

*Regione Basilicata*

*Regione Liguria*

*Regione Piemonte*

*Regione dell'Umbria*

*Ministero dell'Ambiente*

*ANPA*

PTTA 1994-96

SISTEMA INFORMATIVO  
NAZIONALE PER L'AMBIENTE

**PROGETTO INTERREGIONALE  
SORVEGLIANZA E MONITORAGGIO  
ACQUE SOTTERRANEE  
"PRISMAS"**

***Risultati metodologici***

Perugia, novembre 2000

I CONTRIBUTI METODOLOGICI RISULTANTI DAL PROGETTO INTERREGIONALE  
SONO STATI PREDISPOSTI DA

*Gian Pietro Beretta (Università di Torino)*

*Giuseppe Giuliano (IRSA-CNR Roma)*

*Maria Governa (Regione Piemonte)*

*Michele Greco (Università della Basilicata)*

*Giancarlo Marchetti (ARPA Umbria)*

*Angiolo Martinelli (ARPA Umbria)*

*Anna Morgavi (AMGA SpA)*

*Giovanni Negro (Regione Piemonte)*

Le immagini di copertina sono tratte dal volume (con allegato CD-Rom), *Ambiente @ scuola, l'ambiente umbro visto e raccontato dai bambini*, a cura del CRIDEA (Centro Regionale per l'Informazione, la Documentazione e l'Educazione Ambientale), Perugia 1999. Più precisamente, dall'alto verso il basso, i disegni sono stati realizzati: dai bambini e dalle bambine della scuola media "Gerardo Dottori" di Torgiano, della scuola elementare attivata dal I Circolo Didattico di Perugia - San Sisto presso il Reparto di Oncoematologia Pediatrica dell'Ospedale "Silvestrini" e della scuola media "Brunone Moneta" di Marsciano.

# indice

<b>Introduzione</b>	pag.	5
<b>CRITERI DI IMPOSTAZIONE DELLE RETI DI MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE IN DIVERSE CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE E SOCIO-ECONOMICHE</b>	"	7
1. Criteri generali per l'individuazione della rete	"	7
2. Criteri di impostazione di una rete preliminare partendo da una situazione conoscitiva limitata	"	8
3. Criteri di impostazione di un reticolo partendo da una situazione conoscitiva avanzata	"	17
4. Archiviazione e gestione dati	"	23
5. Ottimizzazione dei reticoli	"	26
<b>ESPERIENZE OPERATIVE DI MONITORAGGIO: MISURE DI CAMPO E DI LABORATORIO</b>	"	31
1. Premessa	"	31
2. Misurazioni discrete di campo	"	31
3. Misure di laboratorio	"	41
4. Misurazioni in automatico	"	45
5. Piano di controllo ed assicurazione di qualità	"	52
<b>ALLEGATI</b>		
Scheda monografica di acquisizione dati (e di data entry) sui punti del reticolo di monitoraggio preliminare del sottoprogetto Piemonte	"	58
Scheda monografica di acquisizione dati (e di data entry) sui punti del reticolo di monitoraggio definitivo del sottoprogetto Umbria	"	64



# Introduzione

*Il Progetto PRISMAS (acronimo di Progetto Interregionale di Sorveglianza e Monitoraggio delle Acque Sotterranee), è stato realizzato congiuntamente dalle Regioni Basilicata, Liguria, Piemonte ed Umbria nell'ambito degli interventi relativi al Sistema Informativo Nazionale Ambientale (SINA), PTTA 94/96.*

*Le finalità del Progetto PRISMAS sono:*

- individuare lo stato quali-quantitativo della risorsa in territori regionali rappresentativi dell'intero territorio nazionale;*
- indicare le tendenze evolutive nello spazio e nel tempo della qualità e quantità delle risorse idriche sotterranee;*
- collegare osservazioni di reti locali e regionali a quelle individuate su scala nazionale;*
- individuare standards di progettazione, sperimentazione e gestione delle reti nelle diverse situazioni geografiche, idrogeologiche e socio-economiche che possano essere esportati anche in altre regioni;*
- stimare i costi di gestione della rete di monitoraggio;*
- fornire indicazioni per una revisione delle linee di intervento nel campo del controllo e tutela delle risorse idriche sotterranee.*

*Il Progetto è stato affrontato in maniera coordinata ed organica dalle Regioni partecipanti ed ha prodotto contributi che hanno valorizzato le conoscenze e le esperienze sviluppate nei diversi contesti all'interno di un percorso metodologico unitario.*

*Le sperimentazioni condotte hanno trovato un momento finale di confronto e sintesi in occasione della predisposizione di due workpackages dedicati ai "Criteri di impostazione delle reti in diverse condizioni idrogeologiche e socio-economiche" e alle "Esperienze operative di monitoraggio, misure di campo e di laboratorio".*

*In particolare nel primo sono fornite informazioni sul disegno delle reti di monitoraggio relativamente a:*

- modalità di definizione del contesto idrogeologico;*
- localizzazione delle reti in relazione al contesto idrogeologico ed antropico;*

- i dati relativi e le procedure adottate;
- modalità di impostazione delle reti preliminare e definitiva, criteri di scelta e sviluppo;
- il sistema di gestione delle reti e dei dati;
- valutazione dei costi di installazione e di gestione;
- risultati ottenuti, problemi riscontrati, soluzioni proposte e proponibili, prospettive future.

*Peraltro si osserva che le esperienze sono da considerarsi rappresentative di una scala regionale di monitoraggio e non sono direttamente estrapolabili a problematiche e reti locali.*

*Nel secondo vengono affrontate problematiche operative di monitoraggio riferite agli aspetti sia quantitativi che qualitativi, affrontate dai diversi soggetti nel corso del Progetto. 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 eseguire nell'esecuzione delle misure.*

*Un'attenzione specifica è data all'esecuzione di misurazioni in automatico e alla relativa attrezzatura strumentale.*

*In particolare maggiori dettagli ed elementi riguardano poi attività specifiche condotte nei singoli sottoprogetti (stazioni automatiche della Liguria, piezometri Piemonte, laboratorio mobile Umbria):*

*Le esperienze di monitoraggio svolte nell'ambito del Progetto possono rappresentare validi contributi, provvisti di verifica sperimentale, per la predisposizione di una manualistica sull'argomento e rappresentano un utile avvio per l'attuazione organica di quanto previsto sul monitoraggio delle acque sotterranee dal DLgs 152/99 e successivi aggiornamenti (DLgs 258/00).*

# Criteria di impostazione delle reti di monitoraggio delle acque sotterranee in diverse condizioni idrogeologiche e socio-economiche

## 1. Criteria generali per l'individuazione della rete

Da un punto di vista generale e secondo un approccio razionale per poter progettare una rete di monitoraggio delle acque sotterranee è necessario disporre di alcuni elementi di base di tipo tecnico-economico:

- conoscenze idrogeologiche e idrochimiche sull'area;
- modalità di approvvigionamento idrico derivante da notizie e censimenti;
- informazioni e/o mappatura sull'uso del suolo;
- problemi di contaminazione registrati;
- reti di monitoraggio esistenti anche per le altri componenti del ciclo delle acque.

Accanto a questi elementi da raccogliere e vagliare criticamente si deve conoscere:

- il personale disponibile per le rilevazioni;
- le strutture coinvolte;
- le apparecchiature esistenti e da acquisire;
- il bilancio finanziario dell'operazione.

Ciò consente quindi di ipotizzare in prima istanza un ordine di grandezza del numero di punti da monitorare, la tipologia delle misure e la loro frequenza.

Una volta effettuata questa operazione si deve selezionare un criterio di localizzazione dei punti sul territorio avendo come pre-requisito la necessità che un singolo punto sia rappresentativo di un solo acquifero.

I criteria che possono guidare una prima selezione dei punti sono di tipo geometrico (densità di punti su una determinata area), idrogeologico (densità di punti in relazione alle variazioni del gradiente idraulico qualora conosciuto), idrochimico (densità di punti in relazione alla complessità del chimismo delle acque nel caso sia già stato individuato) e statistico (densità di punti in grado di cogliere la variabilità degli aspetti quali-quantitativi delle acque sotterranee):

- 1) *Criteriono geometrico* – Viene individuata una equidistanza tra i pozzi di monitoraggio (ad esempio ogni 2 km) oppure una densità media dei punti (ad esempio 1/ km<sup>2</sup>) e si ricercano puntualmente in due fasi:
  - in laboratorio: pozzi di cui sia nota l'ubicazione e con caratteristiche idonee all'interno della geometria considerata;
  - in situ: pozzi con caratteristiche idonee di cui non si conosce a priori l'ubicazione o di cui non si conosce a priori l'esistenza in zone con carenza di informazioni derivanti dalla prima fase.
- 2) *Criteriono idrogeologico* – Dopo aver individuato il modello idrogeologico, viene selezionato il criterio di infittire i punti di misura in corrispondenza delle supposte aree di alimentazione e di diradarli in quelle di

recapito. Inoltre, quando esistono misure pregresse, possono essere ridotte le misure in presenza di un basso gradiente idraulico ed infittite in quelle dove il gradiente idraulico è più elevato.

- 3) *Criteriono idrochimico* – Questo criterio può essere adottato conoscendo gli aspetti che possono influire sul chimismo delle acque che possono essere:

- elementi naturali: ad esempio in corrispondenza di variazioni litologiche significative può essere incrementato il numero di punti, diradandolo in quelle dove si hanno condizioni relativamente più omogenee, così come sono da infittire in corrispondenza di zone con acquiferi intercomunicanti;

- elementi antropici: aumento di punti di misura a valle dei siti caratterizzati da particolari uso del suolo o attività e selezione di alcuni punti a monte degli stessi.

- 4) *Criteriono statistico* – Valutando a titolo esemplificativo con il criterio idrogeologico la posizione di pozzi a monte e a valle di un'area caratterizzata da un determinato uso del suolo si ritiene che quelli a monte rappresentino le condizioni di fondo, mentre quelli a valle le condizioni di fondo più l'eventuale impatto antropico. Questo presupposto può risultare inaffidabile in quanto non tiene conto della variabilità nello spazio e nel tempo delle caratteristiche idrochimiche.

È quindi indispensabile adottare criteria che possano eliminare la variabilità del dato nella comparazione tra monte e valle ed è necessario disporre di un numero di dati significativo affinché si possano calcolare valori affidabili dei principali parametri statistici (media, varianza, deviazione standard).

In base a questi valori rilevati preliminarmente si può quindi ottimizzare il sistema di monitoraggio per conseguire successivamente risultati significativi.

In tabella 1 sono riportati alcuni elementi che giustificano i vantaggi e gli svantaggi dei diversi criteria, nonché il loro ambito di applicazione. Si può considerare che il criterio geometrico sia considerabile come approccio preferibile in fase iniziale, quello idrogeologico ed idrochimico in fase intermedia e quello statistico in fase a regime: l'utilizzo dei diversi criteria è comunque relazionata all'acquisizione delle conoscenze dei sistemi ed è suscettibile di diversificazione per condizioni locali di applicabilità.

Sulla base di quanto discusso risulta evidente che condizione preliminare e necessaria per la definizione della rete di monitoraggio è la conoscenza della struttura idrogeologica del sottosuolo e delle caratteristiche quantitative e qualitative dei diversi corpi idrici sotterranei presenti. Questa condizione è stata fondamentale per

**Tabella 1: Vantaggi e svantaggi nell'adozione dei diversi criteri di selezione dei punti di monitoraggio**

CRITERIO	VANTAGGI	SVANTAGGI
Geometrico	Non necessita di grandi conoscenze pregresse Utilizzabile per rete preliminare Considera in prima istanza disponibilit� tecnico-economiche non specifiche per la gestione della rete	Poco riferita alla variabilit� quali-quantitativa delle acque sotterranee Deve essere abbandonata nella successiva gestione della rete in fase definitiva ed esecutiva
Idrogeologico	Utilizzabile per rete definitiva Rappresenta meglio le modalit� di alimentazione, deflusso e recapito delle acque sotterranee " maggiormente utile per separare acquiferi anche in profondit�	Non utilizzabile per rete preliminare Presuppone conoscenza del flusso idrico sotterraneo Da integrare per la rete definitiva ed esecutiva con il criterio idrochimico
Idrochimico	Utilizzabile per rete definitiva Integra la conoscenza sulle modalit� di alimentazione, deflusso e recapito delle acque sotterranee derivante dall'approccio idrogeologico. " maggiormente utile per separare acquiferi anche in profondit� Fornisce indicazioni sulle concentrazioni di fondo, sull'inquinamento diffuso e sull'incidenza di singole attivit� ed uso del suolo	Non utilizzabile per rete preliminare Presuppone conoscenza del flusso idrico sotterraneo, delle relazioni tra i diversi acquiferi presenti e delle modalit� di trasporto di composti nelle acque sotterranee Richiede una elevata professionalit� degli operatori
Statistico	Utilizzabile per rete esecutiva Riesce a descrivere meglio la variabilit� intrinseca ai sistemi naturali	Non utilizzabile per rete preliminare Necessita di un consistente ed affidabile set di dati iniziali Necessita di una separazione di sottoclassi di valori per analisi statistiche (ad esempio variazioni monte-valle) Richiede una elevata professionalit� degli operatori

l'impostazione del Progetto e ha rappresentato l'elemento discriminante per lo svolgimento delle attivit  regionali.

L'individuazione dei punti della rete di monitoraggio   stata realizzata in due situazioni conoscitive dei corpi idrici sotterranei differenti, cio  limitata e avanzata e quindi con due diversi gradi di approfondimento, rispettivamente in presenza o in assenza di una rete pregressa, seppure parziale e/o discontinua.

Il primo caso   stato sviluppato dalle Regioni Basilicata e Piemonte, mentre il secondo approccio   stato seguito dalla Regione dell'Umbria e per aspetti specialistici anche dalla Regione Liguria.

Peraltro, un processo logico unitario presiede alle attivit  dei vari sottoprogetti regionali articolato nelle seguenti fasi:

- a) Selezione e revisione delle informazioni disponibili:
  - ricostruzione dell'assetto geologico e idrogeologico del sottosuolo;
  - identificazione del sistema idrogeologico e del sistema antropico di pressione;
  - definizione del modello funzionale e dei parametri di comportamento.
- b) Prima impostazione e gestione operativa sperimentale della rete di monitoraggio:
  - realizzazione di una "rete preliminare" di monitoraggio relativa agli aspetti quali-quantitativi e sua gestione operativa;
  - elaborazione dei dati della rete provvisoria ed

individuazione della "rete definitiva" (anche sulla base di un aggiustamento delle conoscenze sul sistema idrogeologico).

- c) Gestione consolidata delle rete di monitoraggio;
  - gestione della rete definitiva;
  - gestione ed elaborazione dei dati della rete.
- d) Sintesi delle conoscenze acquisite.

## 2. Criteri di impostazione di una rete preliminare partendo da una situazione conoscitiva limitata

La situazione di una conoscenza limitata sulle caratteristiche quali-quantitative sulle acque sotterranee si realizza per una parte significativa del territorio italiano (Beretta G.P., 1994). Prima dell'impostazione del reticolo   necessario condurre una omogeneizzazione dei dati disponibili partendo dalle conoscenze settoriali esistenti. Ci  consente di avere a disposizione un primo quadro delle conoscenze che pu  essere integrato ai fini della implementazione di una rete di monitoraggio.

Il percorso metodologico necessario per poter impostare e gestire una prima rete di monitoraggio prevede sostanzialmente due aspetti tra loro interconnessi:

- a) la ricostruzione del modello idrogeologico;
- b) l'individuazione dei punti d'acqua idonei per le misure quali-quantitative.

Per la ricostruzione del modello idrogeologico la procedura prevede una serie di indagini che sono finalizzate a:

- Definire l'attuale quadro conoscitivo sulle risorse idriche sotterranee in quanto potrebbero esistere già le informazioni da utilizzare per la progettazione della rete di monitoraggio. Pertanto, dopo un primo inquadramento degli acquiferi da monitorare sono da acquisire i dati sulla struttura idrogeologica dell'area di studio.
- Rivedere i dati disponibili esistenti, per lo più disomogenei nello spazio e nel tempo, cercando di acquisire presso vari Enti gli studi eseguiti e le informazioni circa l'esistenza di punti di misura quali-quantitativi delle falde.
- Completamento delle conoscenze nel caso, nonostante la revisione effettuata, si riscontrino lacune parziali o scarsità di informazioni sulla localizzazione dei punti d'acqua.

Viene quindi definito a conclusione della fase di studio un modello idrogeologico preliminare e sono indicate a livello orientativo le caratteristiche dei punti d'acqua da monitorare.

Per alcuni di essi sono già disponibili informazioni sufficienti, mentre per altri deve essere eseguita una apposita ricerca integrativa in situ circa la localizzazione e la possibilità di eseguire misure e prelievi di acque.

## **2.1 QUADRO CONOSCITIVO DEI TERRITORI DI STUDIO E DEFINIZIONE DEGLI ACQUIFERI DA MONITORARE**

Nell'ambito del progetto PRISMAS sono state considerate due aree campione prive di monitoraggio delle acque sotterranee sulle quali impostare un reticolo preliminare.

L'area prescelta per la Regione Piemonte risulta significativa delle grandi pianure alluvionali ed in particolare per quanto riguarda la Pianura Padana con presenza di acquiferi sovrapposti e di intense attività antropiche (insediamenti urbani, aree industriali, agricoltura intensiva); in questa situazione sono possibili reti di monitoraggio sovrapposte, finalizzate al controllo sulla verticale della circolazione idrica sotterranea.

L'area prescelta per la Regione Basilicata consiste in un'area di pianura costiera con problemi dovuti all'uso intensivo delle acque a scopo irriguo e all'ingressione delle acque marine.

Poiché in Basilicata e in Piemonte non si hanno reti di monitoraggio, gli acquiferi monitorati con prime realizzazioni appaiono rappresentativi delle due realtà delle grandi pianure e degli acquiferi costieri.

---

La Regione Piemonte ha in corso un progetto generale di monitoraggio delle acque superficiali e sotterranee dell'intero territorio regionale finalizzato alla gestione e tutela delle risorse idriche.

All'interno del progetto PRISMAS sono stati selezionati gli acquiferi di pianura delle province di Cuneo e Torino, mentre un progetto parallelo (PRISMAS II) e uno simile riguardante anche la vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento (Bacino del F. Tanaro: studio sui potenziali rischi dovuti all'alluvione del novembre 1994 e realizzazione di una rete di monitoraggio

delle acque sotterranee, nonché identificazione dei siti potenzialmente pericolosi e valutazione della vulnerabilità della falda) interessano le province di Asti, Alessandria, Biella, Novara, Vercelli e Verbania-Cusio-Ossola; questi ultimi due progetti sono finanziati esclusivamente dalla Regione Piemonte.

Negli acquiferi di pianura, dopo una revisione delle attuali conoscenze, si è perseguito l'obiettivo la definizione di almeno due reti sovrapposte, destinate rispettivamente a sorvegliare la "falda superficiale" e l'insieme delle "falde profonde", anche per il diverso ruolo ad esso attribuito dalla normativa regionale.

L'area di studio prescelta in Basilicata per la realizzazione del progetto PRISMAS comprende la fascia della costa Jonica, sottesa tra i fiumi Bradano e Sinni la cui vocazione vede la presenza di numerose aziende agricole, a carattere industriale e familiare, per le quali la risorsa idrica rappresenta un elemento essenziale per lo svolgimento di ogni loro attività. Infatti, la presenza in tale zona costiera di colture pregiate è stata inizialmente favorita dallo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee localmente disponibili e decisamente abbondanti in regimi idrologici ordinari. Negli ultimi 30 anni la crescente domanda irrigua è stata soddisfatta mediante le risorse idriche superficiali accumulate dai grandi invasi appenninici, ma solo di recente, a causa del sopraggiungere di un periodo siccitoso pluriennale, è stata rilevata una domanda irrigua sovrabbondante rispetto alle risorse idriche utilizzabili. Tale circostanza ha rivalutato le risorse idriche sotterranee disponibili nella zona costiera, aumentando, contestualmente, il rischio di inquinamento delle falde a causa di fenomeni di intrusione d'acqua marina provocata da emungimenti forsennati ed incontrollati. L'assetto idrogeologico dell'area risulta particolarmente complesso poiché interessa una fascia solcata da ben cinque corsi d'acqua (Bradano, Basento, Cavone, Agri e Sinni) in una larghezza di circa 40 km, con l'interconnessione di diversi sistemi geologici e strutturali.

---

## **2.2 STATO DELLE CONOSCENZE IDROGEOLOGICHE E IDROCHIMICHE NELLE AREE PRESCELTE**

Nei territori esaminati operano da anni vari Enti che producono dati e studi idrogeologici e idrochimici per diverse finalità.

Prima di passare alla individuazione di punti di monitoraggio e all'esecuzione di misure quali-quantitative è necessario condurre un'opera di raccolta ed omogeneizzazione dei dati esistenti che riguardano principalmente studi e ricerche scientifiche pubblicate o rapporti tecnici di Enti pubblici.

Ciò serve per comprendere lo stato delle conoscenze e valutare l'opportunità di ulteriori raccolte di dati e di elaborazioni integrative.

A titolo esemplificativo si riportano le conoscenze disponibili al momento dell'attivazione dei Progetto PRISMAS nelle due aree di studio.

---

L'area campione del Piemonte è costituita dalla pianura torinese e cuneese.

Nell'area torinese, sulla base dei dati litostratigrafici, idrogeolo-

gici e idrochimici, è possibile suddividere i seguenti complessi:

- **Complesso superficiale.** Costituito da sedimenti di ambiente continentale (depositi fluviali e fluvioglaciali) del Pleistocene medio-Olocene. L'acquifero freatico presente è rappresentato da prevalenti ghiaie e sabbie che hanno spessori molto variabili da 20 a 50 m. Generalmente si ha una vulnerabilità all'inquinamento elevata, tranne dove è presente un palo-suolo argillificato che consente una parziale protezione alle acque sotterranee. Per quanto riguarda le vallate alpine le acque sotterranee sono contenute in depositi di fondovalle molto permeabili e in diretto contatto con le acque superficiali. Al di sotto della falda libera superficiale possono essere talora presenti anche falde in pressione.

- **Complesso delle alternanze.** Questo complesso è costituito da depositi fluvio-lacustri del Pliocene sup. - Pleistocene inf. ed è rappresentato da sabbie e ghiaie all'interno di limi e argille ricche di sostanza organica. I depositi "villafranchiani" occupano una blanda depressione a forma di sinclinale situata nel settore torinese-canavesano e in due bacini minori situati ai lati dell'alto strutturale sepolto di Moncalieri - La Loggia. Verso le zone assiali di queste conche si ha il maggiore spessore di materiali fini, mentre i materiali più grossolani abbondano soprattutto nelle fasce perialpine e pericollinari. Le falde contenute nel complesso delle alternanze sono in pressione e costituiscono una importante risorsa idrica per la pianura torinese in quanto abbastanza produttive e protette dall'inquinamento. Tuttavia verso il bordo della pianura la separazione dalla falda libera superficiale tende a diminuire e si forma in pratica un acquifero indifferenziato; nell'area perialpina si ha pertanto la zona di ricarica del sistema multifalde del complesso delle alternanze, che deve essere oggetto di particolare attenzione nella pianificazione e tutela delle risorse idriche.

- **Complesso pliocenico.** I dati litostratigrafici hanno consentito di individuare anche l'andamento del substrato marino pliocenico che presenta tre zone di alto: in corrispondenza dell'Anfiteatro morenico di Ivrea fino a Settimo, da Rivoli-Piossasco alla collina di Torino e da Moncalieri a La Loggia. Nel complesso dei depositi marini si riscontra un'alternanza tra sedimenti grossolani (sabbie in facies "astiana") e depositi fini che consente la presenza di falde in pressione, anche in questo caso con buone rese per l'utilizzo delle acque. Il substrato terziario pre-pliocenico della Collina di Torino, che borda l'area di studio verso Est, si comporta da complesso impermeabile.

Per quanto riguarda il settore della pianura cuneese, un primo settore di studio si estende all'interno delle conoidi alluvionali dei torrenti Grana, Maira e Varaita ed è caratterizzato dalla presenza di un acquifero superficiale costituito dai depositi fluviali e gluviglaciali rissiani e wurmiani, a granulometria decrescente da monte verso valle che determina situazioni idrogeologiche diverse.

Acquiferi profondi localizzati nei depositi villafranchiani sono stati intercettati da alcune perforazioni nella fascia pedecollinare occidentale, da Costiglione a Saluzzo, ma sono caratterizzati da scarsa produttività.

Nella parte meridionale dell'area, costituita dall'innesto delle due ampie conoidi del T. Maira e del T. Grana, i depositi alluvionali sono più grossolani e interessati da cementazione.

Questi livelli possono presentare uno spessore di 50-60 m, ma non sembrano continui e quindi non sono in grado di separare falde differenti, tranne in alcune zone dove sono presenti modeste falde sospese di interesse locale.

La presenza di orizzonti cementati e l'elevata soggiacenza della falda hanno condizionato nella parte alta della conoide del T. Maira (da Dronero a Busca e Caraglio) uno scarso ricorso alle risorse idriche sotterranee, vista anche l'abbondanza e la disponibilità di quelle superficiali.

A Sud di Busca, solo i pozzi che raggiungono profondità considerevoli (oltre 100 m di profondità) mostrano una produttività elevata con prelievi fino a 200 L/s.

Allontanandosi dalla fascia pedemontana di conoide i depositi diventano più fini e quindi alle ghiaie si associano sabbie e limi in corpi lenticolari.

In queste zone la soggiacenza diminuisce e nel settore compreso tra Vottignasco e Centallo sono presenti numerose risorgive (Regione del Sagnassi); la linea di affioramento delle acque sotterranee ("linea delle risorgive") da Centallo prosegue in direzione Nord fino a Ruffia, per piegare verso Ovest a Cardè-Bagnolo e infine ancora verso Nord fino a Torino.

La produttività si mantiene elevata, con valori a Savigliano di 80-100 L/s.

La fascia di territorio situata in sinistra del T. Varaita a Sud di Saluzzo è costituita da ghiaie e sabbie, spesso limose, a cui si intercalano lenti di argilla. Nonostante la riduzione di permeabilità complessiva rispetto ai territori circostanti, la produttività dei pozzi si mantiene su valori elevati (20-50 L/s).

Un secondo settore di studio si estende sull'altopiano di Poirino in cui sono presenti in superficie limi e sabbie fini potenti circa 20-30 m che sovrastano circa 100 m di litotipi villafranchiani nei quali è predominante la frazione limosa e dove gli acquiferi sfruttati sono costituiti da livelli sabbiosi e ghiaiosi di scarsa continuità e, come indicato da dati isotopici, hanno un'alimentazione locale legata alle aree di affioramento.

L'acquifero più importante è costituito dalla Formazione delle Sabbie di Asti che sembra avere una alimentazione dalle acque che scorrono nel sottosuolo delle aree occupate attualmente dal F. Po e dal T. Maira; l'infiltrazione avverrebbe perciò in corrispondenza di Carignano-Carmagnola dove i depositi alluvionali sono a diretto contatto con le sabbie plioceniche e anche in questo caso l'ipotesi sembra avvalorata dai dati isotopici.

L'area di studio della Basilicata comprende la fascia costiera Jonico-Lucana, inglobante parte della "Fossa Bradanica" che si estende per circa 40 km lungo l'arco di costa compreso tra i fiumi Sinni, a Sud, e Bradano a Nord e per una larghezza di circa 10 km, ricoprendo una superficie di circa 400 km<sup>2</sup> delimitata, a Nord-Ovest, dal gradino morfologico del II ordine dei terrazzi marini conosciuti, a Sud-Est dal mare Jonico, a Sud-Ovest dall'alveo del fiume Sinni e a Nord-Est dal fiume Bradano.

L'aspetto morfologico è quello tipico di costa bassa con un'estesa superficie pianeggiante pendente lievemente verso il mare. L'area può essere suddivisa in tre fasce morfologicamente e geologicamente distinte che procedendo dalla costa fino all'interno, possono essere sintetizzate in avanspiaggia, retrospiaggia e fascia dei terrazzi.

L'avanspiaggia, abbastanza rettilinea, è ampia da qualche metro a qualche centinaio di metri, si sviluppa tra le quote 2 e 15 m s.l.m. ed è caratterizzata dalla presenza di cordoni di dune paralleli alla costa.

Il retrospiaggia è dato da un'ampia pianura che si raccorda gradualmente con quelle alluvionali recenti legate ai corsi d'acqua presenti.

La zona più interna è caratterizzata da un'ampia pianura terrazzata; sono sette gli ordini di terrazzi marini presenti, individuabili da caratteristiche scarpate di abrasione marina subparallele all'attuale linea di costa.

Il più elevato fra questi terrazzi raggiunge quota 392 m s.l.m.; il terrazzo inferiore si nota appena dalla pianura del cosiddetto retrospiaggia.

La superficie subpianeggiante dei terrazzi risulta incisa dalle ampie valli dei principali fiumi (Sinni, Agri, Cavone, Basento e Bradano) e da piccole valli strette dovute all'azione erosiva dei corsi d'acqua minori (Fosso Valle, Fosso Marzocco ed altri).

Dal punto di vista geologico, l'area ricade nella porzione meridionale dell'Avanfossa Appenninica.

Il substrato geologico dell'intera area, affiorante in pochi punti, è costituito dalle argille subappenniniche del ciclo bradanico superiore (Pliocene inf.) sulle quali poggiano discordanti i depositi marini terrazzati, le alluvioni recenti ed attuali dei predetti fiumi, i depositi di piana costiera ed i depositi di spiaggia.

Dal punto di vista idrogeologico le argille subappenniniche possono essere classificate come praticamente impermeabili e generalmente costituiscono il livello di base degli acquiferi presenti nell'area.

I depositi marini terrazzati, riferibili al Pleistocene medio-superiore, sono formati essenzialmente da sabbie grossolane giallastre e ghiaia, alle quali si intercalano lenti argillose-limose e di conglomerati poligenici.

Siffatti terreni, che mostrano spessori massimi dell'ordine dei 30-40m, sono caratterizzati da permeabilità variabile, da valori medi nei livelli sabbioso-ghiaiosi a valori bassi e molto bassi in quelli limoso-argillosi.

I depositi marini terrazzati affiorano estesamente alla sommità tabulare dei rilievi collinari ed individuano delle superfici di terrazzamento marino generatesi, durante il Pleistocene medio superiore, a causa dell'azione combinata delle variazioni glacio-eustatiche del livello marino e dell'innalzamento dell'intera area dovuto alle ultime fasi dell'orogenesi appenninica. I depositi alluvionali recenti, che possiedono spessore massimo di 15 m, sono costituiti essenzialmente da depositi argilloso-sabbioso-ghiaiosi con intercalati livelli sabbiosi.

A Sud-Est della SS Ionica i depositi alluvionali si confondono con quelli di origine lagunare o di spiaggia, costituiti da sabbie brune, ghiaie ed argille sabbiose nere, mentre nella piana costiera, i sedimenti alluvionali sono più spiccatamente sabbiosi e poggiano, lungo una superficie indistinta, su depositi di ambiente di transizione rappresentati da sabbie, ghiaie e limi in lenti e livelli variamente distribuiti nello spazio.

Infatti, durante le fasi terminali dell'ultima trasgressione olocenica, che aveva portato la linea di costa ben più all'interno rispetto a quella attuale, l'apporto di notevoli quantità di depositi terrigeni ha determinato la sedimentazione di una potente serie di depositi lungo la fascia costiera.

Questi depositi presentano una variabilità spaziale dei caratteri granulometrici tipica dei depositi di transizione e la permeabilità varia da medio bassa a molto bassa, passando dai livelli sabbiosi a quelli limoso-argillosi.

La piana costiera è caratterizzata da depositi tipicamente di transizione, rappresentati da sabbie, ghiaie ed argille in lenti e livelli irregolarmente distribuiti.

Le dune costiere sono costituite da sabbie e sabbie leggermente cementate.

L'assetto idrogeologico dell'area è fortemente condizionato dalla presenza dei corsi d'acqua che la solcano, sia come tipologia di depositi presenti sia come incisioni fluviali, costituendo un ambiente idrogeologico alquanto eterogeneo.

La sequenza stratigrafica, costituita da depositi abbastanza grossolani con permeabilità medio-alta giacenti su un substrato più francamente argilloso (Argille grigio-azzurre) a bassa permeabilità, garantisce la presenza di un acquifero (monostrato o multistrato) che ha come recapito naturale il Mar Jonio. La notevole variabilità, sia della permeabilità sia delle condizioni litostatigrafiche, impone alle acque di falda un altrettanto ampia variabilità nelle modalità di circolazione sotterranea, tra libera ed in pressione.

I livelli acquiferi si individuano nei livelli sabbioso-ghiaioso-conglomeratici dei depositi marini terrazzati e nelle alluvioni attuali e/o recenti.

Nei primi si individua un acquifero abbastanza continuo e potente con variabilità locale delle permeabilità. Nei depositi alluvionali recenti e attuali le falde idriche sono spesso discontinue e poco potenti ed alimentano l'acquifero della piana costiera.

Le quote piezometriche, variabili sia durante l'anno che in periodi pluriennali, sono minori di 10m, almeno nella prima fascia costiera (2-3 km dal mare), così come riportato in uno studio condotto da Polemio (1994). Tale studio descrive in maniera sufficiente anche l'andamento delle isopieze dell'area, evidenziando come il fiume Basento svolga una netta azione drenante sull'acquifero, a differenza del fiume Bradano che sembra svolgere tale azione in maniera decisamente più blanda.

Il valore massimo del gradiente si registra, con riferimento alle piezometriche medie, tra il fiume Bradano ed il Basento con valori pari a 0.42%, mentre il minimo è osservato tra il fiume Basento ed il Cavone, con un valore pari a 0.09%.

La superficie del substrato argilloso, che funge da letto alla falda in esame, presenta pronunciati profili di erosione profondi fino a quasi 100 m al disotto del livello medio del mare e si sviluppa lungo l'asse dei fiumi principali.

Tale andamento morfologico è dovuto alla fase di regressione olocenica, con approfondimento degli alvei dei corsi d'acqua. Esso, insieme alla variazione di permeabilità dei depositi, condiziona in maniera marcata la morfologia piezometrica nelle vicinanze dei corsi d'acqua principali (F. Basento).

Nell'ottica dell'utilizzo della risorsa idrica sotterranea rappresentata dagli acquiferi finora descritti, una rapida panoramica suggerisce di individuare aree soggette prevalentemente ad emungimenti o, in misura minore, a prelievi da emergenze, rappresentate dalle falde presenti nei depositi di alveo attuale e/o recenti e nella piana costiera (depositi marini terrazzati).

## 2.3 REVISIONE DEGLI STUDI E DEI DATI ESISTENTI

In questa fase di studio, una volta verificata l'insufficienza delle ricostruzioni idrogeologiche e idrochimiche esistenti, risulta necessari omogeneizzare il patrimonio di dati disperso presso i vari Enti. In sostanza sono da censire i dati relativi alle opere di captazione, nell'ambito delle procedure di autorizzazione allo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee, che costituiscono la base informativa indispensabile per la revisione delle conoscenze idrogeologiche delle diverse aree e una prima indicazione sulla localizzazione dei punti disponibili.

I punti d'acqua su cui sono eseguite misure sono:

- pozzi destinati all'approvvigionamento potabile;
- piezometri di monitoraggio di discariche;
- piezometri di monitoraggio in aree irrigue;
- pozzi di reti di sorveglianza del Ministero dei Lavori Pubblici (Uffici Idrografici);
- piezometri di controllo di importanti opere pubbliche (strade, ferrovie, ecc.).

Per quanto riguarda la qualità delle acque sotterranee sono generalmente disponibili le serie storiche dei dati di controllo della potabilità delle acque eseguiti dalle ASL.

Altre informazioni derivano da studi di carattere scientifico limitati nello spazio e/o nel tempo.

A livello indicativo dell'entità dei dati acquisiti sono illustrate le esperienze delle due regioni.

In Piemonte sono scarse le informazioni preesistenti relative alle acque sotterranee, ad eccezione dei dati qualitativi riferiti ai controlli sulle acque sotterranee destinate al consumo umano rilevate dalle ASL che comunque sono scarsamente georeferenziate e quindi difficilmente utilizzabili al fine di una caratterizzazione idrochimica; su questo aspetto è comunque in corso una revisione dei dati disponibili.

In Provincia di Torino si hanno comunque le seguenti reti.

La Regione Piemonte, Servizio Prevenzione Rischio Meteorologico, Idrogeologico e Sismico sorveglia circa 300 punti nell'area del pinerolese, classificata come sismica, con cadenza semestrale (primavera e autunno); vengono effettuate solo misure del livello piezometrico.

La SITAF - Valle Susa controlla 5 punti con monitoraggio in continuo del livello piezometrico e di alcuni parametri chimico-fisici (pH, temperatura, conducibilità elettrica).

Sono poi disponibili serie storiche di dati derivanti dal monitoraggio delle discariche nella Provincia di Torino.

Sono stati raccolti e revisionati alcuni studi pregressi che si sono occupati esclusivamente della ricostruzione del modello idrogeologico.

Data la varietà e livello di dettaglio delle informazioni è stato necessario riprendere una gran parte dei dati originali per poter ricostruire con sufficiente dettaglio l'idrogeologia delle aree.

Per settori ristretti alla zona del cuneese sud-orientale (Cuneo) e del pinerolese (Torino) e sono state proposte reti di monitoraggio nell'ambito di una borsa di studio finanziata dalla Regione Piemonte (vedi Beretta G.P., de Luca D.A., Faliero P., Filippini G., Masciocco L., 1995).

Gli studi precedenti in Basilicata consentono una caratteriz-

zazione parziale dell'area di interesse limitata ad una sommaria ricostruzione della configurazione idrogeologica e della circolazione subsuperficiale compatibilmente con i dati acquisiti e disponibili.

Per ciò che attiene ai dati disponibili sul territorio e relativi all'assetto della quantità e qualità delle acque sotterranee, sulla base di informazione recuperate da varie fonti, occorre osservare che il Servizio Idrografico Nazionale disponeva dal 1927 fino al 1976 di circa 26 pozzi di controllo dislocati lungo l'intero arco jonico tra i fiume Bradano ed il Cavone. Elaborazioni eseguite su 24 stazioni aventi 10 anni o più di funzionamento hanno permesso di evidenziare una escursione massima nel periodo di osservazione in ciascun pozzo compresa tra 1.5 e 3.6 m. I valori di tale escursione sono crescenti dalla costa verso l'interno, e sembrerebbe non esistere una forte correlazione fra la dislocazione spaziale dei pozzi e la configurazione del reticolo idrografico. La rete è ormai dismessa da più di venti anni e, soprattutto, mancano dati da correlare con gli eventi siccitosi che anno caratterizzato l'area negli anni 80-90. L'escursione massima annua è stata calcolata intorno a 0.3-1.2 m, con valori crescenti verso il mare a causa delle oscillazioni proprie del carico idrostatico associato al contorno e sufficientemente contenuto nelle immediate prossimità del reticolo idrografico. Il regime piezometrico, dalle serie storiche disponibili, può essere considerato uniforme, caratterizzato da un unico massimo e da un unico minimo.

L'inquadramento climatico dell'area può essere riconosciuto sulla base di dati reperibili presso il Ministero dei LLPP, relativi ai rilevamenti termo-pluviometrici presso la stazione di Metaponto e disponibili per il periodo 1922-1987.

Le attività in campo per la ricognizione dei punti di misura è stata affiancata da una ricerca di informazioni pregresse relative all'assetto geologico ed idrogeologico della fascia costiera jonica-lucana. La letteratura scientifica non risulta particolarmente ricca evidenziando una notevole carenza di informazioni circa la strutturazione della dinamica di scorrimento delle acque profonde e le interazioni tra il reticolo superficiale, quello profondo ed il mare.

Pochi studi sono stati recuperati; essi riportano alcune utili informazioni circa la ricostruzione dell'assetto stratigrafico dell'area costiera compresa tra i fiumi Bradano e Cavone ed i lineamenti principali del deflusso subsuperficiale, individuando le principali aree interessate da circolazione freatica ed artesiane. Tali studi riferiscono anche di valutazione dei processi di salinizzazione dell'area e del basso rischio di intrusione salina.

## 2.4 COMPLETAMENTO DELLE CONOSCENZE

La scelta dei punti di prelievo che costituiscono la rete di controllo deve essere basata sulla conoscenza di tutti gli aspetti caratterizzanti l'acquifero da monitorare. Devono essere note la geologia e la geomorfologia, la struttura idrogeologica, l'idrologia superficiale, ecc.

Poiché il materiale disponibile non è stato ritenuto pienamente sufficiente si è operato un ulteriore censimento dei dati ai fini del completamento delle conoscenze.

Questi dati sono utilizzati sia per meglio ricostruire il quadro idrogeologico preliminare sia per individuare

punti d'acqua potenzialmente utilizzabili nella rete da monitoraggio.

In Piemonte l'attività è stata preceduta da una preliminare ricostruzione del modello idrogeologico alla scala delle aree di studio, localizzate nelle province di Cuneo e Torino in quanto:

- non esisteva un quadro di riferimento idrogeologico alla scala necessaria di indagine
- gli obiettivi del progetto prevedevano la creazione di due reti sovrapposte in modo da sorvegliare un "acquifero superficiale" e l'insieme degli "acquiferi profondi", anche in relazione alla normativa regionale per l'uso delle acque sotterranee.

Si è quindi effettuata una ricostruzione originale delle caratteristiche idrogeologiche del sottosuolo, operando una distinzione dei diversi corpi acquiferi sulla base di criteri geologici, idrogeologici e idrochimici; in tal modo è stato possibile operare una prima suddivisione tra acquifero superficiali e acquiferi profondi.

Pertanto, previa determinazione di una superficie di separazione tra l'acquifero superficiale e quello profondo, da rivedere e dettagliare sulla base di ulteriori dati e misure, si è alla ricerca operativa dei pozzi da attribuire alle due reti nel modo di seguito descritto.

Poiché non sono state individuate ricostruzioni idrogeologiche esaustive alla scala del territorio esaminato e reti di misura preesistenti, è stato necessario condurre studi integrativi mediante censimento di dati presso Enti pubblici e privati.

Per quanto riguarda i dati idrochimici la fonte di riferimento sono stati i laboratori ARPA presso i quali erano disponibili archivi con dati analitici.

I dati disponibili non erano peraltro direttamente utilizzabili a causa di non corretto ordinamento nella tabulazione, di incompatibilità tra vecchio e nuovo software e di indisponibilità della versione informatizzata.

I dati sulla qualità delle acque sono disponibili solo per i pozzi pubblici.

In Basilicata ai dati censiti e raccolti durante il primo anno di attività del progetto interregionale sono state associate indagini di dettaglio avviate da altri enti operanti nell'area in esame.

Il riferimento specifico è relativo ai campionamenti e misure geologiche ed idrogeologiche ottenute dal compartimento regionale ANAS di Potenza durante le campagne di misura avviate lungo l'arco jonico lucano per la realizzazione del potenziamento della SS 106.

Le indagini hanno riguardato la realizzazione di sondaggi nella fascia retrostante l'avanspiaggia, con il posizionamento di una batteria di piezometri resi disponibili per eventuali ulteriori misure da attivare durante l'espletamento del progetto PRISMAS.

A tali indagini, nell'ambito del presente progetto, sono state affiancate misure termosalinometriche e carotaggi g-log al fine di fornire ulteriori informazioni circa la configurazione idrogeologica dell'area e la natura del sottosuolo nei riguardi dei contenuti salini naturali ed indotti dalle attività antropiche svolte in superficie.

Per quanto attiene la qualità delle acque sotterranee, esistono poche e spazialmente diradate informazioni campionate

negli ultimi anni, per cui è stato quanto mai essenziale lo svolgimento delle attività del progetto PRISMAS per definire una base conoscitiva omogenea circa lo stato di salute della risorsa idrica sub-superficiale dell'area in esame.

## 2.5 IMPOSTAZIONE DEL RETICOLO PRELIMINARE

Una volta definito l'intervallo di profondità da sorvegliare, sulla base della ricostruzione preliminare della struttura idrogeologica, i requisiti teorici dei punti da selezionare per le misure sono stati, in linea di massima, i seguenti:

- devono essere facilmente accessibili e permettere un campionamento in tempi brevi e in ogni periodo dell'anno. I pozzi usati esclusivamente ad uso irriguo sono preferibilmente da evitare in quanto sia quelli a funzionamento elettrico che meccanico vengono utilizzati solo nel periodo estivo, richiederebbero quindi tempi di spurgo troppo elevati; ovvero il pozzo deve rappresentare il più fedelmente possibile le caratteristiche dell'acquifero considerato ed è pertanto preferibile scegliere un pozzo attivo piuttosto di uno utilizzato solo saltuariamente, al fine di accorciare i tempi di spurgo;
- deve essere possibile campionare acqua proveniente direttamente dall'acquifero e non stoccata in serbatoi, cisterne, autoclavi, ecc., che possono modificare alcuni parametri chimici;
- devono essere note le caratteristiche costruttive del pozzo, in particolare la profondità e la posizione dei filtri;
- la testa del pozzo deve essere adeguatamente isolata per prevenire infiltrazioni e contaminazioni di acque meteoriche;
- le misure piezometriche devono essere non particolarmente difficoltose, preferibilmente il pozzo deve essere dotato di tubo piezometrico; inoltre il livello piezometrico deve essere il meno perturbato possibile; dal punto di vista del monitoraggio quantitativo (piezometrico) sono da preferire i pozzi irrigui ed i piezometri.

Per quanto riguarda il monitoraggio qualitativo sono da preferire i pozzi per acquedotti i quali sono abitualmente in funzione e più controllati, e molto spesso gli unici pozzi profondi disponibili.

Questi requisiti generali sono stati opportunamente considerati e adattati alle situazioni locali; in particolare sono stati identificati tre tipi di pozzi destinati alle misure quantitative, qualitative e quali-quantitative in funzione delle modalità di completamento delle opere di captazione.

La densità del reticolo è funzione poi dell'uso della risorsa idrica, dell'impatto antropico, delle problematiche ambientali presenti in ogni acquifero monitorato nonché delle dimensioni, della struttura ed omogeneità dell'acquifero stesso.

La rete di monitoraggio impostata in Piemonte nell'ambito del progetto PRISMAS è stata rivolta sia all'acquifero superficiale

che a quello profondo, con particolare attenzione all'acquifero superficiale.

Inizialmente è stata utilizzata una maglia di 9 km<sup>2</sup>, ovvero si è scelto un punto di monitoraggio ogni 9 km<sup>2</sup>, per l'acquifero superficiale, mentre per l'acquifero profondo laddove possibile ogni 16 km<sup>2</sup>; l'area interessata dal progetto PRISMAS è complessivamente di circa 4000 km<sup>2</sup>.

I punti cartografati sono stati, in un secondo momento, georeferenziati dal CSI, mentre i dati rilevati in situ sono stati parzialmente inseriti nel Data Entry appositamente predisposto dal CSI per il Progetto PRISMAS.

In Piemonte, per la rete di monitoraggio dell'acquifero superficiale si sono utilizzati soprattutto pozzi domestici in quanto l'edificazione sparsa determina l'esigenza di un approvvigionamento idrico autonomo, mentre la rete di monitoraggio dell'acquifero profondo è costituita quasi esclusivamente dalle captazioni acquedottistiche, che per esigenze di bassa vulnerabilità della risorsa si spingono mediamente a profondità maggiori.

Successivamente è stata fatta una ulteriore cernita dei punti di monitoraggio scegliendo una densità inferiore secondo i seguenti criteri:

- Acquifero superficiale:
  - a) almeno un punto per ogni maglia da 25 km<sup>2</sup>;
  - b) non più di tre punti per ogni maglia da 25 km<sup>2</sup>;
  - c) non più di due punti per ogni maglia da 6,25 km<sup>2</sup>.
- Acquifero profondo: almeno un punto per ogni maglia da 25 km<sup>2</sup>.

L'operazione di sfoltimento è stata dettata dalle seguenti esigenze:

- 1) la mole notevole di analisi chimiche da effettuare ad ogni campagna di prelievi (essendo l'area molto estesa);
- 2) rendere omogenea la densità dei punti; infatti in alcune aree o per una densità abitativa minore oppure per una bassa permeabilità dell'acquifero superficiale, il numero di captazioni esistenti è nettamente inferiore

Una minore densità di punti di monitoraggio non va comunque contro la filosofia di una rete di monitoraggio a scala regionale.

Per quanto riguarda la Basilicata la scelta del reticolo preliminare è stata dettata da una serie di condizioni al contorno di natura prevalentemente pratica e funzionale:

- a) nell'area esistevano già una serie di punti d'acqua (circa 26) afferenti alla rete di monitoraggio del Servizio Nazionale Idrografico, ma dismessi a partire dagli anni settanta. Pertanto, in una prima fase, si è cercato di recuperare il patrimonio di misure, in qualche modo ricercando sul territorio tali punti di misura. Dei 26 punti d'acqua ne sono stati trovati solo 2 e ostruiti;
- b) la ricerca di potenziali punti di misura è stata condotta rilevando la disponibilità da parte di proprietari di pozzi presenti nell'area di studio mediante intervista diretta;
- c) nella fase di scooping sono state rilevate tutte le disponibilità in una fascia di estensione lungo la costa di circa 40 km e larghezza di 10 km a partire dalla linea attuale di costa, scartando a priori tutti i pozzi che non soddisfacevano alla condizione di accessibilità al sito (anche difficile) e di bocchetta del pozzo sufficientemente grande da consentire il prelievo dei campioni con bottiglia di profondità;

d) data la fruibilità dell'area e precedenti esperienze nell'area relative alla realizzazione di stazioni fisse di misura successivamente distrutte da attività vandaliche, si è operata la scelta del monitoraggio mediante visita di un operatore con misura in sito e prelievo di campioni per successive analisi in laboratorio.

Sulla base di tali considerazioni sono stati censiti circa 120 punti d'acqua in corrispondenza dei quali sono stati effettuati prelievi e misure in sito.

Le visite successive hanno consentito di operare uno screening accantonando quei punti di misura che risultavano ridondanti nell'ubicazione (mutuamente troppo vicini) o periodicamente inaccessibili per l'impraticabilità dei luoghi per cause fisiche (ad esempio pozzi ubicati in campi coltivati che, data la morfologia dei siti, presentavano la falda affiorante al piano campagna).

La densità del reticolo preliminare è stata impostata nella fase di scooping incrementando il numero di punti d'acqua in corrispondenza delle aree a prevalente vocazione agricola perché potenziali di un maggiore emungimento. Ciò ha portato ad un maggior numero di pozzi censiti nelle zone limitrofe ai comuni di Scanzano Jonico e Policoro, poiché interessati da una maggiore densità di aziende ortofrutticole.

### 2.5.1 Criteri seguiti nell'identificazione dei punti

Per il Piemonte, operativamente si sono individuati punti di monitoraggio attraverso diverse fasi:

- individuazione sul terreno dei pozzi per i quali si disponeva della stratigrafia o della denuncia pozzi mediante sopralluoghi con personale messo a disposizione da varie amministrazioni comunali (vigili urbani, tecnici comunali, cantonieri, ecc.);
- opportune verifiche di idoneità del pozzo in termini di accessibilità alle misure piezometriche presenza e funzionamento della pompa, ecc;
- compilazione delle schede PRISMAS per ogni punto individuato complete di ubicazione su CTR in scala 1:10.000, schizzo di dettaglio, ecc.

Per la selezione dei punti di misura si sottolinea come molto spesso i pozzi selezionati mediante la consultazione degli Archivi precedentemente descritti siano inaccessibili alle misure e quindi è necessario adottare la seguente procedura:

- contatto con personale in loco (vigili urbani, cantonieri, tecnici comunali, ecc.);
- prima selezione di pozzi eventualmente disponibili;
- ricerca e sopralluogo di pozzi da utilizzare per il monitoraggio;
- nuova ricerca negli archivi dell'esistenza dei pozzi utilizzati per le misure.

Più in dettaglio, nel caso sia stato giudicato possibile procedere alle misure del livello piezometrico è stata seguita la seguente procedura preliminare:

- compilazione della scheda descrittiva del pozzo secondo la metodologia standardizzata predisposta dal CSI sia sulla base dei dati esistenti che di documentazione integrativa o interviste;
- georeferenziazione del punto secondo lo standard CSI;

- stesura di uno schizzo descrittivo dell'opera al fine di una migliore accessibilità al dito e di una esatta individuazione del punto di misura;
- individuazione di un punto di riferimento per le misure piezometriche.

Una volta terminate le operazioni preliminari si è proceduto alla misura del livello con apposita sonda piezometrica centimetrata tenendo in considerazione anche la necessità di interrompere eventuali pompaggi fino al ristabilirsi del livello statico.

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").

Si osserva inoltre quanto segue:

- 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;
- 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;
- in molti casi anche per i pozzi pubblici non si dispone di dati stratigrafici.

L'individuazione dei punti base per l'ubicazione della rete di monitoraggio in Basilicata è stata condotta seguendo i criteri generali suggeriti da esperienze pregresse maturate in differenti realtà e con distinte finalità ed applicati nel contesto dell'area in esame.

Data la particolare configurazione della zona e la prevalente vocazione d'uso dei terreni, e quindi dei punti d'acqua, il primo criterio adottato è stato quello dell'accessibilità del pozzo.

Quasi tutti i pozzi individuati, e resi disponibili dalla popolazione residente, sono occasionalmente impiegati per uso irriguo. Infatti, il superamento di condizioni critiche di disponibilità della risorsa idrica, dovute al manifestarsi nei trascorsi anni di periodi di siccità, attraverso il potenziamento della rete di distribuzione gestita dai consorzi di bonifica, ha reso la maggior parte dei pozzi inutilizzati.

Ciò rende il dato particolarmente interessante al fine di una ricostruzione dell'assetto indisturbato del regime di falda, consentendo un'efficace valutazione sia dello stato della risorsa idrica sia della relativa qualità.

Seguendo il protocollo di archiviazione dei dati censiti, così come concordato con le regioni partner, per ogni punto d'acqua è stata organizzata una scheda in ambiente Access al fine di rendere in dato fruibile in ambienti GIS quali ARCInfo o Oracle.

La scheda tipo racchiude le informazioni di carattere identificativo generale del punto di misura, quali ubicazione, coordinate UTM, tavoletta IGM, ecc., nonché informazioni di dettaglio circa la qualità del punto acqua. In particolare le grandezze acquisite ed immagazzinate nel database sono relative alle misure periodiche effettuate in sito ed in laboratorio.

### *2.5.2 Validazione del reticolo preliminare con i primi dati*

In Piemonte spesso sono risultati disponibili punti di misura ravvicinati che, in sede di selezione per costituire la rete di monitoraggio, devono essere sottoposti ad un'ulteriore selezione.

Si possono a tal proposito applicare i seguenti criteri nel caso ad esempio vi siano due pozzi limitrofi utilizzabili per il monitoraggio di uno stesso acquifero:

- pozzo di costruzione più recente;
- pozzo con possibilità contemporanea di misura di livello piezometrico e di prelievo delle acque;
- pozzo pubblico.

Nel caso un pozzo sia disponibile per misure piezometriche ed un altro per prelievi di acque devono essere entrambi conservati nella rete; è comunque possibile valutare l'opportunità di effettuare lavori limitati su uno dei due pozzi (ad esempio apertura di un foro sulla testa-pozzo a tenuta stagna) per poter garantire la contemporaneità delle misure quali-quantitative.

Le fasi di lavoro sviluppate permettono di individuare un consistente numero di pozzi potenzialmente inseribili nella prima rete di monitoraggio regionale delle acque sotterranee.

Su questi pozzi sono state eseguite verifiche, con relativi sopralluoghi; come si è detto scopo di questo primo controllo è la compilazione della scheda di archiviazione pozzo appositamente predisposta, con verifica dell'accessibilità, della possibilità di campionamento e della significatività del pozzo ai fini di un suo possibile inserimento nella rete di monitoraggio. Ove possibile, vengono inoltre effettuate delle prime misure in campo, rilevando il livello di falda, il pH, la conducibilità elettrica, il potenziale redox, la temperatura e l'ossigeno disciolto.

Segue una fase di campionamento su tutti i pozzi giudicati come "inseribili", al fine di sottoporre le acque sotterranee ad una prima caratterizzazione analitica. Le analisi chimiche 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.

La prima fase di monitoraggio analitico prevede, oltre alla misura del livello di falda, che sui campioni di acqua prelevati vengano determinati i parametri relativi ai componenti principali e ai metalli.

In una seconda fase si effettuano campagne di prelievo che prevedono 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 composti organici volatili (VOC) e pesticidi.

Per la Basilicata, dato che l'obiettivo prioritario del monitoraggio da operare, mira al controllo di eventuali contaminazioni da acque marine nelle falde dolci costiere, si è proceduto ad una intensa campagna di misure in sito con l'ausilio di più operatori.

La validazione del reticolo preliminare è stata ope-

rata mediante visite temporalmente ravvicinate su pozzi spia scelti casualmente tra tutti i disponibili, in maniera da verificare l'attendibilità delle misure.

Le acquisizioni in sito sono state affiancate da verifiche di laboratorio che non hanno evidenziato sensibili differenze.

### 2.5.3 Primi risultati conseguiti

In Piemonte, allo stato attuale delle conoscenze del modello idrogeologico a scala regionale e delle modalità di alimentazione, deflusso e recapito delle acque nel sottosuolo, si è ritenuto che l'obiettivo finale sia conseguibile mediante un processo iterativo di seguito descritto. In questa fase si ritiene che la rete, per dare i dati quali-quantitativi descrittivi del sistema idrogeologico regionale e per acquisire i dati necessari anche a scopi normativi (vedi il nuovo DLgs 152/99) debba essere costituita da:

- una struttura principale costituita da pozzi già esistenti su cui eseguire misure periodiche (trimestralmente o più realisticamente semestralmente);
- una struttura secondaria su cui rilevare (al momento solo dal punto di vista quantitativo) l'evoluzione in continuo della situazione piezometrica in risposta agli input naturali (piogge, drenaggio o perdite da fiumi) e antropici (irrigazioni, prelievi).

Evidentemente la rete secondaria costituisce un sottoinsieme di quella primaria con conseguente interscambio di dati.

In sostanza nella prima rete viene privilegiato l'aspetto spaziale della distribuzione di dati, mentre nella seconda quello temporale.

Per quanto attiene alla struttura principale si è adottata una disposizione di punti distribuiti sul territorio che hanno una ridotta cadenza di rilevazione; in questa fase si ipotizza una cadenza semestrale delle rilevazioni, che rappresenta pragmaticamente la più fattibile con gli attuali mezzi tecnico-economici, ma anche discretamente significativa delle modalità di alimentazione delle falde.

Partendo da una prima impostazione dei punti e sulla base dei risultati acquisiti dalle prime misure si procederà ad incrementare o a diminuire il numero di punti, mediante l'utilizzo di criteri pragmatici (possibilità di eseguire effettivamente le misure) o geostatistici (maggiore affidabilità attesa nell'interpolazione dei dati puntuali).

In questo senso la struttura adottata all'interno del progetto PRISMAS, consente la necessari elasticità di gestione del problema.

A questi aspetti di tipo generali si aggiungono anche considerazioni di tipo organizzativo ed economico.

In effetti la struttura prescelta dalla Regione Piemonte prevede l'utilizzo di Enti pubblici che hanno competenza in materia che dovranno gestire in futuro le rilevazioni (ARPA) ed inoltre, nell'ambito della riforma della gestione delle acque sotterranee conseguente alla Legge 36/94, anche gli Enti sovracomunali (ATO) avranno importanti compiti nella sorveglianza quali-quantitativa della risorsa.

Dato il notevole onere economico atteso, si deve attivare quindi un "circolo virtuoso dei dati", che presenta indubbie difficoltà nella sua organizzazione preliminare, ma che consente una notevole economia finale (di investimenti e gestionale).

In sostanza agli Enti gestori possono essere demandati compiti di rilevazioni quali-quantitative e agli organismi di controllo (ARPA) misure di verifica ed integrative al fine di coprire l'intero territorio regionale con le necessarie conoscenze.

Sarà quindi necessario, una volta stabilita la rete, attivare apposite convenzioni, protocolli di campionamento, misura e trasmissione del dato e successivi controlli di qualità del dato stesso.

Il progetto generale della rete di monitoraggio è partito con differenti tempi e con finalità integrative come ad esempio per quanto riguarda lo studio del bacino del F. Tanaro.

Per quanto riguarda l'acquifero profondo le prime osservazioni indicano una notevole difficoltà nel coprire omogeneamente l'intero territorio regionale sia per la difficoltà di misura (pozzi singoli a servizio di acquedotti e quindi con difficoltà di interruzione del pompaggio per le rilevazioni piezometriche) che per l'effettiva disponibilità di punti significativi.

In sintesi è stata adottata la seguente densità di misure:

- 1ª fase. Punti d'acqua individuati nella:
  - a) subarea provincia di Cuneo n. 205 (acquifero superficiale 151 + 54 profondi);
  - b) subarea provincia di Torino n. 260 (48 superficiali + 212 profondi).
- 2ª fase. Selezione dei punti d'acqua secondo le maglie di 6,25 km<sup>2</sup> e 25 km<sup>2</sup>. Si tratta di pozzi nei quali è stato effettuato il prelievo, e dove possibile la misura del livello piezometrico, nelle 3 campagne giugno-settembre 1999, novembre 1999 - marzo 2000 e maggio 2000: in totale circa 196 totali (subarea a e subarea b) di cui 72 profondi e 124 superficiali la densità è quindi di 1 su 55 km<sup>2</sup> acquifero profondo e 1 punto su 28 km<sup>2</sup> per acquifero superficiale. Questo perché nel criterio di scelta dei punti di monitoraggio sono stati considerati anche i pozzi dove non si può fare il prelievo, ma dove è solo possibile la misura piezometrica, ovvero la densità totale è quella della rete qualitativa + rete quantitativa. I pozzi dove viene fatta la misura del livello piezometrico sono 56.

In Basilicata nell'area campione sono stati individuati circa 120 punti d'acqua, per i quali è stato effettuato un campionamento preliminare e verificate le tre condizioni precedentemente esposte, sono stati individuati 42 *pozzi spia*, che costituiscono la rete preliminare, conservando gli ulteriori punti censiti per un'eventuale "sostituzione" o integrazione per un maggior dettaglio o per eventuali sviluppi nell'ambito modellistico sperimentale.

La significatività di un punto può essere valutata solo in fase di esercizio della rete, durante la quale vengono acquisite le prime informazioni idonee alla verifica e taratura della struttura di monitoraggio.

### **3. Criteri di impostazione di un reticolo partendo da una situazione conoscitiva avanzata**

Un procedimento siffatto è stato messo in atto dalla Regione dell'Umbria per l'individuazione della rete definitiva di monitoraggio degli acquiferi regionali e dalla Regione Liguria per l'implementazione della rete fissa di monitoraggio a scala locale in relazione a siti di captazione per l'approvvigionamento potabile.

Seppure differenti per ambito spaziale, scala operativa e specificità di obiettivi, le situazioni erano caratterizzate ambedue da una discreta conoscenza della struttura idrogeologica dei corpi idrici sotterranei interessati e da significative esperienze pregresse di monitoraggio degli aspetti sia quantitativi che qualitativi delle acque, peraltro svolte in modo non sistematico e in tempi differenti.

Le attività svolte costituiscono la sperimentazione di percorsi metodologici per il progressivo miglioramento e affinamento delle operazioni di monitoraggio con l'obiettivo di pervenire a configurazioni topologiche delle reti e procedure operative ottimali e ad un rapporto efficiente tra costi sostenuti e contenuti di informazioni ottenute.

Tali percorsi presentano indubbie valenze di trasferibilità ad altre situazioni similari o analoghe e includono criteri ed elementi di generalizzazione e standardizzazione.

Inoltre durante la sperimentazione sono stati sviluppati, applicati e verificati modelli operativi, prodotti e sistemi pilota strumentali, metodologie di elaborazione dati e di reporting, ecc. che presentano una intrinseca ed autonoma validità ed un elevato potenziale applicativo generalizzato indipendentemente dallo specifico percorso progettuale effettuato.

Il percorso metodologico, prescindendo dalle specificità realizzative dei due soggetti attuatori, si è sviluppato in termini generali attraverso le seguenti fasi:

- valutazione dello stato delle conoscenze idrogeologiche ed idrochimiche pregresse ed eventuali studi integrativi necessari;
- individuazione dei punti della rete, in relazione ai contesti idrogeologico ed antropico, e alle condizioni logistiche;
- definizione delle modalità di strumentazione dei punti d'acqua della rete e di misura dei parametri quantitativi e qualitativi;
- definizione delle modalità di acquisizione, immagazzinamento e controllo dei dati;
- elaborazione e restituzione dei dati; diffusione dei risultati del monitoraggio.

Nel caso della Regione Liguria le conoscenze, accumulate nel corso di vari studi, sul contesto idrogeologico, sulle caratteristiche idrochimiche e sul bilancio idrico sono state giudicate sufficienti per l'impostazione dello studio di monitoraggio, anche se alcune incertezze permangono tuttora sulla condizione di vulnerabilità, soprattutto nella porzione di acquifero prossimo al mare.

L'individuazione della rete definitiva di monitoraggio è un'attività che è intimamente connessa alle finalità specifiche dello studio e alle caratteristiche dell'areale di interesse; pertanto le modalità di approccio possono essere anche significativamente differenti. Le esperienze svolte rappresentano due delle modalità, ma non esauriscono certamente lo spettro delle possibili alternative.

#### **3.1 CONOSCENZE IDROGEOLOGICHE PREGRESSE**

La Regione dell'Umbria ha scelto quali aree di progetto gli acquiferi carbonatici e vulcanico e quelli alluvionali che sono sede dei maggiori approvvigionamenti idropotabili. I primi sono caratterizzati da fattori idrologici che mettono a rischio la disponibilità di risorse in periodi di magra, i secondi rappresentano situazioni particolarmente a rischio di inquinamento (Giaquinto et al., 1991).

L'Alta Valtiberina è un'ampia zona alluvionale che si estende dalla stretta di Montedoglio fino all'altezza di Città di Castello per circa 130 km<sup>2</sup>. Di questa superficie circa il 40% ricade al di fuori della Regione dell'Umbria.

L'area della Conca Eugubina interessata dagli studi è di circa 80 km<sup>2</sup>, comprendenti i rilievi carbonatici dei Monti di Gubbio (circa 15 km<sup>2</sup>) e la parte della pianura, suddivisa in una zona alluvionale localizzata principalmente nel settore settentrionale ed una costituita da depositi più antichi del ciclo fluvio-lacustre che si rinvengono in tutte le aree intramontane della regione.

La struttura valliva della Media Valle del Tevere si estende longitudinalmente per circa 85 km al centro della regione con un'ampiezza piuttosto ridotta: nel tratto Città di Castello - Ponte San Giovanni supera i 2-3 km solo in corrispondenza della confluenza di alcuni torrenti, mentre da Ponte San Giovanni a Todi la larghezza media si aggira sui 4 km.

La Valle Umbra ha un'estensione di circa 330 km<sup>2</sup> ed è compresa tra i rilievi occidentali dei Monti Martani e quelli orientali del M.te Subasio - M.ti di Foligno e Spoleto. Il deflusso superficiale dell'intera valle avviene nella zona nord-occidentale attraverso il F. Chiascio.

Il margine orientale è caratterizzato dalle formazioni carbonatiche mesozoiche della Serie Umbro-Marchigiana che sono a contatto con i depositi alluvionali, in genere mediante interposizione di spesse coltri detritiche, e che forniscono una consistente ricarica laterale all'acquifero. Solo davanti alla struttura del M.Subasio si rinvengono le formazioni flyschoidi cenozoiche o i depositi fluvio-lacustri che rappresentano i litotipi a bassa permeabilità che formano i rilievi occidentali ed il letto dei depositi alluvionali, sede degli acquiferi in studio.

Il lavoro di caratterizzazione degli acquiferi alluvionali ha messo in evidenza un quadro di conoscenza delle condizioni idrogeologiche ed idrochimiche che risulta esaustivo per 4 dei 5 acquiferi alluvionali considerati. Conca Ternana, Conca Eugubina ed Alta Valle del Tevere hanno informazioni piuttosto omogenee tra di loro mentre per la Valle Umbra si dispone di molte informazioni provenienti da più indagini, aventi una diversa distribuzione e densità sul territorio.

Solo nel caso della Media Valle del Tevere il quadro conoscitivo è risultato limitato e le informazioni idrogeologiche ed idro-

chimiche incomplete e piuttosto datate. I reticoli di monitoraggio realizzati in passato hanno avuto più carattere di studio e definizione dello stato degli acquiferi che di controllo della situazione nel suo evolversi, limitandosi ad essere attivi per periodi limitati, in genere un anno idrologico; solo nel caso della Valle Umbra si hanno dati relativi a 6 anni di misure.

Le informazioni idrogeologiche dei massicci carbonatici umbri provengono per gran parte degli aspetti generali dalla prima fase del "Piano ottimale di utilizzazione delle risorse idriche della Regione dell'Umbria" redatto nel 1989. Su tale contesto di base, che comprendeva il censimento delle principali emergenze sorgentizie ed il monitoraggio a breve termine delle 25 principali, si inseriscono i dati e gli studi condotti in vari ambiti sulle sorgenti che sono poi state prescelte per il reticolo di monitoraggio regionale e che sono state in parte dotate di sistemi automatici in continuo di rilevazione dei dati di portata. Nei primi anni ottanta sono state effettuate indagini di tipo strutturale, idrogeologico e geochimico sull'apparato vulcanico vulsino, nell'ambito del Progetto Finalizzato Energetica, Sottoprogetto Energia Geotermica del CNR.

All'inizio degli anni novanta la Regione dell'Umbria, a completamento degli studi per la redazione del Piano Ottimale di utilizzazione delle risorse idriche della regione, ha attivato nell'Area Vulcanica di Orvieto una ricerca finalizzata al reperimento di risorse idriche da destinare al consumo umano. Nell'ambito di questa ricerca sono stati acquisiti dati stratigrafici, geofisici, idrogeologici e idrochimici generali.

Il progetto di monitoraggio della Regione dell'Umbria parte da un livello significativo di conoscenza di base degli acquiferi interessati. Le informazioni a disposizione sono tanto più importanti quanto esse sono omogenee e ben ripartite. Il lavoro che è necessario sviluppare è quello di porre tutte le informazioni utili alla caratterizzazione degli acquiferi su uno stesso schema descrittivo, utilizzando lo stesso livello di approfondimento.

Per il quadro di caratterizzazione degli acquiferi (dagli studi pregressi) si è adottato il seguente schema:

1) Il contesto generale:

- Geolitologia;
- Idrogeologia;
- Idrochimica;
- Prelievi;
- Zone attività a rischio.

2) Gli acquiferi di interesse regionale:

- Differenziazione in settori peculiari;
- Relazioni tra acquiferi e scambi con il reticolo idrografico;
- Esposizione ai centri di pericolo.

3) Schema concettuale idrogeologico-idrochimico.

4) Elementi a disposizione per il reticolo di monitoraggio.

Per gli acquiferi carbonatici e vulcanico sono stati presi in esame gli aspetti idrogeologici (natura del bacino e limiti, serie di dati pregressi) ed idrochimici (tipologia di chimismo in relazione al circuito sotterraneo) delle principali emergenze sorgentizie regionali.

Dall'analisi conoscitiva di ciascun acquifero si è poi passati alla verifica di quelle situazioni che per aspetti quantitativi o qualitativi (naturalmente) delle acque rivestono

un interesse di carattere regionale e che quindi possono essere indicativamente inserite nella rete di monitoraggio.

Ciò ha permesso di approfondire ulteriormente l'analisi all'interno di ciascun acquifero mediante:

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

Lo schema concettuale che si è ottenuto è diventato lo strumento di riferimento per interfacciare le esigenze di monitoraggio a scala regionale con le situazioni di fatto esistenti ed i reticoli e relativi dati esistenti.

Problematiche aperte e limiti conoscitivi sono emersi da questi tipo di analisi: esse, associate ai documenti di caratterizzazione degli acquiferi (quasi delle monografie), diventano l'oggetto di una validazione finale dell'efficacia dei risultati della rete di monitoraggio.

In Umbria al lavoro di caratterizzazione degli acquiferi si è andato associando, man mano che procedeva l'omogeneizzazione delle informazioni, un'analisi critica tanto dei dati a disposizione che degli aspetti soggettivi e delle interpretazioni presenti negli studi pregressi. Il problema principale riscontrato e quello di un insufficiente dettaglio conoscitivo della struttura degli acquiferi, problema in gran parte legato a 2 fattori:

- 1) la limitatezza dei finanziamenti di indagini dirette specifiche, con un ripiego su informazioni derivate da altri interventi sul territorio e spesso riportate da operatori non tecnicamente formati;
- 2) la mancanza di un approccio globale alla definizione e gestione di un acquifero, con perdita di informazioni importanti e conseguenti generalizzazioni concettuali (ad esempio parametrizzazione idrodinamica di sistemi multistrato o multifalda).

Per quanto riguarda la Liguria l'area campione è rappresentata dal tratto inferiore del Torrente Bisagno, sede di un acquifero fondamentale per l'approvvigionamento idropotabile di Genova e al contempo fortemente antropizzato. Il bacino idrografico del Torrente Bisagno presenta un'estensione superficiale di circa 93 km<sup>2</sup>; il suo corso principale ha uno sviluppo di circa 26 km, con un regime prevalentemente torrentizio, che in alcuni periodi dell'anno diventa di fiumara vera e propria, con portate in condizioni eccezionali di piena che hanno raggiunto e superato anche i 1.000 m<sup>3</sup>/s.

Nel seguito si sintetizzano le conoscenze disponibili all'inizio del Progetto.

---

Le formazioni argillitiche impermeabili, affioranti lungo il corso medio del torrente, e quelle calcareo-marnose permeabili, presenti nel resto del bacino, caratterizzano dal punto di vista geologico e morfologico i versanti della vallata.

Le coltri alluvionali hanno una diffusione areale piuttosto estesa, ricoprendo completamente i settori di fondovalle dell'asta principale e dei suoi più importanti affluenti. Tuttavia, è solo a valle dell'abitato di Prato che la piana alluvionale assume una larghezza e uno spessore considerevoli, conservando invece

nel settore di monte un'esiguità tale da lasciar affiorare in più punti il substrato roccioso.

La granulometria dei depositi fluviali è generalmente piuttosto grossolana, ghiaioso-ciottolosa, con una conducibilità idraulica prossima a  $10^{-2}$  m/s, risultando frequentemente intercalata a depositi lentiformi di frazione fine di dimensioni anche molto estese. La successione di lenti limoso-argillose, aventi un indice di permeabilità molto basso, ravvicinate e sovrapposte fra loro in fitta continuità, creano un orizzonte impermeabile, dallo spessore compreso fra 10 e 20 m, che negli ultimi 2 km circa separa le acque circolanti nel materasso alluvionale in due falde distinte: una superiore freatica ed una sottostante in pressione.

In prossimità della foce, la sezione valliva si restringe, misurando circa 500 m di larghezza. In corrispondenza dell'acquifero in pressione profondo, essa presenta un'ulteriore riduzione lungo il settore di sponda sinistra, diminuendo la sezione fino a circa 100 m di larghezza, probabilmente a seguito della presenza di una discontinuità nel substrato roccioso, lungo la quale si è impostato l'approfondimento dell'alveo operato dall'erosione fluviale. La riduzione della sezione sommersa costituisce un importante diaframma naturale, a parziale protezione della falda da potenziali ingressioni delle acque marine verso l'entroterra.

Pur con le incertezze del caso, dall'elaborazione ed interpretazione dei dati stratigrafici si desume che il volume complessivo occupato dalle alluvioni risulta stimabile intorno a circa  $35 \times 10^6$  m<sup>3</sup>; il volume approssimato dell'acquifero risulta approssimativamente essere di circa  $15 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. Stimando in 0,2 la porosità efficace del terreno costituente il materasso alluvionale, il volume di acqua presente nel corpo acquifero ammonterebbe pertanto a circa  $3 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

I dati riguardanti le caratteristiche idrodinamiche del materasso alluvionale sono stati reperiti nella documentazione esistente, con particolare riferimento ai dati riportati nello studio AMGA - Genova SpA e HYDRO CO (1986), nel quale sono state alcune prove di emungimento in pozzi attrezzati allo scopo.

Per quanto attiene alle conoscenze idrochimiche all'interno del bacino del T. Bisagno si hanno dati su 130 sorgenti, sui corsi d'acqua e sulle acque di falda, che derivano dall'Atlante degli acquiferi del comune di Genova, volume I, studio realizzato da AMGA SpA.

In linea del tutto generale si può affermare che le acque di falda hanno una composizione bicarbonato calcica (in maniera analoga a quanto già riscontrato per le acque sorgive del bacino).

Nelle acque non sono stati rilevati pesticidi, mentre si è riscontrato un contenuto medio di 9 µg/l di sostanze organiche alogenate volatili, un valore medio di circa 33 µg/l Cl di composti organici alogenati adsorbibili ed un valore medio del TOC di circa 0.5 mg/l C.

Per quanto riguarda la vulnerabilità all'inquinamento risulta differenziata nell'ambito dell'acquifero.

Si osserva infatti come la falda del torrente Bisagno sia ubicata all'interno di materiali alluvionali di fondovalle; essa si trova delimitata nella sua parte inferiore dal substrato roccioso e nella sua parte terminale verso la foce dalle acque del mare.

La vulnerabilità all'inquinamento risulta pertanto assai elevata nel primo tratto di acquifero a falda libera, sia per la modesta soggiacenza delle acque sia per la mancanza di orizzonti a basso tenore di permeabilità a protezione di queste ultime. Inoltre, la presenza di aree urbanizzate accresce il rischio di inquinamento in questo tratto di falda.

Risulta diversa la condizione della falda esistente a partire da piazza Firpo: essa è protetta sino in prossimità della foce del torrente da uno strato di materiale argilloso, di spessore variabile da qualche m fino ai 20 m; essa si trova pertanto protetta dallo strato di materiale fine contro eventuali inquinanti provenienti dalla superficie.

Un potenziale inquinante potrebbe compromettere le caratteristiche di qualità dell'acquifero infiltrandosi nel sottosuolo nella zona a monte di piazza Firpo dove è assente la protezione esercitata dal materiale argilloso.

Infine la falda parrebbe essere parzialmente protetta dalla presenza del saliente roccioso localizzato in sponda sinistra all'altezza di via Cecchi contro eventuali fenomeni di intrusione del cuneo salino, che potrebbero manifestarsi in corrispondenza della foce.

Non è però del tutto chiaro se tale corpo, che agisce come un diaframma naturale, ostruisca completamente o solo parzialmente la sezione di foce; sulla base dei dati stratigrafici disponibili, la seconda versione sembrerebbe più verosimile). A completamento di tale campagna di misure, è stata inoltre effettuata una prova di emungimento nel pozzo AMGA - Genova SpA di Gavette per meglio valutare la permeabilità dell'acquifero localizzato nel settore di monte.

In occasione dello studio Indagine sulla potenzialità della falda di subalveo del torrente Bisagno, per un corretto sfruttamento idropotabile realizzato da AMGA - Genova SpA e HYDRO CO (1986) furono installati due piezometri lungo l'asta principale, nei pressi di via Fassicomio e di piazza Garassini Garbarino ed un idrometro registratore delle portate del torrente nel suo tratto vallivo (all'altezza del cimitero di Staglieno). Successivamente, a integrazione dello studio, vennero interpretati anche una serie di dati forniti da AMGA - Genova SpA, relativi all'evoluzione temporale di misure piezometriche effettuate su preesistenti stazioni di controllo della falda (in particolare le stazioni di corso Galilei e di piazza Paolo da Novi), comprese fra piazza Giusti e via Trebisonda.

Dai valori ottenuti del deflusso e della precipitazione media (seppure su un periodo limitato di registrazione limitato a qualche mese), lo studio ha permesso di formulare alcune ipotesi relativamente alla quantità di acqua di infiltrazione ed alla ubicazione della zona di ricarica dell'acquifero.

Il confronto fra le portate del torrente ed i deflussi di falda ha mostrato come l'andamento temporale dei deflussi di falda si presenti simile a quello delle portate superficiali, risultando in generale il deflusso sotterraneo di un ordine di grandezza inferiore a quello superficiale; in regime di esaurimento (dopo un lungo periodo caratterizzato dalla quasi totale assenza di precipitazioni) i due deflussi tendono tuttavia allo stesso ordine di grandezza.

L'osservazione dei livelli piezometrici in corrispondenza dei pozzi di corso Galilei e di piazza Paolo da Novi ha consentito di ricostruire l'andamento temporale dei deflussi di falda anche nel tratto compreso tra piazza Giusti e via Trebisonda.

Anche in questo caso la portata della falda è stata ricavata tramite l'utilizzo della legge di Darcy, assumendo un valore medio della permeabilità pari a circa  $1.9 \cdot 10^{-2}$  m/s ed una sezione interessata dell'acquifero pari a circa 10.500 m<sup>2</sup>.

Tale analisi è stata effettuata per gli anni 1978, 1979, 1980, 1983 e 1985 in quanto in questi anni gli emungimenti delle stazioni di pompaggio di piazza Giusti e di via Trebisonda sono stati pressoché assenti.

Dall'analisi dei dati disponibili si ricava che il deflusso della falda in assenza di rilevanti emungimenti varia tra i 100 l/s ed i 500 l/s con valori massimi concentrati in inverno-primavertardo autunno e valori minimi in estate; il valore medio del deflusso risulta di circa 300 l/s.

### 3.2 STUDI INTEGRATIVI

Per la Media Valle del Tevere, in Umbria, si è attivata una fase conoscitiva per completare le informazioni esistenti e fornire il necessario quadro conoscitivo per la definizione del reticolo di controllo quali-quantitativo delle acque sotterranee.

Sono stati censiti oltre 250 pozzi scelti su un'area di circa 200 km<sup>2</sup>, utilizzando le schede preliminari di caratterizzazione dei punti d'acqua prodotte dal progetto (per una loro verifica di campo) utilizzando per quanto possibile i pozzi già controllati nel periodo 1987-89, e si è proceduto al campionamento ed all'analisi chimica parziale delle acque.

Il lavoro previsto permette di acquisire informazioni litostratigrafiche degli acquiferi e sulle caratteristiche costruttive e di utilizzo dei pozzi censiti.

Le elaborazioni preliminari riguardano una cartografia geolitologica ed idrogeologica con spessore degli acquiferi o profondità del substrato, andamento delle isopieze e delle linee di flusso, relazione con il reticolo idrografico superficiale.

A livello idrochimico si verifica la distribuzione dei parametri chimico-fisici principali (Conducibilità el., ioni HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, specie azotate e cationi, ecc.). Campioni prelevati sulle aste superficiali del Tevere e dei principali affluenti devono fornire indicazioni sulle zone di possibile interazione con la falda.

Si è proceduto poi alla elaborazione delle informazioni raccolte nella campagna condotta nell'estate 1997 e delle analisi chimiche.

Tale lavoro ha completato la caratterizzazione degli acquiferi alluvionali, fornendo una cartografia omogenea ed aggiornata dei principali assetti idrogeologici ed idrochimici della valle, permettendo altresì di giungere alla definizione del reticolo preliminare mancante, che ha visto l'inserimento di buona parte dei punti di prelievo potabile pubblico.

Per tutti gli acquiferi alluvionali è stata poi definita la situazione dei pozzi ad uso pubblico, identificando quelli più idonei all'inserimento nel reticolo di monitoraggio.

A tale scopo sono stati contattati tutti i comuni e le aziende acquedottistiche interessate dal monitoraggio: le informazioni raccolte sono state inserite nel documento di completamento dei reticoli preliminari.

Il lavoro finale ha portato alla stesura di tabelle specifiche di localizzazione dei punti del reticolo e di cartografie in scala 1: 25.000.

In Liguria sull'acquifero del Bisagno, successivamente alla revisione degli studi esistenti, sono stati compiuti degli studi integrativi di approfondimento delle conoscenze relative alla falda acquifera del Torrente Bisagno. Particolare attenzione è stata dedicata all'individuazione dei pozzi esistenti sul territorio.

A tal fine è stato compiuto un lavoro di ricerca d'archivio della documentazione relativa alla localizzazione dei pozzi e dei piezometri messi in opera nel corso degli anni nel materasso alluvionale del Torrente Bisagno; tale lavoro è stato seguito successivamente da una comparazione incrociata delle segnalazioni ricavate dai documenti raccolti.

Si è partiti dalle informazioni relative ai pozzi scavati addirittura ad inizio secolo (1907), per giungere a quelli più recenti realizzati negli ultimi anni.

È stato così selezionato un campione di circa 50 fra pozzi e piezometri basandosi principalmente sull'affidabilità della documentazione ad essi allegata; in seguito si è proceduto ad un loro corretto posizionamento sulla nuova edizione della base cartografica CTR in scala 1:5000, basandosi sugli stralci catastali o sulle coordinate geografiche, cui ha fatto seguito una verifica della loro effettiva esistenza ed agibilità in loco.

Il numero dei pozzi e piezometri si è pertanto ridotto di alcune unità; infatti si è verificato che in certi casi, nel corso degli anni, alcuni di essi sono stati irreversibilmente abbandonati o addirittura otturati, in seguito ad un cambiamento di fruizione dell'area in cui sorgevano.

### 3.3 CRITERI SEGUITI NELL'IDENTIFICAZIONE DEI PUNTI

In Umbria, sulla base dell'analisi economica, è stato definito preliminarmente il numero di punti di reticolo relativo agli acquiferi alluvionali pari a 220, ripartiti a titolo indicativo nei 5 acquiferi prescelti, come riporta la tabella 2.

Come si può osservare esiste una notevole disparità di densità di reticolo preliminare che non corrisponde a una reale necessità relativa allo stato di antropizzazione delle piane alluvionali.

In linea di massima il livello di pressione antropica delle cinque aree vede la Conca Ternana in prima posizione (con prevalenza delle attività industriali) seguita dalla Valle Umbra mentre l'Alta Valle del Tevere a minore densità industriale associa un'agricoltura di tipo intensivo. La Media Valle del Tevere e la Conca Eugubina sono poi a vocazione agricola (di tipo irriguo la prima, meno idrosigente ed a minor utilizzo di presidi sanitari la seconda) con aree industriali più localizzate. Anche le aree che saranno monitorate non corrispondono esattamente a quelle di cui sopra, che sono state oggetto di reticoli progressivi.

Successivamente sono stati applicati i criteri di scelta della rete di pozzi prima di definire le densità ed il numero di punti indicativi per ciascuna area alluvionale.

Le scelte di tipo economico sono di fatto il vincolo imposto per la densità della rete di monitoraggio anche se il dimensionamento del progetto ha tenuto conto delle esigenze specifiche di un reticolo a carattere regionale avente quindi il miglior rapporto possibile tra densità di informazione, necessità di dettaglio dell'informazione stessa ed impegno tecnico-economico di acquisizione dati.

Il primo criterio di scelta considerato è quello geometrico: suddivisione dell'area di studio in modo omogeneo e definizione di una densità ottimale.

Di fatto l'impostazione della scelta del reticolo non avviene con questo metodo, esso è utilizzato solamente in via preliminare a livello generale e servirà poi in una seconda fase a disporre i punti predefiniti secondo situazioni omogenee, in quanto i precedenti reticoli sono stati impostati con criterio casuale secondo maglie geometriche a densità definita.

La procedura prescelta per la valutazione dei reticoli preesistenti e la scelta dei nuovi punti è stata quella di un *approccio multicriteriale* basato sul quadro idrogeologico ed idrochimico dei sistemi, sull'uso delle risorse sotterranee e sulla tipologia e densità delle attività antropiche.

A monte di questo approccio è necessaria una verifica e validazione di ogni singolo punto individuato secondo questi criteri:

- 1) il pozzo deve avere caratteristiche costruttive quanto più ottimali, tali da non influenzare le condizioni naturali della falda che intercetta (ad esempio rivestimento in PVC o acciaio, cementazione del tratto superiore dell'intercapedine, presenza di idonea chiusura e platea cementata;
- 2) il pozzo deve essere ubicato lontano da possibili fonti locali di contaminazione (fosse settiche e sistemi di sub-irrigazione, letamaie, ecc.);
- 3) l'acquifero captato deve essere unico;
- 4) il punto deve permettere agevoli misure quantitative (livello di falda) e qualitative (prelievo di campioni di acqua): solo in casi eccezionali le due operazioni possono essere suddivise;
- 5) devono essere preferiti pozzi attivi ed utilizzati da Enti pubblici. In caso di pozzo parzialmente inattivo deve essere possibile lo spurgo prima del campionamento.
- 6) punti già monitorati per altre ragioni devono essere auspicabilmente inseriti nella rete, previa verifica di congruità (disponibilità di serie storiche più estese).

Il *criterio idrogeologico* parte dalla conoscenza del flusso idrico sotterraneo e prevede:

- a) maggiore densità nelle zone di alimentazione delle falde;
- b) minore densità nelle altre zone ed in assenza di limiti di flusso;
- c) maggiore densità in zone limitrofe ad elementi in grado di determinare un'oscillazione del livello di falda ed una variazione della direzione di flusso;
- d) maggiore densità in presenza di gradiente idraulico elevato e minore con basso gradiente;
- e) maggiore densità nelle falde non confinate rispetto a quelle confinate.

Il *criterio idrochimico* considera l'assetto idrogeologico: disposizione di una rete di punti secondo le linee di flusso in modo tale da valutare le variazioni del chimismo procedendo dalle zone di ricarica verso quelle di deflusso e recapito.

L'uso delle risorse sotterranee prevede che in zone considerate strategiche per l'approvvigionamento idrico (aree di ricarica o limitrofe al campo pozzi) deve essere incrementata la densità dei punti di monitoraggio.

La *tipologia e densità delle attività antropiche* comporta che il reticolo può essere incrementato sulla base del diverso uso del suolo, come ad esempio al passaggio tra attività industriali ed agricole: una minore densità in corrispondenza di inquinanti attesi di tipo non puntuale.

L'utilizzo di questo approccio è stato basato sulle conoscenze acquisite e sui reticoli "conoscitivi" esistenti. Ossia i criteri sono stati adottati in via preliminare sui punti a disposizione segnalando solamente le situazioni scarsamente rappresentate. Per ogni acquifero è stata redatta una carta della densità di reticolo preliminare con zonazioni di densità riferite alla media assegnata all'acquifero (uguale, superiore, inferiore). I punti dei reticoli preesistenti sono stati poi suddivisi secondo reticoli geometrici alle varie densità e differenziati secondo 3 classi di scelta:

- Classe 1: pozzi più appropriati, che presentano le migliori caratteristiche;
- Classe 2: pozzi di riserva, da utilizzare in seconda battuta secondo necessità;
- Classe 3: pozzi inappropriati, inutilizzabili.

Prima di passare all'esame dei singoli acquiferi si è proceduto a ridefinire le superfici degli acquiferi da monitorare (sulla base dei singoli rapporti redatti di Caratte-

Tabella 2: Caratteristiche dei reticoli alluvionali ipotizzati in Umbria

ACQUIFERO	SUPERFICIE TOTALE (km <sup>2</sup> )	NUMERO PUNTI DI RETICOLO	DENSIT MEDIA (punti/km <sup>2</sup> )
Alta Valle del Tevere	110	40	0,36
Media Valle del Tevere	140	40	0,28
Conca Ternana	100	50	0,5
Valle Umbra	330	60	0,18
Conca Eugubina	80	30	0,37
TOTALE	760	220	0,29

rizzazione degli acquiferi, con definizione dei settori di interesse regionale) e a riassegnare 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).

Sono state quindi definite tre classi di priorità relative all'importanza ed interesse dei 5 acquiferi alluvionali e per ogni acquifero è stato fissato un coefficiente di correzione riferito alla densità media generale, utilizzato per il calcolo della nuova densità di reticolo.

La tabella 3 è stata elaborata tenendo presente che ci sarà spazio per ulteriori adattamenti con il procedere delle valutazioni del reticolo preliminare e poi in fase definitiva.

La scelta del reticolo tiene conto delle zone di maggior interesse idrogeologico ed idropotabile e delle situazioni di differenziazioni di più circuiti.

Punti obbligatori sono i pozzi idropotabili più significativi dei campi pozzi.

La densità di reticolo preimposta deve comunque assicurare una rappresentazione aerea dei parametri monitorabili.

Per quanto attiene alla Regione Liguria, nel bacino del torrente Bisagno sono stati utilizzati due differenti sistemi di monitoraggio della falda sotterranea:

- il primo, basato su una rete di punti di osservazione temporanei, distribuiti nella piana alluvionale in ambito urbano, nel tratto di asta fluviale compreso fra piazza Firpo e lo sbocco a mare alla Foce;
- il secondo, comprendente un numero ridotto di punti di misura fissi - destinati a durare nel tempo, in quanto parte integrante del sistema di monitoraggio dell'Osservatorio Permanente dei Corpi Idrici della Regione Liguria - localizzati in prossimità dell'asta terminale del Bisagno (piazza Giusti, via Trebisonda, piazza Paolo da Novi).

Dall'insieme dei pozzi selezionati dopo le citate operazioni di verifica effettuate ad integrazione delle conoscenze iniziali, è stato scelto un rappresentativo numero di pozzi e piezometri, opportunamente distanziati fra loro all'interno del materasso alluvionale terminale del torrente Bisagno, in maniera tale da garantire una buona copertura spaziale della piana alluvionale e aventi le seguenti caratteristiche:

- collocazione favorevole all'interno del materasso alluvionale ai fini dello studio in questione;
- facilità di accesso, preferendo pozzi sistemati nei cavedi dei palazzi, piuttosto che pozzi realizzati nei fondi, all'interno degli scantinati;
- autorizzazione da parte dei proprietari dei pozzi o dei piezometri (solitamente amministratori di condomini), a poter effettuare misurazioni di carattere piezometrico e/o campionamento idrochimico delle acque di falda;
- buono stato delle strutture di captazione delle acque, quali incamiciamento integro delle pareti del pozzo, facilità di scoperchiamento e chiusura della testa del pozzo o del piezometro;
- profondità possibilmente nota (del pozzo o del piezometro), al fine di poter dedurre quale tipo di acquifero si sarebbe incontrato nel pozzo (se falda freatica o falda artesianica).

I pozzi e i piezometri monitorati nel corso del Progetto, a seguito delle selezioni rese necessarie per ottenere dei punti di campionamento ottimali, sono in totale 25, con una media per ciascuna campagna di circa 20.

Inoltre è stato realizzato un sistema di monitoraggio sistematico delle acque sotterranee riguardo i parametri qualitativi, idrodinamici ed idrogeologici della falda del Bisagno.

Tale sistema è stato integrato alla rete di monitoraggio dell'Osservatorio Permanente dei Corpi Idrici della Regione Liguria.

In particolare è stata prevista l'installazione di due stazioni di monitoraggio nelle quali sono stati alloggiati strumenti per la misura del livello e, in una di esse, per l'analisi della qualità dell'acqua di falda.

I siti individuati sono: piazza Paolo da Novi e piazza Giusti.

Si segnala che ai fini dello studio della falda è stata prevista una variante al progetto originario, con l'integrazione del sito AMGA SpA di via Trebisonda oltre al già citato sito di piazza Giusti. Per quest'ultimo, nel progetto originario, si prevedeva che, durante i periodi di inattività dei pozzi per assenza di alimentazione della rete idrica cittadina, esso avrebbe dovuto provvedere all'adduzione dell'acqua del pozzo più prossimo all'impianto, mediante l'inserimento di apposita pompa. Tale operazione non è stata realizzata a causa di modifiche apportate al pozzo che hanno causato la mancanza dello spazio necessario,

Tabella 3: Definizione preliminare della densità dei reticoli

ACQUIFERO	CLASSE DI PRIORIT	SUP. (km <sup>2</sup> )	COEFF. DI CORREZ.	NUMERO PUNTI DI RETICOLO	DENSIT MEDIA (punti / km <sup>2</sup> )
Conca Ternana	1	60	2,00	35	0,58
Valle Umbra	1	330	1,00	95	0,29
Alta Valle del Tevere	2	110	1,00	32	0,29
Media Valle del Tevere	3	200	0,75	43	0,22
Conca Eugubina	3	50	1,00	15	0,29
TOTALE		750		220	0,29

all'interno dello stesso, per il posizionamento di adeguata pompa di sollevamento.

Per tale motivo si è proposto di considerare ai fini dello studio come stazione primaria del monitoraggio quella sita in via Trebisonda, che AMGA SpA ha allestito per la gestione del proprio acquedotto, rendendo disponibili i dati rilevati in continuo. In essa per l'intero arco dell'anno, salvo i tempi tecnici di manutenzione, attualmente vengono monitorati gli stessi parametri indicati per piazza Giusti.

## 4. Archiviazione e gestione dati

### 4.1 LE INFORMAZIONI MINIME DA ARCHIVIARE

Ogni punto di monitoraggio deve essere descritto da una serie di informazioni preliminari divisibili per tipologie di dato, costituenti la "carta di identità" del punto stesso.

In particolare, sono individuabili le seguenti tipologie di dato:

- Ubicazione cartografica ed operativa;
- Aree di salvaguardia;
- Dati caratteristici (diversa per Pozzi e Sorgenti);
- Caratteristiche Idrauliche delle falde (diversa per Pozzi e Sorgenti).

Ad esse, aventi caratteristiche costanti nel tempo, o soggette a variazioni occasionali, si associano:

- a) Misurazioni Periodiche di terreno;
- b) Misurazioni Periodiche di laboratorio.

Per quanto riguarda il contenuto, nel caso di reticoli preliminari preesistenti le schede di database possono recuperare e quindi contenere già dati ottenuti da database preesistenti.

Sul terreno gli operatori in fase iniziale devono raccogliere i dati anagrafici, corrispondenti alle prime quattro schede, e verificare quelli già inseriti in automatico.

La tabella 4 riporta una lista degli elementi minimi da raccogliere per una corretta impostazione e gestione di un reticolo definitivo.

Parte dei dati può essere inserita direttamente sul campo così come quelli relativi alle *Misurazioni Periodiche di terreno*, e registrata (per mezzo di un portatile) in fase operativa, cioè durante la sessione di rilievo del pozzo. I dati e gli schemi che hanno bisogno di una elaborazione più accurata o di un completamento, sono poi completabili in ufficio, in particolare per la parte relativa a documentazioni fotografiche, schemi stratigrafici, analisi particolari, oltre alle analisi di laboratorio.

In caso si parta da situazioni poco conosciute si può far riferimento a quanto proposto dal progetto Piemonte.

Si intende in tal modo dare un'indicazione sulle caratteristiche ritenute necessarie ed irrinunciabili per rendere un punto d'acqua idoneo a far parte di una rete di monitoraggio di carattere regionale.

Si è proceduto per semplificazione a partire dalla scheda di inserimento dei dati utilizzata dalla Regione Piemonte (tab. 5).

Tabella 4: Elementi minimi da archiviare per un reticolo definitivo

#### UBICAZIONE CARTOGRAFICA E OPERATIVA

Codice acquifero	Tipologia del punto d acqua
Codice PRISMAS del punto d acqua	Tavoletta IGM
Bacino/ sottobacino idrografico	
Quota in m s.l.m.	Uso del punto d acqua
Coordinate UTM	
Comune	

#### DATI CARATTERISTICI DEI POZZI

Profondità pozzo	
Tipologia acquifero capatato	

#### DATI CARATTERISTICI DELLE SORGENTI

Tipologia di emergenza	
Tipologia opera di presa	Tipologia acquifero alimentante
Bacino idrografico km <sup>2</sup>	Geologia area di emergenza

#### MISURAZIONI PERIODICHE

Specie chimiche principali (Ca, Mg, Na, K, HCO <sub>3</sub> , Cl, SO <sub>4</sub> )	Conducibilità el. sp. a 25
Specie azotate (NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> )	Ferro e Manganese
Fitofarmaci totali	Organoalogenati totali
Cadmio	Cromo

### 4.2 IL DB PRISMAS DEL SOTTOPROGETTO UMBRIA

DB Prisma non è solo un database dedicato alle esigenze del Progetto ma può essere adottato come semplice strumento che assolve i compiti di banca dati e interfaccia verso tutti gli strumenti informatici di elaborazione dei dati per tutti gli sviluppi futuri del monitoraggio delle acque sotterranee. Il pacchetto si è dimostrato affidabile in tutte le fasi di trattamento dei dati: archiviazione, trattamento dei dati pre-elaborazione, esportazione verso altri applicativi, editing monografico dei punti d'acqua. Di seguito, vengono sommariamente descritte le principali caratteristiche e potenzialità del programma.

#### 4.2.1 La struttura

Le tabelle dati sono strutturate secondo criteri relazionali e le procedure di interfaccia utente consentono l'utilizzo del programma anche a personale poco esperto.

Il Punto d'Acqua viene descritto da più schede divise per tipologia di dato, costituenti la "carta di identità" del punto stesso e memorizzate in tre tabelle principali di database. In particolare sono state predisposte le seguenti schede:

Tabella 5: Scheda archiviazione pozzo.

<b>A</b>	<b>CARATTERISTICHE E LOCALIZZAZIONE DELL'OPERA</b> 1. Comune _____ 2.. Provincia _____ 3. Localit _____ 4. Indirizzo _____ 5. Coordinata UTM Est (m) 6. Coordinata UTM Nord (m) 7. Profondit opera da piano campagna (m)
<b>B</b>	<b>CONTATTI PER L'ACCESSO AL POZZO</b> 1. Soggetto _____ 2. Indirizzo (via, n. civico) _____ 3. Telefono / / 4. Vi sono periodi dell'anno in cui l'accesso non è possibile? SI NO motivo _____
<b>C</b>	<b>MISURA PIEZOMETRICA</b> 1. Possibilit di inserire il sondino SI NO 2. Difficolt nel realizzare la misura piezometrica SI NO Se s, natura _____
<b>D</b>	<b>CAMPIONAMENTO</b> 1. Possibilit di prelevare l'acqua SI NO Se s, mediante pompa pompa manuale secchio altro (specificare) _____ 2. Ci sono periodi dell'anno in cui non è possibile utilizzare la pompa SI NO Se s, quali _____ 3. è possibile operare uno spurgo prima del campionamento? SI NO
<b>E</b>	<b>CORPO IDRICO SOTTERRANEO</b> 1. Tipo di complesso acquifero captato 0.indifferenziato 1.superficiale 2.profondo altro (specificare) _____ 2. Captazione da falda libera Se libera, a drenaggio ritardato SI NO in pressione Se in pressione, semiconfinata confinata artesiania
<b>F</b>	<b>DATI PIEZOMETRICI</b> 1. Data 2. Ora 3. Soggiacenza da p.c. (m) 4. Livello statico (m s.l.m.) 5. Operatore 6. Origine dei dati
<b>G</b>	<b>QUALIT DELLE ACQUE</b> 1. Data prelievo campione 2.Ora 3. Operatore _____ 4. Origine dei dati _____ 5. Note _____ I parametri chimici minimi sono i parametri di base della tabella 19 del decreto legislativo 11 maggio 1999 n. 152 che permettono la determinazione dello stato ambientale delle acque sotterranee ai sensi dello stesso.
<b>H</b>	<b>CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE</b> 1. Esiste colonna di protezione SI NO da m . a m . 2. Posizione filtri (profondit rispetto al p.c.) da m . a m .

- 1) Ubicazione cartografica ed operativa;
- 2) Aree di salvaguardia;
- 3) Dati descrittivi (diversi per Pozzi e Sorgenti);
- 4) Caratteristiche Idrogeologiche (diverse per Pozzi e Sorgenti).

Dalla compilazione delle prime due schede si ottengono dati comuni a pozzi e sorgenti, che sono archiviati in una unica tabella principale. La diversità delle informazioni associate al punto d'acqua, in funzione della sua natura (pozzo o sorgente) e la complessità delle sue sotto relazioni, ha portato invece alla scelta di storicizzare i dati delle altre due schede in tabelle separate, collegate alla tabella principale.

I campionamenti eseguiti durante le varie campagne sono raccolti in una tabella relazionata a PA\_UBIC con sistema "1 a molti", detta MISURAZIONI\_PERIODICHE,

dove la chiave univoca è costituita dall'unione del codice del punto con la data del campionamento. Anche in questo caso si hanno tabelle collegate con relazione "1 a 1", per lo stoccaggio delle analisi di ricerca degli Organo Alogenati e degli Antiparassitari, che necessitano di elaborazioni specifiche, e la cui sommatoria per campione (Antiparassitari totali ed Organo Alogenati totali) viene riportata sulla tabella principale.

#### 4.2.2 Flusso dell'Input dei dati

In fase di progettazione delle tabelle e delle schede si è tenuto conto della struttura e del contenuto dei dati di monitoraggio preesistenti ottenuti dal PRRU. In questo modo è stato possibile organizzare tali dati in modo analogo a quelli di progetto, mantenendo i codici di origine e definendo link con i punti del nuovo reticolo regionale, in

modo da avere a disposizione i dati storici. Questi diventano così consultabili sia separatamente sia congiuntamente ai nuovi dati.

La serie esistente di informazioni di tipo anagrafico relativi ai pozzi è stata inserita in automatico nelle schede di caratterizzazione dei punti d'acqua, servendo come base di partenza per la selezione di punti esistenti e da primo input, che è stato via via completato ed aggiornato in fase di campionamento.

Dalle prime campagne in poi, il flusso di dati in input riguarda in linea di massima le misurazioni di terreno e le analisi di laboratorio. L'attività di campionamento si avvale di un laboratorio mobile informatizzato che permette la registrazione discreta o in continuo dei parametri misurabili: temperatura esterna, temperatura del campione, pH, conducibilità elettrica specifica a 25 °C, Ossigeno disciolto, potenziale Redox e Ione bicarbonato. Questi, insieme ai dati fisici quali portata e profondità del livello della falda, vengono immessi in tempo reale nel DB e producono il nuovo record di Misurazione Periodica per il punto d'acqua esaminato. In questa fase l'input dei valori viene validato manualmente dagli operatori, sulla base di appositi controlli di congruità con i valori misurati in precedenza sullo stesso punto, eseguiti in automatico dal programma.

Il campione prelevato viene quindi portato nei laboratori, che provvedono ad effettuare le analisi previste con i sistemi e gli strumenti in uso. Dall'analisi di tutti i campioni i laboratori producono un file in formato Excel che contiene, come chiave di collegamento, il codice del campione e la data di prelievo o di arrivo del campione. Eventuali analisi di OrganoAlogenati ed AntiParassitari vengono forniti in ulteriori files Excel, con le stesse modalità di registrazione.

I dati, una volta disponibili, vengono inseriti nel DB PRISMAS con apposite procedure di importazione, che confrontano le date con gli intervalli di campagna ed aggiungono i dati al relativo record di Misurazione Periodica.

In questo caso, i controlli di validità dei valori vengono eseguiti a consuntivo, ovvero producendo delle stampe dove sono evidenziati i dati con valori al di fuori dei ranges previsti.

#### *4.2.3 Elaborazioni sui dati*

Schematizzando l'insieme di procedure che operano sui dati, possiamo distinguere procedure di controllo, di cui si è parlato in precedenza, che operano sia in fase preventiva, ovvero al momento di inserire il dato, che in fase consuntiva e che permettono di confermare e normalizzare il dato; procedure di calcolo, previste per ottenere una serie di valori derivati, come Bilancio Ionico, Salinità, Durezza, ecc.; procedure di estrazione, per mezzo delle quali sarà possibile consultare ed analizzare la banca dati, sia internamente che esternamente al programma.

Le elaborazioni di tipo scientifico (analisi statistiche, geochimiche, contouring, grafici, ecc.) infatti, come sopra accennato, non vengono eseguite direttamente dal programma, ma da softwares specifici in grado di svolgere operazioni di calcolo complesse sui valori chimici. Il

DB consente di ottenere delle viste dati formattate in modo utile ad automatizzare il passaggio verso tali programmi.

Chi esegue le operazioni di analisi, potrà stabilire i criteri di selezione, mentre il contenuto sarà stabilito a priori, indicando il software di destinazione (GeoEAS, AquaCHEM, Excel, ecc.).

#### *4.2.4 Installazione e contenuti*

Il programma, realizzato in ambiente Microsoft Access 97, viene installato per mezzo di procedura di setup, che provvede alla installazione completa di tutti i componenti necessari al funzionamento, anche qualora gli utenti fossero sprovvisti del programma di base.

All'avvio del programma viene richiesto nome Utente e Password. Gli account e le autorizzazioni impostate prevedono due utenti di base:

- 1) Utente: Gestore Passwd: <da inserire> questo profilo consente il pieno utilizzo del programma e l'aggiornamento dei dati, senza consentire tuttavia la modifica alla struttura di form e moduli.
- 2) Utente: Utente Passwd: <da inserire> questo profilo consente la sola consultazione dei dati.

#### *4.2.5 Uso delle procedure*

Di seguito sono illustrate delle brevi note sulle procedure necessarie per l'inserimento e la manutenzione e la stampa dei dati:

##### *Menù File ⇔ Selezione Regione*

Il comando permette di selezionare la base dati di ogni Regione partecipante al progetto.

##### *Menù File ⇔ Imposta Percorso Immagini*

Permette di stabilire un percorso di ricerca per la gestione delle immagini associate al Punto d'Acqua.

##### *Menù File ⇔ Aggiorna Immagini collegate*

Per associare le immagini al Punto d'Acqua è sufficiente archiviare in una unica directory tutti i files immagine (nei vari formati standard di Windows: WMF, JPG, TIF – anche con compressione LZW –, BMP, ecc.), seguendo delle semplici regole di codifica del nome file.

Una volta archiviate le immagini, la procedura aggiorna il contenuto dei campi nelle varie tabelle in funzione dei files che trova nella directory specificata.

##### *Menù Gestione Punti d'Acqua ⇔ Inserimento/Modifica*

Selezione da lista di un Punto d'Acqua per l'accesso alle maschere di inserimento/modifica dei dati.

I dati vengono successivamente esplorati automaticamente per verificare la presenza di valori anomali (al di fuori del range valore massimo-valore minimo). Per i valori fuori range si procede alla validazione manuale.

##### *Menù Gestione Punti d'Acqua ⇔ Consultazione/Stampa*

Selezione singola o multipla da lista di Punti d'Acqua per la stampa delle schede monografiche e per l'accesso alle maschere estrazione e stampa di set di dati.

*Menù Gestione Punti d'Acqua* ⇔ *Calcola Durezza, Bilancio Ionico e Salinità*

Esegue il calcolo dei valori di Durezza in gradi francesi, Bilancio Ionico percentuale, e Salinità mg/l, a partire dai dati presenti in ogni record di Misurazioni Periodiche. Aggiorna i valori calcolati nei relativi record.

*Menù Gestione Punti d'Acqua* ⇔ *Assegna Nuovo ID Campagna*

Al termine di ogni campagna di rilievo, se non fatto altrimenti, è necessario generare ed assegnare un ID di Campagna ai nuovi record di Misurazioni Periodiche.

*Menù Gestione Punti d'Acqua* ⇔ *Autocomposizione Query*  
Consente l'impostazione completa della esportazione di dati attraverso la selezione di CodAcqui, data prelievo, Campagna, Anno. Genera un elenco campi e permette il salvataggio delle impostazioni della query e di richiamarle al bisogno. È inoltre possibile pubblicare il set di dati selezionato in Excel e come tabelle di MS-Word.

*Menù Gestione Punti d'Acqua* ⇔ *Autocomposizione Query*  
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 adeguato per comprendere elaborazioni in grado di fornire la classificazione qualitativa delle acque indicata dal Decreto stesso. È stato perciò 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.

*Menù Utilità* ⇔ *Cambia Password*

Permette di impostare la password dell'utente corrente.

#### 4.3 IL DATABASE DEL PIEMONTE

In Regione Piemonte l'applicativo Prisma è stato progettato per gestire la rete di monitoraggio acque sotterranee. La gestione s'intende realizzabile grazie ad alcune funzionalità che l'applicativo fornisce:

- data entry da tastiera, file sequenziale, query di accodamento;
- validazione dei dati in base a range ammissibile e formato;
- validazione dei dati in base a confronti con dati omologhi pregressi, variamente aggregati;
- export su MS Access e su fogli elettronici;
- inserimento, modifica, cancellazione dati di "anagrafica" e oggetti territoriali;
- selezioni territoriali, alfanumeriche, miste;
- calcolo indici di qualità;
- confronti coi limiti di legge;
- discriminazione delle funzionalità precedenti nonché dell'accesso a taluni dati piuttosto che ad altri in base a profili utente.

La funzionalità indicata come calcolo indici di qualità fornisce un ausilio per individuare, o calcolare dove possibi-

le, lo stato quantitativo, chimico, ambientale per le acque sotterranee previsto dal DLgs n. 152.

La base dati sulla quale agisce l'applicativo è strutturata in modo tale da seguire il percorso dei dati a partire dal campionamento (manuale o automatico) fino alla validazione e autorizzazione alla diffusione. Nella base dati sono inoltre contemplate le informazioni utili per l'alimentazione del datawarehouse di Aquarium, strumento informatico prodotto dall'omonimo progetto realizzato in ambito SINA. Le funzionalità di export garantiscono che i dati possano essere portati all'esterno della base dati secondo le selezioni che verranno effettuate su di essi (ad esempio dati da fornire al Ministero dell'Ambiente o all'ANPA secondo specifiche richieste).

## 5. Ottimizzazione dei reticoli

La fase di affinamento e ottimizzazione del reticolo definitivo di monitoraggio per una sua trasformazione in esecutivo, si può basare su un approccio multicriteriale analogamente a quanto fatto nelle fasi di selezione dei punti da monitorare, oppure statistico e geostatistico.

### 5.1 CRITERI OPERATIVI

#### 5.1.1 Criterio qualitativo-costruttivo

Questo criterio può essere applicato a monte di tutti gli altri criteri previsti dall'approccio multicriteriale o al termine della selezione. Il primo caso si ha quando durante la prima campagna di campionamento si verifica che le caratteristiche costruttive del pozzo sono del tutto incompatibili con le procedure di campionamento previste dal programma di monitoraggio e si procede quindi alla sua eliminazione o sostituzione. Il secondo caso invece si verifica quando, dopo aver applicato tutti gli altri criteri di selezione, si stabilisce che è possibile eliminare un punto di monitoraggio da una certa zona dove e sono presenti due o più punti equivalenti sulla base di tutti gli altri criteri: in questo caso viene eliminato il punto con le caratteristiche costruttive più scadenti.

#### 5.1.2 Criterio idrogeologico

Dopo aver operato la ricostruzione idrogeologica dei sistemi studiati è possibile individuare le aree dove tale ricostruzione si evidenzia carente, dove cioè si individua un elevato gradiente idraulico o un andamento poco affidabile della superficie piezometrica rispetto alla struttura idrogeologica ricostruita. In queste aree è possibile operare una revisione del reticolo inserendo nuovi punti di misura. Nelle zone caratterizzate da variazioni della superficie piezometrica poco accentuate e nelle zone con gradiente idraulico basso è invece possibile operare una riduzione dei punti di monitoraggio.

Mentre nel caso dell'inserimento di nuovi punti di misura il loro effetto sulla piezometria non può essere verificato preventivamente, nel caso di una loro riduzione gli effetti possono essere verificati preventivamente, tramite simulazioni successive in cui la superficie

piezometrica viene ricostruita eliminando in ogni simulazione un numero maggiore di punti.

### 5.1.3 Criterio idrochimico

L'adozione del criterio idrochimico per l'ottimizzazione dei reticoli di monitoraggio può essere applicato contemporaneamente o successivamente rispetto al criterio idrogeologico. Con la classificazione di base vengono individuate le caratteristiche chimiche naturali delle acque mentre i principali processi evolutivi (miscelazione e interazioni acqua-roccia) vengono indagati attraverso calcoli di speciazione in fase acquosa e bilanci di massa. Questa base conoscitiva permette di individuare le specie indice del chimismo generale e dell'inquinamento diffuso alle quali devono essere aggiunti gli indicatori di inquinamento localizzato specifici di ogni acquifero. Nelle zone ove il gradiente di concentrazione delle specie indice è molto elevato vengono inseriti nuovi punti, considerando anche quanto suggerito dalla precedente ricostruzione idrogeologica e piezometrica, mentre nelle aree con caratteristiche idrogeochimiche ed idrogeologiche omogenee si può procedere ad una riduzione.

### 5.1.4 Analisi statistica dei dati

Lo studio delle correlazioni fra le variabili, effettuato utilizzando le matrici di correlazione e l'analisi cluster, fornisce ulteriori indicazioni, parallelamente al criterio idrochimico, per la selezione degli indicatori idrochimici generali e di inquinamento. La distribuzione statistica dei principali indicatori idrochimici viene quindi indagata attraverso istogrammi, curve cumulative e boxplots: nell'ipotesi di una variazione dei punti di campionamento è importante che il nuovo campione statistico mantenga le stesse caratteristiche del campione precedente in termini di tendenza centrale (media e/o mediana) e tipo di distribuzione (normale, logaritmica).

### 5.1.5 Analisi geostatistica dei dati

Il criterio geostatistico può consentire di inserire nuovi punti in cui le conoscenze sono più approssimate e di eliminarne altri in quelle dove sono più ridondanti.

Non mancano nella letteratura idrogeologica casi relativi alla prima situazione.

In effetti si tratta, dopo aver applicato la procedura di *kriging*, di stimare non solo il valore atteso  $Z^*$  di una variabile in un punto (piezometria, concentrazione di elementi o composti) ma anche il valore dello scarto con il quale avviene tale previsione attraverso l'espressione:

$$\sigma^2(P) = \mu + \sum_{i=1}^n \beta \gamma_{ip}$$

essendo  $\sigma^2(P)$  la varianza del *kriging* nel punto P,  $\mu$  il moltiplicatore di Lagrange,  $\beta$  peso dello stimatore  $i$ -esimo e  $\gamma_{ip}$  il semivariogramma.

Insieme alla carta della distribuzione dei valori attesi della variabile di interesse può essere quindi anche rappresentata una carta dello scarto quadratico medio, in cui

viene riportata l'incertezza con la quale viene effettuata la stima della variabile stessa. Si può cioè definire l'intervallo di confidenza del 95% della variabile in esame. Se  $Z^*p$  è il valore stimato della variabile nel punto P e  $Z_p$  il valore reale, tale intervallo è dato da:

$$Z^*p - 2s < Z_p < Z^*p + 2s$$

La procedura che permette di stimare lo scarto quadratico medio è di fondamentale importanza sia per riconoscere l'affidabilità delle stime effettuate, sia per poter ottimizzare le reti di monitoraggio. Infatti nell'espressione della varianza del *kriging* precedentemente riportata non sono inclusi i valori  $Z_i$  misurati nei punti: la varianza dipende unicamente dalla struttura della variabile regionalizzata in questione, ossia dal semivariogramma teorico.

Pertanto se il semivariogramma è stato identificato, le varianze del *kriging* possono essere determinate indipendentemente dalla conoscenza dei valori che la variabile regionalizzata assume in corrispondenza dei punti di osservazione. Questa è un'importante proprietà su cui si fonda il "metodo dei punti fittizi" (Delhomme, 1978), che viene normalmente utilizzato per ottimizzare le reti di rilevamento.

È possibile infatti aggiungere un punto fittizio, con un nuovo valore della variabile regionalizzata arbitrariamente fissato, calcolare la carta dello scarto quadratico medio e confrontarla con quella precedente (De Marsily, 1986).

Aggiunto un punto fittizio in una qualsiasi posizione  $(x,y)$  del dominio, si definisce come "guadagno di precisione"  $G$  il rapporto:

$$G = [s_1^2(x,y) - s_2^2(x,y)]/s_1^2(x,y)$$

dove  $s_1^2(x,y)$  rappresenta la varianza del *kriging* nel punto  $(x,y)$  calcolata avendo a disposizione un determinato numero di misure sperimentali e  $s_2^2(x,y)$  quella dopo l'aggiunta del punto fittizio.

Si possono così tracciare curve di isogadagno di precisione per definire, in corrispondenza dei valori massimi, la localizzazione preferenziale dei nuovi punti di misura.

La procedura di eliminazione di punti di misura ridondanti, per avere un numero ridotto di punti con un margine ridotto di errore nella ricostruzione areale è stato applicato ad esempio in Toscana (Beretta G.P. et al., 1995) mediante una procedura inversa a quella proposta da Delhomme (1978).

In sostanza vengono eliminati punti della rete stimando il valore della variabile nei singoli punti eliminati sulla base dei valori assunti dalla variabile nei punti limitrofi e si valuta di conseguenza l'isoperdita di informazione mediante la relazione:

$$DI = Z^*i - Z_i$$

dove  $Z^*i$  rappresenta il valore della variabile stimata dopo aver soppresso il relativo valore di misura di campagna  $Z_i$ .

Una volta prefissato un numero massimo di punti misurabili, sulla base di valutazioni tecnico-economiche, viene applicata la procedura con un metodo "trial and error" fino a raggiungere la configurazione che consente una minima perdita di informazioni.

## 5.2 LA METODOLOGIA ADOTTATA IN UMBRIA

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.

### 5.2.1 Classificazione di base e caratterizzazione geochimica degli acquiferi

Con la classificazione di base delle acque vengono individuate le caratteristiche chimiche naturali delle acque e i principali processi (miscele e interazioni acqua-roccia) che concorrono alla definizione del chimismo. Come base interpretativa vengono utilizzati i diagrammi classificativi di Piper e/o di Langelier-Ludwig. Tali diagrammi forniscono indicazioni sui rapporti relativi fra le principali specie chimiche disciolte ma non forniscono informazioni sulle concentrazioni. Per una corretta interpretazione dei dati questa elaborazione viene pertanto affiancata da diagrammi binari e calcoli di speciazione in fase acquosa. La necessità di affiancare la elaborazione di diagrammi classificativi e calcoli di speciazione ha condotto la scelta del software su un accoppiamento pacchetti interfacciati. Gli unici prodotti rinvenuti per i nostri scopi sono risultati AquaCHEM release 3.7 e PHREEQC (per Windows) release 1.4.01. AquaCHEM è un pacchetto di programmi sviluppato specificamente per l'analisi grafica e numerica e per la modellistica degli insiemi di dati geochimici acquosi. Caratterizza una base di dati completamente customizzabile dei parametri geochimici e fornisce una selezione completa degli strumenti di analisi e delle tecniche grafiche usati comunemente per l'interpretazione ed il tracciato dei dati geochimici acquosi. PHREEQC per Windows è una versione a 32 bit del modello geochimico PHREEQC ed ha alcune possibilità estese:

- editor dell'input;
- editor dell'output;
- editor del database;
- debugger semplice che controlla gli errori presenti nel file di input;
- grid per far apparire i risultati in formato spreadsheet;
- editor grafico dei risultati.

### 5.2.2 Analisi statistica dei dati

Le elaborazioni statistiche consentono di correlare le va-

riabili allo scopo di verificarne il comportamento e individuare la tendenza centrale di ogni sistema acquifero rispetto alle variabili significative.

Attraverso istogrammi e curve cumulative si verifica la distribuzione statistica delle singole variabili: se la variabile è caratterizzata da una distribuzione normale è sufficiente la statistica di base (media e deviazione standard) per descriverne la tendenza centrale, se invece la variabile segue una distribuzione statistica diversa (logaritmica, polimodale, ecc.) è necessario un approccio di tipo probabilistico. L'analisi delle curve di probabilità permette di suddividere il campione in popolazioni omogenee (normali o log-normali) per ognuna delle quali è possibile stimare la media e l'intervallo di confidenza della media attraverso test statistici.

Un'ulteriore procedura utilizzabile in caso di distribuzioni non parametriche è la statistica descrittiva basata sull'individuazione di media, mediana, del 25<sup>mo</sup> e 75<sup>mo</sup> percentile, che racchiudono il 50% centrale dei campioni, dei percentili 10<sup>mo</sup> e 90<sup>mo</sup> e dei 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. Il software utilizzato è la release 5.0 di Microcal Origin (Microcal Origin, Inc.). Il pacchetto consta di un potente mezzo elaborativo e grafico che consente molti tipi di rappresentazioni dei dati. Nel nostro caso il programma è stato scelto per poter presentare boxplots caratterizzati da una grande quantità di informazioni insieme e che potessero essere successivamente ordinati in senso cronologico.

Lo studio delle relazioni fra le variabili viene effettuato utilizzando le matrici di correlazione e l'analisi cluster. Nel caso dei dati del progetto PRISMAS Umbria i coefficienti di correlazione sono stati calcolati come coefficiente  $r$  di Pearson, mentre l'analisi cluster è stata realizzata, previa standardizzazione delle variabili, utilizzando l'algoritmo di Ward per valutare le distanze fra i clusters. Il software testato e utilizzato per tale elaborazione è la ormai data release 4.3 di CSS Statistica (Statsoft, Inc., 1993). Il pacchetto consente di operare in statistica multivariata attraverso una serie di moduli, ciascuno dedicato ad una particolare elaborazione. È presente inoltre un modulo molto potente che consente l'importazione di dati dai principali fogli elettronici, l'importazione di file ASCII e ASCII delimitati ed il pre-trattamento dei dati (standardizzazione delle variabili, creazione di subsets, ecc.). L'interfaccia grafica consente l'esportazione di grafici e tabelle verso qualsiasi programma di architettura grafica e videoscrittura.

### 5.2.3 Studio della distribuzione spaziale dei parametri significativi

Con queste elaborazioni viene indagata la struttura dei dati in funzione della posizione relativa che occupano nello spazio. Nel caso del progetto PRISMAS si è scelto di utilizzare il *kriging* come procedura di indagine geostatistica. Il *kriging* è un interpolatore lineare che permette di realizzare una griglia regolare di dati (grid) partendo

da una distribuzione irregolare dei dati nello spazio. La matrice dei dati viene utilizzata successivamente per le rappresentazioni cartografiche. L'analisi geostatistica si compone di tre fasi distinte:

- 1) Realizzazione dei variogrammi sperimentali – Per ogni campagna viene realizzato un variogramma sperimentale su ogni variabile. Dal punto di vista operativo i variogrammi sperimentali vengono realizzati con il programma GEOEAS per il quale sono previste delle estrazioni direttamente dal database del progetto PRISMAS.
- 2) Scelta del modello teorico del variogramma – Una volta realizzato il variogramma sperimentale si ricerca il modello teorico che determina matematicamente la variabilità spaziale dei dati ed il grid risultante. Questa fase è determinante per l'applicazione corretta del *kriging*, infatti i pesi di interpolazione (il *kriging* è di fatto una media pesata) che sono applicati ad ogni punto durante il calcolo dei nodi del grid sono una funzione diretta del modello di variogramma scelto. In questa fase vengono determinati anche il range, la scala e l'eventuale effetto nugget del variogramma. Anche questa fase viene effettuata con il programma GEOEAS. La recente acquisizione della release 7 di SURFER permette di effettuare tutte le procedure geostatistiche da un unico programma.
- 3) *Kriging* – In questa fase si passa dalla distribuzione irregolare dei dati al calcolo del grid vero e proprio. Da un punto di vista operativo il calcolo del grid viene effettuato con il programma SURFER. Tale programma importa i dati in formato ASCII, calcola il grid utilizzando le impostazioni ed il modello di variogramma scelti dall'utente (range, scala, effetto nugget) e produce le mappe che possono essere esportate in vari formati (DXF, WMF, ecc.) per essere infine georeferenziate ed inserite in qualsiasi Sistema Geografico Informatizzato. Il *kriging* può essere un interpolatore esatto o produrre uno smoothing dei dati a seconda dei parametri specificati dall'operatore. Una cura particolare va posta nell'analisi dell'effetto nugget. Tale effetto, le cui unità di misura sono uguali alle unità di misura delle osservazioni elevate al quadrato, è dovuto alla sovrapposizione di due componenti: la microvarianza (microvariance), che rappresenta la varianza dovuta alla struttura locale dei dati, e la varianza degli errori di misura (error variance), che è una misura della ripetibilità dei dati. Se l'effetto nugget è uguale a zero il *kriging* è un interpolatore lineare esatto, ovvero il grid generato rispetta i valori dei dati originari. Se l'effetto nugget è maggiore di zero (come accade nella maggior parte dei casi) il *kriging* è un interpolatore esatto solo se la varianza degli errori di misura è uguale a zero (error variance = 0), altrimenti (error variance > 0) il *kriging* permette al grid di deviare dai valori osservati producendo una superficie "mediata".

L'analisi geostatistica proposta, pur essendo realizzata attraverso procedure completamente informatizzate, necessita di una grande cura nella scelta delle opzioni lasciate all'utente perché le stime prodotte possono variare notevolmente in funzione del modello di variogram-

ma e del partizionamento dell'effetto nugget. I valori di range, scala, effetto nugget devono essere determinati in ogni campagna, per ogni variabile, per produrre delle stime corrette.

Tuttavia per automatizzare l'aggiornamento delle informazioni areali con un GIS è possibile stabilire un variogramma "meno ottimizzato" da utilizzare per campagne di misure successive, verificandone comunque regolarmente la validità per ciascuna variabile.

#### 5.2.4 Analisi delle tendenze temporali

Le serie temporali vengono utilizzate per verificare variazioni su cicli stagionali e pluriennali dei parametri che si ritengono significativi per ciascun acquifero.

Gli obiettivi principali delle analisi di serie cronologiche sono:

- 1) identificare la natura del fenomeno rappresentato dalla sequenza delle osservazioni;
- 2) produrre modelli previsionali (forecasting).

Entrambi gli obiettivi richiedono che un modello dei dati osservati sia identificato e formalmente descritto. Una volta che il modello è stabilito è possibile estrapolarlo per predire gli eventi futuri.

A tal proposito è necessario distinguere all'interno della serie di dati un modello sistematico e il disturbo casuale. Il modello sistematico è solitamente costituito da un insieme di componenti identificabili (per esempio la curva di esaurimento di una sorgente); il disturbo casuale è dato dalla somma di eventi accidentali ed errori strumentali e rappresenta la componente che solitamente rende il modello difficile da identificare. La maggior parte delle tecniche di analisi di serie cronologiche implica perciò una certa forma di filtraggio del disturbo.

La maggior parte dei modelli di serie cronologiche possono essere descritti in termini di due componenti: tendenza e carattere stagionale. La prima rappresenta una componente non ciclica all'interno dell'intervallo di tempo delle nostre osservazioni. Il secondo può avere una natura formalmente simile ma si ripete ciclicamente ad intervalli di tempo regolari.

Il primo passo per l'identificazione del modello sistematico è costituito dallo smoothing. In questa fase si cerca di ottenere una media locale dei dati tale da annullare il disturbo. La tecnica più comune è la media-mobile che sostituisce ogni elemento della serie con la media o la media pesata di  $n$  elementi circostanti. Un metodo alternativo consiste nell'utilizzazione della mediana al posto della media. Il vantaggio principale della mediana rispetto alla media mobile è che i risultati sono meno influenzati dai valori estremi. Quindi se la distribuzione dei dati è molto ampia la mediana produce uno smoothing maggiore e più realistico.

Il filtraggio dei dati dal disturbo permette di identificare il modello sistematico e di distinguere al suo interno le componenti stagionali (cicliche) dalle tendenze pluriennali. Infine è possibile effettuare un'analisi di regressione (lineare o non lineare) dei dati filtrati per evidenziarne la tendenza su base pluriennale e sviluppare modelli previsionali.

Tali elaborazioni possono riguardare sia singoli punti, sia ciascun acquifero nel suo complesso. Nell'ambito del progetto PRISMAS questi due aspetti sono stati trattati con due approcci differenti.

- 1) Tendenze temporali di punti d'acqua singoli – Nel caso dei cronogrammi riguardanti le sorgenti appenniniche e alcuni punti particolarmente significativi all'interno degli acquiferi alluvionali è necessario distinguere tra le misure in continuo (temperatura, conducibilità elettrica e portate delle sorgenti) e i parametri chimico-fisici e le concentrazioni delle specie chimiche che sono stati misurati con cadenza stagionale.
- 2) Variazioni temporali delle tendenze centrali degli acquiferi – Mediante la release 5.0 di Microcal Origin sono stati elaborati gli andamenti medi stagionali delle variabili significative in ognuno degli acquiferi studiati, utilizzando la mediana. Considerando che gran parte delle variabili studiate hanno una distribuzione non gaussiana, la mediana si è rivelata il modo più efficace e rapido per rappresentare la tendenza centrale dell'acquifero senza la necessità di addentrarsi in studi di tipo probabilistico che comportano l'utilizzazione di test statistici complessi e diversi per ogni variabile considerata. Il valore della mediana è stato rappresentato mediante boxplots insieme a media, 25<sup>mo</sup> e 75<sup>mo</sup> percentile. I boxplots sono stati successivamente ordinati in senso cronologico ottenendo dei diagrammi che mostrano sia la distribuzione statistica dei dati in ogni campagna sia le variazioni tra le diverse campagne.

#### 5.2.5 Rappresentazione cartografica dei dati

Per raggiungere questo scopo si è pensato ad un "visualizzatore". Sul mercato si trovano diversi prodotti, quali Autodesk World, GeoMedia ArcView e altri. Visto il carattere sperimentale e divulgativo del progetto PRISMAS è stato scelto ArcView della ESRI che al momento rappresenta il visualizzatore più diffuso, anche se per gli scopi del progetto, sarebbero stati altrettanto validi gli altri.

Il collegamento della banca dati al GIS è assicurata mediante l'ODBC Database Access Versione 2.0 (estensione di ArcView) che supporta la connessione a qualsiasi database ODBC compatibile, permettendo all'utente di agire direttamente sulla banca dati.

Con Database Access versione 2.0 si può:

- 1) configurare la banca dati al momento;
- 2) caricare dinamicamente risultati da interrogazioni sul database;
- 3) modificare e rilanciare una SQL;
- 4) aggiungere editare e cancellare record dai set.

Per rendere il sistema consultabile dalla gran parte degli utenti è prevista inoltre la realizzazione di maschere di dialogo personalizzate utilizzando l'estensione Dialog

Designer, costituita da un toolkit che permette di creare "scrolling list", bottoni, "checkbox", ecc. collegabili direttamente ai dati geografici.

### Riferimenti bibliografici

- AMGA - Genova SpA e HYDRO CO (1986)  
*Indagine sulla potenzialità della falda di subalveo del torrente Bisagno, per un corretto sfruttamento idropotabile.*
- Beretta G.P. (1994)  
*Linee-guida per l'esecuzione di indagini e di prospezioni idrogeologiche per il monitoraggio delle acque sotterranee.* In: *Guida al disinquinamento degli acquiferi: indagini, metodologie ed esempi di intervento.* Vol. 1, Quaderni di tecniche di protezione ambientale, Vol. 42, Pitagora Editrice, Bologna.
- Beretta G.P., Colombo F., Pranzini G. (1995)  
*Progettazione e ottimizzazione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee nella media valle del F. Arno (Toscana) mediante l'uso della teoria delle variabili regionalizzate.* 2° Convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi, 17-19 maggio, Nonantola (Modena).
- Beretta G.P., De Luca D., Faliero P., Filippini G., Masciocco L. (1995)  
*Progettazione e gestione sperimentale di una prima rete di monitoraggio nel settore sud-occidentale della Pianura cuneese (Cuneo).* 2° Convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi, 17-19 maggio, Nonantola (Modena).
- Delhomme J.P. (1978)  
*Application de la théorie des variables regionalisées dans les sciences de l'eau.* Bulletin du BRGM, Section III, n.4-1978, Orléans.
- De Marsily G. (1986)  
*Quantitative Hydrogeology Groundwater Hydrology for Engineers.* Academic Press, Inc., Orlando.
- Giaquinto S., Marchetti G., Martinelli A., Martini E. (1991)  
*Le acque sotterranee in Umbria.* Protagon, Perugia.
- Polemio (1994)  
*Il regime della falda costiera jonica di Metaponto.* III Convegno dei giovani ricercatori in Geologia Applicata, Mondovì.
- Regione Emilia-Romagna - ENI-AGIP (1998)  
*Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna,* SELCA, Firenze.