

Esperienze operative di monitoraggio: misure di campo e di laboratorio

1. Premessa

Nel seguito vengono affrontate le problematiche di monitoraggio operativo, riferite agli aspetti sia quantitativi che qualitativi, affrontate dai diversi soggetti nel corso del Progetto.

Le pratiche di monitoraggio si riferiscono ad una scala regionale e vanno distinte da scale di tipo locale e/o finalizzate a problematiche di tipo puntuale.

La presentazione delle esperienze, separate per operazioni effettuate in campo e in laboratorio, è preceduta da una breve discussione dei criteri generali di buona pratica da seguire nell'esecuzione delle misure.

2. Misurazioni discrete di campo

2.1 OPERAZIONI DI ACCESSO AI PUNTI DI MONITORAGGIO

2.1.1 Primo accesso al punto di misura

Dopo la preventiva selezione dei punti potenzialmente disponibili per le misure è necessario accedere al sito per una serie di motivazioni che comprendono:

- controllare l'effettivo stato di conservazione dell'opera e condizioni di accesso;
- riscontrare la coincidenza o le eventuali differenze tra le informazioni disponibili sul punto e le caratteristiche reali;
- verificare le misure quantitative (livello piezometrico e portate) e qualitative (prelievo di acque) che si possono eseguire;
- effettuare un controllo nei dintorni del punto per accertare l'eventuale presenza di fonti locali di contaminazione che produrrebbero un segnale idrochimico non affidabile a scala regionale o disturbi nell'andamento del flusso idrico sotterraneo;
- proporre al proprietario dell'opera l'inserimento della captazione all'interno della rete di monitoraggio;
- compilare in caso positivo la monografia del punto;
- procedere ad accordi per l'autorizzazione alle misure periodiche.

Dopo aver rilevato i punti potenzialmente inseribili nella rete di monitoraggio si effettua una prima cartografia dei pozzi rilevati; al termine di questa operazione ogni punto deve essere confermato come pozzo della rete, eliminato o conservato come pozzo di riserva.

2.1.2 Monografie dei punti di monitoraggio

Ogni punto di monitoraggio deve essere descritto da apposita monografia che in sintesi ha la finalità di:

- a) consentire l'univoca individuazione del punto su supporto cartografico e sul terreno;
- b) identificare le caratteristiche del punto in termini di acquifero captato;
- c) segnalare le modalità delle possibili misure quali-quantitative.

In aggiunta a tali elementi possono anche comparire anche alcuni dati pregressi al fine di eseguire una prima valutazione della qualità dei nuovi dati misurati.

Si ritiene che una scheda monografica del punto debba contenere le seguenti informazioni minimali:

- acquifero monitorato;
- ubicazione del punto (valori alfanumerici e stralcio cartografico);
- schema costruttivo dell'opera;
- uso delle acque;
- modalità di misura del livello piezometrico;
- modalità di misura delle portate;
- modalità di prelievo delle acque.

In Allegato sono riportate le schede monografiche dei punti utilizzate in campo dalla Regioni partecipanti al Progetto PRISMAS per la rilevazione dei dati.

Le schede servono poi all'archiviazione dei dati stessi su data base specifici.

2.1.3 Accessi, permessi ed autorizzazioni

Per poter accedere ed utilizzare le captazioni non esclusivamente adibite al monitoraggio delle acque sotterranee, in molti casi necessita un accordo bonario tra le parti e in altri casi è necessario ottenere un idoneo permesso.

Questo aspetto, comunque rilevante per una gestione ottimale della rete di monitoraggio, è stato approfondito nel corso del Progetto PRISMAS soprattutto in Liguria per la particolare localizzazione in area urbanizzata della falda osservata. Si riportano nel seguito alcune esperienze specifiche.

In Liguria la realizzazione del monitoraggio delle acque circolanti nella falda sotterranea del bacino del torrente Bisagno, ha necessitato oltre che di una strutturazione adeguata da un punto di vista idrogeologico, anche della presa in considerazione di alcuni aspetti sociali che se sottovalutati o trascurati del tutto, avrebbero potuto rallentare se non addirittura impedire il corretto svolgimento delle operazioni di campo.

Risulta opportuno riportare sinteticamente anche le procedure "burocratiche" che si sono seguite nello svolgimento del progetto, la cui applicazione in studi futuri potrà certamente velocizzare le fasi preliminari al monitoraggio. Alcune raccomandazioni potranno sembrare superflue, ma per esperienza diretta, l'approccio con Ammi-

nistrazioni e Amministratori se affrontato in maniera inadeguata può spesso annullare sforzi e ricerche di mesi.

Nella prima fase del lavoro è necessario farsi rilasciare da parte dell'ente committente del presente progetto (Regione Liguria e AMGA SpA) una serie di apposite autorizzazioni scritte da inoltrare presso i responsabili delle Amministrazioni Condominiali degli stabili, o presso gli uffici competenti degli enti (pubblici o privati), concessionari di uno o più punti d'acqua, specificando nelle richieste di autorizzazione per linee generali le finalità dello studio.

Ottenuti tutti i permessi necessari per poter visionare i punti d'acqua segnalati nella documentazione d'archivio, è stato possibile passare alla seconda fase preliminare, consistente in un accertamento diretto sul campo dell'esistenza di ogni punto d'acqua, soprattutto di quelli che sono stati realizzati parecchi decenni addietro, rispetto alla campagna di monitoraggio intrapresa; può capitare infatti che nella documentazione dei condomini o degli enti possessori si sia persa completamente traccia della localizzazione precisa di un determinato punto d'acqua, o che nel corso degli anni sia cambiata completamente la fruizione dell'area in cui esso sorgeva.

In corrispondenza di ogni punto d'acqua sono state pertanto compiute alcune operazioni di campagna quali:

- scoperchiatura dello sportello di accesso e rimozione di eventuali altre protezioni amovibili;
- in caso di pozzi abbandonati da molto tempo, per cautelarsi contro eventuali perdite della strumentazione inserita (pompa ad immersione o sonda multiparametrica) è stato necessario, almeno la prima volta, introdurre un cilindro metallico di controllo, attaccato ad una robusta corda, per valutare la qualità delle pareti del pozzo stesso e individuarne possibili lesioni od ostruzioni nell'incamiciamento, di sicuro intralcio soprattutto in fase di recupero della strumentazione;
- nel caso di punti d'acqua all'interno di scantinati o di cavei di palazzi, è risultato necessario realizzare una poligonale topografica speditiva per dedurre la reale quota riferita al livello medio marino.

Per una corretta pratica di lavoro, si è reso necessario adottare una serie di misure atte alla salvaguardia personale ed alla tutela delle caratteristiche del punto monitorato. Occorre infatti ricordare che spesso i punti di misura sono collocati nel sottosuolo, in ambienti poco aerati, a volte con precarie condizioni igieniche e sono accessibili tramite la rimozione di pesanti portelli metallici. A tal fine occorre premunirsi sia di una serie di attrezzature volte alla sicurezza personale sia adottando una pratica di comportamento prudenziale.

Oltre all'equipaggiamento personale occorre inoltre adottare una serie di comportamenti prudenziali; fra questi si segnala la necessità di lavorare sempre almeno in coppia (mai lavorare singolarmente per affrettare le operazioni di monitoraggio); prima di calarsi in locali chiusi posti nel sottosuolo lasciare areare il locale e controllare l'assenza di pericoli latenti (voragini, cavi elettrici scoperti, presenze di gas, presenza di calore, animali o insetti), controllare lo stato di conservazione delle scalette

di accesso e se necessario prendere le dovute cautele (comunque in assenza di idonee garanzie di sicurezza evitare assolutamente di calarsi nel locale ospitante il punto d'acqua), informare preventivamente i responsabili del punto monitorato delle operazioni che si andranno ad eseguire, accordandosi possibilmente per avere la presenza loro o di qualche incaricato.

Infine occorre tutelare la sicurezza del punto monitorato contro l'immissione dall'esterno di eventuali sostanze inquinanti, per cui occorre usare cautela nel rimuovere le coperture dei pozzi e la strumentazione di misura va adeguatamente decontaminata prima di essere calata nel pozzo (soprattutto se questo è adibito al prelievo di acqua per uso idropotabile); inoltre bisogna evitare di lasciare prodotti nel locale adibito all'alloggio del pozzo.

2.1.4 Accessi successivi

In tempi successivi al primo sopralluogo possono essere richiesti ulteriori accessi in base a due esigenze:

- il pozzo è stato inserito nella rete di monitoraggio e quindi viene frequentato con la cadenza stabilita dal programma di monitoraggio;
- il pozzo non è stato inserito nella rete di monitoraggio, ma è un pozzo di riserva (da utilizzare in sostituzione di altri pozzi in caso di un loro abbandono provvisorio o definitivo).

Nel corso dei successivi sopralluoghi è necessario compilare la scheda di rilevazione dei dati, ma anche osservare eventuali modifiche intervenute all'opera di captazione e al territorio circostante che possono compromettere la significatività del dato.

2.1.5 Criteri per la sostituzione o eliminazione dei punti di misura

Nel caso di revisione periodica della rete si possono utilizzare i seguenti criteri per sostituire o ridurre il numero di punti:

- pozzo in cui non può essere eseguita in contemporanea la misura del livello piezometrico e il prelievo di acque;
- pozzi con accessibilità limitata nel tempo (ad esempio pozzi irrigui disponibili solo d'estate);
- pozzo con profondità nota ma con modalità di completamento incerte;
- pozzi vecchi, con avampozzo o comunque in cattive condizioni di conservazione;
- pozzi con scarsa efficienza idraulica;
- pozzi con comportamento idrochimico "anomalo" rispetto alle condizioni limitrofe (in questo caso l'anomalia deve essere giustificata da ulteriori prelievi in altri pozzi limitrofi oltre a quelli normalmente utilizzati nella rete di monitoraggio);
- pozzi con segnali di inquinamento locale e quindi non rappresentativo delle condizioni dell'acquifero a scala regionale;
- pozzi profondi ma contaminati da inquinanti probabilmente provenienti dalla superficie e quindi con incertezze sulle reali modalità di completamento della captazione;

- pozzi in aree con basso gradiente idraulico e direzioni relativamente costante del flusso idrico sotterraneo;
- pozzi in cui dalla loro eliminazione, applicando metodi di indagine geostatistica, risulta bassa la "isoperdita" di informazioni.
- strumentazione adottata per le misure deve essere in materiale inerte ed essere decontaminata prima di ogni impiego e al passaggio da un punto all'altro di misurazione.

2.1.6 Sinergie nella gestione dei punti della rete di monitoraggio

Poiché alcuni punti di monitoraggio risultano già oggetto di misurazioni e prelievi di acque per altre finalità, è necessario sviluppare una gestione ottimale delle rilevazioni in modo tale da ottenere un indubbio vantaggio tecnico-economico.

Ciò soprattutto nelle prime fasi del monitoraggio laddove si ha un numero più elevato di punti da gestire che si possono successivamente sftire.

È questo il caso di alcuni pozzi pubblici che sono sottoposti a misura del livello piezometrico dagli Enti gestori e che sono oggetto di prelievi per determinare la potabilità delle acque secondo il DPR 236/88.

Pertanto per i pozzi esistenti si deve procedere alla stesura di un protocollo di campionamento e trasmissione dei dati che preveda:

- modalità e frequenza di misura del livello piezometrico;
- modalità di prelievo di campioni d'acqua;
- tipologia di determinazioni analitiche da eseguire, integrative di quelle previste dal DPR 236/88;
- modalità e frequenza di trasmissione dei dati rilevati.

Per i pozzi nuovi è proponibile che, in sede di regime autorizzativo, venga imposta una serie di rilevazioni che possono essere utilizzate poi all'interno delle informazioni necessarie alla gestione della rete di monitoraggio delle acque sotterranee.

2.2 MISURE QUANTITATIVE

Il campionamento delle acque dei pozzi deve essere preceduto dalla misura del livello della falda secondo procedure standardizzate e comunque il più possibile omogenee; ad esempio si può fare riferimento a quanto riportato in ASTM (1987), National Water Well Association (1986) e Repubblica Italiana (1997).

Occorre tener presente che delle procedure standard saranno elaborate in attuazione degli allegati tecnici del DLgs 152/99.

Devono essere specificati il dispositivo e la procedura utilizzate per la misurazione prestando attenzione ai seguenti dati:

- profondità dal piano campagna del livello statico della falda con uno strumento che consente un margine di approssimazione inferiore a 0.5 cm, anche al fine di ricavare il volume di acqua stagnante all'interno del pozzo (al di sotto dei filtri) e di verificare eventuali intasamenti da materiale fine;
- livello di riferimento opportunamente quotato e facilmente identificabile da cui eseguire la misura;
- pozzo deve essere univocamente individuato in carta e tramite valori numerici riferiti a coordinate, quota e codice descrittivo;

2.2.1 Criteri generali

La misura del livello di liquidi nei piezometri e nei pozzi fornisce la misura della pressione delle acque sotterranee nell'acquifero.

In condizioni normali il livello dell'acqua nel pozzo e nell'acquifero coincidono, ma questo non avviene nel caso di pozzi costruiti con un completamento non idoneo; in particolare se la cementazione tra falde non è stata ben realizzata non si realizza una rappresentatività della misura nel pozzo con il reale livello dell'acqua nell'acquifero.

Il dispositivo che si usa attualmente per la misura del livello dell'acqua nei pozzi è costituito da una sonda piezometrica.

Essa è costituita da una apparecchiatura rappresentata da un filo elettrico centimetrato appesantito in punta.

La chiusura del circuito elettrico che si realizza quando si ha il contatto della punta con l'acqua determina un segnale sonoro o visivo che indica il raggiungimento del livello di riferimento.

Adottando questo dispositivo di misura si possono verificare valori non affidabili del livello misurato dovuto ad effetti termici e allo stato di trazione dovuto sia al peso della punta che dello sforzo operato ad esempio quando la sonda si incastra in corrispondenza di flange.

Pur essendo il filo costruito con materiali che dovrebbero minimizzare questi effetti, per poterli controllare si consiglia di operare:

- un controllo settimanale della lunghezza effettiva del filo della sonda, mediante controllo con rotella metrica, operando gli opportuni aggiustamenti;
- un controllo in sito immediatamente dopo stati di sollecitazione del filo dovuti a situazioni contingenti (ad esempio trazione del filo dovuta alla necessità di un suo recupero dopo un incastro in una flangia).

2.2.2 La procedura di misura del livello piezometrico

Il livello che si misura in un pozzo o piezometro deve essere riportato rispetto ad un livello di riferimento che si deduce dalla monografia del pozzo.

La quota del piano campagna meno la soggiacenza costituisce il livello piezometrico della falda misurata.

Sono possibili tre casi:

- livello di riferimento coincidente con il piano campagna: il livello misurato viene definito soggiacenza;
- livello di riferimento al di sotto del piano campagna: in questo caso la soggiacenza è data dal livello misurato più la distanza del livello di riferimento dal piano campagna;
- livello di riferimento al di sopra del piano campagna: in questo caso la soggiacenza è data dal livello misurato meno la distanza del livello di riferimento dal piano campagna.

Prima di introdurre la sonda nel pozzo è opportuno lavare la testa con acqua distillata.

a) Pozzi non funzionanti e piezometri

Per i piezometri o i pozzi non in funzione, in modo tale che sia possibile misurare direttamente il livello statico, si deve adottare la seguente procedura di misura:

- 1) accedere al sito e rilevare la posizione del livello di riferimento;
- 2) aprire il piezometro o il pozzo: quest'ultimo può essere dotato di tubetto piezometrico e allora deve essere aperta quest'ultima struttura;
- 3) introdurre il filo della sonda piezometrica e farla avanzare verso il fondo fino ad ottenere il segnale acustico o visivo, prestando attenzione alla presenza di flange in corrispondenza delle riduzioni di spessore del tubo di rivestimento definitivo del pozzo; segnare il valore ottenuto;
- 4) sollevare di qualche metro la sonda e ripetere la misura che deve coincidere con quella precedentemente rilevata; in caso contrario ripetere la misura fino a quando non si registra una coincidenza dei valori misurati;
- 5) riportare sulla scheda di campagna la misura riferita al livello di riferimento;
- 6) estrarre la sonda piezometrica e chiudere l'accesso alla perforazione e l'eventuale accesso al pozzo.

Le misure devono essere riportate sulla scheda di campagna con precisione al cm.

Nel caso la misura sia eseguita nel tubetto piezometrico, posto nell'intercapedine tra il perforo e il tubo di rivestimento, è opportuno eseguire la stessa misura nel pozzo almeno una volta all'anno al fine di individuare eventuali effetti di intasamento.

b) Pozzi in funzione

Per i pozzi in funzione in cui si potrebbe misurare un livello dinamico è possibile adottare la seguente procedura di misura:

- 1) eseguire un primo sopralluogo in situ e prendere accordi per sospendere il prelievo di acque sotterranee e ripassare dopo 2-3 ore con un secondo sopralluogo per effettuare la misura;
- 2) eseguire nel corso del primo sopralluogo una prova di pompaggio in risalita della durata di qualche ora, registrando tempi e livelli, in modo tale da poter calcolare;
- 3) la stabilizzazione del livello e quindi il livello statico;
- 4) i parametri idrogeologici (trasmissività e conducibilità idraulica ed eventualmente il coefficiente di immagazzinamento).

Utilizzare questi dati per poter stimare il livello statico nel corso delle successive misure del pozzo in altre campagne di rilevamento piezometrico sulla base di modelli analitici di calcolo.

2.2.3 Esperienze di misure quantitative nelle aree di studio

In Piemonte una volta avuto accesso al pozzo si è adottata la seguente procedura:

- a) pozzi fermi: misura diretta del livello piezometrico e sua archiviazione cartacea;
- b) pozzi in funzione: in questo caso si è proceduto come segue:

- 1) per alcuni pozzi è stato scelto il momento della sospensione del pompaggio e tale situazione è stata adottata per i campi-pozzi pubblici in cui è risultato sempre possibile una interruzione del prelievo per circa 30 minuti;
- 2) nell'impossibilità di una preventiva sospensione del prelievo idrico, è stato misurato il livello dinamico e, dopo l'interruzione del pompaggio per breve periodo, si sono misurati i recuperi fino ad un livello "semi-statico" (misurato comunque dopo circa 30 minuti), eseguendo una prova di risalita di breve durata;
- 3) prima dell'interruzione del pompaggio si è provveduto alla misura in sito dei parametri chimico-fisici (temperatura, pH, conducibilità elettrica) mediante sonda multiparametrica.

In presenza di pozzi singoli, nella maggior parte dei casi l'elevata permeabilità dell'acquifero ha consentito il ristabilirsi quasi completo del livello piezometrico iniziale (livello semi-statico).

Per quanto attiene ai campi-pozzi di grande importanza in alcuni casi non è stato però possibile sospendere il prelievo e in altri casi il disturbo provocato dal pompaggio è stato minimizzato ricorrendo alla sospensione del prelievo per aree ristrette.

Si è osservato inoltre quanto segue:

- 1) i pozzi domestici sono profondi circa 20 m e sono quasi sempre disponibili per prelievi di acque, ma mancano le caratteristiche stratigrafiche e di completamento della captazione;
- 2) i pozzi irrigui, profondi oltre 30 m, sono in genere privi di adeguato isolamento dalla superficie, con un difficile spazio disponibile per il passaggio della sonda piezometrica e in molti casi sono anche multifalda, rendendo poco significative le misure da eseguire;
- 3) in molti casi anche per i pozzi pubblici non si dispone di dati stratigrafici.

In Umbria su ogni punto del reticolo si sono effettuate misure statiche del livello di falda come prima operazione di terreno, dopo aver verificato che il pozzo sia rimasto inattivo nel periodo precedente. Successivamente si attiva il pompaggio per il prelievo dei campioni e dopo circa 15' viene rilevato il livello dinamico ed il relativo abbassamento. Essendo in genere piuttosto ridotte le portate emunte l'effetto principale che si registra è dovuto alle perdite di carico in pozzo, effetto che si manifesta soprattutto nei primi minuti. Spesso dopo 10-15' il livello dinamico è quasi stabilizzato.

Conoscere il dislivello prodotto dal pompaggio del pozzo in condizioni di esercizio normale consente di avere indicazioni sull'entità di errori di misura non statici (funzionamento del pozzo non previsto) e sugli eventuali tempi di riequilibrio della falda.

Nel caso dei pozzi pubblici la situazione è molto diversa: è necessario avere pozzi fermi (pozzi di riserva

inattivi o pozzi dismessi) in posizione significativa dei campi pozzi che ben evidenzino il livello dinamico del campo stesso.

La selezione dei pozzi del reticolo di monitoraggio ha permesso di individuare in linea di massima due tipologie di punti d'acqua principali:

- 1) pozzi pubblici aventi un esercizio da continuo a intermittente prevalentemente diurno con portate estratte da basse ad elevate;
- 2) pozzi privati ad uso domestico con piccole portate estratte e ridotti volumi giornalieri di prelievo.

La procedura per i pozzi pubblici è la seguente:

- a) contattare telefonicamente l'ente gestore e definire l'appuntamento per la misura: in genere la massima disponibilità è nelle prime ore del mattino in quanto la maggior parte dei pozzi è o può essere tenuta ferma per tutta la notte o per gran parte di essa;
- b) definire il numero di ore di possibile inattività della pompa, come minimo 3-4, consigliato almeno 8 (tipo dalle 24 alle 8 del mattino). È importante comunque verificare i tempi di recupero della falda in relazione alle portate emunte (da prove di portata, da rilevazione dei tecnici preposti, in ultimo da misure progressive di terreno da parte degli operatori, es. ogni ora) in modo da avere una curva indicativa di risalita;
- c) per i pozzi inattivi per un tempo sufficiente al momento del sopralluogo procedere alla misura del livello statico: è importante riportare un giudizio sulla facilità e possibilità dell'operazione di misura;
- d) nel caso di pozzi con pompaggio in continuo non interrompibile, si prende in considerazione l'eventuale pozzo di riserva dello stesso campo pozzi, segnalato preventivamente sulle schede del reticolo preliminare. La misura di livello può in queste condizioni essere sdoppiata dal campionamento chimico.

La procedura per i pozzi privati ad uso domestico è la seguente:

- 1) per i pozzi inattivi al momento del sopralluogo procedere alla misura del livello statico: è importante riportare un giudizio sulla facilità e possibilità dell'operazione di misura;
- 2) verificare successivamente mediante uno spurgo di 5-15 minuti la portata estratta dal sistema di pompaggio esistente, il relativo livello dinamico e la sua stabilizzazione anche in relazione a quello che è l'esercizio giornaliero del pozzo;
- 3) nel caso che il livello dinamico sia notevolmente diverso da quello statico e/o non si raggiunga in tempi brevi l'equilibrio, è necessario procedere ad una successiva verifica del livello statico previo inutilizzo della pompa per un tempo sufficientemente lungo (circa 3-4 ore);
- 4) in questo caso è importante segnalare adeguatamente il problema in vista di una eventuale sostituzione del pozzo con altro più adeguato o, nel caso ciò non fosse possibile, di un lavoro specifico di misurazione delle curve di abbassamento e risalita (breve prova di portata) da svolgere al di fuori della campagna di monitoraggio.

I pozzi non rientranti nelle due categorie sopra esposte devono essere valutati per la loro idoneità a fornire un livello statico:

Alcuni pozzi si presentano in condizioni artesiane. In questi casi è opportuno segnalare accuratamente la disposizione della testa pozzo e segnalare-suggerire il modo più appropriato per un loro adeguamento alla misura, da effettuare in una fase successiva: in particolare vanno misurati i diametri di tutti i fori presenti nella testa pozzo e la possibilità di effettuare opere fisse o mobili di approntamento della misura.

Nel caso di pozzi irrigui, le condizioni possono variare notevolmente da stagione a stagione: se la pompa è mobile e/o di tipo coassiale diventa impossibile misurare il livello di falda, ragione per cui un eventuale pozzo del reticolo preliminare diventa inutilizzabile a titolo definitivo.

La prassi standard adottata per i pozzi domestici è la seguente: su ogni punto del reticolo vengono effettuate misure statiche del livello di falda come prima operazione di terreno, dopo aver verificato che il pozzo sia rimasto inattivo nel periodo precedente. Successivamente si attiva il pompaggio per il prelievo dei campioni e dopo circa 15' viene rilevato il livello dinamico ed il relativo abbassamento. Essendo in genere piuttosto ridotte le portate emunte l'effetto principale che si registra è dovuto alle perdite di carico in pozzo, effetto che si manifesta soprattutto nei primi minuti. Spesso dopo 10-15 minuti il livello dinamico è quasi stabilizzato.

La conoscenza del dislivello prodotto dal pompaggio del pozzo in condizioni di esercizio normale consente di avere indicazioni sull'entità di errori di misura non statici (funzionamento del pozzo non previsto) e sugli eventuali tempi di riequilibrio della falda.

Un'ulteriore misurazione è stata effettuata sulle portate emunte da pozzi.

Contemporaneamente alle misure di livello statico e dinamico ed al campionamento del punto d'acqua viene misurata la portata emunta dal pozzo utilizzando in genere un secchio tarato: le portate delle pompe installate nei pozzi domestici sono in genere molto ridotte, dell'ordine del l/s, e quindi i valori ottenuti sono abbastanza attendibili.

I pozzi ad uso potabile hanno in buona parte dei casi misuratori volumetrici se non di portata a livello della testa pozzo. Nel primo caso è sufficiente osservare per qualche tempo i valori registrati per risalire alla portata.

2.3 CAMPIONAMENTO

Al fine di prelevare un campione rappresentativo è necessario seguire una procedura unificate in linea con quanto indicata in testi di riferimento come ad esempio Aller L. et al. (1989), International Organization of Standardization (1993), UNICHIM (1997).

Occorre tener presente che delle procedure standard saranno elaborate in attuazione degli allegati tecnici del DLgs 152/99.

2.3.1 Criteri generali per lo spurgo dei pozzi

Come prima operazione viene previsto lo spurgo dei pozzi in quanto, prima di procedere alla fase di campionamento, occorre eliminare l'acqua presente all'interno del pozzo e nel dreno, che solitamente non è rappresentativa della qualità delle acque sotterranee del sito in esame.

Solitamente la procedura di spurgo è funzione delle caratteristiche idrauliche del pozzo e dalla produttività dell'acquifero.

In presenza di acquifero con buona portata è sufficiente estrarre l'acqua contenuta nella parte più alta della colonna del pozzo, fino al di sopra della parte filtrata; si crea in tal modo un richiamo di acqua nuova proveniente dall'acquifero verso il pozzo di controllo.

In presenza di acquifero con bassa portata deve essere rimossa tutta l'acqua fino alla parte più bassa dell'intervallo filtrato.

La prima acqua estratta viene analizzata in sito per la determinazione del pH, della temperatura, della conducibilità elettrica specifica, del potenziale redox e dell'ossigeno disciolto.

Successivamente si ripetono le stesse determinazioni analitiche per verificare l'efficienza dello spurgo e per un controllo della stabilità e della qualità dei campioni al passare del tempo.

L'estrazione di acqua del pozzo, protratta sino a renderlo completamente asciutto, non deve creare un richiamo improvviso dall'acquifero circostante con brusche cadute di acqua all'interno della colonna, perdita di sostanze volatili e fenomeni di intorbidimento e agitazione.

Nel caso le attrezzature di campionamento non siano già presenti all'interno del pozzo, per ridurre al minimo l'introduzione nel pozzo di contaminanti si utilizzano pompe volumetriche, pompe a cella in resina al fluorocarbonio e campionatori in acciaio inossidabile e in resina; in taluni casi si preferiscono adottare pompe peristaltiche, pompe ad immissione di gas, pompe centrifughe e pompe Venturi.

Queste apparecchiature possono determinare la volatilizzazione di alcune sostanze e la creazione di gradienti di pressione elevati che alterano i valori originali di pH, conducibilità elettrica, contenuto di metalli e di sostanze organiche volatili; questi inconvenienti possono talora essere accettati in fase di spurgo, ma si deve permettere poi all'acqua di riacquistare le proprie caratteristiche prima di procedere al campionamento.

Le apparecchiature utilizzate nella procedura di spurgo devono essere decontaminate e controllate con la stessa attenzione prestata nella fase di campionamento.

I criteri che si adottano per determinare il volume d'acqua da estrarre sono i seguenti:

- 1) Numero di volumi dell'acqua del pozzo: con questo termine si intende il volume di acqua che è presente al di sopra dei filtri, essendo quella sottostante in grado di interagire con quella dell'acquifero. Viene consigliata la rimozione di 3 e 6 volte il volume dell'acqua del pozzo,
- 2) Stabilizzazione di indicatori idrochimici: con questo termine si intendono generalmente parametri quali la

temperatura, il pH, la conducibilità elettrica e il potenziale di ossido-riduzione che devono essere determinati prima dell'inizio e durante le operazioni di spurgo. È possibile effettuare il prelievo di acqua solo quando questi parametri sono stabilizzati su valori pressoché costanti.

- 3) Analisi di serie idrochimiche temporali: questo metodo prevede il prelievo di acque a una cadenza temporale durante il pompaggio corrispondente a 1, 2, 4 e 6 volte il volume del pozzo. Successivamente vengono eseguite analisi sui parametri idrochimici precedentemente indicati e su altri composti ed elementi di interesse più immediato per l'area di studio. Per rendere conto di eventuali modifiche stagionali di composizione chimica, la procedura deve essere ripetuta per 2 volte nei primi 3 anni di attività. Si ripete l'operazione una volta ogni 3 o 4 anni successivi per confermare che il volume di spurgo non sia cambiato.
- 4) Basso flusso. Questa operazione viene effettuata in corrispondenza di piezometri nei quali sia molto importante evitare qualsiasi disturbo alle acque prelevate al fine di preservarne la rappresentatività. Si tratta infatti di prelevare una portata d'acqua inferiore a quella che attraversa il piezometro in condizioni naturali. Per eseguire questa operazione sono necessarie speciali pompe.

Viste le condizioni operative che si hanno nel corso della gestione della rete di monitoraggio e viste le attuali strutture dedicate alla sorveglianza, costituite da pozzi già esistenti, le modalità consigliate per lo spurgo sono in ordine quelle costituite dal numero di volumi d'acqua del pozzo e dalla stabilizzazione degli indicatori idrochimici.

In alcuni casi, come ad esempio in presenza di mezzi fessurati o di stratificazione delle acque può essere importante misurare le variazioni in profondità di alcuni parametri chimico-fisici (temperatura, pH, conducibilità elettrica, potenziale redox e ossigeno disciolto) eseguendo logs in pozzo in modo tale da evidenziare flussi preferenziali.

Allo stesso modo se si sospetta una stratificazione di composti inquinanti all'interno del pozzo deve essere eseguito un campionamento statico.

2.3.2 Prelievo dei campioni d'acqua

Innanzitutto è necessario assicurarsi che il campione prelevato sia rappresentativo delle caratteristiche delle acque sotterranee e non possa essere alterato da reazioni chimico-fisiche conseguenti all'azione stessa di campionamento.

Le metodologie utilizzate per il prelievo dei campioni di acque sotterranee da pozzi prevedono la presenza o l'assenza di una apparecchiatura elettromeccanica di estrazione delle acque.

2.3.2.1 Pozzi o piezometri

senza pompe installate

Nel caso dell'assenza di pompe già inserite nel pozzo, per il prelievo di campioni rappresentativi viene consigliato da National Water Well Association (1986), di uti-

lizzare dispositivi di campionamento in acciaio inossidabile e/o resina al fluorocarbonio, di impiegare campionatori singoli per ogni pozzo e, nel caso non si abbia a disposizione un numero sufficiente di campionatori, di procedere ad una loro accurata pulizia ogni qualvolta vengano nuovamente impiegati; per avere indicazioni circa questa possibilità nel programma di campionamento deve essere specificato l'ordine in cui si sono effettuati i prelievi.

I campioni d'acqua devono essere collocati in contenitori specifici, al fine di mantenere l'originario contenuto in sostanze volatili.

Va tuttavia prestata molta attenzione al campionamento in quanto possono essere perse frazioni significative di composti volatili.

È necessario prestare particolare attenzione affinché la strumentazione e le procedure utilizzate non provochino l'agitazione del campione e il suo tempo di esposizione all'aria sia ridotto al minimo, onde evitare alterazioni delle caratteristiche qualitative originarie.

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

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

- 1) le pompe volumetriche devono funzionare continuamente in modo da non produrre campioni contenenti aria;
- 2) le valvole dei campionatori non devono essere ostruite, riducendo l'apporto di acqua e aumentando quello di aria al campione;
- 3) il dispositivo di campionamento non deve mai essere lasciato cadere all'interno del pozzo, per evitare fenomeni di degassazione dell'acqua conseguentemente all'impatto;
- 4) il liquido campionato deve essere trasferito con attenzione e celerità nell'apposito contenitore evitando di agitarlo e riducendo al minimo il suo tempo di esposizione all'aria;
- 5) la pulizia dell'equipaggiamento di campionatura deve essere eseguita con una idonea sostanza, con una specifica procedura e in un apposito luogo prima della sua introduzione nel pozzo, evitando la zona del cantiere a diretto contatto con il terreno che deve essere trattato.

Quest'ultimo aspetto rappresenta un elemento di rilevante importanza, essendo in grado di alterare le caratteristiche qualitative dei campioni estratti dal sottosuolo.

Le attrezzature che sono da decontaminare sono quelle impiegate per la perforazione dei pozzi di controllo e per il prelievo di terreno e di acque.

Gli scopi per cui avviene l'operazione sono costituiti dalla necessità di assicurare campioni rappresentativi, evitare una contaminazione incrociata durante successivi campionamenti, assicurare la pulizia delle attrezzature e ridurre l'esposizione degli addetti ai lavori a sostanze pericolose.

Nel caso si trattino solventi organici occorre prestare particolare attenzione alle procedure di decontaminazione dei materiali, tali sostanze sono in grado di danneggiare gli indumenti protettivi del personale addetto e costituire un pericolo per la sua incolumità.

Generalmente sui macchinari di rilevanti dimensioni si utilizzano getti di acqua calda o acqua in pressione, dopo un eventuale passaggio di detergenti.

Per quanto riguarda attrezzi di minore volume è consigliabile una metodologia basata sulla natura delle sostanze inquinanti previste o rilevate.

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

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

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

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

Nel caso queste procedure non siano operativamente possibili, viene suggerito di utilizzare un lavaggio iniziale con acqua (di rubinetto, distillata o deionizzata), seguito da un lavaggio energico con detergente da laboratorio e da due o tre risciacqui con acqua distillata o deionizzata.

Prima di procedere al campionamento, occorre asciugare i materiali eliminando qualsiasi traccia di sostanza detergente.

Quando si campionano acque contenenti composti volatili e gas l'utilizzo di pompe volumetriche permette una massima portata di estrazione di 0.0016 l/s in quanto portate maggiori possono determinare la perdita di sostanze volatili e variazioni del pH; solo dopo che è stato effettuato il prelievo del campione destinato all'analisi per la determinazione del contenuto di sostanze volatili, è possibile aumentare la portata, pur imponendo regimi inferiori a quelli applicati nella fase di spurgo del pozzo.

2.3.2.2 Pozzi o piezometri con pompe installate

In presenza di una pompa il campione d'acqua necessario per le determinazioni analitiche può essere direttamente prelevato dal rubinetto sulla testa pozzo.

L'acqua prelevata dopo il preventivo spurgo deve essere sottoposta a determinazione dei parametri chimico-fisici misurabili in situ.

Quando questi hanno assunto un valore costante si riempie per almeno tre volte ed altrettante volte si sciacqua il contenitore; dopo queste operazioni può essere confezionato il campione da spedire in laboratorio.

2.3.3 *Esperienze di prelievi delle acque sotterranee realizzate nelle aree di studio*
 In Umbria la procedura di prelievo per i pozzi pubblici è stata la seguente:

- a) nel caso di pozzi con pompaggio in continuo, non sussistono problemi di campionamento di acqua dall'acquifero, in considerazione anche dell'entità delle portate emunte: se possibile ridurre la portata di esercizio a valori non troppo alti in modo da produrre minori turbolenze nell'intorno della pompa e minimizzare i disequilibri chimico-fisici prodotti dal sistema di estrazione;
- b) nei pozzi in cui è stato sospeso il pompaggio per alcune ore, avviare uno spurgo capace di rinnovare abbondantemente l'acqua contenuta nella colonna del pozzo (se possibile un ricambio di almeno 3 volte), facendo caso al suggerimento del punto sopra prima del campionamento. È opportuno tuttavia verificare, specialmente la prima volta, che si stabilizzino almeno alcuni parametri base misurabili sul terreno.;
- c) prelevare le aliquote di campione richieste dal punto più prossimo alla testa pozzo.

La procedura per i pozzi privati ad uso domestico è la seguente:

- a) valutare i volumi estratti giornalmente dal pozzo, la tipologia d'esercizio, la portata della pompa ed il funzionamento nelle ore immediatamente precedenti l'arrivo al pozzo;
- b) valutare i volumi d'acqua contenuti nella colonna del pozzo ed il tempo di rinnovamento in condizioni normali. Procedere successivamente ad uno spurgo di adeguata durata (minimo 10-15 minuti) specialmente la prima volta, annotando l'entità del rinnovamento di

acqua prodotto in pozzo e verificando che si stabilizzino almeno alcuni parametri base misurabili sul terreno, in particolare la Temperatura e la Conduttività elettrica specifica.

2.3.3.1 Condizioni particolari dei pozzi:

Si possono verificare condizioni particolari in alcuni pozzi del reticolo, quali presenza di fluidi immiscibili più leggeri dell'acqua e/o più densi.

C'è la possibilità che tali fasi vengano verificate mediante apposita strumentazione o che vengano rimosse prima degli eventuali spurghi per non inficiare la significatività dei campioni prelevati.

I campioni sono prelevati in diverse aliquote su contenitori di diverso tipo e condizionamento per le diverse finalità di laboratorio. Parte dei campioni viene filtrata mediante una pompa di aspirazione ed un sistema di filtrazione composto da cilindro inox - filtro 0,45 micron - beuta in PE.

Le aliquote standard prelevate ed i rispettivi condizionamenti sono riportate nella tabella 6.

I campioni, dopo condizionamento vengono posti in frigorifero a 4 °C. A fine giornata il mezzo mobile rientra in sede e porta i campioni alla cella frigorifero del laboratorio LESP di Perugia.

I campioni destinati al LESP di Terni restano in cella durante la settimana ed il sabato mattina vengono ricaricati sul lab. Mobile (in frigo) e trasportati a Terni (il LESP di Perugia effettua buona parte delle determinazioni il giorno successivo al campionamento, quello di Terni la settimana successiva).

In Liguria per ogni punto d'acqua è stato effettuato, ove possibile, il campionamento delle acque, seguendo

Tabella 6: Modalità di prelievo in PRISMAS Umbria

TIPO DI CONTENITORE	ALIQUOTA (mL)	CONDIZIONAMENTO	PARAMETRI ANALIZZABILI
PET	250	Filtraggio su nitrato di cellulosa 0,45 m	Specie ioniche principali e specie azotate
PET	100		Fluoruri e bromuri
PET	500	Filtraggio e acidificazione con 1cc HNO ₃ 67%	Metalli pesanti (Fe e Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, ecc.)
Vetro	100		Composti organo alogenati
Vetro	100	Filtraggio su nitrato di cellulosa 0,45 m	TOC
ISOLUTE SPE Column Ca/ENV +400 mg/6,0 mL	1.000 concentrati su colonna	Condizionamento colonna+metanolo (10 ml) acido acetico (10%)+carico campione 40 ml/minuto	Pesticidi
ISOLUTE SPE Column FAH 1,5g /6,0 mL	1.000 concentrati su colonna	Condizionamento colonna+isopropanolo (10% v/v)+carico campione 40 ml/minuto	Idrocarburi policiclici aromatici
ISOLUTE SPE Column TPH 1g mg/6,0 mL	1.000 concentrati su colonna	Condizionamento colonna+metanolo (10 ml), acido cloridrico 6M+carico campione 40 ml/minuto	Idrocarburi del petrolio
ISOLUTE SPE Column ENV 200 mg/6,0 mL	1.000 concentrati su colonna	Condizionamento colonna+metanolo (5 ml)+carico campione 40 ml/minuto	Fenoli

una serie di norme di seguito illustrate. Nei piezometri utilizzati per il monitoraggio della falda si ricorda che non sono state campionate le acque per la ridotta dimensione della bocca-foro in testata rispetto ai diametri della pompa ad immersione e della sonda multiparametrica; in essi pertanto si sono effettuate solo misure dell'altezza piezometrica della falda. Il campionamento delle acque di falda mediante pompa ad immersione e l'analisi sul posto dei principali parametri chimico-fisici delle acque campionate, mediante sonda multiparametrica, sono stati solitamente realizzati invece trimestralmente. Ove possibile, per ogni pozzo, prima del campionamento delle acque, si è proceduto ad un emungimento forzato mediante apposita pompa ad immersione, protratto per un tempo necessario per emungere almeno due/tre volte il volume di acqua contenuto nella colonna d'acqua del pozzo; il processo è stato supportato dall'osservazione periodica del colore e dalla misura della conducibilità elettrica delle acque, fino ad ottenere, dopo un certo tempo, rispettivamente un colore trasparente ed un valore costante.

- 1) Introduzione della pompa ad immersione ed emungimento forzato delle acque del pozzo, con un tempo variabile compreso generalmente fra 30 minuti e qualche ora (in funzione anche della avvenuta chiarificazione delle acque e della stabilizzazione del valore della conducibilità delle acque); subito dopo è stato raccolto un campione di acque in quattro appositi contenitori, aventi diverse capacità (tab. 7).
- 2) I campioni d'acqua una volta prelevati sono stati mantenuti in un frigorifero alla temperatura inferiore ai 5 °C ed analizzati nel giro di 24 ore.
- 3) contemporaneamente al campionamento precedente è stato prelevato un opportuno quantitativo d'acqua dal pozzo, introducendolo in apposito recipiente per effettuare in tempo reale l'analisi mediante la sonda multiparametrica portatile.
- 4) I valori letti sono stati riportati nelle apposite caselle di ogni scheda di censimento pozzi.

2.4 ATTREZZATURA E STRUMENTAZIONE SPERIMENTALE DI CAMPO

2.4.1 Il laboratorio mobile

La realizzazione del laboratorio mobile per il campionamento delle acque costituisce un momento di importante sviluppo nelle attività di controllo e gestione del terri-

torio da parte della Regione dell'Umbria, in quanto l'utilizzo di tale strumentazione apre nuove possibilità di indagini sulle condizioni ambientali delle acque sotterranee.

Notevoli sono sempre state le difficoltà di agire con procedure standardizzate rapide ed impegnative, dal punto di vista del contenuto tecnico-scientifico, sia per quel che concerne la gestione quotidiana delle attività di monitoraggio, sia in situazioni di protezione civile.

La possibilità di disporre di un mezzo dedicato con strumentazione adeguata per le determinazioni chimico-fisiche ed idrogeologiche di campagna e la preparazione e stoccaggio dei campioni, rappresenta un traguardo organizzativo rilevante che assicura una presenza altamente qualificata dell'Amministrazione Pubblica nel territorio. Tali finalità, unitamente ad un attento esame delle caratteristiche tecnologiche degli strumenti e delle procedure nelle determinazioni analitiche, sia in sito che in laboratorio, hanno guidato le varie opzioni di allestimento del mezzo mobile che verranno successivamente trascritte nel manuale operativo degli standards di progettazione come previsto negli obiettivi del PRISMAS.

L'attività di monitoraggio discreto degli acquiferi viene espletata mediante il laboratorio mobile. Nella fase operativa del Progetto vengono raccolti circa 1.000 campioni/anno concentrando l'attività in circa 6 mesi/anno di presenza sul campo, ripartiti in 4 fasi a cadenza trimestrale.

Lo standard operativo prevede che vengano campionati mediamente 10 campioni/die e che ciascun campione debba essere raccolto, analizzato (per temperatura, pH, Eh, conducibilità elettrica, OD, specie carbonatiche), condizionato (acidificato, filtrato e imbottigliato) e stoccato (a 4 °C) mediamente in 30-40 minuti. A fine giornata i campioni sono recapitati al laboratorio di analisi per essere prontamente analizzati entro le 24 ore successive.

Le operazioni di campionamento sono associate alla raccolta delle caratteristiche costruttive ed idrauliche dei punti di prelievo e richiedono quindi la presenza di operatori con esperienze sia nell'ambito della idrochimica che in quello dell'idrogeologia.

L'allestimento interno è stato regolato per assolvere alle esigenze fondamentali dell'attività sul campo.

- 1) Immagazzinamento del materiale di consumo – Sono stati costruiti due vani principali:
 - a) il sedile del tavolo di lavoro è una cassapanca facilmente accessibile;
 - b) al di sotto del tavolo di lavoro è stata alloggiata una cassa montata su ruote, estraibile, che funge da magazzino per i contenitori e per lo scarico e trasporto dei campioni ai laboratori.
- 2) Analisi chimico-fisiche e preparazione dei campioni – L'allestimento è consistito nel razionalizzare un tavolo pieghevole sul quale sono stati montati i supporti per gli elettrodi, il computer portatile e la relativa stampante. Di fronte al tavolo, su un supporto inclinato, sono stati disposti gli strumenti di misura alloggiati, tutti insieme, in una valigia rigida estraibile. Il sistema di

Tabella 7: Contenitori utilizzati per il campionamento delle acque in Liguria

100 ml	per l'analisi in laboratorio dei metalli
250 ml	per l'analisi in laboratorio di VOC, THM, BTX
500 ml	per l'analisi in laboratorio dei principali cationi ed anioni
500 ml (sterile)	per le analisi batteriologiche in laboratorio

filtraggio ed il concentratore sono stati disposti sul pavimento del mezzo in maniera tale da rendere possibile intervenire sugli stessi sia dall'esterno che dall'interno.

3) Stoccaggio e trasporto dei campioni – La scelta della strumentazione adottata è stata condizionata dalle esigenze particolari del Progetto, privilegiando l'adattabilità degli strumenti a tempi e ritmi del lavoro sul campo. Tale scelta è ricaduta su materiali particolarmente efficienti (affidabili e precisi) che non necessitano di difficili e frequenti interventi di manutenzione e taratura:

- a) pH/Eh metro WTW pH 325;
- b) conducimetro WTW LF325;
- c) cella per la misurazione dell'ossigeno disciolto WTW oxicell 325;
- d) microdosimetri per la titolazione (con HCl 0,01N) delle specie carbonatiche. Tali strumenti sono stati realizzati con un sistema di lettura digitale e di trasmissione del valore misurato al computer mediante cavo seriale;
- e) sistema di filtraggio dei campioni. Il sistema si compone di una pompa a membrana collegata a un serbatoio. La pompa determina nel serbatoio una depressione che consente l'ingresso nello stesso dell'aliquota campionata (filtro da 0,45 µm);
- f) freatimetri. Il laboratorio è stato attrezzato con due sonde freatimetriche (una anche termometrica) centimetrata, dotate di doppio sensore (visivo e sonoro) e doppio contatto con cavetti in acciaio;
- g) unità di pre-concentrazione, prototipo sperimentale Gilson per la preconcentrazione su colonne di fenoli, IPA, idrocarburi totali del petrolio e pesticidi;
- h) apparecchio fotografico digitale, per riversare le immagini acquisite (foto punto di misura - quotato, foto monografiche dei pozzi e sorgenti, della strumentazione installata) nel computer (schede monografiche e database) attraverso un collegamento seriale;
- i) computer portatile e stampante, con tutto il software generale e dedicato necessario;
- l) WTW multiline P4. Strumento multifunzione di misura di pH, Eh, conducibilità elettrica, ossigeno disciolto, temperatura. Viene utilizzato in scorta agli strumenti descritti ai punti 1, 2, 3.
- m)frigo-congelatore da 50 litri, alimentato a 12 V, per lo stoccaggio dei campioni a temperatura programmabile;
- n) telefono cellulare e modem di collegamento con le sedi del progetto e le strumentazioni automatiche di pozzi e sorgenti;
- o) gruppo elettrogeno da 1 kW;
- p) campionatori di profondità a sfera in teflon, per situazioni specifiche.

L'alimentazione di tutti gli strumenti (12V) è gestita separatamente da quella del mezzo mediante una batteria aggiuntiva. Per eliminare guasti dovuti a sbalzi di tensione e a cortocircuiti, ciascun strumento è stato dotato di un sistema di protezione.

Nell'intercapedine tra la parete del mezzo ed il pannello della coibentazione è stato alloggiato un capiente

serbatoio per l'acqua distillata (che viene rifornita dall'esterno del mezzo), utilizzabile mediante due rubinetti posizionati sul tavolo di lavoro.

Le apparecchiature utilizzate per la misurazione dei parametri chimico-fisici sono dotate di uscita seriale: ognuna di esse è collegata ad una centralina di raccordo che trasmette tutti i segnali al computer collegato.

Il software specifico che gestisce l'acquisizione e l'archiviazione dei dati è stato sviluppato in Microsoft Visual Basic. Il programma crea un file dati organizzato secondo la seguente sequenza di variabili: codice campione, data analisi, ora analisi, temperatura esterna, temperatura campione, pH, conducibilità elettrica, OD, Eh, specie carbonatiche (come HCO₃).

Il collegamento seriale prevede la possibilità di due tipi di invio-memorizzazione:

- a) CONTINUA (a intervalli di tempo predefiniti);
- b) SINGLE STEP (enter dell'operatore).

La procedura a), particolarmente utile nel caso si stia monitorando con i sensori in pozzo, è utilizzata attualmente solo per verificare i tempi di stabilizzazione dei parametri misurati (stato degli elettrodi) e per la taratura degli strumenti.

La titolazione delle specie carbonatiche richiede da programma il volume titolato ed il titolo dell'acido e calcola immediatamente la concentrazione come HCO₃.

Il software consente il salvataggio del file dati come ASCII e come file associabile al database relazionale specifico realizzato dal progetto. Il database PRISMAS, che importa i dati richiamando il datafile e utilizzando come criterio di ricerca la data di campionamento ed il codice del punto d'acqua, è stato configurato in modo da poter verificare sia in automatico (range di misure ammissibili per ogni parametro) che manualmente (conferma di ogni input) i valori immagazzinati dal laboratorio mobile.

2.4.2 Il concentratore

Nel campionamento dei punti del reticolo di monitoraggio si rendono necessari prelievi di aliquote consistenti per la determinazione di microinquinanti quali Fenoli, IPA, Pesticidi ed Idrocarburi totali (da 0,5 a 2 litri a parametro in funzione della strumentazione analitica di laboratorio).

Quantitativi di questo genere rendono impossibile il rispetto delle condizioni di conservazione ed analisi dei campioni (a 4 °C, determinazioni nel giro di 24-48 ore) a partire dall'allocatione nel frigorifero del laboratorio mobile.

Si è quindi optato per l'installazione nel laboratorio mobile di un concentratore prototipo ideato dall'IRSA-CNR e realizzato ad hoc (GILSON WATER TRACE).

La tecnica di concentrazione utilizzata è l'estrazione in fase solida SPE su specifiche colonnine di estrazione impiegando grossi volumi di campione (1 litro o più), che consentono poi di utilizzare tecniche analitiche quali GC o HPLC.

La scelta delle colonnine SPE, in relazione agli analiti ricercati, è quella riportata nella tabella 8.

I metodi di concentrazione su colonnine SPE prevedono tutti una fase di attivazione e condizionamento che con-

Tabella 8: Le colonnine utilizzate per la preconcentrazione

Fenoli	Isolute ENV +, 200 mg/6mL
Idrocarburi policiclici aromatici	Isolute PAH 1.5 g/6mL
Pesticidi e diserbanti	Isolute C8/ENV +, 400 mg/6mL
Idrocarburi totali del petrolio	Isolute TPH, 1g/6mL

siste nel passaggio di solventi (metanolo, isopropanolo, tamponi, ecc.) per solvatare la fase solida e preparare la colonnina a "intrappolare" gli analiti di interesse.

Nella pratica del laboratorio, l'attivazione delle colonnine, il passaggio del campione da concentrare, la successiva eluzione, sono operazioni che, se eseguite manualmente, richiedono tempo e l'impiego costante dell'operatore.

L'apparecchio denominato WATER TRACE, è stato progettato per poter effettuare le operazioni descritte in totale automazione e nel più breve tempo possibile su un mezzo mobile o in laboratorio. Lo strumento, alimentato a 12 V con una batteria da automobile, sopporta fino a 4 colonnine SPE che possono essere utilizzate contemporaneamente.

Lo strumento ha componenti che funzionano a 12 e 24 V ed è provvisto quindi di due trasformatori. I sistemi di prelievo mediante pompa provvede all'aspirazione dei solventi per l'attivazione delle colonnine SPE seguendo la metodica analitica. I solventi aspirati dalla siringa vengono indirizzati alle varie colonnine SPE. I componenti vengono pompati contemporaneamente nelle colonnine SPE mediante 4 pompe peristaltiche che possono raggiungere flussi fino a 50 mL/minuto.

WATER TRACE è gestito da un PC mediante il quale è possibile impostare e modificare il file di gestione delle operazioni: il file può essere comunque memorizzato e "trasferito" nella Eprom dello strumento permettendo di operare senza l'utilizzo del computer.

2.4.3 Analisi in situ delle acque

Tra i parametri che solitamente vengono presi in considerazione nelle determinazioni analitiche esistono, come si è detto, alcune sostanze instabili dal punto di vista chimico e fisico; tali composti vengono pertanto individuati direttamente all'interno del pozzo o subito dopo il loro prelievo in superficie tramite strumentazione di campagna.

In situ si procede alla determinazione del pH, del potenziale di ossido-riduzione, della conducibilità elettrica specifica, dell'ossigeno disciolto e della temperatura.

Quando si utilizzano per tale scopo sonde specifiche, si fa in modo che esse vengono introdotte nel pozzo solo successivamente alle operazioni di spurgo e di estrazione di altri campioni, destinati a determinazioni analitiche eseguibili in laboratorio.

Questo accorgimento assicura il prelievo di campioni rappresentativi le caratteristiche qualitative della falda prima di causare, con l'impiego di sonde speciali, una potenziale fonte di contaminazione.

Le sonde a questo scopo devono essere sempre tenute separate dai contenitori di spedizione all'interno dei quali sono stati disposti i campioni di acqua destinati alle indagini di laboratorio.

Per garantire l'attendibilità dei dati ottenuti da analisi in situ è necessario assicurarsi periodicamente che la strumentazione di monitoraggio e le sonde siano funzionanti e opportunamente calibrati.

Inoltre il range di misura e la precisione dei migliori strumenti disponibili sono i seguenti:

- temperatura: $-5 \div 99.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$)
- pH: $0 \div 14$ ($\pm 0.01 \text{ }^\circ\text{C}$)
- conducibilità elettrica: $1 \div 500000 \text{ } \mu\text{S/cm}$ ($\pm 0.5\%$)
- Potenziale redox: $\pm 1250 \text{ mV}$ ($\pm 0.2 \text{ mV}$)
- ossimetro: $0.01 \div 19.99 \text{ mg/l}$ ($\pm 1.5\%$)

In Umbria al momento del campionamento, sui pozzi della rete sono misurati in situ: temperatura, pH, ossigeno disciolto, conducibilità elettrica specifica a 25°, ione bicarbonato, potenziale redox.

Le determinazioni vengono effettuate per mezzo della strumentazione presente nel laboratorio mobile ed acquisite direttamente mediante collegamento seriale al computer installato sul mezzo.

La temperatura viene rilevata da tre sensori presenti nel conducimetro, pHmetro e ossimetro con possibilità di mediare i valori o di impostare il sensore prescelto. La precisione dei sensori è del decimo di grado.

Nel caso del pH la possibilità di taratura ed archiviazione delle tarature permette di controllare nel tempo il funzionamento dell'elettrodo e la velocità di stabilizzazione, garantendo misure affidabili e riproducibili alla prima cifra decimale.

La misura del potenziale redox viene effettuata sostituendo l'elettrodo di pH allo stesso potenziometro con il passaggio alla misura in mV. La soluzione di riferimento è quella classica (Zobell) che si mantiene molto stabile in ambiente protetto dalla luce (variazioni massime di 10 mV sullo stesso standard nel corso di una campagna di oltre 1 mese).

La titolazione dello ione bicarbonato avviene mediante microdosimetro su aliquota di 500 ml ed HCl 0,01 N. L'operazione viene eseguita due volte: se la differenza di lettura rientra nel range accettabile, i 2 valori si mediano ed il programma di archiviazione determina direttamente il valore in mg/l. In caso contrario la determinazione va ripetuta (errori dovuti alle piccole aliquote prelevate con pipette fisse ed all'operazione di aggiunta).

In Liguria sono state eseguite in campo, oltre al livello piezometrico, le misure di Temperatura, pH, salinità, conducibilità elettrica specifica e potenziale redox delle acque di falda.

3. Misure di laboratorio

3.1 LE ESPERIENZE EFFETTUATE NELLE AREE DI STUDIO

Per le determinazioni in laboratorio degli analiti previsti nelle diverse Regioni sono state seguite le procedure in

uso presso i laboratori coinvolti, che non sempre sono riconducibili alle medesime metodologie. Pertanto sono state riportati integralmente le procedure adottate.

Non sono state ancora emanate le norme tecniche previste da DPR 236/88: procedure non ufficiali sono state predisposte dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS 2000) e ad esse i laboratori dovranno tendere in futuro.

In Piemonte le analisi sui campioni d'acqua sono state condotte dai Dipartimenti ARPA interessati, prendendo in considerazione gli analiti che possono essere utili per una caratterizzazione idrochimica dell'acqua (anioni, cationi, composti azotati, metalli, ecc.) e che possono contribuire, assieme alla ricostruzione litostratigrafica, ad una prima classificazione delle falde.

In linea di massima sono previste due campagne di campionamento ed analisi avendo come riferimento una lista di parametri più ampia di quella utilizzata nella pri-

ma fase; in particolare sono stati inseriti degli analiti in grado di classificare meglio, da un punto di vista ambientale, la qualità della falda.

3.1.1 A - Prima fase di monitoraggio

La prima fase di monitoraggio analitico ha previsto, oltre alla misura del livello di falda, che sui campioni di acqua prelevati vengano determinati i parametri indicati nella tabella 9.

Le modalità di prelievo, trasporto, conservazione e trattamento del campione sono state definite attraverso una apposita procedura redatta dall'ARPA; è comunque stato concordato che l'analisi verrà effettuata sul campione di acqua sedimentata per 2 ore in cono Imhoff.

3.1.2 B - Seconda fase di monitoraggio

La seconda fase di monitoraggio analitico si è concretizza-

Tabella 9: Lista degli analiti ricercati nella prima fase di monitoraggio in Piemonte

PARAMETRO		ABBREVIAZIONE	UNIT DI MISURA	NOTE
1	Temperatura	T	C	Direttamente in campo
2	PH	PH	Unit di pH	Direttamente in campo
3	Conducibilit elettrica	K	$\mu\text{S cm}^{-1}$ a 20 °C	Direttamente in campo Parametro di base DLgs 152/99
4	Ossigeno disciolto	O ₂	mg/L	Direttamente in campo
5	Potenziale di ossidoriduzione	E-redox	mV	Direttamente in campo
6	Alcalinit	Alc	mg CaCO ₃ /L	
7	Durezza		F	
8	Sali disciolti totali	TDS	mg/L	
9	Azoto ammoniacale	NH ₃ -N	mg/L	Parametro di base DLgs 152/99
10	Azoto nitrico	NO ₃ -N	mg/L	Parametro di base DLgs 152/99
11	Azoto nitroso	NO ₂ -N	mg/L	
12	Cloruri	Cl	mg/L	Parametro di base DLgs 152/99
13	Ortofosfati	PO ₄	mg/L	
14	Solfati	SO ₄	mg/L	Parametro di base DLgs 152/99
15	Calcio	Ca	mg/L	
16	Magnesio	Mg	mg/L	
17	Sodio	Na	mg/L	
18	Potassio	K	mg/L	
19	Cadmio	Cd	$\mu\text{g/L}$	
20	Cromo totale	Cr	$\mu\text{g/L}$	
21	Ferro	Fe	$\mu\text{g/L}$	Parametro di base DLgs 152/99
22	Manganese	Mn	$\mu\text{g/L}$	Parametro di base DLgs 152/99
23	Piombo	Pb	$\mu\text{g/L}$	
24	Nichel	Ni	$\mu\text{g/L}$	
25	Rame	Cu	$\mu\text{g/L}$	
26	Zinco	Zn	$\mu\text{g/L}$	

ta in due campagne di prelievo da condotte sui pozzi che, in base ai risultati della prima fase, sono stati ritenuti significativi ai fine del loro inserimento definitivo nella rete di monitoraggio.

La definizione dei parametri analitici da prendere in considerazione in questa seconda fase si è basata sui seguenti criteri:

- 1) mantenimento dei parametri idrochimici indicati nella tabella 9, fatta salva la possibilità di una lieve semplificazione della tabella stessa in base ai risultati emersi dalla prima fase;
- 2) inserimento di ulteriori parametri di tipo ambientale, utili nel definire il grado di contaminazione delle acque sotterranee da parte delle attività antropiche; questi parametri sono classificabili in due gruppi e precisamente:
 - a) composti organici volatili (VOC), caratteristici indici di inquinamento delle falde da attività di tipo industriale; come prima lista di riferimento può essere presa in considerazione quella elaborata dall'EPA, che ne comprende 60 da ricercare con priorità; una parziale semplificazione di tale lista potrà essere valutata sulla base dei dati analitici già disponibili circa la presenza di questi composti nelle acque sotterranee piemontesi;
 - b) pesticidi, residui delle attività agricole di tipo intensivo condotte sul territorio; sarà cura dell'ARPA predisporre una lista di principi attivi (ed eventuali metaboliti) da ricercare su tutto il territorio regionale, sulla base dei principi attivi attualmente più utilizzati in agricoltura e di quelli non più utilizzati ma ancora ritrovati con una certa frequenza nelle acque di falda piemontesi; tale lista generale potrà eventualmente essere integrata a livello locale in funzione delle specifiche coltivazioni.
- 3) eventuale ampliamento della lista di metalli pesanti da determinare;
- 4) utilizzo, per le analisi dei VOC, dei pesticidi e degli ulteriori metalli pesanti, di laboratori ARPA specializzati in tali determinazioni, predisponendo una nuova procedura di campionamento che permetta di inviare i campioni ai diversi laboratori prescelti.

In Umbria il reticolo di controllo dei sistemi acquiferi alluvionali e carbonatici, rivolto alla valutazione della qualità generale delle acque sotterranee nell'assetto attuale e nei trend evolutivi, quale risultato complesso delle condizioni genetiche e delle influenze dovute all'uomo (contaminazione e uso), prevede una strategia di campionamento che considera ambedue gli aspetti correlati all'uso del suolo che si esplicita in pacchetti di analiti.

La frequenza di campionamento è quindi legata alle caratteristiche idrauliche e all'importanza dell'acquifero da investigare.

I pacchetti di analisi allo stato attuale sono strutturati come riportato nella tabella 10.

Sono 12 i costituenti singoli determinati tra i composti organo alogenati mentre tra i pesticidi se ne determinano 33. Idrocarburi, IPA e Fenoli sono determinati in maniera complessiva.

Tabella 10: Pacchetti analitici in Umbria

1 - Parametri di campo	Temperatura, pH, ossigeno disciolto, conducibilità elettrica specifica a 25 °C, ione bicarbonato, potenziale redox
2 - Ioni maggiori	Calcio, magnesio, sodio, potassio, cloruri, solfati, fosfati, ammoniaca, nitrati, nitriti, ferro, manganese, più il TOC
3 - Ioni minori	Rame, stronzio, piombo, cromo zinco, nichel, arsenico, mercurio, cadmio, fluoruri, bromuri
4 - Composti organici	Fenoli, idrocarburi, composti organoalogenati volatili (VOC), IPA
5 - Pesticidi	Erbicidi, fungicidi, insetticidi, fitoregolatori

Le determinazioni che seguono sono eseguite dal Laboratorio chimico di Perugia:

Anioni (NO_3^- , NO_2^- , NH_3 , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Cl^-) La determinazione di questi anioni viene eseguita con una strumentazione automatica a flusso continuo lo SMA Plus (Spectrophotometer Molecular Absorption) Technicon. Con questo sistema vengono utilizzate reazioni colorimetriche ufficiali standardizzate specifiche per ogni singolo anione.

Le reazioni specifiche sono le seguenti:

- Nitrati (NO_3^-): questi anioni vengono determinati come nitriti dopo riduzione con Cd. Il limite di sensibilità è di 0,10 mg/l come N.
- Nitriti (NO_2^-): i nitriti reagiscono con la solfanilammide in ambiente acido che in presenza di N(1naftil)etilendiammina forma un complesso colorato misurato a 543 nm. Il limite di sensibilità della metodica è di 0,01 mg/L come N.
- Ammoniaca (NH_3): l'ammoniaca in soluzione alcalina ed in presenza di fenato, di acido dicloroisocianurico e di nitroprussiato come catalizzatore forma un indofenolo blu, complesso che viene letto a 640 nm. Il limite di sensibilità è di 0,04 mg/l come N.
- Solfati (SO_4^{2-}): il campione passa attraverso una resina a scambio cationico che rimuove le interferenze dovute alla presenza di calcio alluminio ferro, quindi reagisce a pH 2,5-3,0 con cloruro di bario per formare solfato di bario. Il bario libero forma con metiltimolo blu a pH 12-13 un composto chelato di colore blu, mentre il metiltimolo non complessato dà una colorazione grigia che viene determinata a 430 nm. Il limite di sensibilità di questa metodica è di 1,0 ppm.
- Fosfati (PO_4^{3-}): I fosfati totali inorganici sono misurati, dopo idrolisi con acido solforico, per mezzo della formazione di acido fosfomolibdico ridotto poi dall'acido ascorbico a formare il blu di molibdeno che viene dosato fotometricamente a 660 nm. Il limite di sensibilità è di 0,02 mg/l come P.
- Cloruri (Cl^-): gli ioni cloruro presenti reagiscono con il mercurio tiocianato formando cloruro mercurico e liberano ioni tiocianato che in presenza di ioni ferrici formano un complesso tiocianato ferrico che viene rivelato a 480 nm. Il limite di rilevabilità è di 1,0 ppm.

I campioni vengono analizzati nel giro delle 24 ore, o al massimo di 48 ore, quando vi è la necessità di rimontare campioni diluiti poiché presentano concentrazioni ioniche superiori ai valori massimi degli standard montati.

Con ogni serie di campioni vengono montati gli standard necessari alle calibrazioni di ogni canale di reazione, degli standards di qualità e dei bianchi di riferimento. La durata media di ogni singola analisi è di circa 25 minuti con un processo analitico che è gestito da un software dedicato.

CATIONI (Ca, Mg, Na, K)

Questi cationi vengono determinati mediante Spettroscopia di Assorbimento Atomico in emissione con spettrofotometro Perkin Elmer 403.

Calcio limite di sensibilità 1 ppm

Magnesio limite di sensibilità 0,1 ppm

Sodio limite di sensibilità 0,1 ppm

Potassio limite di sensibilità 0,1 ppm

Il tempo di analisi medio per ciascun campione è di 20 minuti.

TOC (Total Organic Carbon)

Lo strumento utilizzato per questa analisi è un TOC 5000A Shimadzu.

Il carbonio organico totale viene determinato nel giro di 24-48 ore.

Con questo sistema il carbonio organico è convertito in CO₂ tramite una combustione catalitica, la CO₂ formata è misurata direttamente tramite un detector infrarosso. In questo caso viene usato un catalizzatore di lana di platino ad alta sensibilità.

Il campione è pretrattato con HCl e strappato con aria iperpura in modo da eliminare tutto il carbonio inorganico che si trova nei campioni come carbonati e bicarbonati.

La taratura dello strumento viene fatta all'inizio di ciascuna campagna utilizzando standard di ftalato di potassio Shimadzu opportunamente diluiti. Il limite di sensibilità è di 0,30 mg/l.

Il tempo di analisi è di 10 minuti per la preparazione del campione e 15 minuti per l'analisi strumentale.

VOC (bromoclorometano, diclorometano, cloroformio Bromodiclorometano, dibromoclorometano, bromoformio, carbonio tetracloruro, dibromometano, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetilene, tetracloroetilene, 1,2-dicloroetano)

La determinazione dei composti organoalogenati volatili è eseguita mediante analisi gas cromatografica dello spazio di testa statico con detector specifico ECD.

Il tempo di analisi per ogni campione è di 75 minuti (tempo di equilibrio + analisi gascromatografica + elaborazione dati); il limite di sensibilità del metodo è di 0.50 mg/L.

PESTICIDI (esaclorobenzene, lindano, aldrin, dieldrin, eptacloro, eptacloroossido, endosulfan,p,p'DDD, p,p'DDT, malathion, parathion metile, fenclorfos, propazina, simazina, ametryn, terbutryn, prometryn,

atrazina, atrazina desetil, atrazina desisopropil, prometon, terbutilazina, terbutilazina desetil, oxifluorfen, trifluralin, benfluralin, alaclor, metolaclo, pendimentalin, propizamide, linuron, metobromuron, profam, clorprofam)

Il metodo analitico per la determinazione dei 34 principi attivi è costruito secondo quanto riportato nei metodi EPA 507 ed EPA 508. Esso si articola in due fasi:

- 1) prima fase: concentrazione del campione di 1000 volte (da un litro di campione si ottiene un millilitro di eluato) con tecnica SPE. Abbiamo scelto colonnine a fase mista (C8/ENV+), che permettono di estrarre dall'acqua contemporaneamente analiti polari e non polari;
- 2) seconda fase: analisi gascromatografica dell'eluato con n. 2 detector specifici:
 - a) detector ECD per cloro e nitroderivati;
 - b) detector NPD per triazinici, carbammati e fosforoderivati.

L'eventuale verifica dei campioni positivi è eseguita con spettrometria di massa in modalità SIM (Selected Ion Monitoring).

Il tempo di analisi per ogni campione è di 95 minuti (preparazione del campione + analisi gascromatografica ECD - NPD + elaborazione dati); il limite di sensibilità del metodo è di 0.05 µg/L per clorurati, nitroderivati, fosfororganici, triazinici e carbammati.

FENOLI

Con questa tecnica vengono determinati i fenoli totali; nella metodica analitica utilizzata si individuano due parti:

- 1) prima fase: concentrazione di un litro di campione su colonne SPE del tipo ENV+ specifiche per fenoli. Si eluiscono poi con metanolo, portate a secco con flusso di N₂ e ripresi quantitativamente con 10 ml di H₂O distillata, concentrandoli così 100 volte.
- 2) seconda fase: Il campione così preparato viene analizzato mediante spettrofotometria di assorbimento molecolare con un sistema automatico a flusso continuo utilizzando il metodo ufficiale alla 4-amminoantipirina. Questo metodo sfrutta la capacità dei fenoli orto e meta sostituiti di reagire, dopo distillazione, in ambiente alcalino con il ferricianuro e 4-amminoantipirina per formare un complesso colorato misurato a 505 nm. Il limite di sensibilità è di 0,0005 mg/l.

Il tempo medio di analisi per ogni campione è di 40 minuti (preparazione del campione, tempo di analisi, controllo ed elaborazione dati).

Le determinazioni che seguono sono eseguite dal Laboratorio chimico di Terni.

ANIONI (F - Br)

La determinazione di questi anioni viene effettuata con un cromatografo ionico DIONEX DX - 120: la sensibilità del metodo è rispettivamente 0.02 mg/l e 0.03 mg/l per fluoro e bromo.

Il tempo di analisi è di 15 minuti a campione senza considerare la calibrazione ed il controllo ogni 10 campioni.

OLI MINERALI

Le determinazioni si effettuano eluendo le colonnine TPH con 6 ml di cloruro di metilene, portati a sacco in corrente di azoto ripresi con 250 µl dello stesso solvente ed iniettati al gascromatografo. L'analisi gascromatografica necessita di 30' a campione.

La sensibilità del metodo è 5µg/l.

IPA

Le determinazioni si effettuano eluendo le colonnine PAH con cloruro di metilene portati a secco e ripresi con 500 µl di acetonitrile ed iniettati all'HPLC.

È possibile la determinazione della serie prevista dalla Tab. 5 del DLgs 11/05/99 n 152 la sensibilità del metodo è pari a 0.1 µg/l.

Il tempo di analisi e' di 35'. Giornalmente viene eseguita una calibrazione con uno standard adeguato.

METALLI

I metalli determinati sono i seguenti: Hg - As - Se - Cu - Zn - Pb - Cd - Cr - Fe - Mn - Ni.

Per - Cn - Zn - Pb - Cd - Cr - Ni - Mn - il tempo di analisi è 5 minuti a determinazione.

Per il Ferro il tempo di analisi è condizionato da eventuali diluizioni e maggiore complessità è quantizzabile in almeno 10 minuti a determinazione.

Hg As Se, determinati dopo volatilizzazione, necessitano complessivamente, considerando preparazione standard e campione di 15 minuti a determinazione.

La sensibilità del metodo usato è rispettivamente di µg/L: Hg < 0.1; As < 0.1; Se < 0.1; Cu < 1; Zn < 1; Pb < 1; Cd < 0.05; Cr < 1; Fe < 1; Mn < 1; Ni < 1.

In Liguria il protocollo analitico relativo alle acque di falda, adottato nell'ambito del progetto PRISMAS, prevede il rilievo di alcuni parametri chimici, fisici e microbiologici critici relativi a questa componente ambientale.

I valori di temperatura, pH e conducibilità come detto vengono rilevati all'atto del campionamento; le altre analisi vengono svolte in laboratorio.

Il protocollo prevede:

- temperatura;
- pH;
- conducibilità;
- durezza;
- sodio;
- potassio;
- calcio;
- magnesio;
- ferro;
- cromo;
- bicarbonati;
- cloruri;
- solfati;
- nitrati;
- composti organoalogenati;
- benzene;
- toluene;

- xilene;
- rame;
- zinco;
- nichel;
- manganese;
- boro;
- bario;
- coliformi totali;
- coliformi fecali;

Le analisi dei parametri chimici, fisici e microbiologici (e le procedure di campionamento) vengono effettuate secondo la metodologia UNICHIM, ad eccezione di benzene, toluene, xilene, che vengono determinati secondo metodiche EPA.

Il protocollo analitico relativo alle acque di falda prevede il rilievo di alcuni parametri chimici, fisici e microbiologici critici relativi a questa componente ambientale.

La tabella 11 riporta le metodologie di riferimento applicate da AMGA SpA di Genova per la Regione Liguria. Le analisi dei parametri chimici, fisici e microbiologici vengono effettuate secondo la metodologia UNICHIM, ad eccezione di benzene, toluene, xilene, che vengono determinati secondo metodiche EPA.

4. Misurazioni in automatico

Il carattere regionale del sistema di monitoraggio porta ad escludere sistemi di osservazione troppo puntuali a vantaggio di indicazioni le più estese possibile. Nel caso della misurazione dei livelli di falda, le caratteristiche idrauliche degli acquiferi giocano un ruolo chiaro nel determinare il "raggio di influenza" di un punto di controllo piezometrico. Altrettanto non si può dire per i parametri chimico-fisici.

Nella fase iniziale di impostazione di un reticolo di monitoraggio regionale, con una conoscenza generica degli acquiferi, si possono attivare misurazioni in continuo di livelli di falda per seguire situazioni specifiche.

Sistemi di osservazione multiparametrici sono auspicabili in una seconda fase, quando i risultati del monitoraggio discreto (trimestrale per i parametri principali, semestrale o annuale per elementi e composti organici specifici) avranno permesso di definire gli indicatori ottimali della variabilità dei sistemi acquiferi e le situazioni areali più a rischio dove sarà opportuno posizionare punti di osservazione preferenziali.

La scelta tra strumenti di osservazione a registrazione e sistemi automatici di trasmissione dati non è vincolata al costo differente delle due installazioni quanto piuttosto alla possibilità di acquisizione dati e funzionamento/manutenzione dei sistemi.

Strumenti di misura a sola registrazione richiedono minor costo ma una più frequente attività di controllo diretto sul terreno. Questo è possibile quando l'attività di monitoraggio è gestita da una struttura attiva operativamente sul territorio e che quindi non necessita di pro-

Tabella 11: Metodologie analitiche seguite in Liguria

N. RIF DPR 236/88	PARAMETRO	ESPRESSIONE DEI RISULTATI	PRINCIPIO DEL METODO	UNICHIM	EPA
5	Sodio	mg / L Na	Assorbimento Atomico (Fiamma)	MU 904	273.1
			Emissione di Fiamma	=	=
6	Potassio	mg / L K	Assorbimento Atomico (Fiamma)	MU 903	258.1
			Emissione di Fiamma	=	=
7	Alluminio	g / L Al	Assorbimento Atomico (ETA)	MU 906	202.2
			Spettrofotometria (Eriocromocianina)	=	=
			Spettrofotometria (Violetto di Pirocatecolo)	MU 924	=
8	Durezza Totale	mg / L CaCO ₃	Titolazione con EDTA	MU 935	130.2
			Calcolo (da conc. Ca e Mg)	=	=
12	Temperatura	C	Termometria	MU 928	=
13	Concentrazione di Ioni Idrogeno	pH	Potenziometria	MU 929	150.1
14	Conducibilit Elettrica	S cm ⁻¹ a 20 C	Conduttometria	MU 930	=
		S cm ⁻¹ a 25 C	Conduttometria	=	120.1
15	Cloruri	mg / L Cl	Titolazione con AgNO ₃	MU 931	=
			Cromatografia Ionica	MU 876	300.0
			Titolazione con Mercurio Nitrato	=	325.3
			Titolazione Potenziometrica	=	=
16	Solfati	mg / L SO ₄	Nefelometria	MU 932	375.4
			Cromatografia Ionica	MU 876	300.0
			Gravimetria (BaSO ₄)	MU 876	375.3
17	Silice	mg / L SiO ₂	Spettrofotometria	MU 933	370.1
			Gravimetria	=	=
			Spettrofotometria	=	=
18	Calcio	mg / L Ca	Titolazione con EDTA	MU 934	215.2
			Assorbimento Atomico (Fiamma)	MU 901	215.1
19	Magnesio	mg / L Mg	Assorbimento Atomico (Fiamma)	MU 902	242.1
			Gravimetria	MU 902	=
20	Nitrati	mg / L NO ₃	Cromatografia Ionica	MU 876	300.0
			Spettrofotometria UV	MU 940	=
			Spettrofotometria (Brucina)	=	352.1
			Potenziometria	=	=
			Spettrofotometria (rad.con.cd.)	=	353.3
			Potenziometria (riduz. con TICl ₃)	=	=
21	Nitriti	g / L NO ₂	Spettrofotometria	MU 939	354.1

(segue)

segue Tabella 11: Metodologie analitiche seguite in Liguria

N. RIF DPR 236/88	PARAMETRO	ESPRESSIONE DEI RISULTATI	PRINCIPIO DEL METODO	UNICHIM	EPA
22	Ammoniaca	g / L NH ₄	Distillazione e Titolazione	=	=
			Potenziometria	=	350.3
			Spettrofotometria (Nessler)	=	=
			Spettrofotometria Fenato	MU 941	=
24	Ossidabilit	mg / L O ₂	Titolazione con permanganato	MU 943	=
25	TOC	g / L C	Ossidazione a caldo e a freddo	MU 944	415.1 (2)
30	Boro	g / L B	Spettrofotometria con Azometina H	MU 982	=
			Spettrofotometria (Curcumina)	=	212.3
32	Composti organoalogenati par. 55 (VOC)	g / L	GC (Estrazione con solvente) ECD	In corso di elaborazione	=
			GC (spazio di testa statico) ECD	In corso di elaborazione	=
			GC / Purge and Trap / ELCD	=	502.2
			GC / Purge and Trap / MS	=	524.1 / 2
33	Ferro	g / L Fe	Spettrofotometria alla 1-10 fenantrolina	MU 950	=
			Assorbimento Atomico ETA	MU 913	236.2
34	Manganese	g / L Mn	Spettrofotometria alla formaldoxina	=	=
			Assorbimento Atomico ETA	MU 914	243.2
			Spettrofotometria Persolfato	=	=
35	Rame	g / L Cu	Assorbimento Atomico ETA	MU 917	220.2
36	Zinco	g / L Zn	Assorbimento Atomico (Fiamma)	MU 905	289.1
37	Fosforo	g / L P ₂ O ₅	Spettrofotometria con Ammonio molibdato	MU 947	365.1
42	Bario	g / L Ba	Assorbimento Atomico (ETA)	MU 908	208.2
48	Cromo	g / L Cr	Assorbimento Atomico (ETA)	MU 912	218.2
50	Nichel	g / L Ni	Assorbimento Atomico (ETA)	MU 915	249.2
PARAMETRI MICROBIOLOGICI					
57	Coliformi totali	UFC/100 mL	Membrane filtranti	952/1	=
		MPN/100 mL	Tubi multipli	952/2	=
58	Coliformi fecali	UFC/100 mL	Membrane filtranti	953/1	=
		MPN/100 mL	Tubi multipli	953/2	=
59	Streptococchi fecali	UFC/100 mL	Membrane filtranti	954/1	=
		MPN/100 mL	Tubi multipli	954/2	=

grammare tali azioni: ciò è il caso delle reti regionali che diverranno operative sui reticoli reimpostati.

Ai reticoli di monitoraggio discreto si possono associare anche sistemi di rilevazione automatica di parametri significativi su punti di misura aventi condizioni favorevoli o localizzati strategicamente. È il caso di situazioni particolarmente interessanti da punto di vista idropotabile o ad elevato rischio per sovrasfruttamento o contaminazione.

Sistemi automatici garantiscono una maggiore facilità di accesso ai dati alle condizioni attuali ed inoltre permettono di impostare sistemi di allarme in caso di interruzione di funzionamento delle stazioni di misura.

Esperienze di monitoraggio in continuo sono state sviluppate dall'Umbria, per alcuni pozzi degli acquiferi alluvionali e per le sorgenti, e dalla Liguria per l'acquifero urbano del T. Bisagno.

4.1 MISURE QUANTITATIVE

4.1.1 Le esperienze dell'Umbria

Una attenta valutazione della strumentazione disponibile per le misure di livello in continuo, ha ritenuto opportuno garantire innanzitutto la validità della misura e la durata nel tempo della strumentazione mediante la scelta di sonde a spinta idrostatica con segnale 4...20 mA.

Il sistema proposto associa affidabilità a costi abbastanza contenuti.

Si compone di:

- 1) una sonda ad immersione, in grado di misurare battenti idrostatici di differente range ed a profondità anche di oltre 200 m;
- 2) un acquisitore di dati di buona autonomia, con a corredo il cavo di interfaccia seriale RS232 per il PC e relativo software;
- 3) un quadro elettrico in lamiera verniciata atto a contenere l'acquisitore dati e 2 batterie (con dimensioni simili a quelle di una automobile) a bassa autoscarica. All'interno del quadro è inserito anche un timer in grado di elevare l'autonomia della misura dai 3 ai 6 mesi. Con il timer la misura avverrà dando alimentazione alla sonda un numero x di volte al giorno;
- 4) un collegamento telefonico con modem per l'invio dei dati a distanza.

La strumentazione è facilmente installabile, richiede solo un controllo periodico del funzionamento, ed ha un display di visualizzazione dei valori istantanei.

È possibile programmare le frequenze di rilevazione a secondo della problematica esistente, nel caso di affiancamento di indagini conoscitive sugli acquiferi, ed in funzione dei tempi di scarico periodico dei dati.

Sistemi più organizzati prevedono il collegamento alla rete elettrica e l'utilizzo di collegamento remoto di tipo telefonico per l'acquisizione dei dati ed il telecontrollo.

4.1.1.1 I pozzi esistenti

In Umbria gran parte delle situazioni idrogeologiche quantitativamente più interessanti sono sfruttate a fini idropotabili. Ciò rende disponibile una serie di punti di

osservazione preferenziale gestiti dalle aziende acquedottistiche o da enti locali con acquedotti autonomi.

È più facile in questi casi attivare protocolli di accordo per l'installazione di stazioni di monitoraggio su pozzi rappresentativi, protocolli che possono garantire la protezione nel tempo della strumentazione ed anche una manutenzione ordinaria.

La scelta dei pozzi deve avvenire dopo che si disponga di tutte le informazioni idrogeologiche dell'area prescelta, in modo da poter avere il quadro esatto del sistema monitorato, assicurandosi che le misure nel pozzo prescelto siano effettivamente rappresentative dell'intera porzione di acquifero prescelta.

I criteri di scelta del pozzo sono i seguenti:

- 1) deve essere chiaro l'intervallo o l'acquifero monitorabile;
- 2) non deve essere perturbato da effetti localizzati (pozzi di prelievo molto vicini);
- 3) deve avere buone caratteristiche costruttive e possibilità di allocazione della sonda di misura.

Per gli acquiferi carbonatici e vulcanici i sistemi di rilevazione dei livelli di falda in automatico sono da mettere in opera in tutti i pozzi esistenti che lo consentano.

Il sistema di rilevazione in continuo dei dati freatici farà riferimento allo stesso sistema di archiviazione specifico delle sorgenti, distinto dal Database qualitativo.

Sarà necessario archiviare in prima battuta i dati anagrafici e caratteristici dei pozzi prescelti, analogamente ai pozzi del reticolo quali-quantitativo, per poi inserire tutti i valori immagazzinati nel Data-logger.

Il database dovrà inoltre contenere campi per l'immissione dei dati meteorologici delle stazioni termopluviometriche di riferimento, delle registrazioni idrometriche delle portate di corsi d'acqua collegati all'acquifero monitorato, nonché un collegamento con i dati delle sorgenti strumentate in automatico e facenti parte dello stesso sistema idrogeologico (caso dei pozzi nei calcari).

4.1.1.2 I pozzi e piezometri nuovi

In sistemi multifalda e frequente il caso che i pozzi esistenti non siano appropriati per l'osservazione delle differenti falde, così come possono venire meno le condizioni di base per la scelta di un punto di misura in una situazione di interesse regionale.

Benché l'esecuzione di nuovi punti di osservazione quantitativa sia più semplice di quella dei parametri chimico-fisici, visto che non richiede azioni complementari, non sempre è facile e possibile realizzare nuovi pozzi o piezometri nel sito ottimale: i problemi principali sono legati all'esecuzione di manufatti di protezione della strumentazione ed alla verifica periodica e manutenzione della stazione.

L'esproprio del terreno dove si esegue il nuovo punto di osservazione potrebbe risolvere questi problemi. L'esperienza finora acquisita mostra che nuovi piezometri autorizzati dai proprietari dei terreni vengono con il tempo ugualmente resi inagibili per tutta una serie di cause: da danni accidentali a variazioni di destinazione d'uso dello spazio circostante (in Conca Ternana, di 22 piezometri

realizzati nel 1988 dalla ASM a seguito di un evento inquinante, nel 1993 ne restavano appena la metà ancora accessibili).

Progettare nuovi punti di osservazione significa quindi da un lato ottimizzare le condizioni di rilevazione dati (come l'osservazione di sistemi multifalda o la scelta di siti ottimali) e dall'altro assicurare continuità e durata nel tempo del punto di misura e delle misure.

I costi di questo tipo di intervento vanno programmati quando si siano chiaramente definite le situazioni da monitorare e progettato il tipo di punto di osservazione.

4.2 MISURE QUALI-QUANTITATIVE

4.2.1 L'esperienza dell'Umbria

In Umbria il monitoraggio quali quantitativo in continuo è stato realizzato per le sorgenti.

Quando si tratta di definire il contesto idrogeologico di acquiferi in sistemi montuosi, quali rilievi calcarei o strutture vulcaniche, ci si trova generalmente di fronte a dati scarsamenti significativi e limitati. Le stesse emergenze sorgentizie, punto di recapito della falda, sono raramente sottoposte ad osservazione sistematica quantomeno delle portate effluenti. Spesso esistono sezioni di misura con stramazzi, più raramente sistemi di registrazione dei livelli (e delle portate), ma nella maggior parte dei casi i valori deducibili si riferiscono alle portate adottate dagli acquedotti o comunque a portate parziali in particolari condizioni idrologiche (ad esempio sfioro di morbida, inondazione del punto di misura, ecc.) o idrogeologiche (portate dell'emergenza principale).

La ristrutturazione delle sorgenti e l'adeguamento dei sistemi di misura e registrazione dati è elemento indispensabile non solo per la gestione delle captazioni ma anche per la salvaguardia del patrimonio idrico, in quanto solo con dati significativi si possono prevenire eccessi di sfruttamento o delimitare le aree di salvaguardia e di alimentazione attraverso le quali possono intervenire fenomeni di contaminazione delle acque.

Nel progetto regionale è prevista la strumentazione di una serie di sorgenti attraverso sensori ed altre apparecchiature capaci di registrare parametri e calcolare le loro portate naturali, la temperatura e la conducibilità, con lo scopo principale di ottenere informazioni sui deflussi delle acque sotterranee e di ricostruire i loro circuiti di alimentazione. Per attuare tale iniziativa sono stati stipulati degli accordi di programma ai sensi della legge 142/90 con i soggetti gestori delle sorgenti, tutte utilizzate ai fini potabili, dando loro il compito di provvedere alla progettazione, all'acquisto, alla installazione ed alla manutenzione della strumentazione prevista e degli interventi necessari allo loro posa in opera. Le specifiche tecniche dettate dalla Regione hanno riguardato la necessità di dotare le sorgenti in questione di un sistema di misurazione con un errore al massimo del 5% e munite di un sistema di registrazione e memorizzazione dei dati attraverso data manager con uscita in file ASCII leggibili su carta magnetica o con seriale PS232, e trasmissibili

anche via modem e comunque esportabili in ambiente Windows.

L'accordo di programma con gli enti gestori delle sorgenti prevede che queste ultime si incarichino della manutenzione e del buon funzionamento delle stazioni di misura che sono poste all'interno delle opere di captazione o comunque nel perimetro di tutela assoluta della sorgente.

Ciò dovrebbe garantire nel tempo il loro funzionamento e l'acquisizione di serie continue di dati: a ciò si associa l'interesse degli stessi enti per i dati forniti nonché l'obbligo normativo, garantendo un'attenzione che va ben al di là dei tre anni di progetto e degli accordi firmati.

Gli enti sono inoltre dotati di tecnici generalmente in grado di effettuare la normale manutenzione della strumentazione, fatta eccezione per l'aspetto informatico (modifiche delle configurazioni e dei collegamenti).

Nella realtà si è rivelato necessario organizzare un lavoro di messa a punto delle stazioni mediante contratti con ditte private e appoggio da parte di tecnici ARPA, con questi ultimi che assicurano una regolare manutenzione ordinaria, in quanto più aziende non hanno rispettato il livello di impegno previsto.

Sulla base dei dati disponibili sono state individuate a livello di progetto esecutivo le sorgenti con portate medie annue superiori a 40 L/s. La maggior parte di queste sono utilizzate per approvvigionamento civile. L'impostazione del lavoro di strumentazione ha previsto il coinvolgimento degli enti gestori sia nella fase progettuale che realizzativa e di manutenzione.

Il problema principale riguarda la strumentazione di sorgenti non captate o gestite da Enti: oltre alla mancanza di una figura responsabile della realizzazione delle opere e successivamente della manutenzione della strumentazione installata, si devono fare i conti con difficoltà notevoli sia di accesso che di realizzazione di infrastrutture di collocamento e protezione delle apparecchiature, di conduzione della linea elettrica e telefonica (laddove non si capta il segnale della telefonia mobile) oppure dell'installazione di centraline fotovoltaiche. Ulteriori difficoltà si hanno laddove esistono dispute sulla destinazione ed uso della risorsa con contrasti latenti tra enti o tra enti e cittadini.

Si possono elencare alcuni problemi più o meno seri ed importanti che si sono evidenziati nel corso della realizzazione e gestione delle stazioni remote:

- 1) Problemi di natura elettrica, probabilmente dovuti a sovratensioni o disturbi elettromagnetici. Esistono dei filtri sui segnali che adattati possono risolvere il problema, in alcuni casi è necessario verificare gli effetti indotti da tensioni elevate presenti in linea.
- 2) Problemi collegati ad interruzioni temporanee di corrente, che comportano, oltre alla perdita di dati, la riattivazione della strumentazione con misure che non devono mediare il valore zero e l'induzione di misure "disturbate" per le quali è necessario approfondire la verifica delle cause.
- 3) Verifica della taratura dei sensori installati e delle even-

tuali derive. Il monitoraggio discreto dovrebbe permettere una prima valutazione di queste problematiche. Ad esso si possono associare controlli e tarature più frequenti per minimizzare gli errori di misura.

- 4) Lentezza nella trasmissione dati all'unità remota. Attualmente le linee telefoniche esistenti nelle zone delle sorgenti consentono una trasmissione con baud rate a 4800 o 9600: l'acquisizione dati via modem ha velocità basse in particolare per le sorgenti dotate di telefoni cellulari, richiedendo tempi lunghi e costi elevati per lo scaricamento dei valori archiviati.

La scelta delle aziende acquedottistiche quanto alle strumentazioni disponibili è ricaduta su strumentazione fornita da società aventi ampia esperienza nel settore.

Una scelta tecnica a priori è basata sulla necessità di omogeneizzare per quanto possibile la tipologia dei componenti necessari per le misure nelle sorgenti, in particolare è necessario avere lo stesso tipo di acquirente/memorizzatore dati per non trovarsi di fronte a configurazioni variabili che richiedono approcci diversificati ogni qualvolta si devono scaricare i dati, modificare alcuni parametri o intervenire per manutenzione e riparazioni.

Elemento comune a tutte le sorgenti è quindi il sistema di acquisizione dati, in grado di registrare sia segnali analogici (4 canali) che impulsivi (altri 4 canali digitali) oltre ad avere 4 canali matematici in grado di fornire valori derivati, che è dotato di 3 diverse modalità di lettura (direttamente da PC, tramite interfaccia RS232 e mediante trasmissione su linea telefonica) a cui si associa un software specifico per la gestione da PC tanto delle configurazioni che dei dati. La memory card è di tipo circolare con capacità di 1 Mb.

Le misure di portata sono sviluppate sia in sezioni aperte che su condotte in pressione: nel primo caso sono utilizzate sonde ad ultrasuoni ad uscita analogica con centralina di controllo a microprocessore programmabile, in grado di trasformare la lettura del livello in valore di portata mediante l'assegnazione della curva altezza-portata memorizzabile: precisione della misura di livello <0,5 mm su range 0-300 mm e precisione misura di portata 3% del valore istantaneo.

La strumentazione in continuo delle sorgenti è stata programmata per una registrazione con cadenza oraria delle portate. Vengono registrati il valore medio orario del segnale continuo ed i valori minimo e massimo avutisi con il relativo momento in cui si sono registrati.

Questo permette in fase di analisi dei dati di poter filtrare eventuali anomalie dovute per esempio ad interruzione prolungata di elettricità. Sono disponibili comunque dei filtri da programma che permettono di eliminare anomalie di segnale istantanee o molto brevi (interferenze).

Misure di conducibilità elettrica (e di temperatura) sono effettuate con un sensore ad immersione collegato ad apposito trasmettitore (In genere si è usato un trasmettitore con cella di misura e range 0-2.000 microS).

Altra strumentazione, utilizzata, corrisponde a misuratori di livello con sonde capacitave a fune, gruppo di alimentazione con pannelli fotovoltaici, sonde torbidimetriche, gruppi di continuità e riarmo automatico.

Punto fondamentale nel processo di monitoraggio in continuo è la salvaguardia in ogni condizione della continuità dei dati ed il loro immagazzinamento in database specifici.

I dati devono essere immagazzinati in prima istanza sul luogo stesso di misura per un periodo sufficiente alla loro raccolta, il supporto prescelto deve essere sicuro e quanto più omogeneo per tutte le stazioni in modo da garantire la massima semplificazione dei collegamenti e della manutenzione.

La trasmissione dei dati su linea telefonica avviene tramite modem collegato alla linea telefonica (rete fissa o telefonia mobile secondo le situazioni) attraverso un software specifico installato nella centralina di acquisizione dati e nel computer in uso.

Il software permette di configurare sia la stazione che il collegamento. Nel primo caso vengono definiti i canali analogici, matematici e digitali attivati, viene impostato l'intervallo di acquisizione dati ed inserite la data e l'ora: nel secondo si procede a configurare il modem, adeguando la velocità di trasmissione al tipo di linea telefonica presente, modificando le impostazioni in modo da minimizzare gli errori e le interruzioni di trasmissione.

La configurazione base può essere esportata ad altri utenti (azienda acquedottistica) o modificata a distanza.

Il sistema permette di rilevare e registrare eventuali anomalie che si verificano nel tempo, quali interruzioni di alimentazione, variazioni repentine di alcuni valori, superamento di soglie. Su questi parametri possono essere impostati fino a 10 allarmi che, in automatico, inviano chiamate ai numeri telefonici specificati, con possibilità di programmare gli intervalli di avviso in caso di non risposta.

4.2.2 L'esperienza della Liguria

In Liguria il sistema di monitoraggio dei parametri di falda per il bacino del Bisagno relativamente al Progetto PRISMAS, è costituito da due stazioni di monitoraggio nelle quali vengono alloggiati strumenti, per la misura del livello e della portata emunta e in una delle due per la misura e l'analisi della qualità dell'acqua di falda nei seguenti siti:

- 1) piazza Paolo da Novi: la presenza di un pozzo spia dell'acquedotto consente una misura del livello della falda piuttosto accurata e una continuità storica dei dati già rilevati in passato;
- 2) piazza Giusti: per questo sito, è ovvio l'interesse del controllo in tempo reale della qualità dell'acqua di falda nel punto in cui viene sfruttato come risorsa idropotabile, a servizio di una parte della città.

Nel sito dei pozzi presso piazza Giusti afferiscono le linee di prelievo di 6 pozzi circostanti che alimentano l'acquedotto cittadino; quando il sollevamento degli stessi è in funzione, la stazione di monitoraggio esegue un prelievo sequenziale e una conseguente misura. Nei periodi di inattività, la stazione provvede all'adduzione dell'acqua del pozzo più prossimo all'impianto; il tutto mediante gestione automatica.

Il campione da analizzare viene prelevato dall'acqui-

fero attraverso un sistema di pompaggio e di smistamento delle 6 linee, attivato automaticamente dal processore di stazione, il quale provvede anche alla gestione del programma di monitoraggio (frequenza di campionamento e di analisi), alla registrazione dei dati sull'archivio locale e all'invio dei dati, opportunamente elaborati, al Centro Operativo.

Analogo discorso, naturalmente riferito all'installazione di un'unica strumentazione in monitoraggio continuo su un unico pozzo, vale per il sito di via Trebisonda.

Il sistema è composto da una stazione periferica intelligente per l'analisi in continuo delle acque. Le operazioni di prelievo del campione per l'analisi, le elaborazioni delle misure e i cicli di autopulizia sono controllate esclusivamente dal sistema informatico di periferica. La stazione è configurata per i parametri riportati nella tabella 12.

Il Micro-Processore calcola su base programmabile i valori minimo, medio e massimo dei parametri. Le elaborazioni eseguite sono registrate localmente su una stampante da pannello.

Il programma consente di acquisire i dati che vengono memorizzati su memorie statiche.

L'alimentazione è tamponata a 12 V per consentire la comunicazione tra l'unità periferica ed il Centro, anche in caso di mancanza di energia di alimentazione di rete.

Le parti elettromeccaniche ed elettroniche sono contenute in un armadio d'acciaio con porta a giorno.

Le apparecchiature elettroniche di governo della periferica del sistema sono dotate di elettronica intelligente, con propri programmi di gestione dei segnali e delle misure presenti ed in grado di comunicare con un eventuale centro. I programmi residenti sulla periferica consentono di gestire il sistema localmente per quanto riguarda il funzionamento di eventuali comandi che per i parametri di controllo.

La centralina periferica di monitoraggio svolgerà le seguenti funzioni:

- 1) ricevere in continuo le misure dei parametri collegati;
- 2) gestire i cicli di prelievo di campionamento;
- 3) effettuare un ciclo di elaborazione locale mantenendo in memoria tutti i valori di questi segnali, aggiornamenti ad ogni nuova interrogazione: a seconda del tipo di misura, il valore da mantenere in memoria potrà essere il minimo, massimo e medio a partire dall'ultima chiusura mediale;

- 4) effettuare un ciclo di elaborazione locale attraverso il quale realizzare una serie di controlli automatici che verranno attuati attraverso le uscite digitali di comando delle apparecchiature;
- 5) è possibile caricare da postazione locale la configurazione dell'intero sistema della centralina. Ciò consente di modificare non solo le variabili di funzionamento ma anche i programmi esecutivi;
- 6) inviare comandi di avviamento, stacco pompa, comando di valvole, cicli di autopulizia, attivazione segnali e di quanto altro richiesto dalla tipologia di ogni singola stazione;
- 7) al verificarsi di situazioni anomale o previste dai programmi, l'unità di controllo sarà in grado di chiamare la centrale per trasmettere la situazione di allarme verificatosi;
- 8) ricevere la chiamata dal calcolatore centrale attraverso il modulo di collegamento; inviargli i valori di tutte le misure e controlli mantenute in memoria;
- 9) gestire gli allarmi derivati dallo scatto termico di apparecchiature controllate o dal raggiungimento di soglie prefissate per tutte le misure analogiche. Il sistema di gestione allarmi sarà in grado di individuare il malfunzionamento della stessa centralina di monitoraggio;
- 10) effettuare la calibrazione degli strumenti.

In seguito al verificarsi di un allarme, e dopo averlo riconosciuto, il sistema effettuerà le seguenti operazioni:

- a) attivazione di eventuali comandi automatici previsti in seguito al verificarsi del specifico allarme;
- b) possibilità di disattivare (e riattivare) gli automatismi per consentire interventi manuali sia in locale che dal centro operativo; il funzionamento sarà garantito anche in caso di interruzione dell'alimentazione dell'energia elettrica attraverso la batteria tampone.

Il campionatore automatico è un dispositivo atto al prelievo dei campioni d'acqua e alla loro conservazione entro contenitori refrigerati della capacità di 2 litri. Ciò consente una successiva analisi in laboratorio.

I campioni vengono prelevati secondo una temporizzazione scelta dall'utente o conseguente ad una rilevazione di anomalia di qualunque dei parametri controllati.

Il campionatore è costituito da una cella frigorifera termostata, da un gruppo di 13 elettrovalvole e da 12 contenitori (bottiglie) da 2 litri cadauno.

Tabella 12: Caratteristiche parametriche della stazione automatica in Liguria

PARAMETRO	SIMBOLO	CAMPO DI LETTURA	RISOLUZIONE
Livello di falda	Lf	10 m	0.01 m
Temperatura H ₂ O	Tw	-5 + 50	0.1 C
pH	pH	0.0 + 14.0	0.01 pH
Redox	Rx	-1999 + 1999	1 mV
Conducibilità	µS	0.0 + 1999	1 µS
2 ulteriori ingressi configurabili			

5. Piano di controllo ed assicurazione di qualità

L'insieme delle attività finalizzate alla validazione delle procedure e alla revisione dell'affidabilità dei risultati dopo che sono stati prodotti viene definita come "assicurazione di qualità" e "controllo di qualità" (QA/QC).

L'assicurazione di qualità (QA) è una funzione gestionale basata sulla definizione di protocolli di controllo di qualità, sulla valutazione e documentazione dei relativi risultati.

Per controllo di qualità (QC) si intendono le procedure tecniche ed operative che indagano e confermano una appropriata conduzione delle attività di campo, di trasporto campioni e di determinazioni di laboratorio necessarie per assicurare l'accuratezza e la precisione dei dati.

Al fine di garantire una affidabilità e comparabilità dei risultati, appare di importanza determinante attuare un Piano di Assicurazione di Qualità (QAP), con il diverso dettaglio a seconda della tipologia di indagine, per i risvolti legali, amministrativi ed economici che può avere il risultato delle misure sulle successive decisioni.

Gli obiettivi di qualità dei dati, attività basata su presupposti scientifici e finalizzata alla identificazione di tipo, qualità e quantità di dati necessari per affrontare un problema, sono ritenuti la parte più importante del QAP ed essi vengono espressi dai seguenti elementi quantitativi (a) o qualitativi (b):

- 1) Limiti di detezione del metodo (a): più piccola concentrazione di una sostanza che può essere misurata in modo affidabile.
- 2) Accuratezza (a): differenza tra il valore misurato e quello reale, evidenziando perciò la presenza di errori sistematici.
- 3) Precisione (a): variabilità dei risultati che si ottiene con diverse misure ripetute sullo stesso campione.
- 4) Completezza (a): misura dell'ammontare dei dati validi ottenuti rispetto a quelli che sono necessari per raggiungere gli obiettivi previsti.
- 5) Rappresentatività (b): affidabilità con la quale i dati misurati rappresentano il sistema osservato.
- 6) Comparabilità (b): affidabilità con la quale i dati prodotti possono essere paragonati a dati dello stesso tipo.

Alcuni di questi aspetti sono stati operativamente considerati nell'area di studio.

5.1 LE ESPERIENZE DELL'UMBRIA

In Umbria sono stati osservati gli aspetti relativi all'Assicurazione di Qualità illustrati nei paragrafi seguenti.

5.1.1 Catena di custodia

I campioni, conservati nella cella frigorifera del laboratorio chimico di Perugia, sono prelevati dalla cella il giorno successivo al prelievo, registrati e sottoposti ad analisi.

Le varie aliquote che compongono ogni campione sono

suddivise ed affidate al personale tecnico che eseguirà l'analisi nella modalità di seguito riportata:

- 1) Aliquota in bottiglia di PET da 250 ml: è utilizzata dai tecnici dello SMA-Plus e dell'assorbimento atomico per eseguire la determinazione degli anioni entro le 24 ore successive al prelievo e la determinazione dei cationi entro le 48 ore.
- 2) Aliquota in beuta da 100 ml in vetro con tappo a smeriglio: è utilizzata per determinare il TOC e l'analisi è eseguita nel giro di 24-48 ore.
- 3) Aliquota in vial da 100 ml: è utilizzata per determinare la concentrazione degli organoalogenati volatili ed è eseguita entro le 24 ore successive.
- 4) Cartuccia per i fenoli (ENV+) può essere eluita entro 7 giorni dal prelievo se conservata alla temperatura di 4 °C.
- 5) Cartuccia per i pesticidi (C8/ENV+) può essere eluita entro 7 giorni dal prelievo se conservata alla temperatura di 4 °C (riferimenti bibliografici riportano che la stabilità dei principi attivi adsorbiti nelle colonnine SPE sono garantiti fino a 30 giorni se conservate a 4 °C).

Per quanto riguarda il laboratorio chimico di Terni, i campioni per le analisi specifiche affidate sono costituiti ciascuno da una bottiglia in polietilene (PET) da 100 ml per F e Br, una da 500 ml in PET per metalli e due colonnine una PAH e una TPH fornite dalla StepBio per IPA ed oli minerali.

Le bottiglie da 100 ml e le colonnine sono messe in frigorifero a 4 gradi e man mano prelevate per essere analizzate.

Le bottiglie da 500 ml sono conservate a temperatura ambiente.

5.1.2 Esecuzione dell'analisi e calibrazione degli strumenti

5.1.2.1 Anioni

Per quanto riguarda questo gruppo di analiti i controlli di qualità sono giornalieri, infatti le curve di taratura per ogni canale, sono costruite tutti i giorni che viene utilizzato lo strumento. Questi standard vengono preparati con cadenza quindicinale da soluzioni madri concentrate preparate da sali puri.

Per una effettiva valutazione dell'efficienza strumentale insieme ai campioni sono analizzati degli standard di qualità e dei bianchi campione.

5.1.2.2 Cationi

In queste analisi i controlli di qualità interessano sia la parte analitica che la parte preparativa.

Parte analitica – Lo strumento viene tarato all'inizio di ogni serie di analisi; gli standard vengono preparati semestralmente da fiale concentrate da 1000 ppm Merck o Carlo Erba. Le diluizioni sono invece preparate mensilmente e controllate con standard certificati Altech. Nel corso dell'analisi ogni due campioni viene riletto lo standard come campione in modo da avere una valutazione dell'efficienza strumentale.

Parte preparativa – La vetreria viene lavata

separatamente e trattata con HNO_3 , i contenitori per i prelievi devono essere o di Pet o di policarbonato opportunamente lavati e trattati con acido nitrico.

5.1.2.3 TOC

Per questa tecnica analitica i punti critici per assicurare una buona qualità del risultato sono: l'analisi ed il lavaggio vetreria.

Analisi – In questa fase è fondamentale che l'acqua distillata usata per la preparazione degli standard sia ultrapura cioè con una concentrazione di carbonio il più possibile bassa. Lo standard concentrato è preparato dal sale puro mensilmente, mentre gli standard diluiti usati per la valutazione dell'efficienza strumentale hanno una stabilità di una settimana. Questi vengono preparati con concentrazioni nell'intervallo in cui si prevede siano i campioni e si analizzano con ogni serie di campioni, controllando ogni volta l'acqua distillata con cui vengono preparati

Lavaggio vetreria – Questa è una fase particolarmente delicata, e si esegue con acido solforico (forte ossidante) ed un accurato risciacquo con acqua e acqua distillata. È sconsigliabile usare solventi e detergenti che possono dare forti contaminazioni; se usati è comunque indispensabile rilavare con acido solforico ed acqua distillata.

5.1.2.4 Pesticidi

In questa determinazione i requisiti del controllo di qualità interessano sia la tecnica di concentrazione SPE che l'analisi gas cromatografica.

Controllo di basso rilascio di colonne SPE – inizialmente si deve controllare che le colonnine SPE utilizzate non siano fonte di contaminazione che può interferire con la determinazione di qualche analita. Altre contaminazioni possono derivare da solventi, reattivi e vetreria. La contaminazione base è ridotta al minimo ed è verificata attraverso analisi regolari su bianchi, bianchi fortificati (inquinati artificialmente).

Valutazione della riproducibilità del metodo – Si confezionano 5 bianchi inquinati in laboratorio con le soluzioni standard che contengono tutti gli analiti in esame in modo che si abbia una concentrazione da 0.05 a 1 $\mu\text{g/L}$ e si controllano i recuperi relativi ad ogni analita per stimare l'efficienza del metodo di concentrazione del campione.

Valutazione dell'efficienza strumentale – All'inizio ed alla fine di ogni gruppo di campioni si analizzano al gascromatografo ECD ed NPD le quattro miscele standard in cui sono suddivisi i 34 analiti ricercati.

5.1.2.5 Composti organoalogenati volatili (VOC)

In questa determinazione è molto importante escludere qualunque contaminazione ambientale.

È perciò necessario curare in modo appropriato il lavaggio e la preparazione della vetreria, evitando l'uso di detergenti e solventi che possono contaminare i recipienti utilizzati.

Prima dell'analisi di ogni gruppo di campioni deve

essere analizzato un bianco per escludere contaminazioni ambientali e strumentali, ed una serie di standard a varie concentrazioni (0 - 2 - 6 - 10 - 20 $\mu\text{g/L}$) preparate per diluizione dalle soluzioni madri commerciali certificate HP; è così possibile costruire una curva di calibrazione per ciascun componente la miscela e con essa calcolare le concentrazioni degli analiti presenti nei campioni.

Valutazione dell'efficienza strumentale – Si preparano almeno due soluzioni standard con uguale concentrazione e si iniettano entrambe nelle stesse condizioni gascromatografiche. Se si ottiene una risposta strumentale riproducibile si possono escludere errori nella tecnica di introduzione o alterazioni nella sensibilità strumentale.

5.1.2.6 Fenoli

In questa determinazione, come per i pesticidi il controllo di qualità riguarda sia la concentrazione con SPE, che l'analisi spettrofotometrica.

Controllo di basso rilascio di colonne SPE – la procedura è analoga a quella adottata nei pesticidi.

Valutazione della riproducibilità del metodo – si preparano degli standard con concentrazione di 0,0005 mg/l e si trattano come campioni fino alla fine dell'analisi, si valuta quindi il recupero per ciascuno di essi.

Valutazione dell'efficienza strumentale – all'inizio di ogni serie di campioni vengono analizzati 3 standard e bianchi campione, che sono poi ripetuti nel corso dell'analisi ed alla fine della serie di campioni.

Per F e Br vengono costituite curve di calibrazione con 6 soluzioni a titolo noto preparate di fresco da sostanze madri 0 - 0,05 - 0,1 - 0,5 - 1 - 2 mg/L.

Durante le analisi alcune di queste vengono iniettate per controllo qualità.

5.1.2.7 Oli minerali

Sono state effettuate prove di recupero con soluzioni concentrate pari a 13 $\mu\text{g/l}$ con recupero del 100%.

5.1.2.8 IPA

Sono state effettuate prove di recupero con una miscela di 16 componenti previsti dal DLgs 152/99 con recupero medio del 92%.

5.1.2.9 Metalli

Si esegue una valutazione strumentale come da manuale dell'apparecchio poi per ogni elemento si preparano da soluzioni concentrate 3 standard adeguati.

5.2 LE ESPERIENZE DEL PIEMONTE

All'avvio delle campagne di rilevamento delle caratteristiche chimico-fisiche degli acquiferi piemontesi, che si ricorda sono state effettuate in tutto il territorio di pianura della regione su circa 700 punti di monitoraggio, si è ritenuto di dover fare effettuare i rilevamenti necessari a tutti i nove dipartimenti ARPA piemontesi ciascuno sui punti di propria competenza territoriale; questo sia perché, ad oggi, non esiste, a livello regionale, un laboratorio pubblico specializzato in analisi idrogeochimiche, ma

anche allo scopo di assicurare un omogeneo grado di ai tecnici che operano sul territorio.

Al fine di garantire la piena confrontabilità dei risultati analitici si è ritenuto di dover effettuare una campagna di intercalibrazione tra i laboratori partecipanti affidandone l'organizzazione al Dipartimento di Chimica Analitica dell'Università di Torino. Il programma è stato diviso in due fasi, per non incidere eccessivamente sull'ordinaria attività dei laboratori dipartimentali, da effettuarsi in corrispondenza delle prime due campagne di monitoraggio.

Nella prima fase si sono presi in esame le determinazioni analitiche del dosaggio dei metalli pesanti in soluzione, rimandando alla successiva campagna la verifica dell'attendibilità delle determinazioni dei composti organici (in particolare idrocarburi e fitofarmaci). Di seguito vengono presentati i risultati della prima fase in quanto, per ragioni contingenti la seconda fase è ancora in corso.

5.2.1 Materiale da analizzare

Ad ogni laboratorio vengono forniti due campioni a due diverse composizioni. Ogni campione è costituito da due bottiglie del volume di circa 100 ml contenenti ognuno sette metalli in soluzione. I metalli presi in considerazione sono: cadmio, cromo, manganese, nichel, piombo, rame, zinco. Le soluzioni fornite ad ogni laboratorio sono state preparate presso il Dipartimento di Chimica Analitica mediante opportune diluizioni di soluzioni standard certificate, della ditta Merck e precisamente:

- Cadmio nitrato 999 \pm 2 mg/L, in ac. nitrico 0.5 M,
- Cromo nitrato 1001 \pm 2 mg/L, in ac. nitrico 0.5 M,
- Manganese nitrato 1000 \pm 2 mg/L, in ac. nitrico 0.5 M,
- Nichel nitrato 1001 \pm 2 mg/L, in ac. nitrico 0.5 M,
- Piombo nitrato 999 \pm 2 mg/L, in ac. nitrico 0.5 M,
- Rame nitrato 1000 \pm 2 mg/L, in ac. nitrico 0.5 M,
- Zinco nitrato 1002 \pm 2 mg/L, in ac. nitrico 0.5 M.

Le soluzioni da analizzare sono in soluzione acida allo 0,2 % (V/V) per acido nitrico Fluka Trace Selected per analisi.

Vengono utilizzati contenitori in vetro previamente condizionati con soluzione acida al 10% (V/V) per acido nitrico e risciacquate con acqua distillata ioloca (UHQ).

Le soluzioni sono stabili e possono essere conservate a temperatura ambiente, ma è raccomandabile analizzarle quanto prima.

Viene inoltre consegnata assieme ai campioni una bottiglia da 100 ml contenente il bianco (acido nitrico 0,2% (V/V)).

5.2.2 Procedimenti analitici

Ogni laboratorio dosa i metalli in soluzione mediante il procedimento analitico generalmente utilizzato nelle analisi di routine. Ogni laboratorio segnala, per ogni metallo e per ognuna delle concentrazioni, il procedimento analitico utilizzato, corredando l'informazione con i riferimenti bibliografici che ritiene opportuni.

5.2.3 Risultati

Ogni laboratorio fornisce, per ogni metallo e per ogni

concentrazione, tre dati indipendenti e paralleli. Ciò significa che, a partire dalla soluzioni ricevute, ogni valore fornito deve essere ottenuto effettuando, su porzioni del campione, tutte le operazioni previste dal procedimento di analisi. I risultati devono essere espressi in mg/L con il numero di cifre significative che ogni laboratorio ritiene adeguato.

5.2.4 Trattamento dei dati

Il valore di riferimento della concentrazione di ogni metallo in soluzione viene calcolato a partire dal valore certificato dello standard tenendo conto delle diluizioni. Per ogni metallo vengono inoltre calcolati i valori medi campionari per le due concentrazioni. Si dispone di circa trenta dati per ognuna delle due concentrazioni di ogni metallo. L'elevato numero di dati rende il campione idoneo a un'elaborazione statistica adeguata.

5.2.5 Studio qualitativo dei dati campionari

In un primo tempo si procede ad un'analisi qualitativa dei dati mediante tecniche EDA (Exploratory Data Analysis) per mettere in evidenza la distribuzione campionaria. È così possibile avanzare congetture sulla legge di distribuzione delle popolazioni madri. Di conseguenza, si può decidere quali ulteriori tecniche statistiche usare (parametriche o non parametriche) e valutare se sia il caso di procedere ad un'opportuna trasformazione dei dati. È nel corso di questo intervento che si può evidenziare la presenza di eventuali dati anomali.

5.2.6 Studio quantitativo dei dati campionari

In un primo tempo si prendono in considerazione i dati che, in base allo studio qualitativo, possono essere ritenuti anomali.

A questi si applicano opportuni test di ipotesi per valutarne l'accettabilità o meno. Il livello di significatività del test è del 5% ($P = 0,95$; $\alpha = 0,05$). Come valore della deviazione standard si utilizza la stima campionaria.

Vengono scartati i dati che, in base ai test, possono essere ritenuti anomali e, con i dati rimanenti, sono calcolate nuove stime della media e della varianza campionarie.

Si procede in seguito ad un confronto di medie mediante l'analisi della varianza (ANOVA) con un livello di significatività del 5% ($P = 0,95$; $\alpha = 0,05$). Tale confronto serve per stabilire se esistono differenze significative tra i valori forniti dai laboratori. Questi sono indicati in modo anonimo con apposite sigle.

Nel caso in cui si debba ammettere l'esistenza di una qualche disomogeneità tra i vari laboratori, si procederà ad ulteriori analisi statistiche ricorrendo a confronti multipli mediante i test di Tukey o di S-K-N (Student - Newman - Keuls). Inoltre si cercherà di evidenziare la presenza di effetti di interazione laboratorio-metallo mediante un'analisi della varianza a blocchi.

Nel caso in cui venga evidenziata una differenza significativa tra il valore di riferimento ed il valore medio stimato mediante i dati campionari, si procederà a confronti mediante il test t.

Riferimenti bibliografici

- Aller L., Bennet T. W., Hackett G., Petty R.J., Lehr J.H., Sedoris H., Nielsen D.M. (1989)
Handbook of Suggested Practices for the Design and Installation of Ground-Water Monitoring Wells, National Water Well Association, Dublin, Ohio.
- APHA-AWWA-WPCF (1989)
Standard methods for the examination of water and wastewater. 17ª edizione.
- ASTM (1987)
Test Method for Determining Subsurface Liquid Levels in a Borehole or Monitoring Well (Observation well). ASTM D-4750, Philadelphia, Pennsylvania.
- Istituto Superiore di Sanità (2000)
Metodi analitici per le acque destinate al consumo umano. Rapporto ISTISAN 00/11 Pt. 1. ISSN 1123-3117.
- International Organization of Standardization (1993)
Water quality - Sampling - Part 11: Guidance on sampling of groundwaters. ISO 5667-11.
- IRSA (1994)
Metodi analitici per le acque. Quad. IRSA n. 100, Ist. Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- National Water Well Association (1986)
RCRA Ground Water Monitoring Technical Enforcement Guidance Document. NWWA/EPA Series, Dublin, Ohio.
- Repubblica Italiana (1997)
Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi fisica dei suoli". DM Ministero per le Politiche Agricole del 1 agosto 1997, GU n. 173 del 2 settembre 1997, Roma.
- UNICHIM (1997)
Acque destinate al consumo umano, metodi di campionamento. Manuale n. 157, Milano.
- US Environmental Protection Agency (1979)
Method for Chemical Analysis of Water and Wastes. Environmental Monitoring and Support Laboratory, EPA-600/4-79-020, Cincinnati, OH.

