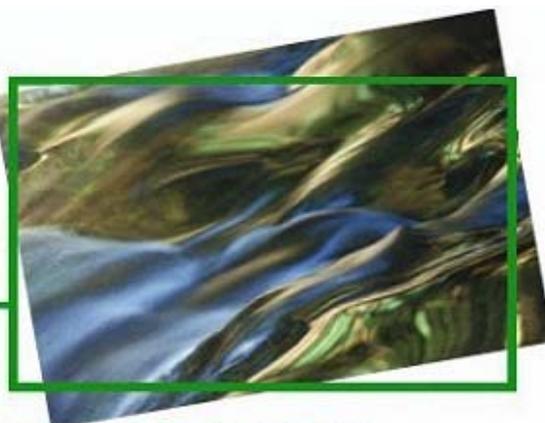




POLITECNICO DI MILANO



[www.cremona.polimi.it/msa](http://www.cremona.polimi.it/msa)

# MASTER IN INGEGNERIA DEL SUOLO E DELLE ACQUE

## Tesi

*Analisi critica degli attuali presidi di  
monitoraggio idrologico della provincia di  
Cremona e dei sovastanti bacini idrografici*

*Candidato: ing. Lura Varòla*

*Relatore: ing. Stefano Loffi*

*Tutor: ing. Daniele Santi La Rosa*  
sede del tirocinio:



*Consorzio Irrigazioni Cremonesi*

*A.A. 2003/2004*



Ente Regionale di Sviluppo  
Agricolo della Lombardia

## **PARTE I**

### **LA NECESSITÀ DI TUTELARE LA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA IN REGIONE LOMBARDIA**

#### **L' IMPORTANZA DELLA COMPrensIONE DEI FENOMENI IDROLOGICI PER UN UTILIZZO SOSTENIBILE DELLA RISORSA IDRICA**

##### **1.1 Il ciclo dell'acqua: i principali fenomeni interessati**

Le acque della Terra subiscono un intenso processo di circolazione tra l'atmosfera, le terre emerse ed i mari; processo, senza principio né termine, che non presenta soluzioni di continuità e che viene identificato come "ciclo idrologico".

Tale circolazione è ciò che assicura la presenza dell'acqua dolce sul nostro pianeta, tanto in superficie quanto nel sottosuolo.

Le acque presenti sulla Terra sono circa  $1,385 \cdot 10^9$  [Km<sup>3</sup>], contenute per il 97% circa negli oceani e per il 2% circa nelle calotte polari; mentre le acque dolci all'interno dell'atmosfera, in superficie e nel sottosuolo terrestre rappresentano lo 0,25% del totale ( $3,463 \cdot 10^8$  [Km<sup>3</sup>]); le acque atmosferiche sono circa  $13 \cdot 10^3$  [Km<sup>3</sup>]; l'evaporazione annua è sull'ordine di  $577 \cdot 10^3$  [Km<sup>3</sup>].

Il motore principale dell'attività circolatoria dell'acqua è l'irraggiamento solare, mentre solo il 20% del ciclo idrologico si pensa governato da forze di capillarità, attrito e gravità.

A mano a mano che l'acqua evapora dagli oceani e dalle terre, essa diviene parte dell'atmosfera.

Il vapore s'innalza ed è trasportato per l'atmosfera sino alla sua condensazione e precipitazione sulla terra o sul mare; l'acqua precipitata può essere intercettata dalle piante o traspirata, può scorrere in superficie o venir giù per declivi fra strati diversi del terreno, oppure può infiltrarsi sottoterra. Le acque meteoriche e superficiali, infiltrate nel terreno attraverso pori e fessure, quando incontrano uno strato impermeabile vi si distribuiscono, discendendo con esso se è inclinato, ristagnando se è a forma di bacino.

La falda acquifera è una zona sotterranea del terreno, completamente o in parte impregnata d'acqua, costituita da terreni permeabili sovrapposti a terreni impermeabili.

Quando la superficie limite superiore della falda acquifera non è limitata da tetti impermeabili, la falda denominata libera o freatica, sottoposta in tutti i suoi punti alla sola pressione atmosferica. Una falda acquifera contenuta in pressione entro terreni permeabili limitati inferiormente e superiormente da terreni impermeabili viene definita artesianiana.

L'acqua che rimane in superficie riempie le zone più depresse, si raccoglie e poi evapora; oppure, dopo essersi raccolta, scorre via in un secondo tempo.

Gran parte dell'acqua intercettata e traspirata e di quella che scorre sul terreno ritorna

nell'atmosfera in seguito ad evaporazione.

L'acqua che si infiltra nel terreno può raggiungere gli strati più profondi dove può raccogliersi sotto forma di acqua sotterranea o incanalarsi in un corso d'acqua drenante, entrando a far parte delle acque di scorrimento, ed evaporare infine nell'atmosfera per completare così il ciclo idrologico.

In tal modo, nel ciclo idrologico hanno luogo complicati processi di condensazione, precipitazione, evaporazione, intercettamento, traspirazione, infiltrazione, ritenzione, detenzione, dilavamento di superficie, incanalamento, scorrimento.

Il ciclo idrologico non è unico, ma è costituito da un gran numero di cicli, ristretti a continenti, regioni e zone locali, i quali sono componenti collegate e interdipendenti del sistema globale.

## **1.2 Il bilancio idrologico ed il bacino idrografico: definizioni e principali caratteristiche**

Il ciclo idrologico può essere descritto in termini sistemici analizzando i flussi in ingresso, quelli in uscita, le trasformazioni e i vari livelli di immagazzinamento.

Esso può essere descritto quantitativamente applicando il principio di conservazione della massa, tramite il quale è possibile impostare il bilancio idrologico.

Il ciclo idrologico a scala globale costituisce un sistema chiuso in termini di bilancio idrologico.

Il bilancio può essere formulato con riferimento ad un qualsiasi "volume di controllo" ovvero un elemento tridimensionale attraverso il quale avvengono i flussi in ingresso ed uscita. In relazione agli obiettivi dell'indagine, il volume di controllo può essere costituito da una parcella di terreno o da un versante, ma l'unità territoriale più conveniente per l'indagine idrologica è quella del bacino idrografico.

La definizione di "bacino idrografico" e la comprensione dei meccanismi che caratterizzano i fenomeni all'interno della superficie del bacino stesso ricoprono un ruolo di rilevante importanza, in quanto, come detto, il bilancio idrologico viene determinato su un definito bacino idrografico in un assegnato periodo di tempo.

Il bacino idrografico è quella porzione di territorio dalla quale tutte le precipitazioni, dopo essersi trasformate in portate, defluiscono attraverso una determinata sezione di un corso d'acqua, chiamato collettore.

Al di sotto degli ammassi permeabili, che permettono all'acqua di infiltrarsi e di percolare verticalmente, esiste sempre uno strato di fondo impermeabile sopra il quale si ha una zona satura, in cui il moto di filtrazione dell'acqua è prevalentemente orizzontale.

Se i deflussi derivano dai soli scorrimenti superficiali, il bacino idrografico sarà individuato

dalle linee spartiacque e la sua delimitazione sarà quindi piuttosto agevole; se i deflussi derivano anche da scorrimenti sotterranei, il bacino idrografico sotterraneo si potrà definire e delimitare facendo riferimento al rilievo del fondo impermeabile.

L'individuazione dello spartiacque sotterraneo è tuttavia molto incerta ed assume una certa rilevanza nel caso di bacini carsici.

Con il termine di "bacino topografico" ci si riferisce invece ad una superficie racchiusa entro due linee di displuvio che si congiungono in un certo punto (sezione di chiusura del bacino).

La superficie di un bacino idrografico è l'area della proiezione orizzontale della superficie delimitata dallo spartiacque topografico; bacino idrografico e bacino topografico corrispondono solo se l'area è completamente impermeabile, cioè se il deflusso è solo superficiale.

La delimitazione del bacino si esegue individuando sulla carta topografica la linea spartiacque, che delimita il luogo dei punti da cui hanno origine linee di massima pendenza che finiscono tutte con il raggiungere la sezione di chiusura, in corrispondenza della quale può essere impostato il bilancio idrologico del bacino.

L'attenzione del seguente studio sarà rivolta in particolare al monitoraggio della falda freatica, per valutare capacità e qualità di analisi della variabilità spaziale e temporale del contenuto idrico del suolo e, quindi, il grado di sostenibilità dello sfruttamento della risorsa non rinnovabile acqua all'interno della risorsa non rinnovabile suolo.

Considerando un determinato serbatoio di terreno e tenendo in considerazione l'apporto antropico, l'irrigazione, nei fattori di input (I), il bilancio idrologico può essere formalizzato come nella seguente eq.1:

$$(Eq.1) \quad WC_{(t+1)} = WC_{(t)} + I - O$$

dove:

WC = Contenuto idrico; I = Precipitazioni + Rialita Falda + Irrigazione; O = Deflusso Superficiale + EvapoTraspirazione + Percolazione

Dall'eq.1 risulta evidente sia come la falda freatica entri in modo diretto tra i fattori del bilancio, sia come essa possa influenzare gli altri fattori dello stesso.

E' quindi facilmente intuibile il peso del ruolo esercitato dal livello freatico nella definizione del bilancio idrologico e, di conseguenza, l'importanza di un'analisi critica sullo stato dell'arte del monitoraggio di tale livello all'interno di un'area in cui si voglia definire il bilancio.

Nel paragrafo successivo verrà brevemente descritta la situazione di povertà idrica in cui

vivono le popolazioni di molti Paesi del globo; situazione a cui si è arrivati a causa di fenomeni naturali e dell'attività antropica.

### **1.3 La condizione di penuria idrica in alcune regioni della Terra**

Secondo alcuni scienziati (Lester *et al.*) la penuria idrica è uno dei problemi più sottostimati del momento. La domanda mondiale d'acqua è più che triplicata negli ultimi cinquant'anni, ed i segnali dell'insufficienza idrica sono sempre più ricorrenti: alcuni degli indicatori più comuni sono il prosciugamento dei fiumi e dei pozzi e la scomparsa dei laghi. Nel corso degli anni in alcune aree della Terra, insieme ad una minore piovosità ed a temperature più elevate, con l'aumento della domanda idrica è cresciuto anche l'utilizzo delle acque fluviali, tanto che molti fiumi di importanza vitale per i Paesi attraversati da essi sono abitualmente in secca. I seguito si citeranno solo alcuni esempi. Il Colorado, il fiume più importante degli Stati Uniti sud-occidentali, solo raramente arriva a sfociare nell'oceano; l'Amu Darya, uno dei due fiumi di alimentazione del lago d'Aral, è in secca per gran parte dell'anno, tanto che la superficie di questo lago si sta restringendo; in Cina il Fiume Giallo, per un certo periodo ogni anno non arriva a sfociare nel Mar Giallo. Con il calo delle falde idriche, le sorgenti si sono prosciugate e alcuni fiumi sono spariti completamente: ad esempio non esiste più il fiume cinese Fen, principale corso d'acqua della provincia dello Shanxi, che un tempo scorreva attraverso Taiyuan, la capitale dello Shanxi, prima di confluire nel Fiume Giallo. Per ciò che riguarda la scomparsa dei laghi, si pensi che in Cina, nella sola provincia dell'Hebei, sono scomparsi circa mille laghi o che in Africa Centrale, negli ultimi quarant'anni il Lago Ciad ha perso il 95% della sua estensione. Le falde idriche sono in fase di prosciugamento in molte regioni agricole della Terra, dalla cui produzione dipende il destino di una buona parte dell'alimentazione della popolazione mondiale. Si ricorda la situazione della Pianura del Nord della Cina, che produce quasi un terzo del raccolto di cereali del paese; del Punjab, il paniere dell'India, e delle Grandi Pianure meridionali degli USA. La penuria idrica affligge oggi quasi tutti i paesi del Nord Africa e del Medioriente, in particolare quelli in cui assiste ad una crescita demografica: Algeria, Egitto, Iran e Marocco sono costretti a importare il 40% e oltre del loro fabbisogno di cereali. In Iran, un paese con 70 milioni di abitanti, la Pianura del Chenaran, fertile regione agricola, sta rapidamente esaurendo le proprie risorse idriche: le acque dei pozzi che attingono agli acquiferi vengono usate per l'irrigazione e per i rifornimenti idrici di Mashad, una delle città iraniane più popolate ed in cui è forte il tasso di crescita demografica. Si pensa che l'Iran sarà uno delle prime nazioni a dover affrontare e risolvere il problema dei rifugiati a causa della mancanza d'acqua: alcuni villaggi sono stati già abbandonati in quanto privi della possibilità di approvvigionamento idrico.

Nello Yemen, paese in cui vivono 19 milioni di abitanti, i livelli delle falde si abbassano in media ogni anno di due o più metri. Nella pianura della città di Sana'a, il volume idrico emunto è cinque volte maggiore della ricarica, e i livelli scendono ogni anno di 6 metri; in assenza di nuove fonti di approvvigionamento, si è stimato che la capitale yemenita sarà priva d'acqua entro il 2010. Il volume procapite che si ritiene necessario a soddisfare i bisogni idrici primari è di 1000 [m<sup>3</sup>/anno]. Nel 1995 erano "solamente" 18 paesi (166 milioni di persone) in cui le risorse d'acqua corrente erano in media inferiori al fabbisogno minimo procapite; mentre si stima che, nel 2050 in 39 paesi (1,7 miliardi di persone) le risorse idriche procapite scenderanno al di sotto di 1000 [m<sup>3</sup>/anno]. Si auspica che in quei Paesi in cui le risorse idriche procapite sono ancora al di sopra del fabbisogno minimo, si riesca, con un utilizzo razionale delle acque, a rimanere in tale situazione.

#### **1.4 L'utilizzo razionale delle acque sotterranee**

Per una gestione sostenibile dei prelievi e per la scelta della localizzazione di pozzi e/o piezometri è importante stabilire alcuni criteri qualitativi e quantitativi, basati sulla letteratura e sull'esperienza nazionale e internazionale nel settore.

La domanda può essere sostenibile grazie alla ricerca di risorse idriche da cui attingere, alternative alle acque sotterranee, ed alla garanzia di non superamento di una soglia critica nei prelievi da falda.

Vi sono però controversie aperte sul significato da attribuire a questa soglia critica, tanto per le modalità più adatte con cui valutare l'eventuale "sovrasfruttamento" di un acquifero, quanto per la reale convenienza di un intervento mirato a migliorare la possibile situazione di deficit di bilancio idrico in alcune falde. Secondo alcuni teorie scientifiche esiste una "portata di sicurezza", cioè un prelievo massimo consentito, generalmente pari al valore della portata totale che affluisce in falda, affinché il bilancio idrico non sia in deficit ed oltre il quale si ha il sovrasfruttamento della risorsa.

Secondo altri Autori (Domenico, 1972) invece non ha alcun significato idrogeologico stabilire un valore unico massimo prelevabile (la "portata di sicurezza"), a causa della variabilità continua nei fattori di ricarica. Dall'esperienza italiana nel settore si evince come un acquifero si consideri effettivamente sovrasfruttato quando sia evidente che gli stati qualitativo e quantitativo della risorsa idrica sotterranea sono apprezzabilmente in uno stato di degrado.

Ciò avviene, ad esempio, quando:

- si assiste ad un rapido abbassamento dei livelli freatici e piezometrici;
- si crea una profonda depressione piezometrica;
- vi è il richiamo di contaminanti dalle aree circostanti,

situazioni che potrebbero manifestarsi quando si prelevi consistentemente da falde profonde o in quelle aree del bacino in cui la trasmissività è ridotta oppure in cui la ricarica si riceve con forte ritardo; cioè condizioni manifestabili anche nei casi in cui non si sia raggiunta la "portata di sicurezza".

Nel presente studio l'acquifero si considera sovrasfruttato in quelle aree in cui, sulla base di osservazioni pluriennali, si evidenzino tanto condizioni di degrado qualitativo quanto di rapido abbassamento del livello piezometrico e/o freatico. Le aree di crisi sono quindi identificate come quelle in cui la portata sotterranea prelevata sia superiore ad un "limite sostenibile" ed in cui sia critica la condizione qualitativa delle acque di falda. Il "limite sostenibile" è riferito a quell'insieme dei prelievi con cui il bilancio idrico rimane in situazioni di deficit moderato, ma controllato; in cui le depressioni piezometriche non sono tali da richiamare i contaminanti ed, inoltre, in cui è possibile utilizzare il sottosuolo per collocare infrastrutture (metropolitane, parcheggi sotterranei, sottopassi stradali) con maggiore sicurezza.

A scala regionale il prelievo può risultare sostenibile anche nei casi in cui le consistenti depressioni piezometriche di alcune aree vengano compensate dall'azione causata dagli stessi prelievi, che richiamano afflussi da quelle aree, esterne a quelle di crisi, continuamente alimentate dai corsi d'acqua superficiali. Ciò fa sì che si instauri un particolare equilibrio nel bilancio idrico, che porta nel lungo periodo ad una stabilizzazione del livello freatico.

Tali considerazioni non sono più valide nei casi in cui non vi sia un'adeguata alimentazione verso gli acquiferi esterni all'area di crisi e, conseguentemente, siano scarsi o nulli gli apporti verso gli acquiferi sovrasfruttati; situazione che, continuando a prelevare per soddisfare l'alta idroesigenza dell'area, porterebbe il bilancio idrico in condizioni di deficit ingovernabile. A causa dell'attuale stato dell'arte nella gestione dell'acqua sotterranea, cioè della scarsità di informazioni sulle caratteristiche della sua circolazione, della mancanza di una rete di monitoraggio coordinata sulla piezometria e della carenza sui controlli dei prelievi, l'ingovernabilità del deficit sarebbe una conseguenza certa.

Affinché lo sfruttamento della risorsa idrica sotterranea avvenga con criteri di sostenibilità, dopo aver classificato le aree di crisi in base al grado di sfruttamento, appaiono quindi necessari i seguenti accorgimenti:

- la realizzazione di reti di monitoraggio;
- l'ottimizzazione dei prelievi, attraverso la definizione di un "limite sostenibile" per aree simili;
- la rimozione delle fonti di contaminazione;
- il recupero del livello qualitativo delle acque, superficiali e sotterranee.

### **1.5 Le reti di monitoraggio idrologico: definizione e obiettivi**

Quando si parla di rete di monitoraggio idrologico ci si riferisce all'insieme, strutturalmente e tecnologicamente coordinato, delle installazioni, fisse e/o temporanee, di misura e raccolta dei dati relativi a livello piezometrico, precipitazioni, livello idrometrico; rete che dovrebbe fornire una risoluzione spazio-temporale in grado di rappresentare il processo su cui si investiga in modo completo, in funzione del bacino investigato e degli obiettivi che si perseguono.

Tali finalità possono essere:

- la conoscenza della situazione idrogeologica attuale delle falde ed il confronto con situazioni idrogeologiche precedenti;
- l'analisi dinamica dell'interazione tra falda, suolo, vegetazione ed atmosfera;
- l'implementazione di un modello numerico per un bilancio idrologico;
- la protezione delle aree di ricarica;
- l'analisi delle problematiche di ricarica degli acquiferi;
- la predisposizione ad un eventuale sfruttamento con opere di captazione;
- la stima delle perdite idriche
- la programmazione razionale delle concessioni per il prelievo delle falde
- le interazioni dell'irrigazione con il regime delle acque sotterranee;
- la valutazione della distribuzione spaziale e temporale dei fabbisogni irrigui in funzione delle caratteristiche colturali e pedo-climatiche;
- la quantificazione dei volumi idrici da distribuire nel tempo tramite irrigazione;
- la difesa dalle piene;
- gli studi idrologici a scopi energetici;
- la realizzazione di un Sistema Informativo Territoriale integrato e, quindi, la valutazione, il controllo e la pianificazione delle risorse idriche disponibili per una razionale gestione idraulica del territorio.
- valutazione della pericolosità delle discariche (abusive e non) e del loro potenziale impatto sugli acquiferi presenti nell'area;
- previsione e controllo degli episodi di contaminazione degli acquiferi;
- la valutazione di possibili bonifiche;
- la realizzazione di grandi opere civili.

### **1.6 Il monitoraggio del livello dell'acqua di falda freatica: obiettivi generali**

Il monitoraggio del livello freatico può venir effettuato per il soddisfacimento di molteplici obiettivi, precedentemente elencati e raggruppabili in tre categorie più generali:

1. valutazione dell'influenza dell'urbanizzato sul livello di falda e verifica dello stato quantitativo e qualitativo dell'acqua di falda nelle immediate vicinanze di alcuni impianti critici (discariche, depuratori, ecc.);
2. conoscenza della disponibilità idrica sotterranea, che può venir utilizzata per scopi agricoli, urbani o industriali;
3. studio della correlazione esistente tra cambiamenti dell'andamento piezometrico e variabilità climatica.

Oltre che per la quantificazione dell'acqua sotterranea, oggetto della presente analisi, un'osservazione costante dello stato quantitativo piezometrico è, quindi, necessaria anche per una valutazione di quelle variazioni della risorsa idrica sotterranea che possono essere causate tanto dall'influenza antropica, che modifica l'equilibrio idrologico naturale, quanto dalla variabilità climatica.

Per affrontare l'argomento in modo esaustivo si è così ritenuto di dovere riflettere anche su alcune linee guida per un monitoraggio della falda freatica con cui valutare sia i parametri di influenza sui cambiamenti climatici sia la dipendenza delle variazioni piezometriche dalla variabilità climatica. Perché ciò sia possibile si necessita, a lungo termine, di una rete stabile di monitoraggio del livello dell'acqua di falda, che abbia la sua utilità nel:

- valutare i dati raccolti durante progetti a breve termine in una prospettiva climatica a lungo termine;
- fornire un indice corrente per le condizioni siccitose;
- stimare a lungo termine la ricarica naturale e la sua variabilità temporale;
- rendere espliciti gli effetti climatici derivanti dall'attività umana, come l'irrigazione o l'emungimento.

Il principio basilare con cui identificare i siti di rilevazione dei dati è quello di focalizzare nel sistema acquifero quelle parti relativamente poco sviluppate in cui si risenta maggiormente delle variazioni climatiche (che dovrebbero essere segnalate sulla mappa degli acquiferi principali) e non quelle aree in cui le fluttuazioni del livello di falda siano influenzate dalla ricarica artificiale o dai prelievi. Le stazioni di osservazione dei fenomeni correlativi tra cambiamenti dell'andamento piezometrico e variabilità climatica dovrebbero quindi appartenere ad un'unità idrogeologica conosciuta in cui sia minima l'influenza del pompaggio e delle potenziali sorgenti di ricarica artificiale. Esse dovrebbero inoltre far parte di una rete nazionale, o almeno regionale, di monitoraggio nel lungo periodo ed il prodotto finale dovrebbe essere costituito da una serie di presidi di monitoraggio simili strutturalmente e coordinati tecnologicamente.

In una prospettiva climatica a lungo termine, sarebbe importante poter soddisfare anche i seguenti criteri:

- accessibilità nel lungo periodo;
- minima possibilità che il pozzo si asciughi;
- caratterizzazione completa del sito;
- per ogni sito, identificazione di un pozzo alternativo di monitoraggio;
- frequenza almeno bimestrale di monitoraggio.

Lo studio della correlazione esistente tra cambiamenti dell'andamento piezometrico e variabilità climatica viene effettuato in particolar modo in quei Paesi, come gli USA, dove si dà ascolto ai quei segnali di pericolo circa una sempre più spinta desertificazione di aree oggi produttive.

## **1.7 Pozzi e piezometri di monitoraggio**

### **1.7.1 I pozzi di monitoraggio: alcune caratteristiche realizzative, di completamento e di sviluppo**

Il diametro del pozzo varia in base al suo impiego principale (bonifica della falda, monitoraggio, captazione e sfruttamento della falda), mentre le modalità di perforazione e di sviluppo sono le medesime per ogni impiego e dipendono dalla tipologia del terreno da attraversare, dalla profondità e dal diametro scelto.

Le principali misure da effettuare durante una prova di pompaggio da pozzo sono le misure di portata, durante la prova, e le misure di livello, prima, durante e dopo la prova. Le misure di livello prima della prova si effettuano per verificare il comportamento della falda in condizioni indisturbate, e si registrano per avere il riferimento iniziale dei livelli piezometrici. La pressione atmosferica gioca un ruolo importante nell'interpretazione della variabilità delle misure, quindi eventuali variazioni della stessa devono essere annotate. Per questo motivo, per misurare gli abbassamenti, si possono utilizzare dei trasduttori di pressione, la cui elettronica prevede la compensazione automatica della pressione barometrica sulle misure degli abbassamenti in pozzo.

Durante le prove di portata, le misure di livello dell'acqua nel pozzo e nei piezometri devono essere eseguite ad intervalli temporali di durata variabile e devono poter essere rappresentate da tratti rettilinei di pari lunghezza se sono diagrammati in scala logaritmica

E' importante che il pozzo di monitoraggio sia completamente penetrante, che attraversi cioè completamente la falda e che si infigga nel substrato impermeabile.

I sistemi di perforazione più comuni sono i seguenti:

- Canadese: a secco, a percussione, con aste;
- Pensilvano: a secco, a percussione, con corda di Manilla o d'acciaio;
- Atlante: a percussione, con aste cave, con circolazione d'acqua o fanghi in pressione;
- Rotary: a rotazione, con aste cave, con circolazione d'acqua o fanghi in pressione;

- Percussione a circolazione inversa

Successivamente alla perforazione, si esegue il completamento e lo sviluppo del pozzo grazie al posizionamento della colonna di rivestimento, formata da una parte filtrante e da una parte cieca.

Il diametro dei filtri e del rivestimento viene scelto in funzione del diametro di perforazione, dello spessore del manto drenante e del diametro della pompa sommersa da installare. La zona filtrante deve essere compatibile con la granulometria del terreno di cui è costituito l'acquifero; in sede progettuale generalmente si prevede che i filtri ricoprano almeno i 2/3 dello spessore di un acquifero non confinato.

Inoltre, il diametro interno dei tubi deve essere 50 - 60 [mm] superiore al diametro di ingombro massimo della pompa (i diametri di ingombro più comuni sono: 95[mm], 145[mm], 185[mm], 230[mm], 235[mm], 340 [mm]).

La scelta dei materiali da utilizzare per filtri e tubi dei pozzi, così come dei piezometri, di monitoraggio varia in base alle caratteristiche geochimiche dell'acquifero, alla durata della campagna di monitoraggio, alla profondità ed al diametro del pozzo o piezometro.

I materiali più adoperati sono: acciaio al carbonio, acciaio zincato, acciaio inox, PVC, ABS, Teflon; bisogna sempre considerare l'eventuale corrosione dei materiali in acciaio se le acque sono acide, in particolare in presenza di cromo o nichel.

Nei pozzetti di monitoraggio, ma soprattutto di campionamento è quindi spesso consigliato l'utilizzo di tubi in PVC.

La velocità di ingresso dell'acqua nei filtri non dovrebbe superare mai i 3 [cm/s], per non incorrere in problemi di trascinamento di sabbia o di corrosione in corrispondenza delle aperture.

In base a tale velocità massima ed all'area delle finestrate si ottiene la portata di un filtro.

Per il monitoraggio del livello di falda freatica, in terreni sciolti omogenei la parte filtrante dovrebbe essere posta solo nella metà inferiore dell'acquifero; in presenza di terreni sciolti stratificati si dovrebbe invece procedere nel seguente modo (Cerbini, 2004):

- se uno strato di sabbia fine o limosa è al tetto di uno strato di ghiaia o di sabbia grossolana, la superficie del filtro dovrà ricoprire dal 70% all'80% del livello inferiore, più permeabile;
- se uno strato di ghiaia o di sabbia grossolana è al tetto di uno strato di sabbia fine o limosa, la superficie del filtro dovrà ricoprire interamente il livello inferiore, meno permeabile, ed almeno il 50% dello strato superiore, più permeabile;
- se uno strato di sabbia fine o limosa è compreso tra due strati di ghiaia o sabbia grossolana, la superficie del filtro dovrà ricoprire interamente i due strati inferiori ed almeno il 33% dello strato superiore.

### **1.7.2 I piezometri di monitoraggio: alcune caratteristiche realizzative, di completamento e di sviluppo**

I piezometri di monitoraggio sono quelli in cui vengono eseguite misure del livello dell'acqua di falda ed eventuali campionamenti successivi; sono, cioè, sistemi che consentono la misura dei valori della pressione dell'acqua contenuta nei vuoti del terreno.

I piezometri comunemente utilizzati sono costituiti da tubi finestrati e da celle porose collocati entro fori di sondaggio che consentono all'acqua di formazione di risalire entro tubazioni cieche sino a mettersi in equilibrio con la pressione esterna; possono essere finestrati per l'intero spessore della falda o solo per un breve tratto. Il tipo di piezometro più semplice è detto "a tubo aperto"; è costituito da un tubo, generalmente in materiale plastico e di diametro tale da permettere il passaggio del puntale sensibile del freatimetro, posto in un foro di sondaggio. Il tubo è caratterizzato da un tratto filtrante, posto in corrispondenza alla zona di misura e protetto da una calza di materiale geotessile, e da tratti ciechi posti nelle zone dove gli ingressi di acqua non sono previsti. I tratti filtranti, circondati da un filtro in sabbia o ghiaietto, devono essere protetti da "tamponi" impermeabili contro l'ingresso di acqua in discesa o risalita lungo la superficie esterna del tubo.

In base al diametro utilizzato, il piezometro a tubo aperto necessita, per mettersi in equilibrio con la pressione neutra, di consistenti afflussi e deflussi d'acqua; per questo motivo trova il suo campo di applicazione ideale negli studi che riguardano i terreni permeabili e molto permeabili.

I piezometri tipo "Casagrande" sono costituiti da una cella in materiale poroso collegata con due tubi che vengono fatti risalire sino alla superficie del terreno. La coppia di tubi serve sia per la misura con il freatimetro, sia per operazioni di lavaggio e spurgo mediante immissione di acqua in pressione. Il minore volume di acqua mobilizzato per la messa in equilibrio con le pressioni neutre, rispetto a quello necessario nel caso del piezometro a tubo aperto, ne rende adatto l'impiego in terreni con permeabilità sino a  $10^{-6}$  [cm/sec], valore tipico dei limi sabbiosi.

Per l'impiego in terreni a bassissima permeabilità sono stati studiati piezometri di tipo speciale. Il loro funzionamento è basato sulla deformazione di membrane elastiche, accoppiate a trasduttori di vario tipo che consentono, attraverso cavi elettrici, la lettura della pressione in superficie

Ciò che è stato precedentemente accennato circa le caratteristiche tecniche e di installazione dei piezometri, di seguito sarà descritto con maggior dettaglio.

Nel caso di piezometri di monitoraggio in prove di pompaggio, il tempo di risposta del piezometro agli abbassamenti indotti dal pozzo in pompaggio è direttamente proporzionale al

suo diametro: minor diametro, minor volume d'acqua da estrarre, minor tempo di risposta. Le modalità tecniche di perforazione e di sviluppo sono simili a quelle utilizzate per la costruzione di un pozzo; i diametri generalmente usati variano da 50 a 100 [mm]. Il numero dei piezometri varia in funzione delle condizioni locali come: presenza di limiti, isotropia ed anisotropia, eterogeneità, costi. Sarebbe opportuno che il posizionamento dei piezometri fosse su allineamenti ortogonali tra loro ed almeno uno parallelo alla direzione di deflusso medio della falda.

E' anche importante considerare la distanza dei piezometri dal pozzo, che deve essere tale da rendere rilevabili gli abbassamenti senza la presenza di turbolenze (dovute al deflusso verso il pozzo).

Nelle falde freatiche, le formule generalmente usate per le analisi dei valori misurati, si applicano solo per distanze, dei piezometri dal pozzo, superiori a 1,5 volte lo spessore della falda ed i piezometri dovrebbero essere installati a non più di cento metri dal pozzo in pompaggio.

In questo lavoro di tesi non si affronteranno le leggi dell'idraulica sotterranea; per un'analisi approfondita della dinamica idrica sotterranea si rimanda agli specifici testi di riferimento.

Per ciò che riguarda la profondità di installazione dei piezometri, essa dovrebbe essere pari alla profondità media del tratto filtrante, in acquiferi isotropi ed omogenei, e alla profondità dei filtri del pozzo di emungimento, in acquiferi eterogenei.

Dopo la scelta del materiale con cui rivestire il piezometro e prima dell'installazione dello stesso, è necessario eseguire un lavaggio a caldo (con vapore) per eliminare eventuali tracce di contaminanti olii, grassi, collanti, solventi, ecc.

La scelta delle dimensioni delle finestre varierà in base alla granulometria dell'acquifero.

Successivamente vi è il posizionamento del manto drenante in prossimità dei filtri, per permettere all'acqua richiamata verso il piezometro di entrarvi attraverso le finestre e per limitare l'ingresso delle particelle fini. Il dreno artificiale è costituito prevalentemente da sabbia o ghiaietto siliceo inerte, la cui granulometria va scelta in funzione di quella dell'acquifero.

Il passo successivo è quello della impermeabilizzazione e cementazione del piezometro. Per isolare il piezometro si utilizzano generalmente bentonite, cemento, miscela cemento/bentonite e argilla, i cui volumi di materiale devono essere calcolati in sede di progetto. Dopo la stabilizzazione del manto drenante, si posa su di esso 1 [m] circa di sabbia e, su di essa, una miscela argilla/bentonite; dopo pochi metri, nella zona insatura, si posa la miscela cemento/bentonite (con bentonite al 2-3% per diminuire i tempi di presa del cemento) ponendo particolare attenzione nell'evitare la formazione di ponti con la parete del

foro, che porterebbero a sicure infiltrazioni d'acqua. Nella parte iniziale del piezometro, rispetto al piano campagna, si dovrebbe realizzare una soletta in calcestruzzo per evitare le infiltrazioni superficiali.

### **1.8 Gli strumenti per la misura dei livelli**

Le misure del livello all'interno del piezometro possono essere effettuate manualmente, grazie a freatimetri o a misuratori digitali manuali, oppure automaticamente, tramite trasduttori di pressione opportunamente ingegnerizzati e collegati a centraline di lettura (datalogger) o con datalogger incorporati, che registrano le misure in continuo.

Il tipico misuratore manuale di livello è il freatimetro, composto normalmente da un cavo coassiale centimetrato o metrato tondo, con guaina e sottoguaina in PVC e conduttori in rame o in acciaio, avvolto su un rullo avvolgicavo, al cui interno vi è una scheda elettronica. Quando il puntale rilevatore, generalmente in ottone nichelato o in acciaio inox, tocca la superficie dell'acqua, esso invia il segnale alla scheda, che lo trasforma in un segnale luminoso (led) e acustico (cicalino). L'alimentazione è assicurata da una batteria incorporata nel rullo. Per avere dallo stesso strumento una maggiore precisione, il cavo deve essere piatto con guaina in PVC e il conduttore in acciaio, con gradazione in decimetri, centimetri e metri.

Per misure manuali dei livelli più precise si può utilizzare anche uno strumento portatile a lettura digitale, composto da una centralina di lettura con display alloggiato in un palmare o all'interno di un rullo avvolgicavo, da un trasduttore di pressione e da un cavo metrato, schermato con tubicino di compensazione della pressione barometrica.

Il tipico misuratore automatico di livello è il trasduttore di pressione, composto da una struttura metallica al cui interno vengono inseriti un sensore di pressione, con le sue resistenze di compensazione, e un amplificatore, con un segnale di uscita standardizzato. Tale struttura ha una connessione comune per il collegamento allo strumento registratore (p. es. un datalogger) ed un connettore per la connessione elettrica.

Per la misura dei livelli si utilizzano traduttori immergibili, collegati ad un cavo perfettamente stagno, che rilevano la pressione esercitata dalla colonna d'acqua che sovrasta lo strumento.

Il datalogger è un sistema computerizzato di acquisizione dati, utilizzato in particolare quando le rilevazioni sono nel lungo periodo. I dati vengono acquisiti e registrati in continuo, per poi essere trasferiti su computer per effettuare le elaborazioni specifiche.

Lo strumento di misurazione è composto da un'unità di superficie che acquisisce i dati, alimentata da batteria, e da uno o più trasduttori di pressione, di cui si memorizzano i segnali d'uscita.

Le modalità di dialogo con l'esterno del datalogger possono essere dirette, grazie ad una tastiera e ad un display incorporati nell'unità di acquisizione dati; attraverso un computer portatile con un'interfaccia seriale; oppure con collegamento remoto attraverso rete telefonica, radio o satellitare.

L'intero sistema è comandato da una scheda processore CPU; su una scheda RAM (con capacità minima di 32 Kb) si possono invece memorizzare i dati misurati.

Attualmente gli strumenti maggiormente utilizzati per la misurazione e registrazione del livello freatico sono i trasduttori di pressione con datalogger incorporato. Essi, oltre a possedere le caratteristiche tecniche e tecnologiche dei trasduttori di pressione, possono inoltre memorizzare i valori dei dati rilevati in una memoria non volatile; in tal modo si possono monitorare eventi in assenza di personale tecnico.

All'interno del trasduttore di pressione con datalogger incorporato vi sono inseriti: un amplificatore, un convertitore analogico - digitale, una memoria ed un'interfaccia; il tutto è gestito da un microprocessore.

Il suo circuito elettronico ha consumi molto bassi, la batteria al litio che alimenta lo strumento assicura così una lunga durata alle rilevazioni. L'intervallo di misura è programmabile da 1 [s] a 24 [h]: per letture con frequenza oraria è assicurata una durata superiore a 10 anni; per frequenze di 10 [min] la durata assicurata supera i 5 anni; mentre per letture con frequenza ad ogni minuto è assicurata una durata superiore ad 1 anno. Questo strumento permette generalmente fino a 130.000 misure relative o assolute dei livelli, con una precisione di misurazione superiore allo 0,1%.

Il trasduttore di pressione è predisposto per essere immerso a tempo indeterminato; il datalogger è inserito in un contenitore cilindrico in acciaio inox con diametro di 24 [mm] ed è collegato, grazie ad un cavo elettrico, ad una testa stagna contenente la batteria e la seriale per il collegamento al computer. E' così possibile scaricare i dati acquisiti senza dover estrarre il datalogger dal piezometro.

Dalla ricerca effettuata tra i prodotti offerti dai diversi rivenditori è risultato che i costi medi comprensivi di acquisto del trasduttore di pressione con datalogger incorporato, degli adattatori per i personal computer, del pacchetto software da installare, degli accessori necessari ed opzionali variano tra 1.500 € e 2.200 €.

Alcune ditte prevedono l'installazione gratuita, per le altre i costi di installazione possono arrivare fino a 600 €.

## ***IL GOVERNO DEL TERRITORIO DELLA REGIONE LOMBARDIA***

Il quadro normativo riferito alla materia urbanistica in Regione Lombardia si è fondato, sino ai giorni nostri, sulla L.R. 15 aprile 1975, n. 51.

Dopo molti anni, e numerosi ed accesi dibattiti, il sentire comune relativo allo sfruttamento delle risorse fisiche è finalmente in fase di cambiamento.

In tale direzione anche la Costituzione Italiana, nella sua recente nuova formulazione parla oggi non più di urbanistica ma di governo del territorio, in una accezione comprensiva di tutto ciò che ‘ fa territorio ’ e di tutte le azioni che nel territorio sortiscono effetti.

Nell'ottica di completamento e di coordinamento dei nuovi scenari delineati dagli interventi legislativi degli ultimi anni, in particolare dalle leggi regionali n. 1/2000 e n. 1/2001, in Lombardia si è voluto raggiungere l'obiettivo di approvare un vero e proprio testo unico in materia urbanistica, il "Piano di Governo del Territorio della Regione Lombardia" (PGTL), unificando tutte le norme attualmente disseminate in diverse leggi di settore.

### **2.1 Gli strumenti di programmazione territoriale regionale ed il ruolo della Valutazione Ambientale Strategica**

In questo nuovo modo di affrontare le tematiche territoriali viene rafforzata la logica della programmazione rispetto a quella della pianificazione come usualmente intesa, grazie a:

1) una correlazione tra gli strumenti di governo del territorio:

- il Piano di Governo del Territorio (PGT), strutturato in tre atti: il documento di piano, il piano dei servizi e il piano delle regole; mantenuti nell'ambito di un unico processo di pianificazione, ma ognuno con la propria autonomia di gestione e previsione. Il Documento di piano ha carattere principalmente strategico e di coordinamento della politica complessiva sul territorio, contiene i fattori conoscitivi del territorio e le linee di sviluppo che il Comune vuole intraprendere. Ricopre una fondamentale importanza nella pianificazione e programmazione ambientale, poiché definisce, tra gli altri, lo stato di fatto del territorio comunale, dimostrandone i cambiamenti ed interpretando i motivi di trasformazione. Il Piano dei servizi, elaborato dai Comuni, ha come obiettivo di distribuire razionalmente sul territorio comunale le aree per attrezzature pubbliche; le sue previsioni hanno carattere prescrittivo e vincolante. Il Piano delle regole riguarda gli aspetti regolamentativi e gli elementi di qualità della città costruita. Nell'ottica ambientale esso è importante in quanto individua le aree di pregio ambientale e quelle destinate all'agricoltura, di cui regola inoltre la disciplina d'uso, di valorizzazione e di salvaguardia. Le sue indicazioni hanno valore prescrittivo, producono effetti diretti sul regime giuridico

dei suoli ed hanno validità indeterminata.

– il Piano Territoriale Provinciale (PTP); è strumento di indirizzo della programmazione socio-economica della Provincia. Con esso vengono definiti gli obiettivi generali relativi all'assetto ed alla tutela del territorio provinciale. Per ciò che riguarda la tutela ambientale e paesistica riveste una fondamentale importanza in quanto definisce l'assetto idrogeologico del territorio ed individua le aree destinate all'agricoltura.

– il Piano Territoriale Regionale (PTR): è uno strumento di programmazione e di conoscenza; individua gli elementi principali del proprio assetto territoriale e stabilisce i criteri e gli indirizzi per la elaborazione degli atti di programmazione territoriale di Province e Comuni;

2) l'identificazione di tre strumenti tra loro correlati:

– la Valutazione Ambientale dei piani PTR, PTP, del documento di piano e delle varianti ai predetti strumenti, in recepimento dell'art.3, paragrafo 2 della direttiva 2001/42/CE. La Valutazione Ambientale ha un'importanza strategica nell' assicurare uno sviluppo sostenibile. Essa infatti non si effettua sul piano ma nel piano e come tale si configura come atto costruttivo, valutativo, gestionale e di monitoraggio del piano stesso, a differenza di altri studi di impatto ambientale finalizzati a valutare la compatibilità ambientale degli interventi a posteriori, per mitigarne gli effetti negativi. La Valutazione Ambientale Strategica (VAS) è un "processo di valutazione ambientale di politiche, piani e programmi che sono approvati prima dell'autorizzazione dei singoli progetti", processo basato sull'oggettività, fondata sui limiti d'uso delle risorse. Con la VAS vengono considerati gli impatti cumulativi degli effetti ambientali, si prevedono cioè gli impatti di Politiche Piani Programmi (P.P.P.), è quindi uno strumento di supporto alle decisioni.

– il Sistema Informativo Territoriale integrato (SIT); realizzato dalla Regione in coordinamento con gli Enti locali per acquisire, memorizzare, controllare, elaborare, rappresentare e diffondere quei dati spazialmente riferiti alla superficie lombarda la cui base geografica e cartografica è condivisa tra i diversi enti. Nel SIT della Regione Lombardia confluiscono informazioni il cui confronto ed elaborazione diventa strumento di conoscenza e di supporto alle decisioni in materia di programmazione e pianificazione territoriale; il SIT integrato diviene così un vero e proprio strumento di supporto alla gestione del territorio in quanto, grazie all'interpretazione delle elaborazioni dei dati territoriali, è possibile effettuare una valutazione ambientale strategica e quindi valutare il grado di sostenibilità di un piano. Il SIT è inoltre strumento di comunicazione sullo stato del territorio e sulle scelte programmatiche che lo riguardano.

– l'Osservatorio permanente della programmazione territoriale, costituito dalla Giunta regionale ed al quale partecipano gli Enti locali. Esso si avvale degli elementi conoscitivi

forniti dal SIT per monitoraggio delle dinamiche territoriali e per la valutazione degli effetti derivanti dall'attuazione degli strumenti di pianificazione.

Quanto più un progetto di legge non poteva prevedere, a tutela e conservazione del territorio e delle sue componenti?

## **2.2 Importanza e finalità di un'analisi critica dei presidi di monitoraggio idrologico nel governo del territorio lombardo in base alla normativa vigente**

In questa nuova logica di una sostenibile programmazione ambientale e territoriale si è scelto di analizzare criticamente gli attuali presidi di monitoraggio idrologico della Provincia di Cremona e della sovrastante, ed idrologicamente rilevante, pianura bergamasca, per valutarne lo stato dell'arte, riflettere sulla loro significatività e proporre un sistema di integrazione della rete di monitoraggio esistente di controllo idrologico coordinata, coerente e razionale.

I principi e gli obiettivi della seguente analisi critica sono in accordo con:

- il "Progetto di legge per il governo del territorio della Regione Lombardia"; in particolare con gli artt.: 3 (Strumenti per il coordinamento e l'integrazione delle informazioni), 4 (Valutazione ambientale dei piani), 5 (Osservatorio permanente della programmazione territoriale), 8 (Documento di piano), 10 (Piano delle regole), 15 (Contenuti del piano territoriale provinciale), 19 (Oggetto e contenuti del piano territoriale regionale), 55 (Attività regionali per la prevenzione dei rischi geologici, idrogeologici e sismici) e 56 (Componente geologica, idrogeologica e sismica del piano territoriale provinciale), 77 (Contenuti paesistici del piano territoriale regionale);
- Il "Piano di Gestione del bacino idrografico", composto dall' "Atto di Indirizzi", approvato dal Consiglio Regionale il 28 Luglio 2004 e dal "Programma di Tutela e Uso delle Acque", approvato il 12 Novembre 2004 con delibera 19359 della Giunta Regionale. Il "Piano di Gestione del bacino idrografico" costituisce l'applicazione, nel bacino idrografico limitato alla Regione Lombardia, della coerente normativa europea e nazionale e dell' Autorità di Bacino del Po, attualmente in fase di consultazione;
- La Deliberazione 7/2002 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino del Po. In applicazione alla L.183/99, il documento costituisce il piano stralcio funzionale del Piano di Bacino del Po, che stabilisce i criteri generali di impostazione sul bilancio idrico del bacino e dei sottobacini regionali del Po;
- la Direttiva 2001/42/CE del 27 giugno 2001, che prevede l'applicazione del processo di VAS;
- la Direttiva 2000/60/CE del 23 ottobre 2000, che detta le norme per la realizzazione dei piani di gestione definendone la struttura, i contenuti e le scadenze, con la finalità della

tutela quali-quantitativa delle acque;

- il Sesto Programma d'Azione per l'Ambiente, che indica una più sostenibile pianificazione e gestione del territorio tra gli indirizzi prioritari di un approccio strategico alle tematiche ambientali;
- la metodologia VAS individuata nel Manuale per la Valutazione ambientale dei Piani di sviluppo Regionale e del Programma dei Fondi Strutturali dell'UE. In esso la prima fase identificata è quella della valutazione dello stato dell'ambiente e dell'elaborazione dei dati di riferimento, tra cui l'analisi delle caratteristiche quantitative e qualitative delle infrastrutture ambientali, come le reti di monitoraggio idrologico;
- il D.Lgs 152/99, che detta le norme per la salvaguardia ambientale ed il fabbisogno idrico a scopo potabile.

### **2.3 La disponibilità della risorsa idrica nella Pianura Lombarda: lo stato dell'arte della conoscenza ed alcune possibilità di gestione**

La pianura padana lombarda, alla quale appartengono i bacini idrografici investigati, è caratterizzata da una grande ricchezza di acqua dolce sotterranea ( $1 \cdot 10^9$  [m<sup>3</sup>] circa) che, unitamente all'abbondanza di acqua superficiale, ha favorito l'insediamento e lo sviluppo antropico e che ancora oggi costituisce una delle principali fonti di approvvigionamento.

L'immensa riserva sotterranea è recuperabile piuttosto facilmente ed è ben protetta naturalmente, ma, nonostante l'abbondanza della risorsa idrica sotterranea, per una gestione razionale e per un suo uso sostenibile vi dovrà sempre essere sempre un controllo continuo e puntuale del suo stato (qualitativo e quantitativo).

L'esperienza insegna come nella pianura lombarda si sia potuto arrivare, altrettanto facilmente, ad un eccessivo emungimento delle acque sotterranee, ad un consumo non razionale e ad una scarsa protezione degli acquiferi, fattori che hanno portato, nelle diverse aree della stessa pianura, a deficit idrici più o meno marcati.

Il settore agricolo in pianura lombarda ha visto gradualmente diminuire, nel corso degli ultimi decenni, la propria importanza socio - economica; numerose aree destinate ad infrastrutture o ad insediamenti civili ed industriali sono state così sottratte all'agricoltura. Di ciò ha risentito anche l'approvvigionamento idrico, a causa di una maggiore domanda di acqua per uso idropotabile ed industriale, che, sommata alla domanda per uso irriguo, ha creato in alcune aree situazioni di deficit.

La risorsa idrica viene addotta e distribuita a scopo irriguo grazie a fitte ed estese reti di canali (spesso non rivestiti) a pelo libero; si hanno quindi ingenti perdite di infiltrazione lungo i canali a cui si devono sommare le perdite per percolazione, altrettanto elevate, dovute all'impiego dei metodi irrigui tradizionali, a sommersione ed a scorrimento

superficiale.

Le perdite complessive dovute alle pratiche irrigue sono quindi notevoli e l'approvvigionamento irriguo è, in tal modo, poco efficiente. Esse rappresentano però la basilare fonte di ricarica del sistema degli acquiferi, al cui emungimento si deve l'approvvigionamento idrico civile ed industriale e da cui, grazie ai fontanili, trae giovamento la stessa irrigazione.

A causa di una sempre più spinta utilizzazione della risorsa idrica sotterranea anche la qualità delle acque è peggiorata in modo tale che da diversi anni l'uso idropotabile ed irriguo dell'acqua ha iniziato a subire limitazioni. Si è cercato così di prelevare da profondità sempre maggiori, per arrivare ad attingere acque non ancora raggiunte da sostanze inquinanti.

Lo scenario appare quindi molto complesso e di difficile gestione. Con il trascorrere del tempo ulteriori effetti sul regime delle acque, dovuti alle opere ed alle attività dell'uomo, si aggiungono alle condizioni ambientali dell'acqua e disturbano necessariamente l'equilibrio dinamico del ciclo idrologico naturale; prendono così avvio nuovi processi idrologici e nuovi fenomeni, che potranno essere ben analizzati solo grazie ad un razionale sistema di osservazione dei parametri che intervengono in essi.

Nei bacini idrografici del cremonese e del bergamasco, tra i fattori che contribuiscono al bilancio idrologico, è evidente ormai uno sbilanciamento tra quelli di input e di output; essendo le quantità d'acqua attinte notevolmente superiori rispetto alle quantità disponibili nel sottosuolo.

I numerosi prelievi dal serbatoio suolo continuano a deprimere i livelli freatici e piezometrici; in tal modo si va incontro ad un'irreversibile riduzione, più evidente nel periodo estivo, delle portate dei fontanili e delle risorgenze.

Per poter utilizzare e gestire in modo sostenibile la risorsa acqua sarebbe necessaria una conoscenza approfondita tanto del serbatoio in cui essa si muove, quanto dei meccanismi che possono causare un aumento od una diminuzione del contenuto idrico all'interno di tale serbatoio; per valutare invece in modo adeguato l'impatto e gli effetti sulla circolazione delle acque sotterranee connessi alla realizzazione di opere urbane sarebbe importante poter determinare le interconnessioni esistenti tra gli insediamenti urbani ed il territorio. Si dovrebbe, cioè, poter anche caratterizzare l'area in funzione degli elementi (variazione del numero di abitanti, dismissione delle aree industriali, diminuzione del numero di aziende attive) e dei fattori (strutture del sistema, aree di infiltrazione, precipitazioni, irrigazioni, prelievi pubblici e privati) che agiscono direttamente sul bilancio idrologico, valutando il grado di correlazione fra gli uni e gli altri ed il loro rapporto con l'evoluzione della falda.

Una caratterizzazione della struttura geologica degli acquiferi, della quantità, della qualità e del grado d'utilizzo delle risorse idriche sotterranee, della meteorologia (a breve termine) o

della climatologia (a lungo termine) delle pianure delle province di Cremona e di Bergamo è quindi alla base di ogni progetto di tutela quali -quantitativa delle acque sotterranee in tali aree e come tale sarà affrontata nel presente lavoro.

Il sistema che verrà presentato, basato su un sistema omogeneo ed organizzato di lettura dati, si auspica possa essere uno strumento di supporto alla valutazione degli effetti dei fenomeni idrologici all'interno dell'area esaminata, con cui ottimizzare il rapporto benefici/costi della rete di monitoraggio proposta.

Uno strumento, ad esempio, di supporto decisionale alla pianificazione delle pratiche colturali e irrigue ed alla gestione dello sviluppo sostenibile dei prelievi e dell'irrigazione.

Perché ciò avvenga è però necessaria una base normativa adeguata, che renda esplicito il problema del monitoraggio delle risorse acqua, che sia arricchita di indicatori idrologici di sostenibilità e che indichi un Ente, quale coordinatore della rete regionale di controllo della risorsa idrica sotterranea, che assicuri l'acquisizione continua e la divulgazione di dati significativi.

Questa esigenza, per certi aspetti banale, è ancor oggi motivo di auspicio piuttosto che realtà, così come l'esigenza, ancora non soddisfatta, di poter disporre di una massa di dati appena sufficiente per caratterizzare quali-quantitativamente la realtà delle acque lombarde, superficiali e sotterranee che siano.

Quello che appare, nella documentazione ufficiale, è spesso presentato con valori assoluti (numero di stazioni di campionamento, numero di analisi eseguite all'anno, numero di dati prodotti) ma non rapportati alle dimensioni del problema; si pensi, ad esempio, al monitoraggio qualitativo delle acque superficiali. Dal 'Piano di gestione del bacino idrografico'<sup>1</sup>, oggi in fase di pubblicazione per le osservazioni, si legge che le stazioni di monitoraggio dell'ARPA sono 260 delle quali 213 sui corsi d'acqua e, di queste ultime, 73 su corsi d'acqua artificiali; in altro punto si legge che la rete artificiale lombarda si sviluppa per circa 200.000 chilometri<sup>1</sup>. Una valutazione certo grossolana ma non priva di qualche significato indicativo porta quindi a definire una densità di monitoraggio di circa un presidio ogni 2.600 chilometri. Anche sulle acque sotterranee la densità è dello stesso ordine di grandezza: 300 punti di rilevamento corrispondenti ad una media di uno ogni cento chilometri quadrati<sup>2</sup>.

Anche recenti lavori tesi a definire percorsi scientificamente corretti per l'impostazione e, poi, la realizzazione del bilancio idrologico, sono giunti ad ammettere l'estrema scarsità di dati disponibili<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> 'Piano di gestione del bacino idrografico' Relazione Generale, Cap. 4, par 4.1, "Monitoraggio", p. 124

<sup>1</sup> 'Piano di gestione del bacino idrografico' Relazione Generale, Cap. 2, par 2.1, "Acque Sotterranee", p. 12

<sup>2</sup> 'Piano di gestione del bacino idrografico' Relazione Generale, Cap. 2, par 4.1, "Acque Sotterranee", p. 138

<sup>3</sup> Gandolfi C., 2003, *Ricerca sui consumi irrigui e le tecniche di irrigazione in Lombardia*; Cap. 3 "Fonti", p. 100, Università di

La scarsità di dati attendibili, quindi significativi non sempre è associata a scarsità di rilevamenti, condotti da più soggetti, in modi diversi e tra loro non compatibili. La necessità del monitoraggio, quindi, deve non solo progettare la distribuzione del rilevamento sul territorio, ma anche proporre l’ottimizzazione dei sistemi esistenti, al fine di raggiungere il miglior compromesso globale tra necessità e risorse. Si devono così superare ostacoli ‘non tecnici’ ancora purtroppo saldi a dispetto della condivisione di mille principi!

### **3. LE CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE DEI TERRITORI DEL BACINO IDROGRAFICO ADDA - OGLIO**

#### **3.1 La struttura geologica della pianura lombarda**

La storia della formazione della Pianura Padana è alquanto complessa e ciò si riflette in una successione litostratigrafica decisamente varia.

Nell’evoluzione plio - quaternaria della pianura padana si riconoscono tre fasi geologicamente significative:

1. Pliocene superiore – Pleistocene inferiore: fase del ritiro del mare e della sedimentazione di depositi continentali fluviali, lacustri, deltizi e di pianura costiera su parte della pianura;
2. Pleistocene: fase glaciale;
3. Olocene: fase postglaciale, di sedimentazione alluvionale e di erosione.

Gran parte della formazione della pianura alluvionale lombarda è legata alle sedimentazioni nelle differenti fasi di crisi glaciale, che portarono alla deposizione di un'ampia coltre di sedimenti noti in letteratura come "fluvioglaciali", generalmente molto grossolani nell'alta e media pianura e sabbioso-limosi, con rare lenti di ghiaia, nella zona assiale della pianura.

I depositi glaciali sono costituiti da una matrice fine (limi, argilla, sabbia) che congloba materiali più grossolani (trovanti e massi erratici); insieme a questi depositi di "ablazione" sono presenti anche sedimenti fini fortemente consolidati (limi argillosi). I sedimenti grossolani (ghiaie e sabbie, anche alternate con argille, limi e conglomerati), presenti nella maggior parte degli apparati morenici wurmiani e rissiani, costituiscono dei serbatoi idrici di buona capacità.

I depositi alluvionali postglaciali sono quelli depositi dai corsi d’acqua in fasi successive al Wurm.

La serie formata dai depositi alluvionali glaciali e post glaciali costituisce il sistema degli acquiferi lombardi, che, partendo dal basso, possono essere distinti nel modo seguente:

- Terzo acquifero: costituito da depositi villafranchiana, ospita le falde confinate di bassa trasmissività. Il substrato sul quale giacciono i più permeabili depositi alluvionali fluvioglaciali è costituito appunto dall'unità del “Villafranchiano”, formata da sedimenti continentali fini (limi, sabbie fini, argille, torbe) ed il cui spessore può e anche superare i 100 [m].
- Secondo acquifero: costituito da depositi fluvioglaciali più antichi e dal "Ceppo", ospita le falde semiconfinate e confinate di media trasmissività. I depositi grossolani di cui è formato hanno uno spessore piuttosto variabile dalle fasce pedemontane al centro della pianura, in cui può raggiungere anche i 100 [m]. La differenza di livello piezometrico rispetto alla falda libera è modesta a causa della presenza di estesi e spessi diaframmi argillosi.
- Primo Acquifero o Acquifero superficiale: ospita le falde libere. E' caratterizzato da depositi alluvionali e fluvioglaciali recenti, come sedimenti ghiaioso-sabbiosi con scarsa presenza di lenti argillose. L'alimentazione del primo acquifero è dovuta alle piogge, alle interazioni con i corsi d'acqua ed alle pratiche irrigue; l'acque infiltrata in prima falda può successivamente percolare verso le falde semiconfinate e confinate ed alimentare così il secondo acquifero.

Nella pianura lombarda rivestono un grande interesse geologico i paleoalvei, antichi alvei fluviali in seguito riempiti e ricoperti da sedimenti spesso molto permeabili, in tal modo da essere o del tutto nascosti o nettamente modificati. I sedimenti di riempimento dei paleoalvei hanno tipicamente una granulometria che contrasta nettamente con la litologia delle aree confinanti.

Le forme e le dimensioni dei paleoalvei variano molto, così come lo spessore dei sedimenti depositati all'interno di questi antichi alvei fluviali.

### **3.2 Le principali caratteristiche idrogeologiche del bacino Adda - Oglio**

L'insieme dei territori delle province di Cremona e di Bergamo è compreso nel bacino Adda -Oglio, limitato a nord dall'arco prealpino e a sud dal fiume Po. Esso ha peculiarità idrogeologiche tipiche delle aree della pianura padana: è caratterizzato da una vasta presenza di depositi fluvioglaciali mindeliani e rissiani (nella porzione settentrionale) e di depositi wurmiani (nella porzione meridionale) e si distingue per una notevole interazione tra acque superficiali ed acque sotterranee. In funzione delle caratteristiche idrogeologiche e dell'interazione tra reticolo idrografico superficiale ed acque sotterranee, nel territorio del bacino Adda - Oglio, si possono distinguere tre differenti zone: Alta, Media e Bassa Pianura.

L' Alta Pianura è rappresentata dalla porzione di pianura estesa a nord della fascia dei fontanili ed è costituita prevalentemente da depositi grossolani. Nell'alta pianura lombarda vi è una scarsa continuità dei diaframmi argilloso-limosi che separano la falda superficiale dal secondo acquifero; il sistema si considera quindi come formato da un unico "acquifero monostrato", in cui è così agevolata la percolazione delle acque verso la falda semiconfinata.

La prima linea di affioramento dei fontanili si può considerare come il confine tra una zona nord, con elevate soggiacenze, ed una zona sud con limitate soggiacenze. Nella porzione settentrionale rispetto alla linea di affioramento dei fontanili il reticolo idrografico superficiale, naturale ed artificiale, non è generalmente in equilibrio con gli acquiferi e la ricarica della falda avviene grazie alle precipitazioni (in maggior parte) ed all'irrigazione; lì dove vi è equilibrio i corsi d'acqua alimentano gli acquiferi grazie ai flussi di percolazione attraverso l'alveo. Nella porzione meridionale vi è invece equilibrio tra gli acquiferi ed i principali corsi d'acqua, che sono in tal modo alimentanti e/o drenanti.

La Media Pianura rappresenta quella porzione di pianura interessata dalla fascia dei fontanili ed è costituita principalmente da suoli a granulometria più fine rispetto a quella dei suoli dell'alta pianura.

I due acquiferi del sistema multistrato sono tra loro connessi, con flussi di scambio diretti principalmente verso l'acquifero più profondo; quindi si differenziano progressivamente, all'aumentare dello spessore dei livelli argillosi e della loro estensione. Nella Media Pianura i livelli idrometrici dei fiumi Adda, Serio e Oglio sono in equilibrio idraulico con i livelli piezometrici degli acquiferi, costituendone così i naturali limiti idrogeologici; in tal modo sono assicurati la ricarica del primo e del secondo acquifero e, grazie all'affioramento dei fontanili, la disponibilità di acqua per l'irrigazione. La fascia dei fontanili e delle risorgive è attraversata dal fiume Serio ed è limitata dalle valli fluviali dell'Adda da ovest, e dell'Oglio ad est. I fontanili sono ambienti di elevata qualità, dal punto di vista naturalistico, per fauna e flora; idraulicamente importanti per la redistribuzione verso sud della risorsa idrica e per la bonifica dell'area in cui affiora la falda. La loro portata è proporzionale alla consistenza delle risorse idriche sotterranee, di cui fungono da "regolatori": essi generalmente drenano una discreta quantità di acqua verso la rete irrigua superficiale; ciò è compensato, più a valle, dall'infiltrazione delle acque emerse in superficie.

A causa dell'intensità dei flussi di scambio del sistema di acquiferi con il reticolo idrografico superficiale e dei sempre più intensi prelievi da pozzo, la portata dei fontanili varia nel tempo in funzione delle oscillazioni piezometriche; in generale si può affermare che quando cresce il livello freatico la linea dei fontanili si sposta più a nord; quando diminuisce, si sposta verso sud.

Il depauperamento idrico degli ultimi anni ha avuto come effetto evidente lo spostamento

verso sud della fascia di affioramento dei fontanili. Inoltre, continuando a deprimere i livelli freatici e piezometrici, si va incontro ad un'irreversibile riduzione delle portate dei fontanili e delle risorgenze, particolarmente manifesta nel periodo estivo. Gli effetti negativi sull'ambiente dei corsi d'acqua e sulla disponibilità idrica delle colture sono di facile intuizione.

I fenomeni di risorgenza si verificano anche lungo gli alvei fluviali, derivanti dal drenaggio dell'acquifero esercitato dai fiumi e dalla esistenza di terrazzamenti.

La Bassa Pianura rappresenta quella porzione di pianura estesa a sud della fascia dei fontanili, e compresa tra quest'ultima e l'alveo del Po; interessa quindi la pianura cremonese e casalasca, costituita in prevalenza da suoli argilloso-limosi. Pertanto, il drenaggio dell'acquifero ad opera del reticolo idrografico superficiale, naturale ed artificiale, risulta limitato. A sud della linea di affioramento dei fontanili, lo spessore del primo acquifero si riduce progressivamente ed i flussi di scambio con l'acquifero semiconfinato (non più precisamente delineato) quasi si annullano.

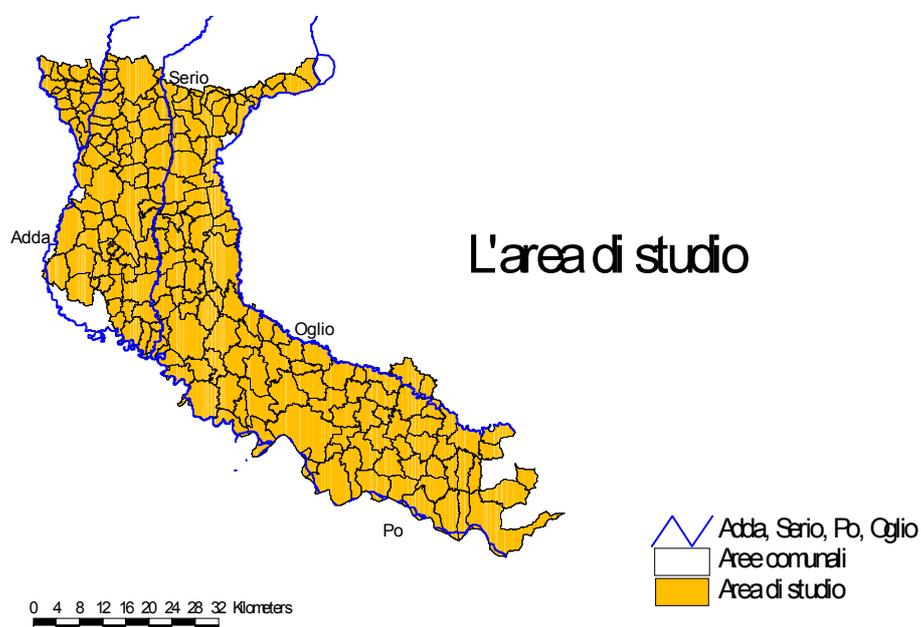


Fig.1 I Comuni delle pianure bergamasca e cremonese

### **3.3 Le principali caratteristiche geomorfologiche della provincia di Cremona**

Il territorio della provincia di Cremona è situato centralmente rispetto alla parte meridionale della Lombardia ed occupa una superficie di 1770 [Km<sup>2</sup>] circa; confina con la provincia di Bergamo a nord e con le aste fluviali dell'Adda ad est, dell'Oglio ad ovest e del Po a sud. Esso riflette i tipici fattori geomorfologici che costituiscono e caratterizzano la pianura padana: è formato da un piano, definito "livello fondamentale" della pianura o "piano generale terrazzato", formato per colmamento alluvionale durante l'ultima glaciazione, debolmente inclinato da nord ovest a sud est e che si inserisce tra la fascia delle conoidi pedemontane e le aree depresse bonificate della valle del fiume Po. Il ripiano morfologico è caratterizzato da una spiccata regolarità planoaltimetrica: le quote del terreno variano complessivamente da 110,30 [m] s.l.m. a Rivolta d'Adda a 18,30 [m] s.l.m. a Casalmaggiore, lungo il confine con la provincia di Mantova.

Nel livello fondamentale della pianura si contraddistinguono delle morfologie depresse, come le valli fluviali percorse dai fiumi Po, Oglio, Adda e Serio e dei lievi rilevati, come dossi e pianalti, derivanti tanto dalle spinte tettoniche quanto dall'insieme dei fenomeni di smantellamento, trasferimento e deposizione del materiale eroso a monte. Nel territorio cremonese si riconoscono anche le valli relitte (del Serio Morto, del Moso, del Morbasco e le strutture del paleo-Oglio), attraversate da remoti corsi d'acqua oggi scomparsi.

L'azione delle acque ha assunto una rilevante importanza all'interno del lungo processo di strutturazione del territorio e del paesaggio provinciale; esse hanno infatti inciso i territori montani e delineato il bacino padano.

Il confine idrografico settentrionale della provincia di Cremona è rappresentato dalla linea più a sud della fascia di affioramento dei fontanili, la cui posizione è però legata a molteplici fattori fisici, ambientali ed antropici di influenza sull'alimentazione della falda freatica, di cui i fontanili rappresentano gli sfioratori.

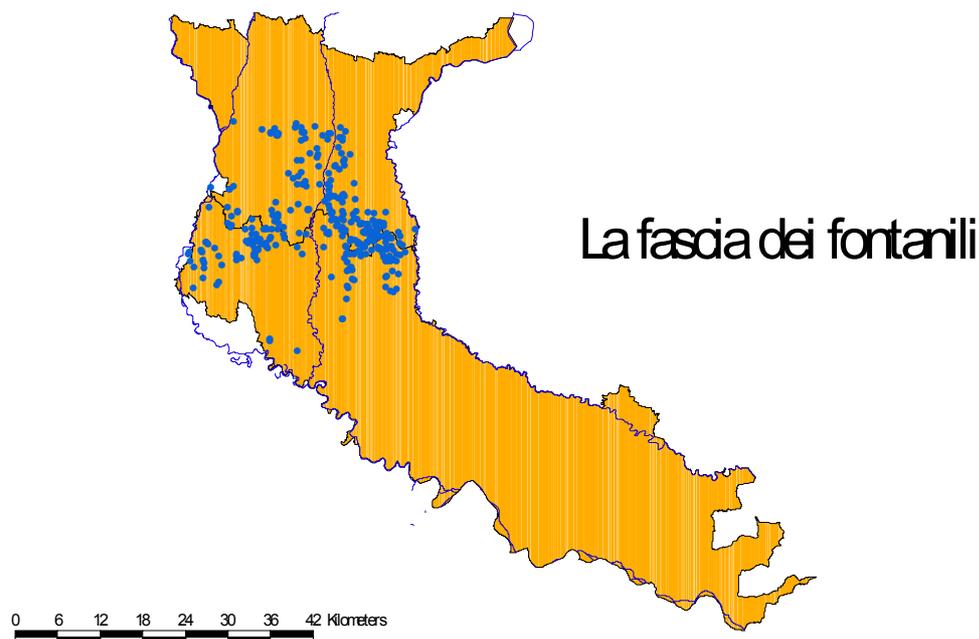


Fig.2 La fascia dei fontanili all'interno dell'area di studio

Nella zona più settentrionale della provincia di Cremona le forme fluviali hanno tipologia a isole, proseguendo verso sud si scorgono tipologie a canali intrecciati, in cui il fiume scorre all'interno di un'ampia golena; nella zona centro-meridionale i corsi d'acqua naturali seguono invece la tipologia a meandri.

Il complesso sistema idrogeologico della provincia di Cremona interessa gli acquiferi fino a profondità variabile di substrato, compresa tra gli 800 [m] ed i 1.000 [m] nel Cremasco e tra i 1.500 [m] e i 1.800 [m] nel Cremonese-Casalasco; in esso, ad una zona di acque salmastre e salate, è sovrapposta una zona di acque dolci, occupanti l'intero sistema dei depositi alluvionali. Il livello di falda freatica si assesta in genere su valori compresi tra 1,5 [m] e 3 [m] di profondità rispetto al piano campagna; solo in prossimità delle principali scarpate di terrazzo esso si assesta intorno ai 20 [m] di soggiacenze. L'acqua affiora con più evidenza in superficie al piede di terrazzi morfologici di collegamento tra le valli fluviali ed il piano generale terrazzato.

Nella zona della media pianura cremasca il livello di falda è piuttosto vicino al piano campagna e presenta valori di soggiacenza compresi tra poche decine di centimetri ed 1 [m] - 1,5 [m]; la falda scorre in un acquifero ghiaioso – sabbioso con cadente media di 0,12% – 0,15%.

Nella zona della pianura centrale rispetto alla Provincia di Cremona, compresa tra Soresina

e Cremona, la falda ha livelli medi minimi di soggiacenza pari a 1,5[m]; ma vi è un ricambio inferiore della falda a causa di una minore permeabilità dei depositi incoerenti. La falda scorre in un acquifero sabbioso o, più di rado, sabbioso – argilloso, con cadente media di 0,10% – 0,12%.

Nella zona della bassa pianura cremonese e nel Casalasco la falda scorre in un acquifero sabbioso – limoso con spessi diaframmi limosi - argillosi, assumendo spesso carattere semifreatico o semiartesiano. Il gradiente idraulico medio è pari o leggermente inferiore allo 0,10%.

Per un’analisi più dettagliata dei caratteri tipici del territorio della provincia di Cremona, le componenti paesistico-ambientali vanno quindi ricercate all'interno dei tre circondari dello stesso: il Cremasco, Cremonese e Casalasco.

Le due principali tipologie di paesaggio, tipiche della pianura cremasca e di quella cremonese-casalasca, sono caratterizzate da un proprio andamento geografico, dal tipo di reticolo idrografico principale e da diverse tipologie insediative.

Nella zona di transizione tra il territorio Cremasco e quello Cremonese vi è il sistema dei pianalti e dei dossi, formato da un insieme di rilevati contenuti fra la valle del Serio ad ovest, la valle del Morbasco ad est e la valle del Serio Morto a sud. I dossi sono rilievi di pochi metri raggruppati sulla sinistra idrografica della valle del Serio; i pianalti sono elementi morfologicamente e arealmente più importanti dei dossi. In particolare spicca per pregio paesaggistico e naturalistico il pianalto della Melotta. In questa zona di dossi e pianalti, la parte storica dei centri urbani è spesso disposta sul fronte settentrionale e/o su quello orientale dei dossi.

La valle del Morbasco, caratterizzata da un basso rilievo morfologico, è formata da una struttura fluviale relitta, sistemata sul livello fondamentale della pianura. I centri urbani sono disposti sulle sponde e/o ai margini di questa originaria valle sospesa. All'interno della valle si distinguono numerosi sistemi idrici che riproducono gli antichi percorsi fluviali; in località Tomba Morta il paesaggio è considerevolmente caratterizzato da alcuni manufatti idraulici di elevato interesse.

Alla zona cremasca appartengono la fascia dei fontanili e delle risorgive, le valli del Moso, dell’Adda e del Serio Morto; in essa si possono scorgere i paesaggi agrari tradizionali della campagna irrigua del Serio Morto, dell’Adda Morta e dei mosi cremaschi. La presenza di risorgive ha da sempre caratterizzato la morfologia, il paesaggio e lo sviluppo antropico di questo circondario della provincia di Cremona, notevolmente percorso da corpi d’acqua con aste fluviali dirette da nord a sud.

La valle dell'Adda è chiaramente distinguibile in due sezioni:

una sezione settentrionale, orientata in direzione Nord - Sud e caratterizzata da un ampio

terrazzo alluvionale (terrazzo di Pandino), in cui i centri storici sono situati all'interno della valle;

una sezione meridionale, meno vasta di quella settentrionale, orientata in direzione Nord Ovest-Sud Est, in cui l'andamento dell'Adda è fortemente tortuoso, con numerose lanche e morte ed in cui i centri storici sono disposti sulle scarpate della valle.

Il sistema del Moso e del Serio Morto è attraversato dalla valle fluviale del Serio ed è limitato dalla valle dell'Adda ad Ovest e a Sud, dal sistema dei dossi e dalla valle del Morbasco ad Est.

Le valli fluviali e relitte dell'Adda, del Serio e del Serio Morto e l'area del Moso delimitano una zona morfologicamente in rilievo sui cui margini sono situati i principali centri urbani.

A Sud - Est rispetto al Cremasco vi è la pianura cremonese-casalasca, limitata dai fiumi Po ed Oglio, in cui scorrono rari corsi d'acqua naturali interni, con aste fluviali in direzione Ovest - Est.

Il territorio Cremonese è costituito dalla pianura limitata a sud dalla valle del Po e a nord e a est dalla valle dell'Oglio, mentre il territorio Casalasco è quasi del tutto collocato nella valle del Po.

La valle del Po, contraddistinta da un esteso sviluppo areale, contiene piccole scarpate e rilevanti strutture fluviali abbandonate; la valle è notevolmente ricca di zone umide e di ambienti ad alto valore naturalistico e paesaggistico, fra cui si riconoscono i bodri.

La pianura di Cremona, sopraelevata rispetto alle adiacenti valli fluviali, è, anche per tale motivo, il territorio dove è più alto il livello di antropizzazione. In essa sono raramente identificabili le morfologie di appartenenza fluviale, fra cui si evidenzia una fascia ricca di ambienti naturali intatti, a sud della valle dell'Oglio.

La porzione centrale della pianura cremonese è fittamente percorsa da sistemi d'irrigazione canalizzati, per ovviare alla scarsità d'acqua naturale nella zona.

## **4. LE CARATTERISTICHE CLIMATICHE E LA LORO INFLUENZA SULL'ALIMENTAZIONE IDRICA DELLE COLTURE**

### **4.1 Alcune generalità sulle caratteristiche climatiche della Provincia di Cremona**

La ricarica della falda, come è noto, è dovuta all'irrigazione ed a fenomeni precipitativi, questi ultimi influenzati in maniera determinante dalle condizioni climatiche.

Reciprocamente, i fattori fisiografici possono modificare quelli climatici, come le intensità delle piogge, la loro distribuzione e frequenza, la formazione di neve e ghiaccio e gli effetti del vento, della temperatura, dell'umidità e della radiazione solare..

La climatologia cremonese si inserisce nel più ampio e alquanto caratteristico contesto di quella lombardo-padana, che ne delinea le principali caratteristiche.

Lo studio dei fenomeni meteorologici all'interno della provincia cremonese è possibile grazie all'elaborazione di serie storiche relative a parametri pluviometrici, termometrici ed idrometrici rilevati.

Cremona è situata a 45° 08' di lat. Nord, la sua provincia è quindi nell'area nota come "zona temperata settentrionale", a metà tra polo ed equatore.

La zona temperata settentrionale è caratterizzata da una spiccata variabilità, causata da fattori di natura ed entità diverse: la vicinanza del Mediterraneo, fonte in ogni stagione di aria caldo-umida; dell'Oceano Atlantico, che apporta aria umida e mite nell'intero anno; del Continente Eurasiatico, fonte in inverno di aria molto fredda ed asciutta; dell'area artica, da cui giungono masse d'aria fredda; del continente africano, la cui aria, originariamente molto calda ed asciutta, si umidifica transitando sul Mediterraneo e giunge quindi calda ed umida alla latitudine dell'Italia settentrionale.

Si devono inoltre considerare, insieme a questi elementi primari di variabilità, alcune caratteristiche secondarie, causate da giacitura, pendenza, esposizione, altitudine della superficie e dalla copertura del suolo dei territori appartenenti alla zona temperata settentrionale .

L'azione sul clima di tali elementi viene addolcita o intensificata dalla circolazione atmosferica sulla Valpadana, che, delimitata da Alpi ed Appennino e con un'unica grande apertura verso est, è esposta ad irruzioni di aria molto fredda eurasiatica in inverno e ad ingressi di aria umida adriatica durante le fasi perturbate.

Dalle montagne inoltre durante la notte scivolano verso valle masse d'aria fredda che, riscaldatesi, risalgono di giorno lungo le pendici.

I laghi prealpini esercitano inoltre un effetto climatico di notevole importanza, a tal punto da poter identificare accanto al mesoclima padano un vero e proprio mesoclima insubrico. In tali aree l'azione della massa d'acqua dei laghi permette inverni meno rigidi ed estati più fresche rispetto alla pianura, contenendo così le escursioni termiche annue.

La provincia di Cremona è interessata dal mesoclima padano, che in realtà è caratterizzato da una variabilità meteorologica decisamente inferiore rispetto alla media della zona temperata settentrionale a cui appartiene. In particolare temperature e precipitazioni variano piuttosto gradualmente: le temperature medie annue presentano una certa uniformità su valori di 12 - 14 [°C], la piovosità media annua varia mediamente tra 650 e 900 [mm]. Le precipitazioni presentano un gradiente da Sud Est verso Nord Ovest del territorio cremonese: le serie storiche evidenziano come a Crema piova più che a Cremona, dove la frequenza di precipitazione è maggiore rispetto a Casalmaggiore.

Nelle zone interessate dal mesoclima padano, come quella oggetto dello studio, si hanno inverni rigidi ed estati piuttosto calde, elevata umidità, nebbie frequenti, ridotta ventosità, frequenti brevi fenomeni temporaleschi estivi. Relativamente agli eventi piovosi, vi sono due massimi (autunno e primavera) e due minimi annuali (estate ed inverno): le precipitazioni sono più frequenti e più intense in autunno (massimo assoluto), mentre presentano il loro minimo assoluto in estate.

Il periodo estivo è anche quello in cui l'irraggiamento solare è massimo ed in cui sarà massima quindi l'evapotraspirazione: in provincia di Cremona, in estate, la maggior parte delle colture è così a rischio di stress idrico.

Fondamentale è quindi il ruolo esercitato dall'irrigazione.

#### **4.2 L'importanza della falda nell'alimentazione idrica delle colture nella pianura lombarda**

Nei territori delle pianure alluvionali i cui terreni sono caratterizzati da falda superficiale si nota, anche in periodi siccitosi, una certa “indifferenza” delle colture alla scarsità di acqua. Esse, infatti, riescono ad accedere a riserve di acqua abbastanza superficiali e quindi alla portata delle loro radici.

L'acqua a disposizione dell'apparato radicale delle colture è quella presente nei primi 2 o 3 metri di terreno, in cui la falda viene detta “ipodermica” ed in cui si può assistere alla risalita dell'acqua per capillarità. Nonostante il moto dell'acqua verso l'alto sia frenato dalla forza di gravità, se la falda è sufficientemente prossima allo strato coltivato del terreno, l'acqua riesce a risalire grazie a tre differenti fenomeni: l'assorbimento esercitato dal terreno asciutto, la suzione d'acqua delle radici ed il richiamo d'acqua verso la superficie dovuto all'evaporazione degli strati superficiali del terreno.

In funzione del tipo di terreno, la risalita dell'acqua per assorbimento può variare in altezza e portate: nei terreni a granulometria fine la risalita sarà più alta (fino a 80 - 100 [cm]) e la portata più bassa rispetto ai terreni a granulometria grossolana, in cui l'altezza di risalita capillare utile alle piante può variare da 20 a 25 [cm].

Le colture potrebbero soddisfare gran parte dei loro fabbisogni idrici utilizzando l'acqua di falda, quando il livello freatico fosse ad una profondità raggiungibile dalle loro radici. In tal modo si risparmierebbe consistentemente sulla quantità di acqua distribuita, con grande vantaggio per la conservazione delle risorse idriche. Da alcune ricerche (Genovesi e Bottau) è emerso come la percentuale di acqua fornita dalla falda, rispetto al totale di acqua evapotraspirata, possa arrivare sino al 70% e come con il solo apporto idrico da falda si riescano a raggiungere rendimenti uguali a quelli ottenibili con l'apporto dell'irrigazione.

Bisogna però porre la giusta attenzione all'eccessiva superficialità del livello falda, che

potrebbe impedire alle radici di svilupparsi in profondità o portare all'asfissia dell'apparato radicale, causando così la morte della pianta.

E' quindi chiara l'importanza di un monitoraggio continuo del livello freatico, essenziale per conoscere da quale punto in poi la falda inizia a diventare pericolosa per la salute della coltura.

E' inoltre dimostrato come il livello ottimale di falda sia compreso tra 140 e 200 [cm] per le colture arboree e tra 100 e 120 [cm] per le colture erbacee.

### **4.3 Alcune generalità sulla rete irrigua in Provincia di Cremona**

Il lungo processo per la costruzione della rete irrigua è iniziato già nel X secolo d.C., e sino all'ultimo decennio del XIX secolo si è proceduto con la sua realizzazione, derivando acqua per gravità dai fiumi e dalle sorgenti. Nel XX secolo si sono poi aggiunti dei canali adduttori alimentati da impianti di sollevamento; l'ultimo e più grande corso d'acqua artificiale irriguo è il canale Pietro Vacchelli, il cui proprietario è il "Consorzio Irrigazioni Cremonesi". L'insieme delle opere realizzate nel corso dei secoli permette oggi al fitto reticolo irriguo presente in provincia di Cremona di avere una gran disponibilità di acqua per l'irrigazione.

Il Consorzio Irrigazioni Cremonesi, Ente morale di natura privata che opera senza fini di lucro per la pianificazione e la gestione dell'irrigazione in provincia di Cremona, dispensa durante la stagione irrigua, in un comprensorio diretto di 64.510 ettari, una portata pari al 35% circa di tutta l'acqua utilizzata nella stessa provincia.

Le fonti di approvvigionamento idrico del sistema irriguo di cui è titolare il Consorzio Irrigazioni Cremonesi sono le seguenti:

i fontanili;

le derivazioni dal fiume Adda, emissario del lago di Como e regolato alla traversa di Olginate;

le derivazioni dal fiume Oglio, emissari del lago d'Iseo e regolato alla traversa di Sarnico.

La Media e la Bassa Pianura sono quindi caratterizzate da una fitta rete di canalizzazione, che integra la rete idrografica naturale allo scopo di derivare (rete primaria), distribuire, regolare, drenare e lo scolare (rete secondaria e terziaria) le acque superficiali ad uso irriguo. La rete irrigua cremonese si snoda su di un territorio ad ottima propensione agricola, così come dimostra la Carta della Capacità d'Uso del Suolo curata dall'ERSAL.

Le portate derivate e distribuite sono notevoli ed è in tal modo rilevante l'apporto di ricarica alla falda dovuto alle pratiche irrigue. All'acqua infiltrata grazie ai metodi irrigui tradizionali a bassa efficienza (sommersione e scorrimento superficiale) deve essere aggiunto l'apporto lineare, dovuto alle perdite lungo i canali di distribuzione, per la maggior non rivestiti. Negli input del bilancio idrologico, è notevole l'apporto percentuale, rispetto al totale, di ricarica

della falda dovuto all'irrigazione.

I flussi di scambio tra il sistema degli acquiferi ed corsi d'acqua superficiali dipendono dalle soggiacenze del livello freatico: la dinamica dell'acquifero è particolarmente influenzata dalle pratiche irrigue dove le soggiacenze sono limitate, cioè nella media e bassa pianura, dove si osservano dei cicli stagionali nel regime delle oscillazioni del livello di falda freatica; cicli connessi alla stagione irrigua, compresa tra maggio e settembre.

Nelle aree interessate dall'irrigazione i livelli freatici crescono da aprile-maggio ad agosto e decrescono nei mesi rimanenti; mentre nelle aree a nord della zona irrigua, i livelli crescono da ottobre a marzo e decrescono da aprile a settembre, poiché la ricarica della falda è dovuta essenzialmente alle precipitazioni. L'irrigazione ha quindi anche la funzione di mitigare le forti depressioni nei livelli che si hanno nelle zone più insediate ed industrialmente sviluppate, dove sono maggiori gli emungimento.

Considerando la Media e la Bassa Pianura, si possono suddividere i bacini idrografici di interesse in quattro settori, differenti per caratteristiche geomorfologiche: il Bergamasco, il Cremasco, il Cremonese e il Casalasco.

Nei territori del Bergamasco e del Cremasco è molto intensa l'attività di scambio tra il reticolo idrografico ed acque sotterranee, attività resa manifesta dai fenomeni di risorgenza. La presenza delle risorgive e la facilità di derivazione dai corsi d'acqua hanno da sempre favorito in quest'area della pianura padana la pratica agricola, grazie alla quale si è altresì ridotta la permeabilità e migliorata la tessitura dei suoli. Nella zona Bergamasca, contraddistinta da suoli a tessitura medio – grossolana, da altimetrie variabili e dalla fascia dei fontanili, si snodano i canali derivatori dal fiume Oglio. La zona Cremasca, contraddistinta da suoli prevalentemente sabbiosi e dalla fascia dei fontanili, è interessata in particolare dall'adduzione delle acque dell'Adda grazie al Canale Vacchelli, in cui, in questa zona, si immettono le acque estratte dal comprensorio di bonifica del Mosi.

La zona Cremonese rappresenta invece la parte centrale della rete irrigua, con la sua fitta diramazione di rogge, i canali secondari e terziari. In tale zona i suoli sono contraddistinti da un'ottima propensione alle attività agricole, grazie al livello medio di falda freatica (100 [cm] – 200 [cm]), alla tessitura prevalentemente franca ed al buono drenaggio.

La zona del Casalasco è pedologicamente simile al Cremonese, ma è caratterizzata da una maggiore presenza superficiale di argille, da altitudini molto basse e dai "dugali", i colatori della rete irrigua; tutti fattori che fanno del Casalasco un territorio in cui è problematico difendersi dalla acque, più che approvvigionarsi della stessa.



Fig.3 La rete irrigua nel territorio cremonese

### Parte III

## **Identificazione ed elaborazione di indici ed indicatori sintetici, calcolabili sulla base dell'informazione esistente, per la valutazione della disponibilità idrica e del rischio idrologico in falda freatica**

### **5. L'analisi del monitoraggio idrologico nell'area studio: indici e indicatori sintetici disponibili**

#### **5.1 Il monitoraggio per la quantificazione della disponibilità del livello dell'acqua di falda freatica**

Lo scopo del presente studio è quello analizzare criticamente i presidi esistenti di monitoraggio per la quantificazione della disponibilità dell'acqua di prima falda nei bacini idrografici investigati e di proporre una metodologia analitica attraverso cui decidere il miglior posizionamento di nuovi tali presidi, per poter addivenire ad uno sfruttamento razionale e ad un utilizzo sostenibile della risorsa idrica.

Per far ciò si è partiti dall'elaborazione delle seguenti fonti cartografiche ed informatiche:

- Dal Sistema Informativo Territoriale della Regione Lombardia:
  - CTR (1:10000)

- CTR (1:50000)
- Carta dell'Uso del Suolo (1:10000)
- Cartografia geologica vettoriale (1:50000)
- Basi informative ambientali della pianura (1:25000)
- Cartografia e basi informative geoambientali (1:10000)
- Dalla cartografia ERSAF:
  - Carta DUSAF (1:10000)
  - Carta della Capacità d'Uso dei Suoli (1:50000)
  - Carta della capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque superficiali (1:50000)
  - Carta della capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque profonde (1:50000)
- Dagli studi effettuati dalla Provincia di Cremona:
  - Piano Cave Provinciale (1:50000)
  - Studio Idrogeologico Provinciale (1:250000)
  - Progetto Esecutivo della Discarica controllata di RSU in Castelleone: ubicazione piezometri di controllo
  - Shape files del posizionamento dei fontanili
- Dalla cartografia del Servizio Idrografico e Mareografico di Parma – Sezione di Milano:
  - Annali Idrologici
  - Inventari della stazioni di misura
  - Dal dati informatizzati e dalla cartografia del Consorzio di Bonifica Naviglio Vacchelli:
    - Fornitura e messa in opera di piezometri per il monitoraggio della falda (1:25000)
    - Shape files dei piezometri per il monitoraggio del livello dell'acqua di falda
  - Dalla cartografia elaborata dal Consorzio di Bonifica Dugali:
    - Posizionamento stazioni di rilevazione dati (1:50000)
  - Dai dati informatizzati del Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca
    - Shape files dei piezometri per il monitoraggio idrologico
  - Dalla cartografia elaborata dall'AEM Cremona:
    - Shape files dei piezometri per il monitoraggio del livello dell' acqua di falda
  - Dagli studi effettuati dall'ARPA della Lombardia – Sezione di Bergamo:
    - Posizionamento stazioni di monitoraggio del livello dell' acqua di falda
    - Posizionamento stazioni di monitoraggio precipitazione, temperatura, vento
  - Dagli studi effettuati dalla Regione Lombardia:
    - Geologia degli Acquiferi Padani ella Regione Lombardia

A partire dalle informazioni ottenibili dalle fonti sopra citate, si è scelto di utilizzare una

base di dati leggibile con il programma Arc View, che ha permesso l'elaborazione autonoma dei dati, la creazione di layout di stampa specifici o la sovrapposizione di dati autonomamente rilevati.

Il sistema è stato predisposto in coordinate Gauss Boaga, in modo da poter sovrapporre i dati utili già facenti parte delle banche dati dei diversi enti nonché le cartografie di base (le CTR).

Si è provveduto a creare dei data-base separati, contenenti i dati sintetici relativi ai punti di monitoraggio, elaborati in formato excel (.xls) e successivamente esportati in formato .dbf per renderne possibile l'utilizzo in Arc View come tabella degli attributi degli shape files. Utilizzando le potenzialità del programma GIS in dotazione (ESRI Arc View 3.2), i data-base così elaborati sono stati “agganciati” ai punti georeferenziati. Da tali procedimenti si sono potute ottenere delle elaborazioni cartografiche di notevole utilità, basandosi sulla metodologia elaborata, con cui si sono definiti dei particolari indicatori territoriali, grazie ai quali indirizzare le scelte di pianificazione idrologica e di monitoraggio.

Dallo studio delle letterature del settore, è emerso come in altre regioni (d'Italia, d'Europa e del mondo) nella progettazione delle reti di monitoraggio della falda si siano considerati criteri molto qualitativi e poco significativi.

## **5.2 L'identificazione di indici sintetici per la valutazione della disponibilità idrica e del rischio idrologico in falda freatica**

In questo lavoro di tesi, per la scelta delle localizzazioni delle "nuove" stazioni di misura da inserire nella rete di monitoraggio e dell'opportunità di mantenere nella stessa rete le stazioni attualmente attive, si sono considerati i seguenti criteri qualitativi e quantitativi:

1. **Densità di stazioni di monitoraggio esistenti** del livello freatico, le cui rilevazioni sono compatibili con i criteri di significatività proposti ( $[n^{\circ} \text{ presidi}/\text{Km}^2]$ );
2. Rapporto **Prelievi/Ricarica** ( $[\text{m}^3/\text{s}]$ );
3. **Degrado dello stato qualitativo delle acque sotterranee** (% pozzi contaminati su pozzi controllati, [-]) ;
4. **Capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee** ([-]);
5. **Direzione preferenziale di flusso sotterraneo** ([-])

Le elaborazioni effettuate hanno portato a considerare un indicatore unico, grazie al quale si sono valutate le diverse possibilità di pianificazione e di gestione del monitoraggio.

Ad ogni criterio si è assegnato un peso, proporzionale alla importanza che lo stesso assume nell'individuazione delle aree in cui vi è una necessità maggiore di posizionare i nuovi presidi di monitoraggio piezometrico.

### **5.2.1 I presidi di monitoraggio del livello freatico in Provincia di Cremona e nei sovrastanti bacini idrografici**

Per capire se il monitoraggio della falda freatica nei bacini idrografici oggetto di studio sia o sia stato effettuato in modo ottimale ed in che modo i dati relativi alla freatimetria siano o siano stati rilevati è stato necessario innanzitutto focalizzare lo stato dell'arte dell'attuale rete di monitoraggio idrologico.

In realtà il discorso è alquanto complesso, poiché negli ultimi due decenni alcuni cambi di competenze hanno creato ancora più confusione ed incertezza sui dati rilevati e sulla loro validità.

Gli Enti che, all'interno dei bacini idrografici di interesse, sono o sono stati interessati a rilevare dati sulla superficie freatica sono i seguenti:

- Il Consorzio di Bonifica Dugali;
- Il Consorzio di Bonifica Naviglio Vacchelli;
- La Provincia di Cremona;
- L'ARPA Lombardia (ex Servizio Idrografico e Mareografico di Parma – Sezione di Milano);
- L'AEM Cremona;
- L'AIPO (ex Magistrato per il Po);
- Il Consorzio della Media Pianura Bergamasca;
- L'ARPA Lombardia, sezione di Bergamo.

Come si evidenzierà dalle descrizioni delle attività svolte dai diversi enti, vi è una notevole disuniformità nelle modalità di gestione del monitoraggio del livello dell'acqua di falda freatica relativamente al periodo di rilevazione dati, alla frequenza di monitoraggio ed alla tipologia di dati misurati (livelli assoluti o soggiacenze).

La mancanza di omogeneità tra le informazioni e la deficienza nel coordinamento tra i diversi enti manifestano tanto l'assenza di un rete di monitoraggio all'interno dell'area esaminata quanto la necessità di porre rimedio alla situazione, per rendere possibile un utilizzo razionale della risorsa idrica sotterranea.

Tali carenze, inoltre, potrebbero rendere particolarmente difficile l'approccio geostatistico per l'ottimizzazione della rete di monitoraggio.

#### ***5.2.1.1 Le modalità di gestione del Consorzio di Bonifica Dugali***

Il Consorzio Dugali dal 1973 gestisce il monitoraggio di 20 pozzi, dislocati nell'area della bassa pianura cremonese. Le rilevazioni dei livelli quantitativi di falda freatica sono avvenute manualmente ogni 5 [d], dal 1973 al 1996, e con una frequenza di 10 [d] dal 1997 al 2004.

Dalla fine dell'anno 2004 inizierà una rilevazione automatica dei livelli freatici e delle precipitazioni in 14 pozzi di proprietà del Consorzio Dugali, in cui la frequenza di trasmissione dei dati piezometrici varierà in base al livello raggiunto dalla falda: tanto maggiore quando sarà minore la soggiacenza rispetto al piano campagna.

La massima profondità dei pozzi di rilevazione automatica sarà di 8 [m].

Il telemonitoraggio interesserà però solo 7 delle stazioni "storiche" del Dugali; mentre 14 saranno eliminate e 7 "nuove" saranno aggiunte nelle zone della bassa pianura cremonese-casalasca prossime ai fiumi Po ed Oglio. Il criterio di scelta per il posizionamento dei 7 nuovi pozzi e/o dell'eliminazione dei 14 è stato però soprattutto economico: sono stati infatti posti i nuovi pozzi nelle vicinanze delle centraline esistenti per il controllo degli impianti idrovori. In tal modo dal 2005 saranno quindi registrati in automatico gli andamenti piezometrici di 14 pozzi. Ciò da un lato permetterà di controllare con maggiore precisione i livelli freatici e di gestire più facilmente le situazioni più critiche collegabili alle oscillazioni piezometriche, ma dall'altro si interromperà per sempre la serie storica trentennale rilevata in 14 stazioni.

Ai fini del presente lavoro i presidi di monitoraggio attualmente considerati significativi sono i 20 pozzi "storici" del Consorzio Dugali, in quanto l'attività di rilevazione automatica non è ancora iniziata.

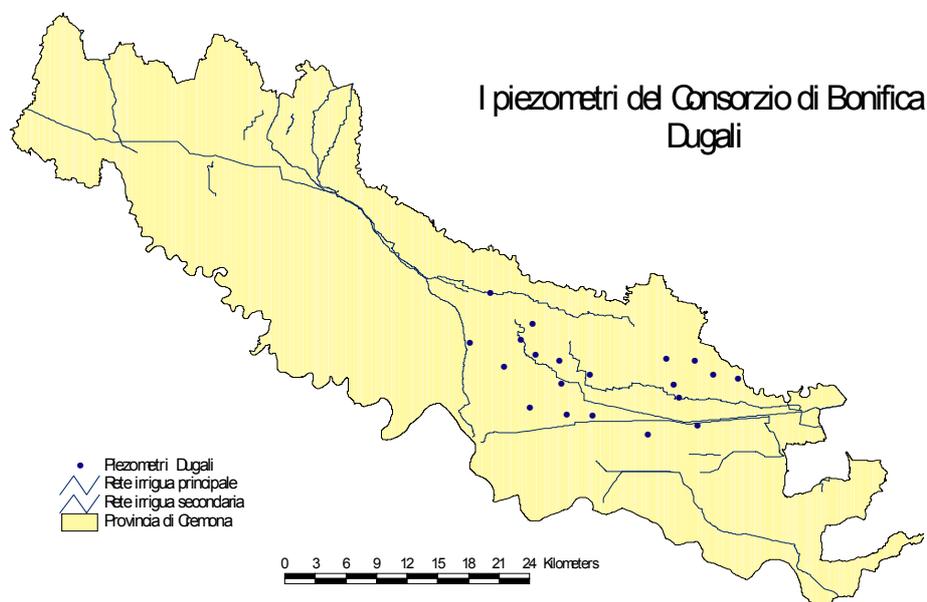


Fig.4 I presidi per il monitoraggio del livello freatico del Consorzio di Bonifica Dugali

#### **5.2.1.2 Le modalità di gestione del Consorzio di Bonifica Naviglio Vacchelli**

Il Consorzio di Bonifica Naviglio Vacchelli gestisce il monitoraggio di 30 pozzi localizzati

nella zona della zona centro - orientale della pianura cremonese, in prossimità dei principali canali irrigui. Le soggiacenze dell'acqua di falda superficiale vengono misurate manualmente una volta al mese: dal mese di gennaio 2001 al mese di luglio 2003 le rilevazioni sono state effettuate su 26 pozzi e solo successivamente anche sugli altri quattro pozzi.

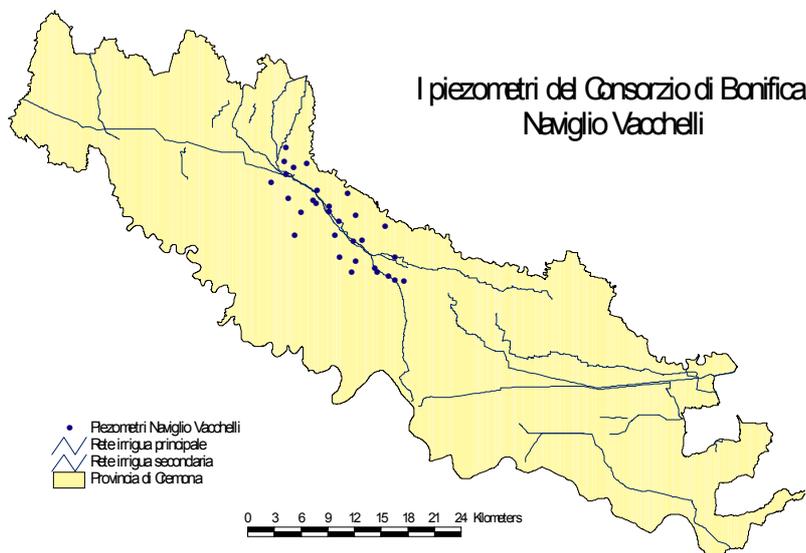


Fig.5 I presidi per il monitoraggio del livello freatico del Consorzio di Bonifica Naviglio Vacchelli

### **5.2.1.3 Le modalità di gestione della Provincia di Cremona**

La Provincia di Cremona gestisce il monitoraggio dei livelli quali – quantitativi dell'acqua di falda nell'area della discarica del Comune di Castelleone.

La discarica, la cui superficie è di 45.000 [m<sup>2</sup>], è stata chiusa nel 1995 e da allora l'acqua di falda freatica è monitorata 2 volte all'anno con 4 piezometri.

Ai fini del presente lavoro i 4 presidi di monitoraggio non sono attualmente significativi, come si evince dal loro posizionamento e dalle frequenze di rilevazione.

### **5.2.1.4 Le modalità di gestione dell'AEM Cremona**

L'AEM Cremona gestisce il monitoraggio di 23 stazioni di rilevazione del livello freatico, che viene effettuato manualmente con una frequenza che dipende dalla loro localizzazione; le misure rilevate rappresentano le soggiacenze rispetto al piano campagna. Ma lo scopo di tale monitoraggio non è quello di verificare la disponibilità idrica sotterranea nelle aree di interesse, bensì di valutare l'influenza dell'urbanizzato sul livello di falda e di verificare lo stato quantitativo e qualitativo dell'acqua di falda nelle immediate vicinanze di alcuni impianti, come discariche attive o dismesse e depuratori.

Ai fini del presente lavoro non tutti i presidi di monitoraggio sono significativi, come si

evinces dal loro posizionamento e dalle frequenze di rilevazione.

La situazione complessiva dei pozzi gestiti dall'AEM Cremona è la seguente:

- 6 pozzi intorno al centro abitato della città di Cremona, per verificare l'impatto dell'urbanizzato sulla falda freatica. I pozzi sono posizionati sull'asse NordOvest – SudEst, con inclinazione leggermente variabile, per verificare le oscillazioni piezometriche nella direzione preferenziale del flusso di falda. La frequenza di controllo delle misure di livello è variabile in base alle necessità dell'ente gestore.
- 3 pozzi per il controllo del livello quantitativo e qualitativo delle acque di falda superficiale del depuratore di Cremona, monitorati una volta ogni quattro mesi, quindi tre volte all'anno (generalmente nei mesi di Gennaio, Maggio, Settembre).
- 8 pozzi per il monitoraggio della discarica di San Rocco; il livello quantitativo delle acque di falda è rilevato 1 volta al mese, mentre il livello qualitativo una volta all'anno.
- 6 pozzi per il monitoraggio della discarica di Malagnino; il livello e la qualità delle acque di falda sono rilevati una volta al mese ma in modo alternato: 3 piezometri alla volta. Per ogni pozzo vi sono quindi 6 rilevazioni all'anno.

La gestione dell'AEM Cremona è riassunta in fig.6.

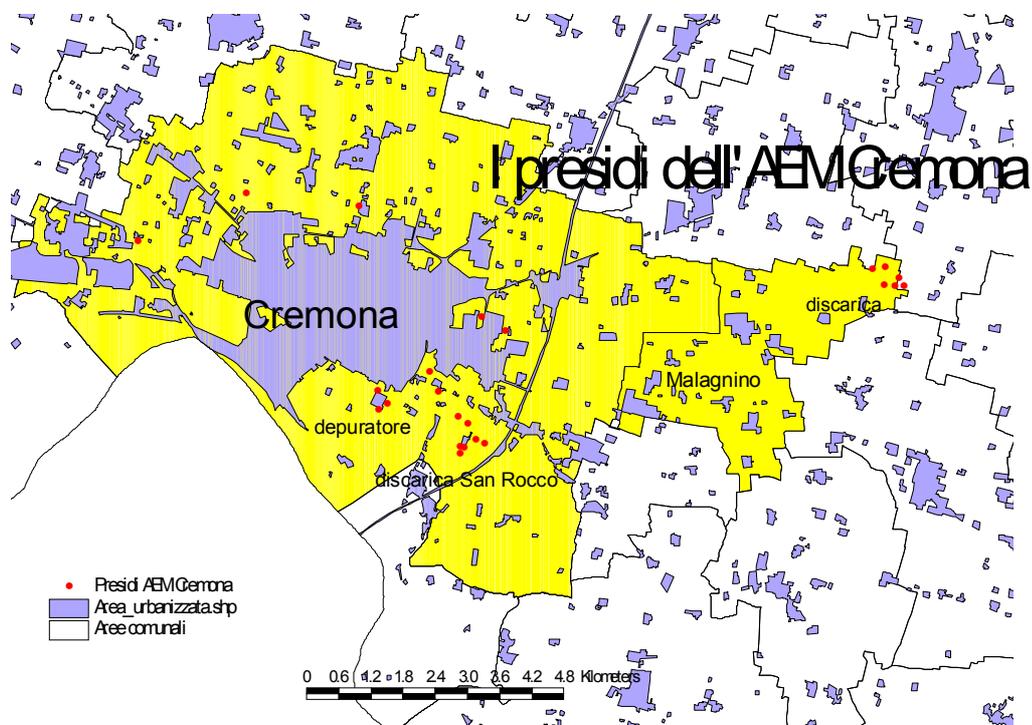


Fig.6 I presidi per il monitoraggio del livello freatico dell'AEM Cremona

### **5.2.1.5 Le modalità di gestione del'ARPA Lombardia – sezione di Milano**

Il Servizio Idrografico e Mareografico a partire dal 1918 ha delle serie storiche relative alle misure del livello di falda freatica nel bacino compreso tra Adda e Oglio. Dal 1918 al 1940 sono disponibili i dati rilevati nelle stazioni di Gussola, Pieve San Giacomo, Brancere, Soresina, e dal 1940 e fino al 1987 i dati sono stati rilevati anche nella stazione di Casaletto di Sopra..

I dati relativi alla falda freatica comprendono la quota sul livello del mare del caposaldo di riferimento, del livello massimo (con data) e del livello minimo (con data).

Negli Annali del Servizio Idrografico e Mareografico dal 1953 al 1985 è dato anche il calcolo della media annua delle quote freatiche assolute (s.l.m.).

Il monitoraggio è stato effettuato con lettura manuale diretta ogni 3 giorni, fino all'anno 1987.

Dopo il 1987 non ci sono più gli Annali, ma, solo per alcuni anni, misure del livello dell'acqua in falda freatica.

Considerando un'analisi riferita ai dati della serie storica degli ultimi 30 anni, la situazione delle stazioni di rilevazione o di eventuali interruzioni nelle misurazioni è riassunta nella tab.1.

Tab.1 I presidi per il monitoraggio del livello freatico del SMI di Parma – ARPA della Lombardia

	<i>Località</i>
<i>Anno</i>	
1972	Gussola, Pieve San Giacomo, Brancere, Soresina, Casaletto di Sopra., Spinadesco, Romano Lombardo, Calvatone
1973	Gussola, Pieve San Giacomo, Brancere, Soresina, Casaletto di Sopra., Spinadesco, Romano Lombardo
1974 e 1976	Gussola, Pieve San Giacomo, Brancere, Soresina, Casaletto di Sopra., Spinadesco
1975	Gussola, Brancere, Soresina, Casaletto di Sopra., Spinadesco
1977 e 1978	-
1979	Gussola, Brancere, Casaletto di Sopra
1980 e 1981	Gussola, Romano Lombardo, Brancere, Casaletto di Sopra
1982 / 1985	-
1986 e 1987	Gussola, Pieve San Giacomo, Brancere, Soresina,

	Casaleto di Sopra
1988 / 1995	-
1996 e 1997	Brancere, Soresina, Casaleto di Sopra
1998	Brancere, Soresina, Casaleto di Sopra, Gussola
1999 / 2002	Gussola

I dati relativi agli anni successivi al 1995 sono stati rilevati manualmente con frequenza mensile; ma, per i comuni di Soresina, Casaleto di Sopra, Brancere, in pozzi differenti da quelli precedentemente utilizzati (dal 1918). Solo per la stazione di Gussola si hanno, dal 1998 al 2002, dati di livello freatico esattamente confrontabili con quelli rilevati nei decenni precedenti. Attualmente non vi sono quindi rilevazioni del livello freatico nei pozzi gestiti dall'ex Servizio Idrografico e Mareografico.

#### **5.2.1.6 Le future modalità di gestione dell'AIPO**

L'AIPO gestirà due piezometri per il telemonitoraggio del livello freatico a Crotta d'Adda; posizionati a monte e a valle dell'argine maestro lungo il corso del fiume Po. Il progetto dovrebbe avere inizio nei primi mesi del 2005; al momento attuale non vi sono però rilevazioni.

#### **5.2.1.7 Le modalità di gestione del Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca e dell'ARPA Lombardia – sezione di Bergamo**

Il Consorzio della Media Pianura Bergamasca (CMPB) ha gestito la rilevazione manuale dell'andamento del livello di falda freatica dal 1992 al 1999, grazie a 78 pozzi situati nella zona della media pianura, di cui 8 in provincia di Cremona; nei primi 6 anni con frequenza mensile di monitoraggio, negli anni 1997 e 1998 con frequenza bimestrale. Tali rilevazioni assumono una particolare importanza perché la zona della media pianura della provincia di Cremona è da sempre sprovvista di stazioni di misura, ad eccezione del pozzo dell'ex Ufficio Idrografico situato a Casaleto di Sopra, di cui, come noto, vi sono state lunghe e numerose interruzioni nella misura dei livelli. Con 6 piezometri posizionati nell'area della media pianura cremasca compresa tra Serio e Oglio e due nel sottobacino Adda e Serio (a Pandino e a Sergnano), il CMPB ha reso quindi possibile uno studio di massima dell'andamento freatico in un territorio che altrimenti sarebbe rimasto assolutamente privo di rilevazioni. Nell'anno 1999 in provincia di Bergamo è iniziato il monitoraggio delle acque sotterranee, gestito dall' ARPA Lombardia, dalla Provincia di Bergamo, dall'ASL e dal CNR. La nuova rete provinciale dei pozzi ne comprende 68, in cui le quote piezometriche sono misurate manualmente con cadenza mensile. La serie storica delle rilevazioni effettuate dal CMPB si è in tal modo interrotta, poiché i presidi monitorati dall' ARPA Lombardia – sezione di Bergamo dal 1999 non sono i pozzi di cui il CMPB ha gestito il monitoraggio fino al 1999 stesso. Nella pianura bergamasca vi sono quindi posizionati e teoricamente funzionanti 138 (in quanto 8 presidi del CMPB sono in provincia di Cremona) pozzi di misura del livello freatico; potrebbero

quindi attualmente essere presenti circa 0,18 presidi attivi di rilevazione per ogni Km<sup>2</sup>.

Fig.7 I presidi per il monitoraggio del livello freatico del CMPB in Provincia di Bergamo

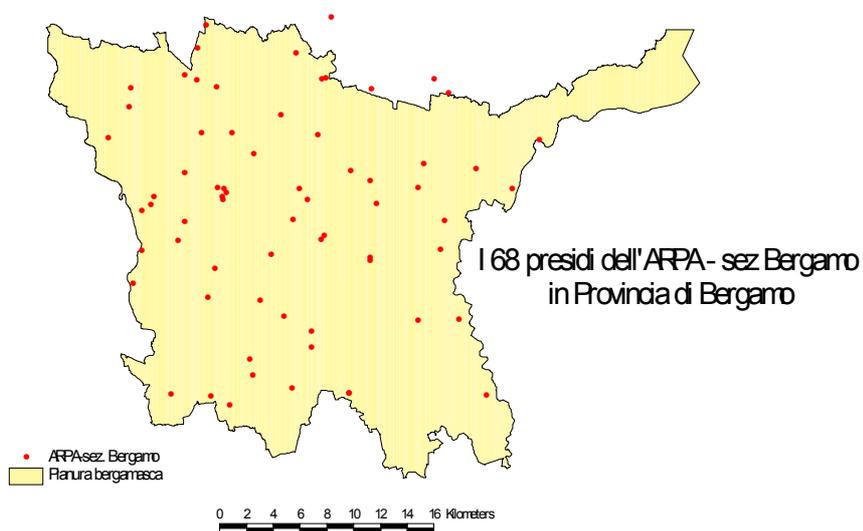
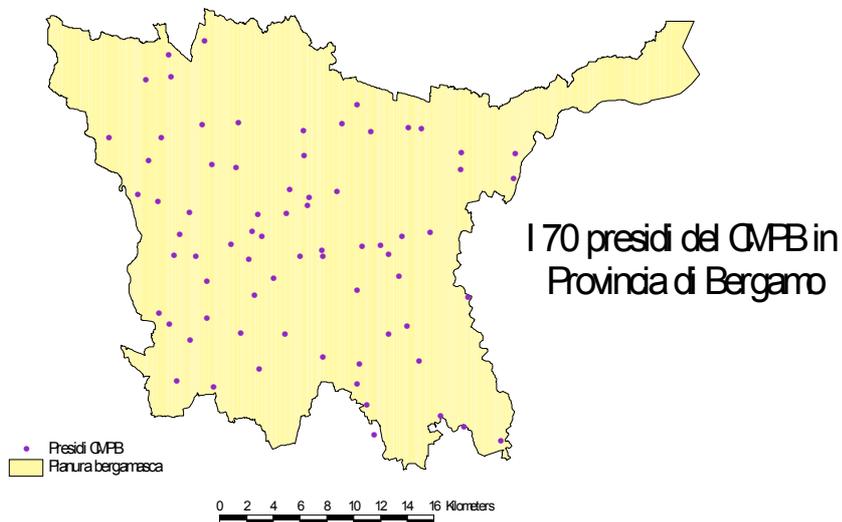


Fig.8 I presidi per il monitoraggio del livello freatico dell'ARPA Lombardia – sez.Bergamo

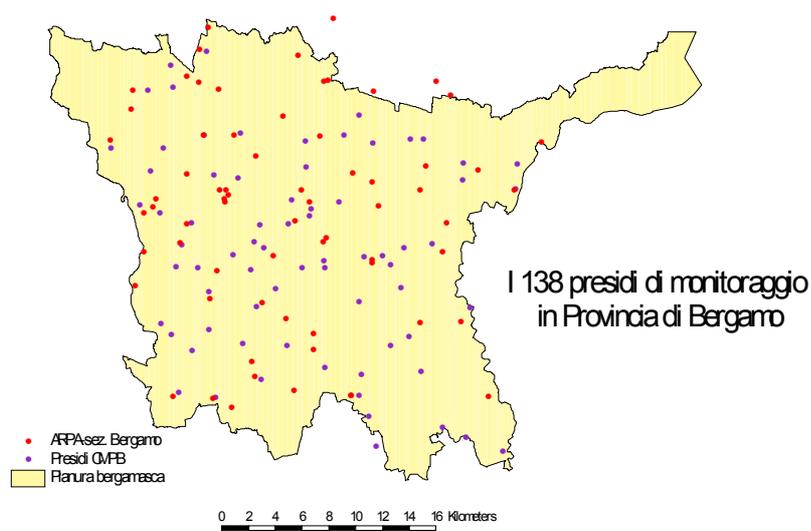


Fig.9 I presidi per il monitoraggio del livello freatico in Provincia di Bergamo

### **5.2.2 I presidi di monitoraggio del livello freatico attualmente esistenti e la loro densità relativa all'area della pianura delle province di Bergamo e Cremona**

Dalla somma di tutte le stazioni di rilevazione distribuite nell'area di studio, si nota che la situazione è quella di avere la possibilità di poter monitorare il livello freatico in 229 presidi, di cui 91 in provincia di Cremona.

I pozzi e/o piezometri monitorati attualmente, come si evince dalle descrizioni delle gestioni effettuate dai vari enti, sono 145, di cui 77 in provincia di Cremona.

Per le elaborazioni realizzate, la situazione attuale della distribuzione di pozzi e piezometri di controllo del livello freatico sul territorio esaminato non corrisponde alla situazione significativa.

Si sono considerati "significativi" quei presidi di monitoraggio in cui, ad oggi, la rilevazione è stata effettuata senza interruzioni (in cui esiste cioè una serie storica continua) con una frequenza di almeno una volta al mese con lo scopo di verificare la disponibilità idrica sotterranea e non di valutare l'influenza dell'urbanizzato sul livello di falda né di verificare lo stato quantitativo e qualitativo dell'acqua di falda in prossimità di punti di criticità. Inoltre si sono stimati poco significativi quei casi in cui l'afflusso alla falda aumenta con il prelievo, tipica situazione dei pozzi posti lungo i fiumi, il cui sfruttamento richiama alimentazione dagli stessi. Nelle zone in cui sono presenti più pozzi o piezometri di monitoraggio il cui obiettivo primario non è quello di quantificare la disponibilità idrica, si sono stimati, per le elaborazioni, esclusivamente quei presidi più indicativi.

I 68 presidi attualmente esistenti in provincia di Bergamo si considerano tutti "significativi", mentre dei 77 monitorati in provincia di Cremona se ne considerano "significativi" 52. Nel calcolo dei presidi di monitoraggio presenti in rapporto alla superficie complessiva del territorio di studio, si è tenuto conto delle 120 stazioni significative di rilevazione e non di quelle attualmente presenti sul territorio.

La densità è stata quindi calcolata rispetto al territorio che comprende l'intera provincia di Cremona (1.770 km<sup>2</sup> circa) e la pianura bergamasca (800 Km<sup>2</sup> circa), considerando una griglia costituita da celle di 3000 [m], quindi di 9 [km<sup>2</sup>]. Si sono ottenute così, approssimativamente, 285 maglie quadrate, ognuna con un valore che esprime il numero di presidi significativi posizionati all'interno della stessa. Tali valori, dopo essere stati normalizzati rispetto al loro massimo, sono stati suddivisi in 5 classi ed il medesimo procedimento è stato adottato per i criteri che verranno successivamente descritti. Rispetto agli altri criteri, alla densità è stato però attribuito un peso più rilevante ai fini della scelta del posizionamento dei nuovi presidi; per le elaborazioni si è assegnato ad essa il 40% della rilevanza totale. Le altre considerazioni assumono infatti importanza laddove vi è scarsità o mancanza di stazioni di rilevazione dati; inoltre l'indice di densità è maggiormente descrittivo della situazione attuale, in quanto della densità si hanno informazioni più puntuali sul territorio in esame. Riassumendo, dei 145 presidi monitorati attualmente nell'area di studio, solo 120 sono risultati significativi: la situazione complessiva dell' attuale stato dell'arte del monitoraggio significativo del livello freatico nei territori delle province di Cremona e di Bergamo è stata riassunta in tab.2

Tab.2 I 120 presidi significativi per il monitoraggio del livello freatico

<b>ENTE</b>	<b>LOCALITA'</b>	<b>COMUNE</b>	<b>MONITORAGGIO</b>	<b>FREQUENZA</b>
<b>AEM</b>	DISCARICA S.ROCCO (4)	CREMONA	manuale, soggiacenza	livello: 1/mese; qualità: 1/anno
<b>AEM</b>	DISCARICA S.ROCCO (6)	CREMONA	manuale, soggiacenza	livello: 1/mese; qualità: 1/anno
<b>DUGALI</b>	CÀ DEL BOTTO	OLMENETA	manuale, livello assoluto	73-96:6/mese;96-04:3/mese
<b>DUGALI</b>	OSSALENGO	CASTELVERDE	manuale, livello assoluto	73-96:6/mese;96-04:3/mese
<b>DUGALI</b>	S.SILLO	CORTE DÈ FRATI	manuale; da 05 automatico	73-96:6/mese;96-04:3/mese
<b>DUGALI</b>	LOC.CASINO	CREMONA	manuale; da 05 automatico	73-96:6/mese;96-04:3/mese
<b>DUGALI</b>	CÀ DE SFRONDATI	VESCOVATO	manuale; da 05 automatico	73-96:6/mese;96-04:3/mese
<b>DUGALI</b>	LONGARDONE	SOSPIRO	manuale; da 05 automatico	73-96:6/mese;96-04:3/mese
<b>DUGALI</b>	CASAROLZO GEROLDI	DEROVERE	manuale; da 05 automatico	73-96:6/mese;96-04:3/mese
<b>DUGALI</b>	CÀ D'ANDREA-BROLPASINO	TORRE DÈ PICENARDI	manuale; da 05 automatico	73-96:6/mese;96-04:3/mese
<b>DUGALI</b>	CASTELFRANCO D'OGLIO	DRIZZONA	manuale; da 05 automatico	73-96:6/mese;96-04:3/mese
<b>DUGALI</b>	VIA FORNACE	ISOLA DOVARESE	manuale, livello assoluto	73-96:6/mese;96-04:3/mese
<b>DUGALI</b>	S.LORENZO DEI PICENARDI	ISOLA DOVARESE	manuale, livello assoluto	73-96:6/mese;96-04:3/mese
<b>DUGALI</b>	POZZO BARONZIO	TORRE DÈ PICENARDI	manuale, livello assoluto	73-96:6/mese;96-04:3/mese
<b>DUGALI</b>	BREDA GUAZZONA	CÀ D'ANDREA	manuale, livello assoluto	73-96:6/mese;96-04:3/mese

*“Analisi critica degli attuali presidi di monitoraggio idrologico della Provincia di Cremona e dei sovrastanti bacini idrografici”*

DUGALI	C.NA RAMAGLIE	PESSINA CREMONESE	manuale, livello assoluto	73-96:6/mese;96-04:3/mese
DUGALI	RISORTA	GADESCO P.DELMONA	manuale, livello assoluto	73-96:6/mese;96-04:3/mese
DUGALI	CÀ DEL FERRO	PERSICO DOSIMO	manuale, livello assoluto	73-96:6/mese;96-04:3/mese
DUGALI	VILLASCO	PERSICO DOSIMO	manuale, livello assoluto	73-96:6/mese;96-04:3/mese
DUGALI	VIGOLO	MALAGNINO	manuale, livello assoluto	73-96:6/mese;96-04:3/mese
DUGALI	BREDAZZE	P.S.GIACOMO	manuale, livello assoluto	73-96:6/mese;96-04:3/mese
DUGALI	CÀ DE FARINA	GADESCO P.DELMONA	manuale, livello assoluto	73-96:6/mese;96-04:3/mese
VACCHELLI	BOCCA VECCHIA DI SORESINA	CUMIGNANO SUL NAV.	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	ARGINE NAVIGLIO MIRABELLO	CASALMORANO	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	PARTITORI CASc. MANCAPANE	CASTELVERDE	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	PONTE CAVALLARE	CASTELVERDE	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA RONCHE	GENIVOLTA	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA NUOVA	CUMIGNANO SUL NAV.	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA CAMPAGNOLA	SONCINO	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA BIONDI	TRIGOLO	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA BONANOME	GENIVOLTA	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA CASTELLO	SORESINA	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA CICOGNARO	GENIVOLTA	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA GOLETTA	CASTELVISCANTI	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA FIENILE	AZZANELLO	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA CASELLO	SORESINA	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA SERRAGAGLIA	SORESINA	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA OCHETTE	CASALMORANO	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA CAMPAGNA	CASTELVISCANTI	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA CÒ BIANCA	BORDOLANO	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA PALAZZOLO	CASALBUTTANO	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
<b>ENTE</b>	<b>LOCALITA'</b>	<b>COMUNE</b>	<b>MONITORAGGIO</b>	<b>FREQUENZA</b>
VACCHELLI	CASCINA MOLOSSO-DESERTO	PADERNO PONCHIELLI	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA CASELLA ROSSA	PADERNO PONCHIELLI	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA BOFFALORA	OLMENETA	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA RIPA	POZZAGLIO ED UNITI	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA CÒ MAGRA	CASALMORANO	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA BOSCHETTO	CASALBUTTANO	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	CASCINA MANCAPANE	CASTELVERDE	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	A VALLE "PONTE DEI SOSPIRI"	AZZANELLO	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	A NORD CASCINA CÒ MAGRA	CASALMORANO	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	AD EST PADERNO PONCHIELLI	PADERNO PONCHIELLI	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
VACCHELLI	SOTTOP. FRATA A NAVIGLIO	POZZAGLIO ED UNITI	manuale, soggiacenza	1 al mese dal 2001
ARPA-sez.BG	ALBANO S. ALESSANDRO	ALBANO S. ALESSANDRO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	ALZANO LOMBARDO	ALZANO LOMBARDO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	ARCENE	ARCENE	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	ARZAGO D'ADDA	ARZAGO D'ADDA	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	BARIANO	BARIANO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999

*“Analisi critica degli attuali presidi di monitoraggio idrologico della Provincia di Cremona e dei sovrastanti bacini idrografici”*

ARPA-sez.BG	BARIANO	BARIANO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	BERGAMO	BERGAMO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	BERGAMO	BERGAMO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	BOLGARE	BOLGARE	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	BOLTIERE	BOLTIERE	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	BREMBATE	BREMBATE	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	BRIGNANO GERA D'ADDA	BRIGNANO GERA D'ADDA	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	CALCINATE	CALCINATE	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	CALVENZANO	CALVENZANO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	CANONICA D'ADDA	CANONICA D'ADDA	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	CAPRIATE S. GERVASIO	CAPRIATE S. GERVASIO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	CARAVAGGIO	CARAVAGGIO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	CARAVAGGIO	CARAVAGGIO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	CAROBBIO DEGLI ANGELI	CAROBBIO DEGLI ANGELI	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	CASTELLI CALEPIO	CASTELLI CALEPIO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	CASTELLI CALEPIO	CASTELLI CALEPIO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	CAVERNAGO	CAVERNAGO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	CENATE SOTTO	CENATE SOTTO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	CHIGNOLO D'ISOLA	CHIGNOLO D'ISOLA	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	CIVIDATE AL PIANO	CIVIDATE AL PIANO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	COLOGNO AL SERIO	COLOGNO AL SERIO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	COLOGNO AL SERIO	COLOGNO AL SERIO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	CORTENUOVA	CORTENUOVA	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	CURNO	CURNO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	DALMINE	DALMINE	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	FARA GERA D'ADDA	FARA GERA D'ADDA	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	FILAGO	FILAGO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
<b>ENTE</b>	<b>LOCALITA'</b>	<b>COMUNE</b>	<b>MONITORAGGIO</b>	<b>FREQUENZA</b>
ARPA-sez.BG	FONTANELLA	FONTANELLA	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	FORNOVO S. GIOVANNI	FORNOVO S. GIOVANNI	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	GRASSOBBIO	GRASSOBBIO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	GRASSOBBIO	GRASSOBBIO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	GRUMELLO DEL MONTE	GRUMELLO DEL MONTE	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	ISSO	ISSO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	LALLIO	LALLIO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	LEVATE	LEVATE	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	LEVATE	LEVATE	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	MARTINENGO	MARTINENGO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	MARTINENGO	MARTINENGO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	MISANO GERA D'ADDA	MISANO GERA D'ADDA	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	OSIO SOPRA	OSIO SOPRA	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	OSIO SOTTO	OSIO SOTTO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	PAGAZZANO	PAGAZZANO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	PALADINA	PALADINA	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	PALOSCO	PALOSCO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	PONTE S. PIETRO	PONTE S. PIETRO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	PONTE S. PIETRO	PONTE S. PIETRO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999

ARPA-sez.BG	PONTIROLO NUOVO	PONTIROLO NUOVO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	PUMENENGO	PUMENENGO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	SPIRANO	SPIRANO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	STIZZANO	STIZZANO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	SUISIO	SUISIO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	TELGATE	TELGATE	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	TERNO D'ISOLA	TERNO D'ISOLA	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	TRESCORE BALNEARIO	TRESCORE BALNEARIO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	TREVIGLIO	TREVIGLIO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	TREVIGLIO	TREVIGLIO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	URGNANO	URGNANO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	URGNANO	URGNANO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	VALBREMBO	VALBREMBO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	VERDELLINO	VERDELLINO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	VERDELLINO	VERDELLINO	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999
ARPA-sez.BG	ZANICA	ZANICA	manuale, livello assoluto	1 al mese dal 1999

### **5.2.3 La definizione dei limiti dei diversi settori interni all'area di studio e la loro classificazione in funzione di due indici sintetici: il rapporto Prelievi/Ricarica ed il Degrado**

Alla base di un utilizzo sostenibile delle acque sotterranee vi è, come detto, la classificazione delle aree in base al grado di sfruttamento quantitativo e qualitativo.

Ai fini del presente studio è importante soprattutto analizzare lo stato quantitativo della risorsa idrica sotterranea, in particolare dell'acquifero superficiale; di seguito ci si soffermerà quindi maggiormente sull'analisi quantitativa dei parametri di influenza della ricarica rispetto ai fattori di analisi sulla qualità delle acque.

Per uno studio analitico e progettuale relativo ad uno sfruttamento idrico sostenibile ed alla creazione di reti di monitoraggio del livello freatico, è innanzitutto necessario considerare il deficit fra deflussi e afflussi da falda freatica, per poter poi fissare quei criteri in base a cui rendere necessaria una regolazione dei prelievi e della loro distribuzione.

Con riferimento alla portata della falda, se quella in ingresso da monte è inferiore alla portata in uscita da valle, il bilancio idrico dell'area risulta positivo; ciò può esprimere una tendenza al sollevamento della falda, tranne i casi in cui il fenomeno sia stagionale oppure talmente prolungato da aver già portato ad una situazione di equilibrio.

Alcuni studi (Regione Lombardia, 2001), su cui si basano alcune strategie riportate nel Piano di Gestione del Bacino idrografico, hanno evidenziato come nella maggior parte del territorio esistano condizioni favorevoli al mantenimento di un bilancio idrico essenzialmente in equilibrio, anche nei settori della provincia di Cremona in cui grazie alle pratiche irrigue si contrasta la forte azione drenante del fiume Oglio. A valle di Cremona la

cadente arriva anche a valori inferiori allo 0,1%; ma a tale caduta corrisponde un cospicuo aumento della sezione di flusso della falda, e si garantisce in tal modo l'esistenza di un equilibrio nel bilancio idrico sotterraneo.

Dall'Allegato 3 del Piano di Gestione del Bacino idrografico emerge come nei bacini idrografici considerati non sembrano esserci condizioni preoccupanti di deficit, ad eccezione dell' hinterland di Bergamo, fra Serio e la zona di confluenza del Brembo con il fiume Adda, in cui, comunque, non si verifica mai la chiusura dei tubi di flusso che porterebbe all'estinzione della portata delle falde.

I due fattori la cui somma costituisce l'input del bilancio idrico sotterraneo, secondo la metodologia d'analisi che si ritiene maggiormente adeguata e che è alla base delle considerazioni effettuate nel Piano di Gestione del Bacino idrografico, sono:

1. Afflusso dalla superficie: è l'alimentazione dovuta a precipitazioni, irrigazioni, ai corsi d'acqua principali ed alle perdite dalla rete idrica superficiale;
2. Afflusso falda da monte: è il contributo proveniente dalla falda presente nelle aree a monte.

I tre fattori la cui somma costituisce l'output del bilancio idrico sotterraneo, secondo questa tipologia di approccio, sono:

1. Prelievi: di acque sotterranee effettuati tramite pozzi;
2. Deflusso: della falda verso le aree più a valle e verso i corsi d'acqua drenanti;
3. Fontanili: si considera il drenaggio operato da questi elementi idrologici .

Considerando l'intero bacino Adda – Oglio, le principali caratteristiche di bilancio possono così essere riassunte:

- Superficie: 3082 [Km<sup>2</sup>]
- Afflusso dalla superficie o *Ricarica*: 10,4 [m<sup>3</sup>/s] oppure 3.4 [l/(s\*km<sup>2</sup>)] )
- Afflusso falda da monte: 1,74 [m<sup>3</sup>/s]
- Entrate totali o Alimentazione: 12,13 [m<sup>3</sup>/s]
- Prelievi: 7,43 [m<sup>3</sup>/s] oppure 2.4 [l/(s\*km<sup>2</sup>)] )
- Deflusso: 2,2 [m<sup>3</sup>/s]
- Fontanili: 2,5 [m<sup>3</sup>/s]
- Uscite totali: 12,13 [m<sup>3</sup>/s]

Le considerazioni possibili a partire da tali dati relativi all'intero bacino sono quelle derivanti dai seguenti indicatori quantitativi:

- Prelievi/Afflusso falda da monte = 4,11
- Prelievi/Alimentazione = 0,606;
- Prelievi/Ricarica = 0,71;

- Afflusso falda da monte/Ricarica = 0,17;
- Ricarica/Alimentazione = 0,85

Nel bilancio idrico sotterraneo, e quindi anche nella scelta del posizionamento di nuovi pozzi e/o piezometri per il monitoraggio del livello freatico, è importante tenere in considerazione le condizioni di alimentazione della falda, le caratteristiche geologiche dell'acquifero e, tra i diversi indici sopra citati, in particolare il rapporto *Prelievi / Ricarica*.

Nelle aree di pianura in cui vi è un sovrasfruttamento idrico, il Prelievo risulta generalmente maggiore a 3 [ $l/(s \cdot km^2)$ ].

In dettaglio, in base al rapporto Prelievi/Ricarica si possono distinguere cinque classi di sfruttamento della risorsa idrica sotterranea.

1<sup>a</sup>) Nelle aree appartenenti a tale classe il rapporto Prelievi/Ricarica è  $< 0,8$ ; l' utilizzo delle acque sotterranee risulta sostenibile e nel breve - medio periodo non sono prevedibili importanti conseguenze negative. Questa classe corrisponde alla classe  $A_{152}$  o  $D_{152}$  della classificazione quantitativa della acque sotterranee definita dal D.Lgs. 152/99.

2<sup>a</sup>) Nelle aree appartenenti a tale classe il rapporto è compreso tra 0,8 e 1,2; vi è equilibrio fra disponibilità e consumi, la cui evoluzione è da controllare mediante monitoraggio piezometrico. Nel breve - medio periodo non sono prevedibili importanti conseguenze negative. Questa classe rientra nella classe  $B_{152}$  della classificazione quantitativa della acque sotterranee definita dal D.Lgs. 152/99.

3<sup>a</sup>) Il rapporto Prelievi/Ricarica è compreso tra 1,2 e 1,6.; vi è uno squilibrio minimo fra disponibilità e consumi, la cui evoluzione è da monitorare. Il riequilibrio è possibile nel medio periodo grazie ad un uso sostenibile della risorsa idrica. Questa classe rientra nella classe  $B_{152}$  della classificazione quantitativa della acque sotterranee definita dal D.Lgs. 152/99.

4<sup>a</sup>) Il rapporto Prelievi/Ricarica è compreso tra 1,6 e 3; vi è uno squilibrio consistente fra disponibilità e consumi, la cui evoluzione è da monitorare. Il riequilibrio è possibile nel medio periodo grazie ad un uso sostenibile della risorsa idrica. Questa classe rientra nella classe  $C_{152}$  della classificazione quantitativa della acque sotterranee definita dal D.Lgs. 152/99.

5<sup>a</sup>) Il rapporto Prelievi/Ricarica è  $> 3$ ; vi è uno squilibrio elevato fra disponibilità e consumi, la cui evoluzione è da monitorare. Il riequilibrio è possibile nel medio - lungo periodo grazie ad un uso sostenibile della risorsa idrica. La quinta classe rientra nella classe  $C_{152}$  della classificazione quantitativa della acque sotterranee definita dal D.Lgs. 152/99.

Il territorio oggetto dell'analisi, compreso nel bacino Adda – Oglio oltre alle suddivisioni in Alta, Media e Bassa Pianura, può essere ulteriormente ripartito in aree, per quantificare alcuni degli indici quantitativi di giudizio che sono stati precedentemente descritti.

Tali settori sono identificati e caratterizzati dal maggiore centro urbano presente o da quello geograficamente centrale: Brembate, Bergamo, Treviglio, Caravaggio, Crema, Seriate, Martinengo, Romanengo, Pizzighettone, Cremona, Casteldidone, Piadena, Casalmaggiore.

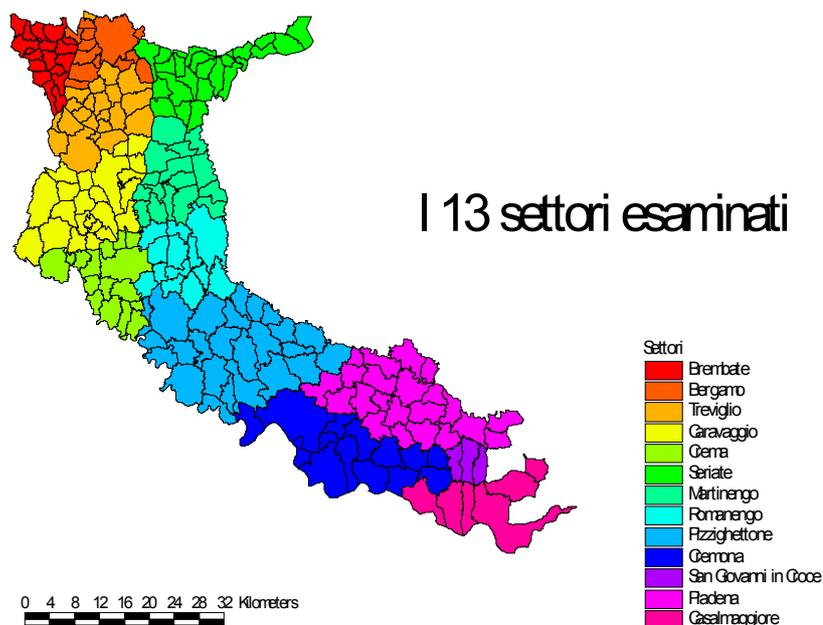


Fig.10 I settori in cui si è suddivisa l'area di studio per la valutazione di indici sintetici

Di seguito è riportata la descrizione, per ogni settore, delle principali caratteristiche quantitative dell'acqua del primo acquifero e dei contaminati più frequentemente ritrovati nei pozzi.

La struttura idrogeologica del settore di Brembate è caratterizzata da un acquifero indifferenziato dello spessore medio di 140 [m] e da una trasmissività media pari a  $4 \cdot 10^{-2}$  [ $m^2/s$ ]. Lì dove affiorano depositi fluvio-glaciali del Pleistocene medio ed antico la trasmissività media risulta pari a  $3 \cdot 10^{-3}$  [ $m^2/s$ ]. Al tempo delle indagini lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee era discreto: Prelievi/Ricarica = 1,29 (3<sup>a</sup> classe). Nel settore di Brembate la risorsa idrica si presenta in uno stato di medio degrado qualitativo ( $\frac{\text{Pozzi contaminati}}{\text{Pozzi totali}} = 0,2 - 0,5$ ), causato in gran parte dalla presenza di nitrati ed antiparassitari. Al settore di Brembate appartengono i seguenti Comuni: Capriate San Gervasio, Brembate, Filago, Bottanuco, Bonate Sotto, Bonate Sopra, Suisio, Calusco, Solza, Terno, Presezzo, Medolago, Mapello, Sotto il monte Giovanni, Villa d'Adda, Chignolo d'Isola, Madone, Carvico.

Del settore di Bergamo fanno invece parte i seguenti Comuni: Bergamo, Curno, Valbrembo, Ponte San Pietro, Treviolo, Dalmine, Gorle, Lallio, Azzano San Paolo, Mozzo,

Grassobbio, Orio al Serio, Osio Sopra. La struttura idrogeologica del settore di Bergamo è caratterizzata da un acquifero indifferenziato dello spessore medio di 170 [m] e da una trasmissività media variabile tra  $6 \cdot 10^{-2}$  [m<sup>2</sup>/s] e  $1 \cdot 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>/s], quindi non molto elevata. Al tempo delle indagini lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee era consistente: Prelievi/Ricarica = 2,38 (4<sup>a</sup> classe). Nel settore di Bergamo la risorsa idrica è inoltre in un consistente stato di degrado qualitativo ( $\text{Pozzi}_{\text{contaminati}}/\text{Pozzi}_{\text{totali}} > 0,5$ ), causato in gran parte dalla presenza di nitrati ed antiparassitari.

Al settore di Seriate appartengono i seguenti Comuni: Seriate, Cavernago, Ghisalba, Brusaporto, Bagnatica, Gandosso, Calcinate, Mornico al Serio, Palosco, Montello, Costa di Mezzate, Bolgare, Telgate, Gorlago, Carobbio degli Angeli, Chiuduno, Grumello del Monte, Castelli Calepio, Credario, Villongo, Sarnico, Predore, Tavernola Bergamasca, Viadanica. Il settore di Seriate ha struttura idrogeologica come quella dell'area di Bergamo, presenta una trasmissività media di  $8 \cdot 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>/s]. Al tempo delle indagini lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee era medio - basso: Prelievi/Ricarica = 0,39 (1<sup>a</sup> classe). Nel settore di Seriate la risorsa idrica si presenta in un medio stato di degrado qualitativo ( $\text{Pozzi}_{\text{contaminati}}/\text{Pozzi}_{\text{totali}} = 0,2 - 0,5$ ), provocato in gran parte dalla presenza di nitrati ed antiparassitari.

Del settore di Treviglio fanno parte i seguenti Comuni: Osio Sotto, Canonica d'Adda, Boltiere, Ciserano, Pontirolo Nuovo, Fara Gera d'Adda, Brignano Gera d'Adda, Arcene, Pognano, Castel Rozzone, Lurano, , Urgnano, Cologno al Serio. Verdellino, Verdello, Levate, Spirano, Comune Nuovo, Zanica, , Paladina, Stezzano, Treviglio. I territori compresi nel settore di Treviglio hanno una struttura idrogeologica caratterizzata da un acquifero indifferenziato di spessore medio pari a 140 [m] e da una trasmissività media compresa tra  $6 \cdot 10^{-2}$  [m<sup>2</sup>/s] e  $6 \cdot 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>/s]. Al tempo delle indagini lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee era medio: Prelievi/Ricarica = 0,84 (2<sup>a</sup> classe); la vicinanza del fiume Adda garantisce una apprezzabile compensazione ai prelievi. Così come per il settore di Seriate, quello di Treviglio la risorsa idrica sotterranea è in uno stato di medio degrado qualitativo ( $\text{Pozzi}_{\text{contaminati}}/\text{Pozzi}_{\text{totali}} = 0,2 - 0,5$ ), determinato in particolare dalla presenza di nitrati ed antiparassitari.

I Comuni compresi nel settore di Caravaggio appartengono alla province di Bergamo e di Cremona: Caravaggio, Casirate d'Adda, Arzago d'Adda, Pagazzano, Morengo Calvenzano, Misano di Gera d'Adda, Mozzanica, Fornovo San Giovanni, Bariano, Spino d'Adda, Rivolta d'Adda, Agnadello, Vailate, Torlino Vimercati, Pieranica, Quintano, Pandino, Capralba, Sergnano, Palazzo Pignano, Casaletto Vario, Trescore Cremasco. Essi hanno una struttura idrogeologica caratterizzata da due acquiferi separati da un acquitard compreso tra le quote di 50 [m] e 95 [m] s.l.m. e da una trasmissività media di  $8 \cdot 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>/s]. Questo settore

presenta un'ottima disponibilità idrica grazie alla buona trasmissività, alla scarsità di prelievi industriali ed alla prossimità ai corsi d'acqua ed ai canali irrigui. Ma nel settore di Caravaggio la risorsa idrica risulta essere in un consistente stato di degrado qualitativo ( $\text{Pozzi}_{\text{contaminati}}/\text{Pozzi}_{\text{totali}} > 0,5$ ), causato in gran parte dalla presenza di nitrati ed antiparassitari, e contaminanti di origine naturale (ammoniaca, ferro, manganese)

I Comuni compresi nel settore di Martinengo hanno una struttura idrogeologica caratterizzata da due acquiferi separati da un acquitard compreso tra le quote di 70 [m] e 90 [m] s.l.m. e da una trasmissività media compresa tra  $4 \cdot 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>/s] e  $3 \cdot 10^{-2}$  [m<sup>2</sup>/s]. Essi sono: Martinengo, Civate al Piano, Romano di Lombardia, Camisano, Cortenuova, Fara Olivana, Covo, Calcio, Isso, Barbata, Fontanella, Antegnate, Pumenengo, Torre Pallavicina, Casale Cremasco, Castel Gabbiano. Al tempo delle indagini lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee era medio:  $\text{Prelievi}/\text{Ricarica} = 0,83$  (2<sup>a</sup> classe). Nel settore di Martinengo la risorsa idrica si presenta in un medio stato di degrado qualitativo ( $\text{Pozzi}_{\text{contaminati}}/\text{Pozzi}_{\text{totali}} = 0,2 - 0,5$ ), causato in gran parte dalla presenza di nitrati ed antiparassitari.

I Comuni compresi nel settore di Crema hanno una struttura idrogeologica caratterizzata da due acquiferi separati da un acquitard compreso tra le quote di 50 [m] e 60 [m] s.l.m. e da una trasmissività media compresa tra  $6 \cdot 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>/s] e  $2 \cdot 10^{-2}$  [m<sup>2</sup>/s]. Essi sono: Crema, Dovera, Cremosano, Bagnolo Cremasco, Capergnanica, Chieve, Casaleto Ceredano, Ripalta Cremasca, Ripalta Guerina, Moscazzano, Credera Rubbiano, Montodine, Pianengo, Campagnola Cremasca, Vaiano Cremasco, Monte Cremasco. Al tempo delle indagini lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee era medio:  $\text{Prelievi}/\text{Ricarica} = 0,83$  (2<sup>a</sup> classe). Nel settore di Crema la risorsa idrica si presenta in un consistente stato di degrado qualitativo ( $\text{Pozzi}_{\text{contaminati}}/\text{Pozzi}_{\text{totali}} > 0,5$ ), prevalentemente a causa di ammoniaca, ferro e manganese, contaminanti di origine naturale.

I Comuni compresi nel settore di Romanengo hanno una struttura idrogeologica caratterizzata da due acquiferi separati da un acquitard compreso tra le quote di 50 [m] e 80 [m] s.l.m. e da una trasmissività media di  $3 \cdot 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>/s]. Tale settore comprende i seguenti Comuni: Ricengo, Casaleto di Sopra, Soncino, Offanengo, Izano, Salvirola, Ticengo, Romanengo, Fiesco, Cumignano sul Naviglio, Trigolo, Madignano, Genivolta). Al tempo delle indagini lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee era buono:  $\text{Prelievi}/\text{Ricarica} = 0,63$  (1<sup>a</sup> classe). La falda superficiale risente di forti drenaggi da parte dei fontanili e dei corpi idrici superficiali. Nel settore di Romanengo la risorsa idrica si presenta in un consistente stato di degrado qualitativo ( $\text{Pozzi}_{\text{contaminati}}/\text{Pozzi}_{\text{totali}} > 0,5$ ), prevalentemente a causa di ammoniaca, ferro e manganese, contaminanti di origine naturale

I Comuni compresi nel settore di Pizzighettone hanno una struttura idrogeologica caratterizzata da due acquiferi separati da un acquitard compreso tra le quote di 20 [m] e 50

[m] s.l.m. e da una trasmissività media compresa tra  $2 \cdot 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>/s] e  $2 \cdot 10^{-2}$  [m<sup>2</sup>/s]. Tale settore comprende i seguenti Comuni: Pizzighettone, Castelleone, Gombito, San Bassano, Cappella Cantone, Formigara, Soresina, Annicco, Casalmorano, Azzanello, Ripalta Arpina, Castel Visconti, Bordolano, Casalbuttano ed Uniti, Paderno Ponchielli, Grumello Cremonese, Corte De' Cortesi con Cignone, Olmeneta, Robecco d'Oglio, Acquanegra Cremonese, Sesto ed Uniti, Pozzaglio ed Uniti, Castelverde, Crotta d'Adda, Corte de'Fratelli. Al tempo delle indagini lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee era buono: Prelievi/Ricarica = 0,65 (1<sup>a</sup> classe). Nelle aree poste a maggiore distanza dal fiume Oglio la trasmissività si riduce a meno di  $2 \cdot 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>/s], in tali zone vi è necessità di un monitoraggio costante nonostante il buon rapporto Prelievi/Ricarica, in quanto vi sono insediamenti industriali molto idroesigenti che possono richiedere dei prelievi eccessivi.

Nel settore di Pizzighettone la risorsa idrica si presenta in un consistente stato di degrado qualitativo ( $\text{Pozzi}_{\text{contaminati}}/\text{Pozzi}_{\text{totali}} > 0,5$ ), prevalentemente a causa della presenza di ammoniaca, ferro e manganese, contaminanti di origine naturale.

I Comuni compresi nel settore di Cremona hanno una struttura idrogeologica caratterizzata da un unico acquifero e da una trasmissività media compresa tra  $6 \cdot 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>/s] e  $3 \cdot 10^{-2}$  [m<sup>2</sup>/s]. In tale settore vi sono i seguenti Comuni: Spinadesco, Cremona, Bonemerse, Stagno Lombardo, Gerre de' Caprioli, Pieve d'Olmi, Sospiro, Malagnino, San Daniele Po, Cella Dati, Motta Baluffi, Scandolara Ravara, Cingia Dè Botti, San Martino del Lago. Al tempo delle indagini lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee era discreto: Prelievi/Ricarica = 0,83 (2<sup>a</sup> classe). Nelle aree poste a maggiore distanza dal fiume Po la trasmissività si riduce a meno di  $2 \cdot 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>/s], ciò può provocare abbassamenti consistenti nelle aree sottoposte a forti prelievi e sensibili cedimenti per subsidenza nei terreni; in tali zone vi è quindi necessità di un monitoraggio costante nonostante il rapporto Prelievi/Ricarica. Nel settore di Cremona la risorsa idrica si presenta in un consistente stato di degrado qualitativo ( $\text{Pozzi}_{\text{contaminati}}/\text{Pozzi}_{\text{totali}} > 0,5$ ), prevalentemente a causa di ammoniaca, ferro e manganese, contaminanti di origine naturale.

I Comuni compresi nel settore di San Giovanni in Croce (Solarolo Raineiro, San Giovanni in Croce, Casteldidone) hanno una struttura idrogeologica caratterizzata da due acquiferi separati da un acquitard compreso tra le quote di -20 [m] e 10 [m] s.l.m. e da una trasmissività media di  $6 \cdot 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>/s]. Al tempo delle indagini lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee era discreto: Prelievi/Ricarica = 0,82 (2<sup>a</sup> classe). Nel settore di San Giovanni in Croce la risorsa idrica si presenta in uno stato critico di degrado qualitativo ( $\text{Pozzi}_{\text{contaminati}}/\text{Pozzi}_{\text{totali}} > 0,9$ ), prevalentemente a causa di ammoniaca, ferro e manganese, contaminanti di origine naturale.



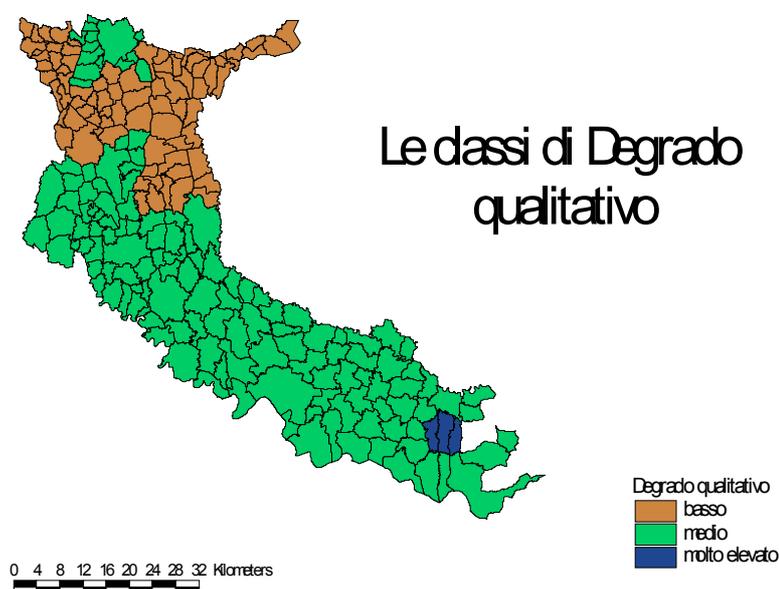


Fig.12 La suddivisione in classi dei valori di degrado qualitativo

Nell'ottica del controllo del deficit quantitativo della risorsa idrica sotterranea, anche nei settori in cui il rapporto Prelievi/Ricarica è risultato appartenere alle classi 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> è necessario un monitoraggio delle condizioni dell'acquifero, al fine di verificare il mantenimento dello stato attuale. Quindi anche nelle aree in cui attualmente vi è un certo equilibrio tra i parametri di input ed output del bilancio idrologico, dovrà essere alto il livello di attenzione nel monitoraggio, per far sì che si continui a garantire il soddisfacimento della domanda idrica per i diversi usi e che un aumento dei prelievi non determini il superamento dei limiti di classe. Se in tali settori fosse presente una rete coordinata di controllo con cui gestire correttamente le risorse idriche, che mettesse in evidenza lo sviluppo di eventuali depressioni piezometriche dovute all'aumento dei prelievi o possibili cambiamenti nelle condizioni di alimentazione, non sarebbero necessari ulteriori provvedimenti. Ma la situazione reale, purtroppo, evidenzia l'impossibilità di gestire razionalmente l'acqua sotterranea in settori, come quello Cremasco, che ricade nella 2<sup>a</sup> classe del rapporto Prelievi/Ricarica ma che è assolutamente privo di presidi attivi di monitoraggio.

Nelle aree in cui sia evidente un deficit quantitativo della risorsa idrica sotterranea, appartenenti alle classi 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup> ed 5<sup>a</sup>, non si dovrebbero porre in opera altri pozzi di prelievo bensì dovrebbe essere scelto, come livello piezometrico di riferimento, quello con cui avere un deficit moderato e facilmente controllabile.

Per le elaborazioni effettuate con il GIS Arc View, si sono considerati i valori rilevati del rapporto Prelievi/Ricarica e non la loro appartenenza alle 5 classi, per avere un maggiore dettaglio ed una più precisa caratterizzazione di tale rapporto in ogni settore.

Il territorio è stato suddiviso in griglie con risoluzione spaziale di 500 [m], tanto per il rapporto Prelievi/Ricarica quanto per il Degrado qualitativo.

Per le elaborazioni finali al rapporto Prelievi/Ricarica si è attribuito un peso pari al 20% del totale, percentuale che scaturisce tanto dall'importanza dello stato di sfruttamento dell'acquifero e dallo scopo della presente analisi, quanto dalla puntualità e dal grado di dettaglio dell'informazione in possesso.

Per ciò che è inerente con i valori di degrado qualitativo, gli intervalli in cui, per ogni settore, vi è un numero percentuale di pozzi in cui si è rinvenuta una contaminazione rispetto ai pozzi monitorati, sono stati suddivisi in 5 classi, uniformemente a quanto realizzato per gli altri criteri:

$$1^a) (\text{Pozzi}_{\text{contaminati}}/\text{Pozzi}_{\text{totali}}) < 0,2$$

$$2^a) (\text{Pozzi}_{\text{contaminati}}/\text{Pozzi}_{\text{totali}}) = 0,2 - 0,5$$

$$3^a) (\text{Pozzi}_{\text{contaminati}}/\text{Pozzi}_{\text{totali}}) = 0,5 - 0,7$$

$$4^a) (\text{Pozzi}_{\text{contaminati}}/\text{Pozzi}_{\text{totali}}) = 0,7 - 0,9$$

$$5^a) (\text{Pozzi}_{\text{contaminati}}/\text{Pozzi}_{\text{totali}}) > 0,9$$

Rispetto agli altri criteri, alla degrado qualitativo è stato però attribuito un peso minore ai fini della scelta del posizionamento dei nuovi presidi. Si è infatti maggiormente interessati al livello quantitativo della risorsa poiché la rete di monitoraggio della qualità delle acque sotterranee è già esistente; inoltre non si dispone di dati dettagliati dell'indice di degrado ma solo del range percentuale di pozzi contaminati rispetto al totale; infine le percentuali sono relative anche all'acquifero semiconfinato e confinato. Si è quindi scelto di assegnare al Degrado un peso del 5% rispetto al totale.

#### **5.2.4 L'importanza della capacità protettiva dei suoli nella scelta del posizionamento dei presidi di monitoraggio del livello freatico**

La ricarica diretta di una determinata unità idrostratigrafica è definita come il flusso idrico proveniente dalla superficie, di componente prevalentemente verticale, di alimentazione dei serbatoi acquiferi dell'unità considerata.

Essa può avvenire secondo due differenti modalità:

1. flusso di filtrazione, monobasico in falda subalvea; tipico degli alvei fluviali di pianura alluvionale;
2. flusso di infiltrazione, bifasico (aria e acqua)

Le aree di ricarica diretta sono le porzioni della superficie topografica in cui si esplica le ricarica diretta. Le aree di ricarica diretta potenziale sono quelle aree in cui i livelli impermeabili (acquitardi), che annullano o riducono la componente verticale del flusso idrico, non hanno una significativa continuità areale. Poiché il tetto del primo acquifero è la superficie topografica, gli acquiferi superficiali sono aree di ricarica diretta potenziale per tutta la loro estensione. Le aree di ricarica diretta potenziale sono state dall'ERSAL suddivise in tre classi, in base alla capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee (CPAS), alle capacità cioè che hanno i suoli di controllare il trasporto di contaminanti idrosolubili in profondità con le acque di percolazione: 1<sup>a</sup> classe, Elevata CPAS; 2<sup>a</sup> classe, Moderata CPAS; 3<sup>a</sup> classe, Bassa CPAS. I suoli proteggono le acque sotterranee agendo da barriera e da filtro nei confronti dei potenziali inquinanti idrosolubili, che rimangono così bloccati, per un tempo sufficiente per la degradazione microbiologica, nei limiti degli orizzonti esplorati dagli apparati radicali delle piante. Ciò corrisponde alla definizione di "capacità di attenuazione del suolo", che l'Allegato VII del D.Lgs.152/99 indica come parametro di conoscenza di fondamentale importanza per la valutazione della "vulnerabilità intrinseca degli acquiferi". Nella divisioni in classi di capacità protettiva dei suoli (elevata, moderata, bassa), si sono considerati nel modello interpretativo proposto dall'ERSAL le seguenti proprietà: permeabilità, profondità del livello dell'acqua di falda freatica, granulometria, pH, Capacità di Scambio Cationico (CSC). I suoli a bassa CPAS sono quelli in cui, ad un'elevata permeabilità e a scarse profondità di falda (< 1 [m]), si accompagnano condizioni di granulometria sabbiosa o sabbioso – ghiaiosa, pH < 4,5 e CSC < 5. Essi rappresentano la maggior parte dei suoli esistenti nell'alta pianura, nella zona delle risorgive e nelle valli fluviali. I suoli ad elevata capacità protettiva nei confronti della acque sotterranee sono invece quelli in cui, ad una bassa permeabilità e ad una profondità di falda > 1 [m], si accompagnano condizioni di granulometria fine e di maggiore capacità di filtro: pH > 5,5 e CSC > 10. Essi sono maggiormente presenti nella zona sud-orientale della pianura e sulle superfici moreniche e terrazzate antiche. Per le elaborazioni effettuate con il GIS Arc View, si sono considerati i tre valori di CPAS nei territori di pianura delle province di Cremona e di Bergamo e si sono classificati in base alla maggiore (bassa capacità protettiva) o minore (alta capacità protettiva) necessità di avere dei presidi di monitoraggio freatico nelle aree del territorio analizzato. Il territorio è stato suddiviso in celle con risoluzione spaziale di 100 [m]. A tale criterio si è attribuito un peso del 15% rispetto al totale, alla luce del buon grado di dettaglio dell'informazione sul territorio e della priorità assegnata alla mancanza di presidi ed a criteri maggiormente quantitativi.

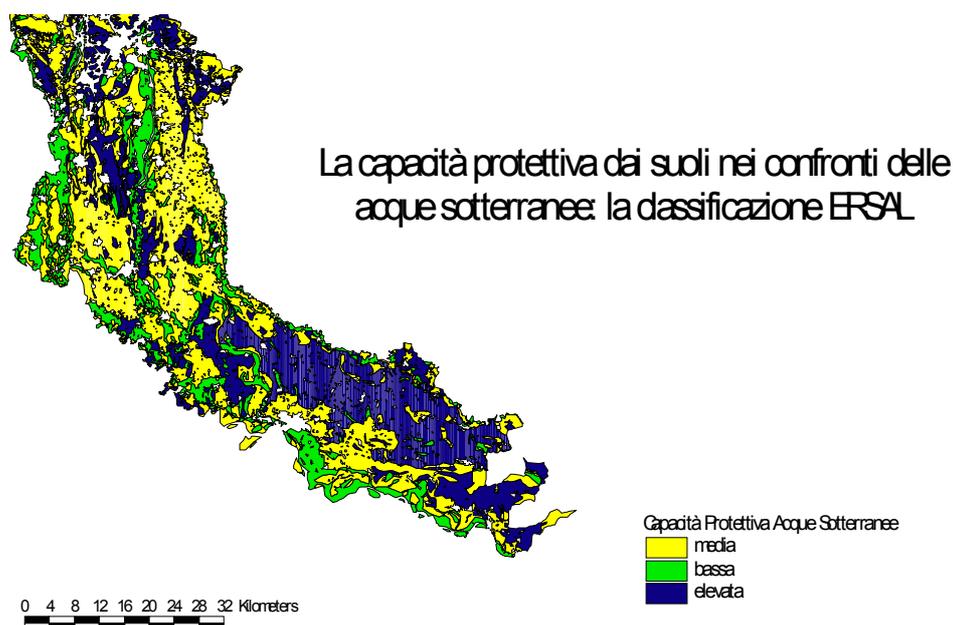


Fig.13 La capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee

#### **5.2.5 L'importanza della direzione principale di flusso sotterraneo nella scelta posizionamento dei presidi di monitoraggio del livello freatico**

Dallo studio della geologia degli acquiferi Padani e della cartografia idrogeologica relativa alle province di Cremona e di Bergamo, si evince che la direzione preferenziale del flusso sotterraneo segue il gradiente medio della Pianura Padana. La direzione di massima pendenza, tanto in superficie quanto nei primi metri dell'acquifero superficiale in aree appartenenti al livello fondamentale della pianura, varia tra Nord/Sud e NordOvest/SudEst, che esprime la direttrice preferenziale delle particelle d'acqua presenti in superficie e nella zona più superficiale della prima falda. Nelle zone esterne ai terrazzi alluvionali ed ai rilevati si è quindi approssimata la pendenza topografica con quella dei primi metri della falda freatica, con un'imprecisione minima tenuto conto che il territorio è estremamente pianeggiante.

Tali considerazioni sono inoltre rafforzate dal raffronto con le rappresentazioni delle linee isofreatiche presenti nella cartografia esaminata, che evidenziano la prevalenza di un gradiente Nord/Sud nel bacino idrografico compreso tra Adda e Serio ed un gradiente NordOvest/SudEst nelle restanti aree.

Un' eventuale variazione piezometrica, rispetto al valore freatico rilevato da un presidio a monte, verrà quindi avvertita in minor tempo e con maggiore intensità da un secondo presidio posto lungo le direzione del gradiente medio padano.

Per il posizionamento di presidi di monitoraggio si è quindi pensato di preferire quelle aree in cui l' inclinazione dei cui territori è verso Sud e SudEst.

Dalle elaborazioni eseguite con Arc View a partire dai punti quotati della CTR della Regione Lombardia, si è ricavato il DEM, dal quale si è elaborato lo shape file delle direzioni e delle pendenze, con una risoluzione spaziale di 40 [m].

E' stato così possibile ricavare, per ogni cella quadrata di 0,0016 [Km<sup>2</sup>], la direzione preferenziale di flusso sotterraneo. A causa dell'elevata precisione dell'informazione sul territorio ma anche delle approssimazioni sopra citate, si è assegnato, per le elaborazioni finali, un peso del 20% a tale criterio di scelta.

Per quanto riguarda i valori assegnati alle diverse direzioni, essi sono stati suddivisi in 5 classi, uniformemente a quanto realizzato per gli altri criteri:

- 1<sup>a</sup>) Direzioni Ovest e Nord
- 2<sup>a</sup>) Direzioni NordOvest e NordEst
- 3<sup>a</sup>) Direzione SudOvest
- 4<sup>a</sup>) Direzione Est
- 5<sup>a</sup>) Direzione Sud e SudEst

## ***6. PROPOSTA DI INTEGRAZIONE DEGLI ATTUALI PRESIDI DI RILEVAZIONE DEL LIVELLO FREATICO, ALLO SCOPO DI OTTENERE UNA RETE DI MONITORAGGIO COORDINATA, COERENTE E RAZIONALE***

### ***7.***

#### **6.1 La quantificazione del grado di necessità di monitoraggio all'interno dell'area di studio**

Per la metodologia analitica adottata si è assunto che il grado di necessità (M) di posizionare i presidi di monitoraggio in determinate aree, dipenda in modo proporzionale dall'intensità pesata dei valori assunti dai cinque indicatori descritti nel paragrafo 5.2 del presente lavoro di tesi.

Le componenti rappresentate nel modello analitico adottato risultano quindi essere:

- I<sub>1</sub> = componente dell'attuale Densità dei presidi significativi di rilevazione dati
- I<sub>2</sub> = componente del rapporto Prelievi/Ricarica

- $I_3$  = componente del Degrado qualitativo
- $I_4$  = componente della Capacità Protettiva dei Suoli nei confronti delle Acque Sotterranee
- $I_5$  = componente della Direzione preferenziale di Flusso

Il valore della funzione M è dato, in ogni cella della maglia in cui è stata suddivisa l'area di studio, dalla somma pesata del valore assunto, nelle stesse celle, dalle varie componenti.

Come già descritto nei paragrafi 5.2.2, 5.3, 5.4, 5.5 della presente analisi, nell'elaborazione effettuata i pesi assegnati sono stati i seguenti, con  $p_i$  = peso attribuito all'i-esima componente;  $i = 1, n; n = 5$ :

$$p_1 = 2/5; p_2 = 1/5; p_3 = 1/20; p_4 = 3/20; p_5 = 1/5$$

Ai fini della sommatoria pesata, i valori quantitativi delle componenti  $I_1$  e  $I_2$  sono stati direttamente normalizzati rispetto al valore massimo; mentre, per gli indicatori qualitativi, relativi alle componenti  $I_3, I_4$  e  $I_5$ , si sono dapprima riclassificate le informazioni qualitative attribuendo ad esse un valore numerico e successivamente si è proceduto con la normalizzazione dei valori riclassificati rispetto al valore massimo.

Per la riclassificazione si è utilizzato un intervallo di valori interi compresi tra 1 e 5, assegnando il valore massimo (5) a quelle celle in cui le informazioni qualitative hanno evidenziato un maggiore M.

I valori attribuiti a tali informazioni sono state:

- Per  $I_3$ : 1<sup>a</sup> classe = 1; 2<sup>a</sup> classe = 2; 3<sup>a</sup> classe = 3; 4<sup>a</sup> classe = 4; 5<sup>a</sup> classe = 5.
- Per  $I_4$ : 1<sup>a</sup> classe = 1; 2<sup>a</sup> classe = 3; 3<sup>a</sup> classe = 5;
- Per  $I_5$ : 1<sup>a</sup> classe = 1; 2<sup>a</sup> classe = 1; 3<sup>a</sup> classe = 2; 4<sup>a</sup> classe = 3; 5<sup>a</sup> classe = 5

I criteri di suddivisione in classi sono descritti nei paragrafi 5.2.2, 5.3, 5.4, 5.5.

Elevati valori normalizzati degli indicatori  $I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$  indicano un maggiore M, mentre alti valori normalizzati dell' indicatore  $I_1$  esprimono un basso M; nella somma pesata si è quindi considerato il complemento a uno dei valori normalizzati di  $I_1$ .

Se  $j = 2, \dots n; n = 5$ , l'espressione del Grado di Necessità di Monitoraggio è la seguente:

$$(Eq.2) \quad \mathbf{M} = \sum_j (p_j * I_j) + p_1 * (1 - I_1)$$

I valori dell'indicatore finale M sono stati raggruppati in 5 classi, secondo un metodo di suddivisione che identifica punti di rottura (breakpoints) tra le classi utilizzando l'ottimizzazione statistica di Jenk, che minimizza, cioè, la somma della varianze all'interno di ciascuna classe.

Per la risoluzione della griglia di calcolo di M si è scelto di utilizzare inizialmente celle di 3.000 [m] e successivamente celle di 1.000 [m]; si è discretizzata l'area di studio in tal modo per permettere un'indagine più accurata, per approssimazioni successive.

Si è convinti infatti che per una rete di monitoraggio del livello freatico sia sufficiente poter disporre di un presidio di rilevazione ogni 9 [Km<sup>2</sup>]; ma si è anche pensato che sommando tra loro, a questa risoluzione, indicatori territoriali descritti con un buon grado di dettaglio (come I<sub>4</sub> e I<sub>5</sub>) si sarebbe rischiato di perdere una quantità eccessiva di informazioni.

E' stata così calcolata anche la griglia con celle di 1.000 [m], per poter meglio individuare, all'interno di ogni cella di 3.000 [m], quali potrebbero essere i migliori posizionamenti dei nuovi presidi.

Tra tutte le celle della griglia ottenuta, si è pensato di limitare le ulteriori analisi ed elaborazioni alle celle di 9 [Km<sup>2</sup>] i cui valori dell'indicatore M ricadono nelle ultime due classi di suddivisione dello stesso indicatore; le celle di 3.000 [m] caratterizzate da valori di M appartenenti alle prime tre classi, alla base dei risultati ottenuti, sono state quindi considerate come sufficientemente monitorate.

Le 42 celle di 3.000 [m] x 3.000 [m] in cui si è riscontrato un valore di M appartenente alle ultime due classi della suddivisione effettuata sono state identificate come "celle critiche". All'interno delle 42 "celle critiche", corrispondenti ad una superficie totale di 378 [Km<sup>2</sup>], si è analizzato lo stato dei presidi significativi e l'eventuale esistenza di fontanili e/o di presidi non significativi (p.es. presidi non più monitorati, con frequenza di rilevazione insufficiente o destinati ad altri obiettivi di monitoraggio).

Nella fascia di transizione tra l'alta e la media pianura vi è la minore (o addirittura nulla) densità di rilevazione; ma tale zona, come è noto, è anche quella in cui le frazioni di granulometria più fine cominciano ad essere presenti in proporzioni rilevanti e dove le acque delle falde s'innalzano per effetto del rigurgito provocato dalla diminuzione di permeabilità e sgorgano in superficie in depressioni (i fontanili). Nella presente analisi critica il fontanile è stato quindi pensato come un ipotetico presidio per il monitoraggio del livello dell'acqua di prima falda, essendo esso stesso espressione di un fenomeno freatico.

In 9 delle 42 celle si è rilevata la presenza di presidi attivi e significativi, a dimostrazione dell'importanza rivestita dagli indici sintetici I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub>, I<sub>4</sub>, I<sub>5</sub>, I<sub>6</sub> che, nonostante abbiano, ciascuno, un peso minore dell'indice di Densità, in alcuni casi con la loro somma pesata possono esercitare un' influenza maggiore della stessa densità.

Nelle 33 "celle critiche" eccedute si è rilevata la seguente situazione:

- Presenza di fontanili in 11 celle
- Presenza di 1 fontanile a distanza minima (< 500 [m]) da "celle critiche"
- Presenza di presidi non significativi in 7 celle

- Presenza di 4 presidi non significativi a distanza minima (< 800 [m]) da "celle critiche"
- Presenza di 1 presidio non significativo a distanza < 2500 [m] da due "celle critiche", ma disposto in buona posizione (tra le due).

## **6.2 La scelta e la definizione dei presidi con cui costituire la rete di monitoraggio del livello freatico nelle province di Cremona e di Bergamo**

Se si rendessero significative quelle stazioni di misura che attualmente non lo sono e se si attivasse il monitoraggio dei fontanili in quelle celle in cui non vi sono presidi da riattivare, si potrebbero ridurre le "celle critiche" da 33 ad 11.

La proposta del presente studio, alla luce delle elaborazioni svolte, è quindi quella di:

### **1. Riattivare le rilevazioni del livello freatico in 10 presidi attualmente non attivi**

Basandosi sulle analisi svolte, appare evidente la necessità di riprendere ad effettuare le rilevazioni in 10 presidi attualmente non attivi, di cui 4 in provincia di Cremona e 6 in provincia di Bergamo, precedentemente rilevati dal CMPB e dall'ARPA della Lombardia (ex Servizio Idrografico e Mareografico).

Si propone di misurare il livello freatico nelle seguenti stazioni di rilevazione non più attive:

- Stagno Lombardo - Brancere (ARPA della Lombardia); ultima rilevazione nel 1998.
- Polesine - ex Gussola (ARPA della Lombardia); ultima rilevazione nel 2002.
- Casale Cremasco (CMPB); ultima rilevazione nel 1998.
- Soncino (CMPB); ultima rilevazione nel 1998.
- Casirate d'Adda (CMPB); ultima rilevazione nel 1998.
- Fara Gera d'Adda (CMPB); ultima rilevazione nel 1998.
- Treviglio (CMPB); ultima rilevazione nel 1998.
- Sergnano (CMPB); ultima rilevazione nel 1998.
- Isso (CMPB); ultima rilevazione nel 1998.
- Fornovo San Giovanni (CMPB); ultima rilevazione nel 1998.

### **2. Utilizzare 2 presidi attualmente attivi ma non significativi, modificandone la periodicità di lettura**

I presidi attivi, ma non significativi, sono entrambi localizzati nel territorio cremonese. Si propone di misurare il livello freatico con una frequenza diversa da quella attuale, nelle seguenti stazioni di rilevazione:

- Discarica di Castelleone (Provincia di Cremona), piezometro "3"; in cui il livello freatico è attualmente rilevato ogni sei mesi.

- Depuratore di Cremona (AEM Cremona), piezometro "D2"; in cui il livello freatico è attualmente rilevato ogni quattro mesi.

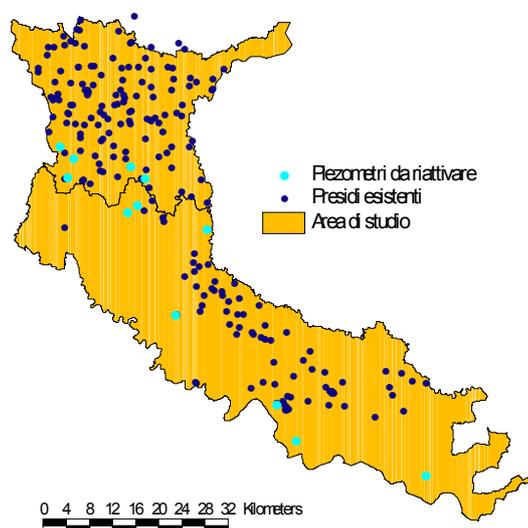


Fig.14 I piezometri da riattivare o in cui modificare la periodicità di lettura

### **3. Utilizzare 9 fontanili come presidi di monitoraggio del livello freatico**

Nella scelta dei fontanili da proporre come presidio di monitoraggio del livello freatico, tra i diversi presenti all'interno di una stessa cella, si sono privilegiati quelli posti sull'asse variabile tra le direzioni Nord/Sud e NordOvest/SudEst rispetto ad un presidio significativo più a monte o più a valle.

Dei fontanili che si propone di far appartenere alla rete di monitoraggio del livello freatico nell'area di studio, 5 ricadono in provincia di Cremona e 4 in provincia di Bergamo.

Si propone di misurare il livello freatico nei seguenti fontanili:

- Casaletto Ceredano;
- Mortina;
- Soncino;
- Fontanone di Offanengo;
- Rivolta - Padella;
- Fontanella - Trivulza;
- Barbata;
- Treviglio - Roccolo;
- Morengo

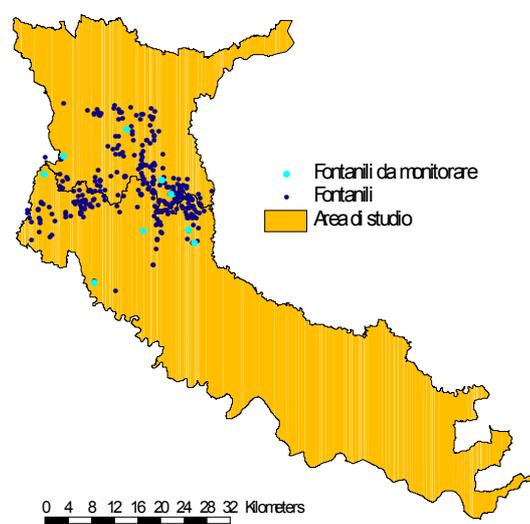


Fig.15 I fontanili da predisporre a presidi di monitoraggio del livello freatico

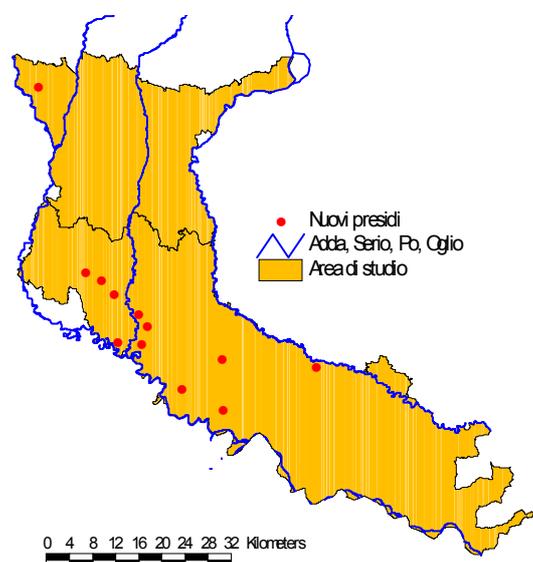
#### **4. Predisporre 12 nuovi presidi di monitoraggio**

Per il posizionamento di nuovi piezometri per il monitoraggio del livello freatico e quindi per la loro precisa georeferenziazione, tra le diverse localizzazioni possibili, a parità di valori di M, si sono privilegiate quelle aree per cui i nuovi piezometri si trovano sull'asse variabile tra le direzioni Nord/Sud e NordOvest/SudEst rispetto ad un presidio significativo (esistente o nuovo) più a monte o più a valle. Dei nuovi piezometri che si propone di far appartenere alla rete di monitoraggio del livello freatico nell'area di studio, ben 11 ricadono in provincia di Cremona. Le posizioni individuate sono comprese nel territorio dei Comuni:

- Acquanegra Cremonese
- Bagnolo
- Castelleone
- Corte dè Frati
- Crema (2)
- Madignano
- Moscazzano
- Paderno Ponchielli
- Pizzighettone
- Ripalta Arpina

– Medolago

Fig.16 I siti in cui posizionare i nuovi piezometri



Come specificato nel paragrafo 5.2.3, dei 229 presidi distribuiti nell'area di studio, 145 sono monitorati attualmente, di cui 120 sono risultati significativi.

In questo lavoro di tesi si propone quindi di integrare i 120 presidi di monitoraggio attualmente esistenti e significativi nell'area di studio con 21 nuove stazioni di rilevazione, con 10 stazioni in cui riattivare le misurazioni e con 2 presidi in cui modificare la periodicità di lettura.

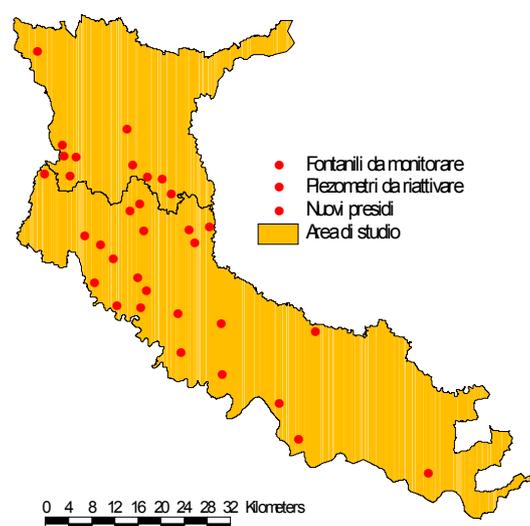


Fig.17 Le 33 stazioni di monitoraggio integrative dei presidi significativi attuali

### **6.3 Le possibili modalità di gestione della rete di monitoraggio proposta ed una prima analisi dei costi dell' integrazione suggerita**

Riassumendo, si propone di realizzare una rete di monitoraggio coordinata nelle province di Bergamo e di Cremona, comprensiva di 153 presidi di monitoraggio, di cui 21 saranno da realizzare ex novo, mentre 132 sono di proprietà degli enti descritti nel paragrafo 5.2.1.

Ex novo significa che, per essi, serviranno dei nuovi piezometri e/o dei nuovi misuratori di livello; ciò comporterà dei costi aggiuntivi, che di seguito si cercherà di quantificare.

Per ciò che riguarda i 132 pozzi e/o piezometri già distribuiti sul territorio, bisognerà superare le difficoltà connesse al convincimento degli enti per modificarne le modalità di gestione, allo scopo di produrre una serie di dati compatibili con le esigenze proposte.

Infatti, nonostante per le elaborazioni si siano considerate significative quelle frequenze di lettura dati inferiori o uguali alla periodicità mensile (in quanto tutte le letture sono, ad oggi, rilevate manualmente), al fine di proporre una rete coordinata e razionale di monitoraggio del livello freatico, si propone di misurare il livello dei presidi che ne faranno parte in automatico, con cadenza giornaliera e, possibilmente, sempre alla stessa ora; per poter in tal modo avere a disposizione un database maggiormente omogeneo, chiaro ed indicativo.

Si pensa infatti che, data la lentezza dei movimenti con cui la falda si muove, sia sufficiente la rilevazione del dato una volta ogni 24 ore.

Un mezzo di persuasione potrebbe essere la constatazione che attualmente l'insieme dei gestori sopporta il carico di 229 presidi; mentre con sistemi di misurazione automatica e registrazione dei dati, nei 153 presidi proposti, si arriverebbe a spese di gestione di rilevazione del dato assolutamente accettabili.

Esaminiamo, come esempio, il caso attualmente più frequente, in cui la lettura del dato freatico viene effettuata manualmente con periodicità mensile: ipotizzando che il tempo necessario ad un operatore per raggiungere il presidio e per effettuare una singola misurazione sia di 30 [min] e considerando un costo tra 15 e 20 [€/h] per il lavoro svolto, il costo totale mensile, dovuto al solo personale addetto alla rilevazione dati, sarà di 7,5 - 10 [€/presidio].

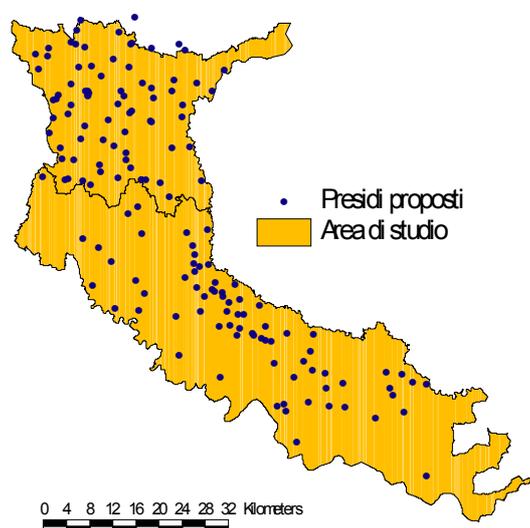


Fig.18 La rete di monitoraggio del livello freatico proposta

Tab.3 I 153 presidi di monitoraggio del livello freatico della rete proposta

ENTE	LOCALITA'	COMUNE	MONITORAGGIO	FREQUENZA
AEM	DISCARICA S.ROCCO (4)	CREMONA	Automatico	24 ore
AEM	DISCARICA S.ROCCO (6)	CREMONA	Automatico	24 ore
AEM	DEPURATORE (2)	CREMONA	Automatico	24 ore
DUGALI	CÀ DEL BOTTO	OLMENETA	Automatico	24 ore
DUGALI	OSSALENGO	CASTELVERDE	Automatico	24 ore
DUGALI	S.SILLO	CORTE DÈ FRATI	Automatico	24 ore
DUGALI	LOC.CASINO	CREMONA	Automatico	24 ore

*“Analisi critica degli attuali presidi di monitoraggio idrologico della Provincia di Cremona e dei sovrastanti bacini idrografici”*

DUGALI	CÀ DE SFRONDATI	VESCOVATO	Automatico	24 ore
DUGALI	LONGARDONE	SOSPIRO	Automatico	24 ore
DUGALI	CASAROLZO GEROLDI	DEROVERE	Automatico	24 ore
DUGALI	CÀ D'ANDREA-BROLPASINO	TORRE DÈ PICENARDI	Automatico	24 ore
DUGALI	CASTELFRANCO D'OGLIO	DRIZZONA	Automatico	24 ore
DUGALI	VIA FORNACE	ISOLA DOVARESE	Automatico	24 ore
DUGALI	S.LORENZO DEI PICENARDI	ISOLA DOVARESE	Automatico	24 ore
DUGALI	POZZO BARONZIO	TORRE DÈ PICENARDI	Automatico	24 ore
DUGALI	BREDA GUAZZONA	CÀ D'ANDREA	Automatico	24 ore
DUGALI	C.NA RAMAGLIE	PESSINA CREMONESE	Automatico	24 ore
DUGALI	RISORTA	GADESCO P.DELMONA	Automatico	24 ore
DUGALI	CÀ DEL FERRO	PERSICO DOSIMO	Automatico	24 ore
DUGALI	VILLASCO	PERSICO DOSIMO	Automatico	24 ore
DUGALI	VIGOLO	MALAGNINO	Automatico	24 ore
DUGALI	BREDAZZE	P.S.GIACOMO	Automatico	24 ore
DUGALI	CÀ DE FARINA	GADESCO P.DELMONA	Automatico	24 ore
VACCHELLI	BOCCA VECCHIA DI SORESINA	CUMIGNANO SUL NAV.	Automatico	24 ore
VACCHELLI	ARGINE NAVIGLIO MIRABELLO	CASALMORANO	Automatico	24 ore
VACCHELLI	PARTITORI CASc. MANCAPANE	CASTELVERDE	Automatico	24 ore
VACCHELLI	PONTE CAVALLARE	CASTELVERDE	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA RONCHE	GENIVOLTA	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA NUOVA	CUMIGNANO SUL NAV.	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA CAMPAGNOLA	SONCINO	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA BIONDI	TRIGOLO	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA BONANOME	GENIVOLTA	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA CASTELLO	SORESINA	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA CICOGNARO	GENIVOLTA	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA GOLETTA	CASTELVISCONTI	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA FIENILE	AZZANELLO	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA CASELLO	SORESINA	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA SERRAGAGLIA	SORESINA	Automatico	24 ore
<b>ENTE</b>	<b>LOCALITA'</b>	<b>COMUNE</b>	<b>MONITORAGGIO</b>	<b>FREQUENZA</b>
VACCHELLI	CASCINA OCHETTE	CASALMORANO	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA CAMPAGNA	CASTELVISCONTI	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA CÒ BIANCA	BORDOLANO	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA PALAZZOLO	CASALBUTTANO	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA MOLOSSO - DESERTO	PADERNO PONCHIELLI	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA CASELLA ROSSA	PADERNO PONCHIELLI	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA BOFFALORA	OLMENETA	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA RIPA	POZZAGLIO ED UNITI	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA CÒ MAGRA	CASALMORANO	Automatico	24 ore
VACCHELLI	CASCINA BOSCHETTO	CASALBUTTANO	Automatico	24 ore

*"Analisi critica degli attuali presidi di monitoraggio idrologico della Provincia di Cremona e dei sovrastanti bacini idrografici"*

VACCHELLI	CASCINA MANCAPANE	CASTELVERDE	Automatico	24 ore
VACCHELLI	A VALLE "PONTE DEI SOSPIRI"	AZZANELLO	Automatico	24 ore
VACCHELLI	A NORD CASCINA CÒ MAGRA	CASALMORANO	Automatico	24 ore
VACCHELLI	AD EST PADERNO PONCHIELLI	PADERNO PONCHIELLI	Automatico	24 ore
VACCHELLI	SOTTOPI. FRATA A NAVIGLIO	POZZAGLIO ED UNITI	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	ALBANO S. ALESSANDRO	ALBANO S. ALESSANDRO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	ALZANO LOMBARDO	ALZANO LOMBARDO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	ARCENE	ARCENE	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	ARZAGO D'ADDA	ARZAGO D'ADDA	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	BARIANO	BARIANO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	BARIANO	BARIANO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	BERGAMO	BERGAMO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	BERGAMO	BERGAMO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	BOLGARE	BOLGARE	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	BOLTIERE	BOLTIERE	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	BREMBATE	BREMBATE	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	BRIGNANO GERA D'ADDA	BRIGNANO GERA D'ADDA	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	CALCINATE	CALCINATE	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	CALVENZANO	CALVENZANO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	CANONICA D'ADDA	CANONICA D'ADDA	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	CAPRIATE S. GERVASIO	CAPRIATE S. GERVASIO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	CARAVAGGIO	CARAVAGGIO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	CARAVAGGIO	CARAVAGGIO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	CAROBBIO DEGLI ANGELI	CAROBBIO DEGLI ANGELI	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	CASTELLI CALEPIO	CASTELLI CALEPIO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	CASTELLI CALEPIO	CASTELLI CALEPIO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	CAVERNAGO	CAVERNAGO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	CENATE SOTTO	CENATE SOTTO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	CHIGNOLO D'ISOLA	CHIGNOLO D'ISOLA	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	CIVIDATE AL PIANO	CIVIDATE AL PIANO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	COLOGNO AL SERIO	COLOGNO AL SERIO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	COLOGNO AL SERIO	COLOGNO AL SERIO	Automatico	24 ore
<b>ENTE</b>	<b>LOCALITA'</b>	<b>COMUNE</b>	<b>MONITORAGGIO</b>	<b>FREQUENZA</b>
ARPA-sez.BG	CORTENUOVA	CORTENUOVA	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	CURNO	CURNO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	DALMINE	DALMINE	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	FARA GERA D'ADDA	FARA GERA D'ADDA	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	FILAGO	FILAGO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	FONTANELLA	FONTANELLA	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	FORNOVO S. GIOVANNI	FORNOVO S. GIOVANNI	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	GRASSOBBIO	GRASSOBBIO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	GRASSOBBIO	GRASSOBBIO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	GRUMELLO DEL MONTE	GRUMELLO DEL MONTE	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	ISSO	ISSO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	LALLIO	LALLIO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	LEVATE	LEVATE	Automatico	24 ore

*“Analisi critica degli attuali presidi di monitoraggio idrologico della Provincia di Cremona e dei sovrastanti bacini idrografici”*

ARPA-sez.BG	LEVATE	LEVATE	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	MARTINENGO	MARTINENGO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	MARTINENGO	MARTINENGO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	MISANO GERA D'ADDA	MISANO GERA D'ADDA	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	OSIO SOPRA	OSIO SOPRA	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	OSIO SOTTO	OSIO SOTTO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	PAGAZZANO	PAGAZZANO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	PALADINA	PALADINA	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	PALOSCO	PALOSCO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	PONTE S. PIETRO	PONTE S. PIETRO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	PONTE S. PIETRO	PONTE S. PIETRO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	PONTIROLO NUOVO	PONTIROLO NUOVO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	PUMENENGO	PUMENENGO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	SPIRANO	SPIRANO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	STezzANO	STezzANO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	SUISIO	SUISIO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	TELGATE	TELGATE	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	TERNO D'ISOLA	TERNO D'ISOLA	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	TRESCORE BALNEARIO	TRESCORE BALNEARIO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	TREVIGLIO	TREVIGLIO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	TREVIGLIO	TREVIGLIO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	URGNANO	URGNANO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	URGNANO	URGNANO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	VALBREMBO	VALBREMBO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	VERDELLINO	VERDELLINO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	VERDELLINO	VERDELLINO	Automatico	24 ore
ARPA-sez.BG	ZANICA	ZANICA	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	?	RIPALTA ARPINA	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	?	PADERNO PONCHIELLI	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	?	PIZZIGHETTONE	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	?	ACQUANEGRA CREMONESE	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	?	CORTE DÈ FRATI	Automatico	24 ore
<b>ENTE</b>	<b>LOCALITA'</b>	<b>COMUNE</b>	<b>MONITORAGGIO</b>	<b>FREQUENZA</b>
ARPA Lombardia	?	MEDOLAGO	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	?	BAGNOLO	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	?	CREMA	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	?	CREMA	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	?	MADIGNANO	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	?	CASTELLEONE	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	?	MOSCAZZANO	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	CASALETTO CEREDANO	CASALETTO CEREDANO	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	MORTINA	SONCINO	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	SONCINO	SONCINO	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	FONTANONE DI OFFANENGO	OFFANENGO	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	PADELLA	RIVOLTA D'ADDA	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	TRIVULZA	FONTANELLA	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	BARBATA	BARBATA	Automatico	24 ore

ARPA Lombardia	ROCCOLO	TREVIGLIO	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	MORENGO	MORENGO	Automatico	24 ore
ARPA Lombardia	STAGNO LOMBARDO	STAGNO LOMBARDO	Automatico	
ARPA Lombardia	POLESINE	GUSSOLA	Automatico	
CMPB	SONCINO	SONCINO	Automatico	24 ore
CMPB	CASIRATE D'ADDA	CASIRATE D'ADDA	Automatico	24 ore
CMPB	FARA GERA D'ADDA	FARA GERA D'ADDA	Automatico	24 ore
CMPB	TREVIGLIO	TREVIGLIO	Automatico	24 ore
CMPB	SERGNANO	SERGNANO	Automatico	24 ore
CMPB	ISSO	ISSO	Automatico	24 ore
CMPB	FORNOVO SAN GIOVANNI	FORNOVO SAN GIOVANNI	Automatico	24 ore
CMPB	CASALE CREMASCO	CASALE CREMASCO	Automatico	24 ore
Prov.Cremona	DISCARICA	CASTELLEONE	Automatico	24 ore

Nell'immediato futuro, per le misure dei livelli della rete di monitoraggio proposta, potrebbero essere utilizzati trasduttori di pressione con datalogger incorporati, programmando l'intervallo di misura a 24 ore.

Per i 132 pozzi e/o piezometri in cui aumentare la periodicità di monitoraggio, i costi aggiuntivi sarebbero dovuti all'acquisto e all'installazione del solo trasduttore di pressione con datalogger incorporato, che, nel paragrafo 1.8 si è visto essere compresi tra 1.500 € e 2.300 €. I costi complessivi di acquisto ed installazione dei trasduttori di pressione con datalogger incorporato per i 132 presidi esistenti sarebbero così compresi tra 198.000 € e 303.000 €.

Per la stima dei costi del lavoro, si ipotizza che il tempo medio necessario all'operatore per raggiungere il presidio e per scaricare i dati dal datalogger al computer portatile sia di 30 [min], pari al tempo impiegato per misurazione con freatimetro.

Si sono inoltre considerate le seguenti ipotesi:

- durante i mesi della stagione irrigua il dato viene scaricato con frequenza mensile; in tali mesi non si ha risparmio in termini di costi relativi al personale addetto alle misurazioni, ma comunque si hanno vantaggi dovuti al minor tempo di lavoro sulle misure di livello (i dati sono già inseriti nel computer con il giusto formato) e alla possibilità di accedere al database informativo dell'ente che gestirà e coordinerà l'intera rete, come verrà descritto successivamente;
- durante i mesi della stagione invernale, da ottobre a marzo, il dato misurato e registrato potrà essere scaricato dall'operatore anche una volta ogni due o tre mesi. In tal modo i costi mensili del personale scenderebbero da 7,5 - 10 [€/presidio] a 3,75 - 5 [€/presidio] per download bimestrali o addirittura a 2,5 - 3,4 [€/presidio] per download trimestrali.

Per ogni stazione di rilevazione il costo del lavoro degli operatori che scaricano dal datalogger il dato registrato sarebbe quindi inferiore di 22,5 - 40 [€/anno] rispetto ai costi annui attuali di rilevazione.

Come esempio consideriamo la gestione di un singolo ente, il Consorzio di Bonifica del Naviglio Vacchelli. Esso mensilmente monitora 30 piezometri, il costo attuale del personale addetto alla rilevazione del dato, secondo le ipotesi precedentemente effettuate, potrebbe quindi variare tra 2.700 [€/anno] e 3.600 [€/anno]. Installando i trasduttori di pressione con datalogger incorporato e scaricando i dati ogni tre mesi nei mesi invernali, il costo del personale addetto alla rilevazione del dato sarebbe di 1.800 – 2.400 [€/anno]; il risparmio di gestione varierebbe quindi tra 900 e 1.200 [€/anno]. In un intervallo temporale di 2 anni in tal modo il Consorzio di Bonifica del Naviglio Vacchelli ammortizzerebbe il costo di acquisto e installazione di un trasduttore di pressione con datalogger incorporato.

Se l'insieme degli enti gestori monitorasse manualmente tutti i 229 pozzi e/o piezometri di loro proprietà distribuiti attualmente sul territorio in esame con frequenza di lettura corrente (per gli enti che oggi eseguono il monitoraggio) e con la periodicità con cui la lettura è stata effettuata finché vi erano rilevazioni (per CPMB e ARPA Lombardia – sezione di Milano), i costi annuali dovuti al personale addetto alla rilevazione dati varierebbero tra 28.000 € e 37.000 €. Attualmente i costi annui di gestione del personale totale addetto alle 145 rilevazioni delle misure nell'area di studio è compreso tra 15.400 € e 20.400 €.

Se l'insieme degli enti gestori i cui presidi sono compresi nella rete di monitoraggio proposta, monitorasse in automatico e secondo le modalità sopra descritte tutti i 132 pozzi e/o piezometri di loro proprietà distribuiti attualmente sul territorio in esame, ed i 21 presidi da installare ex novo, i costi totali annuali dovuti al personale addetto alla rilevazione dati potrebbero arrivare ad essere compresi nell'intervallo 9.000 € - 12.000 €.

Rispetto alla situazione attuale, i costi totali annuali dovuti al personale addetto alla rilevazione dati potrebbero quindi essere, con la gestione proposta, inferiori di ben 6.400 – 8.400 €.

Nei 21 presidi di monitoraggio da inserire ex novo, i costi sarebbero dovuti all'acquisto e installazione del piezometro e del trasduttore di pressione con datalogger incorporato.

La semplicità della struttura del piezometro, già descritta nel paragrafo 1.7.2, si traduce in un conseguente costo non eccessivo, che può essere quantificato per ciascun piezometro nelle seguenti voci:

- Trasporto delle attrezzature
- Postazione della sonda sulle verticali di indagine
- Perforazione verticale a rotazione con carotaggio continuo
- Cassette catalogatrici del materiale prelevato attraverso i sondaggi

- Fornitura e posa di piezometro in PVC, rivestimento in TNT;
- Fornitura e posa di chiusini di protezione alla testa di piezometri;
- Fornitura di dreno in ghiaietto
- Spese generali e indagini

Dalla ricerca effettuata tra i prodotti offerti dai diversi rivenditori è risultato che i costi medi comprensivi relativi alle voci sopra elencate si aggira intorno ai 1.500 €.

A questo costo deve essere aggiunto l'onere per l'occupazione temporanea della aree e/o l'eventuale servitù. Per questo ed altri motivi è comunque opportuno cercare di evitare di interessare aree private, collocando i nuovi presidi in aree pubbliche o di pubblico accesso.

Non ci si allontana eccessivamente dal vero se si stima quindi che, per il posizionamento di un nuovo presidio di misurazione, i costi complessivi di acquisto strumenti ed accessori, e di installazione possa variare tra 3.000 € e 3.800 €. I costi complessivi di acquisto ed installazione dei piezometri e dei trasduttori di pressione con datalogger incorporato per i 21 presidi ex novo sarebbero così compresi tra 49.500 € e 66.300 €.

Riassumendo, i costi minimi dell'integrazione proposta, relativi all'acquisto ed installazione di piezometri e dei trasduttori di pressione con datalogger incorporato, potrebbero essere di circa 247.000. Si potrebbero però risparmiare annualmente, sul costo del personale addetto alle rilevazioni, circa 8.000 € rispetto alla situazione attuale e circa 25.000 € rispetto alla situazione in cui si monitorassero tutti i piezometri distribuiti sul territorio.

Lo scopo principale della proposta effettuata non è certamente quello della riduzione dei costi, che comunque, come si è dimostrato, non inciderebbero in modo notevole nella gestione economica dei singoli Enti.

Il coordinamento della rete di monitoraggio potrebbe essere effettuato dall'ARPA Lombardia, che dovrebbe gestire e controllare, in accordo con gli Enti proprietari dei presidi, l'acquisizione, la memorizzazione, l'elaborazione, la rappresentazione e la diffusione dei dati di livello freatico rilevati.

Nei sistemi informativi dell'ARPA Lombardia potrebbero così confluire continuamente, oltre ai dati di livello freatico, le altre informazioni relative ai fenomeni idrologici e territoriali, il cui confronto ed elaborazione diventerebbe strumento di conoscenza e di supporto alle decisioni in materia di programmazione e pianificazione idrologica e territoriale.

## **Parte IV**

### ***Conclusioni***

Potrebbe apparire banale ma è ancora necessario affermare, e qui ribadire, che una buona gestione dell'acqua territoriale non possa essere condotta in assenza di un efficace sistema che consenta la conduzione di un permanente bilancio idrologico, che, a sua volta, sia in grado di produrre serie di dati che rendano la realtà dei flussi, superficiali e sotterranei, sul suolo e nel sottosuolo.

Che l'acqua sia preziosa e non infinita e che debba essere utilizzata in modalità poste all'interno dei limiti di sostenibilità è opinione comune, universalmente condivisa e continuamente dichiarata. Non pare, invece, affermarsi, con sufficiente chiarezza, a che livello sia giunta la conoscenza della presenza di questa risorsa e della sua evoluzione nel tempo. Notevoli sono i documenti prodotti, ispirati dalla volontà di conservare integra questa risorsa, ma in tutti traspare la povertà di dati sufficientemente dettagliati.

In questo periodo, sulla scorta di una rinnovata tensione 'nel fare' della Pubblica Amministrazione – credo, sull'onda delle nuove competenze delegate dallo Stato ai poteri periferici, sono in fase di progettazione numerosi studi che hanno, per oggetto, azioni legate alla realizzazione di bilanci idrologici, e che, quindi, si propongono di rispondere alla domanda: “Come si può quantificare l'acqua che scorre sul territorio e nel sottosuolo?”.

Purtroppo si deve anche constatare che la maggior attenzione a questioni legate alla quantificazione dei volumi disponibili pare essere limitata alle acque superficiali. Anche la già citata Deliberazione 7/2002 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino del Po imposta le considerazioni sull'equilibrio del 'sistema fiume' considerando i soli flussi superficiali, quasi questi fossero cosa avulsa ed indipendente dalle correnti sotterranee.

E' invece evidente, non solo teoricamente ma anche nei fatti -dimostrati anche con procedimenti in tutto nuovi, come l'indagine termometrica proposta in uno studio quantitativo dell'interazione fiume-falda (Bobbi e Redaelli, 2003)- che vi è strettissima connessione tra la circolazione delle acque in superficie e nel sottosuolo, al punto che lo squilibrio di queste ultime è in grado di causare stati di crisi permanenti anche in fiumi di una certa importanza.

Ecco allora la nostra proposta di progettare una rete di monitoraggio quantitativo dei livelli e della loro evoluzione nel tempo della falda freatica nella zona della bassa pianura compresa tra i fiumi Adda ed Oglio.

Ne è scaturita un'indagine che ha individuato criteri per il dimensionamento di una rete di monitoraggio della falda freatica finalizzata alla valutazione della evoluzione quantitativa

nello spazio e nel tempo; criteri che sembrano ancora poco o per nulla affrontati in letteratura. Questo dimensionamento, ovviamente, è progettato nell’ambito delle azioni possibili, quindi in una proposta di equilibrato compromesso tra costi e benefici. In questo si è lavorato perché il progetto partisse dall’analisi critica dell’esistente e dalla formulazione di ipotesi di recupero di quanto in questo possa essere recuperabile, raggiungendo non solo lo scopo di ottimizzare risorse già impegnate, ma per dimostrare che la via migliore nello studio del territorio è il coordinamento, anche attraverso rimodulazioni di gestioni poco compatibili, di ogni iniziativa in grado di produrre dati significativi, riducendo così al minimo la necessità di nuovi investimenti.

Non sono poche, né irrilevanti, le iniziative esistenti nel campo del monitoraggio, anche se appaiono in gran parte affette da difetti di impostazione, a volte di non poco conto; domina fra tutti la sensazione che molte rilevazioni vengano realizzate – spesso con finanziamenti pubblici – senza poi essere seguiti da un utilizzo in qualche modo pratico dei dati prodotti; segno evidente la non continuità dei rilevamenti.

Non v’è nulla di più precario di un’attività che non produce utilità; se realizzata con pubblico denaro, la precarietà può facilmente preludere alla morte per esaurimento della causa che l’ha creata (riduzione dei finanziamenti, diverse scelte dell’Amministratore, ecc. ).

Si verificano anche sovrapposizioni di iniziative, figlie di una ripetizione di competenze, oppure sistemi di acquisizione dei dati dall’elevato costo di gestione, perché realizzati con inutili trasmissioni in continuo; cosa eccessiva se collegata ad un fenomeno di flusso caratterizzato da velocità di scorrimento verticale misurabili in centesimi di metro al giorno!

Dimostro, nel mio lavoro, che, con la realizzazione di soli 21 nuovi punti di rilevazione, è possibile creare una rete di monitoraggio in grado di coprire le esigenze di misura dell’evoluzione dei livelli freatici nella vasta area della bassa pianura lombarda compresa tra Adda ed Oglio.

A questi nuovi punti si aggiungono 132 presidi già esistenti e gestiti da enti vari, con i quali resta ‘soltanto’ necessario concludere un accordo, per rendere giornaliera la scansione dei dati rispetto a quelle attualmente eseguite ora: settimanale, decadica, quindicinale, mensile, trimestrale, semestrale.

Il compito non è impossibile, se condotto da un ente investito della necessaria autorità e che appare chiaramente essere l’Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente (ARPA), nella sua sezione che oggi ha acquisito tutte le competenze, e quindi l’autorità, dell’Ufficio Idrografico, una volta (nel periodo ‘pre-federalista’) braccio operativo decentrato del Ministero dei Lavori Pubblici.

Compito non impossibile anche perché la rilevazione proposta, che abbisogna di serie di dati continue ed omogenee ma non ‘in tempo reale’, può avvenire con memorie di massa

statiche autoalimentate, con acquisizione dati in tempi medio/lunghi, e quindi una riduzione delle spese di gestione. A tale risparmio si può aggiungere l'eliminazione di gran parte dei rimanenti 97 punti di rilevazione, che si è dimostrato essere troppo incompatibili con l'impianto previsto, se non palesemente inutili.

Il progetto, certo, non è a 'costo zero', ma è comunque necessario ed a costi tutto sommato poco rilevanti; senza questo monitoraggio, gran parte delle strategie condotte nell'ambito della 'gestione delle acque' restano malate di una zoppia originale, che ne renderà il cammino ed i risultati sempre incerti.

\* \* \*

## **BIBLIOGRAFIA**

AA VV, 1994, «Monitoring Requirements and Strategies», in *Water Budget Analysis on a Watershead Basis*, MNR, MOE, Cumming Cockburn Limited, Ontario, Canada

AA VV, 1995, *Cost analysis for the proposed rule of alternatives for groundwater monitoring at small, dry or remote Municipal Waste Solid Landfill*, United States Environmental Protection Agency, Technical Background Document, USA.

AA VV, 1995, «Databases groundwater monitoring in Ireland», in *The GSI Groundwater newsletter*, Geological Survey of Ireland Beggar Bush., ed. Donal Daly, Dublino, Irlanda.

AA VV, 1996, Contributo allo studio delle acque della provincia di Cremona, *Provincia di Cremona*.

AA VV, 1996, *Guideline for index well selection within a CBR funded network*, United States Ground-Water-Level Monitoring Task Group, USA.

AA VV, 1997, Manuale per la compilazione delle schede delle unità cartografiche, *Ente Regionale per lo Sviluppo Agricolo della Lombardia*.

AA VV, 1999, *Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi, Rapporto annuale 1998*, CNR - Gruppo nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche.

AA VV, 2000, *A groundwater monitoring strategy for Northern Ireland*, Environment and Heritage Service, Belfast, Irlanda del Nord.

AA VV, 2000, «Ground Water Monitoring», in *RFETS IMP Background Document*, cap.3, RFETS Organization, USA

AA VV, 2001, *Acque Sotterranee in Lombardia, Gestione Sostenibile di una Risorsa Strategica*, Regione Lombardia.

AA VV, 2001, Caratteristiche qualitative e quantitative degli acquiferi in provincia di Piacenza, *Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente dell'Emilia Romagna – sezione di Piacenza*.

AA VV, 2001, Combining the DK-model with results from the groundwater level monitoring network, *National Water Resources Model, Danimarca*.

AA VV, 2001, *Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia*, Regione Lombardia.

AA VV, 2001, *Ground Water Level Monitoring in Ohio*, *Ohio Department of Natural Resources - Division of Water, Ohio, USA*.

AA VV, 2002, *Final site-specific work plan for the passive diffusion bag sampler demonstration at Rickenbacker ANGB, Ohio*, United States Army Corps of Engineers, Air Force Center for Environmental Excellence Technology Transfer Division, Air Force Base Conversion Agency, USA.

AA VV, 2002, *Indagine Idrogeologica del Territorio Provinciale – Rete di Monitoraggio*, Provincia di Venezia.

AA VV, 2002, *Monitoraggio delle acque sotterranee della provincia di Bergamo*, *Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia, Provincia di Bergamo, CNR – sezione di Bergamo*.

AA VV, 2002, *Phoenix AMA Comprehensive Hydrologic Monitoring Plan*, *Arizona Departments of Water Resources, Phoenix, Arizona, USA*.

AA VV, 2002, *Rapporto sullo stato dell'ambiente in Lombardia nel 2001, parte IV - L'acqua*, *Regione Lombardia*.

AA VV, 2003, «Scope of work for site investigation work plan administrative order on consent U.S. EPA Docket n. 10-2003-0116», in *Attachment B, In the Matter of Yakima Hops*, United States Environmental Protection Agency, USA.

AA VV, 2003, *Strategic Plan for Groundwater Monitoring at the Waste Isolation Pilot Plant* United States Department of Energy, Carlsbad Field Office, New Mexico, USA.

AA VV, 2004, *Groundwater Level Monitoring Program*, Regional Water Services, Waterloo, Canada.

AA VV, 2004, *Water Level Monitoring Program of the Cretaceous Aquifers in the Southern Coastal Plain*, US Geological Survey and Lumber River Council of Governments, USA.

AA VV, *Groundwater Level Monitoring Basic Network*, Hungarian National Hydrological Basic Network, District Water Authorities, Budapest.

Beretta G.P., 1986, *Contributo per la stesura di una carta idrogeologica della Lombardia*, *Acque sotterranee*, n. 4, Milano.

Bobbi, Redaelli, 2003, *L'evoluzione del gradiente termico delle acque superficiali: il caso del fiume Oglio*, Politecnico di Milano, Milano.

Brown L., Larsen J., Fischlowitz-Roberts B., *Bilancio Terra*, gli effetti ambientali dell'economia globalizzata, *Earth Policy Institute*.

CEE, *Direttiva 2001/42/CE*.

CEE, *Direttiva 2000/60/CE*.

Ceradini S., Mondino M., *Telemonitoraggio delle acque sotterranee in aree vulnerabili da nitrati di origine agricola della regione Lazio*, Roma.

Cerbini G., 2004, *Monitoraggio e campionamento della acque sotterranee*, GEO-GRAPH, Segrate.

Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Po, *Deliberazione 7/2002*.

Domenico P.A., 1972, *Concepts and models in Groundwater Hydrology*, McGraw-Hill, New York.

Fisher S., Goodmann P.T., 2002, *Characterizing Groundwater quality in Kentucky: from site selection to published information*, National Monitoring Conference, National Water Quality Monitoring Council, 19-23 Maggio 2002, Madison, Wisconsin, USA.

Genovesi R., Bottau D., *Importanza della falda nell'alimentazione idrica delle colture nella pianura emiliano-romagnola*.

Henderson F., 2001, *An Integrated Water Management GIS for Broward County, Florida*, South Florida Water Management District, West Palm Beach, Florida, USA.

Kretsinger Grabert V.J., Cannon, D., Utley K., 2003, *Regional monitoring and data management: an essential foundation for integrated regional water management*, Woodland, California, USA.

Maracchi G., Bindi M., Conese C., Mariani L., 1991, *Guida Agrometeorologica della Lombardia, Ente Regionale per lo Sviluppo Agricolo della Lombardia, Collana di Agrometeorologia e Pedologia applicata*, Milano.

Loffi B., 1987, *Consorzio Irrigazioni Cremonesi Cento Anni*.

Loffi B., 1990, *Appunti per una Storia delle acque cremonesi*, Camera di Commercio, Industria, Artigianato ed Agricoltura di Cremona, Cremona.

Loffi B., 1986, *Catasto delle acque irrigue della provincia di Cremona*, Camera di Commercio, Industria, Artigianato ed Agricoltura di Cremona, Cremona.

Maathuis H., 2004, *Ground water level observation well networks in Canada*, Saskatchewan Research Council, Saskatoon, Canada.

Mariani L., Paolillo P.L., Rasio R., 2001, *Climi e Suoli lombardi*, Rubettino, Catanzaro.

Martinelli A., Nucci M., 2002, *La rete di monitoraggio in continuo della acque sotterranee, in Umbria*.

Mc Curry G.N, Horn, A., Paschall D., 2002, *Techniques for developing an effective field monitoring program for groundwater data in the South Platte Basin of Northeast Colorado*, Colorado Water Conservation Board, Denver, Colorado, USA

Ortuani B., *Processi di costruzione e validazione di modelli per la simulazione di sistemi acquiferi*, Tesi di Dottorato di Ricerca in Genio Rurale XV ciclo, Università degli Studi di Milano, Facoltà di Agraria a. a. 2002 – 2003, Milano.

Paolillo P.L., Acque Suolo Territorio, esercizi di pianificazione sostenibile, ed. *Franco Angeli/DIAP, Milano*.

Paolillo P.L., 1995, Spazi agricoli a Cusago: un esercizio analitico sul territorio extra-urbano: agricoltura, ambiente, paesaggio in un comune lombardo, ed. *Franco Angeli, Milano*.

Patton T., 2004, *Monitoring Montana: ground water assessment's statewide water-level monitoring network*, Montana Bureau Mines & Geology, Montana Tech of The University of Montana, Montana, USA.

Prinos S.T., Lietz A.C., Irvin R.B., 2000, *Design of a Real-Time Ground-Water Level Monitoring Network and Portrayal of Hydrologic Data in Southern Florida*, US Geological Survey, USA.

Provincia di Cremona – Settore Territorio e Pianificazione, 2003, *Piano Territoriale di Coordinamento*, D.C. 9 luglio 03, Cremona.

Regione Lombardia, 2003, Legge Regionale della Lombardia n. 7 del 4 giugno 2003, *pubblicata sul B.U.R. al n. 8 del 20 giugno 2003 1° Supp. Ord.*

Regione Lombardia – Assessorato al Territorio e Urbanistica, 2003, *Progetto di legge n.0351: Legge per il governo del territorio*, DGR n. 13687.

Regione Lombardia – Assessorato Agricoltura, 2004, *Piano Generale di bonifica, irrigazione e di tutela del territorio rurale*, delibera n.18126 del 9 luglio 2004.

Regione Lombardia, 2004, *Piano di Gestione del bacino idrografico*, previsto dalla L.R. 26/2003 art.45.

Ridley M.N., Johnson V.M, Tuckfield R.C., 1995, *Cost-effective sampling of groundwater monitoring wells*, Lawrence Livermore National Laboratory, San Jose, California, USA.

Rosso R., 1994, Effetto Serra, istruzioni per l'uso, ed. *Progetto Leonardo, Bologna, Italia*.

Schoorl J. M., Mappa G., 2003, *Il monitoraggio consapevole nella gestione delle risorse idriche*, giornata di studio – La strumentazione per la gestione degli acquedotti, 2 Marzo 2003, Napoli.

Wunsch D.R., Chormann F. C., Bennet D., 2003, *The New Hampshire ground-water monitoring network: limitations of monitoring by proxy*, New Hampshire Geological Survey Concord, New Hampshire, USA.

\* \* \*

## **INDICE**

### **Parte I**

#### **La necessità di tutelare la risorsa idrica sotterranea in Regione Lombardia**

1. ***L'importanza della comprensione dei fenomeni idrologici per un utilizzo sostenibile della risorsa idrica***
  - 1.1. Il ciclo dell'acqua: i principali fenomeni interessati (p. 1)
  - 1.2. Il bilancio idrologico ed il bacino idrografico: definizioni e principali caratteristiche (p. 2)
  - 1.3. La condizione di penuria idrica in alcune regioni della Terra (p. 4)
  - 1.4. L'utilizzo razionale delle acque sotterranee (p. 5)
  - 1.5. Le reti di monitoraggio idrologico: definizione e obiettivi specifici (p.7)
  - 1.6. Il monitoraggio del livello dell'acqua di falda freatica: obiettivi generali (p.8)
  - 1.7. Pozzi e piezometri di monitoraggio (p.9)
    - 1.7.1 *I pozzi di monitoraggio: le principali caratteristiche realizzative, di completamento e di sviluppo* (p.9)
    - 1.7.2 *I piezometri di monitoraggio: le principali caratteristiche realizzative, di completamento e di sviluppo* (p.11)
  - 1.8. Gli strumenti per la misura dei livelli (p.13)
2. **Il Governo del Territorio della Regione Lombardia**
  - 2.1. Gli strumenti di programmazione territoriale regionale ed il ruolo della Valutazione Ambientale Strategica (p. 16)
  - 2.2. Importanza e finalità di un'analisi critica dei presidi di monitoraggio idrologico nel governo del territorio lombardo in base alla normativa vigente (p. 18)
  - 2.3. La disponibilità della risorsa idrica nella Pianura Lombarda: lo stato dell'arte della conoscenza ed alcune possibilità di gestione (p. 19)

### **Parte II**

#### **L' inquadramento dell'area di studio: la pianura delle province di Bergamo e di Cremona**

3. ***Le caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche dei territori del bacino idrografico Adda - Oglio***
  - 3.1. *La struttura geologica della pianura lombarda* (p. 23)
  - 3.2. *Le principali caratteristiche idrogeologiche del bacino Adda - Oglio* (p. 24)
  - 3.3. *Le principali caratteristiche geomorfologiche della provincia di Cremona* (p. 26)
4. **Le caratteristiche climatiche e la loro influenza sull'alimentazione idrica delle colture**
  - 4.1. Alcune generalità sulle caratteristiche climatiche della Provincia di Cremona (p.31)

- 4.2 L'importanza della falda nell'alimentazione idrica delle colture nella pianura lombarda (p.32)
- 4.3 Alcune generalità sulla rete irrigua in Provincia di Cremona (p.33)

### **Parte III**

## **Identificazione ed elaborazione di indici e indicatori sintetici, calcolabili sulla base dell'informazione esistente, per la valutazione della disponibilità idrica e del rischio idrologico in falda freatica**

### **5. L'analisi del monitoraggio idrologico nell'area studio: indici e indicatori sintetici disponibili**

- 5.1. Il monitoraggio per la quantificazione della disponibilità del livello dell'acqua di falda freatica (p.36 )
- 5.2. L'identificazione di indici sintetici per la valutazione della disponibilità idrica e del rischio idrologico in falda freatica (p. 37)
  - 5.2.1 *I presidi di monitoraggio del livello freatico in Provincia di Cremona e nei sovrastanti bacini idrografici* (p. 38)
    - 5.2.1.1 *Le modalità di gestione del Consorzio di Bonifica Dugali* (p.39 )
    - 5.2.1.2 *Le modalità di gestione del Consorzio di Bonifica Naviglio Vacchelli* (p.40)
    - 5.2.1.3 *Le modalità di gestione della Provincia di Cremona* (p.41 )
    - 5.2.1.4 *Le modalità di gestione dell'AEM Cremona* (p.41 )
    - 5.2.1.5 *Le modalità di gestione del l'ARPA Lombardia – sezione di Milano* (p.42 )
    - 5.2.1.6 *Le future modalità di gestione dell'AIPO* (p. 43)
    - 5.2.1.7 *Le modalità di gestione del Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca e dell' ARPA Lombardia – sezione di Bergamo* (p.44 )
  - 5.2.2 *I presidi di monitoraggio del livello freatico attualmente esistenti e la loro densità relativa all'area della pianura delle province di Bergamo e Cremona* (p.45 )
  - 5.2.3 *La definizione dei limiti dei diversi settori interni all'area di studio e la loro classificazione in funzione di due indici sintetici: il rapporto Prelievi/Ricarica ed il Degrado* (p.49 )
  - 5.2.4 *L'importanza della capacità protettiva dei suoli nella scelta del posizionamento dei presidi di monitoraggio del livello freatico* (p.59 )
  - 5.2.5 *L'importanza della direzione principale di flusso sotterraneo nella scelta del posizionamento dei presidi di monitoraggio del livello freatico* (p. 61)

### **6. Proposta di integrazione della rete attuale di monitoraggio del livello freatico nelle province di Cremona e di Bergamo**

- 6.1 La quantificazione del grado di necessità di monitoraggio all'interno dell'area di studio (p.62)
- 6.2 La scelta e la definizione dei presidi con cui costituire la rete di monitoraggio del livello freatico nelle province di Cremona e di Bergamo (p.64)
- 6.3 Le possibili modalità di gestione della rete di monitoraggio proposta ed una

prima analisi dei costi dell' integrazione suggerita (p.68)

**Parte IV**

**Conclusioni** (p.77)

**Riferimenti bibliografici** (p. 80)

\* \* \*