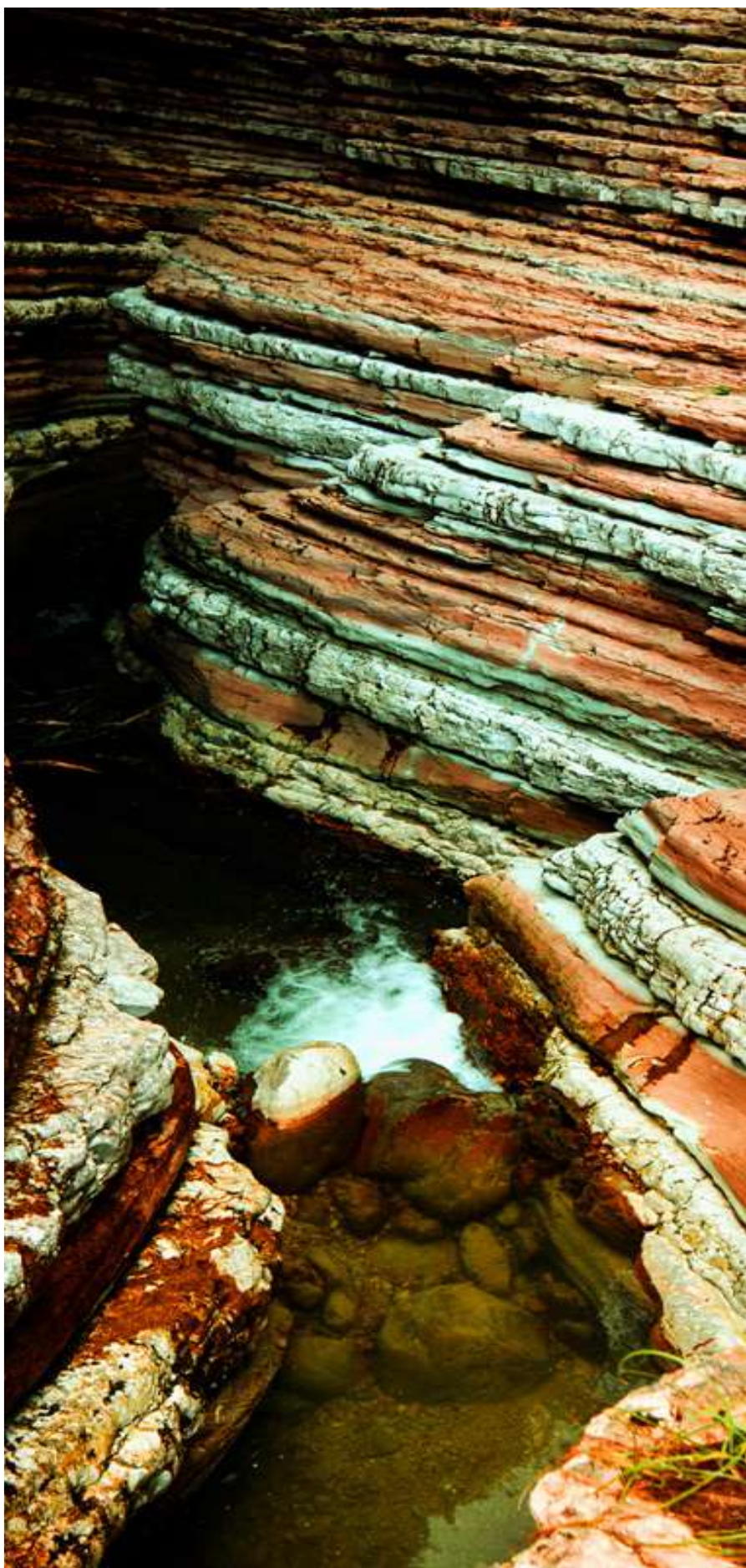


Linee guida per la predisposizione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee in sistemi a media e bassa permeabilità in impianti produttivi e interpretazione preliminare dei dati



**Linee guida
per la
predisposizione
di una rete di
monitoraggio delle
acque sotterranee
in sistemi a media e
bassa permeabilità
in impianti produttivi
e interpretazione
preliminare dei dati**

ARPAT - 2024

Linee guida

per la predisposizione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee in sistemi a media e bassa permeabilità in impianti produttivi e interpretazione preliminare dei dati

Questo lavoro è frutto della collaborazione tra ARPAT e la Commissione Ambiente dell'Ordine dei Geologi della Toscana

Editing e copertina: ARPAT, Settore Comunicazione, informazione e documentazione
Immagine di copertina da freepik.com

ARPAT 2024



ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana

Via del Ponte alle Mosse 211 - 50144 Firenze - tel. 055 32061

www.arpat.toscana.it

INDICE

1.0 PREMESSA.....	6
2.0 INTRODUZIONE.....	7
3.0 DEFINIZIONI.....	8
4.0 VALUTAZIONE DELLO STATO DI QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE.....	10
5.0 RICOSTRUZIONE DEL MODELLO IDROGEOLOGICO SITO-SPECIFICO.....	10
5.1 Relazione Idrogeologica Preliminare.....	11
5.2 Relazione Idrogeologica Conclusiva.....	11
5.3 Schema di flusso delle attività.....	11
6.0 I PRESIDI DI MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE.....	13
6.1 Caratteristiche dei presidi di monitoraggio.....	13
6.2 Misure piezometriche.....	15
6.3 Specifiche tecniche per la dismissione di presidi di monitoraggio.....	16
7.0 SPURGO DEL PRESIDIO DI MONITORAGGIO.....	16
7.1 Spurgo volumetrico.....	16
7.2 Spurgo dinamico.....	17
8.0 ESECUZIONE PROVA DI RISALITA.....	17
9.0 MISURA IN CAMPO DEI PARAMETRI CHIMICO-FISICI.....	18
9.1 Conducibilità.....	19
9.2 Temperatura dell'acqua.....	19
9.3 Potenziale redox (Eh, ORP).....	19
9.4 pH.....	19
9.5 Ossigeno disciolto.....	20
10.0 CAMPIONAMENTO.....	20
10.1 Prescrizioni di carattere generale.....	20
10.2 Criteri generali per la scelta della procedura di campionamento.....	21
10.3 Procedura di campionamento.....	22
10.4 Prelievo del campione.....	22
11.0 INTERPRETAZIONE PRELIMINARE DEI DATI IDROGEOCHIMICI.....	24
11.1 Premessa.....	24

11.2 Elementi maggiori.....	24
11.3 Elementi in traccia.....	25
11.4 Tabelle riassuntive.....	25
12.0 BIBLIOGRAFIA.....	27

ALLEGATI

Allegato 1 – Scheda presidio di monitoraggio

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

Allegato 3 – Scheda per il campionamento

1.0 PREMESSA

Il presente documento è stato elaborato dalla Commissione Ambiente dell'Ordine dei Geologi della Toscana, istituita con Delibera di Consiglio n. 74/2021 con lo scopo di affrontare in maniera sistematica e puntuale le tematiche di natura ambientale e salvaguardia del territorio. La Commissione ha la funzione di approfondire, studiare e discutere in merito alle problematiche ambientali ritenute più urgenti, con l'obiettivo di fornire supporto agli iscritti e interpretazioni tecniche frutto di un lavoro di gruppo.

Partendo dall'analisi di due documenti pubblicati nel 2019-2022 in materia di monitoraggio delle acque sotterranee¹, è stato redatto uno strumento operativo unico, 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 poco si adattano alle normali procedure di campionamento degli acquiferi produttivi. In tali contesti le condizioni idrodinamiche e idrogeochimiche sono infatti tali da rendere spesso problematici il campionamento e l'interpretazione dei dati, specialmente se confrontati con gli attuali limiti normativi.

Dopo aver indicato i metodi per una corretta realizzazione e gestione dei presidi di monitoraggio nei sistemi suddetti, si riporta un paragrafo dedicato all'interpretazione preliminare dei dati idrogeochimici, che serva da traccia per le valutazioni più approfondite e sito-specifiche. E' infatti grazie alla corretta valutazione dello stato idrochimico e idrodinamico ricavato dal monitoraggio analitico e alle indagini effettuate su ogni presidio di monitoraggio che potranno essere distinti i vari fenomeni che determinano lo stato di qualità delle acque sotterranee.

Il documento non ha alcuna volontà impositiva ma vuole solo fornire indirizzi di buona tecnica da impiegare nelle attività di caratterizzazione e certificazione dello stato di qualità sito-specifico, per quanto riguarda la matrice acque sotterranee del sottosuolo, sottolineando in particolar modo la necessità nei sistemi a bassa permeabilità di indagare la potenziale contaminazione direttamente alla sorgente piuttosto che laddove si ha l'emergenza della contaminazione ormai migrata.

Per questo motivo è stato intrapreso un percorso di partecipazione e condivisione con ARPAT, inserendo la proposta nell'ambito dell'accordo quadro OGT-ARPAT in merito a iniziative comuni nella formazione, ricerca, elaborazione e diffusione della conoscenza nel campo ambientale. In particolare il presente documento è stato valutato internamente all'Agenzia dalla Commissione Bonifiche e dalla Commissione Sistemi Produttivi che ne hanno confermato la validità di utilizzo e dunque potrà essere utilizzato come guida per i professionisti che si occupano di progettazione e analisi dei sistemi di monitoraggio delle acque sotterranee.

parole chiave: **acque sotterranee, bonifiche**

1 Franceschini F. (2022) - *Il monitoraggio delle acque sotterranee nei procedimenti di autorizzazione ambientale*. SiCon 2022

ARPAT (2019) – *Linee guida per la predisposizione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee in impianti produttivi*. Report ARPAT

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 del terreno (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 o dei sedimenti, 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 "acquitardo". Quando invece vi è la totale assenza di circolazione delle acque nel sottosuolo, condizione che si verifica solo in presenza di terreni a netta dominante argillosa, si parla di "acquicludo", caratterizzato da assenza della componente di acqua gravifica e capacità trasmissiva del mezzo poroso molto bassa.

Le acque sotterranee vengono definite dall'art.74 comma 1 lettera I del D.Lgs n.152/2006² come *"tutte le acque che si trovano al di sotto della superficie del suolo, nella zona di saturazione e in diretto contatto con il suolo e il sottosuolo"*. Tale definizione comprende sia i corpi acquiferi oggetto di sfruttamento (Corpi Idrici Significativi, CSI del D.Lgs. n.30/2009³) sia tutte le restanti acque facenti parte del complesso delle acque di saturazione del sottosuolo, anche non soggette a un significativo flusso di massa (acquitardi e acquicludo). Ovviamente solo in presenza di flusso idrico un contaminante può migrare in maniera significativa all'interno della zona satura ed è quindi sui corpi idrici (acquiferi) e sugli acquitardi che normalmente si concentrano le attenzioni relative allo stato di qualità ambientale, in riferimento sia agli utilizzi diretti come risorsa sia, nel caso degli acquitardi, alla loro funzione di mezzo di trasferimento della contaminazione verso gli acquiferi sfruttati o potenzialmente sfruttabili.

Attraverso meccanismi come la diffusione, tipici di sistemi a bassissima permeabilità, è possibile che il rilascio puntuale di contaminanti nel suolo/sottosuolo risulti occulto e non ne sia facilmente individuabile la sorgente. Se invece la sorgente di rilascio del contaminante è alimentata o comunque lisciviata con continuità, ad esclusione dei sistemi a bassissima permeabilità appena citati, la contaminazione delle acque sotterranee tenderà ad allargarsi progressivamente, rendendo più semplice la sua identificazione mediante il campionamento da presidi di monitoraggio ambientale. In caso di terreni a bassissima permeabilità e/o bassi gradienti idraulici il movimento del contaminante 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, a parità di caratteristiche quali ad esempio concentrazione, tipologia di contaminante e biodegradazione. Solo dopo la completa caratterizzazione idrochimica e idrodinamica delle acque sotterranee sarà possibile determinare l'entità della contaminazione e la sua capacità di migrazione, attivando di

2 Decreto legislativo 3 aprile 2006, n 152 Norme in materia ambientale Pubblicato su [GU n.88 del 14-04-2006 - Suppl. Ordinario n. 96](#)

3 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.

conseguenza i previsti obblighi normativi sugli interventi di bonifica ambientale, qualora si rinvenga il superamento delle relative CSC (Tab. 2 All. 5 Titolo V alla parte Quarta del D.Lgs. n.152/2006).

In generale le acque freatiche si rinvencono a profondità dal p.c. che raramente superano i 20 m e sono sempre presenti anche in litologie caratterizzate da medio-basse permeabilità (acquitardi). 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 (presidi 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 deleterio (*"compromissione o deterioramento significativi e misurabili"*, art. 452 bis e 452 quater, Cod. Pen. 2015) la qualità del suolo e del sottosuolo e di conseguenza delle acque sotterranee (art. 208, AIA, D.Lgs. n.36/2003 etc.) devono provvedere a realizzare una rete di monitoraggio delle acque sotterranee di cui deve esserne data evidenza nel Piano di Monitoraggio e controllo allegato all'autorizzazione.

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 e le acque sotterranee contenute in acquitardi.

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 medie costanti maggiori di 7 l/minuto. Non si possono definire acquifero i sedimenti permeabili superficiali, non continui arealmente, che risultano in contatto con le acque "basse" ovvero con le acque delle fosse campestri, con funzione di drenaggio delle acque piovane, dove la presenza di circolazione idrica è correlata direttamente con gli eventi meteorici.

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 verso acquiferi adiacenti o corpi idrici superficiali, in tempi storici, di sostanze contaminanti.

Corpo Idrico sotterraneo è una porzione di acque del sottosuolo che presentano caratteristiche simili sia dal punto di vista delle proprietà fisiche naturali, sia dal punto di vista delle pressioni antropiche a cui risultano sottoposte. L'omogeneità di queste caratteristiche permette di riferirle in modo unitario ad un preciso Stato di Qualità Ambientale nonché di tragarle in modo compatto, con le medesime misure di intervento, all'obiettivo di qualità "buono" come previsto dalla normativa di settore. Si definisce "Significativo" ai sensi del D.Lgs. n.30/2009 il corpo idrico sotterraneo in cui la percentuale di acqua gravifica estraibile con le normali tecniche di emungimento presenta una portata costante all'equilibrio pari almeno a 7 litri per minuto. Al di sotto di tale valore il corpo idrico si identifica in un acquitardo e nel caso di ricarica assente o con ripristino del livello statico superiore a 72 ore acquicludo.

Pozzo spia, piezometro, pozzo di monitoraggio sono tutti termini che indicano una stazione/presidio 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. 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 presidio 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 portato in superficie deve possedere le medesime caratteristiche chimico-fisiche (conducibilità, temperatura, pH, potenziale redox, contenuto di anioni e cationi maggiori ed elementi in tracce) delle acque contenute nel mezzo poroso da cui è estratto.

Spurgo del piezometro. Il campionamento di presidi di monitoraggio a fini ambientali deve essere realizzato dopo il completo ricambio, mediante pompaggio, dell'acqua contenuta nella tubazione e nel dreno, che in condizioni standard corrisponde ad almeno 3 volumi della tubazione. Queste acque, permanendo a lungo all'interno del pozzo o piezometro, in mancanza di comunicazione con le acque di falda, modificano le caratteristiche attraverso effetti di diluizione con acque meteoriche, interazioni con i materiali con i quali è stato costruito il presidio di monitoraggio, fenomeni di riequilibrio alle pressioni parziali atmosferiche di CO₂ e O₂ o per azione batterica. Questa attività preliminare al campionamento è definita spurgo e permette di prelevare un campione rappresentativo dello stato delle acque sotterranee.

Campionamento dinamico e statico. Per campionamento di tipo dinamico o in flusso si intende il prelievo di acque effettuato in emungimento, in continuità con lo spurgo. Durante il campionamento la portata deve essere ridotta al minimo (< 5 l/min), compatibilmente con l'attrezzatura utilizzata. Per campionamento di tipo statico si intende il prelievo dopo lo spurgo mediante idoneo strumento (bailer) dalla superficie della tavola d'acqua. Tale metodica è da utilizzare preferibilmente nei casi di mancata o molto lenta ricarica, possibilmente dopo il ripristino totale del livello statico.

4.0 VALUTAZIONE DELLO STATO DI QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE

La legislazione vigente⁴ 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 D.Lgs n.30/2009), corrispondenti a una portata di 7 l/minuto. Ai fini della presente Linea Guida il mantenimento di tale portata per l'intero periodo di spurgo in ogni singolo presidio di monitoraggio definisce il limite tra un acquifero (corpo idrico significativo) e un acquitardo.

Al fine di proteggere gli ecosistemi acquatici e 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 D.Lgs. n.152/2006 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 D.Lgs. n.30/2009 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 ai sensi dell'art.4 c.3 del D.Lgs. n.30/2009 i corpi idrici utilizzati o che saranno utilizzati per l'estrazione di acque destinate al consumo umano, che forniscono in media oltre 10 m³/giorno o che 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 D.Lgs. 2 febbraio 2001, n. 31⁵, anche i Valori Limite (VL) di cui alla parte A, B e C dell'All. 1 alla suddetta norma costituiscono valori di riferimento idonei.

Nel caso di accertamento del superamento delle CSC o dei valori di riferimento (SQA, VS o VL) deve essere immediatamente comunicato l'evento (notifica art. 242-245 D.Lgs. n.152/2006) e attivata un'indagine specifica per la conferma del valore anomalo e il suo inquadramento all'interno delle caratteristiche idrodinamiche del corpo idrico monitorato. Nel caso di assenza di chiare evidenze che possano giustificare le anomalie idrogeochimiche riscontrate, alla notifica seguiranno indagini specifiche per l'individuazione della/e sorgente/i di contaminazione (Piano della Caratterizzazione; Allegato 2 Parte Quarta del D.Lgs, n.152/2006).

5.0 RICOSTRUZIONE DEL MODELLO IDROGEOLOGICO SITO-SPECIFICO

Dato che la conoscenza dell'assetto idrogeologico dell'area in cui insiste l'attività produttiva è fondamentale per la corretta progettazione del monitoraggio ed in particolare per la predisposizione della posizione, delle caratteristiche di completamento dei presidi di monitoraggio e delle modalità di spurgo/campionamento, deve essere effettuata preliminarmente un'apposita indagine idrogeologica, i cui risultati dovranno essere riorganizzati nella Relazione Idrogeologica

- 4 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. Art. 2 c.1 lettera m) Acquifero: uno o più strati sotterranei di roccia o altri strati geologici di permeabilità sufficiente a consentire un flusso significativo di acque sotterranee o l'estrazione di quantità significative di acque sotterranee.
- 5 Decreto Legislativo 2 febbraio 2001, n.31 "Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano" Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 52 del 3 marzo 2001.

Preliminare, che conterrà anche la proposta di rete di monitoraggio delle acque sotterranee per il sito. 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

Ai fini della redazione della Relazione Idrogeologica Preliminare dovranno essere verificate le informazioni bibliografiche esistenti a scala regionale e locale, 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, dovrà permettere sempre la formulazione di idonee ipotesi di lavoro. Ad esempio, i 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 stagionale 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 Preliminare riporterà i risultati di tali studi ed una proposta di rete di monitoraggio comprensiva dei criteri di ubicazione dei presidi e delle caratteristiche di completamento. Tale relazione potrà essere aggiornata man mano che vengono acquisite le informazioni idrogeologiche e idrochimiche derivanti dalla messa in opera della rete di monitoraggio.

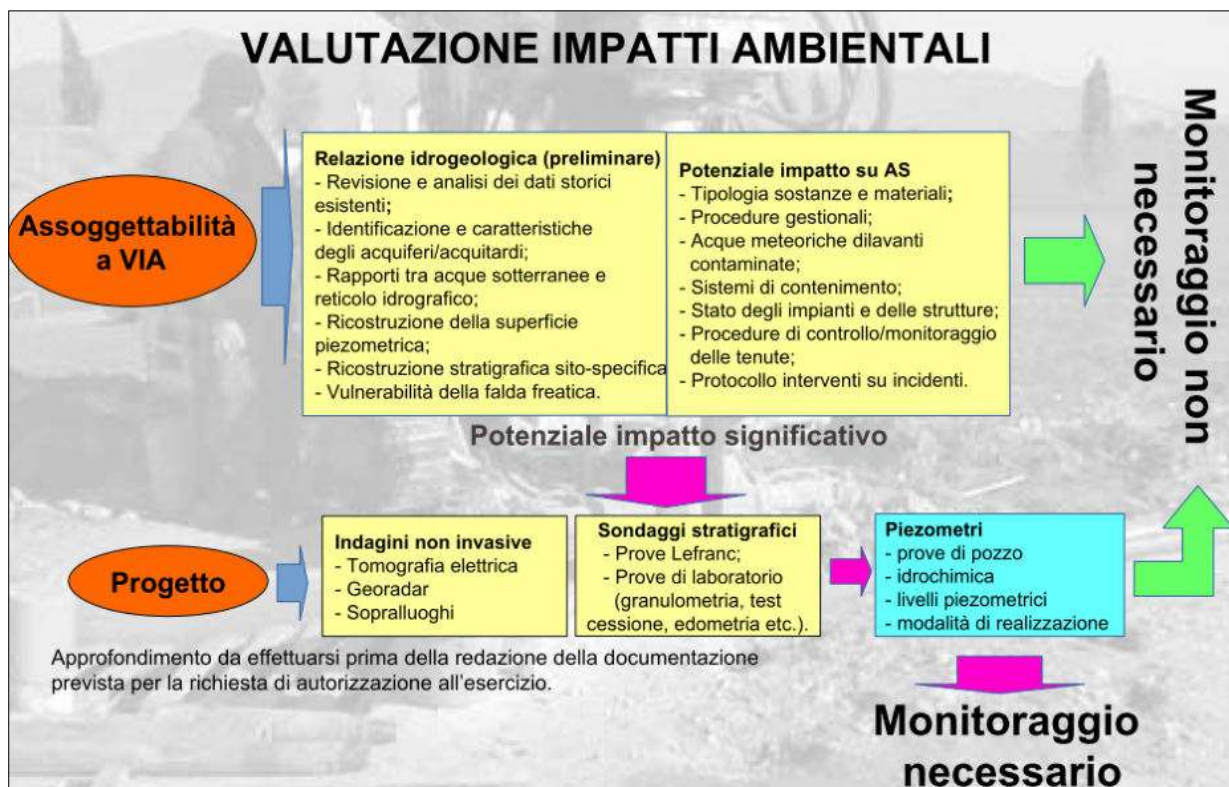
La prima stesura della Relazione Idrogeologica Preliminare, da allegare alla documentazione necessaria al rilascio/rinnovo dell'autorizzazione all'attività produttiva, conterrà tutti gli elementi utilizzati nella definizione del modello idrogeologico preliminare che ha determinato la scelta delle caratteristiche della rete di monitoraggio da installare.

5.2 Relazione Idrogeologica Conclusiva

La Relazione Idrogeologica Conclusiva, revisione della Relazione Idrogeologica Preliminare, sarà elaborata e trasmessa dopo la realizzazione dei presidi di monitoraggio, le prove di emungimento e la caratterizzazione idrochimica delle acque sotterranee 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 e delle scadenze per il rinnovo dell'autorizzazione propedeutica all'attività dell'impianto, la Relazione Idrogeologica sarà aggiornata con i risultati del monitoraggio.

5.3 Schema di flusso delle attività

Nello schema seguente viene proposta la procedura utilizzata per identificare, in funzione dei diversi scenari normativi, le indagini da effettuare e, in funzione dello schema decisionale, la necessità di attivare o meno il monitoraggio delle acque sotterranee.



6.0 I PRESIDI DI MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

In generale, per la definizione del modello idrogeochimico sito-specifico dei siti industriali, saranno ubicati e progettati presidi di monitoraggio atti alla caratterizzazione qualitativa delle acque sotterranee del primo livello saturo presente nel sottosuolo. La loro ubicazione sarà condizionata dalle caratteristiche idrogeologiche e in particolare dall'ubicazione delle potenziali sorgenti di contaminazione (piazze semipermeabili, vasche di raccolta reflui, linee fognarie, serbatoi interrati etc).

Nel caso di presidi di monitoraggio in terreni poco permeabili si dovranno prevedere ubicazioni in corrispondenza di tali sorgenti o comunque immediatamente a valle lungo la direzione di flusso delle acque sotterranee, mentre in terreni a medio-alta permeabilità, dove predominano i fenomeni di diluizione ed advezione, i presidi di monitoraggio dovranno essere ubicati sempre a valle lungo la 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.

I presidi di monitoraggio installati in acquiferi multistrato o in 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 disomogeneità. 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 risalita, i cui risultati permettono anche di impostare, pozzo per pozzo, le modalità di esecuzione delle campagne periodiche di spurgo e campionamento.

Il numero di presidi 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 presidi è 3, 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 presidi 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 presidi di monitoraggio da installare, è utile ubicare un certo numero di punti lungo il confine di proprietà a valle idrogeologica.

Ogni presidio 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) e devono essere individuati univocamente mediante coordinate plano-altimetriche.

6.1 Caratteristiche dei presidi di monitoraggio

Normalmente i presidi di monitoraggio di impianti produttivi raggiungono i 10÷20 m di profondità dal p.c. 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, ciascuno intercettante un solo acquifero. Obiettivo prioritario del monitoraggio è comunque la caratterizzazione della prima falda, intesa come il primo livello saturo incontrato a partire dalla superficie.

La perforazione potrà essere eseguita a distruzione di nucleo 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 a firma di professionista abilitato.

Durante la perforazione dovrà essere utilizzata acqua solo quando strettamente indispensabile e in tali casi accertandone l'idoneità qualitativa. 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 utile al campionamento sia dinamico che statico delle acque sotterranee. 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 realizzata in 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 0,5 mm.

Nell'intercapedine tra il foro di sondaggio e il tubo piezometrico fessurato deve essere posizionato un adeguato spessore di ghiaietto calibrato inerte (siliceo) con spessore di almeno 2-5 cm (dreno), mentre l'intercapedine tra sondaggio e tratto cieco superficiale deve essere adeguatamente sigillata con una miscela di cemento e bentonite per evitare infiltrazioni di acque di ruscellamento superficiale o ipodermico. 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 effettuate le operazioni di sviluppo del tratto filtrante mediante energico e prolungato pompaggio delle acque ivi contenute, da stoccare in attesa degli esiti analitici prima del loro smaltimento, 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 presidi 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 risalita, descritta successivamente, al fine di ottimizzare le operazioni di campionamento. Tutte le informazioni

relative alla perforazione e al completamento del presidio 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 o, nei casi estremi in cui le acque emunte contengano significativi volumi di sabbie, dovrà essere riprodotto 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 utilizzeranno le medesime procedure di realizzazione dell'opera limitando 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 m, 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 (m s.l.m.) del piano campagna.

In mancanza di adeguate quote di riferimento sulla cartografia di base da associare a ciascun punto di monitoraggio sarà necessario eseguire una livellazione altimetrica del bordo della tubazione dove sarà misurata la quota piezometrica della falda.

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 curve isopiezometriche stagionali e le direzioni di flusso sarà riportata nella Relazione Idrogeologica Conclusiva a firma di professionista abilitato.

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

Occorre inoltre verificare l'assenza di contaminazioni evidenti sulla strumentazione utilizzata e risciacquare con acqua potabile il freatimetro tra una misurazione e l'altra.

Nel caso di evidente presenza di prodotto surnatante sarà necessario utilizzare un freatimetro con interfaccia Acqua/Olio per segnalare l'eventuale presenza e lo spessore del surnatante/subnatante sulla superficie dell'acqua.

6.3 Specifiche tecniche per la dismissione di presidi di monitoraggio

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

7.0 SPURGO DEL PRESIDIO DI MONITORAGGIO

Il campionamento di presidi 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.

E' 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 o tramite l'ausilio del freatimetro.

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, in cui 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.

L'operazione di spurgo non va spinta fino a prosciugare il piezometro per non sollevare sedimenti presenti sul fondo, con conseguente intorbidamento dell'acqua. In questi casi è opportuno, se possibile, ridurre il flusso della pompa ad una portata compatibile con la ricarica del piezometro. Se ciò non fosse possibile, neppure con la portata minima della pompa, occorre interrompere lo spurgo quando il livello dell'acqua è sceso fino a raggiungere circa un metro dal fondo, attendere la ricarica del pozzo fino al 90% del volume iniziale e riprendere lo spurgo. Ripetere l'operazione fino a quando è stato rimosso un volume di acqua pari ad almeno due volte il volume di acqua contenuta nel tubo piezometrico ed attendere il ripristino di un livello compatibile con i quantitativi di campione da prelevare prima della riattivazione della pompa per il prelievo del campione.

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 ed 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 risalita permette di acquisire, per ogni pozzo di monitoraggio della rete, le informazioni utili alla programmazione dei tempi e portate dello spurgo. Si precisa che la prova di risalita, come di seguito illustrato, è solo uno dei metodi per determinare i parametri dell'acquifero per la maggior parte dei casi. Si lascia comunque al Professionista la scelta della metodologia che ritiene più opportuna a seconda del caso che sta seguendo.

8.0 ESECUZIONE PROVA DI RISALITA

La prova di risalita 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, si consiglia di 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	Ø	Prof m	filtri	Q spurgo	T spurgo	Q camp.	Note
	inch		da-a m	l/min	min	l/min	
PZ1	3	25	15-25	>15	10	5	Nessun limite
PZ2	3	25	15-25	12	10	5	Equilibrio dinamico intorno a -15m
PZ3	3	25	15-25	5	20	5	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 becher in polietilene da 1.000/2.000 ml da utilizzarsi come contenitore dove misurare i parametri sopracitati. Una volta impostata la portata di emungimento, indirizzare sul fondo del becher 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 becher, 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 becher, cambiare frequentemente l'acqua nel becher stesso.

Risciacquare il becher 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 becher 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 ($1\text{mS} = 1.000\mu\text{S}$).

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.. La temperatura va misurata tenendo il termometro (o la termocoppia dello strumento), all'ombra e con acqua corrente. E' espressa in $^{\circ}\text{C}$ 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

Il pH delle acque sotterranee oscilla in un range di valori abbastanza ridotto, normalmente compreso tra 6,5 e 8,0. Valori al di fuori di questo range indicano, generalmente, 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 becher 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. Tale modalità operativa limita l'influenza dei fenomeni di variabilità naturale o indotta e garantisce una migliore confrontabilità dei dati. 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). Nei periodi piovosi 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 di presenza di prodotto idrocarburico surnatante, il campione deve essere prelevato tramite bailer per l'analisi composizionale della miscela idrocarburica. Nel caso altresì sia nota la natura del prodotto, è possibile omettere il campionamento in quanto la presenza di fase libera è prova di superamenti delle CSC.

Nel caso che non siano note le caratteristiche qualitative delle acque emunte (es. nel caso di presidi di monitoraggio in aree contaminate da indagare), le acque di spurgo 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. Una volta note le caratteristiche geochimiche e accertato il contenuto di contaminanti presenti, tale informazione viene registrata nella scheda del pozzo/piezometro e il destino delle acque di spurgo dei campionamenti successivi potrà essere il sistema di gestione delle AMDNC o le AMDC secondo i limiti normativi previsti in AIA o comunque nella normativa vigente in materia di scarichi.

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 presidio 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 (a circa 1 m dal fondo); 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, più rappresentativo delle reali condizioni della falda in quanto vengono ridotte al minimo le 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 infatti avere velocità di abbassamento del livello non contrastato 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 successione allo spurgo, previa riduzione al minimo della portata di prelievo, 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 strippaggio delle sostanze volatili.

Nel caso in cui i tempi di ricarica non permettano invece il campionamento in diretta successione allo spurgo dinamico, il piezometro deve essere spurgato e in seguito campionato dopo il ripristino di un adeguato volume di acqua. Nei casi estremi in cui i tempi di ricarica risultino essere particolarmente lunghi (con ricariche minori 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 risalita, da effettuare almeno una volta su tutti i presidi 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 comunque essere utilizzata in sostituzione al classico campionamento dinamico in presenza di acque molto contaminate, in cui sia necessario ridurre i volumi di acqua emunta da smaltire. Il metodo low flow si basa sull'ipotesi che, prelevando l'acqua con una portata prossima (o inferiore) a quella di ricarica del pozzo, l'acqua stessa fluisca direttamente dal corpo acquifero verso la pompa ad una velocità tale da non movimentare in modo consistente le colonne d'acqua sovrastante e sottostante. Effettuando, quindi, lo spurgo a portate estremamente basse (<1 l/min) e generando abbassamenti piezometrici minimi ($<0,1$ m), è possibile prelevare l'acqua direttamente dal sistema acquifero, senza che questa si misceli con quella stagnante. L'obiettivo è, quindi, quello di ottenere un abbassamento minimo del livello durante lo spurgo. Si tratta infatti di una metodologia che consente di prelevare una portata d'acqua inferiore a quella che attraversa il piezometro in condizioni naturali. Per effettuare il campionamento low flow sono necessarie apposite strumentazioni e la sua attuazione sui presidi della rete di monitoraggio dovrà essere preventivamente autorizzata.

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 presidi 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, sarà 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, a tale scopo riempire i contenitori previsti facendo scorrere l'acqua lungo le pareti dei contenitori stessi, con la minima turbolenza possibile;
- j) Sigillare i contenitori controllando che ciascuno sia del materiale e del volume previsto per le determinazioni da eseguire;
- k) Effettuare le operazioni di etichettatura e stabilizzazione se previste dal protocollo;
- l) Riporre il contenitore etichettato nelle apposite borse termiche per il trasporto dei campioni;
- m) Compilare il verbale di campionamento con tutti i dati relativi al campionamento a cui allegare la scheda di campionamento compilata (allegato 3);
- n) 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;
- o) Trasportare i campioni presso il laboratorio incaricato delle determinazioni analitiche di laboratorio all'interno di un contenitore refrigerato o comunque entro tempi brevi dal prelievo dello stesso per limitare eventuali perdite degli elementi volatili.

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 mediante HNO_3 . 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 in 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.

È necessario acidificare l'aliquota degli idrocarburi totali, immediatamente dopo il prelievo, con una soluzione di acido cloridrico HCl (2,5) a pH 2, in tal caso il campione può essere conservato fino a 1 mese.

11.0 INTERPRETAZIONE PRELIMINARE DEI DATI IDROGEOCHIMICI

11.1 Premessa

Obiettivo del monitoraggio delle acque sotterranee è definire lo stato di qualità delle acque sotterranee presenti nel sottosuolo dell'impianto produttivo, individuando tutti i processi geochimici potenzialmente responsabili delle sostanze disciolte presenti nelle acque, prima di procedere con il confronto con i valori limite e di riferimento per la definizione dello stato di qualità idoneo. Le sostanze disciolte presenti in un'aliquota di acqua sotterranea sono da ricondurre infatti a:

- sostanze inglobate precedentemente all'infiltrazione;
- la conseguenza delle interazioni acqua-roccia;
- le condizioni redox e di pH;
- lisciviazione di sostanze contenute nelle porzioni insature.

È grazie alla corretta valutazione dello stato idrochimico e idrodinamico ricavato dal monitoraggio analitico e dalle indagini effettuate su ogni presidio di monitoraggio che potranno essere distinti i vari fenomeni che determinano lo stato di qualità delle acque sotterranee. Ai fini della verifica, i risultati analitici nei rapporti di prova del laboratorio dovranno essere approssimati alla stessa cifra decimale delle CSC o dei valori di riferimento (SQA, VS o VL).

11.2 Elementi maggiori

Ai fini di una corretta interpretazione dei dati conviene distinguere tra sostanze normalmente presenti nelle acque sotterranee, come tutte le sostanze inorganiche, dalle sostanze organiche di sintesi di sicura provenienza antropica (Idrocarburi Policiclici Aromatici IPA, Solventi aromatici BTEX e alifatici clorurati CHC, Policlorobifenili PCB, sostanze perfluoroalchiliche PFAS etc.). Tra le sostanze inorganiche di cui tenere conto nelle valutazioni si annoverano elementi maggiori (dosati in mg/L) come anioni maggiori (cloruri, solfati, nitrati e ione ammonio) e cationi maggiori (magnesio, sodio, potassio e calcio). Lo ione ammonio è una sostanza tipicamente presente in acque sotterranee anossiche a bassa e bassissima circolazione, caratteristiche di acquitardi. In tali contesti i valori normalmente riscontrati possono raggiungere valori di qualche mg/l e sono normalmente associati a bassissimi valori dello ione solfato; in tale contesto il valore limite per lo scarico in acque superficiali di 15 mg/l costituisce certamente un limite di riferimento utile per discriminare eventuali apporti non connessi al solo ambiente riducente. Per valori dello ione ammonio superiori a tale limite dovranno essere attivate indagini integrative indirizzate essenzialmente a definire i contenuti naturali di sostanza organica nel settore saturo intercettato dal piezometro, in modo da escludere apporti esterni.

11.3 Elementi in traccia

Tra gli elementi inorganici in traccia, da dosare in $\mu\text{g/l}$, i metalli pesanti costituiscono normalmente il target nell'individuazione delle potenziali contaminazioni. Le CSC individuano limiti per i seguenti elementi inorganici in tracce: Al, Ag, As, B, Be, Cd, Co, Cr tot e VI, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Sb, Tl, Zn tutti normalmente presenti nelle acque sotterranee, essendo i costituenti della geosfera. La loro presenza e distribuzione nelle acque sotterranee è influenzata dall'ambiente geochimico sito-specifico, che deve necessariamente essere individuato e parametrizzato con sufficiente accuratezza. Tale ricostruzione viene effettuata interpretando correttamente i dati di campo e valutando le condizioni di campionamento, che devono essere sempre annotate. La presenza di particolato solido è una caratteristica peculiare delle acque sotterranee campionate dalle reti di monitoraggio qualitativo e la sua entità dipende dalla possibilità, in sede di completamento del piezometro, di effettuare uno sviluppo ottimale dell'opera. L'aliquota di campione da inviare al laboratorio deve essere filtrata a 0,45 micron, misura che permette di trattenere una buona parte del particolato, rendendo d'altra parte fattibile il filtraggio in campo. Per rappresentare correttamente la composizione chimica dell'acqua è buona norma stabilizzare l'aliquota del campione per l'analisi dei metalli acidificando con HNO^3 , in modo da portare in soluzione tutte le sostanze contenute nelle acque sotterranee dopo il filtraggio. Per una valutazione dell'efficacia della rimozione del particolato, una volta disponibile la tabella delle analisi chimiche, può essere valutata la concentrazione di alluminio, direttamente correlata alle argille residuali in sospensione, che deve restare al di sotto del limite di detenzione di $20 \mu\text{g/l}$. Un altro criterio per valutare se il contenuto di sostanze inorganiche indesiderate è connesso alla presenza del particolato non trattenuto dal filtraggio è l'elaborazione di appositi grafici che mettono a confronto le concentrazioni di tali sostanze con alluminio, ferro e manganese. Correlazioni lineari sono a favore del fatto che tali sostanze presenti sono adsorbite al particolato residuo (argille e idrossidi) piuttosto che in fase disciolta, mentre scostamenti significativi indicano potenziali fenomeni di contaminazione delle acque.

La presenza di sostanze organiche di sintesi è indicativa di una contaminazione di tipo antropico, che dovrà essere correttamente indagata per individuare le sorgenti, interne al sito o di provenienza esterna. In sistemi a bassa circolazione o in aree di pianura interessate da forti emungimenti non è sempre agevole l'individuazione del monte-valle idrogeologico e quindi in tali contesti è fondamentale che l'indagine idrogeologica preliminare e i successivi approfondimenti in sede di realizzazione dei sondaggi e installazione dei piezometri siano focalizzati ad una ricostruzione delle variazioni stagionali dei livelli piezometrici.

11.4 Tabelle riassuntive

Per una corretta interpretazione dei dati si suggerisce l'elaborazione di tabelle riassuntive nelle quali i dati analitici estratti dai Rapporti di Prova del laboratorio incaricato, firmati da un professionista abilitato, siano riportati per campagne piezometriche confrontando i valori dei singoli presidi di monitoraggio. Nelle colonne finali sono da riportare i valori limite e di riferimento sui quali sarà basata la valutazione. La predisposizione di tabelle favorisce anche le elaborazioni e la trattazione dei dati a fini statistici o di produzione di grafici esplicativi dei vari fenomeni geochimici da evidenziare. Prima dell'interpretazione idrogeochimica dei dati tabellati è necessario predisporre un grafico dell'entità delle precipitazioni, da confrontare con le variazioni dei livelli piezometrici misurati. Eventuali correlazioni tra periodi di morbida e di magra e anomalie geochimiche devono essere annotate.

Normalmente la composizione di un'acqua sotterranea si mantiene stabile nel tempo a meno che non intervengano fattori esterni che modifichino la composizione delle acque di ricarica o alterino le condizioni chimico-fisiche, permettendo il trasferimento di sostanze dalle matrici solide. Tali modificazioni, se costanti nel tempo, dovranno essere correlate al fenomeno che le ha generate individuandone la causa e attivando, se del caso, indagini integrative, come ad esempio l'incremento della frequenza di campionamento o, nei casi più critici, l'installazione di ulteriori presidi di monitoraggio.

12.0 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.
- ARPAT (2019) - *Linee guida per la predisposizione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee in impianti produttivi*
- 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.
- Francani V. (2014) - *Idrogeologia ambientale*. Casa Editrice Ambrosiana, Zanichelli 2014.
- Franceschini F. (2022) - *Il monitoraggio delle acque sotterranee nei procedimenti di autorizzazione ambientale*. SiCon 2022
- Geologia 2000 (2002) - *Appunti di idrogeologia*. 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.

SCHEMA CENSIMENTO POZZI/PIEZOMETRI

Ditta	Comune	N. pozzi	N. piezometri
-------	--------	----------	---------------

INFORMAZIONI GENERALI

Sigla Pozzo/piezometro		Coordinate (Gauss-Boaga)	
		N	E
Tipo di utilizzo		Prossimità edifici	
Data costruzione	Profondità (m slm)	Quota p.c. (m slm)	Quota misura livello iniziale (m slm)

INFORMAZIONI TECNICHE

Ø perforazione (mm)	Modalità perforazione	Ø tubazione (mm)	Materiale tubazione
Cementazione (m da/a rispetto al pc)	Filtri (m da/a rispetto al pc)	Tipologia filtri	
Tubazione cieca (m da/a rispetto al pc)	Tubazione fessurata (m da/a rispetto al pc)/Tipo/Luce aperture		
Livello statico magra (m slm)/Data	Livello statico morbida (m slm)/Data		
Torbidità	Ricarica		

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 (cm²) 20.26 45.58 78.5**V)** Volume acqua nel pz (L/m) 2.03 4.56 7.85**V_m)** Volume minimo da spurgare (Litri) **3xHxV** Modalità di campionamento:**Q)** Portata della pompa(L/min) Dinamico **T)** Tempo spurgo effettivo (minuti) Statico **V_{tot})** Volume estratto (Litri) **Q*T** **Parametri misurati**

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

Note: _____

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

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

Note:

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

Note:

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

Note:

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

Note:

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

Note:

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

Note:

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

Note:



ARPAT

Agenzia regionale
per la protezione ambientale
della Toscana

ARPAT, via del Ponte alle Mosse, 211 - 50144 Firenze

Tel. 055.32061 - Fax 055.3206324

urp@arpat.toscana.it