la specificità delle indagini richieste e per i contenuti della Relazione Idrogeologica è necessario che queste attività siano svolte da un Geologo.

### **5.1 Relazione Idrogeologica Preliminare**

Per la redazione della Relazione Idrogeologica Preliminare dovranno essere verificate le informazioni bibliografiche esistenti a scala regionale integrando le informazioni idrogeologiche e geotecniche locali con idonei rilievi geologici e idrogeologici di dettaglio che includeranno esame dei litotipi, giacitura, correlazioni stratigrafiche, censimento dei punti d'acqua etc.. In aree urbanizzate il livello di conoscenza raggiunto anche per quanto riguarda gli aspetti geologici e idrogeologici del territorio è tale da permettere sempre la formulazione di idonee ipotesi di lavoro. Ad esempio gli attuali Piani Strutturali Comunali contengono informazioni di dettaglio estremamente utili e spesso sufficienti alla predisposizione del modello idrogeologico preliminare dell'area da implementare successivamente mediante indagini sito-specifiche e i risultati del monitoraggio periodico. Attraverso campagne di misura dovrà essere ricostruito, quanto più precisamente possibile, l'intervallo di fluttuazione della superficie piezometrica tra i periodi di magra e di morbida e le eventuali variazioni di direzione del flusso indotte anche da attività umane. La Relazione Idrogeologica riporterà i risultati di tali studi, i criteri di ubicazione dei pozzi di monitoraggio, le loro caratteristiche di completamento. Tale relazione sarà progressivamente aggiornata man mano che vengono acquisite le informazioni idrogeologiche e idrochimiche derivanti dalla messa in opera della rete di monitoraggio.

La prima stesura della Relazione Idrogeologica (Relazione Idrogeologica Preliminare), da allegare alla documentazione autorizzativa, conterrà tutti gli elementi utilizzati nella definizione del modello idrogeologico preliminare che ha determinato la scelta delle caratteristiche della rete di monitoraggio da installare.

### **5.2 Relazione Idrogeologica Conclusiva**

La prima revisione della Relazione Idrogeologica Preliminare sarà elaborata e trasmessa dopo la realizzazione dei pozzi di monitoraggio, le prove di falda e la caratterizzazione idrochimica delle acque sotterranee (Relazione Idrogeologica Conclusiva) e riporterà il modello idrogeologico e idrochimico definitivo come ricostruito dal confronto tra i dati pregressi (Relazione Idrogeologica Preliminare) e le informazioni ricavate dalle indagini e osservazioni sito specifiche (logs stratigrafici dei pozzi di monitoraggio realizzati, indagini in fase di perforazione, prova di falda, ricostruzione piezometrica, classificazione idrochimica etc.). Periodicamente (ogni 2 o 5 anni, in funzione delle peculiarità del modello idrogeochimico risultante) la Relazione Idrogeologica sarà aggiornata con i risultati del monitoraggio.



## 6.0 I POZZI DI MONITORAGGIO DELLA FALDA

In generale nei siti industriali, per la definizione del modello idrogeochimico sito-specifico, saranno ubicati e progettati pozzi di monitoraggio atti alla caratterizzazione qualitativa delle acque sotterranee del primo livello saturo presente nel sottosuolo. La loro ubicazione sarà condizionata in generale dalle caratteristiche idrogeologiche e in particolare dalle ubicazioni delle potenziali sorgenti di contaminazione (piazzi semipermeabili, vasche di raccolta reflui, linee fognarie, serbatoi interrati etc). Nel caso di pozzi di monitoraggio in terreni poco permeabili si dovrà prevedere ubicazioni in corrispondenza di tali sorgenti o comunque immediatamente a valle della direzione di flusso delle acque sotterranee mentre in terreni a medio-alta permeabilità, dove predominano i fenomeni di diluizione ed advezione, i pozzi di monitoraggio dovranno essere ubicati sempre a valle della direzione di flusso. Dato che la possibilità di migrazione dei contaminanti presenti in falda è direttamente correlata al valore del gradiente idraulico risulta fondamentale identificarne l'entità e le variazioni stagionali e/o antropiche.

Pozzi di monitoraggio installati in acquiferi multistrato o acquitardi possono presentare caratteristiche idrochimiche fortemente disomogenee anche a breve distanza o addirittura variabili in funzione dei tempi di spurgo. Per questo motivo è fondamentale l'esecuzione di idonee indagini iniziali che permettano di ricostruire tali disomogenità. Un metodo speditivo per definire le correlazioni tra tempi di spurgo e caratteristiche idrochimiche di un sistema idrogeologico a bassa permeabilità consiste nella prova di falda a pozzo singolo i cui risultati permettono anche di impostare, pozzo per pozzo, le modalità di esecuzione delle campagne periodiche di spurgo e campionamento.

Il numero di pozzi di monitoraggio di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee sarà proporzionato all'estensione del sito in funzione anche del numero e della distribuzione delle potenziali sorgenti di contaminazione. Il numero minimo di pozzi è 3 in quanto questo è il numero minimo sufficiente per la ricostruzione della superficie piezometrica. In siti di ridotte dimensioni, dove sia possibile avere nelle vicinanze uno o più punti di misura del livello piezometrico della falda superficiale, il numero di pozzi potrà essere limitato a due, uno a valle e l'altro a monte del flusso. Per siti molto grandi e con numerose potenziali aree sorgenti sarà possibile, al fine di ridurre il numero dei pozzi di monitoraggio da installare, ubicare un certo numero di questi lungo il confine di proprietà sotto gradiente idraulico.

Ogni pozzo di monitoraggio individuato come punto di campionamento della rete di monitoraggio e tutti i pozzi produttivi e non, esistenti all'interno dell'impianto, devono essere dotati di una scheda riassuntiva delle caratteristiche costruttive e produttive (allegato 1).

### 6.1 Caratteristiche dei pozzi di monitoraggio

Normalmente i pozzi di monitoraggio di impianti produttivi sono realizzati tra i 10 e i 20m di profondità con tratto fessurato continuo compreso tra -3/-5 m da p.c. e fondo foro. In situazioni particolari, come ad esempio l'accertata possibilità di interferenza tra acquiferi diversi, sarà necessario provvedere all'installazione di più piezometri a profondità diverse. Obiettivo del monitoraggio è la falda freatica intesa come il primo livello saturo incontrato a partire dalla superficie.

La perforazione potrà essere eseguita a distruzione solo nel caso in cui i dati geologici e idrogeologici locali siano sufficienti ad una esauriente ricostruzione del sottosuolo; in caso contrario le perforazioni dovranno essere eseguite a carotaggio continuo con elaborazione di dettagliati logs geologici da allegare alla Relazione Idrogeologica.

Durante la perforazione dovrà essere utilizzata acqua solo quando strettamente indispensabile e in tali casi, di provenienza sicura dal punto di vista qualitativo (acqua di acquedotto). Al termine della perforazione dovranno essere smaltiti a norma di legge tutti i residui della perforazione ed il sito ripristinato come in origine.

Il diametro di perforazione dovrà essere sufficiente all'installazione di una tubazione definitiva di almeno 3" e del suo dreno esterno. La tubazione definitiva dovrà:

- permettere l'inserimento di una pompa sommersa di adeguata potenza (portata minima almeno 7 L/min) e della sonda di misura piezometrica;
- essere fatta di materiale compatibile con l'eventuale presenza di sostanze contaminanti o acque aggressive (PVC o acciaio);
- essere fessurata in fabbrica nel tratto drenante con luci non superiori a 0,5mm.

Nell'intercapedine tra sondaggio e tubo piezometrico fessurato deve essere posizionato un adeguato spessore di ghiaietto calibrato inerte (siliceo) con spessore di almeno 5cm (dreno), mentre l'intercapedine tra sondaggio e tratto cieco superficiale deve essere adeguatamente sigillata con una miscela di cemento e bentonite per impedire infiltrazioni di acque di ruscellamento superficiali. Il tappo di fondo e i singoli spezzoni di tubazione devono essere uniti con manicotti filettati a tenuta evitando qualsiasi utilizzo di collanti e nastro adesivo. La terminazione superiore della tubazione (bocca pozzo) dovrà essere attrezzata con tappo a vite (a tenuta) e posizionata in pozzetto di cemento o metallo a tenuta stagna adeguatamente segnalato. Sulla tubazione terminale o sul pozzetto dovrà essere posizionata una targhetta non rimovibile con indicazione della sigla identificativa del pozzo, quota del piano campagna, profondità e data di realizzazione.

Al termine dell'installazione di ogni pozzo di monitoraggio devono essere realizzate le operazioni di sviluppo del tratto filtrante mediante energico e prolungato pompaggio delle acque ivi contenute, al fine di:

- disporre il dreno intorno al tratto finestrato in modo ottimale;
- eliminare i residui dovuti alla perforazione ed installazione;
- verificare che il pozzo di monitoraggio funzioni correttamente.

Al termine delle operazioni di sviluppo il pozzo dovrà produrre acqua chiara; non sono ammessi campioni di acqua da pozzi di monitoraggio con contenuti di sospensione solida superiori a qualche decina di mg/l di solido sospeso, quantità che rende il campione torbido ma ancora trasparente. Alti contenuti di sospensione solida associati a lunghi tempi di ripristino dei livelli dopo lo spurgo riducono notevolmente la rappresentatività del campione, indicando spesso un non corretto completamento (realizzazione + sviluppo) dell'opera.

Nel caso di terreni a bassa permeabilità, dopo l'accertamento dell'esecuzione a regola d'arte dell'opera, sarà necessario determinare i tempi di ricarica mediante la prova di falda a pozzo singolo, descritta successivamente, al fine di ottimizzare le operazioni di campionamento. Tutte le informazioni relative alla perforazione e al completamento del pozzo di monitoraggio saranno riassunte nel primo aggiornamento della Relazione Idrogeologica.

In caso di piezometri già esistenti, prima del loro inserimento nella rete di monitoraggio, le eventuali assenze di informazioni importanti come profondità o lunghezza del tratto fessurato, dovranno essere colmate mediante l'esecuzione di idonee indagini. In questi piezometri è necessario, inoltre, accertarsi delle condizioni del tratto filtrante. L'emungimento deve avvenire producendo acque chiare o con trasporto solido ridotto; in caso contrario si dovrà provvedere al

ripristino delle condizioni ottimali del dreno (tubo fessurato + ghiaietto) o, nei casi estremi in cui le acque emunte contengano significativi volumi di sabbie, dovrà essere riperforato un nuovo pozzo di monitoraggio avente caratteristiche di filtrazione adeguate.

Nel caso sia necessario monitorare la qualità delle acque sotterranee di acquiferi confinati (singoli livelli di ghiaie e/o sabbie, anche in acquiferi multistrato) si utilizzerà le medesime procedure di realizzazione dell'opera tenendo presente di limitare la porzione microfessurata della tubazione definitiva al tratto di acquifero da monitorare. In caso di attraversamento di strati a permeabilità nulla (acquicludi) si dovrà procedere all'accurata sigillatura dell'intercapedine in corrispondenza di tali livelli al fine di evitare contaminazioni incrociate.

## **6.2 Misure piezometriche**

La misura si esegue utilizzando il freatimetro, strumento costituito da una sonda calata in pozzo che al contatto con il livello di acqua determina l'emissione in superficie di un segnale visivo e acustico. Le misure piezometriche in pozzi dotati di pompa devono essere effettuate dopo almeno qualche ora di assenza di pompaggio. Affinché le misure rilevate siano effettivamente rappresentative delle condizioni statiche della falda, è opportuno accertarsi che, oltre al pozzo in esame, non siano presenti altri pozzi in emungimento in un raggio di almeno 150 metri, a meno che non interessino una diversa falda.

La misura, da esprimere in metri con due unità decimali, va ordinariamente riferita al piano campagna (piano calpestabile intorno alla testa pozzo) del pozzo in monitoraggio. Se disponibile annotare la quota sul livello del mare (mslm) del piano campagna.

Dopo la predisposizione della rete di monitoraggio deve essere effettuata una campagna di misure piezometriche con cadenza mensile per almeno un anno. Tale attività permette di definire le variazioni stagionali dei livelli connesse sia al regime pluviometrico che idraulico e valutare eventuali variazioni indotte dallo sfruttamento della risorsa. Una planimetria con le isopiezometriche stagionali e le direzioni di flusso sarà riportata nella Relazione Idrogeologica Conclusiva.

Le misure piezometriche devono sempre essere effettuate prima di qualsiasi altra operazione effettuata sui pozzi di monitoraggio.

## **6.3 Specifiche tecniche per la dismissione di pozzi**

Ogni opera di captazione o monitoraggio delle acque sotterranee rappresenta una potenziale via di migrazione dei contaminanti. Opere abbandonate o realizzate in maniera non adeguata possono favorire l'immissione diretta di contaminanti dalla superficie verso gli acquiferi intercettati dalla perforazione. Per questo motivo tali opere, una volta esaurito il compito previsto, devono essere sempre soggette a tombamento secondo le migliori tecniche disponibili. I pozzi di captazione, generalmente di dimensioni e materiali diversi dai pozzi di monitoraggio, devono sempre essere dismessi previa rimozione fisica, quando possibile, delle tubazioni di rivestimento e successivo riempimento del foro con una miscela di malta cementizia e bentonite nella percentuale di 1 a 2. Nel caso che i filtri intercettino più acquiferi tale procedura deve essere rigidamente applicata; se il filtro intercetta un unico acquifero e sono comunque garantite dalle specifiche di completamento del pozzo le cementazioni delle intercapedini in corrispondenza degli acquicludi, la rimozione delle tubazioni potrebbe non ritenersi necessaria essendo comunque tale operazione economicamente e tecnicamente molto impegnativa. Nel caso dei pozzi di monitoraggio, i cui rivestimenti sono normalmente realizzati

in tubazioni plastiche (PVC, HDPE etc), il tombamento con miscela cemento/bentonite dovrà essere preceduto da una riperforazione e pulitura del foro.

## **7.0 SPURGO DEL POZZO DI MONITORAGGIO**

Il campionamento di pozzi di monitoraggio a fini ambientali deve essere realizzato dopo l'esecuzione di un adeguato spurgo, attività che permette di ripristinare le corrette condizioni di comunicazione idraulica tra la falda e l'interno della tubazione di prelievo. La colonna d'acqua interna alla tubazione piezometrica, in condizioni stazionarie, tende infatti ad essere isolata dall'acquifero circostante con l'insorgere di fenomeni di stratificazione; le condizioni chimico-fisiche all'interno della tubazione sono, inoltre, diverse da quelle presenti all'interno dell'acquifero, dando luogo a reazioni chimiche che, con il tempo, tendono a modificare le caratteristiche qualitative delle acque della tubazione rendendo queste ultime non più rappresentative delle condizioni chimico-fisiche delle acque dell'acquifero circostante.

È importante distinguere lo spurgo eseguito al termine dell'installazione di un pozzo di monitoraggio (spurgo di completamento dell'opera) dallo spurgo finalizzato al campionamento della matrice acquosa (spurgo di campionamento). Nel primo caso già descritto in precedenza, la finalità è data dallo sviluppo del pozzo.

L'attività dello spurgo di campionamento può essere realizzata mediante le due seguenti modalità:

### **7.1 Spurgo volumetrico**

Si tratta di rimuovere dal tubo piezometrico una quantità di acqua superiore a quella contenuta all'interno del tubo stesso. Il calcolo del volume di acqua presente all'interno della tubazione viene eseguito prima dell'inizio del pompaggio tramite le formule riportate nella scheda di allegato 2. Nel caso la profondità del pozzo non sia nota o esistano dubbi si consiglia di eseguire la misura direttamente in campo utilizzando un normale filo a piombo.

Una volta noto il volume di acqua contenuto nella tubazione piezometrica si rimuove, mediante pompa sommersa portatile, un quantitativo pari a 3-5 volte tale volume in modo da garantire un completo ricambio delle acque. Nei casi estremi, dove l'attività di spurgo a bassa portata provoca comunque il completo prosciugamento del tubo piezometrico, il campionamento può essere eseguito anche senza il ripristino del livello piezometrico e senza arrivare, comunque, alla rimozione dei 3 volumi minimi previsti.

### **7.2 Spurgo dinamico**

Questa procedura si basa sul raggiungimento dell'equilibrio dinamico tra le acque dell'acquifero da monitorare e le acque contenute all'interno della tubazione piezometrica, mediante la misura di alcuni parametri chimico-fisici. Si utilizza normalmente una sonda multiparametrica che misuri, almeno, conducibilità, temperatura e pH. Facoltativo l'utilizzo anche dei parametri ossigeno disciolto e Eh (potenziale redox). Una volta attrezzato il pozzo con la pompa sommersa si attiva l'emungimento misurando periodicamente i parametri sopra indicati. Tali parametri varieranno man mano che viene estratta l'acqua stratificata fino a stabilizzarsi su valori costanti. Tre letture consecutive devono avere uno scostamento di  $\pm 0,1$  per il pH,  $\pm 3\%$  per la conducibilità e torbidità visivamente costante (i trend di stabilizzazione seguono percorsi asintotici verso un valore costante), il cui controllo può essere effettuato ad intervalli determinati in un contenitore con flusso costante, evitando gorgogliamenti. L'esecuzione preventiva della

prova di falda permette di acquisire, per ogni pozzo di monitoraggio della rete, le informazioni utili alla programmazione dei tempi e portate dello spurgo.

## 8.0 ESECUZIONE PROVA DI FALDA A POZZO SINGOLO

La prova di falda a pozzo singolo, eseguita in regime transitorio, ha la finalità di:

- determinare la conducibilità idraulica dell'acquifero nelle immediate vicinanze del pozzo di monitoraggio;
- programmare le portate e i tempi da utilizzare nello spurgo preliminare al campionamento.

Deve essere eseguita, almeno una volta, su tutti i pozzi della rete di monitoraggio utilizzando la scheda in [allegato 2](#).

La prova consiste nell'attivazione di un emungimento con pompa sommersa di adeguate caratteristiche, fino al raggiungimento di un livello dinamico stabile corrispondente all'equilibrio tra volumi di acqua emunta e volumi di acqua in afflusso dalla falda. Nelle formazioni sede di acquifero tale condizione è raggiunta in tempi brevi. In pozzi installati in acquitardi i tempi di raggiungimento dell'equilibrio possono essere lunghi e portare allo svuotamento del tubo piezometrico.

La prova di falda a pozzo singolo per ogni postazione sarà effettuata secondo la seguente sequenza:

- a) Predisporre e posizionare tutte le attrezzature necessarie all'esecuzione dello spurgo;
- b) Misurare il livello statico iniziale e la profondità del pozzo mediante sonda freaticometrica;
- c) Introdurre la pompa nel pozzo di monitoraggio fino a raggiungere il fondo foro quindi, sollevarla di circa 1 metro;
- d) Misurare col freaticometro la soggiacenza riferita alla bocca del pozzo prima di iniziare il pompaggio, annotandola come riferita al tempo iniziale  $t_0$ ;
- e) Mettere in funzione la pompa ad una portata costante controllando e annotando con frequenza adeguata, la soggiacenza dinamica della falda;
- f) Misurare con la stessa frequenza ed annotare i parametri chimico-fisici caratteristici delle acque emunte (conducibilità, pH, temperatura, potenziale redox);
- g) Controllare periodicamente che il valore di portata rimanga costante durante tutto il periodo di pompaggio e in caso di abbassamenti repentini del livello ridurre la portata. Ad ogni variazione di portata, utilizzando un contenitore graduato e un cronometro, deve essere misurata e registrata la portata effettiva;
- h) Al raggiungimento dell'equilibrio dinamico, rappresentato da una soggiacenza stabile per almeno 10 minuti, interrompere il pompaggio e iniziare la registrazione delle misure del livello in risalita;
- i) Se all'interruzione del pompaggio dovesse essere necessario estrarre la pompa, eseguire l'operazione nel minor tempo possibile e riprendere le misurazioni annotando l'operazione eseguita.

- j) Le misure di risalita devono essere effettuate con una frequenza adeguata alla ricostruzione della curva di risalita fino al ripristino del livello statico misurato prima dell'inizio delle operazioni. Per la registrazione dei dati utilizzare la scheda di allegato 2.

Per l'interpretazione dei dati ai fini di determinare il coefficiente idraulico, utilizzare le equazioni di Hvorslev (1951) o Bouwer e Rice (1976).

I tempi di risalita e le portate utilizzate nella prova saranno inserite in una apposita tabella riassuntiva (vedi esempio) da utilizzare nella programmazione delle future campagne periodiche di campionamento.

**Tabella di programmazione dello spurgo per le campagne di campionamento – Esempio dopo Prova di Falda**

Sigla	∅ inch	Prof m	Filtri da-a m	Q spurgo l/min	T spurgo min	Q camp. l/min	Note
<b>PZ1</b>	<b>3</b>	<b>25</b>	<b>15-25</b>	<b>&gt;15</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	Nessun limite
<b>PZ2</b>	<b>3</b>	<b>25</b>	<b>15-25</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	Equilibrio dinamico intorno a -15m
<b>PZ3</b>	<b>3</b>	<b>25</b>	<b>15-25</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	Attendere circa 1 ora in caso di svuotamento

## 9.0 MISURA IN CAMPO DEI PARAMETRI CHIMICO-FISICI

I parametri chimico-fisici misurati in campo rappresentano, per l'immediatezza della loro determinazione, lo strumento fondamentale per la caratterizzazione speditiva delle acque sotterranee oggetto del campionamento. Da essi si ricavano, già in fase di spurgo, preziose informazioni sul chimismo delle acque sotterranee intercettate dal pozzo di monitoraggio. Essendo espressione dell'ambiente idrochimico del corpo acquifero monitorato, la loro stabilizzazione durante le attività di spurgo permette, inoltre, di definire il momento in cui il flusso delle acque emunte combacia con il flusso di acqua sotterranea in entrata nel pozzo di monitoraggio. La misura dei parametri chimico-fisici di campo viene realizzata mediante sonde a immersione associate ad uno strumento di misura.

Per facilitare le operazioni di misura, in mancanza di una camera di flusso dedicata, munirsi di becker in polietilene da 1000/2000 ml da utilizzarsi come contenitore dove misurare i parametri sopraccitati. Una volta impostata la portata di emungimento, indirizzare sul fondo del becker il flusso di acqua corrente ed immergere le sonde, senza accendere gli apparecchi, in modo da favorire il raggiungimento dell'equilibrio termico. Durante le misurazioni dei singoli parametri se possibile, mantenere un flusso costante dell'acqua sotto analisi all'interno del becker, avendo cura di evitare gorgogliamenti all'interno dello stesso (soprattutto quando si rileva la concentrazione di ossigeno disciolto). Qualora non sia possibile mantenere un flusso continuo all'interno del becker, cambiare frequentemente l'acqua nel becker stesso.

Risciacquare il becker e le sonde di misura ad ogni punto di controllo direttamente con l'acqua emunta e lavare accuratamente le sonde con acqua deionizzata o potabile dopo ogni prelievo.

### 9.1 Conducibilità

La conducibilità elettrica di un'acqua è funzione del contenuto di sali disciolti e può quindi essere indicativa di eventuali alterazioni antropiche o geogeniche del corpo idrico monitorato. Si misura immergendo l'elettrodo nel becker evitando le zone a maggiore turbolenza e assicurandosi che non vi siano bolle d'aria all'interno della sonda. Il dato deve essere sempre espresso in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , approssimando all'intero. Se i valori sono molto alti l'apparecchio esprime il

dato solo in mS/cm; in questo caso assicurarsi di registrare la misura corretta effettuando la relativa equivalenza ( $1\text{mS} = 1000\mu\text{S}$ ).

## **9.2 Temperatura dell'acqua**

La temperatura di un'acqua sotterranea in falde superficiali rappresenta la temperatura media annua della zona; valori discordi indicano condizioni idrogeologiche peculiari come ad esempio circolazioni in sistemi carsici, presenza di intensa attività biodegradativa, anomalie geotermiche etc.. Va misurata tenendo il termometro (o la termocoppia dello strumento), all'ombra e con acqua corrente. E' espressa in °C approssimando alla prima cifra decimale. Riportare sempre anche la temperatura esterna dell'aria. Insieme alla conducibilità è il parametro fondamentale per determinare il raggiungimento del momento ottimale per il prelievo.

## **9.3 Potenziale redox (Eh, ORP)**

Il potenziale redox di un'acqua sotterranea, espresso in millivolts, rappresenta la capacità ossido-riduttiva del corpo idrico monitorato. Acquiferi ad elevata permeabilità hanno normalmente valori positivi mentre acque circolanti in acquitardi ricchi in sostanza organica hanno valori molto negativi. Questo parametro è particolarmente sensibile alle variazioni indotte dalle operazioni di pompaggio e deve quindi essere valutato con cautela. La misura del potenziale redox può richiedere stabilizzazioni superiori agli altri parametri. Esprimere il dato in mV approssimando alla decina poiché la lettura difficilmente è perfettamente stabile. A misure effettuate rimettere subito il cappuccio di protezione all'elettrodo. Fare comunque riferimento ai manuali in dotazione allo strumento.

## **9.4 pH**

I pH delle acque sotterranee oscillano in un range di valori abbastanza ridotto, normalmente compreso tra 6,5 e 8,0. Valori al di fuori di questo range indicano, normalmente, condizioni peculiari del corpo idrico o presenza di alterazioni geogeniche o antropiche. Il dato si esprime approssimando alla prima cifra decimale. Al termine delle misure occorre rimettere il cappuccio di protezione all'elettrodo verificando che contenga sempre la soluzione elettrolitica. Fare comunque riferimento ai manuali in dotazione allo strumento.

## **9.5 Ossigeno disciolto**

Il contenuto di ossigeno nelle acque sotterranee risulta essere, in genere, più basso di quello riscontrato nelle acque superficiali. I valori sono sempre molto bassi, con valori di ossigeno prossimi allo zero in corpi idrici isolati a lenta circolazione. Per la misura posizionare la sonda nel becker mantenendo un flusso di acqua costante senza provocare gorgogliamenti e, dopo aver atteso l'equilibrio termico ad apparecchio spento, mantenere la sonda in leggero movimento senza creare turbolenza. La concentrazione di ossigeno disciolto viene espressa in mg/L, approssimando alla prima cifra decimale. Terminata la misura, asciugare la sonda e chiuderla con l'apposito cappuccio prima di riporre lo strumento. Fare comunque riferimento ai manuali in dotazione allo strumento.

## **10.0 CAMPIONAMENTO**

### **10.1 Prescrizioni di carattere generale**

La frequenza di campionamento in una rete di monitoraggio delle acque sotterranee di un impianto produttivo dipende dalla complessità e grado di affinamento del modello idrogeologico e idrogeochimico. La frequenza ottimale da preferire nella maggioranza dei casi è semestrale con un prelievo nella stagione di morbida (massimo livello piezometrico) e un prelievo in regime di magra (minimo livello piezometrico). In acquiferi omogenei, caratterizzati da variazioni minime nel regime idrogeologico e nelle caratteristiche qualitative delle acque sotterranee, presso impianti dotati di idonei presidi per il contenimento delle potenziali contaminazioni, sarà possibile effettuare campionamenti annuali da concentrare nei periodi di massima magra. In situazioni dove il modello idrogeologico è particolarmente complesso o non ancora ben definito, la frequenza di campionamento dovrà essere stagionale (trimestrale o quadrimestrale) con possibilità di essere successivamente ridotta a semestrale o annuale man mano che si rendono disponibili sempre più dati del monitoraggio.

Occorre organizzare le operazioni di campionamento in modo che i prelievi realizzati in uno stesso sistema idrogeologico, vengano effettuati nel più breve arco complessivo di tempo affinché siano rappresentativi di una precisa condizione della falda stessa. Tale modalità operativa limita i fenomeni di variabilità naturale o indotta che influenza la possibilità, per i dati, di essere confrontabili. In genere una campagna di prelievi da una rete di monitoraggio dovrebbe essere effettuata entro una singola giornata di lavoro. In caso di precipitazioni significative, annotare tale evenienza sul verbale di campionamento e riportare successivamente il dato volumetrico recuperato dai dati meteo scaricati da siti ufficiali (es. [www.sir.toscana.it](http://www.sir.toscana.it)). In generale, si consiglia di effettuare campionamenti a distanza di non meno di un paio di giorni dal termine delle piogge.

Come norma generale, in caso di campionamenti in zone interessate da inquinamenti accertati e dei quali sia conosciuta la distribuzione, campionare prima i pozzi meno inquinati e successivamente i più inquinati. Nel caso che non siano note le caratteristiche qualitative delle acque emunte (es. pozzi di monitoraggio in aree contaminate), per la realizzazione dello spurgo, tali acque dovranno essere provvisoriamente stoccate in idoneo recipiente preventivamente posizionato in prossimità del pozzo di monitoraggio e smaltite in accordo alle disposizioni dell'amministrazione a cui è delegata la competenza sui rifiuti e scarichi idrici.

A meno che il modello idrogeochimico del sito non sia già noto è consigliabile che i risultati del primo campionamento non siano immediatamente utilizzati per la contestazione del superamento delle CSC, almeno per superamenti non rilevanti. Solo dopo un secondo campionamento effettuato a distanza di almeno 72 ore, che confermi il dato precedente, potrà ragionevolmente essere avviata la procedura di notifica di potenziale contaminazione.

Il campionamento di un pozzo di monitoraggio deve sempre essere eseguito conoscendo le caratteristiche di completamento del pozzo stesso. Nel caso non sia nota la posizione del tratto finestrato la pompa sommersa dovrà essere posizionata in prossimità del fondo del tubo piezometrico; in caso contrario sarà posizionata al centro della metà inferiore del tratto finestrato.

### **10.2 Criteri generali per la scelta della procedura di campionamento**

In linea generale è preferibile effettuare il campionamento dinamico perché più rappresentativo delle reali condizioni della falda in quanto vengono ridotte al minimo possibili alterazioni del



chimismo delle acque. Si ricorre al campionamento di tipo statico nei casi in cui sia nota una produttività ridotta dell'opera. Piezometri finestrati in formazioni a media-bassa permeabilità (acquitardi), sottoposti al pompaggio anche a basse portate, possono avere velocità di abbassamento del livello non supportate da un'adeguata ricarica, comportando l'impossibilità di mantenere un flusso dinamico sufficiente per effettuare il campionamento.

La situazione ottimale prevede il campionamento diretto in continuità con il raggiungimento delle condizioni di completamento dello spurgo previa riduzione al minimo della portata compatibilmente con l'attrezzatura utilizzata. Questo specialmente nel caso di prelievi volti alla determinazione di sostanze organiche volatili i cui campioni debbono essere assoggettati alla minima turbolenza possibile onde evitare fenomeni di strappaggio delle sostanze volatili.

Nel caso in cui i tempi di ricarica non permettono il campionamento dinamico il piezometro deve essere spurgato e campionato in dinamico dopo il ripristino di un adeguato volume di acqua. Nei casi estremi in cui i tempi di ricarica risultino essere particolarmente lunghi (<di 1L/h), potrà essere utilizzato il campionamento statico mediante bailer da effettuarsi possibilmente nella stessa giornata dello spurgo. Da evitare in maniera assoluta il campionamento con bailer senza aver effettuato alcuna operazione di spurgo, a meno che l'obiettivo non sia il prelievo della fase surnatante.

La valutazione sul tipo di campionamento viene effettuata mediante il grafico abbassamento/tempi di ricarica derivante dalla prova di falda a pozzo singolo che, almeno una volta deve essere effettuata su tutti i pozzi della rete di monitoraggio.

La tecnica di campionamento cosiddetta tipo Low Flow (a basso flusso), con portate di  $0,1 \div 0,5$  L/min, che induce un minimo abbassamento del livello del pozzo e limita i flussi turbolenti, ha il difetto di non garantire la piena rappresentatività del campione nei casi in cui, ad una bassa produttività, si associa una profondità di campionamento non perfettamente corrispondente alla quota di immissione delle acque in pozzo. Può essere utilizzata in sostituzione al classico campionamento dinamico in presenza di acque molto contaminate, dove sia necessario ridurre i volumi di acqua emunta da smaltire. Per effettuare il campionamento Low Flow sono necessarie apposite strumentazioni.

### **10.3 Procedura di campionamento**

I criteri e le procedure indicate nel presente documento sono applicabili sia ai pozzi ed ai piezometri che pescano in una falda adeguatamente produttiva ( $Q > 7$  L/min) sia a pozzi di monitoraggio impostati in acquitardi ( $Q < 7$  L/min). La conoscenza delle modalità di realizzazione delle opere e i risultati della prova di falda permettono sempre di definire, a priori, la corretta procedura di spurgo e campionamento. Qualora in fase di programmazione o nel corso delle operazioni in campo risulti impossibile applicare le prescrizioni indicate è opportuno valutare la significatività dei prelievi e dei relativi dati sulla base di considerazioni geologiche, idrogeologiche e sullo stato dei luoghi.

Su ogni pozzo di monitoraggio le operazioni di campionamento devono essere svolte secondo la seguente sequenza:

1. Misura del livello piezometrico;
2. Spurgo (asincrono al prelievo nei casi di acquitardi a bassissima produttività);
3. Campionamento con misura dei parametri chimico-fisici;
4. Pulizia delle attrezzature (freatimetro, pompa, cavi, campionatori).

#### 10.4 Prelievo del campione

Le operazioni di campionamento su ciascun pozzo di monitoraggio si svolgeranno secondo la seguente sequenza:

- a) Predisporre e posizionare intorno alla testa pozzo tutte le attrezzature necessarie all'esecuzione dello spurgo e del campionamento;
- b) Misurare il livello statico mediante sonda freaticometrica;
- c) Introdurre la pompa nel pozzo di monitoraggio fino a raggiungere il fondo foro, verificandone la profondità, quindi, risollevarla di circa 1 metro;
- d) Mettere in funzione la pompa ad una portata costante e misurare periodicamente, mediante camera di flusso o contenitore dedicato, i parametri di campo senza mai innalzare o abbassare la pompa all'interno del pozzo;
- e) Controllare periodicamente la soggiacenza dinamica della falda e confrontarla con i dati della prova di falda;
- f) Una volta raggiunti i volumi di spurgo previsti, senza spegnere la pompa, diminuire al minimo possibile la portata e attendere qualche minuto prima di procedere al prelievo delle diverse aliquote d'acqua previste dal protocollo di campionamento;
- g) Utilizzare parte dell'acqua prelevata per la determinazione dei parametri chimico-fisici completi (conducibilità, pH, temperatura, potenziale redox, Ossigeno disciolto);
- h) Normalizzare i recipienti raccogliendo un'aliquota d'acqua ed eliminandola ripetendo almeno 2 volte l'operazione, Tale operazione non si esegue nel caso di contenitori pretrattati (ad esempio sterilizzati) e/o che contengono sostanze atte a stabilizzare il campione prelevato;
- i) Evitare fenomeni di turbolenza e di aerazione eccessivi durante il travaso del campione d'acqua nel contenitore specifico;
- j) Effettuare le operazioni di etichettatura e stabilizzazione se previste dal protocollo;
- k) Riporre il contenitore etichettato nelle apposite borse termiche per il trasporto dei campioni;
- l) Compilare il verbale di campionamento con tutti i dati relativi al campionamento a cui allegare la scheda di campionamento compilata (allegato 3);
- m) Procedere alla pulizia e decontaminazione delle apparecchiature utilizzate tramite acqua potabile o demineralizzata. Per la pulizia e il mantenimento delle sonde di misura dei parametri chimico-fisici utilizzare acqua deionizzata.

I parametri da determinare sempre in laboratorio sono i seguenti:

- Anioni maggiori (cloruri, solfati, nitrati, ione ammonio, fluoruri);
- Richiesta chimica di Ossigeno (COD);
- Metalli (Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl, V, Zn);
- idrocarburi totali (espressi come N-esano).

L'aliquota dei metalli deve essere sempre filtrata e stabilizzata direttamente in campo. In caso di elevati contenuti di materiale in sospensione, al primo campionamento del pozzo, per il parametro metalli dovrà essere prelevata anche un'aliquota non filtrata.

Sulla base della valutazione delle potenziali sorgenti presenti sul sito, effettuata nella fase di predisposizione della rete di monitoraggio e riportate nella Relazione Idrogeologica iniziale, ai parametri precedenti dovranno essere aggiunti anche altri parametri specifici come IPA, BTEX, Idrocarburi Alifatici clorurati etc..

In concomitanza con il primo campionamento dovranno essere determinati anche i cationi maggiori (sodio, potassio, calcio, magnesio e bicarbonati) per permettere la classificazione idrogeochimica delle acque da riportare nella Relazione Idrogeologica Conclusiva.

## 11.0 BIBLIOGRAFIA

- APAT (2006) - *Manuale per le indagini ambientali nei siti contaminati*. Manuali e Linee Guida; Vol. 43.
- ARPA LOMBARDIA (2012) - *Modalità di campionamento delle acque sotterranee in ambito di bonifica e relativi controlli*. Istruzione Operativa cod. IO-BN-02, rev. 01.
- ARPACAL (2016) - *Campionamento delle acque sotterranee*. Linee guida - procedure operative.
- ARPAT (2007) - *Criteri generali per la realizzazione di reti di monitoraggio delle acque sotterranee all'interno di attività produttive soggette a IPPC*. Procedura interna, Dipartimento di Pisa.
- Beretta G.P. (1992) - *Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee*. Pitagora Ed., Bologna.
- Bouwer H., Rice R.C. (1976) – *A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells*. Water Resour. Res. 12, n.3.
- Butler J., Healy J.M. (1998) - *Relationship between pumping test and slug-test parameters: scale effect or artifact?*. Groundwater, 36, n.2.
- Celico P. (1986) - *Prospezioni idrogeologiche*. Liguori ed., Napoli.
- Civita M. (2005) – *Idrogeologia applicata e ambientale*. Casa Editrice Ambrosiana.
- Di Molfetta A., Sethi R. (2012) - *Ingegneria degli acquiferi*. Springer-Verlag Italia.
- Fetter C.W. (2018) - *Applied hydrogeology*. Fourth Edition, C.W. Fetter.
- Franconi V. (2014) *Idrogeologia ambientale*. Casa Editrice Ambrosiana, Zanichelli 2014.
- Geologia 2000 (2002) *Appunti di idrogeologia*. [www.anisn.it/geologia2000](http://www.anisn.it/geologia2000).
- Giovannetti S. (2018) – *Caratterizzazione geochimica di acquitardi nella Pianura Pisana e definizione di nuove linee guida per il campionamento di acque sotterranee*. Tesi Magistrale, Dipartimento Scienze della Terra, UNIPI.
- Hvorslev M.J. (1951) - *Time lag and soil permeability in ground-water observations*. Bulletin n.36, Waterways Exper. Sta., Corps of Eng, US Army.
- Ministero Ambiente (2000) - *Sorveglianza e monitoraggio quali-quantitativo acque sotterranee*. Progetto interregionale PRISMAS, WP 3.5 d05.
- Neuzil C.E. (1986) - *Groundwater flow in low-permeability environments*. Water Resour Res, 22.
- Van der Kamp G. (2001) - *Methods for determining the in situ hydraulic conductivity of shallow aquitards—an overview*. Hydrogeology Journal, 2001, Springer.

**SCHEDA CENSIMENTO POZZI/PIEZOMETRI**

Ditta	Comune	N. pozzi	N.piezometri
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Sigla Pozzo/piezometro	Coordinate (Gauss-Boaga)	
<input type="text"/>	N <input type="text"/>	E <input type="text"/>

Tipo di utilizzo	Prossimità edificio
<input type="text"/>	<input type="text"/>

Data costruzione	Profondità (mslm)	Quota p.c. (mslm)	Quota misura livello (mslm)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

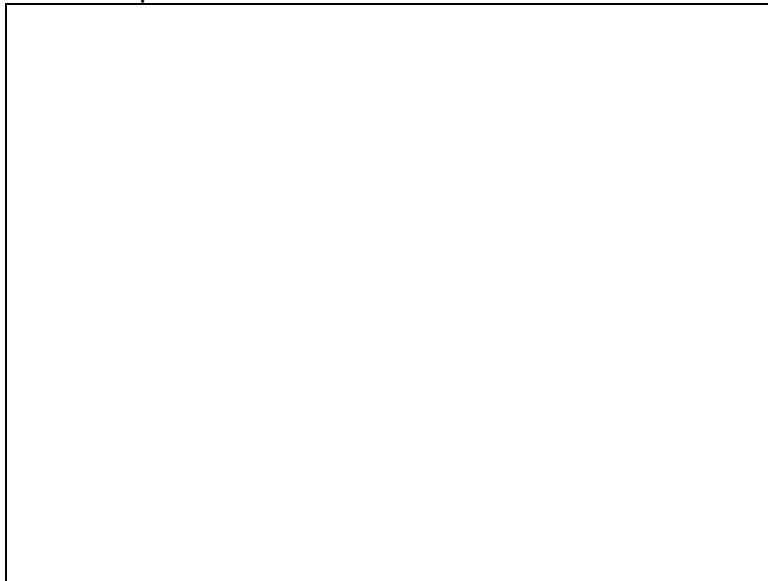
Diametro perforazione (mm)	Modalità perforazione	Diametro tubazione (mm)	Materiale tubazione
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Cementazione (da pc in m)	Filtro da in m/tipo
<input type="text"/>	<input type="text"/>

Tubazione cieca (da pc in m)/Tipo	Tubazione fessurata (da pc in m)/Tipo/Luce aperture
<input type="text"/>	<input type="text"/>

Livello statico magra (mslm)/Data	Livello statico morbida (mslm)/Data	Torbidità	Ricarica
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Foto testa pozzo



NOTE.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

Data di compilazione..... Compilatore.....

**Allegato 2 - RETE DI MONITORAGGIO AMBIENTALE ACQUE SOTTERRANEE**

**Ditta** \_\_\_\_\_ **Data** \_\_\_\_\_ **Piezometro/Pozzo** \_\_\_\_\_

Punto GPS \_\_\_\_\_ Gauss Boaga E (m): \_\_\_\_\_ N(m): \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ WGS 84 Lat(°): \_\_\_\_\_ Lon(°): \_\_\_\_\_

**S**) Soggiacenza (m) : \_\_\_\_\_ **P**) Profondità piezometro (m): \_\_\_\_\_

**H**) Altezza d’acqua (m) **P-S**

Modalità di spurgo:	Diametro (cm)	...5.1 cm= 2''	...7.6 cm= 3''	...10.2 cm= 4''
	Area (cm <sup>2</sup> )	20.26	45.58	78.5
<b>V</b> ) Volume acqua nel pzm (L/m)		2.03	4.56	7.85

**V<sub>m</sub>**) Volume minimo da spurgare (Litri) **3xHxV**


Modalità di campionamento:

**Q**) Portata della pompa(L/min)

Dinamico

**T**) Tempo spurgo effettivo (minuti)

Statico

**V<sub>tot</sub>**) Volume estratto (Litri) **Q\*T**

**Parametri misurati**

Q L/min	Ora HH:MM	pH	Conducibilità S/cm	ORP mV	Temper. °C	TDS g/L	O <sub>2</sub> disciolto mg/L	Livello m da pc

Note

DATA..... SITO..... Compilatore.....

	SIGLA	Prof m	Livello m da pc	Conducib. S/cm	pH	Temp C°	ORP mV	TDS mg/L	Profondità pompa	

Note

	SIGLA	Prof m	Livello m da pc	Conducib. S/cm	pH	Temp C°	ORP mV	TDS mg/L	Profondità pompa	

Note

	SIGLA	Prof m	Livello m da pc	Conducib. S/cm	pH	Temp C°	ORP mV	TDS mg/L	Profondità pompa	

Note

	SIGLA	Prof m	Livello m da pc	Conducib. S/cm	pH	Temp C°	ORP mV	TDS mg/L	Profondità pompa	

Note

	SIGLA	Prof m	Livello m da pc	Conducib. S/cm	pH	Temp C°	ORP mV	TDS mg/L	Profondità pompa	

Note

	SIGLA	Prof m	Livello m da pc	Conducib. S/cm	pH	Temp C°	ORP mV	TDS mg/L	Profondità pompa	

Note

	SIGLA	Prof m	Livello m da pc	Conducib. S/cm	pH	Temp C°	ORP mV	TDS mg/L	Profondità pompa	

Note



**ARPAT**

Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana  
via N. Porpora 22, 50144 Firenze – tel. 05532061  
[www.arpat.toscana.it](http://www.arpat.toscana.it)