

# Il sottoprogetto Umbria

## 1. Obiettivi specifici del progetto regionale

Il progetto Umbria ha avuto come scopo specifico l'analisi del comportamento e delle modificazioni nel tempo dei sistemi acquiferi di interesse regionale partendo da una buona conoscenza di base dei sistemi idrogeologici e da reticoli locali eterogenei già attivi. I principali risultati attesi sono stati i seguenti:

- conoscenza delle variazioni delle risorse immagazzinate nelle falde per permettere di stabilire il grado di sfruttamento di un acquifero in relazione alla sua naturale ricarica;
- conoscenza dell'andamento piezometrico degli acquiferi e delle portate delle sorgenti in regime non alimentato in modo da prevedere la quantità di risorse disponibili in periodi di siccità prolungati, anche in relazione a prevedibili variazioni climatiche;
- conoscenza di base per la taratura in tempi brevi di modelli matematici di simulazione per la gestione degli acquiferi;
- definizione dei caratteri chimici delle falde ed individuazione della variabilità delle specie ioniche più rappresentative dei sistemi acquiferi;
- valutazione dell'esistenza di trend modificatori del chimismo e della qualità delle acque per permettere azioni di controllo selezionando le priorità per una tutela della risorsa;
- conoscenza di base per intervenire in caso di inquinamento;
- implementazione di una banca dati sulle acque sotterranee di tipo qualitativo e quantitativo, con rilevamento di dati anche in continuo, da inserire nel Sistema Informativo Regionale Ambientale.

Le conoscenze idrogeologiche ed idrochimiche acquisite dalla Regione negli acquiferi alluvionali sono state alla base della metodologia di individuazione dei reticoli di monitoraggio, quelle sui sistemi fratturati, calcareo e vulcanico, per la realizzazione e valorizzazione dei dati del monitoraggio remoto delle sorgenti.

## 2. La struttura operativa e gli elementi di progetto

Al sottoprogetto PRISMAS Umbria hanno fatto capo i responsabili amministrativo e tecnico del progetto interregionale (in quanto regione capofila) che si sono fatti carico della gestione amministrativa e finanziaria, nonché della supervisione di tutte le fasi e realizzazioni effettuate direttamente o da soggetti incaricati.

La struttura di base messa in opera dalla regione ha previsto un totale di otto operatori:

- 1) un dirigente regionale, responsabile amministrativo del progetto;
- 2) un dirigente regionale, responsabile tecnico del progetto;
- 3) un collaboratore geologo per la gestione del progetto;
- 4) un collaboratore informatico;
- 5) due operatori di terreno per il laboratorio mobile e l'elaborazione dei dati analitici;
- 6) un tecnico esperto in reti di monitoraggio;
- 7) un operatore GIS/cartografia.

A questa struttura operativa di base si sono affiancati i Laboratori provinciali di Epidemiologia e Salute Pubblica (LESP) di Perugia e Terni, attualmente Laboratori ARPA, per l'esecuzione di analisi chimico-fisiche di laboratorio e la validazione dei dati di laboratorio, gli enti gestori ed i comuni concessionari delle sorgenti e dei pozzi monitorati in continuo per la realizzazione e gestione delle stazioni automatiche.

Nel dicembre 1999, l'attività di conduzione del progetto PRISMAS, sia per la parte interregionale che per quella regionale, è stata trasferita all'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale dell'Umbria.

La definizione dei reticoli discreti di monitoraggio ha visto una fase iniziale di acquisizione dei dati dei reticoli locali esistenti e di rielaborazione delle conoscenze idrogeologiche ed idrochimiche dei sistemi. Definite le aree di intervento prioritarie, si è proceduto al completamento delle lacune informative ed all'acquisizione dei dati di tutti i punti di prelievo pubblici, spesso non inseriti per motivi logistici nei reticoli locali.

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), ha previsto una strategia di campionamento che considera ambedue gli aspetti correlati all'uso del suolo. La frequenza di campionamento è quindi legata alle caratteristiche idrauliche e all'importanza dell'acquifero da investigare.

I pacchetti di analisi sono così strutturati:

- 1- *Parametri di campo*: Temperatura, pH, ossigeno disciolto, conducibilità elettrica specifica a 25°, ione bicarbonato, potenziale redox;
  - 2- *Ioni maggiori*: Calcio, magnesio, sodio, potassio, cloruri, solfati, fosfati, ammoniaca, nitrati, nitriti, ferro, manganese ed il TOC;
  - 3- *Ioni minori*: Rame, stronzio, piombo, cromo, zinco, nichel, arsenico, mercurio, cadmio, fluoruri, bromuri;
  - 4- *Composti organici*: Fenoli, idrocarburi, composti organo-alogenati volatili (VOC), IPA;
  - 5- *Pesticidi*: Erbicidi, fungicidi, insetticidi, fitoregolatori;
- I pacchetti 3 e 4 sono connessi all'uso agricolo/industriale/

urbano del suolo con analisi impostate selettivamente; nel primo anno di attivazione dei reticoli si è previsto uno screening globale da ripetersi 2 volte (fasi di morbida e magra), successivamente l'analisi è divenuta annuale in modo selettivo. Il pacchetto 5 è dipendente dall'uso agricolo/zootecnico del suolo ed è impostato come i pacchetti 3 e 4.

Con l'entrata a regime dei reticoli esecutivi (anno 2000) le frequenze analitiche di base sono state assimilate a quelle previste dal recente DLgs. 152/99.

La Regione dell'Umbria ha poi realizzato un piano di strumentazione in continuo delle principali sorgenti appenniniche regionali completando l'installazione di 12 delle stesse nell'ambito del progetto, mentre l'ARPA sta provvedendo all'implementazione di altre 5. Il sistema messo in atto permette l'archiviazione in loco dei dati misurati (portata, conducibilità e temperatura), la loro acquisizione ed il controllo remoto delle stazioni mediante collegamento telefonico.

Le strumentazioni provengono dal campo dell'applicazione industriale e sono stati adattati alle differenti situazioni ambientali. La gestione dei dati è affidata sia a un software commerciale che ad uno specifico che permette visualizzazioni ed elaborazioni specifiche.

### 3. Gli strumenti operativi adottati

La realizzazione del laboratorio mobile per il campionamento delle acque costituisce un momento di importante sviluppo nelle attività di controllo e gestione del territorio da parte della Regione dell'Umbria e dell'ARPA Umbria, in quanto l'utilizzo di tale strumentazione apre nuove possibilità di indagini sulle condizioni ambientali delle acque sotterranee. Notevoli difatti 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 capacità operativa altamente qualificata nel territorio. Le scelte nelle tecnologie degli strumenti e nelle procedure nelle determinazioni analitiche, sia in sito che in laboratorio, hanno guidato le varie opzioni di allestimento del mezzo mobile. Esse rappresentano un'esperienza fruttuosa che contribuisce al Manuale operativo degli standard di progettazione previsto dal progetto.

Poiché nel campionamento dei punti del reticolo di monitoraggio con metodiche tradizionali si rendono necessari consistenti prelievi di campioni d'acqua 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 e delle concentrazioni), quantitativi che rendono impossibile il rispetto delle condizioni di conservazione ed analisi dei campioni (a 4°, determinazioni nel giro di 24-48 ore) a partire dall'allocazione nel frigorifero del laboratorio mobile, si è quindi rea-

lizzata l'installazione nel laboratorio mobile di un concentratore prototipo realizzato ad hoc (GILSON WATER TRACE).

Il database PRISMAS è stato creato partendo da tutte le informazioni raccolte in collaborazione con il Piano Regionale di Risanamento Acque e si avvale quindi di parte della banca dati elaborata, che consiste in files grafici (formato ArcView) ed archivi alfanumerici in formato Microsoft Access.

## 4. La struttura informatica del progetto

### 4.1 IL DATABASE

Il Dbase PRISMAS è stato concepito in maniera progressiva per non restare un semplice database di archiviazione dei dati del progetto. Il suo sviluppo in ambito regionale consente di prevedere passaggi graduali che lo porteranno a diversificare ed ampliare le caratteristiche gestionali del dato.

Prendendo come riferimento il recente DLgs 152/99, nei cui indirizzi si ritrovano gran parte delle metodologie ed attività sviluppate dal Progetto PRISMAS, il DBase è stato recentemente adeguato per comprendere elaborazioni in grado di fornire la classificazione qualitativa delle acque indicata dal Decreto stesso. Per le valutazioni ottenute dall'analisi di più fattori (dati analitici pregressi, assetto idrogeologico delle falde, uso del suolo, vicinanza di impianti inquinanti, etc.) è stato perciò previsto il campo QUALITÀACQUE alla tabella anagrafica principale, che indica la qualità delle acque del singolo punto di prelievo valutata da chi gestisce i dati di progetto.

È stata quindi creata una query che produce una prima classificazione in base al confronto dei valori (parametri di base) e memorizza in una nuova tabella le classi ottenute. I campioni vengono poi controllati per isolare quelli che risultano eccedere nei valori limite dei parametri aggiuntivi (inquinanti) che comportano automaticamente la classe 4, acque scadenti. In ultimo, si procede a confrontare i campioni della classe scadente (classe 4) con il dato memorizzato nel campo QUALITÀACQUE per attribuire o meno la presenza di elementi inquinanti a fattori naturali, e modificare così la classe da 4 a 0, secondo le prescrizioni della legge.

### 4.2 IL SOFTWARE DEL LABORATORIO MOBILE

I dati di terreno sono acquisiti tramite laboratorio mobile da un apposito software (WTWlab), messo a punto in Visual Basic, che consente una taratura ottimale della strumentazione e la verifica nel tempo, in modo da garantire la riproducibilità dei dati acquisiti nelle differenti campagne.

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 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, ossigeno disciolto, potenziale redox, specie carbonatiche.

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 misurando con i sensori all'interno di un pozzo, è utilizzata anche per verificare i tempi di stabilizzazione dei parametri misurati e per la taratura degli strumenti.

#### 4.2.1 I Software di trattamento dei dati

Le necessità di trattamento dell'informazione all'interno del progetto PRISMAS richiedono l'utilizzo di pacchetti specifici tanto per la validazione dei punti del reticolo che per il controllo e l'elaborazione dei dati.

L'analisi statistica di base dei dati è affrontata utilizzando normali fogli elettronici, attualmente ben dotati di tutte le funzioni necessarie.

L'ottimizzazione delle reti alla fine del primo anno di monitoraggio si è sviluppata attraverso i programmi di geostatistica, analisi fattoriale e multivariata: le serie di misura del 1998 sono state usate come punto di partenza per il lavoro di verifica dei punti significativi del reticolo e di eliminazione di quelli ridondanti.

La rappresentazione aerea dei dati avviene mediante programmi di contouring che utilizzano i parametri forniti dall'analisi geostatistica e riversa i risultati in ambiente GIS, mentre l'elaborazione e presentazione grafica dei dati idrochimici è fatta con programmi specifici, così come l'elaborazione dei tests idrodinamici sui pozzi e l'archiviazione delle stratigrafie delle perforazioni.

La struttura informatica Prisma è attualmente il sistema informativo base del monitoraggio delle acque sotterranee dell'ARPA Umbria ed è schematizzato in figura 1, risultando compatibile con le specifiche a livello nazionale richieste da Ministero dell'Ambiente e ANPA (Progetti SINA).

#### 4.2.2 Il Sistema informativo

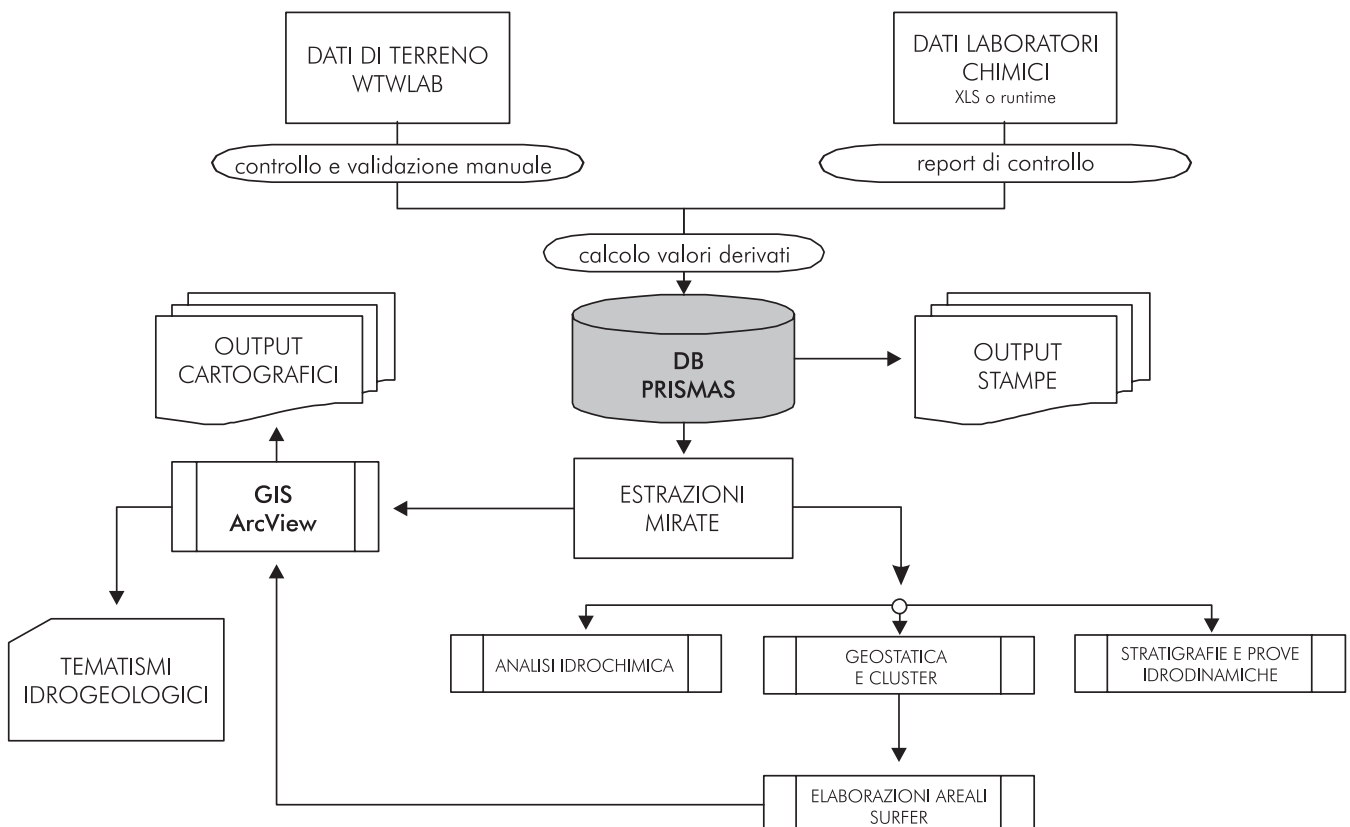
Per l'elaborazione geografica dei dati, le interrogazioni spaziali di vario genere e le presentazioni del lavoro svolto, la banca dati è stata collegata al GIS della ESRI ArcView.

Il sistema informativo utilizza per il lavoro la documentazione cartografica regionale e si avvale della banca dati cartografica elaborata e di tematismi specifici sviluppati dal PRISMAS Umbria.

In particolare si possono citare:

- la mappa dei punti d'acqua dei reticoli locali;
- il perimetro del bacino e dei sottobacini del Tevere e degli acquiferi;
- l'inquadramento geologico, idrogeologico e chimico degli acquiferi alluvionali;
- la cartografia di vulnerabilità degli acquiferi, realizzata in ambito GNDCI;
- le zonazioni idrogeologiche, idrochimiche e le densità dei reticoli regionali;
- gli schemi cartografici, regionali e di acquifero, di presentazione a piccola scala.

Figura 1: Schema funzionale della gestione dati PRISMAS Umbria



## 5. Metodologie di elaborazione dei dati

L'elaborazione dei dati del sottoprogetto Umbria è stata articolata secondo fasi e modalità, finalizzate a interpretare i dati anche per l'ottimizzazione dei reticoli, in questo modo:

- 1) classificazione di base delle acque e caratterizzazione geochimica degli acquiferi;
- 2) analisi statistica dei dati;
- 3) studio della distribuzione spaziale dei parametri significativi (analisi geostatistiche);
- 4) analisi delle tendenze temporali;
- 5) rappresentazione cartografica dei dati.

La parte metodologica è riportata nelle linee guida "Criteri di impostazione delle reti di monitoraggio..." nella seconda parte del presente volume: qui di seguito si riportano alcuni elementi della parte elaborativa dei dati del sottoprogetto Umbria.

La classificazione delle acque, basata su diagrammi di Piper e analisi di correlazione, indica che tutte le acque campionate sono riconducibili ad un idrotipo principale a chimismo bicarbonato alcalino terroso compatibile sia con le caratteristiche mineralogiche degli acquiferi calcarei appenninici, che con quelle degli acquiferi alluvionali in cui la frazione sabbiosa e ghiaiosa è costituita principalmente da rocce calcaree. Questa analisi è confermata dagli indici di saturazione che mostrano come tutte le acque sono all'equilibrio o prossime all'equilibrio con la calcite, mentre sono lontane dall'equilibrio rispetto a tutte le altre specie minerali. Le nubi principali di punti nei diagrammi di Piper mostrano tuttavia una notevole dispersione legata ad arricchimenti relativi in  $SO_4$ , Cl e Na. Tali deviazioni rispetto al chimismo di base bicarbonato alcalino terroso sono dovute a processi naturali e/o legati all'azione dell'uomo riconducibili, in prima analisi, a mixing, adsorbimento, scambio cationico e input in falda di specie inquinanti idrovesicolate.

Le variazioni stagionali del chimismo di base e di alcuni indicatori di inquinamento sono state rappresentate per ogni acquifero studiato attraverso la sequenza temporale di boxplots. In ogni singolo boxplot si individuano la media, la mediana, il 25<sup>mo</sup> ed il 75<sup>mo</sup> percentile, che racchiudono il 50% centrale dei campioni, i percentili 10<sup>mo</sup> e 90<sup>mo</sup> ed i valori massimo e minimo. Questa rappresentazione permette di individuare la tendenza centrale, la dispersione e la simmetria nella distribuzione dei dati anche nel caso di distribuzioni non parametriche.

L'inquinamento diffuso da nitrati rappresenta certamente l'effetto più evidente della contaminazione degli acquiferi studiati a causa delle attività antropiche; oltre a questo aspetto, nel corso del progetto PRISMAS è stata verificata la presenza di altre specie chimiche legate generalmente a fenomeni di contaminazione di tipo localizzato.

I microinquinanti organici che mostrano la maggior diffusione sono Fenoli, Composti Organo alogenati volatili e pesticidi (Alta Valle del Tevere, Valle Umbra e Conca Eugubina). Gli idrocarburi totali sono invece presenti con valori di fondo in varie zone mentre non è mai stata rilevata la presenza di IPA in concentrazioni rilevabili.

Un discorso a parte riguarda i nitriti e l'ammoniaca; la loro presenza indica condizioni riducenti legate alla ossidazione di materia organica e può essere messa in rela-

zione con episodi di inquinamento localizzato dovuto a scarichi civili e attività zootecniche. Elevate concentrazioni di specie azotate ridotte possono essere dovute anche a fenomeni naturali. Ad esempio, nell'acquifero artesiano di Cannara, dove circa il 60% dei campioni mostra concentrazioni misurabili di ammoniaca e oltre il 35% dei campioni supera la CMA, la presenza di specie azotate ridotte è dovuta all'instaurarsi di condizioni riducenti legate alla composizione naturale della matrice solida e alle peculiari caratteristiche idrogeologiche.

Nei metalli pesanti si osservano solo sporadici casi "positivi" di Cd, As e Hg per i quali è necessario affinare la scala di indagine. Per quanto riguarda invece le concentrazioni di Fe e Mn, queste superano il limite della CMA in una percentuale rilevante di campioni ma questi valori sono quasi sempre legati ad uno scadimento "naturale" della qualità delle acque dovuto a circolazione lenta in sedimenti poco permeabili e/o alla presenza di ossidi di Fe e Mg nella matrice solida.

### 5.1 INDICATORI IDROCHIMICI DI BASE

In previsione di campagne speditive in cui non vengano eseguite analisi complete delle acque alcune variazioni macroscopiche sono evidenziabili dai valori di conducibilità. Questo parametro viene misurato direttamente sul campo ed è direttamente correlato alla salinità.

Le concentrazioni di  $HCO_3$  sono controllate dagli equilibri dei minerali carbonatici e pur essendo sensibili a variazioni del pH e del contenuto di  $CO_2$  disciolta non sono buoni indicatori di mixing tra acque a diversa salinità. In questo caso conviene utilizzare specie mobili (conservative nella fase acquosa) come il Cl ed il Na. Tra le due specie chimiche quella più conservativa è il Cl perché il Na può essere coinvolto in processi isosalini di adsorbimento e scambio cationico. In condizioni particolari (quando non sono presenti gesso e/o anidrite nell'acquifero e quando le acque sono sottosature rispetto a questi minerali) anche lo ione  $SO_4$  costituisce una buona specie indice come nel caso della interazione falda-Fiume in Conca Ternana.

### 5.2 INDICATORI DI INQUINAMENTO DIFFUSO

Gli studi idrochimici presentati in questo rapporto e i precedenti lavori sulla qualità delle acque nella Regione dell'Umbria mostrano chiaramente una notevole diffusione di nitrati in tutti gli acquiferi alluvionali. In alcune stagioni le concentrazioni medie di  $NO_3$  superano i valori della CMA e ci sono zone dove questi valori vengono costantemente superati da molti anni consecutivi. Partendo queste semplici osservazioni e considerando la vocazione agricola e zootecnica di gran parte del territorio studiato appare evidente come la prima specie da considerare come indicatore di inquinamento diffuso siano i nitrati. Le variazioni di  $NO_3$  sono spesso accompagnate da variazioni di conducibilità salinità, Na, Cl,  $SO_4$ . Nel caso in cui le variazioni di questi parametri non sono attribuibili a processi di mixing o a equilibri con specie minerali anch'essi forniscono delle indicazioni indirette sulla variazione del carico inquinante.

Nel caso di inquinamento da materia organica ossidabile (scarichi) si osserva anche una variazione dei contenuti di OD e ammoniacale ed una variazione di Eh. Essendo quest'ultima una misura facilmente acquisibile in campagna si ritiene utile inserirla tra i parametri indicatori (alternativamente si può considerare  $NH_4$  la cui determinazione in laboratorio e/o in campagna non presenta problemi analitici particolari).

### 5.3 INDICATORI DI INQUINAMENTO LOCALIZZATO

Questi indicatori devono essere stabiliti per ogni acquifero considerando le caratteristiche idrogeologiche, le attività prevalenti che insistono sulla zona e la tipologia degli episodi di inquinamento occorsi nel passato. Un esempio in questo senso è la Conca Ternana, sede di grandi insediamenti industriali dove, nel 1992, venne riscontrato un inquinamento diffuso da idrocarburi che portò ad accertare la presenza di discariche incontrollate di tali inquinanti nella zona non satura del suolo e richiamò l'attenzione sul delicato ruolo che assume l'alimentazione dal Fiume all'acquifero (che produce effetti in rapporto alla qualità delle acque del fiume).

Dal punto di vista operativo è necessario prevedere per la prosecuzione delle attività di monitoraggio almeno una campagna annuale durante la quale effettuare uno screening generale dei microinquinanti e dei metalli pesanti per poi proseguire durante le campagne successive solo con il monitoraggio delle specie indicatrici generali, dei nitrati e di quegli indicatori di inquinamento localizzato che hanno mostrato contenuti rilevabili durante lo screening generale.

Nella tabella 1 sono sintetizzati gli indicatori sopra menzionati.

## 6. Le stazioni automatiche di misura quali-quantitativa

La Regione dell'Umbria ha predisposto un'apposita strumentazione per il monitoraggio delle sorgenti adeguando, attraverso gli enti gestori della risorsa, le infrastrutture per permettere la misurazione delle portate sorgive e l'allocazione in forma sicura della strumentazione di misura.

Una scelta tecnica del progetto è stata quella di omogeneizzare per quanto possibile la tipologia dei componenti necessari per le misure nelle sorgenti, in particolare è stato necessario disporre dello stesso tipo di acquirente/memorizzatore dati per non trovarsi di fronte a configurazioni variabili che richiedessero approcci diversificati ogni qualvolta si debbano 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 (7 canali digitali) oltre ad avere 4 canali matematici per fornire valori derivati; tale sistema è dotato di 3 diverse modalità di lettura (da PC tramite interfaccia RS232, da Memory Card o mediante trasmissione su linea telefonica) a cui si associa un software specifico per la gestione da PC tanto delle configurazioni che dei dati (Readwin), rispondendo così ai requisiti richiesti dalla Regione. 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.

Per le sezioni aperte sono utilizzate sonde ad ultrasuoni, ad uscita analogica con centralina di controllo a micropro-

Tabella 1a: Indicatori di inquinamento diffuso

INDICATORE	VANTAGGI ED APPLICABILITÀ	SVANTAGGI E/O LIMITI DI APPLICABILITÀ
$NO_3$	Sempre utilizzabile, analisi semplici e ripetibili, indica inquinamenti da fertilizzanti, impianti zootecnici, scarichi	Nessuno
Conducibilità, Na, Cl, $SO_4$	Variazioni significative di questi parametri accompagnano spesso inquinamenti di tipo diffuso	Da soli non forniscono indicazioni univoche
O.D.	Indica un consumo di ossigeno legato alla presenza di materia organica ossidabile	Misura poco stabile
Eh	Fornisce indicazioni simili ad OD ma è più semplice da misurare	Fornisce solo indicazioni generiche
$NH_4^+$	Presente in condizioni riducenti. La sua presenza, in condizioni di metastabilità, contemporaneamente a quella di nitrati e/o nitriti indica un inquinamento recente da scarichi (civili o zootecnici)	Può essere dovuto ad una produzione naturale dell'acquifero (e.g. Cannara)

Tabella 1b: Indicatori di inquinamento localizzato

ACQUIFERO	INDICATORI DI INQUINAMENTO LOCALIZZATO
Alta Valle del Tevere	Antiparassitari, As, Cd, Ni;
Media Valle del Tevere	Antiparassitari, Ni;
Conca Eugubina	Antiparassitari, idrocarburi, Fenoli;
Valle Umbra	Antiparassitari, VOC, Cd, Fenoli;
Conca Ternana	As, VOC, idrocarburi, Fenoli.

cessore 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.

Nelle condotte in pressione sono stati utilizzati misuratori elettromagnetici, solo in un caso si è adottato un modello che utilizza sonde a non inserzione completamente statiche.

Le misure di conducibilità elettrica (e di temperatura) sono effettuate con un sensore ad immersione collegato ad apposito trasmettitore per elettrodi di conducibilità che converte il segnale ad un valore standard 0/4-20 mA, corrispondente ad una misura da 0-500  $\mu$ S/cm fino a 0-8 S/cm programmabile.

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

La tabella 2 riporta le sorgenti strumentate.

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 per un periodo di 5 anni, alla fine del quale dovranno essere definite nuove condizioni di manutenzione.

Nel frattempo l'ARPA Umbria ha attivato un contratto

di manutenzione annuale con una ditta per la messa a punto delle stazioni e l'ottimizzazione del flusso di dati.

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 uno specifico obbligo normativo derivante dal DLgs n. 275/94, garantendo un'attenzione che va ben al di là dei tre anni di progetto e degli accordi firmati.

Le stazioni sono impostate per una rilevazione oraria dei parametri misurati: per ogni tipo di parametro vengono archiviati i valori medio, minimo e massimo del periodo.

I dati sono filtrati per eliminare valori errati dovuti a cause tipo interruzioni di corrente, messa a scarico per problemi di torbidità (nel caso di una sorgente) che comportano la non misurazione dei valori corretti, ecc. e sono poi archiviati in modo definitivo come valori giornalieri.

Questi ultimi sono utilizzati per le elaborazioni.

L'attivazione di sistemi di allarme automatici ed il controllo regolare delle stazioni ha permesso di intervenire rapidamente nei casi in cui si sono verificati problemi elettrici non risolvibili migliorando i sistemi di protezione dei circuiti.

Per l'elaborazione dei dati sono associati ad ogni stazione di misura i dati pluviometrici giornalieri di un pluviometro del Servizio Idrografico della Regione dell'Umbria; esistono inoltre alcuni pluviometri di proprietà delle aziende acquedottistiche che rilevano i dati in prossimità delle stazioni automatiche.

Tabella 2: Sorgenti strumentate

N.	SORGENTE	DATA ATTIVAZIONE	TIPO DI MISURAZIONE
1	San Giovenale (Nocera Umbra)	Aprile 1998	Portata canale, Portata condotta totale, Portata condotta, Conducibilità elettrica
2	Capo d'Acqua (Nocera Umbra)	Luglio 1998	Portata tot. Sorgente Conducibilità elettrica +Temperatura
3	Bagnara (Nocera Umbra)	Aprile 1998	Portata sorgente, Portata pozzo Conducibilità elettrica +Temperatura
4	Alzabove (Foligno)	Gennaio 1998	Portata tot. Sorgente Conducibilità elettrica +Temperatura
5	Capovena-Rasiglia (Foligno)	Gennaio 1998	Portata canali Conducibilità elettrica +Temperatura
6	Capodacqua (Foligno)	Gennaio 1998	Portata tot. Sorgente Conducibilità elettrica +Temperatura
7	Acqua Bianca (Foligno)	Gennaio 1998	Portata condotta, Portata sfioro Conducibilità elettrica +Temperatura
8	Argentina (Sellano)	Gennaio 1998	Portata condotta, Portata esuberi Conducibilità elettrica
9	Lupa (Arrone)	Dicembre 1997	Portata totale Sorgente, Portata addotta
10	Pacce (Morro Reatino)	Dicembre 1997	Portata pozzi, Portata sorgente
11	Peschiera (Terni)	Dicembre 1997	Portata captata Sorgente, Portata sfioro
12	Sugano (Orvieto)	Maggio 2000	Portata Sorgente 1 e Portata Sorgente 2, Portata sfioro

Nella figura 2 si riporta un esempio dei dati raccolti in una delle sorgenti monitorate.

## 7. I risultati principali

Il lavoro del sottoprogetto Umbria ha portato a compimento la sperimentazione di un reticolo definitivo regionale partendo da situazioni conoscitive pregresse eterogenee ed articolate. Gli aspetti metodologici sono confluiti nelle linee guida presentate in questo volume e costituiscono un banco di prova validato dall'esperienza di terreno.

Qui di seguito si riporta uno schema metodologico suggeribile per l'attivazione di progetti analoghi.

### Rielaborazione e sintesi delle informazioni esistenti per rendere omogeneo il quadro conoscitivo degli acquiferi da monitorare, con definizione de:

1. Il contesto generale:
  - a. idrogeologia;
  - b. idrochimica;
  - c. prelievi;
  - d. zone con attività antropiche a rischio;
2. I settori degli acquiferi di interesse regionale;

3. Lo schema concettuale idrogeologico-idrochimico;
4. Gli elementi a disposizione per il reticolo di monitoraggio
5. La documentazione bibliografica esistente.

### Valutazione degli aspetti riguardati la qualità e completezza delle informazioni, il loro concorso nella definizione del contesto idrogeologico e ambientale.

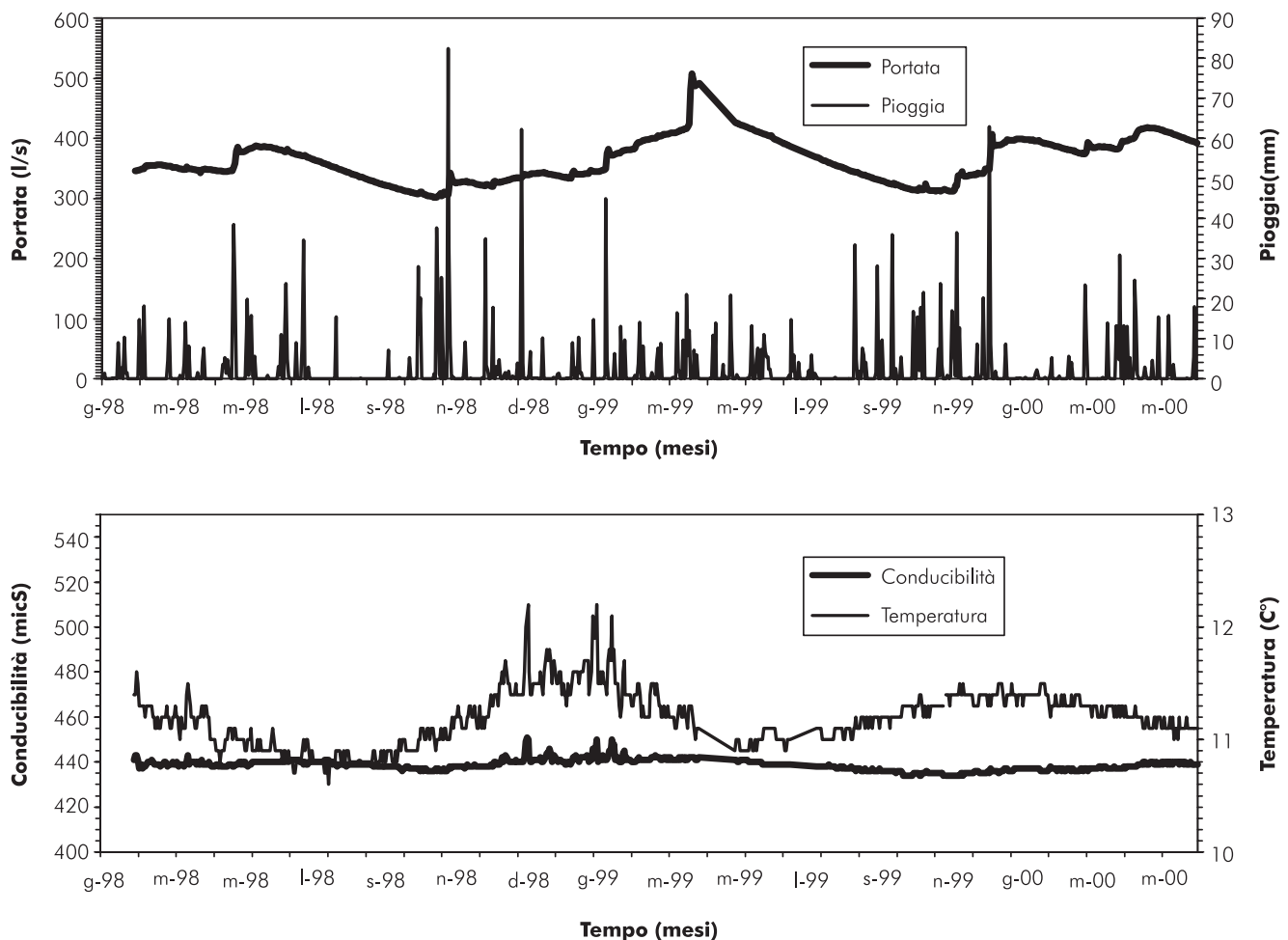
### Verifica delle situazioni che per aspetti quantitativi o qualitativi (natural) rivestono un interesse di carattere regionale all'interno di ciascun acquifero mediante:

1. la differenziazione di settori peculiari;
2. la valutazione delle relazioni tra acquiferi e degli scambi con il reticolo idrografico;
3. il grado di esposizione delle risorse idriche ai centri di pericolo.

### Studi integrativi:

1. Indagine idrogeologica nell'area della Media Valle del Tevere, nel tratto compreso tra Umbertide e Todi (258 pozzi, un lago di falda e 9 sezioni di alveo);
2. Elaborazione delle informazioni raccolte e completamento della caratterizzazione degli acquiferi alluvionali, con la definizione della situazione dei pozzi ad uso potabile;

Figura 2: Sorgente di Alzabove: andamenti di portata, pioggia, conducibilità e temperatura (1998-2000)



## 3. Localizzazione dei punti dei reticoli preliminari.

**Verifica e validazione di ogni singolo punto dei reticoli preliminari.**

Differenziazione in 3 classi di scelta:

1. pozzi appropriati (che presentano le migliori caratteristiche);
2. pozzi di riserva (da utilizzare in seconda battuta secondo necessità);
3. pozzi inappropriati (inutilizzabili).

Selezione del reticolo definitivo.

Approccio multicriteriale basato sui criteri:

1. quadro idrogeologico ed idrochimico dei sistemi;
2. uso delle risorse sotterranee e tipologia/densità delle attività antropiche.

Successiva zonazione per acquifero:

1. Assegnazione di una densità media di monitoraggio in funzione delle priorità ed interesse di ciascun acquifero (quantità di risorse immagazzinate, entità dei prelievi idropotabili, carico antropico, situazioni estreme di rischio);
2. Definizione di classi di priorità e di coefficienti di correzione riferito alla densità media generale.
3. Zonazione delle densità di reticolo preliminare per acquifero.

**Validazione dei reticoli definitivi:**

1. Prima verifica mediante rappresentazione grafica di dati idrochimici ed idrogeologici progressi e confronto con le elaborazioni estese preesistenti;
2. Analisi statistiche dei dati (analisi geostatistica basata

sui parametri livello piezometrico, salinità, cloro e nitrati, analisi multivariata sui parametri chimici e sui campioni.

La creazione di un reticolo regionale di monitoraggio non è stato solo un risultato metodologico in quanto ha permesso di ottimizzare il controllo degli acquiferi sotterranei regionali di competenza dell'ARPA e di portare a termine la "fase conoscitiva" del DLgs 152/99, permettendo una prima valutazione dell'applicabilità del decreto stesso, nonché di attivare la "fase a regime", con frequenze diverse di monitoraggio, un controllo specifico sui parametri addizionali, l'uso di parametri indicatori al di fuori dei vincoli del decreto, l'utilizzo di sistemi automatici di rilevazione dei livelli di falda per supportare la valutazione dello stato quantitativo.

Lo screening iniziale è avvenuto sui circa 1.400 punti d'acqua utilizzando criteri semplici quali accessibilità, caratteristiche costruttive, acquifero rappresentato, qualità del prelievo.

La scelta di base con metodi multicriteriali e geostatistici è poi avvenuta sui rimanenti pozzi aventi caratteristiche idonee, ricorrendo a ricerche o sostituzioni solo nelle situazioni non rappresentate.

Si è iniziato con un reticolo più consistente del previsto, prediligendo la scelta di eliminare successivamente punti meno ricchi di informazioni (minima perdita di informazione) piuttosto che inserirne di nuovi (guadagno di informazione). Dall'iniziale reticolo definitivo di 254 punti, attivato ad inizio 1998, si è passati a fine progetto (giugno 2000) a 224 punti complessivi.

La tabella 3 sintetizza le informazioni sui punti di

**Tabella 3: Dati sintetici sui reticoli attivati in Umbria dal progetto PRISMAS**

ACQUIFERO	Sup. (km <sup>2</sup> )	Punti di misura del reticolo definitivo iniziale	Punti di misura del reticolo definitivo attuale	Densità media x km <sup>2</sup>	Pozzi circuito superficiale freatico	Pozzi circuito profondo in pressione	Pozzi di sistemi multifalda indifferenziati
Conca Ternana	60	35	32	0,53	30	2	0
Valle Umbra	330	101	88	0,27	69	15	4
Alta Valle del Tevere	110	32	29	0,26	23	1	5
Media Valle del Tevere	200	45	41	0,20	41	0	0
Conca Eugubina	50	20	20	0,40	19	0	1
TOTALE	750	232	210	0,28	182	18	10

COMPLESSO	Sup. (km <sup>2</sup> )	Punti di misura previsti	Punti di misura strumentati	Ricarica del sistema in mm/anno	Risorse potenziali annue in L/s	Restituzioni in alveo o sotterranee in L/s	Restituzione sorgenti puntuali in L/s
Sorgenti dell'Umbria Centro-Orientale (calcarei)	650	15	9	1.100	11.600	6.500	5.100
Sorgenti della Valnerina (calcarei)	1.075	6	4	1000	23.300	22.000	1.300
Sorgenti dell'Altopiano vulsino (vulcaniti)	200	1	1	850	800	500	300
TOTALE	1.925	22	14		35.700	29.000	6.700



monitoraggio utilizzati a livello di reticolo esecutivo. In figura 3 sono riportate le aree di indagine del progetto ed i reticoli attivati.

Per un primo test di applicazione della classificazione qualitativa secondo il Decreto Ronchi sono state prese in esame le serie di misure dell'anno 1998 comprendenti nel loro insieme tutti i parametri analizzati.

La procedura utilizzata corrisponde al "Decreto" per quanto riguarda i parametri di base.

Per gli addizionali, essendo stati determinati una sola volta nel corso dell'anno si è ricorso al solo valore disponibile. Il DBase del progetto è stato adeguato per comprendere elaborazioni in grado di fornire la classificazione qualitativa delle acque indicata dal Decreto stesso.

Poiché parte del criterio di selezione si basa su valutazioni ottenute dall'analisi di più fattori (dati analitici pregressi, assetto idrogeologico delle falde, uso del suolo, vicinanza di impianti inquinanti, ecc.), è stato aggiunto il campo QUALITÀACQUE alla tabella anagrafica principale, che indica la qualità delle acque del singolo punto di prelievo valutata da chi gestisce i dati di progetto.

Il processo elaborativo ha portato a tre livelli di dati, separati per interesse informativo: classe attribuita con i soli parametri di base; classe attribuita con l'ausilio dei parametri addizionali, elenco dei campioni "positivi" ai parametri addizionali. Dalla classe 4 sono stati poi sottratti i punti naturalmente scadenti, definiti previamente e non soggetti ad inquinanti organici.

Una statistica dei risultati è riportata in tabella 4.

L'assenza di punti in classe 1 è dovuta al contenuto salino delle acque alluvionali, con valori di conducibilità superiori ai 400  $\mu$ S, imputabili principalmente al contenuto di ioni bicarbonato e calcio.

In classe 4 ci vanno principalmente le acque con nitrati oltre agli inquinanti specifici mentre quelle "naturalmente scadenti" (classe 0) hanno ferro, manganese ed ammoniaca.

Una prima valutazione dell'applicabilità dello stato quantitativo del decreto è stata sviluppata negli acquiferi

della Conca Eugubina (comprendenti anche i prospicienti rilievi carbonatici) dei quali si disponeva di una serie di dati a partire dal 1994.

I risultati delle elaborazioni hanno evidenziato, per le aree vallive, una elevata dipendenza delle oscillazioni stagionali ed annue dalle elevate variazioni pluviometriche del periodo di riferimento che non consentono di stabilire un andamento specifico nel tempo. Il sistema sembra comunque che risponda rapidamente alle variazioni naturali e che le interferenze dovute ai prelievi sono poco diffuse e durevoli nel tempo.

Il generale ridotto uso delle acque di falda e il recupero registrato a partire dal 1995 nella zona dell'unico campo pozzi potabile anche per una riduzione dei prelievi, consente di classificare tutta l'area monitorata come Classe B.

Sicuramente sarà necessario attuare una rilevazione almeno mensile dei livelli di falda per poter filtrare accuratamente tutti i fenomeni che condizionano l'andamento piezometrico dei punti del reticolo.

Nei rilievi calcarei dei Monti di Gubbio, principale fonte di alimentazione sotterranee dei circuiti della Conca, si è verificato nei primi anni novanta un elevato sfruttamento delle risorse idriche immagazzinate, che ha comportato squilibri quantitativi notevoli in concomitanza con un periodo idrologicamente negativo conclusosi nel 1995.

Recenti interventi di razionalizzazione dei prelievi e di riduzione degli stessi, grazie ad azioni di contenimento delle perdite in rete (sono state recuperate perdite pari a circa il 20%-30% dei volumi distribuiti), hanno consentito un graduale recupero dei livelli di falda, attestando l'assetto idrodinamico del sistema su valori compatibili che non compromettono l'uso della risorsa nel tempo. Anche per questa zona è quindi attribuibile una classe B.

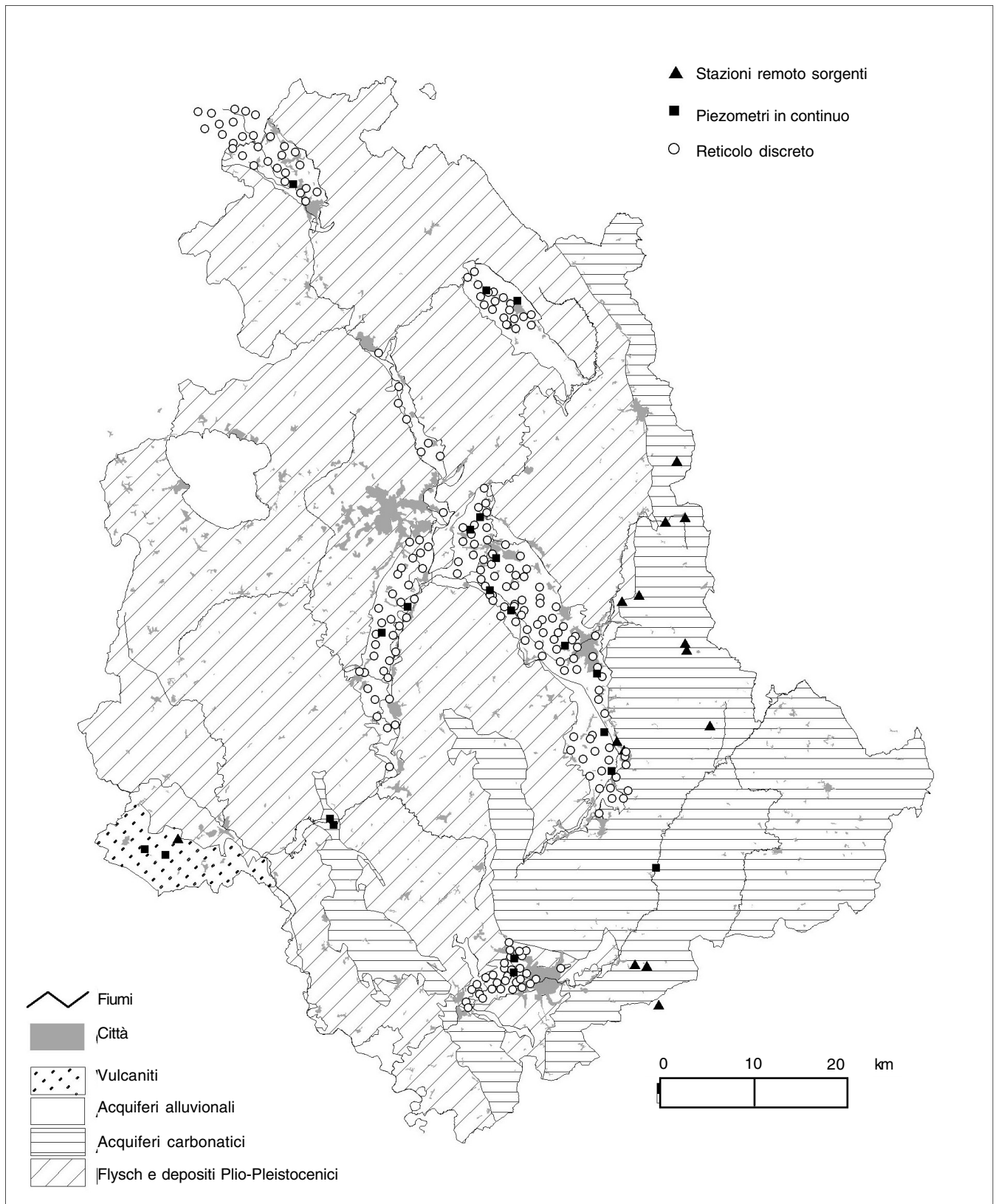
Con i dati dello stato qualitativo si è potuto giungere quindi alla definizione dello stato ambientale.

I risultati che si sono ottenuti per la Conca Eugubina mettono in evidenza che lo stato ambientale dell'acquifero è definibile come buono per il settore corrispondente al rilievo calcareo e a piccole zone prospicienti mentre in gran

**Tabella 4: Risultati della classificazione qualitativa del DLgs 152/99 sul reticolo PRISMAS (anno 1998)**

ACQUIFERO	N PUNTI MISURA	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	CLASSE 0	PARAMETRI ADDIZIONALI POSITIVI
<b>ALLUVIONALI</b>							
Conca Eugubina	19	-	3	11	5	0	5
Alta Valle del Tevere	30	-	12	7	8	3	6
Media Valle del Tevere	44	-	5	9	24	6	9
Conca Ternana	30	-	12	14	3	1	3
Valle Umbra	97	-	14	16	45	22	13
<b>TOTALE</b>	<b>220</b>	<b>0</b>	<b>46</b>	<b>57</b>	<b>85</b>	<b>32</b>	<b>36</b>
			21%	26%	38.5%	14.5%	16%
<b>CALCARI</b>							
<b>TOTALE</b>	<b>15</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>-</b>		<b>-</b>

Figura 3: Localizzazione delle reti PRISMAS



parte della piana si definiscono dei sottosectori condizionati dallo stato qualitativo delle acque, sufficiente o scadente, ed aventi condizioni idrogeologiche autonome.

In tabella 5 si riportano le classi ottenute, integrate con lo stato ambientale dei sistemi sorgentizi calcarei regionali (valutazioni valide per i bacini idrogeologici delle sorgenti).

Con la prossima entrata a regime dei sistemi di misurazione dei livelli di falda su una rete di piezometri all'interno dei circuiti calcarei e di quello vulcanico vulsino, associati ai dati ottenibili dai pozzi e sorgenti presenti nei sistemi, sarà possibile definire lo stato quantitativo (e ambientale) di gran parte degli acquiferi in essi presenti.

I dati relativi alle misure dei nitrati, utilizzati per la redazione delle cartografie di ciascun acquifero (in particolare le mappature dei tenori medi annui), possono definire le zone vulnerabili da nitrati (come il DLgs 152/99 chiede all'Allegato 7).

Le zone problematiche interessano anche settori strategici per l'approvvigionamento idrico della regione che sono oggetto di proposte di intervento per la riduzione dell'impatto dovuto alle attività agricole: zone che dovranno essere riconosciute come vulnerabili per porre in atto adeguati strumenti di tutela.

A titolo di esempio si riporta la cartografia schematica della Valle Umbra (figura 4): quello che il reticolo di monitoraggio mostra non è che l'amplificazione di quanto già evidenziato almeno 10 anni fa con studi ed indagini di dettaglio.

A tale riguardo la Regione è intervenuta realizzando uno studio agro-economico ed un progetto di intervento, eseguiti nell'ambito del progetto strategico del CNR "Territorio e ambiente", sottoprogetto "Criticità delle disponibilità delle acque potabili", che definisce le azioni, i costi ed i tempi necessari per il risanamento del sistema acquifero. Con l'uscita del DLgs 152/99 sulla tutela dall'inquinamento delle risorse idriche e con l'approvazione del codice di buona pratica agricola (DM 19 aprile 1999), si hanno anche a livello nazionale gli elementi normativi per poter applicare quanto programmato tecnicamente.

## 8. Proiezioni future

Lo sviluppo del sistema di monitoraggio regionale prevede una serie di interventi atti a rendere più efficiente ed al contempo economico il flusso operativo, analitico ed

elaborativo. I dati finora raccolti (8 campagne complessive) sono utilizzate per la verifica della significatività dei punti monitorati e rappresentatività areale degli stessi.

Si prevede un ulteriore snellimento e la sostituzione di qualche punto ancora problematico o resosi tale nel corso delle attività.

Il completamento del quadro conoscitivo ambientale delle zone monitorate permetterà di interfacciare gli elementi risultanti dal lavoro analitico sui campioni prelevati e di redigere degli schemi di differenziazione delle prassi analitiche sia su base temporale che spaziale.

In particolare verranno differenziate le analisi dei composti organici, definendo le aree dove è necessario proseguire il controllo, aumentando o mantenendo la frequenza attuale, e le aree dove non sarà più necessario monitorare tali elementi (risultati analitici negativi, attività antropiche non associate alla loro produzione).

Si otterrà così una redistribuzione delle frequenze e densità di campionamento a tutto vantaggio di una maggiore risoluzione delle informazioni e di un minor impegno economico ed operativo.

Un elemento importante che si ritiene di introdurre è l'attivazione di determinazioni di parametri chimico-fisici o biologici complessivi che permettano, se possibile sul campo, uno screening preliminare indicativo di alcuni degli elementi previsti dal monitoraggio, rendendo necessario il campionamento e l'analisi solo in caso di positività della determinazione o per necessità di controlli periodici dei valori di fondo. Questo settore è oggetto di attività parallele di ricerca nell'ambito dell'Unità Operativa 4.11 del GNDCI-CNR (ARPA Umbria), progetto MIMA (Metodologie Integrate di Monitoraggio degli Acquiferi) e si svolge in collaborazione con altre Unità ed Enti di ricerca.

Le misure quantitative sulla rete di monitoraggio verranno ugualmente differenziate: le misure periodiche standard saranno associate a misurazioni automatiche sui punti più importanti e/o significativi dei sistemi ed a misure di maggior frequenza eseguite, secondo le specifiche di progetto, di enti acquedottistici o privati sui punti di proprietà previo accordo di collaborazione.

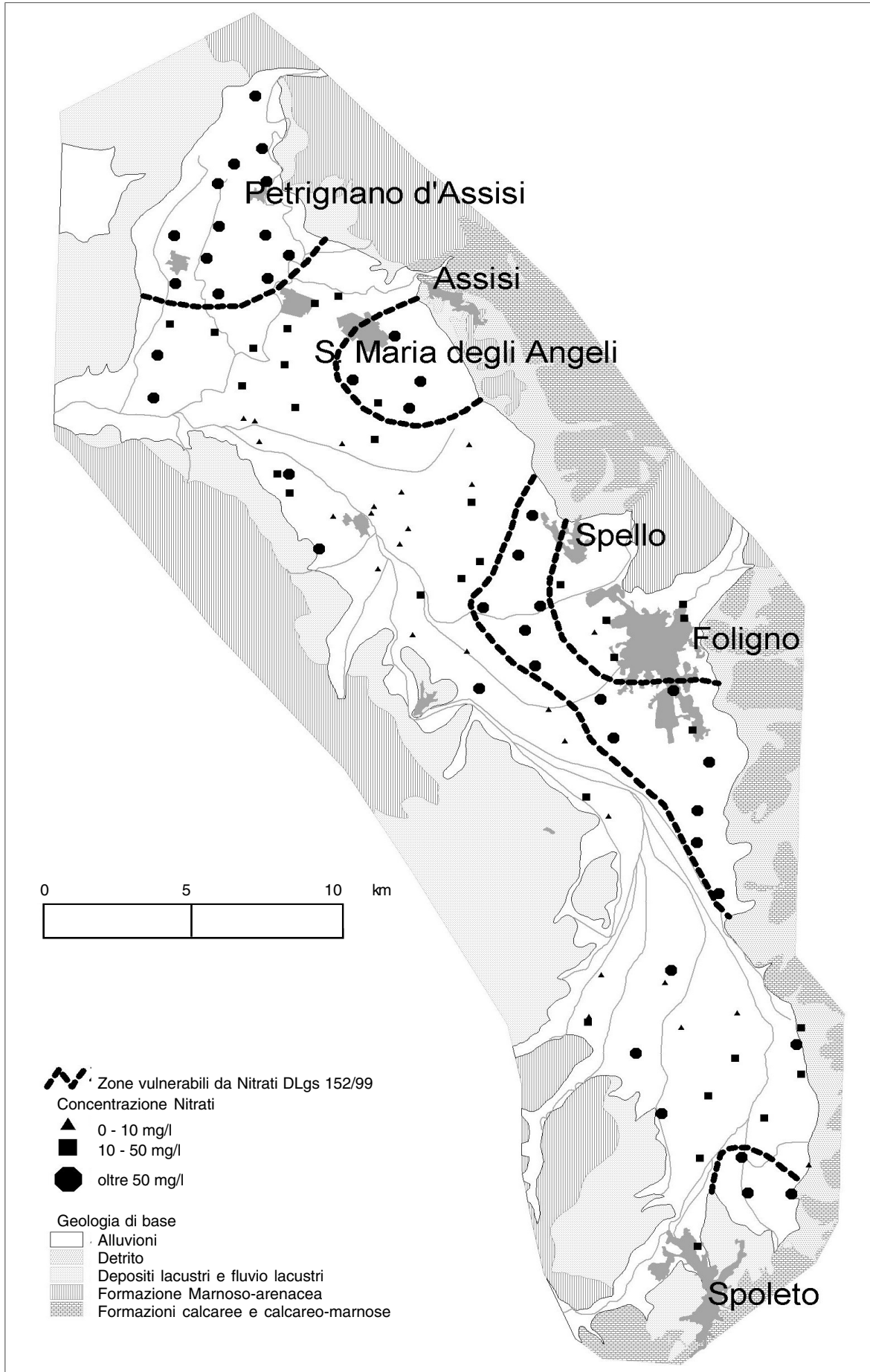
In ambito elaborativo, si sta organizzando un sistema di flusso di gestione ed elaborazione dei dati che porterà alla produzione di dati e cartografie sintetiche ottenibili in tempi brevi, "reali" a scala delle singole campagne di misurazione o di cicli annuali.

Le informazioni verranno messe in rete e saranno disponibili sul sito Internet dell'ARPA.

**Tabella 5: Stato ambientale della Conca Eugubina e degli acquiferi calcarei regionali (anno 1998)**

STATO ELEVATO	STATO BUONO	STATO SUFFICIENTE	STATO SCADENTE	STATO PARTICOLARE
1-A: Sorgenti dei circuiti calcarei a bassa salinit	2-A: Sorgenti dei circuiti calcarei a salinit medio-bassa	3-B: settori periferici della Conca eugubina prossimo ai rilievi calcarei	4-B: settori centrali della Conca eugubina prossimi anche ai principali centri abitati.	
	2-B: Rilievi calcarei dei Monti di Gubbio e settore della Conca eugubina prossimo ai rilievi calcarei			

Figura 4: La situazione Nitrati in Valle Umbra



Una loro disponibilità precisa e regolare permetterà agli utilizzatori istituzionali, locali, regionali e nazionali di fare il punto sullo stato dei sistemi e sulla loro tendenza evolutiva.

Le esigenze di informazioni sintetiche regionali, obiettivo dall'ANPA, potranno trovare giusto riscontro in questo sistema di flusso informativo.

La differenziazione di una rete classificativa a valenza nazionale all'interno dei reticoli regionali attivati con il PRISMAS trova difficoltà applicative notevoli in quanto per i singoli parametri chimico-fisici, per i componenti addizionali organici ed inorganici, per gli aspetti quantitativi si vengono a definire "reti ottimali praticamente differenziate" all'interno del reticolo di monitoraggio, con l'impossibilità di distinguere singoli punti rappresentativi di tutti i parametri previsti.

Il sottoprogetto Umbria "suggerisce" una scelta operativa che fornisca elementi informativi sintetici delle singole reti regionali da far valere a livello nazionale.

## Riferimenti bibliografici

Aa.Vv. (1999)

*Progetto interregionale PRISMAS. Relazione intermedia al 31/12/1998.* Regioni Basilicata, Liguria, Piemonte e Umbria, Ministero dell'Ambiente, ANPA, rapporto interno. A cura della Regione dell'Umbria.

Beretta G.P, Frondini F., Giuliano G., Marchetti G., Martinelli A., Peruzzi L. (2000)

*Design of a regional groundwater monitoring network: the PRISMAS project experience.* International Workshop on information for sustainable water management. MTM III, Monitoring Tailor-Made, Nunspeet, Nijmegen, Olanda, 25-28 settembre 2000.

Beretta G., Marchetti G., Martinelli A., Sonno S. (1999)

*Reti di monitoraggio discreto su acquiferi alluvionali. Il Dbase PRISMAS: impostazione, gestione ed analisi dei dati.* Atti 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterra-

nee. Parma 13-15 ottobre 1999. Pubbl. n. 1983 GNDCI-CNR. Quaderni di geologia applicata, Pitagora ed.

Checucci R., Frondini F., Marchetti G., Martinelli A., Peruzzi L. (1998)

*Il monitoraggio degli acquiferi umbri nell'ambito del progetto interregionale Sorveglianza e monitoraggio acque sotterranee (PRISMAS): aspetti tecnologici e gestionali.* Convegno "Nuove tecniche per l'acquisizione, il monitoraggio e l'elaborazione dei dati idrogeologici a fini ambientali", Geofluid '98 Piacenza, 1° ottobre, organizzato dal Politecnico di Milano.

Giaquinto S., Marchetti G., Martinelli A., Martini E. (1991)

*Le acque sotterranee in Umbria.* Editrice Protagon, Perugia.

Giuliano G., Marchetti G., Martinelli A., Frondini F., Peruzzi L. (1999)

*Nuove procedure operative e strumentali sulla rete di monitoraggio delle acque sotterranee in Umbria.* Atti 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee. Parma 13-15 ottobre 1999. Pubbl. n. 1985 GNDCI-CNR. Quaderni di geologia applicata, Pitagora ed.

Marchetti G., Martinelli A., Crea R., Riva C. (1999)

*Una rete di monitoraggio remoto in continuo di sorgenti: tecniche operative, software di gestione, qualità dei dati e risultati.* Atti 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee. Parma 13-15 ottobre 1999. Pubbl. n. 1984 GNDCI-CNR. Quaderni di geologia applicata, Pitagora ed.

Repubblica Italiana (1999)

*Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva CEE 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.* DLgs dell'11 maggio 1999, n. 152. GU del 29 maggio 1999, n. 101/L. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma

