

**PROGETTO DI
ACCOMPAGNAMENTO A
SUPPORTO DEL PROCESSO
DI REVISIONE DEL PIANO DI
TUTELA DELLE ACQUE.**

**ATTIVITÀ DI APPROFONDIMENTO
SPECIALISTICO RELATIVO AI CORPI IDRICI
SOTTERRANEI.**

(Cod. Éupolis Lombardia Ter13016/001)

**ATTIVITÀ DI PROGETTAZIONE,
MONITORAGGIO E STUDIO RELATIVE AI
CORPI IDRICI SOTTERRANEI DELLA
LOMBARDIA**

RELAZIONE DI SINTESI

FEBBRAIO 2015

La presente relazione è frutto di un lavoro di ricerca affidato ad Éupolis Lombardia (dirigente responsabile: Carla Castelli) da Regione Lombardia, DG Ambiente, Energia e Sviluppo Sostenibile (dirigente responsabile: Viviane Iacone)

Gruppo di lavoro regionale “Acque Sotterranee”

Marina Riva (Responsabile di progetto) – Éupolis Lombardia, Struttura Area Territoriale;
Viviane Iacone (dirigente Struttura e responsabile regionale della ricerca), *Elena Brivio*, *Daniele Magni*, *Marco Parini* – Regione Lombardia, DG AESS - Struttura Pianificazione tutela e riqualificazione delle risorse idriche; *Nadia Chinaglia* – Regione Lombardia, DG Presidenza – UOC Supporto al coordinamento delle Sedi territoriali, Organizzazione attività di difesa del territorio;
Valeria Marchesi (dirigente U.O.C.), *Giusi Cipriano*, *Andrea Merri*, *Alessandra Piana* – ARPA Lombardia, Settore Monitoraggi ambientali – U.O.C. Risorse Idriche; *Nicoletta Dotti* – ARPA Lombardia, Direzione Generale, Supporto tecnico-specialistico.

Hanno contribuito alla realizzazione dell’attività

Pietro Breviglieri, *Efrem Ghezzi* - Studio Idrogeotecnico Applicato Sas;
Alessandro Uggeri - Idrogea Servizi Srl.

Si ringraziano

tutti i soggetti, istituzionali e non, che, a diverso titolo, hanno contribuito alla realizzazione delle attività qui descritte, mettendo a disposizione informazioni utili (dati, stratigrafie...), consentendo l’accesso ai luoghi di misura, collaborando all’acquisizione in campo dei rilievi piezometrici e/o alla loro successiva elaborazione.

Pubblicazione non in vendita.

Nessuna riproduzione, traduzione o adattamento può essere pubblicata senza citarne la fonte.

Éupolis Lombardia

Istituto superiore per la ricerca, la statistica e la formazione
via Taramelli 12/F - Milano
www.eupolislombardia.it

Contatti: area.territoriale@eupolislombardia.it

INTRODUZIONE

Nell'ambito di un incarico più ampio commissionato da Regione Lombardia - DG Ambiente, Energia e Sviluppo sostenibile ad Éupolis Lombardia, questi ha affidato al RTI Studio Idrogeotecnico Applicato Sas - Idrogea Servizi Srl - risultato l'aggiudicatario della gara indetta allo scopo - l'esecuzione di attività finalizzate alla ridefinizione dei corpi idrici sotterranei da attuarsi mediante la progettazione di una rete di monitoraggio quantitativa degli acquiferi lombardi di pianura (integrativa a quella già esistente gestita da ARPA Lombardia), la successiva realizzazione di campagne di misura piezometrica sulla rete integrativa e la ricostruzione del modello concettuale della struttura idrogeologica dei settori di pianura e di fondovalle in Lombardia (codice Éupolis Ter13016/001).

Le attività affidate alla RTI si configurano come prosecuzione e aggiornamento degli studi tecnici relativi alle acque sotterranee, predisposti prima a supporto dell'elaborazione del Programma di Tutela e Uso delle Acque (da qui in avanti PTUA, adottato nel novembre 2005 e poi approvato nel marzo 2006) e, successivamente, del contributo lombardo al Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po (da qui in avanti PdGPO, adottato nel febbraio 2010 e approvato nel febbraio 2013).

L'indagine, che ha portato alla ricostruzione del modello concettuale della struttura idrogeologica dei settori di pianura e di fondovalle in Lombardia, è stata condotta secondo le seguenti fasi operative:

Fase 1: ricostruzione del campo di moto degli acquiferi mediante:

- l'identificazione di una rete di monitoraggio integrativa alla rete istituzionale gestita da ARPA;
- l'esecuzione di 2 campagne di monitoraggio, la prima tardo primaverile, la seconda tardo estiva;
- l'elaborazione dei dati piezometrici della rete istituzionale ARPA e della rete integrativa con ricostruzione delle superfici piezometriche dell'acquifero libero e degli acquiferi semiconfinati e confinati profondi.

Fase 2: revisione dei corpi idrici sotterranei per i settori di pianura e di fondovalle attraverso:

- la predisposizione di sezioni idrogeologiche longitudinali e trasversali;
- l'identificazione delle basi degli acquiferi freatici e delle idrostrutture profonde;
- l'analisi delle piezometrie storiche e di nuova elaborazione per l'identificazione dei principali spartiacque sotterranei e delle principali direzioni di flusso;
- l'analisi dei dati di nuova acquisizione e l'elaborazione di una proposta di ridefinizione dei corpi idrici sotterranei.

RICOSTRUZIONE DEL CAMPO DI MOTO DEGLI ACQUIFERI

Durante la prima fase di lavoro è stata integrata la rete di controllo piezometrica regionale gestita da ARPA, oggi costituita da 437 pozzi e piezometri distribuiti in tutte le province lombarde, che interessa prevalentemente la zona di pianura (con 415 punti); e in subordine gli assi vallivi principali (14 in Valtellina, 1 in Valtrompia, 1 in Valsabbia, 3 in Val Camonica, 3 in Valchiavenna).

La distribuzione degli attuali punti della rete rispetto agli acquiferi di pianura, secondo la classificazione ENI - Agip 2002 , è la seguente:

- Gruppo Acquifero A: 204 punti
- Gruppo Acquifero B: 142 punti
- Gruppo Acquifero C: 30 punti
- Gruppo Acquifero D: 1 punto

La rete di monitoraggio integrativa, individuata nel corso della presente attività, è suddivisa in due sottoreti, la prima relativa all'acquifero superficiale libero, la seconda agli acquiferi semiconfinati e confinati profondi.

Essa conta 714 nuovi punti di monitoraggio distinti in:

- 585 punti captanti l'acquifero superficiale;
- 129 punti captanti l'acquifero profondo.

Figura 1 - Rete di monitoraggio integrativa dell'acquifero superficiale (rapportata a quella di ARPA)

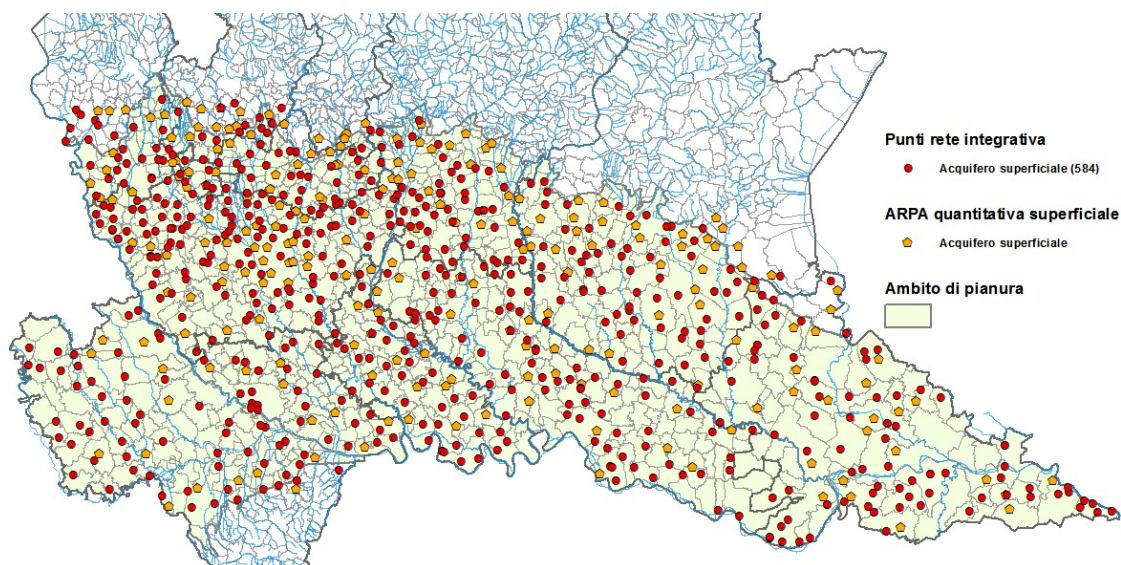
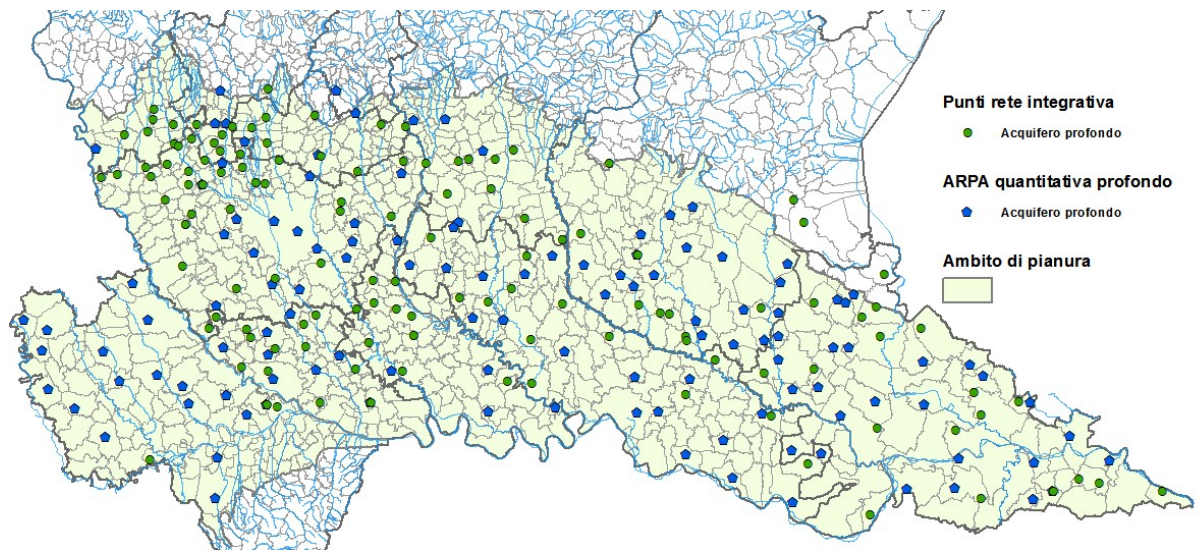


Figura 2 - Rete di monitoraggio integrativa dell'acquifero profondo (rapportata a quella di ARPA)



L'obiettivo della rete integrativa è principalmente di omogeneizzare la distribuzione dei punti della rete istituzionale, andando a individuare un reticolo di punti di controllo piezometrico con maglia di circa 3,5 Km di lato; con tale distribuzione vengono quindi interessate anche zone storicamente lacunose dal punto di vista della caratterizzazione piezometrica (settori del bresciano, pavese e mantovano). La rete integrativa è stata oggetto di rilievi di caratterizzazione, con predisposizione di schede monografiche dei punti di controllo.

Nei mesi di aprile-maggio e settembre 2014, sui punti della rete integrativa, sono state effettuate due campagne di rilevamento piezometrico. Contestualmente ARPA Lombardia ha aggiornato i dati piezometrici sulla rete istituzionale.

Nel periodo luglio - settembre 2014, per consentire l'elaborazione di piezometrie alla scala regionale, la rete di monitoraggio integrativa è stata oggetto di una campagna di geolocalizzazione ad opera di altro tecnico incaricato nell'ambito del progetto, attraverso cui è stata verificato il posizionamento geografico ed altimetrico dei nuovi punti di monitoraggio piezometrico e di quelli della rete ARPA.

Contemporaneamente alla prima campagna piezometrica sono stati installati 3 diver (trasduttori di pressione abbinati a registratori dati) in pozzi ubicati in provincia di Brescia; i dati di livello registrati dai diver hanno permesso di evidenziare che la prima campagna è stata effettuata nell'ambito del minimo piezometrico primaverile, mentre la seconda in corrispondenza dell'alto piezometrico estivo. In questo caso le precipitazioni estive, particolarmente intense, hanno accentuato le condizioni di alto piezometrico già tipiche di questo periodo dell'anno.

Al termine delle campagne piezometriche e della geolocalizzazione dei punti della rete integrativa, i dati piezometrici della rete istituzionale (differenziata a seconda dell'acquifero captato in superficiale e profonda) e di quella integrativa sono stati elaborati per ricostruire le seguenti piezometrie:

- piezometria dell'acquifero superficiale all'aprile – maggio 2014;
- piezometria dell'acquifero superficiale al settembre 2014;
- piezometria dell'acquifero profondo all'aprile – maggio 2014;
- piezometria dell'acquifero profondo al settembre 2014;

Figura 3 - Piezometria dell'acquifero superficiale al settembre 2014

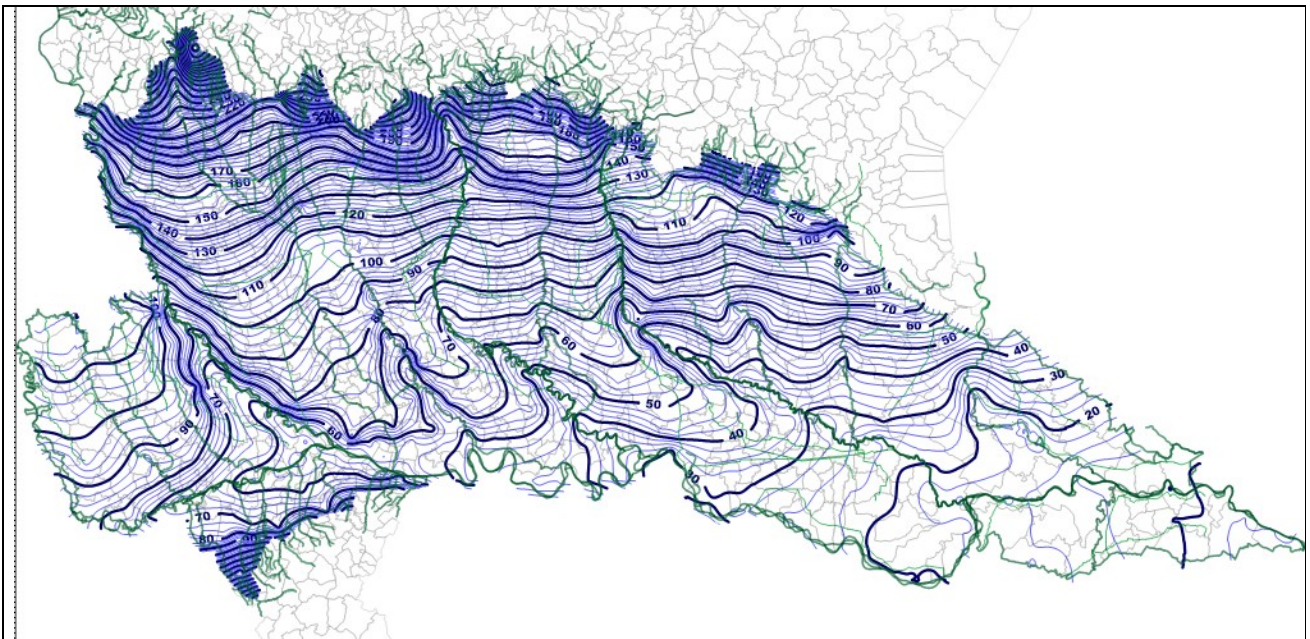
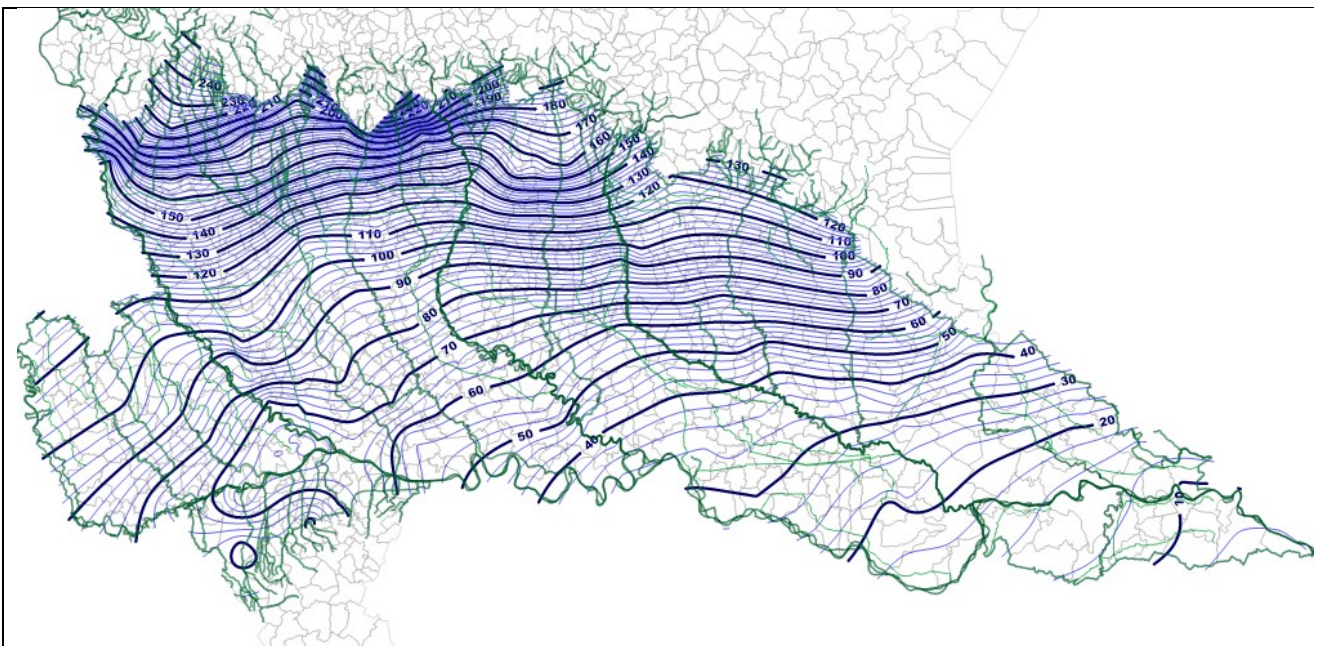


Figura 4 - Piezometria degli acquiferi profondi al settembre 2014



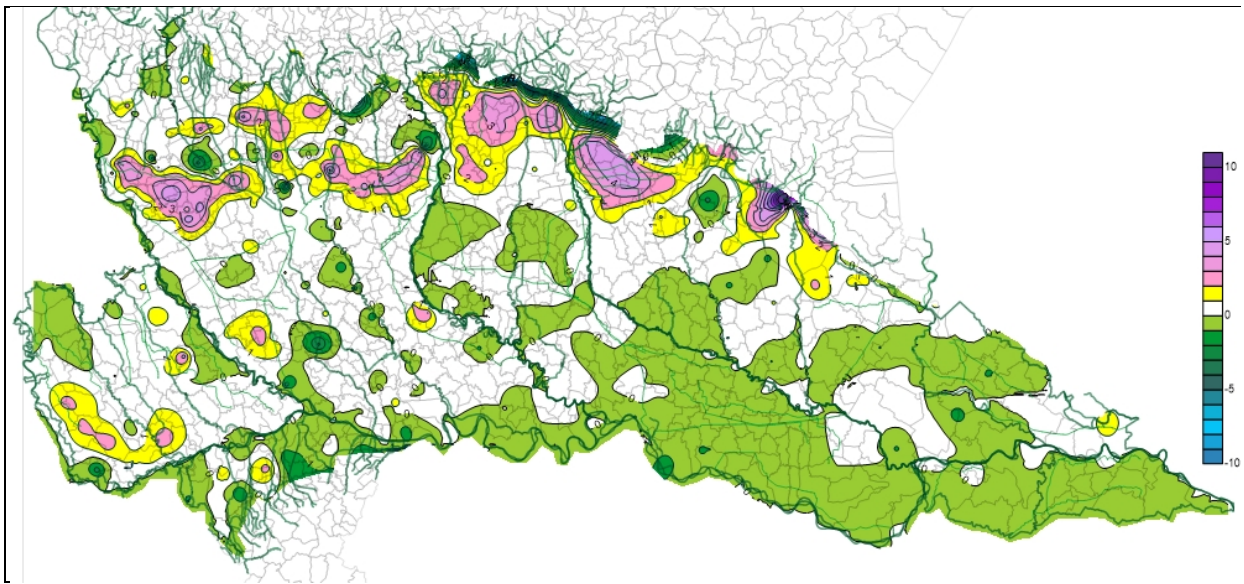
Le recenti mappe piezometriche sono state confrontate con le piezometrie considerate nel PTUA 2006, in particolare con la piezometria di riferimento (1982) e con quelle di piano (dati aggiornati a marzo 2003 acquifero superficiale e tradizionale), per evidenziare eventuali differenze nella localizzazione dei principali spartiacque idrogeologici e verificare le aree di pianura soggette alle maggiori oscillazioni piezometriche.

Per poter confrontare le piezometrie al 2003 con le piezometrie al 2014 si è reso necessario rielaborare le piezometrie pregresse a partire dai dati piezometrici, introducendo nelle diverse elaborazioni le medesime condizioni di controllo in corrispondenza delle aree di emergenza della falda (corsi d'acqua fortemente drenanti). Questa operazione non è stata possibile per la piezometria al 1982 in quanto non sono disponibili i dati puntuali originali.

La nuova rete piezometrica consente una precisa caratterizzazione piezometrica degli acquiferi superficiali e di quelli profondi dei settori di pianura e una migliore definizione dei principali spartiacque idrogeologici e dei rapporti di interscambio esistenti tra acque sotterranee e corpi idrici superficiali, naturali e non.

In particolare il confronto tra condizioni piezometriche nei due periodi dell'anno consente di evidenziare molto accuratamente gli effetti della ricarica irrigua sui settori di alta e media pianura e di identificare, con buona precisione anche le aree a maggiore ricarica naturale sia riferite all'acquifero superficiale che a quello profondo.

Figura 5 - Confronto tra piezometria al settembre 2014 e all'aprile-maggio 2014 relativa all'acquifero superficiale



L'esame delle nuove piezometrie e il confronto con quelle storiche ha fornito un supporto per la Fase 2 del presente lavoro in quanto ha consentito di:

- identificare i principali spartiacque idrogeologici e gli assi di drenaggio di interesse regionale;
- definire le condizioni di ricarica ed interscambio tra gli stessi corpi idrici sotterranei e tra corpi idrici sotterranei e quelli superficiali.

REVISIONE DEI CORPI IDRICI SOTTERRANEI PER I SETTORI DI PIANURA

La fase 2 dell'indagine per gli ambiti di pianura è stata condotta attraverso l'esame dei dati stratigrafici contenute nelle numerose banche dati messe a disposizione da Regione Lombardia, ARPA o presenti negli archivi privati dell'ATI.

L'individuazione dei corpi idrici sotterranei del settore di pianura è stata condotta, a partire dalla classificazione dei Gruppi Acquiferi ENI AGIP 2002, attraverso l'identificazione delle principali idrostrutture ovvero del sistema di relazioni tra i complessi idrogeologici tridimensionali, omogenei al loro interno, identificati per le modalità con cui si attua la circolazione idrica, e per i limiti che la separano dai complessi adiacenti.

Per la definizione delle unità idrostratigrafiche si è operato a partire dalla classificazione di Regione Lombardia, Eni Divisione Agip, 2002, che identifica i seguenti complessi idrogeologici:

- **Gruppo Acquifero A** (Olocene-Pleistocene Medio);
- **Gruppo Acquifero B** (Pleistocene Medio);
- **Gruppo Acquifero C** (Pleistocene Medio).

Il gruppo acquifero D non è stato preso in esame nell'ambito del presente studio in quanto posto a profondità molto maggiori rispetto a quelle raggiunte dalle normali tecniche di perforazione a scopo di ricerca idrica. Utilizzando i dati stratigrafici disponibili sono state tracciate una serie di sezioni idrogeologiche orientate ortogonalmente (9 sezioni N-S e 9 E-O) che hanno permesso di riconoscere le principali idrostrutture a carattere regionale.

Figura 6 – Traccia delle sezioni idrogeologiche

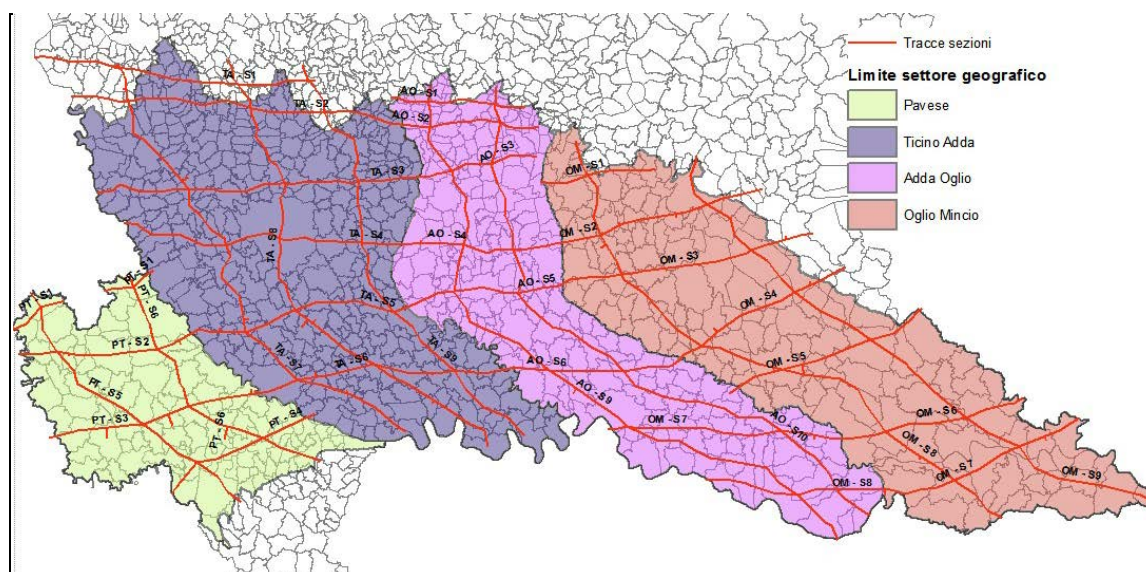
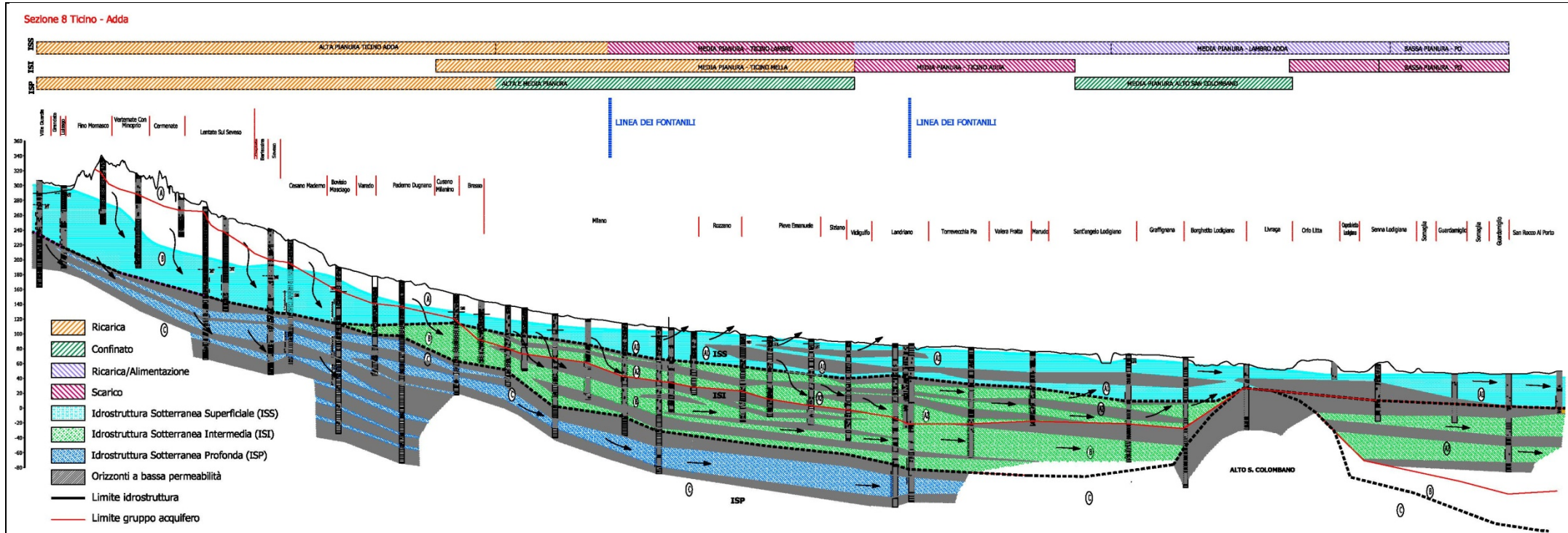


Figura 7 – Schema idrogeologico del settore Tcino Adda



Sono state riconosciute 3 idrostrutture differenziabili tra loro per presenza di limiti fisici laterali netti (corsi d'acqua o spartiacque sotterranei) o graduali (di natura sedimentologica e idrogeologica degli acquiferi).

All'interno di ciascuna idrostruttura sono stati individuati limiti il più possibile oggettivi e riconoscibili, tali da permettere la successiva definizione di corpi idrici sotterranei ai sensi del D.Lgs. 152/06.

I confini delle principali idrostrutture dei settori di pianura sono stati identificati nel contatto tra la piana lombarda e le forme di origine glaciale pedemontane (sistemi morenici), desunti dalla cartografia geomorfologica di Regione Lombardia ("Geomorfologia_Sotto_ambiti_polygon", appartenente al gruppo "Basi Ambientali della Pianura") scaricabile dal GEOportale della Lombardia.

La definizione dei limiti drenanti è stata condotta, in analogia a quanto già effettuato in sede di redazione del PTUA 2006 attraverso la ricostruzione delle linee isopiezometriche e l'intersezione delle stesse con i db topografici (punti quotati della Carta Tecnica Regionale e del Progetto Lidar - Light Detection and Raging) e con i livelli delle stazioni idrometrografiche della rete ARPA Lombardia.

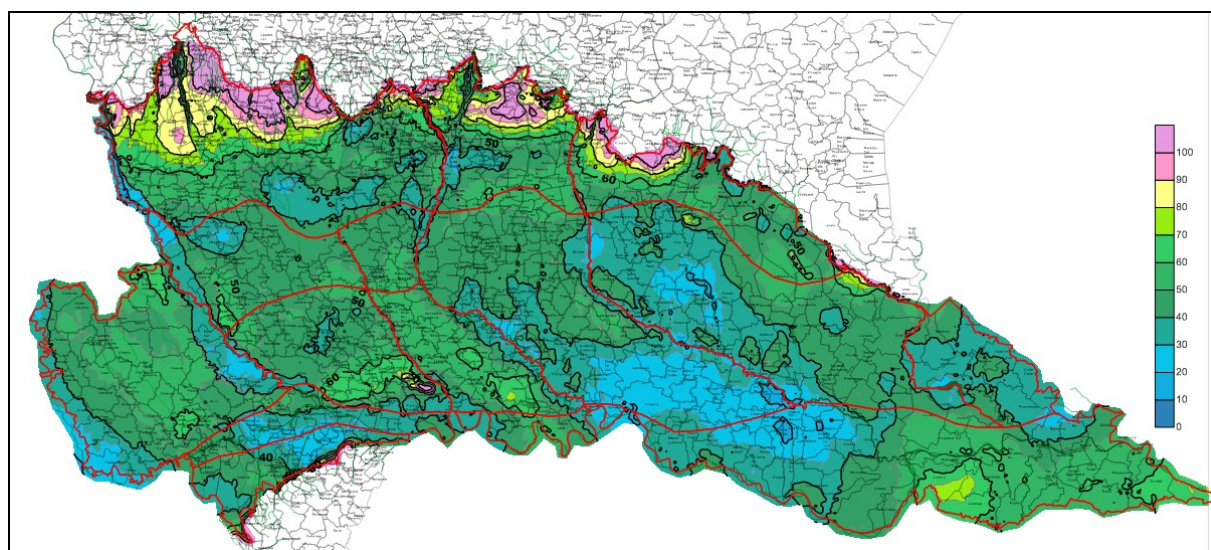
La definizione degli spartiacque idrogeologici di interesse regionale è invece stata fatta individuando preliminarmente gli spartiacque nelle diverse condizioni piezometriche (marzo 2003, aprile-maggio 2014 e settembre 2014), ed identificando tra di essi quelli mantenutisi sostanzialmente stabili nel tempo.

Talvolta le variazioni tra corpi idrici, in particolare nel caso delle idrostrutture intermedie e profonde, sono di tipo graduale (variazioni nelle litofacies o nei rapporti d'interscambio); in questi casi i limiti sono stati fatti coincidere convenzionalmente con elementi fisici superficiali.

Le caratteristiche delle 3 idrostrutture principali sono di seguito descritte a partire dal piano campagna:

ISS (Idrostruttura Sotterranea Superficiale), sede dell'acquifero libero, comprendente il Gruppo Acquifero A e B nei settori di alta pianura Lombarda e la porzione superiore del Gruppo Acquifero A (denominata Unità A1 nel presente documento), nella media e bassa pianura. In genere l'ISS costituisce il corpo idrico maggiormente vulnerabile sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo, essendo posto in diretta comunicazione con la superficie topografica e con i corsi d'acqua superficiali che localmente ne riducono lo spessore complessivo. L'idrostruttura costituisce corpo idrico serbatoio attraverso cui i sottostanti acquiferi (ISI e ISP) sono ricaricati/scaricati. Il limite di base dell'Idrostruttura Sotterranea Superficiale (ISS) è posto alla base del Gruppo acquifero B nell'alta pianura e alla base del sottogruppo A1 nella media e bassa pianura lombarda. L'idrostruttura sia caratterizzata da spessori minimi (20-30 m) in alcuni settori della bassa pianura lombarda (aree alla confluenza tra Po e Ticino, nel basso cremonese e nel medio bresciano) e da un ispessimento nell'alta pianura con spessori massimi superiori ai 100 m.

Figura 9 – Spessori dell'Idrostruttura Sotterranea Superficiale ISS (espresso in m)

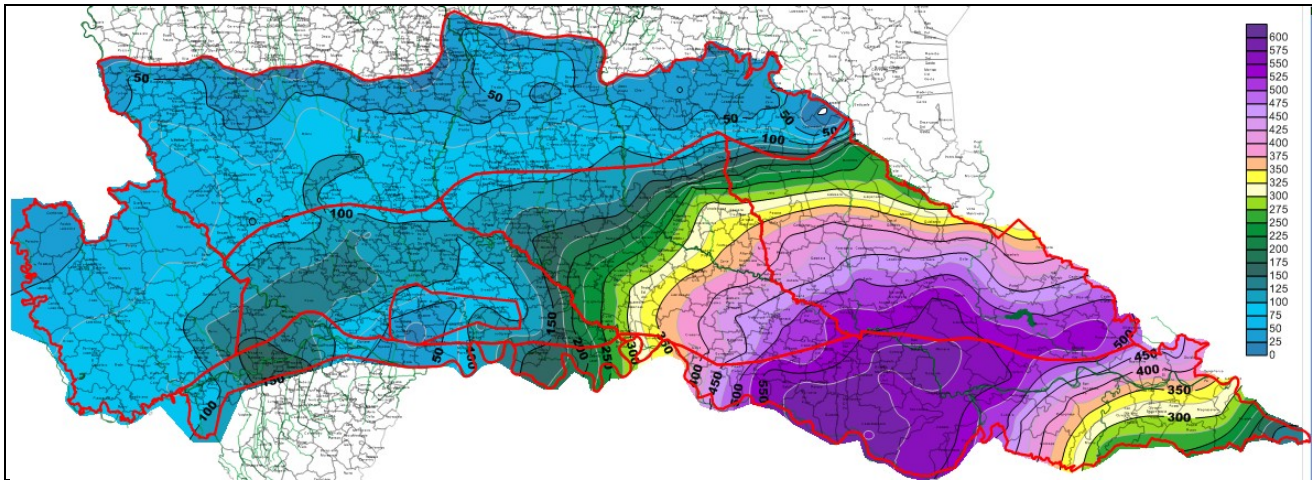


ISI (Idrostruttura Sotterranea Intermedia), sede di acquiferi da semiconfinati a confinati, comprendente la porzione profonda del Gruppo Acquifero A (denominata Unità A2 nel presente documento) e il Gruppo Acquifero B presenti nella media e bassa pianura. L'ISI comprende corpi idrici di significativo interesse idrogeologico sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo. Esso rappresenta infatti un serbatoio idrico per la media e bassa pianura, caratterizzato da condizioni di sostanziale equilibrio nel periodo di indagine (1980 -2014) e che, in genere meno vulnerabile alle contaminazioni idroveicolate. Localmente può essere sede di acquiferi caratterizzati da scarsa qualità naturale (presenza di Ferro, Manganese, Arsenico, Azoto Ammoniacale). Comunica per drenanza con il soprastante ISS in corrispondenza di paleoalvei e/o eteropie presenti all'interno dell'aquitardo posto a separazione delle due idrostrutture. Il limite di base dell'Idrostruttura Sotterranea Superficiale (ISI) è posto in corrispondenza del limite basale del Gruppo acquifero B, nella media e bassa pianura lombarda. L'unità è assente in buona parte dell'alta pianura a causa della chiusura laterale conseguente all'innalzamento del tetto dell'ISP. La superficie basale dell'ISI è posta a quote comprese tra +200 (alta pianura lombarda) e - 600 m s.l.m in corrispondenza della bassa pianura cremonese e della media pianura mantovana. L'idrostruttura è caratterizzata da spessori crescenti dall'alta pianura (50-100 m mediamente) alla bassa pianura, con massimi di circa 600 m all'altezza dell'asse Gussola Marcaria.

In corrispondenza dell'alto di San Colombano le evidenze idrostratigrafiche testimoniano un significativo assottigliamento dell'idrostruttura caratterizzata da litotipi prevalentemente impermeabili, dovute alla risalita del corpo idrico ISP.

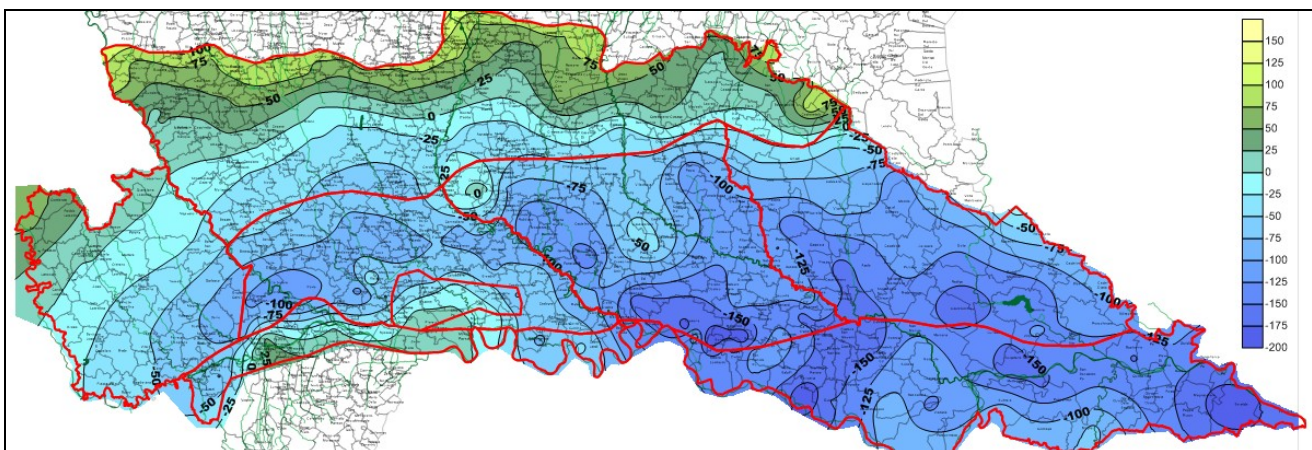
Nella definizione dei corpi idrici sotterranei la porzione di ISI impermeabile è stata accorpata al sottostante ISP in quanto essa ne rappresenta aquitardo di separazione dal soprastante ISS.

Figura 10 – Spessori dell'Idrostruttura Sotterranea Intermedia ISI (espresso in m)



Si precisa tuttavia che, date le finalità della presente indagine, è stata identificata la superficie al di sotto della quale non si hanno più dati idrogeologici diretti (base della porzione conosciuta dell'ISI). Tale superficie è stata presa come riferimento per definire le caratteristiche dei corpi idrici sotterranei nella bassa pianura lombarda. La parte profonda dell'ISI non è quindi stata attualmente ricompresa nei corpi idrici di media e bassa pianura, non essendo oggi caratterizzabile da un punto di vista geochimico e litostratigrafico.

Figura 11 – Mappa della base della porzione "conosciuta" dell'Idrostruttura Sotterranea Intermedia ISI (in m s.l.m.)



ISP (Idrostruttura Sotterranea Profonda), sede di acquiferi confinati comprendente il Gruppo Acquifero C nei settori di pianura in cui esso è conosciuto tramite indagini dirette e captato, presente esclusivamente nell'alta pianura. L'ISP, al pari dell'ISI, costituisce corpo idrico di significativo interesse idrogeologico sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo, perché rappresenta il serbatoio idrico dell'alta pianura che ha evidenziato condizioni di equilibrio nel periodo di indagine (1980 -2014) e che, in genere è meno vulnerabile alle contaminazioni idroveicolate. Può tuttavia essere localmente interessato da scarsa qualità di base delle acque in

esso circolanti a causa di fenomeni naturali (presenza di Ferro Manganese Arsenico, Azoto Ammoniacale). Comunica per drenanza con l'idrostruttura dell'ISS in corrispondenza di paleovalvei e/o nei settori in cui l'unità tende a risalire per motivi neotettonici e si pone in discordanza angolare con i soprastanti depositi appartenenti all'ISS.

Sulla base dei dati stratigrafici puntuali e delle sezioni idrogeologiche sono state ricostruite le mappe della base dell'Idrostruttura Superficiale (ISS) e la base dell'Idrostruttura Intermedia (ISI).

E' stata inoltre ricostruita la superficie della base conosciuta dell'ISI, rappresentante la profondità alla quale in genere si spingono le perforazioni profonde a scopo di ricerca idrica. Tale superficie è stata utilizzata, al posto della superficie di passaggio ISI-ISP, come limite di corpo idrico nella bassa pianura lombarda, al fine di evitare di includere, nei corpi idrici sotterranei, porzioni di acquifero di caratteristiche tessiturali e geochemiche non note.

Non è stato infine possibile ricostruire la mappa della base dell'Idrostruttura Profonda (ISP), sulla base dei dati stratigrafici disponibili, a causa delle elevate profondità dell'idrostruttura nella media e bassa pianura lombarda.

Al termine della presente fase di revisione, gli acquiferi sotterranei lombardi di pianura sono stati differenziati in **19 Corpi idrici**, denominati, sulla base dell'idrostruttura e del bacino geografico di appartenenza.

L'Idrostruttura Sotterranea Superficiale (ISS) è stata differenziata nei seguenti **11 corpi idrici Sotterranei**,

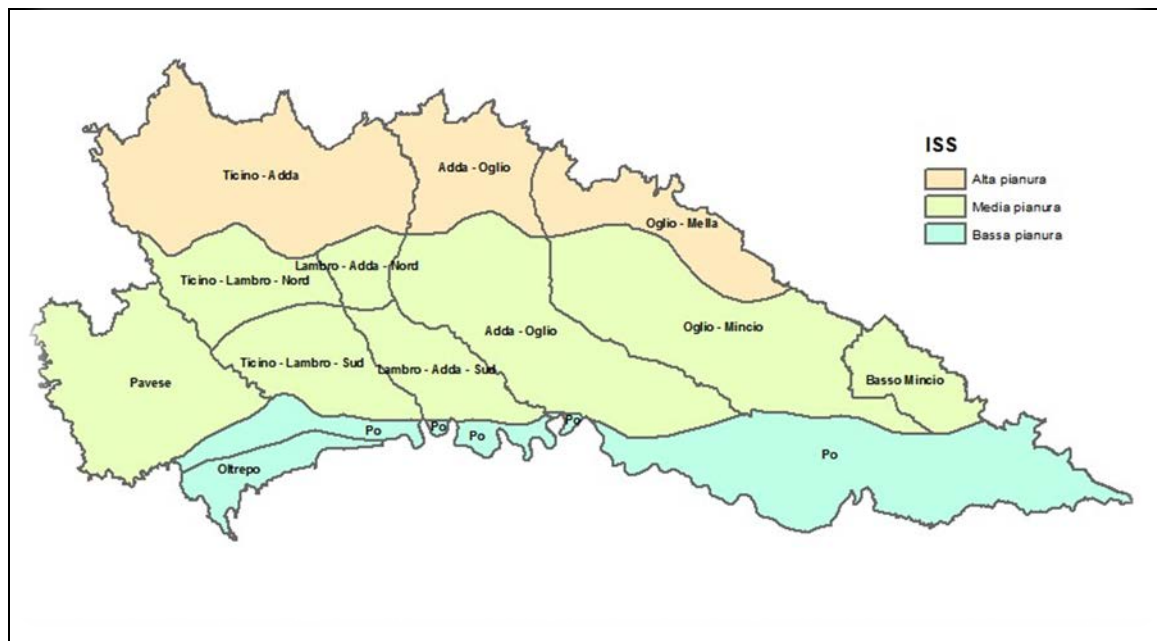
1. ISS - alta pianura Ticino – Adda
2. ISS - Alta pianura Adda - Oglio
3. ISS - Alta pianura Oglio - Mella
4. ISS - Media pianura Pavese
5. ISS - Media pianura Ticino - Lambro
6. ISS - Media pianura Lambro - Adda
7. ISS - Media pianura Adda - Oglio
8. ISS - Media pianura Oglio - Mincio
9. ISS - Media pianura Basso Mincio
10. ISS - Bassa pianura Oltrepò Pavese
11. ISS - Bassa pianura Po

I limiti laterali dei corpi idrici sono posti in corrispondenza di quei tratti di corso d'acqua principali che determinano un significativo effetto drenante e di riduzione di spessore sull'acquifero libero superficiale (Ticino, Lambro, Adda, Oglio, Mincio).

I limiti trasversali di separazione tra corpi idrici di alta, media e bassa pianura sono invece posti rispettivamente:

- in corrispondenza del passaggio morfologico tra alta e media pianura lombarda, posto all'altezza della linea alta dei fontanili, dove si assiste ad una progressiva riduzione della permeabilità media dell'acquifero superficiale;
- in corrispondenza del cambio di gradiente piezometrico dell'acquifero superficiale, all'ingresso nei paleovalvei recenti e attuali del Po.

Figura 12 –Mappa dei Corpi idrici appartenenti all’Idrostruttura Sotterranea Superficiale (ISS)



L’**Idrostruttura Sotterranea Intermedia (ISI)** è stata differenziata nei seguenti **6 Corpi Idrici Sotterranei**:

1. ISI - Media pianura Pavese
2. ISI - Media pianura Ticino - Mella
3. ISI - Media pianura Ticino - Adda
4. ISI - Media pianura Adda - Mella - Oglio
5. ISI - Media pianura Mella - Oglio - Mincio
6. ISI - Bassa pianura Po

Il limite settentrionale dei corpi idrici è localizzato in corrispondenza della chiusura dell’idrostruttura (posto indicativamente al limite meridionale delle aree in cui nel sottosuolo si trovano i depositi ghiaioso sabbiosi cementati del “Ceppo”).

I limiti laterali corrispondono a fasce di progressiva variazione delle caratteristiche tessiturali complessive dell’unità e delle modalità d’interscambio idrico con i corpi idrici superficiali (ISS); per ragioni pratiche, sono stati posti, convenzionalmente, in corrispondenza di tratti di corsi d’acqua superficiali (Ticino, Adda, Oglio, Mella, Mincio).

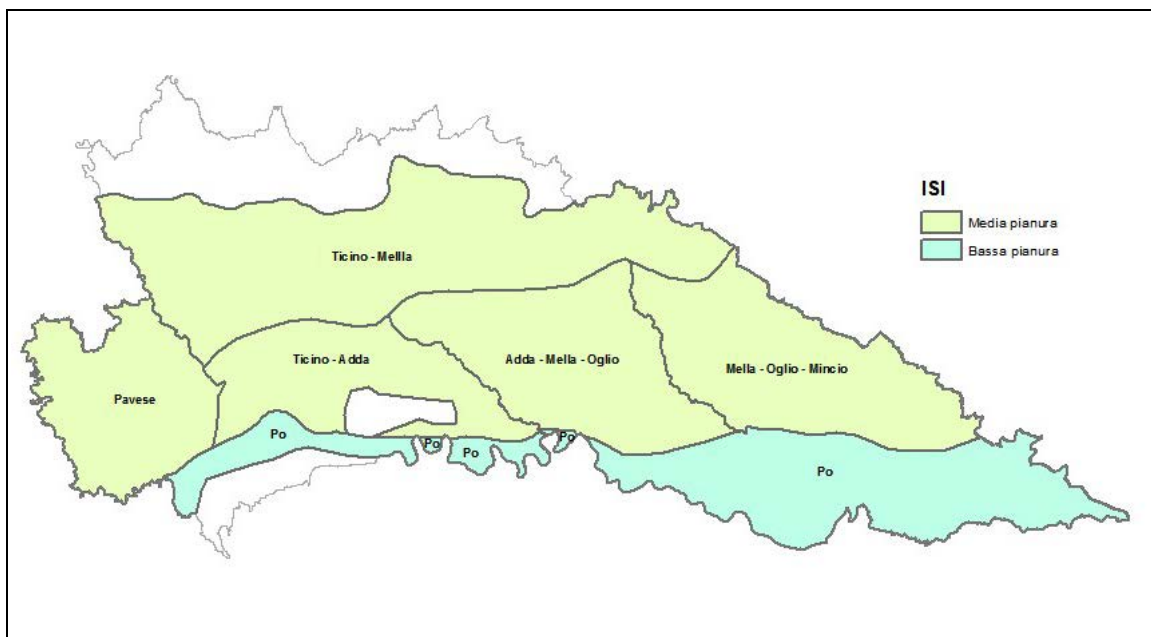
I limiti trasversali di separazione tra corpi idrici di media e bassa pianura sono invece posti rispettivamente:

- in corrispondenza di cambi graduali di facies sedimentaria (passaggio da depositi prevalentemente sabbioso limosi a depositi limoso sabbiosi) o di variazioni nella permeabilità e continuità degli aquitardi di separazione (con conseguenti variazioni nei rapporti di alimentazione/drenanza con le idrostrutture confinanti);
- in corrispondenza dei paleovalvei recenti del Po, in quanto in questi settori si intensificano i rapporti di drenanza verso l’ISS.

L'ISI nell'Oltrepò Pavese è presente ma, non essendo disponibili sufficienti dati idrogeologici per la sua caratterizzazione, è stato accorpato all'ISS Bassa pianura Oltrepò Pavese.

In corrispondenza dell'Alto di San Colombano, a causa dell'innalzamento dell'ISP, l'ISI si riduce drasticamente di spessore ed è costituito prevalentemente da facies fini privi di interesse idrogeologico.

Figura 13 –Mappa dei Corpi idrici appartenenti all'Idrostruttura Sotterranea Intermedia (ISI)



L'**Idrostruttura Sotterranea Profonda (ISP)** è stata differenziata nei seguenti **2 Corpi Idrici Sotterranei**:

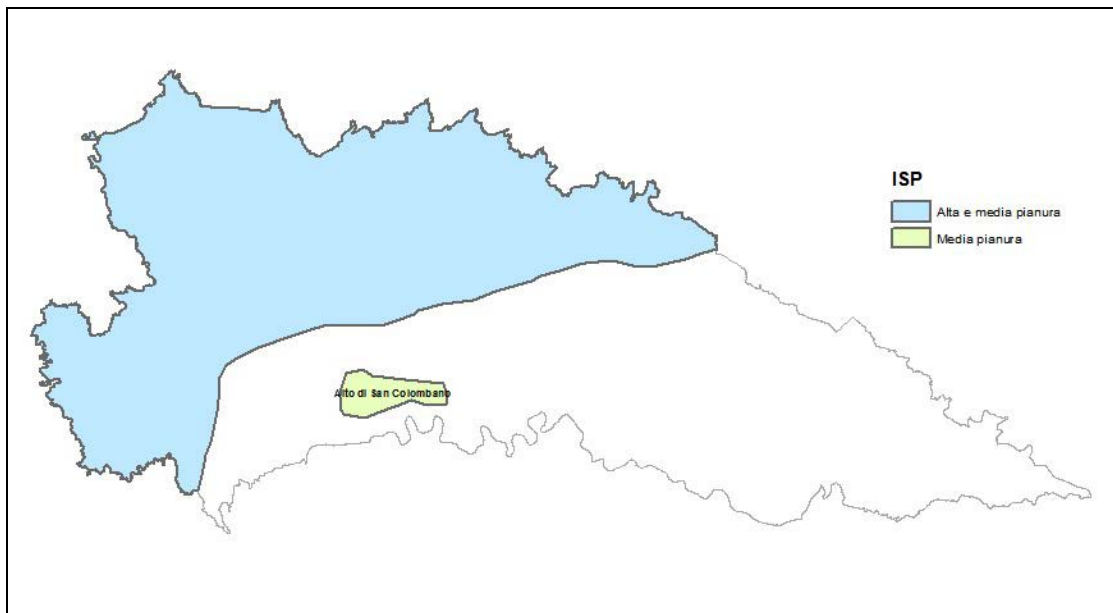
1. ISP – Alta e media pianura lombarda
2. ISP - Media pianura – Alto di San Colombano

Il limite settentrionale dell'unità è posto in corrispondenza del confine delle Idrostrutture di pianura.

Il limite meridionale del corpo idrico ISP – Alta e Media pianura lombarda è convenzionale in quanto non coincide con una variazione fisica o idrogeologica, ma con un passaggio ad aree in cui non sono più disponibili dati diretti dell'idrostruttura a causa del suo eccessivo approfondimento (il top dell'unità è infatti posto a profondità maggiori di 200 m).

I limiti che delimitano l'ISP - Media pianura – Alto di San Colombano sono convenzionali e posti in corrispondenza dell'approfondimento dell'idrostruttura, così come ricostruito attraverso le sezioni idrogeologiche.

Figura 14 –Mappa dei Corpi idrici appartenenti all’Idrostruttura Sotterranea Profonda (ISP)

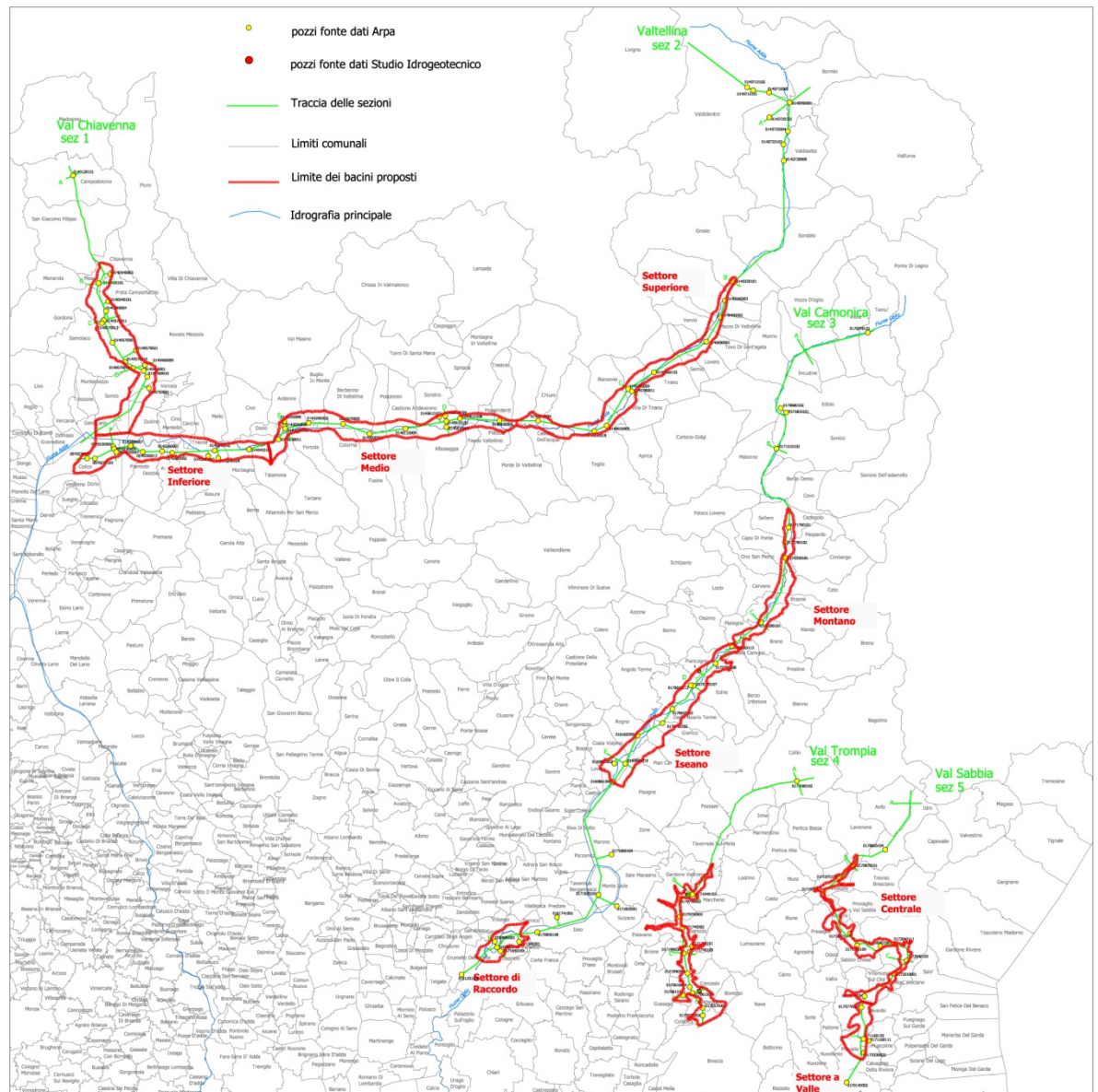


REVISIONE DEI CORPI IDRICI SOTTERRANEI PER I SETTORI DI FONDOVALLE

La revisione dei Corpi Idrici Sotterranei ha interessato anche i 5 settori di fondovalle (Valtellina, Val Chiavenna, Val Camonica, Val Trompia e Val Sabbia) entro i quali sono ubicati acquiferi di interesse regionale. In tutti cinque i casi si tratta di acquiferi nastriformi, con piccole propaggini nelle valli laterali tributarie.

L'indagine è stata svolta raccogliendo e organizzando i dati stratigrafici disponibili; essi si sono rivelati frequentemente carenti in termini di distribuzione e profondità, soprattutto in considerazione della notevole variabilità delle facies sedimentarie in contesti montani. Il numero relativamente basso di stratigrafie è determinato anche dalle modalità prevalente di utilizzo della risorsa idrica: vengono infatti in genere privilegiate le captazioni di acque superficiali o sorgive sui versanti piuttosto che la perforazione di pozzi nei fondovalle.

Figura 15 – Individuazione dei limiti delle strutture idrogeologiche di fondovalle



Il sistema di valli delle Alpi e Prealpi Lombarde ha avuto una storia geologica assai articolata.

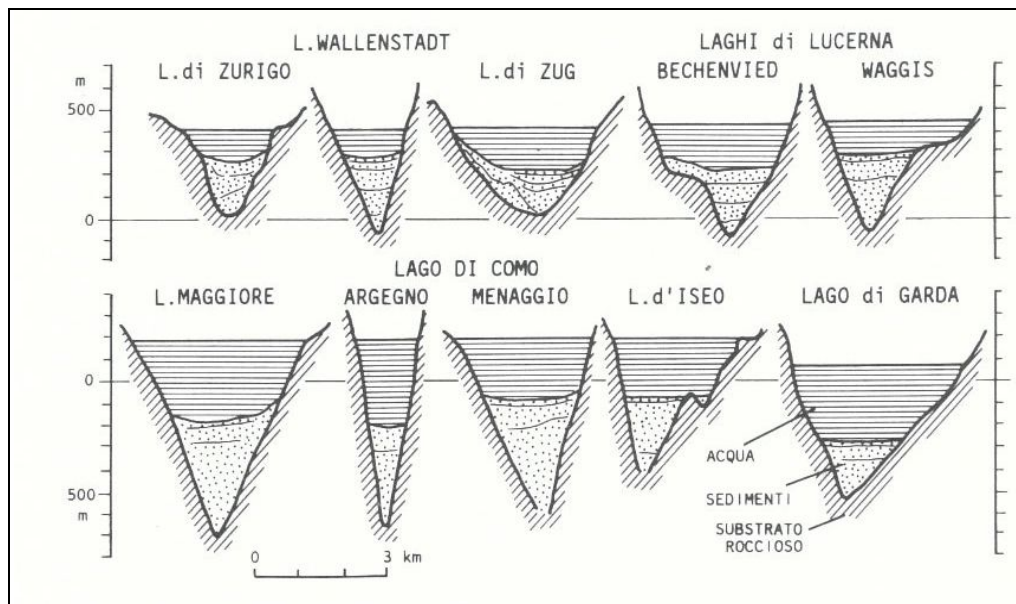
L'erosione fluviale ha avuto inizio a partire dall'emersione della catena alpina.

L'approfondimento di alcune vie di drenaggio preferenziali si è verificata nel Messiniano, in conseguenza del disseccamento del Mediterraneo: è in questo intervallo tempo che si sono strutturate le principali valli alpine lombarde ed i solchi entro cui si sono in seguito impostati i laghi prealpini.

Durante il Pliocene il livello del Mediterraneo è tornato a quote "normali" e si sono verificati fenomeni di ingressione marina nelle valli alpine (coste a rias), testimoniate dalla presenza di sedimenti marini Pliocenici in profondità nelle sequenze vallive.

Durante il Pliocene superiore ed il Pleistocene si sono verificati numerosi periodi freddi, che hanno determinato glaciazioni, a loro volta responsabili della sedimentazione di ingenti quantità di materiali terrigeni e, nelle fasi di deglaciazione, di imponenti fenomeni di dissesto dei versanti. In questo periodo si sono impostati i fondovalle alpini, i laghi prealpini, nella forma a noi nota, e le conoidi laterali, sia alluvionali che di trasporto in massa.

Figura 16 – Sezioni relative ai principali laghi alpini (da Finckh, modificata)



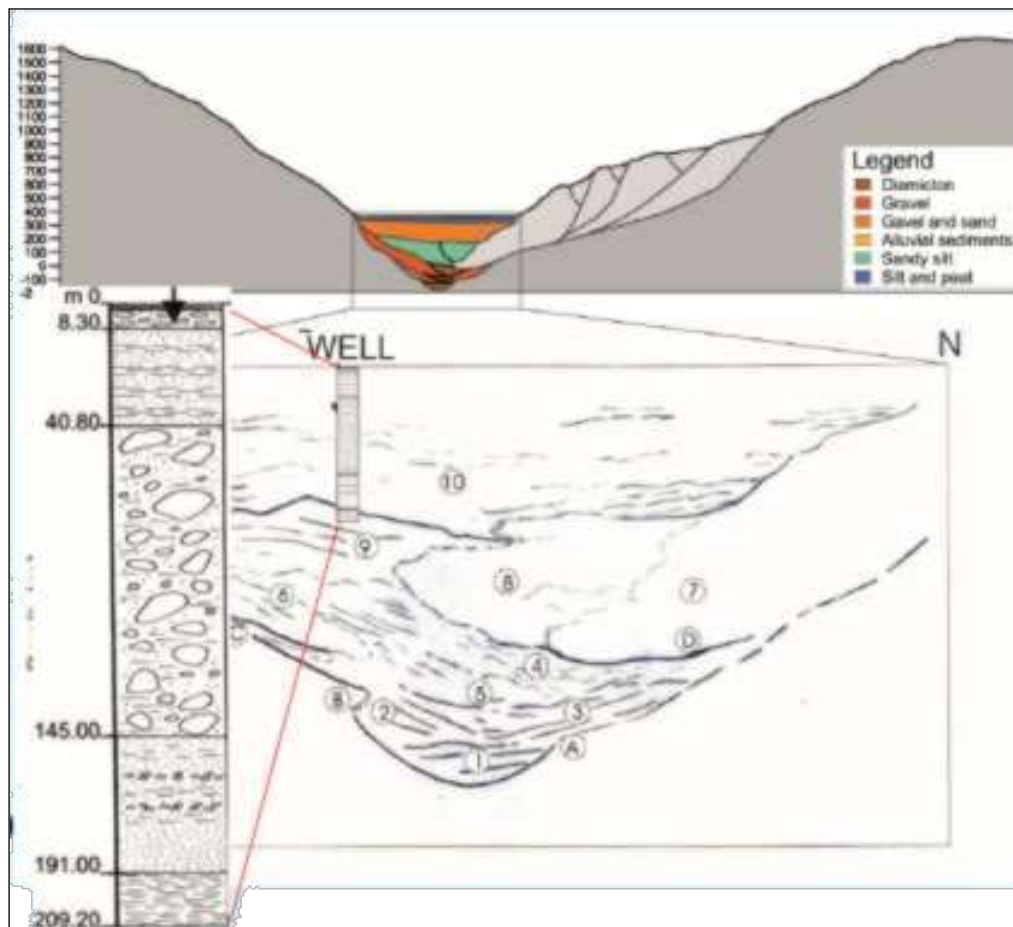
Questa evoluzione si riflette nella strutturazione idrogeologica degli acquiferi vallivi, ricostruita utilizzando tutti i dati stratigrafici disponibili, talvolta integrati con informazioni di tipo geofisico, il tutto organizzato in sezioni longitudinali e trasversali.

Sono stati riconosciuti dei corpi idrici sotterranei in ciascuna delle valli studiate, aventi caratteristiche spesso simili tra un apparato vallivo e l'altro, ed è stata operata una suddivisione in settori sulla base di comuni caratteristiche idrogeologiche. In generale si riconosce un'unità profonda, normalmente costituita da sedimenti fini (riempimento dei solchi vallivi in condizioni marine o lacustri) sormontata da depositi granulari, acquiferi, con sequenze sommitali variabili, spesso torbose o comunque sedimentate in contesti a bassa energia; la sezione di Teglio (vedi figura) è emblematica.

Sono frequentemente presenti elementi, quali conoidi di deiezione e accumuli di frana, che interrompono o condizionano la continuità longitudinale degli acquiferi nastriformi di fondovalle, soprattutto nell'unità superiore; essi permettono una prima suddivisione areale degli acquiferi studiati, a cui corrisponde una stratigrafia di massima per ciascun settore. I corsi d'acqua che percorrono le valli sono in genere alimentanti nel tratto superiore, mentre in quello inferiore sono drenanti o in equilibrio con la falda principale.

Nella parte apicale delle valli è in genere presente un acquifero poroso fortemente permeabile, costituito da ghiaie alluvionali a supporto clastico, alimentato dall'infiltrazione delle acque del corso d'acqua principale e degli affluenti laterali; tali acquiferi sono tuttavia discontinui, spesso pellicolari, e quindi non è stata loro riconosciuta la valenza regionale. Verso valle gli acquiferi vallivi terminano con limiti a potenziale fisso (laghi, paludi, a.e. il Lago di Como rispetto alla bassa Valtellina) o presentano fenomeni di travaso verso gli acquiferi di alta pianura.

Figura 17 – Sezione di Teglio, tratta da Merri et al., 2013



La geometria dei fondovalle, la necessità di basi geologiche accurate e l'esiguità di dati stratigrafici non permettono in questa sede una ricostruzione di dettaglio delle caratteristiche idrostratigrafiche e idrostrutturali. E' stato possibile comunque delimitare le idrostrutture di fondovalle e suddividerle in settori, principalmente in base alla presenza riconosciuta di livelli acquiferi sovrapposti. A ciascuna idrostruttura è stato associato un singolo corpo idrico.

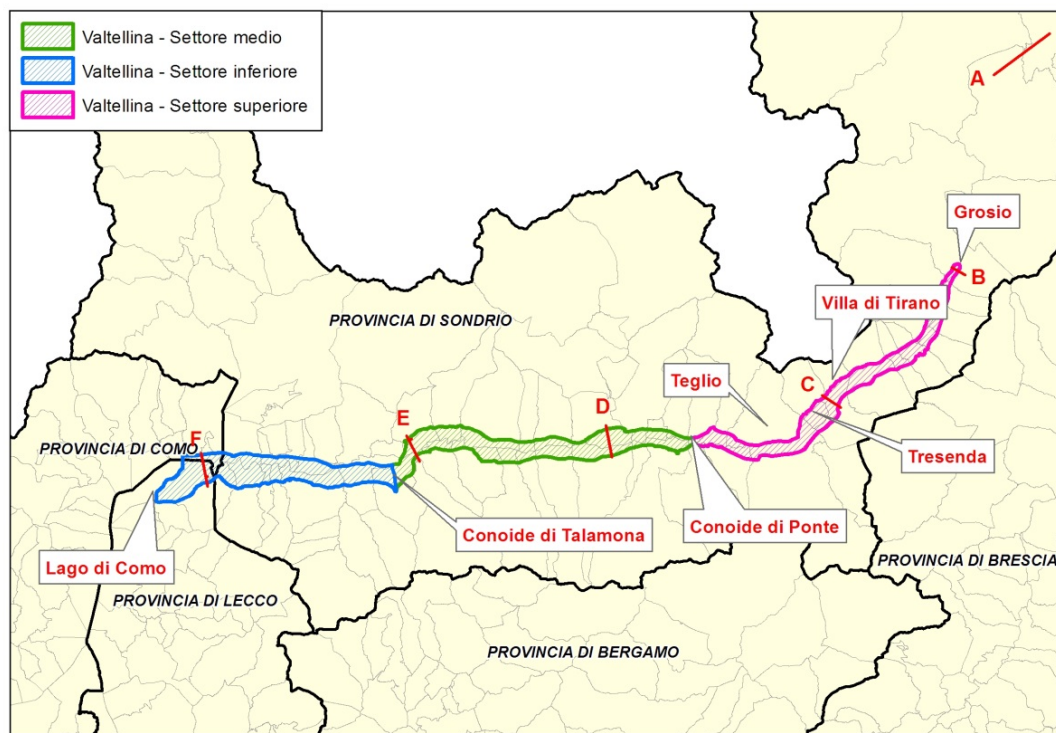
Gli esiti delle analisi idrogeologiche applicate a ciascuna valle sono così riassumibili:

Valtellina

E'è la situazione più articolata, in conseguenza del maggior numero di dati e studi pregressi. Il corpo idrico è stato suddiviso in tre settori, evidenziate a titolo di esempio nella figura seguente, ovvero:

- superiore (da Tirano a Ponte): caratteri variabili, da acquifero unico, di tipo libero, fino a compartimentato, con presenza di acquicludo tra due unità ghiaiose
- medio (da Ponte a Talamona): i livelli acquiferi sopra indicati risultano meno permeabili; permeabilità maggiore nei conoidi alluvionali;
- inferiore (da Talamona al Lago di Como): prevalgono i sedimenti fini, con intercalazioni ghiaiose talvolta sfruttate ad usi civili, spesso con anomalie idrochimiche associate a condizioni riducenti.

Figura 18 - Valtellina



Val Chiavenna

E' presente un unico acquifero, da Chiavenna a Mezzola, con variazioni laterali indotte dalla presenza dei conoidi alluvionali

Val Camonica

Si individuano 3 settori:

- montano (dalle sorgenti a Cividate Camuno): acquifero discontinuo di interesse locale;

- Iseano (da Civate Camuno al Lago d'Iseo): spesso corpo ghiaioso, con intercalazioni di sedimenti fini, in aumento verso valle;
- Di raccordo (dal Lago d'Iseo all'alta pianura lombarda): prevalgono i sedimenti fini, forti variazioni laterali.

Val Sabbia

Si individuano 3 settori:

- Settore montano (dalle sorgenti a Lavenone): acquifero discontinuo di interesse locale;
- Settore centrale (da Lavenone a Gavardo): paleo valle profonda e stretta, colmata da depositi alluvionali con rare intercalazioni di sedimenti fini;
- Settore bassa Valsabbia (da Gavardo verso valle): presenza continua di un corpo argilloso profondo, sormontato da depositi alluvionali in continuità con i precedenti.

Val Trompia

Si individua un unico corpo, a partire da Gardone Valtrompia, sviluppato entro una paleovalle profonda circa 50-60 m. Nella parte superiore è presente un complesso alluvionale, poroso, ad alta permeabilità; esso ricopre un acquifero conglomeratico, con evidenze di carsismo

CONCLUSIONI

Le attività svolte hanno fornito certamente un quadro conoscitivo più approfondito e organico rispetto a quello a disposizione in sede di predisposizione di PTUA 2006.

La rete piezometrica integrata ha consentito infatti una più precisa caratterizzazione piezometrica degli acquiferi superficiali e di quelli profondi dei settori di pianura e una migliore definizione dei principali spartiacque idrogeologici e dei rapporti di interscambio esistenti tra acque sotterranee e corpi idrici superficiali, naturali e non.

Va tuttavia anche detto che, a causa del limitato tempo a disposizione, molte delle attività condotte sono state sviluppate in contemporanea, e le decisioni assunte in merito ai periodi di monitoraggio sono state frutto della necessità di ultimare le attività nei tempi richiesti contrattualmente. Ne è conseguito che, soprattutto per quanto riguarda le campagne piezometriche, esse sono state condotte in due periodi normalmente caratterizzati da magra e piena stagionale delle falde, ma in un anno del tutto eccezionale rispetto alle condizioni meteo “ordinarie”.

Si sono quindi venuti a sovrapporre effetti d’innalzamento piezometrico connessi ai cicli irrigui a quelli meteorologici che hanno reso non univoca la lettura delle carte ed il confronto tra di esse.

Sarebbe pertanto auspicabile ripetere la campagna piezometrica, eventualmente estendendola a tutti i punti della rete (rete istituzionale inclusa) per verificare gli andamenti piezometrici in anni caratterizzati da precipitazioni nella media per il territorio lombardo, per poterli in futuro confrontare con quelli del 2014.

La messa a regime di una rete, anche con distribuzione ridotta ma in ciascun corpo idrico, di stazioni di misura piezometrica in continuo (data logger livelli e temperature) completerebbe poi il quadro conoscitivo delle relazioni temporali fra ricarica efficace e piezometria e consentirebbe, tra l’altro, una migliore interpretabilità dei dati idrochimici, siano essi di facies naturale che indotta da contaminazioni specifiche.

Si ritiene che soprattutto i settori vallivi meritino approfondimenti relativamente ai seguenti aspetti:

- ampliamento degli studi sugli acquiferi vallivi montani alla Valcuvia-Valtravaglia, alla Val Menaggio, alla Val Seriana, in particolare per evidenziare i rapporti tra acquiferi vallivi e sorgenti carsiche sepolte (es. Sorgente Nossana in Val Seriana);
- ampliamento degli studi agli acquiferi vallivi pedemontani, di primaria importanza per l’approvvigionamento idropotabile e in contesti di elevata vulnerabilità intrinseca, in particolare per la valli dei F. Olona, Arno, Strona;
- approfondimento degli studi sugli acquiferi vallivi montani prevedendo campagne piezometriche specifiche abbinata a monitoraggi in continuo del livello idrico sotterraneo.

