



INTERREG III B MEDOC
BASSINS VERSANTS MÉDITERRANÉES
Guida Metodologica

INDIVIDUAZIONE DI RISORSE IDRICHE ALTERNATIVE

Progetto Pilota



Cuencas Fluviales Mediterráneas

Μεσογειακές Υδρολογικές Λεκάνες

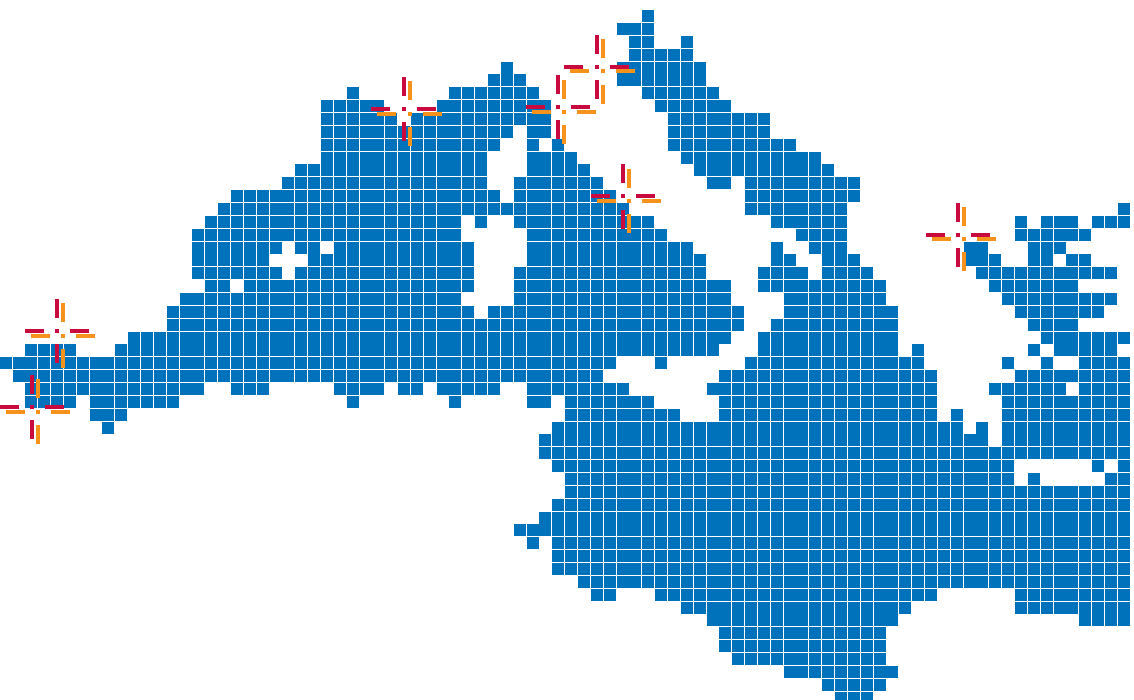
*Programme de coopération pour la gestion de l'eau
dans les territoires du bassin méditerranéen*

المتحدة المتوسطية الاحواض المائية

Bacini Idrografici Mediterranei



Conseil Régional Provence Alpes Côte d'Azur	(Chef de file)
Anatoliki S.A	(partner)
Junta De Andalucia	(partner)
Région Emilie-Romagne	(partner)
Région Lazio	(partner)
Province de Lucca	(partner)
Région de Tanger-Tétouan	(partner)



Présentation du chef de file

De par leurs organisations spatiales et leurs caractéristiques naturelles, les régions méditerranéennes sont touchées par les mêmes problématiques en matière de gestion de l'eau: risques d'inondation, pénurie estivale, compétition entre plusieurs secteurs d'activités (urbain, agriculture, tourisme, industrie...), dégradation des milieux aquatiques en raison de la pollution et des périodes de basses eaux en été. Ces problématiques sont fortement corrélées à celles de l'aménagement du territoire et du développement économique: imperméabilisation des sols et demande croissante en eau en raison du développement urbain, extension des activités humaines en zones inondables, forte pression anthropique et difficile partage de la ressource en eau (plus particulièrement en été) entre l'agriculture, le tourisme et les milieux aquatiques, etc etc etc. Face à ces problématiques similaires, chaque région, en fonction de son histoire, a développé ses propres pratiques institutionnelles.

Aujourd'hui, à l'échelle européenne, le bassin versant constitue l'entité territoriale à partir duquel se structure la réflexion dans le domaine de la gestion de l'eau. En effet, il constitue un cadre territorial cohérent pour définir une gestion aussi bien qualitative (lutte contre la pollution, protection des milieux aquatiques) que quantitative (gestion du risque d'inondation, répartition de la ressource entre les différents usagers) de l'eau.

A partir de ces constats, l'objectif général est d'engager une réflexion commune sur cette problématique et de définir un cadre méthodologique cohérent permettant aux autorités d'établir un corpus commun d'orientations dans la mise en œuvre d'une gestion durable des bassins-versants en régions méditerranéennes. A travers l'analyse des outils et des expériences des partenaires méditerranéens, l'enjeu est de démontrer aux autorités qu'il est nécessaire d'identifier une démarche de gestion de ces territoires prenant en compte à la fois les problématiques d'aménagement du territoire (développement économique, organisation de l'espace) et de gestion de l'eau. Cette démarche tend à démontrer que ces régions présentent des spécificités naturelles et socio-économiques qu'il est nécessaire de prendre en compte dans la formulation des politiques européennes.

Concrètement, le projet a abouti au développement de projets pilotes au partage d'outils méthodologiques consignés au sein d'un guide de bonne pratique. Ce document aura vocation à être diffusé auprès des partenaires du projet puis à un large public.

De plus, les différentes rencontres entre partenaires locaux et internationaux ont permis une mise en réseau des professionnels, techniciens, élus concernés par ces préoccupations.

Maintenant, l'ensemble de ces acquis issus d'échanges d'expériences seront valorisés et testés sur un site pilote d'un partenaire issu d'un pays tiers méditerranéen.

La gestione ottimale delle risorse idriche è una sfida importante sia nel presente che nel futuro più prossimo, e tra le azioni da mettere in campo utili per vincere questa sfida si colloca certamente il reperimento di risorse alternative a quelle attualmente in uso.

Da questa considerazione trae spunto il progetto pilota qui di seguito descritto, che è stato svolto dal partner Regione Emilia-Romagna nell'ambito del progetto europeo Interreg IIIB Medocc "Bassins Versants Méditerranéens". In questo progetto si è trattato il tema della gestione della risorsa idrica nei paesi mediterranei, che per loro collocazione geografica sono accomunati da una serie di problematiche relative proprio alla quantità ed alla qualità di risorsa disponibile.

Il progetto pilota ha visto la realizzazione dell'obiettivo posto: per cui, attraverso uno studio geologico ed idrogeologico reso possibile anche dalla gran mole di dati e conoscenze già disponibili sul nostro territorio, si è individuato un acquifero prospiciente il fiume Po in cui sarebbe possibile reperire volumi significativi di risorsa idrica sotterranea.

I risultati ottenuti sono importanti anche dal punto della metodologia seguita, che è stata illustrata e condivisa con gli altri partner europei, sviluppando così in pieno lo spirito di collaborazione e di crescita comune proprio del progetto Interreg.

Da ultimo si sottolinea che la realizzazione di questo progetto pilota ha beneficiato non solo dei finanziamenti comunitari, ma anche di un impegno diretto sia da parte della Regione che di soggetti privati coinvolti nella gestione della risorsa idrica.

Giuseppe Bortone
Rappresentante Legale del Progetto per la Regione Emilia-Romagna
Direttore Generale all'Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa

A cura di

Paolo Severi⁽¹⁾ e Luciana Bonzi⁽¹⁾

Autori

Paolo Severi⁽¹⁾, Luciana Bonzi⁽¹⁾, Monica Avanzini⁽²⁾, Giovanni Martinelli⁽³⁾,
Fabio Carlo Molinari⁽¹⁾, Pier Francesco Sciuto⁽¹⁾, Cristina Voltolini⁽⁴⁾

Si ringraziano per la collaborazione prestata e per i dati forniti:

Servizio Tecnico Bacini degli affluenti del Po - Regione Emilia-Romagna

Servizio Ambiente - Provincia di Parma

Servizio Ambiente - Provincia di Reggio-Emilia

Comune di Boretto, Comune di Brescello, Comune di Gualtieri, Comune di Guastalla,

Comune di Luzzara, Comune di Poviglio

Progetto grafico

Giorgio Morara

Coordinamento editoriale

Angela Angelelli⁽¹⁾, Simonetta Scappini⁽¹⁾

Pubblicazione a cura di



Responsabile Raffaele Pignone

Stampa

Eliofototecnica Barbieri, Parma

⁽¹⁾ Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna

⁽²⁾ Engineering Geology - Milano

⁽³⁾ ARPA Emilia-Romagna, Sezione Provinciale di Reggio Emilia

⁽⁴⁾ ENIA spa

INDICE

	Abstract	8
	Introduzione	11
1.	Inquadramento	15
1.1	Idrografia	15
1.2	Geologia	15
1.3	Parametri idrogeologici	20
2.	Piezometria	23
2.1	Rapporti fiume falda	24
3.	Aspetti qualitativi	29
3.1	Isotopia	35
4.	Analisi dei prelievi	39
4.1	I prelievi dal primo acquifero confinato	39
5.	Modello di flusso delle acque sotterranee	43
5.1	Modello di flusso in regime stazionario	44
5.2	Modello di flusso in regime transitorio	50
5.3	Bilanci idrici sotterranei	52
5.4	Scenari futuri	52
5.5	Considerazioni sulla sostenibilità ambientale dei prelievi da falda	57
6.	Uso della risorsa	59
6.1	Il trattamento delle acque nel campo pozzi di Luzzara	59
7.	Conclusioni	61

Abstract

Under the European project Interreg IIIB MEDOCC, entitled Bassins Versants Méditerranées (BVM), Regione Emilia-Romagna has carried out a study aimed at identifying new water resources within its territory. The need to do so became evident in the light of difficulties encountered year after year in meeting the ever-increasing demand for water from various consumer categories, given continuing decreases in resource availability. In tandem therefore with a campaign to increase awareness of the need to save water, the Water Protection Plan (PTA), approved by Emilia-Romagna Regional Authority as the main planning tool for the protection and utilization of water resources, highlights the need to improve our knowledge of aquifers which to date have been under-exploited. These are located along the course of the River Po, a large section of which flows through Emilia-Romagna.

One of the objectives of the above project is to define a working method that can be applied to all areas having similar characteristics and problems as the area examined under this particular project.

The study area chosen is located in the north-west area of the Region, straddling the provinces of Parma and Reggio Emilia. Agriculture constitutes the prevalent production activity in this area and as a result population density here is decidedly lower compared the strip of land along the Via Emilia, where most towns and cities, not to mention centres of industry, are located. Despite the presence of many wells, there is scant exploitation of groundwater, as for irrigation purposes farmers mostly use surface water drawn from a highly-developed network of irrigation ditches found across the region. The area benefits from the presence of the River Po which, through direct hydraulic links to the sandy aquifers that follow its course, guarantees groundwater recharge especially when the river is in spate.

The main focus of the hydrogeological study which forms the basis of the project is the most superficial of Po plain aquifers, named A1. It is a largely confined aquifer (and, as such, protected from the surface) which extends over a large area and achieves average thicknesses of 25-30 m. The geometry of aquifer A1 has been reconstructed with great precision thanks to a highly-developed grid of geological cross-sections. To reconstruct the piezometric surface, a monitoring network calibrated for the aquifer in question was set up. Some of the network's piezometers were fitted with probes to measure the water level hourly for an entire year. This type of monitoring has proved extremely valuable, improving our understanding of the dynamics of the river-aquifer relationship: it has enabled us to ascertain that when the Po is low, it exercises a pronounced draining effect on the uppermost aquifer. The situation changes when the river is in spate, as it exerts considerable thrusting pressure on the aquifer, which is thus recharged with large quantities of water. A further advantage of such close proximity to the river is that it not

only ensures aquifer recharge, but enables mitigation of any pollutant load deriving from the Po by means of riverbank filtration.

Once the dynamics of river-aquifer exchange were clear and all the parameters required to calculate the groundwater balance of the study area had been collected, it was decided to create a groundwater flow model in order to summarize data, but also for the purpose of water resource planning. A stationary model was implemented for the entire study area and a non-stationary model for a smaller area deemed the most suitable for potential abstraction. This made it possible to simulate the effects produced by the introduction of a new network of wells on the river-aquifer system. The findings of the project indicate that the study area could potentially yield approximately 4-6 million m³ of water per annum which, if treated and used as potable water, could supply around 30-40 thousand consumers, without any detrimental effect on the aquifer or the River Po.

Introduzione

Quanto segue descrive i lavori svolti per la realizzazione del progetto pilota che la Regione Emilia-Romagna ha sviluppato, come partner, nell'ambito del Progetto Europeo Interreg IIIB MEDOCC, denominato Bassins Versants Méditerranées (BVM).

Tale lavoro ha beneficiato in modo deciso, sia in fase di progettazione sia durante il suo svolgimento, di tutti gli scambi di pareri e informazioni avuti con gli altri partner del progetto Bassins Versants Méditerranées durante i seminari transnazionali effettuati.

Il progetto pilota riguarda uno studio delle acque sotterranee finalizzato alla ricerca di risorse idriche alternative a quelle attualmente in uso. L'individuazione, la qualificazione e la valutazione di un possibile utilizzo di queste risorse alternative è diventata fondamentale viste le evidenti variazioni climatiche in atto e i conseguenti problemi legati alla gestione della risorsa idrica.

In relazione alle conoscenze già disponibili sulle acque sotterranee nella pianura emiliano-romagnola, si è scelta come area per lo sviluppo del progetto pilota una parte di pianura posta nel settore nord occidentale della regione. Qui sono infatti ubicati degli importanti acquiferi attualmente non molto utilizzati, alimentati direttamente dal fiume Po.

Come indicato in **Figura 1**, l'area di studio è principalmente compresa tra le Province di Reggio Emilia e di Parma, ma si estende anche nella confinante Regione Lombardia; complessivamente l'area di studio copre una superficie di circa 1.350 chilometri quadrati.

La Regione Emilia-Romagna ha di recente approvato il suo Piano di Tutela delle Acque, (di seguito indicato come PTA), che è lo strumento fondamentale di pianificazione della risorsa idrica, realizzato ai sensi della legislazione sulle acque italiana (decreto legislativo 152/1999) ed europea (Direttiva 2000/60). L'obiettivo principale del Piano è quello di intraprendere le azioni di tutela e risanamento che possano permettere di classificare al 2016 i corpi idrici superficiali e sotterranei in uno stato ambientale definito "buono". A tal fine il Piano individua una serie di norme mirate alla tutela sia qualitativa che quantitativa della risorsa.

Lo stesso Piano di Tutela individua anche degli studi da realizzare attinenti a specifiche tematiche che si è ritenuto necessario approfondire; lo sviluppo di questo progetto pilota, elaborato nel progetto europeo BVM, è proprio indicato tra gli studi da intraprendere citati nel Piano (studi e ricerche sugli emungimenti di acqua dall'acquifero prospiciente il Po).

Per lo sviluppo di questo studio si sono coinvolti sin da subito una serie di enti competenti nella gestione della risorsa idrica: il Servizio Tutela e Risanamento della Risorsa Acqua della Regione Emilia-Romagna (competente per la redazione del Piano di Tutela delle Acque), il Servizio Tecnico dei Bacini Enza, Panaro e Secchia della Regione Emilia-Romagna (competente per il rilascio delle concessioni dei pozzi), le Province di Parma e

Reggio Emilia, l'Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente (ARPA) dell'Emilia-Romagna, ed ENIA spa, l'ente gestore della risorsa idrica per il territorio in esame.

In particolare la società ENIA ha collaborato mettendo a disposizione il proprio personale tecnico, alcune centraline per il monitoraggio in continuo del livello dell'acqua in alcuni pozzi, ed effettuando numerose analisi sulla qualità delle acque sotterranee.

Lo studio si è avvalso di una gran quantità di conoscenze geologiche e idrogeologiche acquisite dagli enti coinvolti in questo progetto in decenni di lavori: senza questi dati lo studio non sarebbe stato di fatto possibile. Per lo sviluppo del progetto questi dati sono stati ulteriormente approfonditi, grazie ai finanziamenti sia comunitari che regionali. Con questi finanziamenti sono state realizzate delle ulteriori indagini, è stato incaricato del personale esperto nella realizzazione di questo tipo di studi ed è stato realizzato questo volume.

Come già detto, l'obiettivo di questo progetto consiste nell'individuare delle risorse idriche alternative a quelle in uso e valutarne il possibile utilizzo; a tal fine ci si è basati sulle seguenti considerazioni.

I più importanti centri di prelievo idrico da falda della Regione Emilia-Romagna sono grosso modo allineati lungo la direttrice della Via Emilia, dove da sempre è avvenuto il principale sviluppo urbano e industriale di questa Regione.

Le falde interessate da questi prelievi sono costituite dagli acquiferi delle conoidi dei fiumi appenninici, che negli ultimi decenni sono state intensamente sfruttate a supporto dello sviluppo stesso della Regione Emilia-Romagna. Nel tempo i prelievi operati in queste zone hanno indotto importanti abbassamenti del livello delle acque nel sottosuolo, e una forte subsidenza, che ha toccato punte massime fino a 5 centimetri all'anno di abbassamento del suolo nella pianura bolognese.

Il settore più a nord della pianura emiliano-romagnola ha invece una vocazione agricola; i pozzi sono sì presenti, ma il prelievo complessivo dalle falde è molto più basso rispetto a quello della zona a sud, anche perché a fini irrigui vengono usate principalmente le acque di superficie. Gli acquiferi presenti in questa zona non sono più costituiti dalle conoidi appenniniche, ma dai depositi sedimentati nel tempo dal fiume Po, che entrando in contatto con essi li alimenta. Si tratta di acquiferi molto estesi arealmente e, per i motivi sopra detti, poco sfruttati.

Il minor sfruttamento degli acquiferi padani rispetto a quelli appenninici è evidente dai monitoraggi effettuati negli anni: la piezometria è infatti decisamente meno depressa e la subsidenza si mantiene su valori molto più bassi di quelli nelle conoidi.

Sulla base di queste considerazioni per individuare delle risorse idriche alternative si è pensato di rivolgere l'attenzione agli acquiferi del Po, e in particolare a quelli a diretto contatto con esso, in modo tale da poter usufruire più rapidamente della grande

disponibilità idrica di questo fiume. Si tenga presente che la portata media del Po è di oltre 1.500 metri cubi al secondo, mentre la portata del fiume Reno (il maggiore dei fiumi appenninici), è di 57 metri cubi al secondo.

Il metodo di lavoro scelto è stato quello di realizzare un modello di flusso delle acque sotterranee che permettesse di ottimizzare tutte le informazioni disponibili, e di formulare dei possibili scenari di utilizzo della risorsa individuata in modo sostenibile dal punto di vista ambientale.



Figura 1 - ubicazione dell'area di studio

1. Inquadramento

Il territorio in esame ricade principalmente nel settore più a nord della Provincia di Reggio Emilia, interessa anche parte della limitrofa Provincia di Parma, e una piccola porzione della Provincia di Mantova, ubicata a nord del Po, nella confinante Regione Lombardia. La superficie è di circa 1.350 chilometri quadrati (**Figura 2**).

1.1 Idrografia

Il fiume Po attraversa centralmente l'area di studio per un tratto complessivo di circa 45 km dove la sua portata media è di 1.560 m³/s.

A sud del Po il reticolo idrografico è costituito dai torrenti di provenienza appenninica: a occidente il Parma e l'Enza, nel settore orientale il torrente Crostolo (**Figura 2**). Le portate medie a chiusura di bacino di questi tre torrenti sono di due ordini di grandezza inferiori rispetto a quelle del Po (**Tabella 1**), nel quale sfociano.

Sono inoltre presenti alcuni canali (fra cui il principale è il Derivatore Parmigiana-Moglia) che prelevano acqua dal Po e la distribuiscono nella pianura emiliana a fini irrigui. Immediatamente a sud del Po, nella zona golenale, si individua una serie di laghi derivati dalla attività estrattiva di sabbie. A nord del Po, al margine est dell'area studiata, è presente la confluenza del fiume Oglio.

1.2 Geologia

La seguente descrizione è rivolta in modo esclusivo alla parte emiliana della zona in studio, dato che solamente in questa porzione si è sviluppato il modello di flusso delle acque sotterranee che verrà illustrato di seguito.

Superficie

L'area di studio è caratterizzata da terreni di età olocenica della piana alluvionale costruita dagli apparati fluviali appenninici e dal fiume Po. Si tratta di depositi a granulometria variabile da limi argillosi prevalenti, sino alle sabbie più o meno limose. Queste ultime, in particolare, si rinvencono nelle vicinanze dei principali corsi d'acqua appenninici, lungo i paleoalvei e nella fascia meandreggiante del fiume Po.

Sottosuolo

L'approccio metodologico allo studio di sottosuolo è partito con l'analisi dei molti dati stratigrafici presenti nell'area in esame, relativi a pozzi per acqua, sondaggi e altre indagini geognostiche appartenenti alla banca dati del Servizio Geologico, Sismico e dei

Suoli (di seguito SGSS) della Regione Emilia-Romagna. A questi dati si sono poi aggiunti alcuni sondaggi a carotaggio continuo perforati appositamente per verificare le informazioni già disponibili. In questi sondaggi sono state anche realizzate delle datazioni al ^{14}C sui sedimenti campionati, finalizzate alla corretta correlazione delle unità geologiche di sottosuolo qui presenti.

In seguito è stata creata una fitta rete di sezioni geologiche che correlano nel sottosuolo le unità idrostratigrafiche riconosciute nella pianura emiliano-romagnola e descritte nello studio realizzato dal SGSS in collaborazione con l'ENI-divisione AGIP "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna" (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Dall'interpretazione e correlazione delle sezioni geologiche è stato possibile produrre delle mappe tematiche il cui scopo è quello di mostrare tramite isolinee lo spessore cumulativo delle sabbie (isopache), così come il tetto di ogni singolo corpo sabbioso individuato (isobate).

Le sezioni geologiche realizzate mostrano due corpi sabbiosi principali costituiti dai sedimenti del fiume Po, separati da depositi prevalentemente limosi e argillosi di piana inondabile.

I corpi sabbiosi hanno forma tabulare e occupano per la quasi totalità l'area di studio. Questi corpi rappresentano le porzioni sommitali di due unità stratigrafiche del sottosuolo emiliano-romagnolo, note come A1 (la superiore) e A2 (l'inferiore).

Il principale oggetto di questo studio è l'acquifero costituito dal corpo sabbioso posto al tetto dell'unità A1. Questo acquifero nell'area indagata va da pochi metri dal piano campagna fino a circa 20-25 m di profondità (**Figura 3**); mentre il suo spessore è mediamente di 25-30 metri (**Figura 4**). Si seguito questo acquifero viene denominato semplicemente Acquifero A1.

Come è possibile notare dalla mappa delle isobate di tetto (**Figura 3**) e dalla sezione geologica B-B' (**Figura 5**) avvicinandosi al fiume Po il tetto dell'acquifero A1 diventa su-baffiorante. In questa fascia, larga circa 2-3 km, l'acquifero A1 è freatico e raggiunge spessori ragguardevoli (35-40 m). La geometria dell'acquifero A1 è ben visibile lungo la sezione A-A' che corre poche centinaia di metri a sud del fiume Po. Va sottolineato, inoltre, che l'alveo del Po in ampi tratti del suo corso, incide le sabbie dell'acquifero A1 per alcuni metri, entrando così in connessione idraulica con l'acquifero stesso.

Nel settore meridionale, dove il tetto giace a circa 20-25 m dal piano campagna, l'A1 è in condizioni di acquifero confinato.

Proseguendo verso sud, l'acquifero A1 diminuisce gradualmente di spessore, fino a raggiungere potenze esigue (4-5 m) (**Figura 4**), chiudendosi all'interno di depositi fini limoso-argillosi di piana inondabile che fungono da acquitardi.

L'unica zona dove i depositi sabbiosi padani di A1 si amalgamano senza soluzione

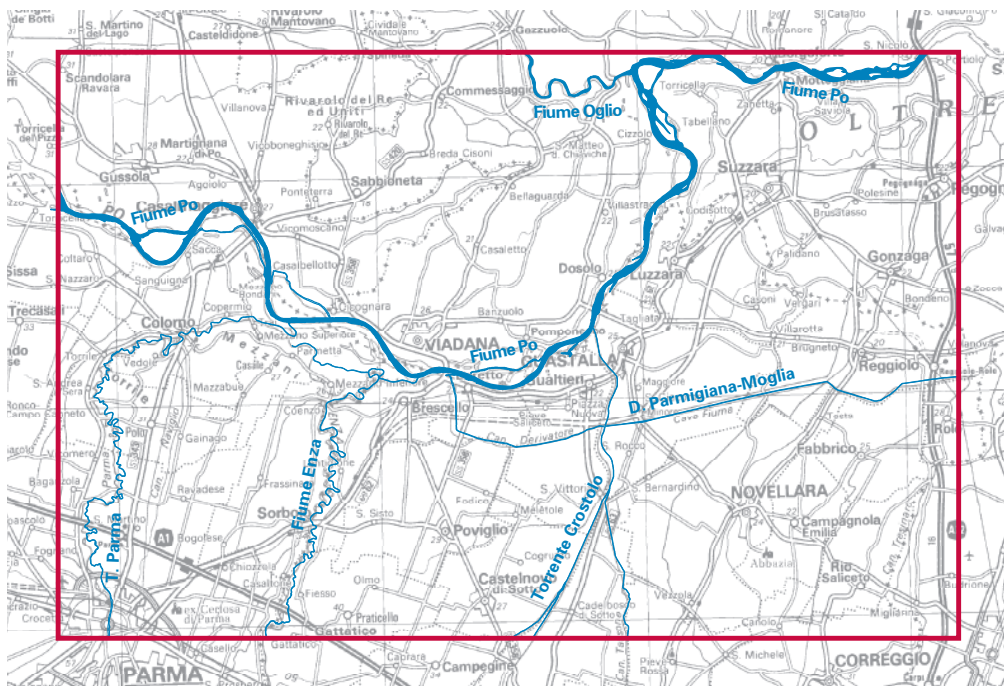


Figura 2 - inquadramento territoriale

Fiume Po	1560.00
Fiume Enza	12.10
Torrente Parma	11.30
Torrente Crostolo	3.70
Fiume Oglio	137.00

Tabella 1 - portate medie dei principali corsi d'acqua presenti nell'area di studio (m³/s)

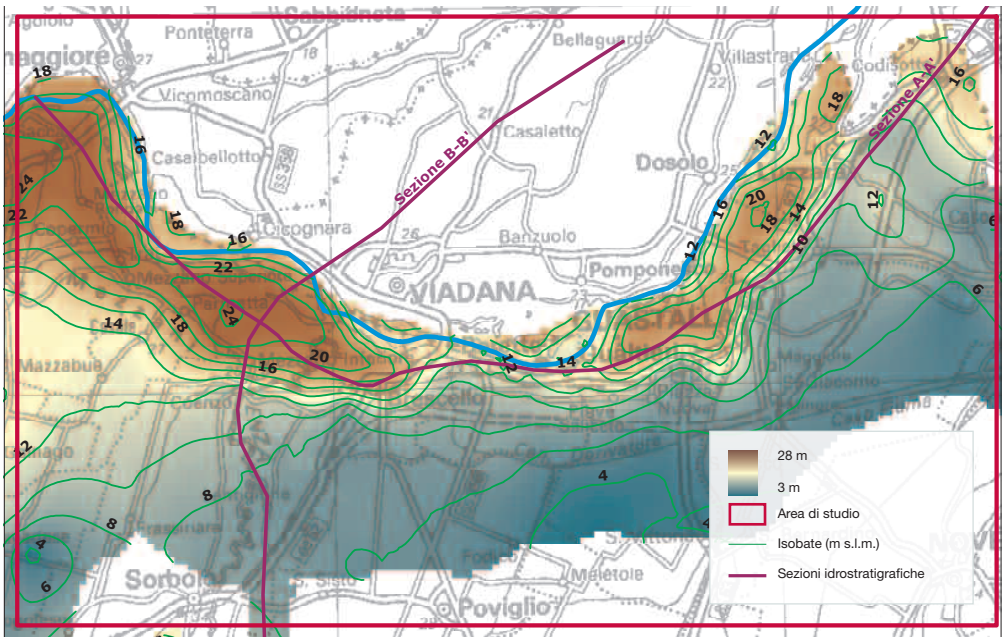


Figura 3 - mappa delle isobate di tetto del complesso acquifero A1

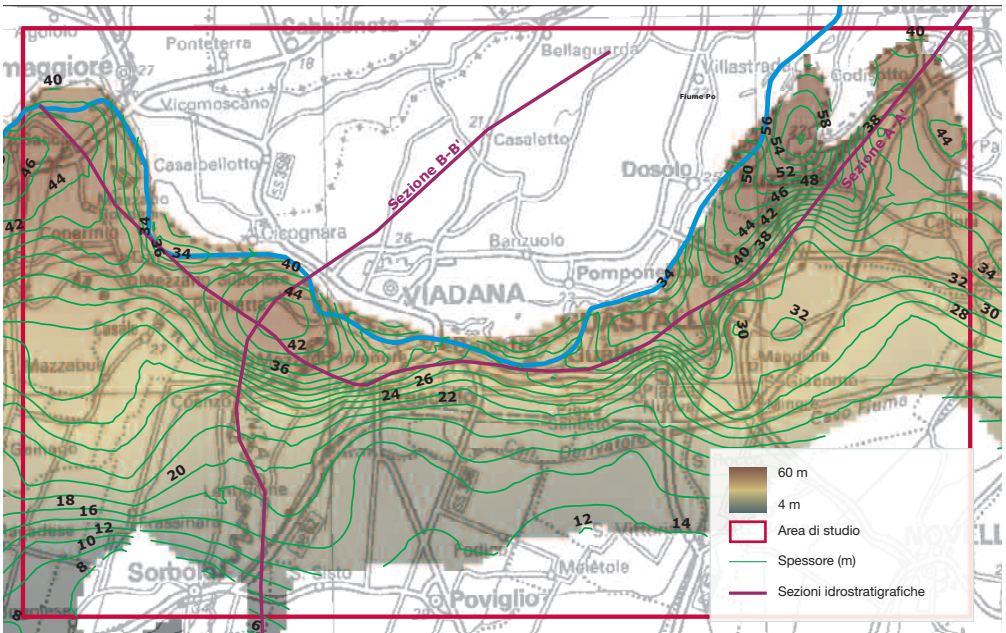


Figura 4 - mappa delle isopache del Complesso Acquifero A1

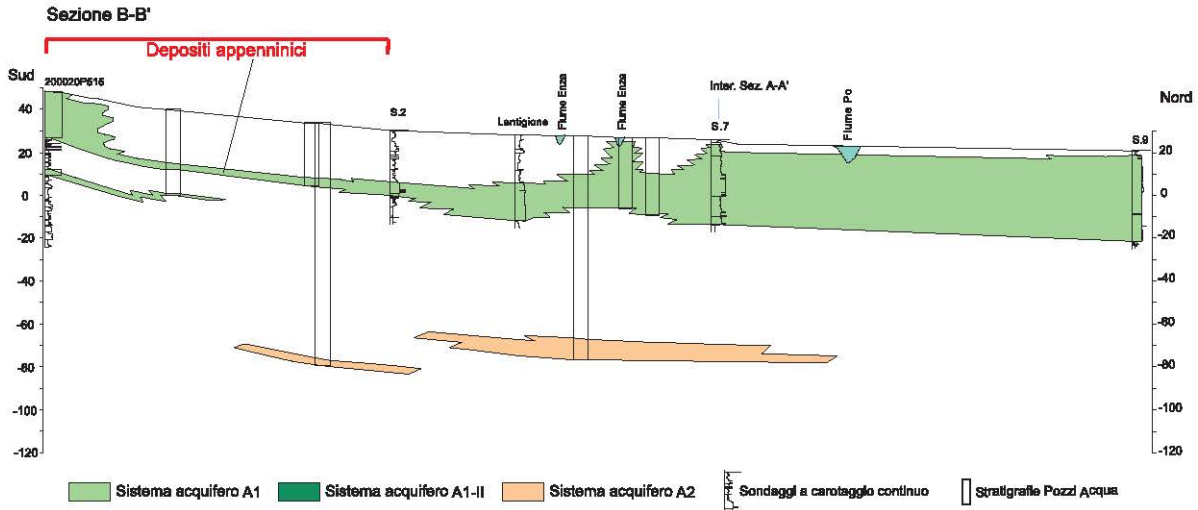
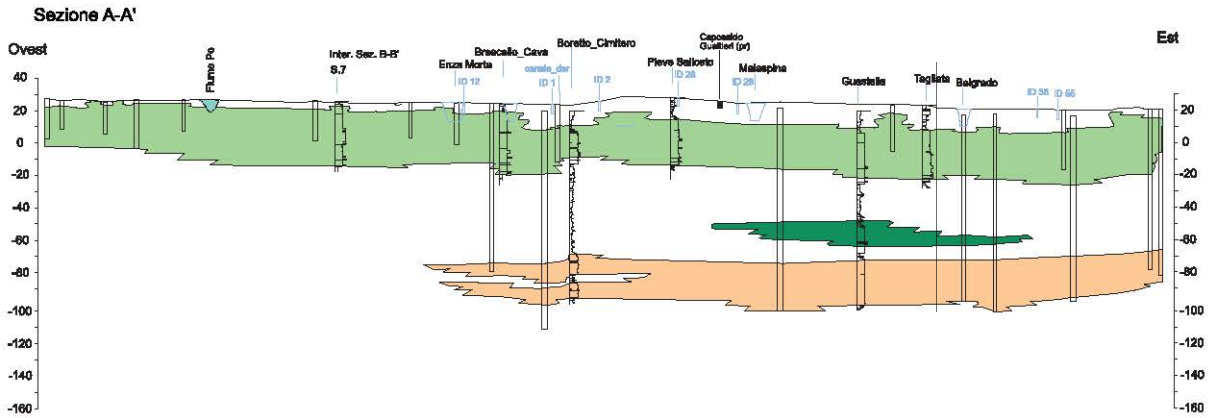


Figura 5 - sezioni geologiche esemplificative dell'idrostratigrafia presente nell'area di studio1

di continuità con i depositi grossolani (ghiaie e sabbie) di origine appenninica è l'estremo settore sud-occidentale. I depositi appenninici in questione sono attribuibili alle estreme propaggini delle paleoconoidi del Torrente Parma e del fiume Enza. In particolare nella sezione B-B' si nota questa amalgamazione con i depositi della paleoconoide dell'Enza.

1.3 Parametri idrogeologici

Per lo sviluppo del modello di flusso delle acque sotterranee, che costituisce la sintesi finale dello studio qui descritto, è risultato indispensabile assegnare all'acquifero A1 alcuni parametri idrogeologici caratteristici.

Sulla base di tutte le conoscenze già disponibili, dei nuovi dati raccolti, e delle mappe realizzate è stato possibile estrapolare i valori puntuali relativi alla conducibilità idraulica (k) su tutta l'area di studio, giungendo così ad una zonazione di questo parametro per tutto l'acquifero A1. I valori puntuali di k , riportati nella **Tabella 2**, sono stati acquisiti tramite consultazione bibliografica o attraverso prove di pompaggio a bassa portata (0.11 l/s) effettuate ad hoc per questo studio. I valori di trasmissività (T) sono stati ottenuti moltiplicando la k per lo spessore del sistema acquifero in quel punto.

Pozzo/Piezometro	Metodo	T (m ² /s)	k (m/s)	Acquifero
T-PR-01	JACOB	1.47E-02	7.99E-04	A1
182050P637	CASSAN	1.49E-02	1.87E-03	A1
182050P654	CASSAN	8.70E-03	1.60E-03	A1
182050P662	CASSAN	6.51E-03	7.23E-04	A1
182090P638	CASSAN	1.08E-02	1.80E-03	A1
182090P648	CASSAN	1.15E-02	9.50E-04	A1
182090P659	CASSAN	8.24E-03	1.10E-03	A1
182100P602	CASSAN	1.34E-02	7.90E-04	A1
LUZ003	CASSAN	1.87E-02	1.25E-03	A1
Piezometro Boretto	LEFRANC		2.80E-04	A1
181020P658	CASSAN	1.13E-03	9.42E-05	A1
181030P662	CASSAN	1.83E-02	2.03E-03	A1
181030P663	CASSAN	2.51E-02	2.29E-03	A1
181040P675	CASSAN	3.68E-02	6.14E-04	A1
181040P699	CASSAN	6.77E-03	6.67E-04	A1
181040P706	CASSAN	2.21E-02	2.24E-03	A1
Pozzo Landini spa	CASSAN	1.12E-02	6.21E-04	A1
Guastalla 45m*	CASSAN	1.50E-03	4.85E-05	A1
Tagliata 51m*	CASSAN	1.50E-03	4.70E-05	A1
S.Girolamo 51m*	CASSAN	1.90E-03	6.50E-05	A1
Pieve Saliceto 45m*	CASSAN	2.60E-04	8.60E-06	A1
Boretto 33m*	CASSAN	8.60E-04	4.31E-05	A1
Lentigione 43m*	CASSAN	7.60E-04	4.22E-05	A1
Fodico 36m*	CASSAN	7.33E-04	4.58E-05	A1
Casa S.Rosa 34.5m*	CASSAN	2.12E-03	1.40E-04	A1
S.Martino 51m*	CASSAN	8.18E-04	2.48E-05	A1
Via Cavallara-Pozzo1	CASSAN	3.50E-03	4.30E-04	A1

**Dati ottenuti con prove di pompaggio a bassa portata*

Tabella 2 - valori di trasmissività (T) e di conducibilità (k)

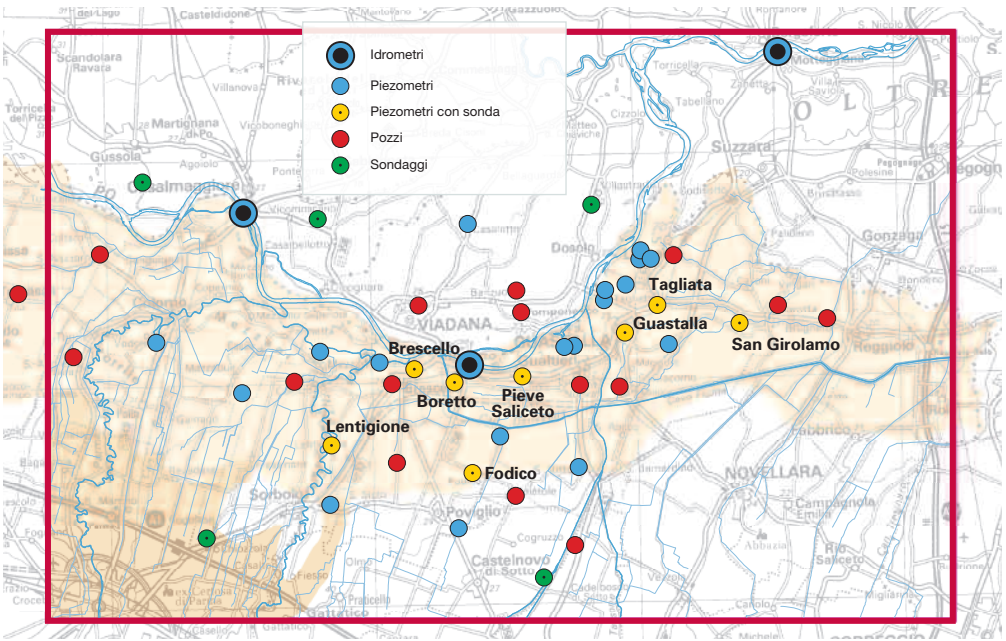


Figura 6 - rete di monitoraggio della piezometria

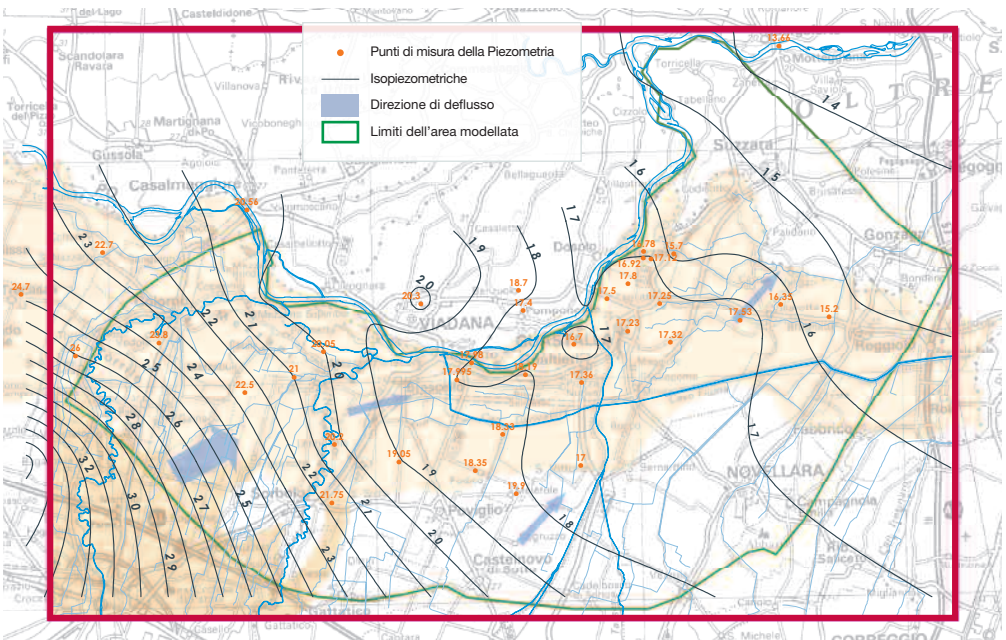


Figura 7 - piezometria del 5 aprile 2006

2. Piezometria

Per comprendere il movimento delle acque nel sottosuolo e la loro relazione con i corpi idrici superficiali è stato indispensabile mettere a punto una rete di monitoraggio opportunamente tarata sull'acquifero in studio. La misura del livello raggiunto dall'acqua nel sottosuolo nei diversi punti della rete di monitoraggio ha permesso la ricostruzione della morfologia piezometrica, dalla quale è stato possibile effettuare una serie di importanti considerazioni sull'idrogeologia della zona in studio.

Nella pianura emiliano-romagnola esiste una importante rete regionale di monitoraggio delle acque sotterranee attiva sin dal 1976. Purtroppo, però, nessuno dei punti di questa rete si è mostrato adatto per lo studio dell'acquifero in questione e pertanto è stato indispensabile, come prima cosa, individuare una rete di monitoraggio apposita. Alcuni punti sono stati recuperati dalla rete provinciale esistente nella zona parmense, mentre una gran parte dei punti di monitoraggio è stata individuata con la collaborazione dei Comuni ricadenti nella zona in studio. Tuttavia la bassa quantità di pozzi presenti in questo acquifero (che infatti non è molto sfruttato), ha reso indispensabile la perforazione di alcuni piezometri, che potessero rendere omogenea e utile per questo studio la distribuzione dei punti di monitoraggio. Sono stati così realizzati diciotto piezometri collocati a varie distanze dal fiume Po, alcuni grazie al finanziamento disponibile nell'ambito del Progetto BVM, altri con finanziamento regionale. La rete così risultante è mostrata in **Figura 6**.

Di grande importanza è stata la collaborazione con ENIA spa, che ha finanziato l'acquisto di otto centraline per la misurazione in continuo del livello piezometrico. Queste centraline sono state posizionate in punti particolarmente significativi e hanno consentito di acquisire dei dati di importanza fondamentale per la comprensione dell'idrogeologia della zona, oltre che dei rapporti tra le acque sotterranee e quelle superficiali del fiume Po.

La carta piezometrica più rappresentativa, perché ricostruita col maggior numero di punti, è quella relativa al mese di aprile del 2006, visibile in **Figura 7**. Dal grafico delle oscillazioni del livello del Po (**Figura 8** - fonte ARPA Emilia-Romagna SIM), si vede che questo periodo rappresenta una situazione di sostanziale "media", in cui il fiume ha un livello tutto sommato stabile, senza evidenti picchi di piena né di abbassamento. Si noti anche come il livello idrometrico del fiume è strettamente legato alle precipitazioni, specie quando queste si protraggono per più giorni consecutivi.

L'osservazione della carta piezometrica ricostruita permette di vedere che, mentre nella zona ad ovest il Po mostra un carattere prevalentemente ininfluenza nei confronti della falda, procedendo verso est, esso diventa via via drenante. Osservando il resto dell'area si vede chiaramente che la morfologia della falda risulta essere molto diversa nei settori situati ad est e ad ovest del torrente Enza. Ad ovest dell'Enza, nella porzione parmense dell'area, dove i depositi appenninici più grossolani entrano in connessione con l'acqui-

fero padano, la direzione di flusso della falda è da SO a NE e la cadente piezometrica, strettamente connessa con la pendenza topografica, risulta essere circa dello 0.1 % che corrisponde, cioè, ad una perdita di carico di 1 m in 1 km. Ad est dell'Enza, nella bassa pianura reggiana, la falda è diretta O-E e il gradiente idraulico è circa dello 0.04 %. Nel parmense vi è dunque una prevalenza di gradienti tipicamente "appenninici", caratterizzati da una maggiore velocità di deflusso che garantisce un più rapido rinnovamento della risorsa e, a parità di trasmissività, una portata d'acqua di maggiore entità; nel reggiano, invece, il fatto che la cadente piezometrica sia così bassa, indica sì che la trasmissività dell'acquifero è molto elevata, ma anche che i tempi di rinnovamento dell'acqua sono certamente più lunghi.

Un'altra osservazione che questa differenza di morfologia suggerisce riguarda poi la ricarica, che ad ovest proviene dalle conoidi dei torrenti appenninici, mentre nella parte centrale dell'area risulta essere meno facilmente identificabile. Nella porzione più prossima al fiume i livelli piezometrici sono invece più strettamente vincolati alle variazioni del livello idrometrico del Po. A tal proposito è utile osservare la mappa delle piezometrie ricostruita per il mese di febbraio del 2006, riportata in **Figura 9**, la quale mostra chiaramente che quando il livello del fiume Po si alza, il suo rapporto con la falda, nelle immediate vicinanze dell'alveo, diviene alimentante.

2.1 Rapporti fiume falda

Per comprendere al meglio la dinamica che regola i rapporti tra l'acqua del fiume e la falda, si sono messi a confronto il livello idrometrico del Po rilevato nella stazione di Boretto con i livelli piezometrici misurati in continuo nei vari piezometri. Il fatto che i punti di monitoraggio siano uniformemente distribuiti sull'area di studio ha consentito poi di evidenziare in maniera dettagliata la differente risposta del sistema nei piezometri più prossimi al corso d'acqua e in quelli via via più distanti, e di comprendere meglio la differenza del campo di moto sopra descritta. Dai grafici relativi al monitoraggio dei piezometri "Boretto" e "Pieve Saliceto" (rispettivamente a 1 km e 0.6 km dal fiume) (**Figura 10**) appare chiara l'immediata risposta della falda all'impulso dato dall'aumento di livello del fiume. Tuttavia se, dopo la piena, il livello del fiume decresce in modo piuttosto celere, l'abbassamento del livello dell'acqua nei piezometri avviene con tempi un po' più lunghi. Vi sono quindi dei momenti in cui il sistema si trova in equilibrio e momenti successivi in cui il Po, in magra, riceve acqua dalla porzione dell'acquifero posta nelle sue immediate vicinanze, assumendo un tipico comportamento drenante.

Nei piezometri più distanti dal corso del fiume, invece, la risposta alla piena del Po è nettamente meno marcata, come risulta evidente dall'analisi dei grafici dei piezometri "Guastalla" e "Tagliata" (distanti circa 2.5 km e 3.4 km dal Po) (**Figura 11**). La risposta dei due piezometri alle variazioni del sistema sono molto attenuate e arrivano con un

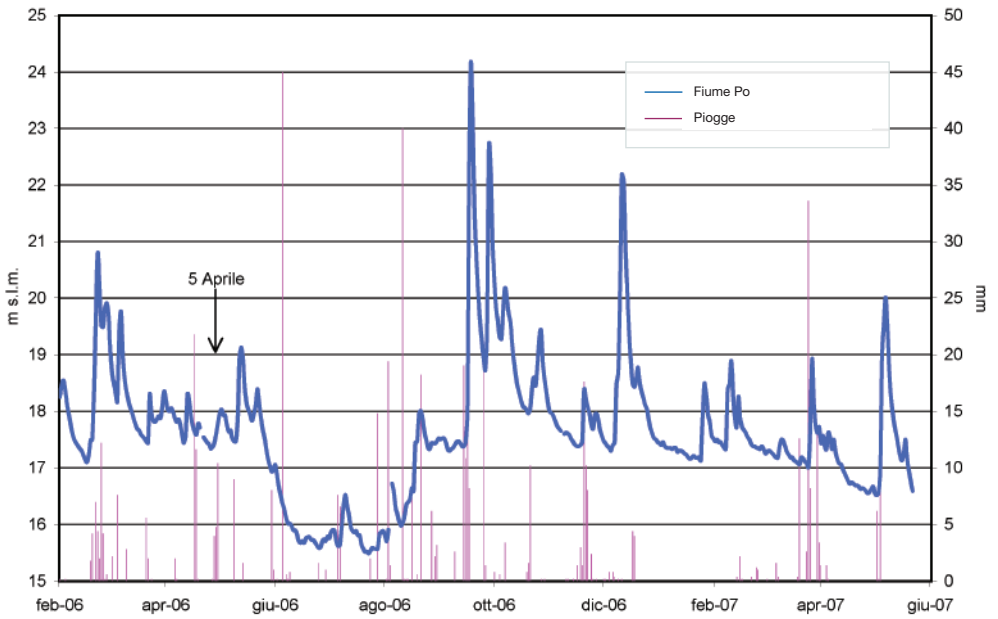


Figura 8 - oscillazioni del livello idrometrico del Po a Boretto in relazione alle piogge

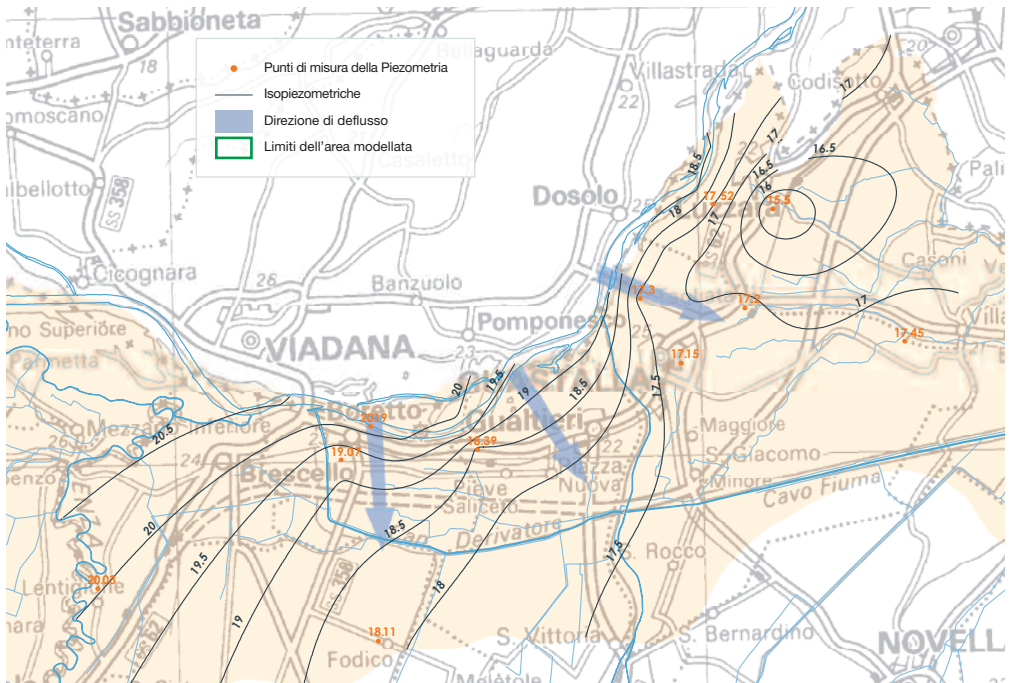


Figura 9 - piezometria del mese di febbraio 2006 con Po alimentante

certo ritardo rispetto all'oscillazione dell'idrometria. Ad esempio, mentre il fiume giunge al suo minimo tra giugno e agosto, il livello piezometrico decresce in modo blando in tutto il periodo, e il punto di minimo è spostato in avanti di circa un mese.

Un discorso del tutto diverso va invece fatto per i grafici di "Lentigione" e "Fodico" (il primo a 5.5 km e il secondo a 5.7 km dal fiume) (Figura 12) che, situati nel settore più centro-occidentale dell'area rispondono, come ci si aspettava, alle variazioni di un campo di moto del tutto diverso da quello vincolato al Po. Entrambi mostrano, infatti, un andamento "periodico" simile a quello del fiume, ma con quote assolute mediamente più elevate. A Fodico le oscillazioni dei livelli piezometrici vanno prevalentemente attribuite ad un deflusso sotterraneo costante che risponde agli impulsi stagionali del sistema ad ampia scala; mentre a Lentigione si osserva chiaramente che l'oscillazione dei livelli piezometrici è fortemente influenzata dal carico d'acqua proveniente dai vicini corpi appenninici delle conoidi dei torrenti Enza e Parma che, oltre ad essere topograficamente più elevati, entrano in connessione con l'acquifero padano poco più a sud.

In conclusione è la quota idrometrica del fiume a controllare il livello medio della falda nelle immediate vicinanze del suo asse. Il tratto del Po preso in esame è un tipico esempio di fiume che, normalmente drenante, diviene alimentante durante le piene immettendo nell'acquifero cospicui quantitativi d'acqua.

Si tratta essenzialmente di un "transfert" di energia, che rappresenta il principale input

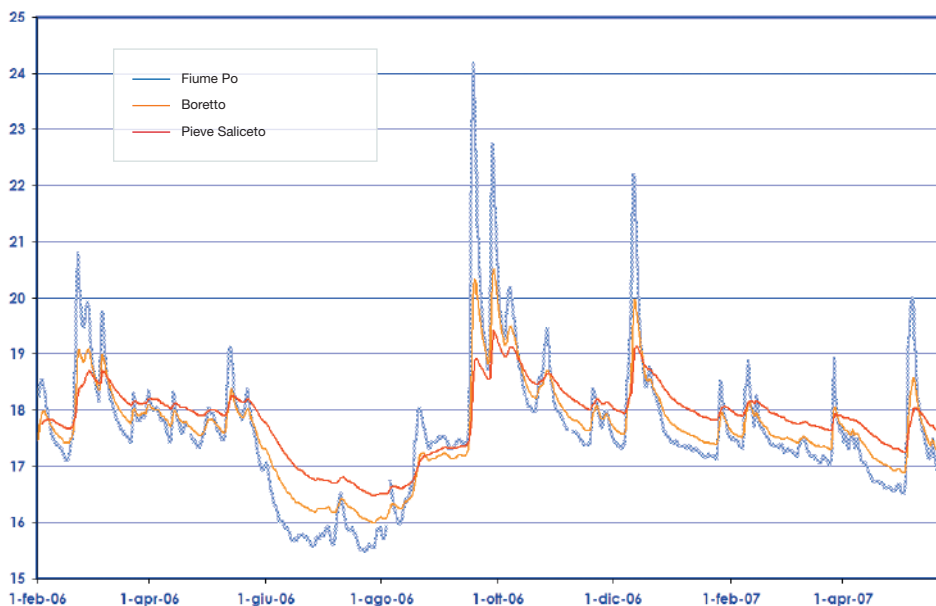


Figura 10 - monitoraggio in continuo della piezometria a Boretto e Pieve Saliceto aggiornare con i dati più recenti

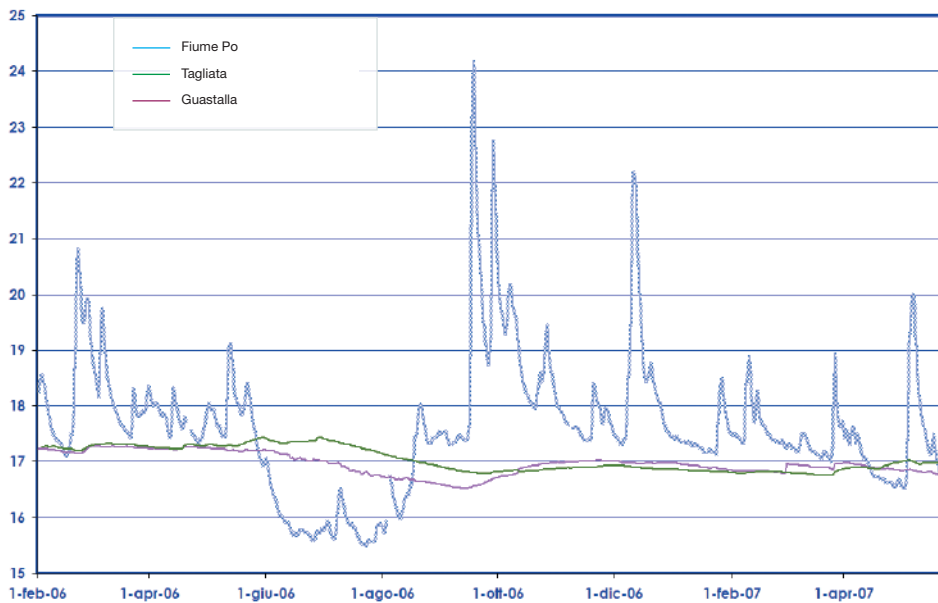


Figura 11 - monitoraggio in continuo della piezometria a Guastalla e Tagliata

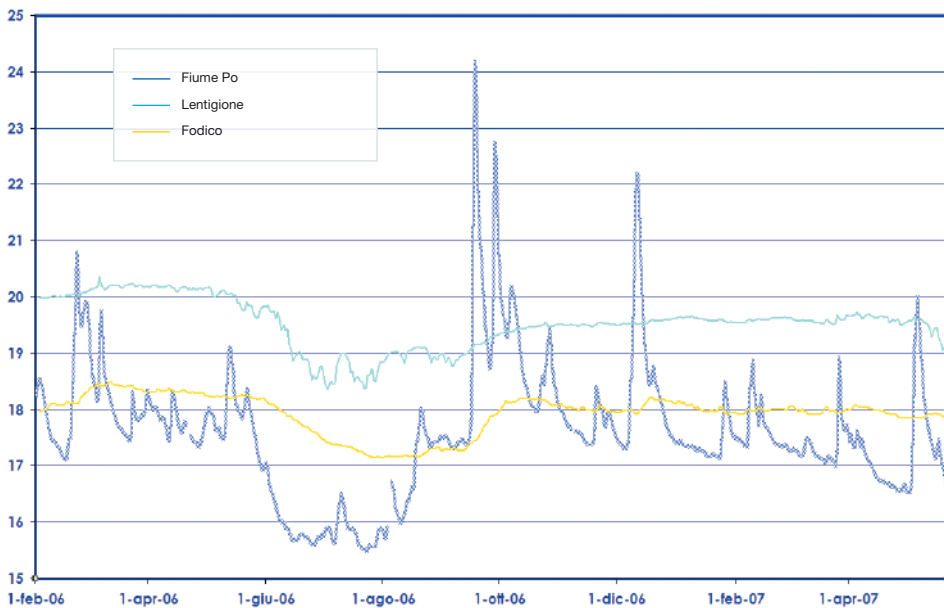


Figura 12 - monitoraggio in continuo della piezometria a Letignone e Fodico

idrodinamico sull'acquifero adiacente il fiume e che si diffonde tanto più rapidamente quanto più l'acquifero è vicino al corso d'acqua. Allontanandosi dal fiume questa onda di pressione, pur propagandosi anche per vari chilometri, si attenua e causa un aumento del livello della falda via via meno accentuato. L'alimentazione diretta del fiume, intesa strettamente come transfert di massa, avviene essenzialmente nelle zone di argine naturale. Nella zona compresa tra Boretto e Luzzara questo fenomeno è favorito dal fatto che il Po e l'acquifero A1 sono in contatto diretto, come evidenziato dalle sezioni geologiche. Tale contatto si sviluppa con una certa persistenza areale, pur con differenti caratteristiche a seconda delle locali condizioni geometriche e litologiche.

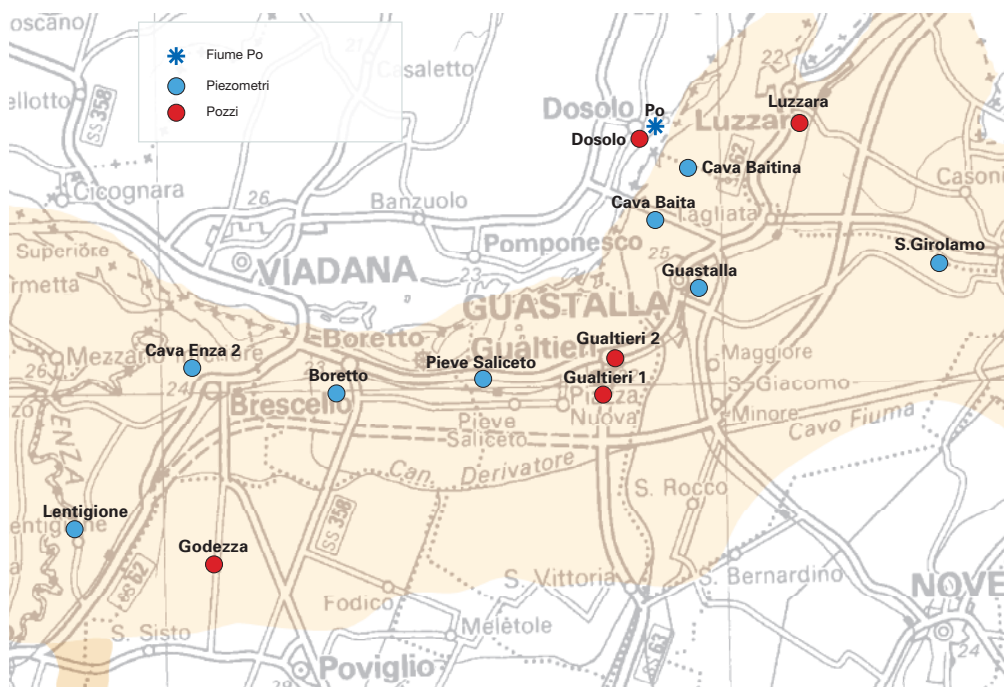


Figura 13 - rete di monitoraggio della qualità

3. Aspetti qualitativi

Per determinare le caratteristiche qualitative dell'acqua nella zona in esame, è stata effettuata una campagna di prelievo su cinque pozzi e su otto dei piezometri appartenenti alla rete di monitoraggio e, per avere un termine di paragone con l'acqua del fiume, è stato fatto anche un prelievo direttamente dal Po. Dalla **Figura 13** si vede che i punti in cui è stato eseguito il prelievo per l'analisi sono distribuiti principalmente lungo il corso del fiume e che solo tre punti si trovano a più di 5 km dall'argine del Po. Sebbene la distribuzione dei dati non sia omogenea, è stato comunque possibile fare alcune considerazioni circa la relazione tra l'acqua del fiume e l'acqua contenuta nell'acquifero, in funzione della distanza dei punti di prelievo dal fiume stesso. In fase analitica sono stati misurati un gran numero di elementi (115 in totale) sui campioni di acqua prelevati. Tutte le analisi sono state effettuate nei laboratori ENIA spa. Nella **Tabella 3** è riportato l'elenco completo degli elementi analizzati.

I valori analitici ottenuti per ciascun elemento sono stati messi a confronto con quelli del D.Lgs 31/01 che definisce i valori limite per i parametri di composizione e per i principali contaminanti presenti nelle acque ad uso umano. La **Tabella 4** riporta invece, per ogni singolo pozzo o piezometro, i valori di quei parametri che si trovano al di sopra dei limiti indicati nelle norme vigenti. Come si può notare i parametri che quasi costantemente si trovano al di fuori dei limiti di legge sono essenzialmente tre: ione ammonio, ferro e manganese. Solo in tre casi è stata misurata un'eccedenza nella concentrazione di arsenico. Lo stronzio è stato riportato perché, pur non essendo per esso prevista una concentrazione massima ammissibile, si trova sempre in grande quantità.

La principale osservazione fatta riguarda il tipo di ambiente idrochimico del sottosuolo, individuabile tramite la misura di valori del potenziale redox (Eh in mV). Questo parametro indica lo stato ossidante o riducente delle acque ed è quindi in stretta relazione con il contenuto in ossigeno dell'acqua. Generalmente le acque più vecchie e più profonde, soggette ad un rinnovamento piuttosto lento, contengono poco ossigeno e hanno valori di Eh negativi (ambiente riducente); le acque più giovani e più superficiali contengono invece più ossigeno e, dunque, presentano un Eh positivo (ambiente ossidante). Il contenuto in ossigeno è importante perché in base ad esso, determinati elementi chimici vanno in soluzione o, al contrario, tendono a precipitare. Ne sono un esempio classico il ferro (Fe^{2+}) e il manganese (Mn^{2+}) che in condizioni ossidanti precipitano, mentre in ambienti riducenti vanno in soluzione. Nell'area di studio si sono rilevati ovunque valori di Eh fortemente negativi, a testimonianza della prevalenza di un ambiente riducente. Infatti i tenori di ferro e manganese nelle acque del primo acquifero confinato sono risultati essere sempre molto elevati. Questo conferma sia il confinamento dell'acquifero rispetto alla superficie, sia la lentezza del rinnovamento della risorsa, in accordo con i bassi gradienti piezometrici misurati. Si noti, tuttavia, che anche le acque del fiume Po hanno valori alti di Fe e Mn.

1 1,2 Dicloroetano	40 Colore 455 nm	79 Naftalene
2 1,2 Dicloropropano	41 Conducibilità a 20°C	80 Nichel
3 4,4' DDD	42 Crisene	81 Nitrati
4 4,4' DDE	43 Cromo totale	82 Nitriti
5 4,4' DDT	44 Delta-HCH	83 Odore
6 Acenaftene	45 Dibenzo(a,h)antracene	84 Parathion
7 Acenaftilene	46 Dibromoclorometano	85 pH
8 Alacloro	47 Dichlorvos	86 Phorate
9 Alcalinità Totale	48 Dieldrin	87 Piombo
10 Aldrin	49 Disulfoton	88 Pirene
11 Alfa-HCH	50 Durezza calcolata	89 Potassio
12 Alluminio	51 Endosulfan I	90 potenziale redox
13 Ametrina	52 Endosulfan II	91 Prometon
14 Ammonio	53 Endosulfan solfato	92 Prometrina
15 Antimonio	54 Endrin	93 Propazina
16 Antiparassitari tot.	55 Eptacloro	94 Rame
17 Antracene	56 Eptacloro epossido	95 Residuo 180°C calcolato
18 Argento	57 Esaclorobenzene	96 Selenio
19 Arsenico	58 Fenantrene	97 Silice
20 Atrazina	59 Fenchlorphos	98 Simazina
21 Bario	60 Fenthion	99 Sodio
22 Benzene	61 Ferro	100 Solfati
23 Benzo(a)antracene	62 Fluorantene	101 Stronzio
24 Benzo(a)pirene	63 Fluorene	102 Sulfotep
25 Benzo(b)fluorantene	64 Fluoruri	103 Terbutilazina
26 Benzo(g,h,i)perilene	65 Fosforo	104 Terbutrina
27 Benzo(k)fluorantene	66 Gamma-HCH	105 Tetracloroetilene
28 Berillio	67 Heptenophos	106 Thionazin
29 Beta-HCH	68 Idrocarburi pol.arom.	107 TOC-Carbonio Org. Tot.
30 Boro	69 Indeno(1,2,3cd)pirene	108 Torbidità
31 Bromodiclorometano	70 Isodrin	109 Tri + Tetra Cloroetilene
32 Bromoformio	71 Litio	110 Trialometani totali
33 Cadmio	72 Magnesio	111 Tricloroetilene
34 Calcio	73 Malathion	112 Trietilfosfotioato
35 Cianuri	74 Manganese	113 Trifluralin
36 Cis-Dicloroetene	75 Mercurio	114 Vanadio
37 Cloroformio	76 Methylparahion	115 Zinco
38 Cloruri	77 Metolachlor	
39 Cloruro di vinile	78 Metossiclolo	

Tabella 3 - elenco degli elementi analizzati

	Ammonio mg/l	Arsenico µg/l	Ferro µg/l	Manganese µg/l	Stronzio µg/l
D.Lgs 31/01	0.50	10.00	200.00	50.00	n.p.
Boretto	1.06	< 2.50	1205.50	471.30	1624.90
Pieve Saliceto	0.56	<2.50	1233.30	369.90	1905.50
Guastalla	1.82	22.90	8434.80	677.80	1310.80
Lentigione	1.59	8.60	552.10	163.10	1581.30
Godezza	1.85	6.10	3386.40	42.60	1487.20
Gualtieri 1	0.78	<2.50	60.70	204.50	869.20
S.Girolamo	<0.02	4.50	2313.10	479.10	1018.30
Cava Enza	0.05	<2.50	257.30	144.10	630.20
Cava Baita	0.31	10.30	2831.80	1625.40	758.40
Cava Baitina	0.72	<2.50	1641.60	2527.20	1291.00
Dosolo	0.21	70.90	13447.10	811.80	911.30
Po*	0.04	<2.50	333.10	54.20	364.90

*I valori dei parametri rilevati nel Po vanno confrontati con i limiti di legge relativi alle acque superficiali

Tabella 4 - parametri che superano le concentrazioni indicate nel D-Lgs 31/01

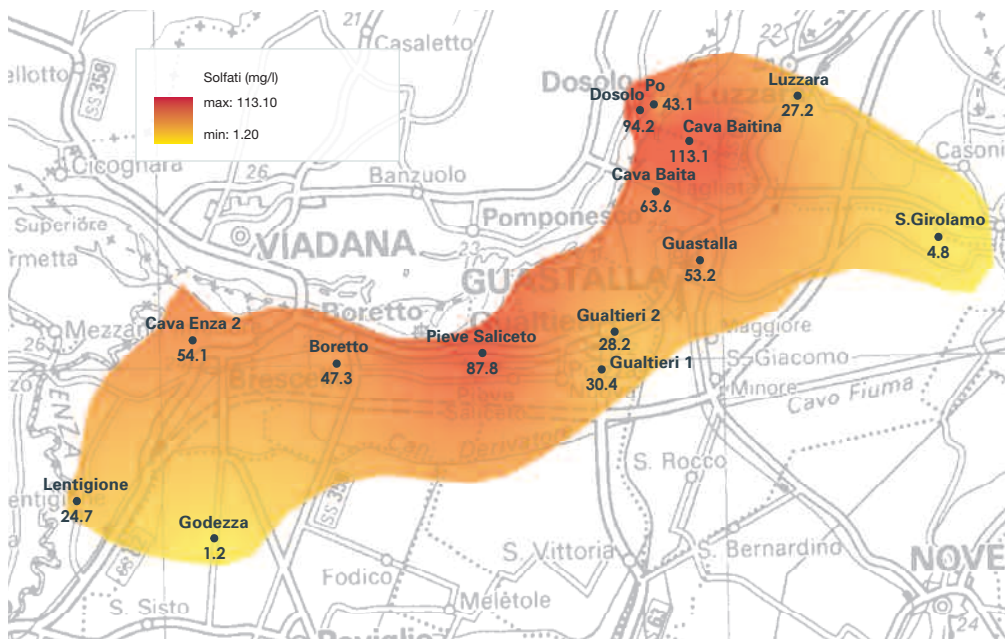


Figura 14 - distribuzione dei solfati

Per valutare le relazioni tra acque superficiali e sotterranee, e quindi per capire quali siano le porzioni dell'acquifero più velocemente ricaricate, sono stati scelti, fra tutti i parametri analizzati, quelli ritenuti maggiormente diagnostici: i solfati e l'ammoniaca.

Solfati (SO_4^{2-})

I solfati sono una specie che tipicamente si rinviene in ambiente ossidante. La loro presenza naturale nelle acque sotterranee è generalmente associata all'esistenza di una falda freatica ricaricata da acque superficiali ricche di ossigeno e, spesso, è anche ritenuta indice di una possibile alimentazione fluviale. I tenori più elevati si hanno, invece, nelle acque che circolano in acquiferi ricchi in gesso o anidrite, ma possono anche essere indice di un inquinamento dovuto a percolazione di acque reflue o che abbiano lisciviato terreni agricoli concimati. Man mano che l'ambiente in cui le acque circolano diviene riducente, ad esempio in condizioni di acquifero confinato, la concentrazione dei solfati tende a diminuire sensibilmente per lasciare spazio alle specie ridotte come i solfuri e in particolare l' H_2S , che conferiscono all'acqua un caratteristico odore sgradevole.

Secondo le normative vigenti, i solfati sono una delle specie principali da considerare nella valutazione della qualità delle acque sotterranee e il limite massimo che la legge impone per le concentrazioni di SO_4^{2-} è di 250 mg/l (D.Lgs. 152/99)

Nell'area in esame, sebbene l'Eh indichi un ambiente prevalentemente riducente, sono stati trovati valori di solfati compresi tra 1.2 e 113.1 mg/l (**Figura 14**). Le maggiori concentrazioni sono state rinvenute nella fascia più prossima al Po, laddove è stato cartografato l'acquifero freatico, mentre, man mano che ci si allontana dal fiume, le concentrazioni in SO_4^{2-} decrescono in maniera piuttosto evidente. L'interpretazione che si è data a questa distribuzione, alla luce delle considerazioni fatte sia dal punto di vista geologico che da quello idrodinamico, è che la presenza di una specie ossidata in quest'area sia in parte correlata proprio alla presenza dell'acquifero freatico, e in parte al contributo di alimentazione proveniente dal Po. Questo è poi confermato dalle bassissime concentrazioni di SO_4^{2-} rilevate nei punti più distanti dal Po e dalle aree di possibile connessione con la falda più superficiale.

Ammoniaca (NH_3)

L'ammoniaca nelle acque sotterranee si trova generalmente sotto forma di ione ammonio (NH_4^+). La presenza di NH_4^+ Negli acquiferi può avere un'origine diversa a seconda che si tratti di acquiferi freatici o confinati. Negli acquiferi freatici l' NH_4^+ indica la presenza di una fonte di contaminazione da componenti organici contenenti azoto; qui tuttavia l'ammoniaca si rileva raramente, dato che essa, in ambiente ossidante, si trasforma rapidamente in nitrati (NO_3^-).

Negli acquiferi confinati, invece, l' NH_4^+ può essere messa in relazione alla decomposizione di livelli torbosi ricchi di sostanza organica. In questi casi l'ammoniaca è anche uno degli indicatori di ambiente fortemente riducente.

Il limite massimo che il D.Lgs. 152/99 indica per le concentrazioni di ione ammonio per le acque sotterranee è di 0.5 mg/l. Nell'area di studio i valori misurati vanno da un minimo di 0.04 mg/l rilevati nel Po ad un massimo di 1.85 mg/l nel pozzo del campo sportivo di "Godezza". Quindi dove l'acquifero è più confinato e l'ambiente è più riducente, i valori di ione ammonio sono più alti (**Figura 15**), mentre, avvicinandosi al Po il tenore in NH_4^+ diminuisce rapidamente confermando una maggiore presenza di ossigeno nella zona più prossima al corso d'acqua, segno di una più rapida circolazione sotterranea e di un probabile contributo di acque più giovani e più ossigenate, provenienti dalla falda superficiale o dal fiume stesso. Quindi i valori di ammoniaca nell'acquifero in questione non vengono considerati come dovuti a processi di inquinamento, ma sono messi in relazione ai fenomeni naturali come precedentemente indicato.

Per sintetizzare i dati analitici principali sono stati utilizzati il diagramma di Schoeller e il diagramma di Piper a diamante. Entrambi sono dei diagrammi di comparazione che consentono di porre a confronto più analisi così da individuare, all'interno di uno stesso acquifero, acque a differente facies idrochimica. A titolo esemplificativo, sono state messe a confronto le analisi dell'acqua del Po e di tre pozzi ritenuti significativi e rappresentativi di tutte le condizioni rilevate, collocati a diverse distanze dal fiume: "Godezza", "Gualtieri" e "Luzzara". I pozzi "Godezza" e "Gualtieri", posti rispettivamente a 5.2 e 3 km dall'argine del Po, sono pozzi comunali utilizzati per l'irrigazione di due campi sportivi. Sono quindi utilizzati con regolarità e, al momento del prelievo, sono stati messi in funzione per un tempo ritenuto sufficiente alla messa in moto del sistema acquifero, così da ottenere un campione il più possibile rappresentativo della effettiva composizione delle acque sotterranee. Il pozzo "Luzzara", a 1.9 km dal fiume Po, è invece un pozzo della rete acquedottistica e lo si ritiene, quindi, particolarmente significativo come termine di riferimento per la validazione dei risultati ottenuti negli altri pozzi.

Il diagramma di Schoeller (**Figura 16**) permette di paragonare acque diverse e di analizzarne le eventuali differenze. Sull'asse delle ascisse sono riportati i singoli elementi di cui, nelle ordinate, è riportata la concentrazioni in meq/l. I valori di concentrazione sono poi uniti da dei segmenti, la cui pendenza rappresenta il rapporto caratteristico tra due ioni.

Nel caso in esame dal diagramma di Schoeller sembra che si possano individuare tre differenti tipologie di acqua: la prima del Po, la seconda del pozzo "Godezza", la terza che accomuna i pozzi "Gualtieri" e "Luzzara". Si noti poi che l'acqua del Po e quelle dei pozzi "Gualtieri" e "Luzzara" sono a loro volta abbastanza simili tra loro. La linea che rappresenta il pozzo "Godezza", invece, è completamente diversa dalle altre tre e rappresenta, dunque, un'acqua molto diversa dalle altre. La grande differenza con l'acqua del Po fa pensare che, come già supposto, il fiume non sia la principale fonte di alimentazione dell'acquifero nella zona sud occidentale dell'area o, comunque, che i tempi di rinnovamento a quella distanza dal fiume siano tali da consentire un'evoluzione della composizione dell'acqua fortemente condizionata dagli scambi ionici con l'acquifero.

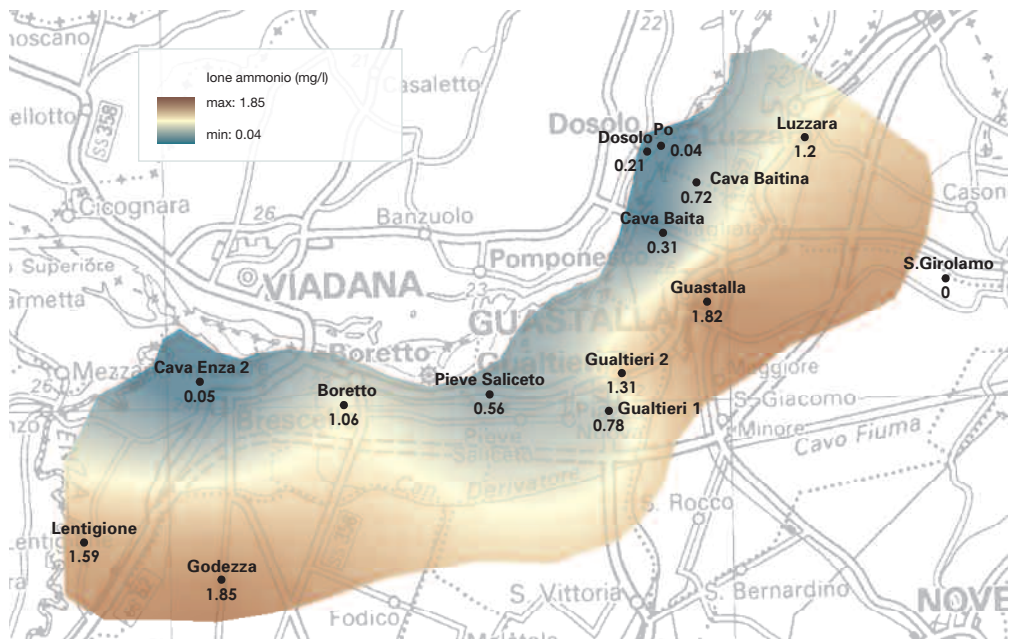


Figura 15 - distribuzione dello ione ammonio

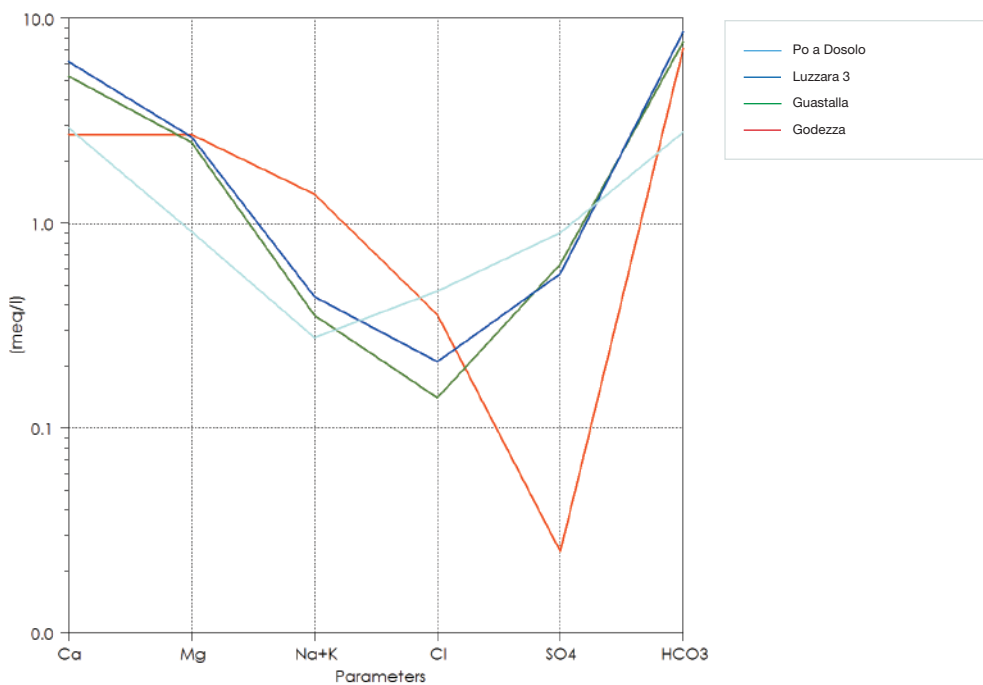


Figura 16 - diagramma di Schoeller

Un'altra ipotesi è che l'acqua in questione derivi da sud per transito dalle conoidi appenniniche.

Il diagramma di Piper (**Figura 17**) è costituito da due triangoli in cui vengono riportate le concentrazioni degli anioni e dei cationi principali e da una losanga in cui, con un unico punto, viene rappresentata l'intera analisi. Diversamente dal diagramma di Scholler, in cui i valori assoluti delle concentrazioni di partenza vengono mantenuti, in questo caso i valori vengono riportati a 100.

Osservando i punti rappresentativi delle quattro analisi sulla losanga, si vede che appartengono tutte al quadrante che identifica le acque a composizione bicarbonato-alcalina. Se si osserva simultaneamente la posizione dei vari punti sulla losanga e sui triangoli alla base, è possibile dire che, a parità di facies idrochimica: l'acqua del pozzo "Godezza" risulta essere bicarbonato-alcalina con una maggiore percentuale in Mg^{2+} rispetto al Ca^{2+} (tipo di acqua: $Mg-Ca-HCO_3$); le acque dei pozzi "Gualtieri" e "Luzzara" si sovrappongono perfettamente e sono anch'esse bicarbonato-alcaline ma, il rapporto Mg^{2+}/Ca^{2+} è a favore del calcio (tipo di acqua: $Ca-Mg-HCO_3$); l'acqua del Po, più ricca in ossigeno, è invece bicarbonato-alcaline con solfati (tipo di acqua: $Ca-Mg-HCO_3-SO_4$).

In conclusione, l'interpretazione della distribuzione di alcuni dei parametri chimici ha permesso di confermare la maggiore ossigenazione dell'acquifero in prossimità del Po, a testimonianza di un più rapido ricircolo d'acqua nella fascia più prossima al corso del fiume, e la presenza di differenti tipi di acque nella zona centrale dell'area e in quella sud-occidentale influenzata dalla "ricarica" appenninica, in accordo col modello geologico individuato e con la piezometria ricostruita.

3.1 Isotopia

Sugli stessi campioni esaminati per valutare lo stato qualitativo dell'acqua nell'area di studio è stato analizzato il valore del $\delta^{18}O$. Occorre sottolineare che le interpretazioni di queste analisi possono essere considerate preliminari perché mancanti di altri valori di supporto derivanti ad esempio dall'analisi del Tritio. L'analisi del $\delta^{18}O$ permette di individuare la quota a cui si sono infiltrate le acque di ricarica dell'acquifero; sulla base di questa quota è poi possibile, nel caso della pianura padana, discernere tra acque di origine appenninica e acque di origine alpina.

I valori da utilizzare come riferimento per l'interpretazione dei dati sono:

- Fiume Po a Piacenza = $-9.84 \delta^{18}O$ (media ponderata);
- Fiume Po a Casalmaggiore = $-9.33 \delta^{18}O$ (media aritmetica indicativa);
- Fiume Enza = $-8.67 \delta^{18}O$ (media aritmetica indicativa);
- pozzi conoide Enza = $-8.5 \delta^{18}O$ (valore medio).

In linea generale e a scala regionale i valori compresi tra -8.5 e -9 $\delta^{18}\text{O}$ possono essere considerati di provenienza Appenninica, mentre i valori compresi tra -9 e -9.2 $\delta^{18}\text{O}$ possono essere considerati di provenienza Appenninica non recente o mescolati con acque di provenienza del fiume Po (Progetto operativo “monitoraggio acque”, indagine di idrologia isotopica. Regione Emilia-Romagna & ARPA Emilia-Romagna, 2002). I valori compresi tra -7.85 e -8.5 $\delta^{18}\text{O}$ circa possono essere considerati mescolamenti tra acque di precipitazione locale e acque di origine Appenninica.

I valori registrati nell'aera di studio, riportati in **Figura 18**, sono compresi tra un minimo di -9.97 $\delta^{18}\text{O}$ del Po e un massimo di -7.96 $\delta^{18}\text{O}$ del piezometro di Boretto. Come si vede, tuttavia, la distribuzione dei valori non sembra essere tale da definire in maniera univoca la provenienza dell'acqua di ricarica.

Quel che appare chiaro, allo stato attuale, è che l'acquifero in questione funge da recettore di acque di diversa origine. Ricordando, ad esempio, la carta delle isopiezometriche relativa al mese di aprile del 2006, risulta plausibile che in quest'area avvenga un mescolamento di acque di diversa origine: la porzione sud-occidentale dell'area è certamente influenzata dalle acque provenienti dagli acquiferi delle conoidi appenniniche, mentre la parte centrale dell'area, caratterizzata da gradienti piezometrici bassissimi, risente prevalentemente e con molta lentezza delle variazioni degli afflussi e dei deflussi sotterranei alla scala del bacino. A queste componenti occorre poi aggiungere il contributo alla ricarica delle falde più superficiali, specie lungo il corso del Po, a loro volta influenzate direttamente da acque di precipitazione o irrigua. Per quanto concerne, infine, l'acqua che nei periodi di piena viene immessa dal fiume nel sottosuolo, occorre tenere conto dei tempi di arrivo di questa massa ai diversi punti di monitoraggio (differenti in base alla distanza), e dell'inevitabile miscelamento con le acque già presenti nel serbatoio.

Considerate poi le variazioni di carattere stagionale a cui è soggetto il valore di $\delta^{18}\text{O}$ nei fiumi, e in particolare nel Po e nell'Enza (**Figura 19**), per riuscire a comprendere al meglio la provenienza delle acque di ricarica e per quantificare l'effettivo trasporto di massa e i tempi di rinnovamento potrebbe essere opportuno effettuare delle ulteriori campagne di rilevamento.

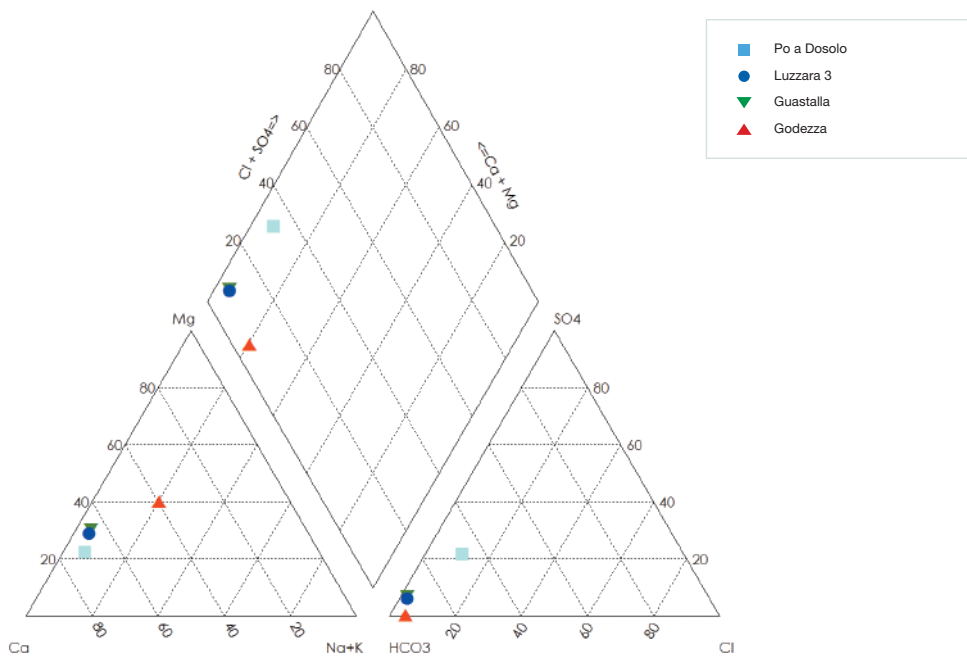


Figura 17 - diagramma di Piper

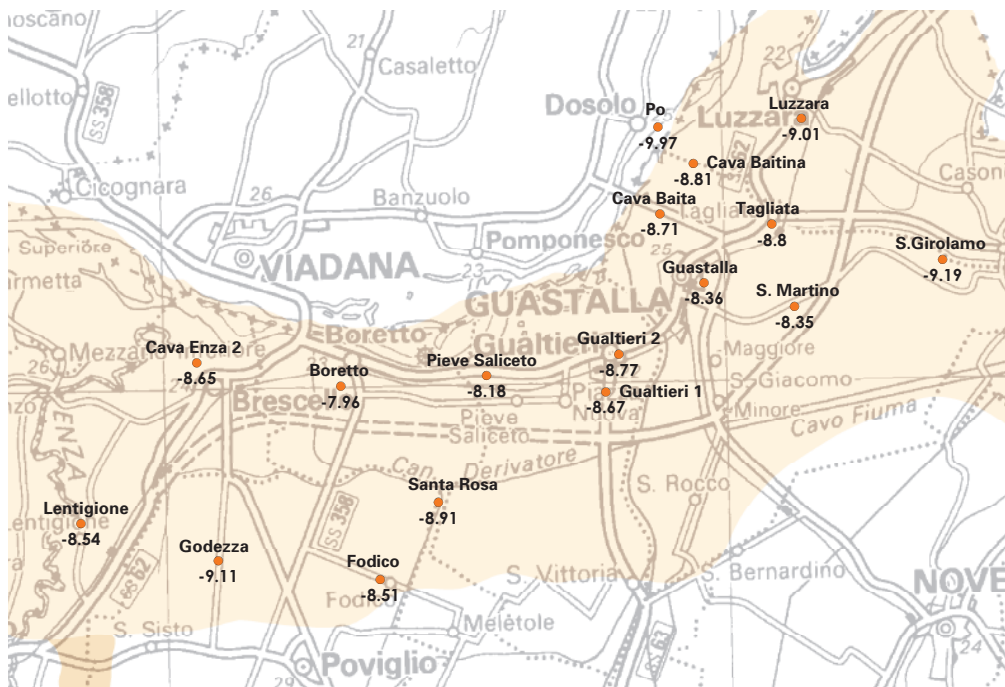


Figura 18 - distribuzione dei valori di $\delta^{18}O$

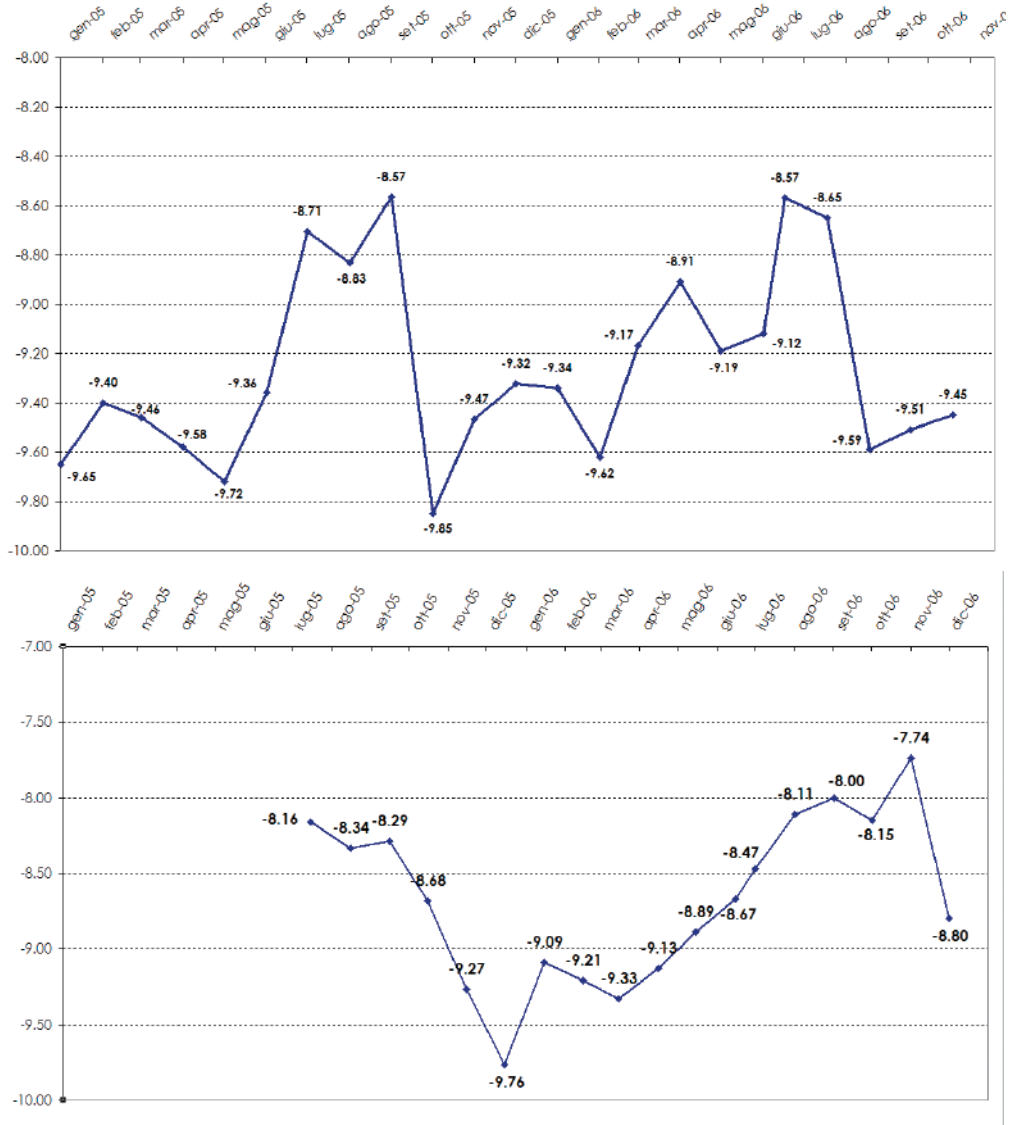


Figura 19 - andamento stagionale dei valori di $\delta^{18}\text{O}$ nel Po e nell'Enza

4. Analisi dei prelievi

Uno degli elementi fondamentali da conoscere quando si fanno degli studi sugli acquiferi finalizzati alla loro gestione, e eventuale sfruttamento, è relativo al prelievo idrico che viene operato in questo acquiferi.

La maggior parte dei prelievi d'acqua dal sottosuolo nella Regione Emilia-Romagna è tradizionalmente concentrata sulla fascia delle conoidi dei fiumi appenninici, lungo la quale si trovano i principali centri abitati e le principali attività produttive. Ciò ha creato, nel corso degli anni, seri problemi di abbassamento della falda e subsidenza.

Nel Piano di Tutela delle Acque (PTA) recentemente adottato, vengono forniti dei dati sui prelievi a scala provinciale, suddivisi secondo la destinazione d'uso della risorsa (**Tabella 5**). Per l'uso acquedottistico si dispongono di dati certi, ottenuti direttamente da misuratori di portata installati nei pozzi; per gli altri usi (agricolo, zootecnico e industriale), i valori di prelievo derivano invece da delle stime (fabbisogno irriguo delle colture, numeri di capi allevati, idroesigenza delle diverse produzioni industriali).

Considerando i consumi valutati nel PTA e le distribuzioni degli acquiferi nel sottosuolo (**Figura 20**) è stato possibile valutare che a scala regionale dall'acquifero oggetto del presente studio (A1 di pertinenza del fiume Po) viene preso solamente l'8 % dell'acqua prelevata in totale dalla pianura (**Tabella 6**), a testimonianza del fatto che questo acquifero è a tutt'oggi poco utilizzato.

4.1 I prelievi dal primo acquifero confinato

Per le finalità che questo studio si prefigge si è dimostrato indispensabile riferire l'analisi dei prelievi al primo acquifero confinato del Po, oltre a quantificare il prelievo a scala puntuale. Si è allora scelto di unire le informazioni che si potevano trarre dal PTA riferite ai singoli comuni, con quelle presenti nel catasto pozzi della Regione Emilia-Romagna. In questa banca dati sono contenute, infatti, le ubicazioni dei pozzi ad uso extra domestico (acquedottistico, irriguo, industriale, ..), presenti sul territorio, corredate da varie informazioni quali, ad esempio, la profondità. Nota la quota della base dell'acquifero in esame, grazie al dato di profondità è stato possibile distinguere quali sono i pozzi che captano esclusivamente il primo acquifero confinato e quali raggiungono, invece, gli acquiferi più profondi.

Per il calcolo delle portate estratte da singolo pozzo, invece, si sono divisi i punti di prelievo in base al loro uso e si è deciso di procedere con diverse metodologie a seconda dell'attendibilità e della completezza dei dati che si avevano a disposizione:

- **POZZI ADIBITI AD USO CIVILE:** si è fatto riferimento ai dati forniti dall'ente gestore della

Provincia	Civile	Indistruale	Agro-zootecnico	Totale
Piacenza	26.00	13.90	56.10	96.00
Parma	46.50	47.40	37.20	131.00
Reggio Emilia	54.80	19.80	39.30	114.00
Modena	65.90	31.10	16.60	114.00
Bologna	56.00	22.00	21.70	100.00
Ferrara	0.10	7.80	3.70	12.00
Ravenna	4.90	15.40	26.30	47.00
Forlì-Cesena	7.60	9.60	15.90	33.00
Rimini	26.10	3.90	5.20	35.00
TOTALE REGIONE	288.00 42%	171.00 25%	222.00 33%	681.00 100%

Tabella 5 - prelievi di acque sotterranee in milioni di m³/anno suddivisi per destinazioni d'uso (PTA, 2005)

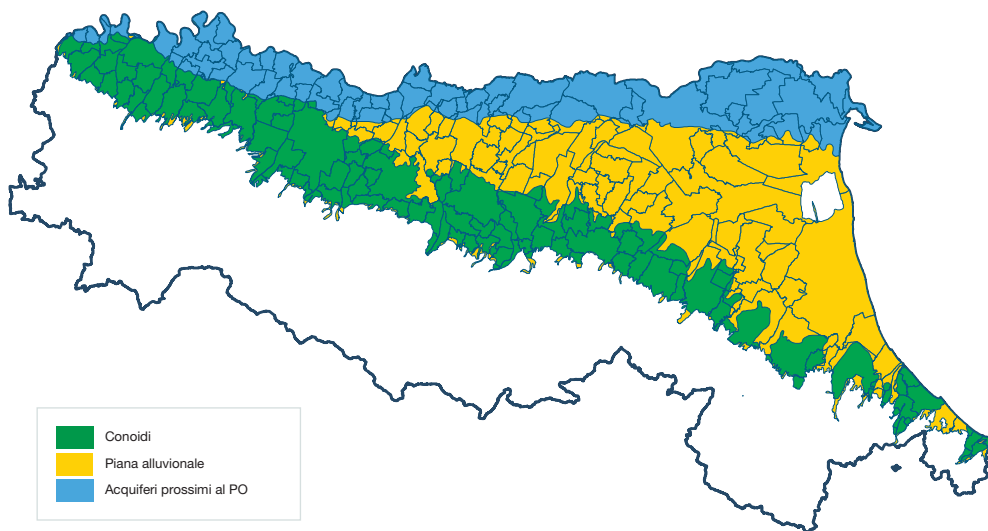


Figura 20 - Distribuzione areale dei prelievi

	Industriale	Zootecnico	Civile	Irriguo	Totale	
Conoidi	96.2	6.8	238.7	136.2	477.9	71.8 %
Piana alluvionale	60.7	1.6	35.8	35.4	133.5	20 %
Acquiferi A1 Padano	6.6	5.9	7.9	34	54.4	8.2 %
TOT. PIANURA RER	163.5	14.3	282.4	205.6	665.8	100 %

(milioni di m³/anno)

Tabella 6 - elaborazione dei dati del PTA: prelievi annui per i diversi complessi di pianura

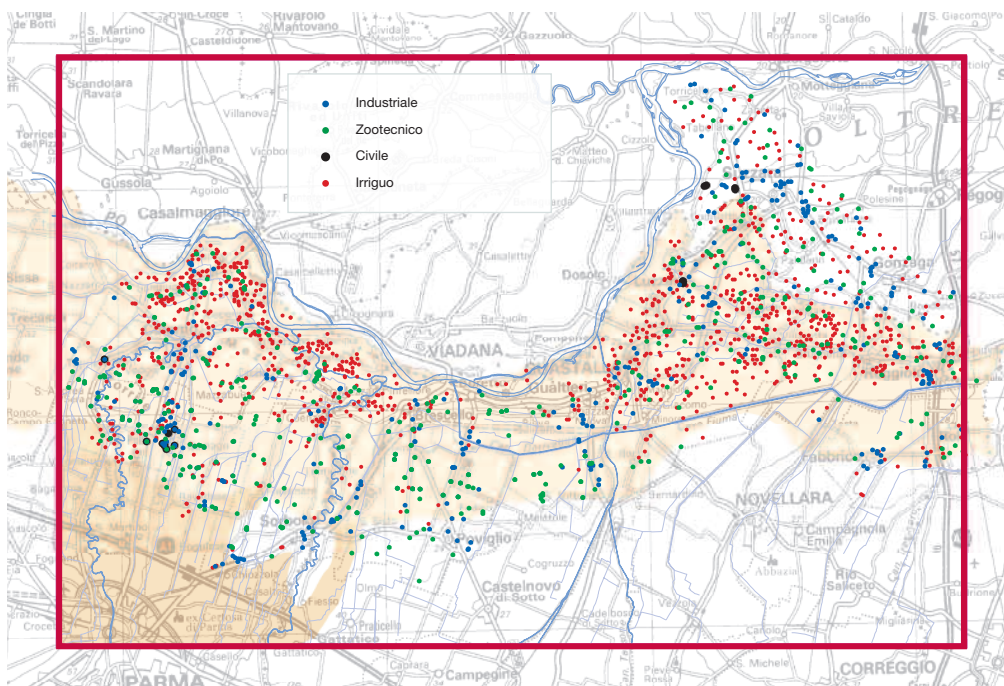


Figura 21 - distribuzione puntuale dei prelievi dal primo acquifero confinato

Comune	Industria	Zootecnia	Civile	Irriguo	Totale
BORETTO	18615	4847	-	10914	34376
BRESCELLO	165199	9308	-	83351	257858
COLORNO	15768	64722	-	777180	857670
FABBRICO	63933	5672	-	41975	111581
GUALTIERI	80008	31054	-	111456	222518
GUASTALLA	13140	66664	-	78577	158381
LUZZARA	92038	73431	334709	56217	556395
MEZZANI	9198	10198	-	509774	529170
PARMA*	219197	25860	-	64240	309297
POVIGLIO	84680	13943	-	27247	125870
REGGIOLO	12571	29901	-	20057	62528
ROLO	34288	18221	-	15330	67839
SORBOLO	46888	34639	-	498199	579725
TORRILE	436007	85505	43800	417560	982872
TOTALE	1291531	473963	378509	2712077	4856080

*Solo una piccola porzione del territorio comunale di Parma rientra nell'area modellata

Tabella 7 - prelievi dal primo acquifero confinato

rete acquedottistica (ENIA), sia riguardo le caratteristiche dei pozzi del campo pozzi di Luzzara, sia per le portate complessivamente estratte dal 2004 al 2006. Per quanto concerne, invece, la stima della portata estratta dai pozzi presenti nel catasto e ubicati nell'area parmense (comune di Torrice), si è fatto riferimento al dato del PTA. I pozzi civili individuati sono 15 in totale, dei quali sette filtranti A1 e otto A2;

- **POZZI AD USO ZOOTECNICO:** si è preso il dato del PTA e lo si è diviso per il numero di pozzi indicati come zootecnici nel catasto regionale. I pozzi zootecnici sono 414: 168 captano A1 e 246 A2;
- **POZZI INDUSTRIALI:** sulla base dei dati raccolti per il PTA, dall'ubicazione delle industrie più idroesigenti e dai dati del Catasto regionale (uso e profondità dei pozzi), si è potuto verificare che la maggior parte del prelievo industriale in quest'area si concentra in A2. In totale sono stati ubicati 310 pozzi industriali, 100 in A1 e i restanti 210 in A2.
- **POZZI AGRICOLI:** sulla base dei dati del Catasto regionale (uso e profondità dei pozzi) e di alcuni controlli effettuati direttamente sul terreno, è stato possibile attribuire all'acquifero A1 un gran numero di pozzi irrigui (974 su 1.041 in totale). Tuttavia, a seguito dei controlli effettuati e della modellistica realizzata (vedi capitolo 5), si è deciso di attribuire ad essi solamente il 50% del prelievo irriguo totale.

I prelievi puntuali determinati per il primo acquifero confinato sono riassunti nella

Figura 21.

Sulla base del lavoro effettuato il prelievo complessivo annuo dal primo acquifero confinato risulta essere di $4.856.080 \text{ m}^3$ (pari a $11.673 \text{ m}^3/\text{km}^2$). Il dettaglio sui prelievi per uso a scala comunale è riportato nella **Tabella 7**. Resta indubbia l'incertezza di questa stima, specie a causa della non completa conoscenza della reale distribuzione dei punti di captazione né degli effettivi quantitativi d'acqua che vengono estratti, sia nel totale, sia dai singoli corpi acquiferi.

5. Modello di flusso delle acque sotterranee

I modelli di flusso delle acque sotterranee sono strumenti, oggi ampiamente diffusi, che servono per descrivere in maniera schematica la circolazione idrica nel sottosuolo per finalità e utilizzi molteplici. Uno di questi è, ad esempio, la previsione di come potrà cambiare la superficie della falda al variare di determinate condizioni ambientali o antropiche.

Per implementare un modello di flusso occorre, dunque, raccogliere e sintetizzare tutti i dati che riguardano: l'afflusso e il deflusso dell'acqua in una certa area (prelievi da pozzo, infiltrazione di acque piovane o irrigue ecc); l'andamento della piezometria; le geometrie e i parametri idrogeologici degli acquiferi (spessore, conducibilità idraulica, coefficiente di immagazzinamento); le condizioni che, al contorno dell'area che si intende studiare, influenzano o vincolano il moto dell'acqua (fiumi, laghi, strutture sotterranee ecc.).

Una volta ricostruito il modello concettuale (ovvero come si presume avvenga il flusso delle acque sotterranee in termini di afflussi e deflussi), le informazioni vanno discretizzate nello spazio, suddividendole in celle mediante griglie a maglie regolari, e eventualmente nel tempo, individuando dei periodi significativi che possano rappresentare al meglio le variazioni della piezometria. Se si opera senza discretizzare il tempo, la modellazione avviene in regime stazionario e quella che viene calcolata è una sorta di "fotografia" istantanea di una situazione piezometrica ben specifica. Viceversa se si suddivide il tempo in un certo numero di "step", la modellazione avviene in regime transitorio e si ottengono varie rappresentazioni della piezometria che mostrano il campo di moto della falda in diversi momenti al variare delle condizioni esterne.

Il compito del modello è di calcolare la quota della falda e il bilancio idrico sotterraneo per ciascuna delle celle in cui il sistema è stato diviso e per ciascuno dei periodi che sono stati scelti. I dati da esso restituiti vengono poi confrontati con quelli misurati in campagna per capire se il modello è stato impostato correttamente e per verificare la validità dei dati inseriti. Infine, nella fase di taratura, gli stessi dati potranno essere ragionevolmente modificati sino a raggiungere una rappresentazione della piezometria il più possibile vicina a quella rilevata.

Per quanto riguarda l'area di studio, si è deciso di implementare un modello di flusso delle acque sotterranee per stimare l'entità complessiva della risorsa nel primo acquifero confinato del Po e per individuare una zona dove progettare un eventuale campo pozzi, valutando l'impatto che questo potrebbe avere sull'abbassamento della falda. A tal fine è stato creato un modello in regime stazionario che riproduce la piezometria di riferimento del 5 aprile 2006 su un'area vasta circa 416 km². Il risultato di questo è servito da condizione di partenza per un modello in regime transitorio realizzato in una sotto-area, ampia circa 81.5 km², considerata la migliore per l'ubicazione dell'ipotetico campo pozzi. Come si vede dalla **Figura 22**, la sotto-area che è stata scelta va dalla confluenza del tor-

rente Enza nel Po fino all'intero territorio del comune di Gualtieri, mentre verso sud si estende sino a tutto il comune di Poviglio. Si è scelta questa zona perché, osservando i grafici delle oscillazioni dei livelli piezometrici (capitolo 2) è risultata essere quella che risponde più rapidamente alle variazioni di portata del fiume. Questo garantisce, nei periodi di piena, l'arrivo di una grande quantità d'acqua che può quindi essere sfruttata senza generare eccessivi abbassamenti del livello di falda. Nel contempo, non essendo in connessione con l'acquifero freatico, la falda è confinata e risulta essere, da un punto di vista qualitativo, molto più protetta. Per la realizzazione di tale modello si è utilizzato il software VISUAL MODFLOW 4.1.

5.1 Modello di flusso in regime stazionario

Un modello matematico deve, come visto, essere in grado di calcolare la quota della falda in ogni punto dell'area di studio. Per fare questo l'area che si intende modellare viene suddivisa in un numero di celle, generalmente quadrate, variabile a seconda della sua ampiezza e del dettaglio che si intende raggiungere. A ciascuna cella vengono poi attribuiti i dati raccolti per la definizione del modello concettuale: la geometria dell'acquifero, i suoi parametri idrodinamici e tutte le grandezze che concorrono al bilancio idrico sotterraneo determinando l'afflusso e il deflusso dell'acqua in quell'area. In particolare, il modello implementato in regime stazionario, che non tiene cioè conto della variabile tempo, deve riprodurre quanto meglio possibile la piezometria rilevata in campagna. Se ciò avviene, pur ammettendo un certo margine di errore, significa che i dati inseriti, i parametri rilevati e le considerazioni fatte nel modello concettuale sono corretti. A questo punto il modello può essere considerato affidabile e può quindi essere utilizzato come punto di partenza per la simulazione dell'andamento della superficie piezometrica nel tempo.

Discretizzazione spaziale dell'area

Nell'area modellata sono coinvolti i territori di 19 comuni compresi tra le province di Parma e Reggio Emilia e due comuni del mantovano. A Nord il modello è limitato dal Po, mentre gli altri limiti sono stati impostati, come verrà meglio spiegato in seguito, in base alla piezometria di riferimento. Quella che ne risulta è un'area dalla forma alquanto irregolare, che è stata inquadrata in un rettangolo piuttosto ampio di 45.2 * 29.4 km. Suddividendo tale poligono con una griglia a maglie quadrate di 200 m di lato, si sono ottenute 227 colonne e 148 righe.

Sulla verticale, invece, sono stati inseriti tre livelli (layer) (**Figura 23**):

- LAYER1: è lo strato più superficiale che deve rappresentare i depositi sabbiosi più superficiali del fiume Po, sede della falda freatica lungo il fiume, e, nel resto dell'area, i depositi fini che confinano l'acquifero al tetto (aquiclude); la superficie di tetto coincide con il piano campagna, la cui morfologia è stata ricostruita interpolando 1.273 punti;

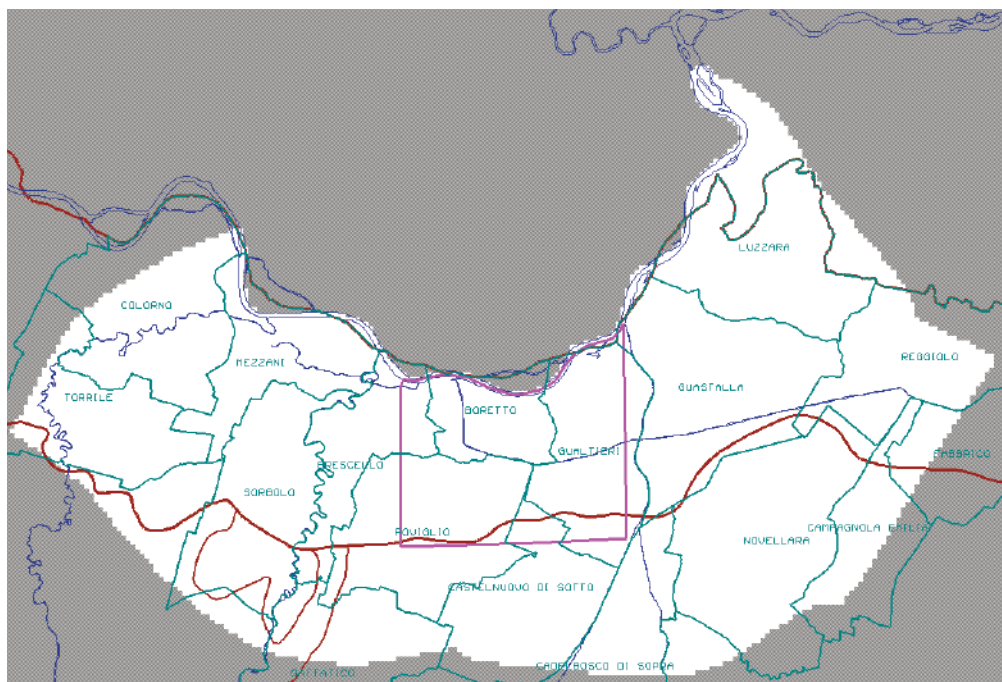


Figura 22 - area modellata in stazionario e sotto-area modellata in transitorio

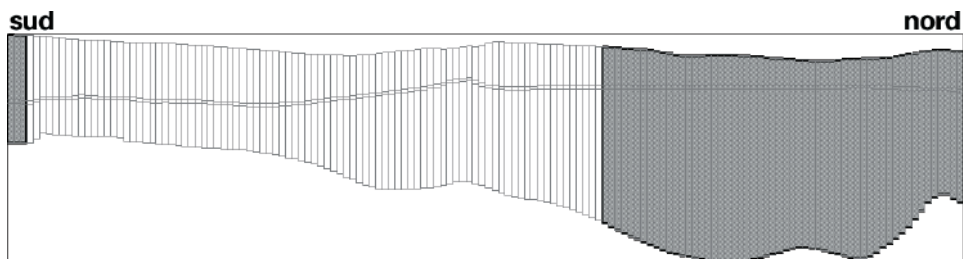


Figura 23 - layers del modello

- LAYER2: è un orizzonte argilloso fittizio dello spessore di 1 m inserito appositamente per simulare correttamente la differenza di carico piezometrico tra la falda freatica e quella confinata sottostante, lungo il Po;
- LAYER3: rappresenta il primo acquifero confinato del Po (A1), ovvero l'acquifero di cui si intende studiare la produttività.

Condizioni al contorno

Lungo il contorno dell'area che si vuole modellare è necessario imporre delle condizioni che, in qualche modo, vincolino il flusso dell'acqua così da simularne il campo di moto reale.

Nell'area modellata le condizioni al contorno sono state impostate secondo lo schema seguente (**Figura 24**):

- LIMITE A NORD: è stato impostato per tutti e tre i layer lungo il corso del Po, come limite a carico costante, ovvero in ogni cella si è imposta la quota idrometrica del fiume;
- LIMITE A SUD-OVEST: è il settore del parmense in cui l'ingresso di acqua è influenzato, come visto, dai gradienti "appenninici". Seguendo l'andamento delle isopiezometriche, si è dato un carico costante a layer₁ e al layer₃, mantenendo una differenza di carico plausibile tra i due;
- LIMITE A NORD-EST: è il limite nel territorio lombardo da cui l'acqua esce dal modello. Anche in questo caso si è dato un carico costante corrispondente ad una certa isopiezometrica, su tutti e tre i layer;
- LIMITE A SUD: è il settore a sud della chiusura dell'acquifero padano dove è stato impostato un carico costante lungo le equipotenziali, solo al layer₁;
- LIMITI A NORD-OVEST E SUD-EST: per tutti i layer, perpendicolarmente all'andamento della piezometria, è stato imposto un limite a flusso nullo.

Parametri di input

Affinché il modello possa calcolare la quota piezometrica, occorre inserire, per ciascuna delle celle che lo costituiscono, tutti dati relativi ai parametri elencati in precedenza.

- CONDUCEIBILITÀ IDRAULICA (m/s): è stata inserita facendo riferimento ai valori e alla zonazione descritti nel paragrafo 1.3. Per schematizzare il sistema idrogeologico nel layer₁ e nel layer₂ si sono quindi inserite, come zone a maggiore conducibilità idraulica, la fascia più prossima al Po, ove l'acquifero è più spiccatamente freatico e la fascia intermedia dove il tetto dell'acquifero si trova invece tra i 2 e i 5 m dal piano campagna. Il resto dell'area, più lontano dal fiume Po, per i layer 1 e 2 funge da acquiclude, e ad esso è stato dunque assegnato un valore di k molto inferiore. Nel layer₃, invece, sono state create: una zona sud ovest dove vi è la connessione tra corpi appenninici e acquifero padano; una zona a sud dove l'acquifero si assottiglia sino a chiudersi; una zona intermedia, di passaggio tra le prime due e l'acquifero di stretta

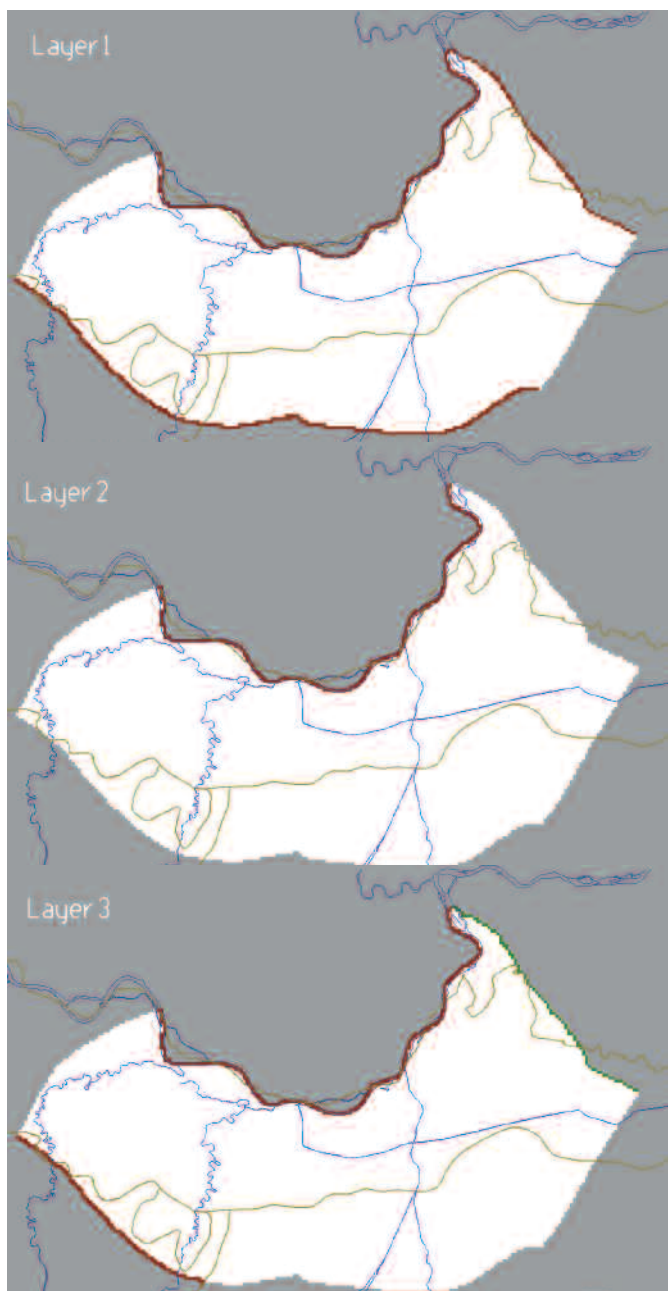


Figura 24 - condizioni al contorno nei diversi layer

pertinenza padana; una zona riferita all'acquifero confinato. Un valore più alto di conducibilità idraulica è stato attribuito, infine, alle celle in cui ricadevano i perimetri delle cave lungo il Po.

- **PRELIEVI DA POZZO** ($m^3/giorno$): come si è detto, il modello implementato in regime stazionario fa riferimento all'inizio del mese di aprile, quando i pozzi ad uso irriguo non sono sostanzialmente in uso. Per questo sono stati inseriti solo i pozzi ad uso acquedottistico, industriale e zootecnico. A ciascun pozzo è stata attribuita una portata calcolata come descritto nel capitolo 4 relativo ai prelievi.
- **RICARICA DALLA SUPERFICIE** ($mm/anno$): per calcolare la quantità d'acqua che si infiltra nel sottosuolo, sono stati utilizzati i dati del bilancio idrico dei suoli. In particolare si è fatto riferimento ad uno studio fatto appositamente dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli in tutta la pianura reggiana, che aveva la finalità, tra l'altro, di valutare proprio il quantitativo di acqua che attraversa il suolo e scende verso le falde. In tale studio la valutazione del bilancio idrico è stata effettuata grazie ad un modello che considera in modo congiunto i vari tipi di suolo rilevati nella carta pedologica, la tipologia delle colture, il clima, il quantitativo di acqua di irrigazione, l'evapotraspirazione reale e l'immagazzinamento di acqua nel profilo. La ricarica dalla superficie è stata inserita solamente nel layer₁, nella zona più prossima al Po, dove l'acquifero è prossimo al piano campagna e si trova in condizioni di acquifero freatico. I valori di ricarica calcolati risultano essere di circa 167 mm/a nella zona più prossima al Po, e di circa 183 mm/a nella fascia intermedia, dove l'acquifero si trova a profondità un poco superiori. Nelle aree di cava è stata invece impostata una ricarica di a 340 mm/a.

Punti di osservazione e taratura del modello

Come accennato in precedenza, quando si vuole valutare se il modello riesce effettivamente a simulare la piezometria rilevata, occorre mettere a confronto il carico idraulico da esso calcolato, con quello misurato in campagna. Per fare ciò, si inseriscono i punti in cui il livello è stato misurato e utilizzato per l'interpolazione della superficie piezometrica di riferimento. A seconda dell'entità dello scarto fra valori calcolati e osservati, si procederà alle modifiche necessarie per la calibrazione del modello, affinando, ad esempio, la distribuzione dei valori della conducibilità idraulica. Nel caso in esame, per la taratura del modello in stazionario, sono stati inseriti i dati della rete rilevati il 5 aprile 2006. Il metodo di taratura utilizzato è di tipo diretto (trial and error): partendo dai dati ottenuti dalla ricostruzione del modello fisico dell'acquifero e dalle sollecitazioni esterne, sono stati eseguiti diversi run modificando di volta in volta i valori di alcuni parametri strutturali del modello (conducibilità idraulica, ricarica, ...), sino ad ottenere un'accettabile convergenza con i valori reali.

La piezometria del primo acquifero confinato calcolata grazie alla taratura del modello in regime stazionario è visibile nella **Figura 25**.

Nella **Figura 26** è invece riportata la retta di calibrazione della piezometria di A1 che

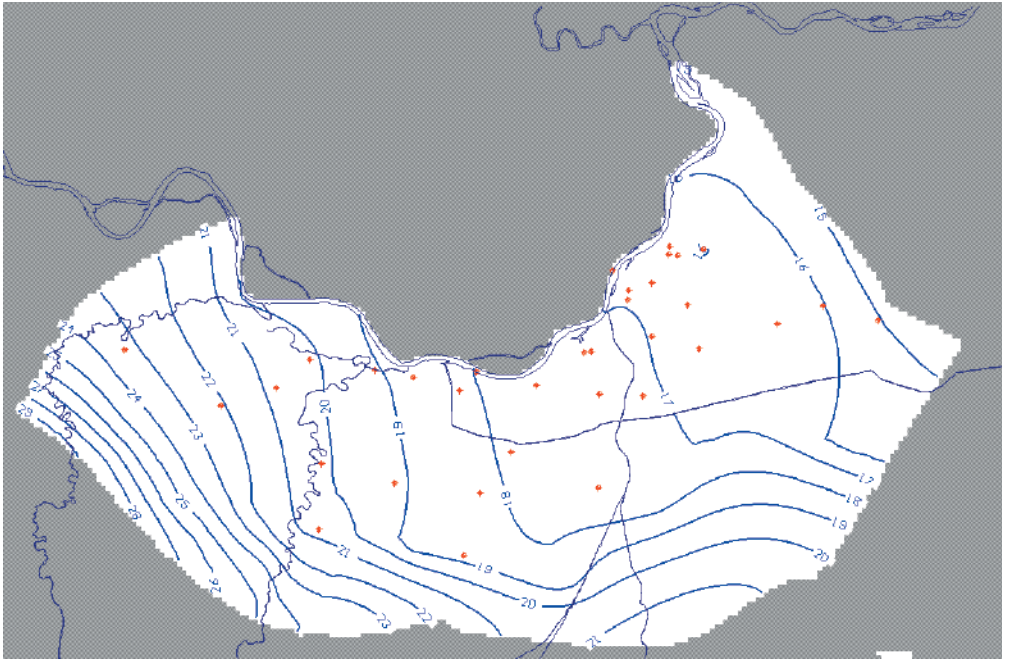


Figura 25 - piezometria calcolata dal modello in regime stazionario

rappresenta il rapporto tra i valori misurati (in ascisse) e i valori calcolati dal modello (in ordinate). Quanto più i valori calcolati e quelli misurati sono vicini, tanto più il loro rapporto tende ad 1 e i punti si dispongono lungo una retta inclinata di 45°. Ognuno dei punti riportati sul grafico rappresenta uno specifico punto di osservazione della piezometria. Come è facile vedere la differenza tra valori calcolati e valori osservati è molto modesta, ad indicare l'attendibilità della simulazione modellistica realizzata.

5.2 Modello di flusso in regime transitorio

Nella realizzazione di un modello in regime transitorio occorre considerare che alcune grandezze, come i parametri fisici e idrogeologici degli acquiferi, pur variando nello spazio rimangono costanti nel tempo, mentre altre, come i prelievi, la ricarica dalla superficie, il livello idrometrico del fiume e la piezometria variano sia nello spazio che nel tempo.

Discretizzazione temporale dei parametri variabili

- **LIVELLO IDROMETRICO DEL PO:** grazie ai rilevamenti orari delle quote del fiume nelle tre stazioni di misura di Casalmaggiore, Boretto e Borgoforte, (fonte ARPA Emilia-Romagna – Servizio IdroMeteorologico) è stata ricostruita l'oscillazione del livello idrometrico dal 5 aprile 2006 all'1 marzo 2007. Successivamente sono stati scelti alcuni picchi di massimo e di minimo ritenuti significativi per la corretta rappresentazione dell'oscillazione misurata. Nel modello sono quindi stati inseriti, in corrispondenza delle celle a carico costante sul Po, i valori del livello idrometrico nei giorni scelti, fra i quali il giorno in cui il fiume ha raggiunto il suo minimo (23 luglio 2006) e il giorno in cui raggiunge il massimo picco di piena (28 settembre 2006).
- **PRELIEVI DA POZZO ($m^3/giorno$):** per il periodo estivo è stato necessario introdurre i pozzi agricoli che nel modello sono stati resi attivi nei giorni compresi tra l'1 maggio e il 31 agosto, con le portate calcolate come visto nel relativo capitolo. Gli altri pozzi, invece, sono rimasti attivi per tutto il periodo simulato.
- **RICARICA DALLA SUPERFICIE ($mm/anno$):** poiché dipende da molteplici fattori a carattere stagionale (piovosità, irrigazioni, evapotraspirazione ecc), si è inserita una variazione del valore di ricarica all'inizio di ogni mese, utilizzando, come per lo stazionario, i dati giornalieri di percolazione alla base del profilo, che si avevano a disposizione.
- **COEFFICIENTE DI IMMAGAZZINAMENTO:** è un ulteriore parametro che è stato introdotto nella modellazione in regime transitorio, esso rappresenta il quantitativo di acqua che viene trattenuta o rilasciata dall'acquifero nel tempo al variare del livello piezometrico. Non avendo però a disposizione alcun dato circa questo parametro, lo si è inserito seguendo la geometria delle zone a diversa conducibilità idraulica e attribuendo dei valori bibliografici compatibili con le litologie presenti.

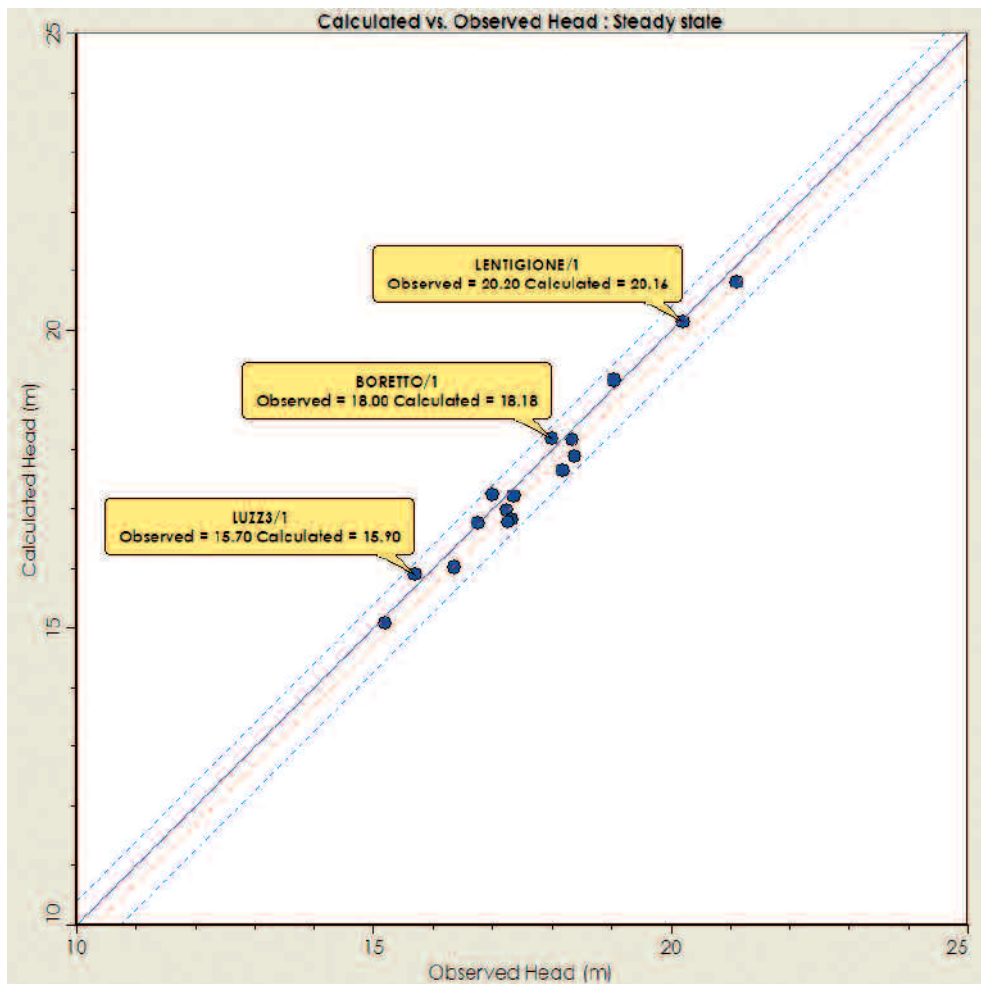


Figura 26 - retta di calibrazione della piezometria di A1

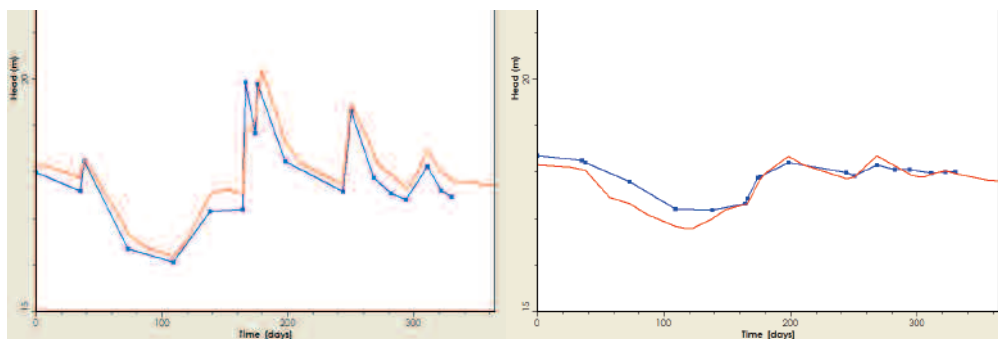


Figura 27 - taratura del modello in regime transitorio

Punti di osservazione e taratura del modello

Come punti di osservazione necessari alla taratura del modello in transitorio, sono stati utilizzati i dati delle centraline che misurano il livello piezometrico in continuo, appositamente installate nei piezometri. In particolare sono stati estratti i valori relativi agli stessi giorni ritenuti significativi per il Po e sono stati confrontati con quelli calcolati dal modello.

Un esempio della taratura operata per il modello in regime transitorio è visibile in **Figura 27** dove sono riportati i valori misurati e osservati per le stazioni di Boretto e Fodico, entrambe comprese nella sotto-area ritenuta appetibile per l'eventuale progettazione di un campo pozzi. La **Figura 27** mostra la buona attendibilità della simulazione effettuata.

Il modello implementato in regime transitorio ha poi permesso, una volta tarato, di ricostruire l'andamento piezometrico nelle due situazioni estreme di drenaggio e alimentazione da parte del fiume. Nella **Figura 28** sono riportate la piezometria calcolata per il 23 luglio 2006, durante la magra del fiume Po, e la piezometria riferita al momento di massima alimentazione nel periodo simulato, il 28 settembre 2006.

5.3 Bilanci idrici sotterranei

Nelle tabelle sottostanti sono riportate le diverse voci del bilancio idrico sotterraneo, calcolate sia per l'intera area modellata che per il solo settore analizzato nel dettaglio nella fase di applicazione del modello in transitorio. Nella **Tabella 8** è riportato il bilancio relativo a tutta l'area modellata, risultante dal modello in stazionario del 5 aprile 2006. Come si vede, il principale termine di ingresso di acqua nel sistema risulta essere quello indicato come ricarica da freatico che rappresenta l'acqua che arriva dai livelli soprastanti, mentre il più importante termine di uscita è il drenaggio operato dal Po. Nella **Tabella 9** sono messi a confronto i bilanci risultanti dal modello in stazionario e dal modello in transitorio per la sotto-area nelle situazioni di media (5 aprile), magra (23 luglio) e piena (28 settembre) del sistema. Quel che risulta evidente è la diversa incidenza dei vari termini di bilancio nei vari periodi e, in particolare, è importante notare il forte aumento dell'alimentazione dal Po nel periodo di piena.

5.4 Scenari futuri

Una volta terminata la taratura del modello in transitorio per la sotto-area scelta, sono stati realizzati tre possibili scenari finalizzati ad individuare le zone di plausibile sfruttamento dell'acquifero A1, ipotizzando tre differenti collocazioni di un campo pozzi. Come accennato in precedenza, questa sotto-area è stata scelta perché, non essendoci connessione tra l'acquifero confinato e quello freatico, la falda che si intenderebbe sfruttare risulta essere, dal punto di vista qualitativo, più protetta. Inoltre questa è la zona in cui i piezometri risen-

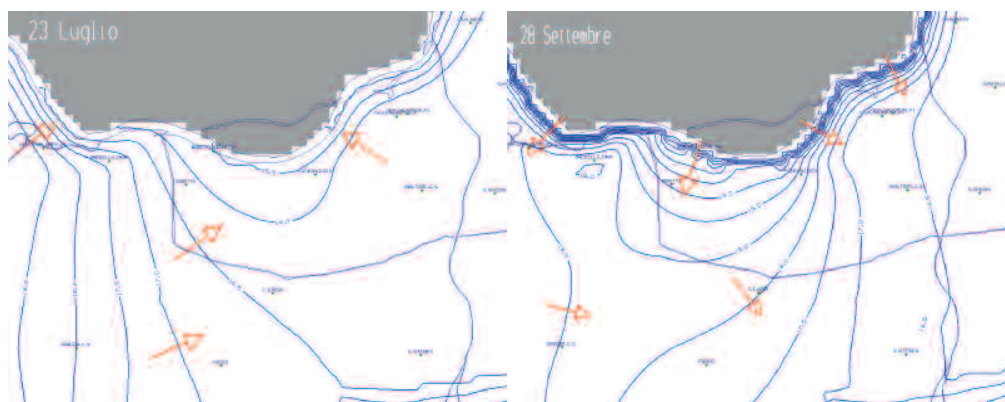


Figura 28 - piezometrie calcolate nelle situazioni di magra e piena del fiume Po

Termini di entrata	05 04 2006	Termini di uscita	05 04 2006
afflusso da falda	152.80	deflusso verso valle	91.00
ricarica da "freatico"	366.60	pozzi	178.94
alimentazione da F. Po	28.50	drenaggio dal F. Po	278.00
da limite sud	0.30	a limite sud	0.26
TOT ENTRATA	548.20	TOT USCITA	548.20

Tabella 8 - bilancio relativo all'intera area modellata (in regime stazionario)

Termini di entrata	da stazionario	05 04 2006	23 07 2006	28 09 2006
afflusso da falda	35.87	35.87	55.75	16.58
ricarica da "freatico"	43.68	44.04	132.84	27.65
alimentazione da F. Po	5.33	3.44	0	4105.21
da limite sud	0.25	0.25	0.33	0.20
da limite est	0.33	0.44	50.84	0
immagazzinamento	0	12.78	228.96	0
TOT ENTRATA	85.46	96.82	468.72	4149.64
Termini di uscita	da stazionario	05 04 2006	23 07 2006	28 09 2006
deflusso verso valle	31.28	31.28	0.47	146.16
pozzi	16.06	16.07	18.98	16.35
drenaggio dal F. Po	37.89	49.20	449.05	0
a limite sud	0.22	0.22	0.22	0.24
a limite ovest	0	0	0	3.29
drenanza verso l'alto	0	0	0	78.06
immagazzinamento	0	0.06	0	3905.55
TOT USCITA	85.45	96.83	468.72	4149.65

Tabella 9 - bilancio relativo alla sotto-area modellata in regime transitorio

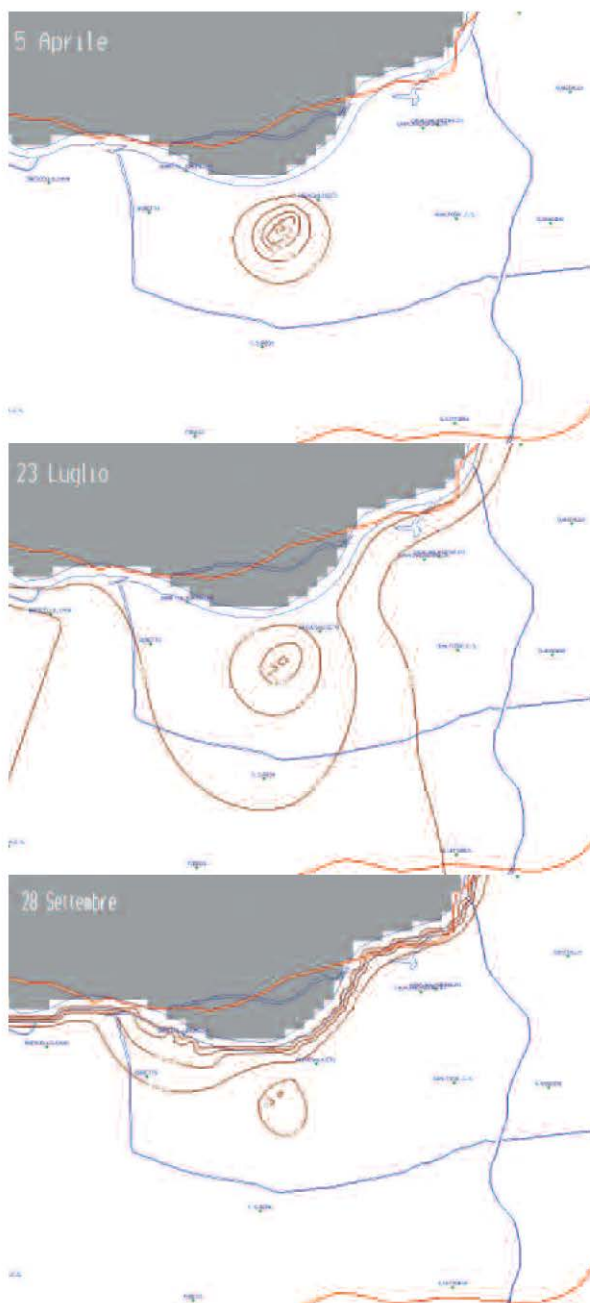


Figura 30 - abbassamenti indotti dal campo pozzi a Pieve Saliceto

tono più rapidamente delle oscillazioni del Po, a testimonianza dell'arrivo di grandi quantitativi d'acqua quando il fiume è in piena con un conseguente rinnovamento della risorsa.

La vicinanza di un eventuale campo pozzi al Po consentirebbe, incrementando il pompaggio, di aumentare il volume di acqua che va dal fiume alla falda. Questi pompaggi quindi realizzerebbero una sorta di ricarica forzata dell'acquifero. Come dimostrato, poi, da numerosi studi effettuati in più di 50 anni sui maggiori fiumi europei fra cui il Reno, il filtro naturale costituito dalle sabbie degli argini naturali del fiume (riverbank filtration), dovrebbe garantire l'attenuazione dell'eventuale carico inquinante proveniente dal Po. Questa situazione si verificherebbe in particolare per i primi due scenari sotto elencati.

I tre scenari simulati (**Figura 29**) sono:

- **SCENARIO 1:** campo pozzi posto a sud di Pieve Saliceto, a circa 1000 m dall'argine del Po, con portata massima estraibile pari a 180 l/s;
- **SCENARIO 2:** campo pozzi posto a sud di Boretto e a Nord del canale scolmatore, a circa 2.200 m dall'argine del Po, con portata massima estraibile pari a 160-180 l/s;
- **SCENARIO 3:** campo pozzi posto a sud del canale scolmatore in zona di Casa S. Rosa, a circa 3.300 m dall'argine del Po, con portata massima estraibile pari a 120 l/s.

Poiché i risultati ottenuti per i tre scenari, in termini di bilancio idrico e di abbassamento del livello piezometrico, sono del tutto paragonabili tra loro, si è scelto di riportare a titolo esemplificativo solamente i risultati ottenuti dal primo di essi.

Nella **Figura 30** sono indicati gli isoabbassamenti indotti dai nuovi pozzi nel caso dello scenario 1 in tre diverse situazioni piezometriche: situazione media (5 aprile 2006); situazione di minima alimentazione della falda anche da parte del Po (23 luglio 2006); situazione di massima alimentazione della falda da parte del Po (28 settembre 2006). I valori degli abbassamenti della piezometria indotti dai nuovi campi pozzo sono modesti, e non causerebbero delle modificazioni di rilievo nell'acquifero in questione.

Nella **Tabella 10** sono riportati i termini del bilancio idrico sotterraneo negli stessi giorni, considerando l'ipotetico campo pozzi in funzione per 365 giorni. Confrontando l'incidenza dei vari termini sul bilancio dell'area con quelli visti nelle tabelle precedenti, si vede che in linea di massima i valori delle singole voci sono tra loro comparabili, salvo, chiaramente, il prelievo dai pozzi che ora ha un peso maggiore. Quel che va però sottolineato è l'aumento del termine di alimentazione da Po, anche nel periodo di magra, come effetto della ricarica indotta dal pompaggio che richiama acqua dal fiume.

Considerando la scala a cui si è operato e gli obiettivi dello studio, i risultati della modellazione si ritengono soddisfacenti, come peraltro ben visibile dal confronto tra i valori calcolati dal modello e i valori effettivamente misurati. Sicuramente, qualora si volesse approfondire l'indagine per realizzare veramente le opere qui proposte, sarebbe opportuno migliorare la parte modellistica acquisendo alcune ulteriori informazioni, quali:

- realizzare delle prove di pompaggio a portata costante entro l'acquifero A1: in particolare sarebbero utili prove di lunga durata in pozzi posti in vicinanza del Po e prove per verificare se esiste interferenza nel tempo tra l'acquifero A1 e quello freatico superficiale;
- effettuare una o più campagne piezometriche sincrone sull'acquifero freatico superficiale e sull'A1, ampliando la rete di monitoraggio di alcuni punti nel settore sud-est dell'area di studio e nel settore lombardo;
- effettuare una battuta topografica di precisione delle teste dei piezometri utilizzati in fase di taratura.

5.5 Considerazioni sulla sostenibilità ambientale dei prelievi da falda

Occorre anzitutto sottolineare che, secondo il già citato PTA, tutta l'area modellata ricade in una zona in cui, dal punto di vista quantitativo, l'impatto antropico sulle acque sotterranee è ridotto. Al fine di valutare la sostenibilità dei prelievi proposti è opportuno considerare le variazioni da essi indotte sul bilancio idrico sotterraneo e sul campo di moto della falda (relazioni con le acque superficiali; direzione di deflusso ecc.)

Il modello numerico di flusso, appositamente implementato e tarato per le condizioni idrologiche del 2006-2007 sia in regime stazionario che transitorio, è risultato essere lo strumento più adatto per compiere queste valutazioni, ed è infatti grazie ad esso che è stato possibile determinare "a priori" le variazioni prodotte da eventuali nuovi pompaggi in una determinata area.

La quantificazione delle diverse voci del bilancio idrico per l'area di maggiore interesse, riportate nella **Tabella 10**, permette di desumere che il rapporto tra i prelievi da pozzo e la ricarica complessiva è sostanzialmente in parità. Questo sta a significare che anche quando il campo pozzi ipotizzato funziona a pieno regime l'equilibrio tra disponibilità e consumi viene rispettato e il sistema non è dunque messo in crisi.

A supporto di ciò vi è la verifica che il massimo abbassamento del livello di falda risulta essere pari al 20 % del carico idraulico medio osservato nel periodo in esame. Ciò significa che la falda non cambia mai le sue caratteristiche di confinamento o, in altri termini, il livello piezometrico non scende mai al di sotto della quota di tetto dell'acquifero. Infine, un altro importante risultato del modello numerico è la verifica che l'aumento del prelievo non interferisce in alcun modo sul regime idrodinamico del fiume Po.

Le modifiche indotte dai nuovi ipotetici prelievi risultano quindi essere di lieve entità. Certamente qualora i nuovi pozzi venissero effettivamente realizzati sarebbe indispensabile realizzare un'apposita rete di monitoraggio dei livelli di falda per verificare le ipotesi qui avanzate.

6. Uso della risorsa

Come specificato nel paragrafo 5.4, lo studio modellistico ha permesso di individuare tre diverse zone in (**Figura 29**) in cui sarebbe possibile ubicare, in alternativa, dei nuovi pozzi di attingimento idrico. I volumi prelevabili variano da 180 a 120 litri al secondo (circa da 4 a 6 milioni di metri cubi all'anno). Questa risorsa potrebbe essere potenzialmente destinata ad ogni tipo di utilizzo (potabile, irriguo, zootecnico, industriale).

L'uso potabile, il più nobile tra gli altri, potrebbe servire un'utenza di circa 30-40 mila abitanti. In questo caso si dovrebbe procedere ad un apposito trattamento di queste acque. Si ricorda infatti che, alcuni elementi (ammoniaca, ferro e manganese) sono presenti in valori eccedenti i limiti consentiti dalla legge (vedi capitolo 3).

Nel paragrafo successivo, si illustrano i trattamenti necessari per la potabilizzazione delle acque nel campo pozzi di Luzzara, località compresa nell'area di studio.

Quanto segue è di grande interesse nell'ambito del presente progetto che si prefigge di reperire nuove risorse idriche in zone non distanti da Luzzara e all'interno dello stesso acquifero che lì viene captato. Considerando le stime sotto indicate, il costo per il trattamento finalizzato all'uso potabile della risorsa qui individuata sarebbe di circa 120-180 mila Euro all'anno.

6.1 Il trattamento delle acque nel campo pozzi di Luzzara

Il campo pozzi di Luzzara è situato nella parte nord della pianura reggiana presso l'abitato di Luzzara, alla quota di 20 m s.l.m. a circa 1.5 km dal fiume Po; è utilizzato per usi potabili da ENIA spa, gestore unico del Servizio Idrico Integrato nel territorio delle Province di Piacenza, Reggio Emilia e parte di quella di Parma.

Il campo pozzi di Luzzara provvede ai fabbisogni idrici potabili del Comune di Luzzara e di buona parte dei Comuni di Guastalla e Reggio (compresi i rispettivi capoluoghi), gli abitanti serviti nell'anno 2006 sono stati circa 24.000, la potenzialità massima attuale di emungimento è di circa 97 l/s. I pozzi captano gli acquiferi A1 e A2 (si veda la schematizzazione stratigrafica degli acquiferi al paragrafo 1.2).

In totale analogia con i valori di chimismo delle acque risultanti dalle analisi condotte nel presente studio, l'acqua sotterranea prelevata dal campo pozzi di Luzzara è caratterizzata dalla presenza di una facies idrochimica con potenziale redox negativo e da tenori di ferro, manganese e ammoniaca superiori a quelli prescritti dal D.Lgs. 31/01. Questi valori rendono quindi necessario un trattamento prima della distribuzione nell'acquedotto.

Nell'impianto di trattamento situato presso il campo pozzi di Luzzara, la rimozione di ammoniaca, ferro e manganese viene effettuata mediante filtrazione biologica. I filtri

biologici sono costituiti da un recipiente verticale contenente uno spesso strato granulare di materiale inerte (ghiaia, sabbia e carbone granulare) nel quale viene fatta passare l'acqua da trattare, precedentemente saturata di ossigeno.

L'ossidazione dei composti organici e inorganici presenti nell'acqua consente, in condizioni aerobiche, la proliferazione di microrganismi in grado di trasformare l'ammoniaca in nitriti e, successivamente, in nitrati. La crescita di questa "biomassa" può causare l'intasamento dei filtri e rende quindi necessari periodici lavaggi dell'impianto, che avvengono facendo scorrere acqua e aria in direzione opposta rispetto a quella della filtrazione. Tutta l'acqua trattata dall'impianto viene successivamente disinfettata con biossido di cloro (ClO_2).

I costi per questo tipo di trattamento e per la manutenzione dell'impianto, sono stati stimati in circa 3 centesimi di Euro all'anno per ogni m^3 di acqua prodotta e vanno inevitabilmente ad incidere sul costo finale della risorsa all'utenza.

7. Conclusioni

Il lavoro svolto come progetto pilota dal partner Regione Emilia-Romagna, nell'ambito del Progetto Europeo Interreg IIB MEDOCC Bassins Versants Méditerranées, ha preso origine dalla necessità di individuare nuove fonti di approvvigionamento idrico per la Regione Emilia-Romagna a seguito degli eventi siccitosi che hanno colpito il territorio regionale negli ultimi anni e che si ripropongono regolarmente al sopraggiungere della stagione estiva.

Nella Regione Emilia-Romagna è documentato un deficit idrico nelle falde della pianura di circa 24.4 milioni di m³/anno (dati stimati nel PTA), e colpisce in prevalenza le aree maggiormente urbanizzate e nelle quali si è sino ad ora concentrata buona parte del prelievo idrico dal sottosuolo.

Accanto al prelievo da pozzo, l'elemento che incide con peso sempre maggiore sulla mancanza della risorsa e che ne complica la gestione è la variazione delle condizioni climatiche ad ampia scala. Anche nella Regione Emilia-Romagna, infatti, si è assistito negli ultimi anni ad un incremento delle temperature medie accompagnato da una variazione nelle modalità di precipitazione che ne causa una minore efficacia ai fini del suo utilizzo.

L'aumento di temperatura incide sul depauperamento delle falde in termini di incremento della richiesta (specie nei settori agricolo e civile), ma anche in termini di perdita d'acqua per evaporazione ed evapotraspirazione. Il calo della quantità di pioggia o, meglio, il fatto che le piogge non siano più distribuite nel corso di tutto l'anno idrologico ma si concentrino in pochi giorni e con grande intensità (tropicalizzazione delle precipitazioni), comporta invece gravi conseguenze per l'agricoltura e, sul lungo periodo, non permette alle falde sotterranee di alimentarsi e immagazzinare acqua.

La ricerca di risorse alternative è stata quindi direzionata verso un'area rurale poco abitata, in cui lo sfruttamento delle acque sotterranee è, allo stato attuale, decisamente scarso; gli acquiferi sono generalmente confinati e dunque protetti rispetto alla superficie; la ricarica delle falde è assicurata dalla vicinanza al fiume Po e dalla diretta connessione idraulica tra il suo alveo e gli acquiferi.

Partendo dai numerosi dati già in possesso del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e integrandoli con i nuovi dati prodotti specificamente per gli scopi di questo studio, è stato possibile raggiungere una conoscenza molto approfondita del territorio in esame sotto molteplici aspetti, tutti ugualmente importanti. A cominciare dalla conoscenza geologica dell'area, si è operata una ricostruzione del sottosuolo molto precisa grazie alla quale è stato possibile selezionare i punti di misura della piezometria più corretti e ubi-carne di nuovi in maniera ottimale. Tutto ciò ha permesso di comprendere al meglio i processi che legano la dinamica fluviale del Po al rinnovamento della risorsa nel sottosuolo e la relazione tra il campo di moto della falda tra la bassa pianura reggiana e la zona delle vicine conoidi di Parma ed Enza.

Strettamente connessi all'uso e alla gestione del territorio, poi, sono tutti i termini di bilancio che concorrono all'ingresso e all'uscita d'acqua (i prelievi da pozzo, l'infiltrazione dalla superficie, ecc.), che è stato necessario prendere in considerazione e quantificare nella maniera più corretta possibile.

Il modello di flusso realizzato in stazionario è servito per sintetizzare tutti i dati raccolti, per validarne la qualità e quindi, per verificare la correttezza delle elaborazioni e delle interpretazioni fatte. La possibilità di realizzare il modello di transitorio, grazie ai dati delle centraline in continuo, è stata di fondamentale importanza per determinare i volumi di risorsa in gioco e per valutare, a scopo "predittivo", gli effetti indotti dall'introduzione di un fattore di stress quale può essere, ad esempio, un nuovo campo pozzi. Esso rimane, inoltre, uno strumento di lavoro da perfezionare con dati sempre più aggiornati e da utilizzare, ad esempio, per fare delle valutazioni preliminari di come le citate variazioni climatiche potrebbero influire sui vari termini di bilancio e, quindi, sulla risorsa a scala locale.

Oltre ad accertare e quantificare la possibilità concreta di reperire di nuove risorse idriche, in maniera del tutto sostenibile dal sistema idrogeologico locale, il presente progetto può rappresentare quindi un affidabile esempio di metodologia di lavoro applicabile in tutti quei contesti che presentino problematiche simili. Specialmente nelle pianure alluvionali delle aree mediterranee in cui le variazioni climatiche hanno portato negli ultimi anni a forte riduzioni della risorsa idrica disponibile.

In estrema sintesi il lavoro svolto, seguendo la metodologia sopra richiamata, ha permesso di individuare in provincia di Reggio Emilia, nei comuni di Boretto e Gualtieri, delle aree dove sono disponibili delle riserve idriche sotterranee e in cui sarebbe possibile perforare dei nuovi pozzi. Si sono individuate in modo puntuale tre zone, in alternativa tra loro, dalle quali si potrebbero estrarre da 4 a 6 milioni di metri cubi di risorsa all'anno. Il modello di flusso realizzato ha permesso di dimensionare questi volumi in modo corretto rispetto alla sostenibilità della risorsa (equilibrio tra prelievi e ricarica).

Ai fini di un utilizzo potabile l'acqua prelevata dovrebbe essere trattata, per la riduzione di alcune sostanze presenti in valori troppo elevati rispetto alle norme in vigore. Tali trattamenti avrebbero un costo variabile tra 120 e 180 mila Euro all'anno. A questo punto l'acqua potrebbe essere distribuita e servire un'utenza di circa 30-40 mila abitanti.

Il presente studio ha comunque un carattere preliminare e non ha la pretesa di esaurire tutte le analisi e le problematiche di interesse. In particolare qualora si volesse realmente realizzare le opere qui proposte, sarebbe indispensabile effettuare ulteriori studi che dovrebbero approfondire i dati sui prelievi in atto, la determinazione dei parametri idrogeologici attraverso la realizzazione di prove di pompaggio, la densità della rete di monitoraggio considerando anche la porzione a nord del Po, i dati circa le perdite dai canali irrigui e il livello idrico nei laghi di cava, gli effetti che nuovi emungimenti di acqua dall'acquifero A1 potrebbero avere sulla subsidenza.

Finito di stampare nel mese di ottobre 2007