

Risorse idriche sotterranee del Friuli Venezia Giulia: sostenibilità dell'attuale utilizzo



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE
Dipartimento di Geoscienze

Risorse idriche sotterranee del Friuli Venezia Giulia: sostenibilità dell'attuale utilizzo



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE
Dipartimento di Geoscienze



A cura di:

Luca Zini (DiGeo), Chiara Calligaris (DiGeo), Francesco Treu (DiGeo)

Daniela Iervolino (RAFVG), Federica Lippi (RAFVG)

con il contributo di:

Aurelie Cimolino (Autorità di Bacino Alto Adriatico), Alessio Mereu (DiGeo),

Erika Barison (DICA), Enrico Zavagno (DiGeo)

Coordinamento progetto:

Franco Cucchi (DiGeo)

Roberto Schak (RAFVG)

Alberto Deana (RAFVG)

INDICE

PRESENTAZIONE	pag. 6	Attribuzione dei coefficienti per il calcolo dell'entità dei prelievi domestici.....	pag. 56
PREMESSA.....	pag. 7	Ripartizione dell'entità dei prelievi tra i sistemi di acquiferi	pag. 56
SISTEMA INFORMATIVO DEI POZZI E DELLE SORGENTI.....	pag. 9	Entità dei prelievi complessivi da pozzo.....	pag. 61
PIANURA FRIULANA	pag. 11	Risorse idriche e loro utilizzo.....	pag. 69
RICOSTRUZIONE DEGLI ACQUIFERI: I SISTEMI MULTIFALDA.....	pag. 17	Risorsa idrica media disponibile e prelievi.....	pag. 73
Sistema di acquiferi "A"	pag. 20	Bacino montano del Cellina-Meduna	pag. 73
Sistema di acquiferi "B"	pag. 20	Bacino montano del Tagliamento	pag. 73
Sistema di acquiferi "C"	pag. 20	Anfiteatro morenico	pag. 74
Sistema di acquiferi "D"	pag. 20	Bacino montano Torre-Natisone	pag. 74
Sistema di acquiferi "E".....	pag. 21	Bacino montano dell'Isonzo	pag. 74
Sistema di acquiferi "F".....	pag. 21	Alta Pianura in destra Tagliamento.....	pag. 75
Sistema di acquiferi "G".....	pag. 21	Alta Pianura in sinistra Tagliamento.....	pag. 75
Sistema di acquiferi "H".....	pag. 22	Alta Pianura isontina	pag. 75
Sistema di acquiferi "I+L+M".....	pag. 22	Fascia delle risorgive	pag. 76
Quadro sinottico delle caratteristiche idrogeologiche dei sistemi di acquiferi	pag. 23	Bassa Pianura in destra Tagliamento.....	pag. 76
CICLO DELL'ACQUA.....	pag. 45	Bassa Pianura in sinistra Tagliamento.....	pag. 76
Componente di precipitazione (P)	pag. 47	Bassa Pianura isontina	pag. 76
Componente evapotraspirazione (Et)	pag. 47	LINEE GUIDA PER LA PROGRAMMAZIONE DEGLI UTILIZZI DELLA RISORSA ACQUA.....	pag. 81
Componente di ruscellamento superficiale (R)	pag. 48	Bilancio idrogeologico e relativo equilibrio.....	pag. 81
Componente di infiltrazione efficace (I)	pag. 49	Misure volte all'incremento della ricarica	pag. 81
Deflusso idrico globale (D=R+I).....	pag. 49	Misure volte alla riduzione dei consumi.....	pag. 81
Areali e macroareali di riferimento	pag. 50	Misure volte alla conservazione della qualità della risorsa.....	pag. 83
ANALISI DEI PRELIEVI DA POZZO.....	pag. 51	Misure per il controllo della sostenibilità e il progresso delle conoscenze.....	pag. 83
Analisi dei prelievi per i pozzi soggetti a concessione	pag. 52	Voci richiamate	pag. 85
Analisi dei prelievi per i pozzi ad uso domestico.....	pag. 55	Bibliografia essenziale.....	pag. 86
Dati e fonti bibliografiche consultate	pag. 55		
Pozzi domestici e loro distribuzione sul territorio.....	pag. 56		

PRESENTAZIONE

“...tra Cordovado e Venchiaredo, a un miglio dei due paesi, v'è una grande e limpida fontana che ha anche voce di contenere nella sua acqua molte qualità refrigeranti e salutari. Sentieruoli nascosti e serpeggianti, sussurro di rigagnoli, chine dolci e muscose, nulla le manca tutto all'intorno. È proprio lo specchio d'una maga, quell'acqua tersa cilestrina che zampillando insensibilmente da un fondo di minuta ghiaiuolina s'è alzata a raddoppiar nel suo grembo l'immagine d'una scena così pittoresca e pastorale. Son luoghi che fanno pensare agli abitanti dell'Eden prima del peccato ...”.

Così scriveva Ippolito Nievo nelle “Confessioni di un italiano” a testimonianza di come le risorgive, le fontane e i lavatoi della Bassa Pianura facciano parte da sempre del paesaggio e della cultura della nostra Regione. Un territorio, il nostro, contraddistinto da una grande varietà di ambienti legati all'acqua: fiumi, torrenti, risorgive, rogge e sorgenti carsiche che dalla montagna al mare arricchiscono e caratterizzano il paesaggio.

Questa abbondanza di acque sotterranee e superficiali ha permesso di pensare all'acqua come una risorsa, quantitativamente e qualitativamente, sempre disponibile: un bene, in definitiva, di cui disporre e non un patrimonio da gestire.

Questa pubblicazione, incentrata sullo studio degli acquiferi sotterranei e delle risorse idriche presenti nella Pianura Friulana, vuole essere uno strumento per la valutazione della sostenibilità dell'uso attuale delle acque sotterranee e per la programmazione del loro utilizzo futuro.

Si tratta, a ben vedere, di una naturale necessità, considerati i segnali di attenzione quali la perdita di pressione degli acquiferi nei sistemi confinati e l'abbassamento dei livelli idrici in quelli freatici, conseguenti all'incremento della pressione antropica e delle richieste idriche tese a soddisfare le sempre crescenti necessità industriali, idroelettriche, irrigue, ittigeniche e potabili.

Luca Ciriani

Assessore regionale all'ambiente,
energia e politiche per la montagna, delegato alla protezione civile

PREMESSA

La Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia ha da sempre riposto notevole attenzione alla valorizzazione ed alla protezione delle risorse idriche sotterranee presenti nel territorio di competenza. Esse costituiscono una rilevante ricchezza naturale in termini di quantità, qualità e semplicità di approvvigionamento che deve essere salvaguardata. In quest'ottica il Servizio idraulica - Direzione Centrale Ambiente, Energia e Politiche per la Montagna, ha avviato un'articolata ricerca al fine di elaborare, nell'ambito del Programma allegato alla D.G.R. n. 1827 dd. 27.7.2007, un piano di conoscenza, conservazione e sostenibilità dell'utilizzo della risorsa acqua. Il presente volume illustra sinteticamente l'approccio metodologico ed i risultati di tale ricerca realizzata a seguito dell'Accordo fra Amministrazioni (prot. n. 36037 dd 27.11.07) stipulato tra il Servizio idraulica stesso e l'Università degli Studi di Trieste - Dipartimenti di Geoscienze (DiGEO) e di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA).

L'attività di progetto si è articolata in più fasi, talora parallele, talora conseguenti. Punto di partenza è stata la realizzazione della piattaforma geografica SITCGT - SITI¹ che ha permesso di raccogliere ed omogeneizzare in un unico strumento informatico gli innumerevoli dati e studi a carattere geologico, idrogeologico e geofisico che negli anni sono stati elaborati dall'Amministrazione regionale, dai due Dipartimenti interessati, dalle Università e dagli Enti che operano sul territorio. Si è trattato di un lavoro complesso ed oneroso di scorporamento, omogeneizzazione ed assemblaggio dei dati, che ha permesso di catalogare informazioni amministrative e tecniche relative a quasi 60'000 tra pozzi, sondaggi meccanici e sorgenti presenti nel territorio regionale.

Tale strumento rappresenta il punto di forza della ricerca svolta perché permette per la prima volta di analizzare la risorsa idrica nella sua globalità sia dal punto di vista geologico (individuazione e caratterizzazione degli acquiferi e degli acquitardi/acquicludi) che idrogeologico/idraulico (portata dei corsi d'acqua, ricarica, deflussi, ubicazione dei punti di prelievo, consumi,...) con un valore aggiunto dato dalla semplice aggiornabilità dei dati, anche in tempo reale, che permette di ottenere una visione sempre attuale dello stato dei corpi idrici.

Da questo database unico sono stati estratti i dati litostratigrafici che hanno portato alla ricostruzione tridimensionale del sottosuolo della Bassa Pianura Friulana e alla descrizione delle geometrie dei sistemi di acquiferi in esso contenuti. È stata ricostruita la geometria della base dei depositi quaternari intersecando i dati puntuali derivanti dai sondaggi meccanici con i dati lineari ottenuti dall'interpretazione dei profili sismici.

Per ogni sistema di acquiferi riconosciuto è stato definito l'andamento delle isobate del tetto e del letto, il dominio di esistenza e la relativa potenza. Si sono quantificate le principali proprietà idrogeologiche e stimata l'entità della riserva idrica contenuta in ciascun sistema.

Per quanto riguarda l'Alta Pianura si sono redatte una serie di mappe delle isofreatiche relative ad eventi di minimo (anni 1993 e 2003) e massimo (anni 1977 e 2000) impinguamento della falda, ricostruendone così l'andamento in condizioni estreme. Si sono definiti per tutto il territorio regionale i quantitativi di precipitazione efficace, di ruscellamento e di infiltrazione efficace, le portate dei corsi d'acqua e i quantitativi drenati dalla Fascia delle Risorgive.

In parallelo a queste attività, al fine della conoscenza dello stato di sfruttamento dei sistemi di acquiferi sotterranei, è stata quantificata l'entità dei prelievi da pozzo, ricorrendo a metodologie basate sulla valutazione diretta dei consumi a partire dai prelievi e non dai fabbisogni idrici. Le tecniche di calcolo adottate hanno consentito di stimare le aliquote dei volumi emunti pertinenti ad ogni sistema di acquiferi e a ciascuna tipologia di utilizzo delle acque.

Tutte queste attività hanno consentito di realizzare il bilancio idrogeologico, eseguito dapprima ipotizzando una condizione naturale e, successivamente, tenendo conto anche delle attività antropiche e dell'entità dei prelievi. Il bilancio ha permesso di verificare la sostenibilità dei prelievi, sia a livello regionale che locale mettendo in luce le aree del territorio a maggiore criticità, e di definire al meglio gli indirizzi di utilizzo, compatibilmente ai fabbisogni della popolazione.

Si sono redatte infine le "linee guida per la programmazione degli utilizzi della risorsa acqua" con le quali viene proposta una serie di provvedimenti per la tutela della risorsa idrica e la sua razionale pianificazione di utilizzo con la definizione degli schemi di sfruttamento e l'identificazione di misure atte a migliorare la sostenibilità e l'efficienza dei prelievi e per mitigare l'impatto di questi ultimi sul territorio.

¹ Il SITCGT è il Sistema Informativo Territoriale della Carta Geologico Tecnica e il SITI è il Sistema Informativo Territoriale Idraulica della Regione FVG. I due sistemi sono stati unificati nel SITCGT-SITI per la gestione univoca delle risorse idriche e dei dati territoriali geologici ed idrogeologici.



La Fascia delle Risorgive nei dintorni di Bertolo (foto F. Finocchiaro).

SISTEMA INFORMATIVO DEI POZZI E DELLE SORGENTI

Sono diverse le disposizioni normative succedutesi negli anni che estrinsecano la necessità degli uffici regionali di dotarsi di strumenti in grado di restituire una fotografia globale dello stato di sfruttamento delle acque superficiali e sotterranee al fine di gestire, a livello regionale, le risorse idriche in termini di tutela sia quantitativa che qualitativa.

Per andare incontro a queste esigenze, i ricercatori dell'Università degli Studi di Trieste, in collaborazione con i funzionari dei Servizi idraulica e geologico della Regione, hanno predisposto e strutturato un Sistema Informativo Territoriale, ovvero un'apposita banca dati geografica, informatizzata e georeferenziata, nella quale le informazioni alfanumeriche sono integrate con quelle di tipo geografico-territoriale. Contemporaneamente alla predisposizione della struttura del SIT, è stato avviato il censimento delle utilizzazioni sotterranee con la raccolta e l'inserimento dei dati territoriali, geologici ed idrogeologici, rinvenuti entro le pratiche di concessione di derivazione.

La sinergia tra il lavoro degli operatori e l'attività d'inserimento dei dati, ha portato a perfezionare man mano la struttura del database in funzione delle diverse esigenze di carattere pratico-operativo riscontrate caso per caso. È stato costruito pertanto uno strumento funzionale e facilmente fruibile, capace di rappresentare la realtà fisica del sistema derivatorio e delle falde.

Il Sistema Informativo Territoriale è realizzato su database ORACLE e in standard ESRI. L'interoperabilità dei dati verso le altre piattaforme utilizzate in ambito regionale per l'accesso ai dati di tipo geografico è garantita utilizzando il formato Oracle Spatial. La gestione, interrogazione, modifica e cancellazione dei dati sono possibili grazie ad un'interfaccia realizzata in ambiente ESRI ArcGIS.

Questo sistema informativo è stato integrato nella piattaforma geografica SITCGT-SITI già attiva presso l'Amministrazione regionale e realizzata dall'Università degli Studi di Trieste - DiGeo per la gestione dei dati geologici, idrogeologici ed idraulici del Servizio geologico (Progetto SIT-CGT) e del Servizio idraulica (Progetto SITI).

Nella piattaforma geografica sono confluiti dati inerenti a pozzi, sondaggi meccanici e sorgenti provenienti da 6 diversi database (DERIVAZIONI e DENUNCE realizzati dal Servizio idraulica; GEOTERMIA, CGT e CARG realizzati dal Servizio geologico; AdB realizzato dall'Autorità di Bacino dei Fiumi dell'Alto Adriatico).

Il database (DB) DERIVAZIONI offre un quadro pressoché completo dei prelievi sotterranei soggetti a concessione² e contiene anche dati inerenti ai punti di prelievo censiti ma non più utilizzati; il DB DENUNCE, con dati a carattere prevalentemente

amministrativo, rappresenta la migliore conoscenza attualmente disponibile, sebbene non ancora esaustiva, soprattutto riguardo i pozzi ad uso domestico; il DB GEOTERMIA contiene dati inerenti a pozzi terebrati ad uso geotermico; il DB CGT contiene informazioni inerenti a pozzi, sondaggi e sorgenti provenienti dal Progetto Carta Geologico Tecnica; il DB CARG contiene dati su sondaggi effettuati/studiati per il Progetto CARG (CARTografia Geologica); il DB AdB contiene dati su pozzi derivati dalla banca dati dell'Autorità di Bacino dei Fiumi dell'Alto Adriatico di Venezia.

L'omogeneizzazione, validazione e inserimento dei dati, hanno permesso di avere una banca dati finale con 59.260 punti complessivi, di cui 1.346 relativi a sorgenti e risorgive e 57.914 a pozzi e sondaggi meccanici. Nella fase di assemblaggio dei dati, sono stati individuati i punti omologhi presenti nei diversi DB di origine, eliminando i duplicati. Ciò non è stato possibile per i soli dati contenuti nel DB DENUNCE.

Riguardo l'accuratezza della georeferenziazione, si hanno:

- 1'186 sorgenti, georiferite estrapolando le coordinate dalla CTRN 1:5000;
- 160 risorgive, georiferite estrapolando le coordinate dalla CTRN 1:5000;
- 2'277 sondaggi meccanici, georiferiti estrapolando le coordinate dalla CTRN 1:5000;
- 7'788 pozzi da concessione, georiferiti estrapolando le coordinate dalla CTRN 1:5000;
- 47'849 pozzi presenti nel DB DENUNCE di cui:
 - 7'261 georiferiti estrapolando le coordinate dalla CTRN 1:5000;
 - 23'350 georiferiti in funzione del centroide della particella catastale,
 - 6'242 georiferiti in funzione del centroide del foglio catastale;
 - 2'622 georiferiti in funzione del centroide di un gruppo di fogli catastali;
 - 8'374 georiferiti in funzione del centroide del comune di appartenenza.

² La denuncia di pozzo depositata presso la Regione e la Provincia di pertinenza in ottemperanza all'articolo 10 del Decreto Legislativo 12.07.1993 n. 275 è obbligatoria dal 1994 per tutti i pozzi, sia quelli soggetti a concessione che quelli ad uso domestico.

Il proprietario di un terreno ha facoltà di estrarre ed utilizzare liberamente le acque sotterranee nel suo fondo per gli usi prettamente domestici, purché osservi le distanze e le cautele prescritte dalla legge: in questo caso l'utilizzo non è soggetto a concessione né a versamento di canone. Per tutti gli altri usi occorre ottenere la concessione a derivare (RD. 1775/1933).

Per le risorse geotermiche di interesse locale occorre ottenere il permesso di ricerca e successivamente la concessione allo sfruttamento secondo il D.Lgs. 22/2010.

Per le acque minerali e termali occorre ottenere il permesso di ricerca e successivamente la concessione allo sfruttamento secondo il R.D. 1433/1927.

Lista punti di indagine acqua presenti

CODICE ELEMENTO	PROGRESSIVO	SCHEDA PRINCIPALE	IN
088023	174	SONDAGGIO MECCANICO	si

15671565
PZA
1538
PZA

1576
PZA

POZZO PER ACQUA

Date
Inserimento: 6/29/2005 Compilazione: Ultima modifica: 9/14/2009 Stampa

Modifica

Dati generali e note Dettaglio 1/2 Dettaglio 2/2 Uso pozzo

Uso pozzo:

- ☐ Uso non dichiarato
- ☐ Domestico
- ☐ Potabile
- ☐ Irriguo/agricolo
- ☐ Industriale
- ☒ Igienico ed assimilato
- ☐ Ittiogenico
- ☐ Ornamentale
- ☐ Geotermico
- ☐ Anticendio
- ☐ Malga
- ☐ Altro
- ☐ Idroelettrico

Portata min. siti (l/s):

Portata media siti (l/s):

Portata max siti (l/s):

Portata complessiva (l/s):

Note altro uso:

Dati Autorità di bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico

Origine dati:

Utilizzata: ☐ Portata concessione (l/s):

Utilizzatore:

Campionabile:

Misurabile:

Trattamento:

Note:

Tipo pompa:

Uso prevalente:

Portata pompa (l/s):

Potenza (kW):

Prevalenza:

Cabina sollevamento: ☐ Serbatoio: ☐

Portata media (l/s):

Ore: Giorni: Mesi:

St. attingimento:

OK Annulla

Scheda pozzo per acqua all'interno del SITCGT-SITI.



A lato: due immagini del Fiume Stella.

PIANURA FRIULANA

La Pianura Friulana rappresenta il lembo orientale della Pianura Padana, anche se per le sue caratteristiche deve essere considerata marginale rispetto all'evoluzione di quest'ultima, essendo caratterizzata da maggiore acclività e da sedimenti in genere più grossolani. La sua elevazione va da poco meno di 300 m sul livello del mare, per una lunghezza nord-sud di circa 80 km. La potente coltre di sedimenti che la costituiscono è in buona parte quaternaria, con un basamento prequaternario che nell'area orientale si rinviene a pochi metri di profondità e verso ovest arriva a -250 metri s.l.m.m. nel sottosuolo di Grado e a più di -600 metri ad ovest di Latisana.

Nella pianura si ha una singolare situazione idrogeologica caratterizzata da estesi ed abbondanti affioramenti di acque sotterranee che si manifestano in maniera pressoché continua lungo una fascia che si sviluppa da est ad ovest a quote comprese fra i 10 e i 40 m s.l.m.m. L'area interessata da questi fenomeni, che separa l'Alta Pianura a nord, dalla Bassa Pianura Friulana a sud, viene comunemente chiamata Fascia delle Risorgive. Ciò è conseguenza del fatto che la pianura è costituita da una potente successione di depositi fluviali, fluvio-glaciali e marini con caratteristiche granulometriche diverse andando da monte verso mare.

Le alluvioni della fascia pedemontana, che costituiscono l'Alta Pianura, sono grossolane con prevalenza di ghiaie, ghiaie e sabbie e rari conglomerati. Esse sono fortemente permeabili e sono sostenute da un basamento generalmente impermeabile. Il processo di alimentazione della falda freatica indifferenziata dell'Alta Pianura dipende in maniera determinante dalle rilevanti dispersioni che si verificano dalle zone montane, lungo gli alvei ghiaiosi e dall'alimentazione diretta delle piogge, determinando un regime avente un comportamento analogo a quello dei corsi d'acqua, con una o due fasi di piena annuali. Le escursioni della falda durante l'anno sono molto differenti da zona a zona: dai valori più bassi riscontrabili all'estremità meridionale lungo la Fascia delle Risorgive con pochi metri di oscillazione, si passa agli oltre 50 metri a ridosso dei rilievi dell'arco prealpino.

La falda freatica in prossimità delle Risorgive affiora parzialmente in superficie per la presenza nel sottosuolo di depositi alluvionali progressivamente più fini, meno permeabili, con frequenti intercalazioni argillose di notevole estensione e spessore. In questa zona le acque emergono attraverso una miriade di polle che danno luogo ad una serie di corsi d'acqua (fiumi di risorgiva). La Fascia delle Risorgive si estende per circa 100 km, di cui quaranta in destra Tagliamento e sessanta in sinistra. L'ampiezza risulta dell'ordine di diverse centinaia di metri, si presenta variabile nello spazio e nel tempo in funzione delle condizioni di alimentazione.



Principali unità fisiografiche del bacino idrogeologico del Friuli Venezia Giulia: i bacini montani (Cellina-Meduna, Tagliamento, Anfiteatro Morenico, Torre-Natisone e Isonzo), il Carso, l'Alta Pianura (destra Tagliamento, sinistra Tagliamento e isontina) e la Bassa Pianura (destra Tagliamento in FVG e Veneto, sinistra Tagliamento e isontina).

Il limite meridionale della Fascia rappresenta convenzionalmente il confine tra Alta e Bassa Pianura.

Spostandosi verso sud, le alluvioni della Bassa Pianura, costituite da frazioni granulometriche afferenti alle sabbie argillose, ai limi ed argille alternati a sedimenti ghiaioso-sabbiosi, spesso limosi, hanno dato origine nel sottosuolo a numerosi orizzonti impermeabili intervallati da altri porosi, tutti più o meno continui. Si è così costruita una complessa sequenza di sistemi di acquiferi sovrapposti, confinati o

semiconfinati, che sono stati denominati, dal più superficiale al più profondo, con lettere dell'alfabeto dalla A alla M riprendendo quanto proposto da Stefanini e Cucchi nel 1977 [1]. La sequenza è localmente sottoposta ad una falda freatica superficiale e discontinua. I sistemi di acquiferi trovano radice già a monte della Fascia delle Risorgive, interdigitandosi con il sistema freatico dell'Alta Pianura.

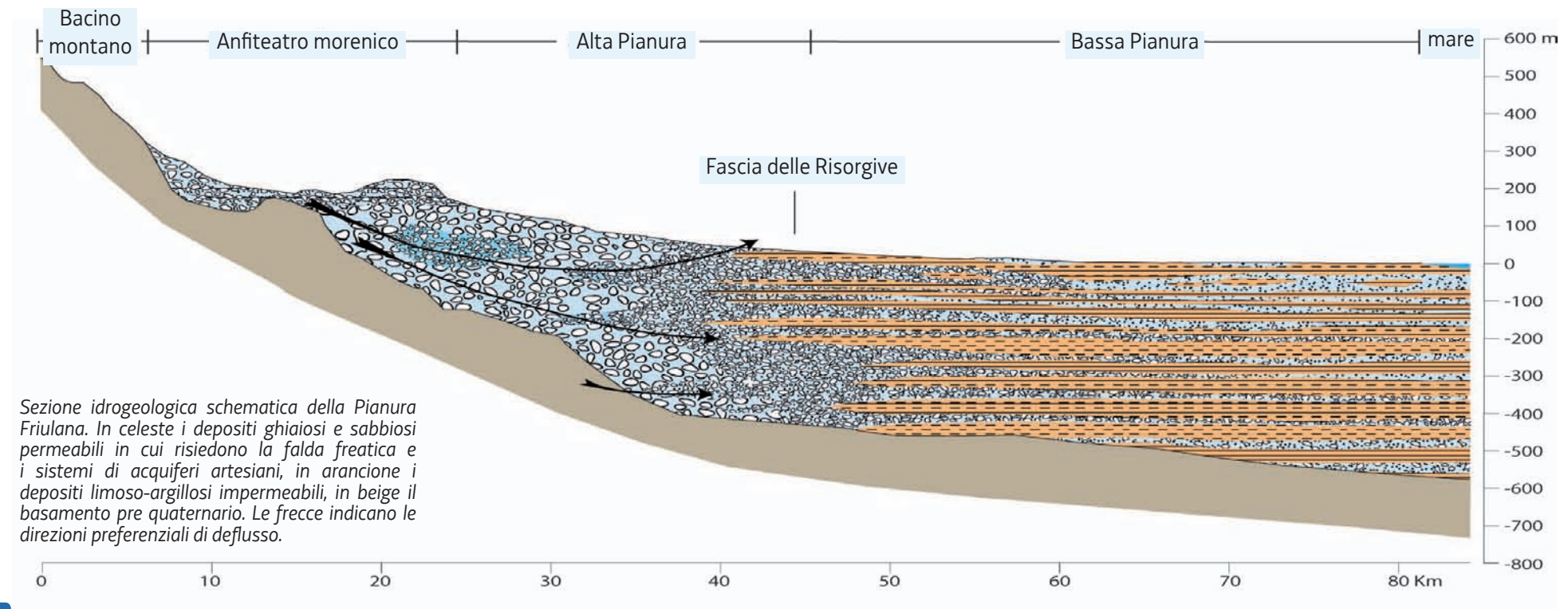
Le caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo sono relativamente disomogenee e differiscono sensibilmente da zona a zona in virtù della diversa genesi dei depositi della Pianura Friulana. I depositi ed i materiali che costituiscono gli acquiferi sono perlopiù il prodotto della deposizione di sedimenti avvenuta durante il Quaternario e, se si considerano i sistemi profondi, dal Miocene. Si sono susseguite nel tempo, infatti, più fasi climatiche e paleogeografiche diverse che hanno determinato molteplici facies deposizionali con variazioni laterali e verticali. Apporti di materiali permeabili sono dovuti generalmente, alle fasi cataglaciali delle glaciazioni. Diversamente, movimenti isostatici e variazioni di livello marino hanno comportato fasi di ingressione e di regressione marina tali da definire e condizionare la deposizione di sedimenti marini intercalati in zone sottoposte altrimenti ad intenso

alluvionamento fluviale. Si ritrovano così materiali misti, sia sabbioso-argillosi che limoso-argillosi e talora organici, in tutta l'area compresa tra la Fascia delle Risorgive e l'area perilagunare, mentre più a sud prevalgono depositi fini limoso-argillosi.

Nell'ambito del monitoraggio delle riserve idriche sotterranee, i ricercatori dell'Università di Trieste - DiGeo hanno ricostruito alcuni scenari di superfici freatiche dell'Alta Pianura, alla luce dei dati registrati dalla Rete di rilevamento freaticometrico regionale. La costruzione delle superfici freatiche è stata realizzata interpolando i dati in ambiente ArcGIS, tramite l'operatore stocastico Universal Kriging (Standard Normal Value 10) [2].

Al fine di ricostruire l'evoluzione della superficie freatica sono stati utilizzati i dati a partire dal 1970 per un totale di 372.174 misure puntuali inerenti 426 stazioni di misura. Le quote della falda freatica sono state riferite al livello medio mare.

Per caratterizzare gli andamenti della falda si sono scelti 4 eventi: 2 di massima, marzo-aprile del 1977 e novembre del 2000, e 2 di minima, agosto-settembre 1993 e 2003.



A titolo esemplificativo, nel presente elaborato, vengono riportati l'evento di minima dell'agosto-settembre 2003 e quello di massima del novembre 2000.

In generale la tavola d'acqua ha andamento convesso radiale rispetto all'asse dei principali fiumi, mettendo in evidenza l'alimentazione della falda freatica da parte dei corsi d'acqua. Ciò è particolarmente significativo, in termini quantitativi, per il Fiume Tagliamento le cui acque hanno un'accentuata dispersione a favore dell'impinguamento della falda freatica, sia in destra sia in sinistra.

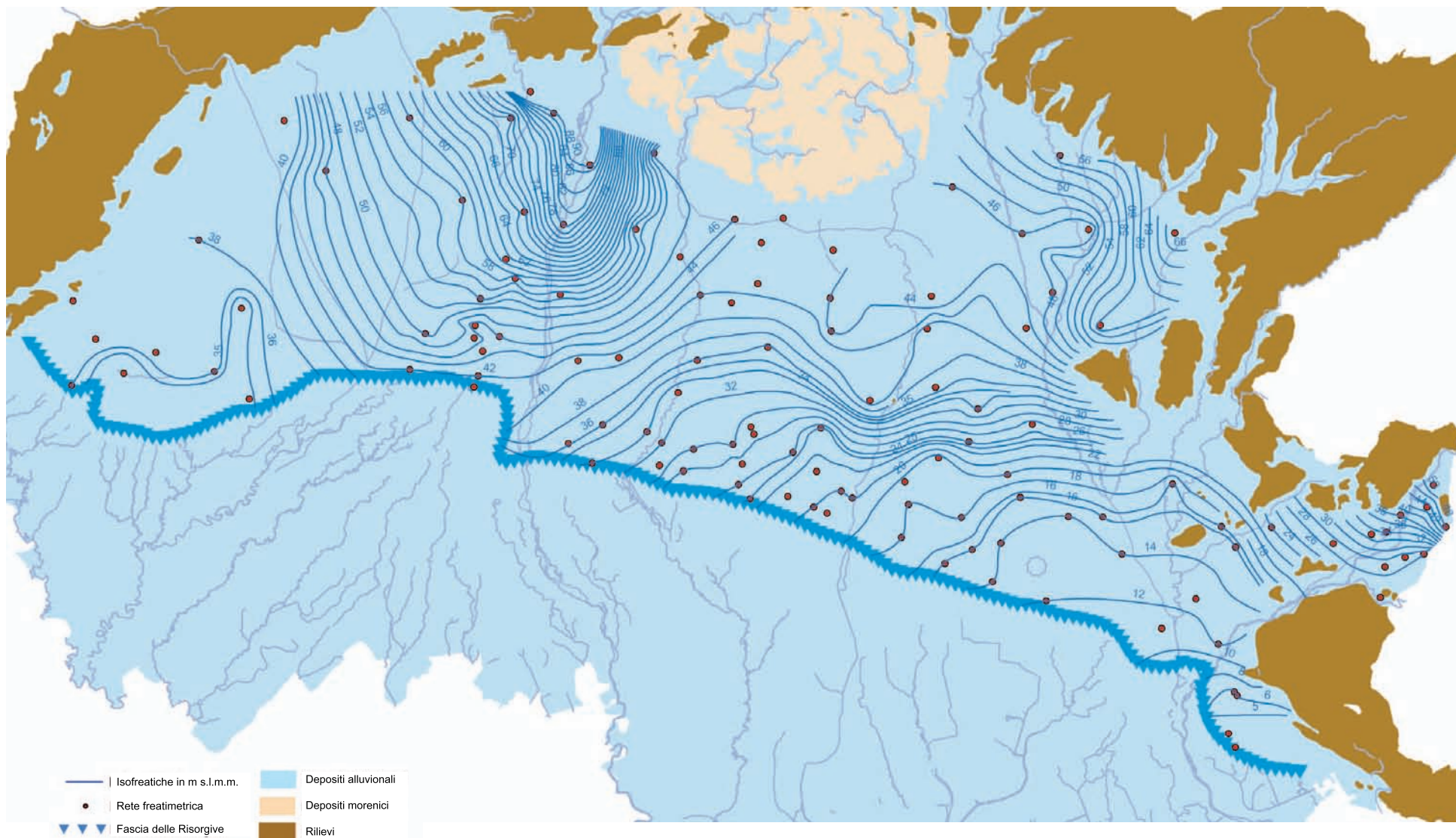
Il settore occidentale (destra Tagliamento) risulta infatti alimentato principalmente dal Tagliamento stesso con direzioni di deflusso della falda ad andamento da NE

verso SW mentre il settore centrale e orientale (sinistra Tagliamento) è alimentato dal Fiume Tagliamento a occidente, con direzioni di deflusso della falda ad andamento da NW verso SE, e dal sistema Torre-Natisone-Isonzo a oriente, con direzioni di deflusso della falda ad andamento da NE verso SW.

L'esame delle freatimetrie e l'analisi delle escursioni negli ultimi decenni consentono la valutazione dell'andamento complessivo dei livelli delle acque di falda nel corso degli anni. Ne risulta un generale continuo abbassamento del livello freaticometrico, più cospicuo nella zona settentrionale della pianura dove anche la variazione tra le escursioni massime e minime è più elevata; nella parte meridionale la tendenza all'abbassamento è meno marcata.

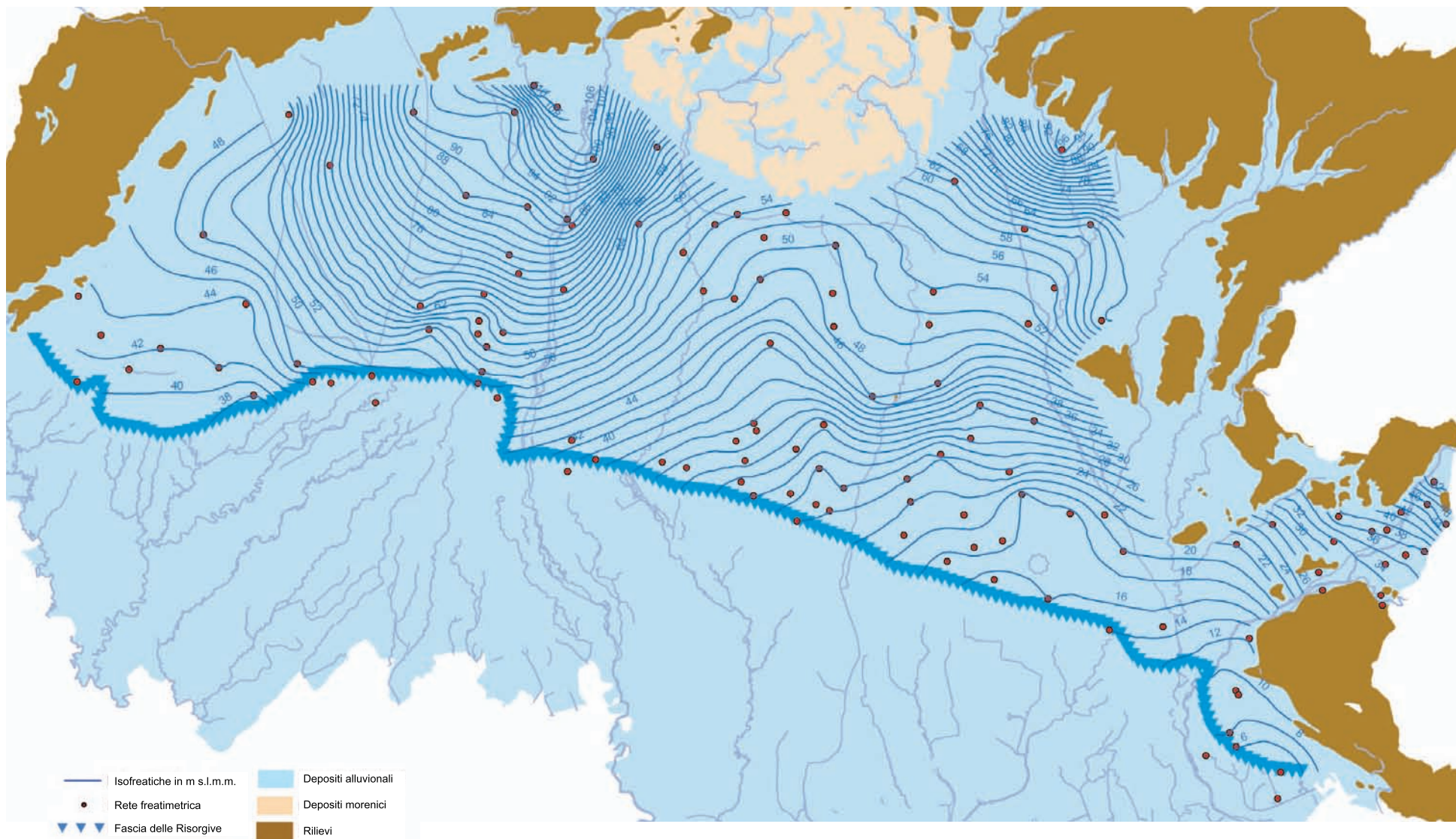


Il Fiume Noncello in località Torre di Pordenone.



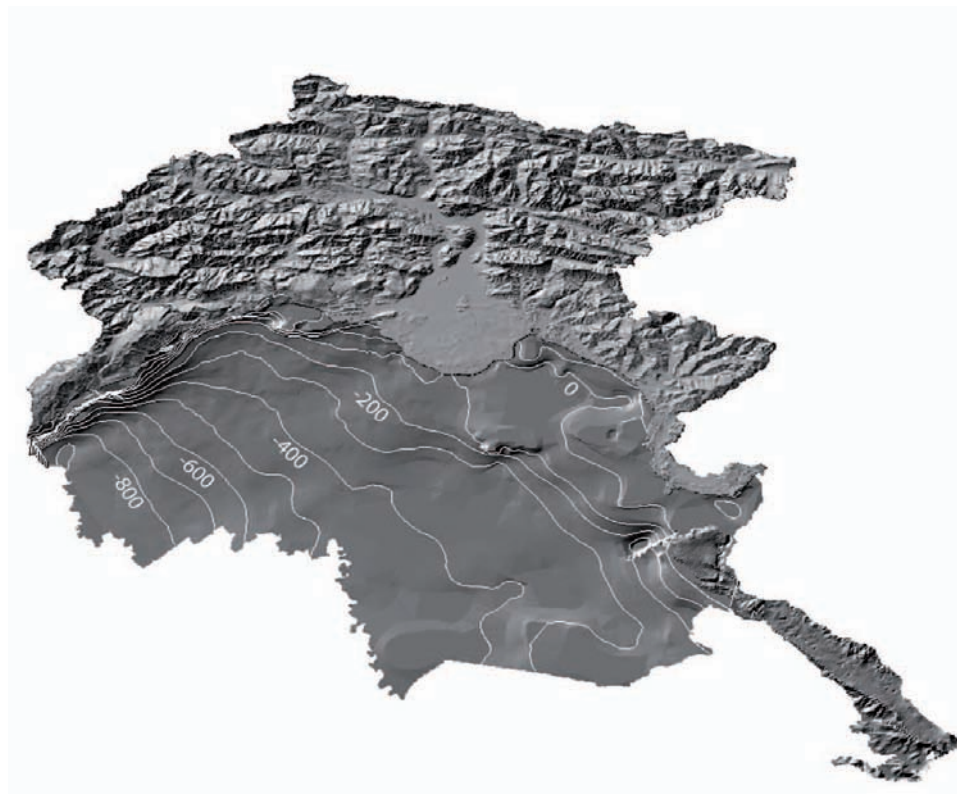
Mappa del minimo impinguamento della falda: agosto - settembre 2003

Tra gli anni 1970-2008 si è avuto un periodo di magra ben definito nell'agosto - settembre 2003 durante il quale 23 stazioni di misura hanno registrato un valore di minimo evento. Per redigere la mappa delle isofreatiche sono state utilizzate 131 stazioni della Rete freaticometrica (punti rossi) le cui misure, espresse in m s.l.m., hanno valori compresi tra i 4 metri nella zona del monfalconese e i 92 metri nella zona pedemontana in destra idrografica del Fiume Tagliamento. Forti perdite in sub alveo dei corsi d'acqua e del Fiume Tagliamento sono espresse dall'andamento delle isofreatiche e dal loro elevato gradiente. In genere, i gradienti idraulici sono compresi tra il 2 e il 3 per mille ed aumentano in corrispondenza del raccordo fra fascia dei rilievi e pianura.



Mapa del massimo impinguamento della falda: novembre 2000

Fra gli eventi di piena verificatisi nel periodo 1970-2008 si è preso in considerazione quello del novembre 2000 e si è redatta una mappa del massimo impinguamento della falda. Sono stati presi in considerazione 127 pozzi della Rete freaticometrica (punti rossi) distribuiti nell'Alta Pianura con 827 misure disponibili. Analogamente a quanto si verifica in magra, si possono osservare i marcati apporti alla falda freatica dovuti alle perdite del Fiume Tagliamento e del sistema Torre-Natisone-Isonzo. Le isofreatiche, espresse in m s.l.m.m., hanno valori compresi tra i 6 metri nella zona del monfalconese e i 110 metri nella zona pedemontana in destra idrografica del Fiume Tagliamento.



Ricostruzione del substrato pre quaternario della Pianura Friulana.

Il 3D della Regione con i rilievi a nord e la Pianura epurata dai depositi quaternari. Il substrato appare nella sua interezza e continuità scoprendo due particolarità: in corrispondenza della pedemontana pordenonese per effetto della tettonica, per cui raggiunge i -900 m s.l.m.m., e nel settore orientale a sud ovest di Gorizia, ove la geofisica individua una profonda depressione supposta fino a più di -300 m s.l.m.m.

Nelle pagine seguenti alcune sezioni realizzate, ad andamento nord-sud e ovest-est, con le litostratigrafie dei pozzi e le correlazioni fra sistemi di acquiferi effettuate tramite "picking". I sistemi di acquiferi studiati sono separati fra loro da intervalli di depositi impermeabili (acquicludi) e sono costituiti da orizzonti permeabili perlopiù contigui di sedimenti differenti dal punto di vista litostratigrafico ma aventi caratteristiche idrogeologiche simili. All'interno del singolo sistema talvolta si rinvengono lenti di depositi impermeabili che, se di una certa estensione, possono conferire ramificazione al sistema stesso (ad esempio, per l'acquifero "H", uno sdoppiamento in " H_{alto} " e " H_{basso} ").

Legenda classi permeabilità

- Elevata
- Alta
- Media-Bassa
- Bassa-Impermeabile
- Conglomerato
- Arenaria
- Marna

Legenda sistemi acquiferi

- | | |
|--|---|
| ■ A | ■ Fa |
| ■ B | ■ Fb |
| ■ Ca | ■ G |
| ■ Cb | ■ Ha |
| ■ Da | ■ Hb |
| ■ Db | ■ I |
| ■ E | ■ L |

Legenda delle sezioni idrostratigrafiche riportate nelle pagine seguenti. Con i diversi colori sono rappresentati, nelle colonne stratigrafiche, le classi di permeabilità (colonna a sinistra) e, nelle correlazioni, i dieci sistemi di acquiferi riconosciuti (colonna al centro e a destra).

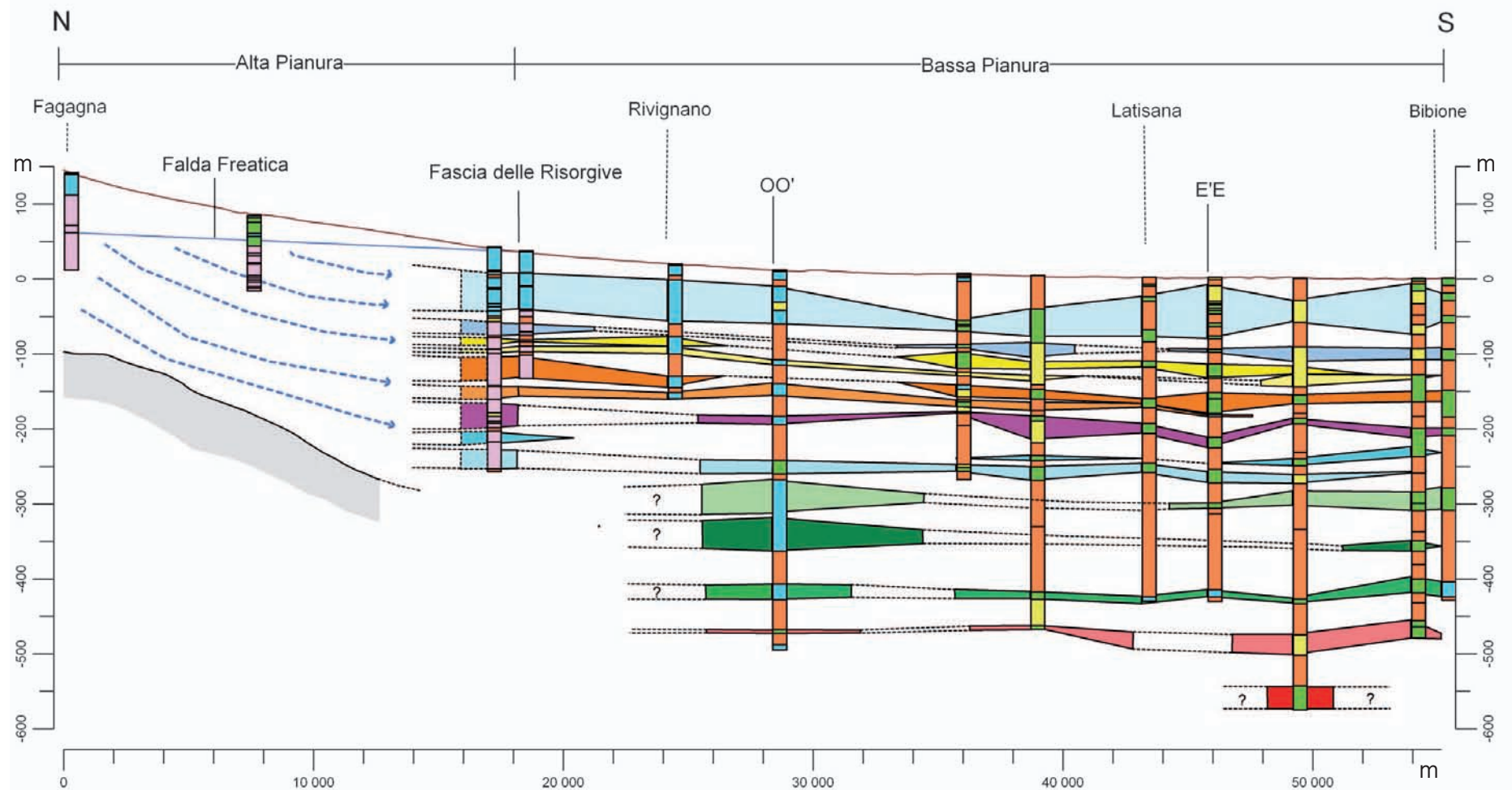


In rosso le tracce delle tre sezioni idrostratigrafiche N-S, O-O' ed E-E passanti per i pozzi più significativi e riportate nelle pagine seguenti

RICOSTRUZIONE DEGLI ACQUIFERI: I SISTEMI MULTIFALDA

Al fine di definire l'assetto geometrico dei sistemi di acquiferi confinati presenti nel sottosuolo della Bassa Pianura e di redigere specifiche mappe, è stato elaborato,

mediante il software RockWorks R14, un modello tridimensionale numerico ad alta risoluzione.

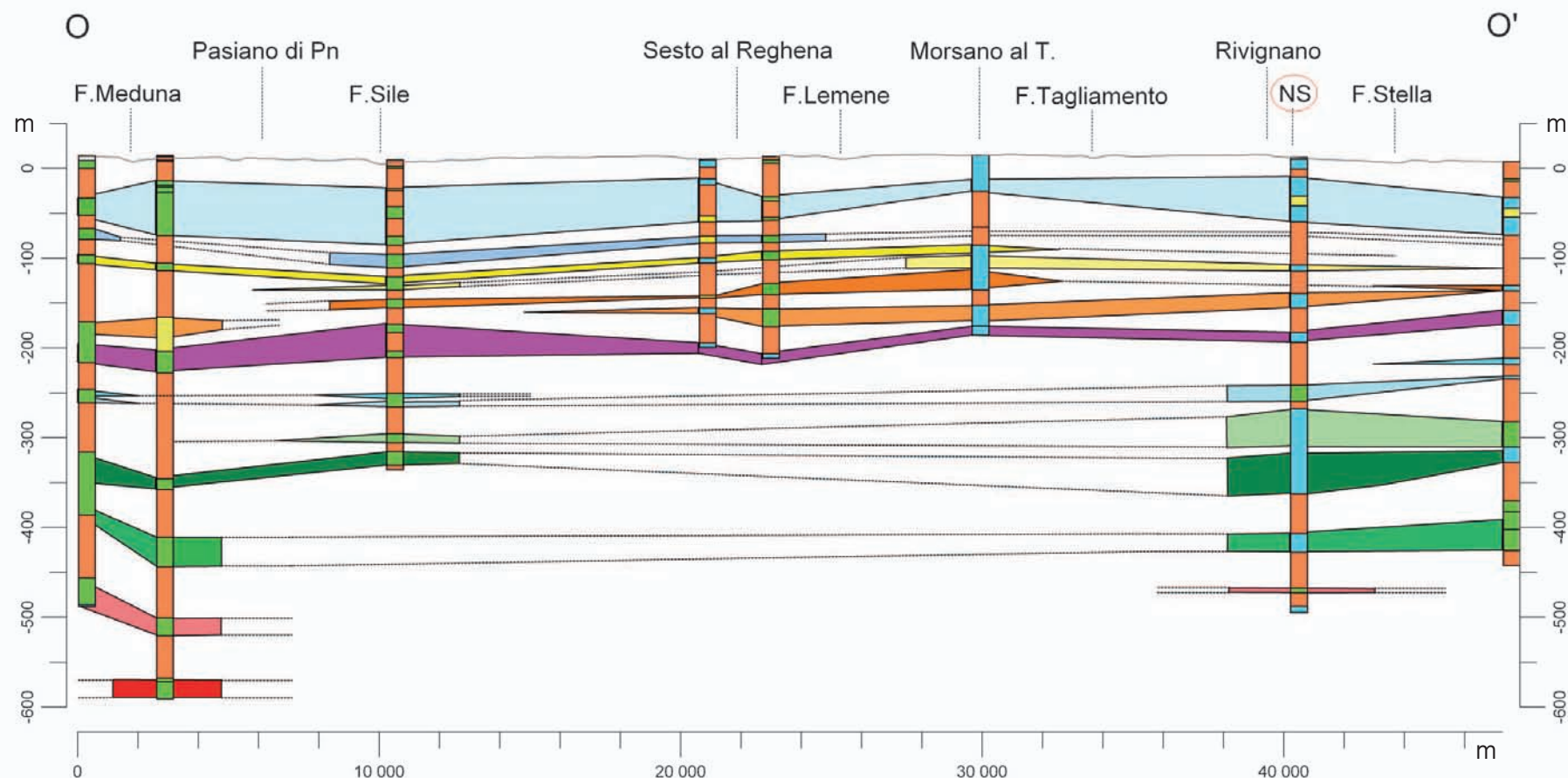


Sezione idrostratigrafica N-S

Correlazioni fra i sistemi di acquiferi ad andamento meridiano subparallelo al Fiume Tagliamento. La sezione illustra l'innescio montano dei sistemi di acquiferi confinati, il progressivo approfondimento del substrato pre quaternario, i complessi rapporti fra gli orizzonti idrogeologicamente significativi. In evidenza le intersezioni con le sezioni ad andamento est-ovest delle pagine seguenti.

Il modello, a maglia di 400x400x1 m, è stato realizzato a partire dai dati di 603 litostratigrafie di pozzi scelte ad hoc fra le 3'258 a disposizione, previa omogeneizzazione e codifica delle descrizioni litologiche presenti in esse. Tramite operazioni di "picking", eseguite lungo una serie di sezioni passanti per i dati puntuali litostratigrafici, si sono identificati e correlati il tetto ed il letto dei sistemi di acquiferi.

Si sono così attribuiti a ciascuno dei 603 pozzi scelti i valori di profondità del letto e del tetto dei sistemi di acquiferi intercettati. Dall'elaborazione geostatistica dei valori così ottenuti è stato ricavato il modello tridimensionale e sono state redatte numerose sezioni e mappe rappresentanti i domini d'esistenza e/o i limiti degli areali indagati, le profondità del tetto (s.l.m.) e gli spessori degli undici sistemi di

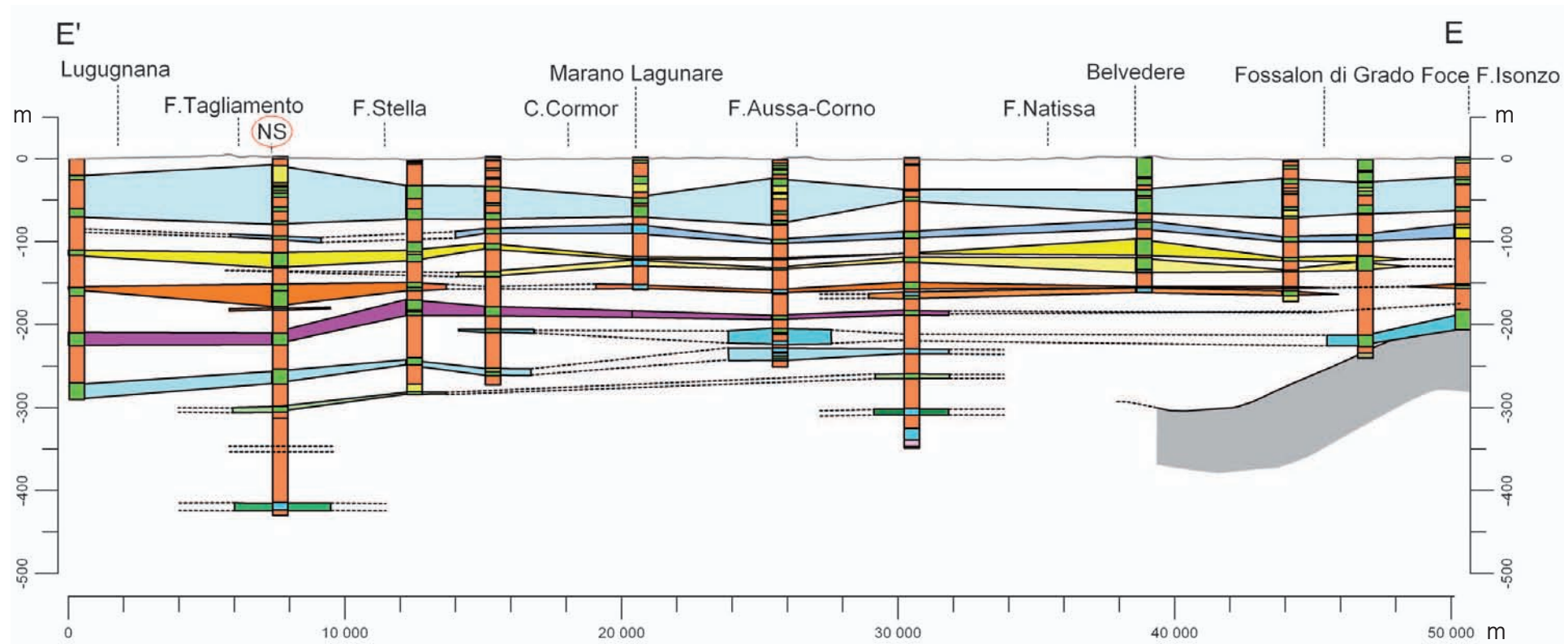


Sezione idrostratigrafica O-O'

Correlazioni fra sistemi di acquiferi ad andamento est-ovest. La sezione, subparallela al confine fra Regione Friuli Venezia Giulia e Regione Veneto, mostra la mancanza di dati sulle falde più profonde, ben sviluppate nel settore veneto della Bassa Pianura. In evidenza l'intercetta con la sezione nord-sud.

acquiferi riconosciuti in regione. Si specifica che per i primi otto sistemi da "A" a "H" sono state redatte mappe a isolinee, facendo ricorso a variogrammi e scegliendo metodi di interpolazione appropriati. Le mappe ricoprono tutta la Bassa Pianura ricadente in regione e si estendono a nord, poco oltre il limite meridionale della Fascia delle Risorgive, e a sud, in regione Veneto, in area lagunare e in Mar Adriatico.

Invece, per i sottostanti sistemi "I", "L" ed "M", a causa del sempre minor numero di litostratigrafie a disposizione al crescere della profondità, è stato possibile realizzare solo mappe di ubicazione dei pozzi rappresentati con classi di colore in funzione della profondità del tetto e con riportati, a lato, i corrispettivi valori di spessore.



Sezione idrostratigrafica E'-E

Correlazioni fra sistemi di acquiferi ad andamento est-ovest. La sezione, subparallela alla fascia perilagunare, mostra il progressivo innalzarsi del basamento prequaternario con il conseguente rastremarsi dei sistemi di acquiferi più profondi al substrato. In evidenza l'intercetta con la sezione nord-sud.

Di seguito viene data la descrizione sintetica degli undici sistemi di acquiferi riconosciuti in Regione, con riportate le mappe delle profondità del tetto (Mappe delle isobate del tetto, riferite al l.m.m.) e degli spessori (Mappe delle isopache, in metri).

SISTEMA DI ACQUIFERI “A”

Questo sistema di acquiferi ha il tetto posizionato generalmente fra i 10/20 m s.l.m.m. in corrispondenza delle risorgive nella zona di Pordenone ed i -50 m s.l.m.m. nella fascia perilagunare. È pressoché sempre presente ed ha un andamento molto articolato che posiziona il tetto generalmente fra i -20 /-30 e i -50 m dal piano campagna.

Si tratta di un sistema contenuto in numerosi orizzonti permeabili, da prevalentemente ghiaiosi a settentrione, fino a ghiaioso-sabbiosi e sabbiosi a meridione, intercalati a livelli argilloso-limosi impermeabili mediamente potenti. I singoli orizzonti permeabili hanno in genere debole potenza, anche se sono stati intercettati spessori anche maggiori alla decina di metri. La modellazione di questo sistema di acquiferi è risultata quindi particolarmente difficile, soprattutto in prossimità della Fascia delle Risorgive, per la presenza di diversi livelli permeabili che si interdigitano frequentemente ma con quote reciproche e spessori estremamente variabili. In conseguenza di ciò e considerate le difficoltà nelle correlazioni tra le litostratigrafie dei pozzi, spesso posti a distanze troppo elevate rispetto alla dimensione ed alla complessità delle geometrie sedimentarie, i diversi orizzonti permeabili sono stati raggruppati in un unico sistema e perciò trattati come un unico livello permeabile³.

La potenza complessiva degli orizzonti del sistema “A” varia da pochi metri, nella zona a sudovest di Pordenone, alla quarantina, nella zona di Pravisdomini, fino alla cinquantina di metri, nella zona di Latisana: la potenza media è di 31 m.

Il campo di esistenza di questo sistema è compreso tra 10/20 (tetto) e -80 (letto) m s.l.m.m.

³ Negli orizzonti soprastanti il sistema di acquiferi “A” sono presenti numerosi corpi, localmente permeabili e sfruttati idraulicamente ma privi di una buona continuità spaziale. L'andamento del tetto del sistema di acquiferi “A” va ritenuto pertanto utile ai fini della localizzazione dei primi livelli permeabili riscontrabili a scala regionale.

SISTEMA DI ACQUIFERI “B”

Questo sistema di acquiferi ha il tetto posizionato generalmente fra i -30/-40 m s.l.m.m. in corrispondenza della Fascia delle Risorgive nel pordenonese ed i -90 m s.l.m.m. nella fascia perilagunare nelle zone di Lignano e Grado. Posizionato in genere fra i -70 ed i -90 m di profondità dal piano campagna, si approfondisce da nord verso sud in maniera abbastanza regolare, anche se nella zona di Grado e in quella di Lignano si notano delle culminazioni.

Il sistema di acquiferi è abbastanza continuo ed è contenuto in un intervallo permeabile ghiaioso nelle aree settentrionali della Bassa Pianura e sabbioso in quelle meridionali.

Lo spessore medio di questo sistema è di 13 m, con i valori maggiori in sinistra Tagliamento e in sinistra Isonzo, localmente superiori a 20 m.

Il campo di esistenza di questo sistema è compreso tra -30/-40 (tetto) e -100 (letto) m s.l.m.m.

SISTEMA DI ACQUIFERI “C”

Il sistema di acquiferi “C” presente con buona continuità in tutta la Bassa Pianura, consiste in due principali livelli permeabili prevalentemente sabbiosi denominati “C_{alto}” e “C_{basso}”. I due livelli sono quasi sempre ben distinti anche se talora non hanno evidente continuità laterale.

Il tetto del livello “C_{alto}” è posizionato fra -60/-70 e i -120 m s.l.m.m. e, quindi, indicativamente fra -110 e -120 m di profondità dal piano campagna.

Lo spessore medio di questo sistema (intervallo tetto “C_{alto}” – letto “C_{basso}”) è di circa 14,5 m, con spessori dei singoli livelli molto variabili.

Il campo di esistenza di questo sistema è compreso tra -60/-70 (tetto) e -130 (letto) m s.l.m.m.

SISTEMA DI ACQUIFERI “D”

Il sistema di acquiferi “D” comprende un insieme di sottili livelli permeabili che si presentano in genere distinti in due raggruppamenti principali interpretati come livelli “D_{alto}” e “D_{basso}”.

Il tetto di questo sistema si rinviene a quote che vanno da -110/-120 m s.l.m.m. in corrispondenza della Fascia delle Risorgive nel pordenonese a -155 m s.l.m.m. in corrispondenza della costa. Il sistema si pone, quindi, ad una profondità indicativa di -140 e -160 m dal piano campagna. Il tetto si approfondisce in modo regolare

da nord verso sud, con le profondità maggiori a Grado e nei pressi di Latisana e Lignano.

I due livelli si succedono a pochi metri di distanza fino talvolta a congiungersi costituendo pertanto un complesso circuito idrico localmente intercomunicante in senso verticale. Il livello "D_{alto}" è costituito da uno o più livelli di sabbie o sabbie debolmente ghiaiose mentre il livello "D_{basso}" da un livello sabbioso-ghiaioso continuo che verso est (area Grado - Foci dell'Isonzo), diminuendo la granulometria dei sedimenti, passa a sabbie grossolane o sabbie.

Lo spessore medio di questo sistema (intervallo tetto "D_{alto}" – letto "D_{basso}") è di circa 15 m. Spessori superiori a 25 m si hanno in corrispondenza della Fascia delle Risorgive nel pordenonese e valori decisamente minori, spesso inferiori alla decina di metri, si riscontrano nella fascia perilagunare.

Il campo di esistenza di questo sistema è compreso tra -110/-120 (tetto) e -170 (letto) m s.l.m.m.

SISTEMA DI ACQUIFERI "E"

Il tetto del sistema di acquiferi "E" si rinviene a quote variabili da -150 m s.l.m.m. a -200 m s.l.m.m. Ne consegue che la profondità del tetto ai margini nord ed est, compresa l'area lagunare di Grado e delle foci dell'Isonzo e di Latisana, è ubicata a -175 m dal piano campagna, mentre altrove le profondità sono comprese fra -180 e -210 m dal piano campagna. In particolare nella parte orientale della pianura il tetto risulta più superficiale e si approfondisce solo in corrispondenza del tratto finale del Fiume Tagliamento. Nella Bassa pordenonese si ha, invece, un approfondimento più marcato tra San Vito al Tagliamento e Sesto al Reghena e tra Pordenone e Prata di Pordenone.

Il sistema di acquiferi è dato da un intervallo permeabile costituito da ghiaie grossolane, a settentrione, e ghiaie sabbioso-limose verso meridione, talvolta sdoppiato in livelli secondari. Questi ultimi sono distinguibili nell'area fra il Tagliamento e lo Stella e nella zona centrale di San Giorgio di Nogaro.

Lo spessore medio di questo sistema è di circa 14 m, con valori minimi nel settore orientale, inferiori a 5 m tra Grado e le foci dell'Isonzo ove il sistema si addossa al substrato, e massimi, localmente fino a 30 m circa, lungo la Fascia delle Risorgive e nel sottosuolo di Pasiano di Pordenone ai confini regionali con il Veneto.

Il campo di esistenza di questo sistema è compreso tra -150 (tetto) e -215 (letto) m s.l.m.m.

Le acque di questo sistema sono di interesse geotermico, raggiungendo temperature massime di 29°C in alcune zone della Laguna di Grado e Marano.

SISTEMA DI ACQUIFERI "F"

Il sistema di acquiferi "F" consiste in un insieme complesso di livelli permeabili ravvicinati, da ghiaioso-sabbiosi a sabbioso cementati e ghiaiosi, intercalati da sottili orizzonti di limi e argille, più abbondanti verso meridione e localmente assenti. Nel complesso è abbastanza continuo nei settori meridionali della Bassa Pianura dove, a tratti, si divide in due livelli permeabili principali, "F_{alto}" ed "F_{basso}".

Il tetto del sistema di acquiferi "F" si posiziona fra -190 m s.l.m.m. in corrispondenza del monfalconese, -200 m s.l.m.m. lungo la Fascia delle Risorgive nel pordenonese e -240/-250 m s.l.m.m. nell'area di Latisana e ai confini con il Veneto. Il tetto si approfondisce da nord verso sud nella bassa pordenonese e da est verso ovest nella bassa udinese. La profondità del tetto del sistema varia quindi da -190 a -260 m dal piano campagna.

Lo spessore medio (intervallo tetto "F_{alto}" – letto "F_{basso}") è di circa 17 m.

Il suo campo di esistenza è compreso tra -190 (tetto) e -265 (letto) m s.l.m.m.

Le sue acque sono di interesse geotermico, raggiungendo temperature massime di 34°C nelle aree della Laguna di Grado e Marano.

SISTEMA DI ACQUIFERI "G"

Il tetto del sistema di acquiferi "G" si approfondisce da est verso ovest, passando da circa -250 m s.l.m.m. nei pressi di Grado fino ad oltre -300 m s.l.m.m. nella zona di Latisana e in quella di Pasiano di Pordenone, al confine con il Veneto. La profondità del tetto varia quindi da -250 a -310 m dal piano campagna.

Questo sistema interessa intervalli sabbiosi, talvolta cementati o debolmente ghiaiosi, e comprende quindi un insieme di livelli permeabili, eterogenei per dimensione media dei grani, estensioni e geometrie. A est di Grado esso si chiude sulle propaggini del substrato roccioso lungo il Fiume Isonzo.

Il suo spessore medio è di 11 m.

Il campo di esistenza è compreso tra -250 (tetto) e -320 (letto) m s.l.m.m.

Le acque di questo sistema sono di interesse geotermico, raggiungendo temperature di poco superiori a 25°C nell'area fra Marano e Latisana e massime di 35°C nella Laguna di Grado.

SISTEMA DI ACQUIFERI “H”

Si tratta di un sistema composito, in cui si riconoscono due livelli permeabili principali ben distinti denominati “H_{alto}” e “H_{basso}”. Per questo motivo, i due livelli, seppur appartenenti ad un unico sistema, sono stati trattati separatamente.

Il tetto del livello “H_{alto}” è rinvenibile a profondità di -320 m nella Laguna di Grado e -370 nei pressi di Latisana e tra Pasiano di Pordenone e Brugnera. La profondità del tetto del livello “H_{alto}” varia quindi da -320 a -390 m dal piano campagna.

Il tetto del livello “H_{basso}” va da -380 m s.l.m.m. nei pressi di Marano a -420 m s.l.m.m. o poco più nei pressi di Latisana. La profondità del tetto del livello “H_{basso}” varia quindi da -360 a -420 m dal piano campagna.

Il sistema di acquiferi è posto al di sotto di un acquitardo argilloso-limoso potente mediamente 80 m ed interessa alcuni intervalli sabbiosi, sabbioso ghiaiosi, talvolta debolmente cementati.

I livelli “H_{alto}” e “H_{basso}” hanno rispettivamente uno spessore medio di 13 e 15 m.

Il campo di esistenza del livello “H_{alto}” è compreso tra -320 (tetto) e -380 (letto) m s.l.m.m.

Il campo di esistenza del livello “H_{basso}”, è compreso tra -380 (tetto) e -440 (letto) m s.l.m.m.

Il sistema di acquiferi “H” è il più esteso e utilizzato fra quelli di interesse geotermico, presentando buone caratteristiche idrauliche e termiche, con temperature oltre i 35°C nell’area fra Latisana e Prezenico.

SISTEMA DI ACQUIFERI “I+L+M”

Questi sistemi di acquiferi profondi sono contenuti in orizzonti porosi, di potenza ed estensione variabili, sicuramente intercalati nelle formazioni di età miocenica, rocce che fanno già parte del cosiddetto “basamento prequaternario” su cui poggiano i cosiddetti “depositi quaternari” sciolti della Pianura Friulana nel sottosuolo di Lignano e Latisana. Le informazioni su questi sistemi di acquiferi sono ancora limitate, dato che essi sono raggiunti da pochi pozzi. Non è stata accertata la continuità idraulica laterale fra gli orizzonti riconosciuti nel sottosuolo del pordenonese e quelli del basso Tagliamento. In quest’ultima area i sistemi sono caratterizzati da acque termali con alto contenuto in soluti e temperature superiori ai 35°C. Le acque dei sistemi “I” ed “L” raggiungono temperature superiori ai 35°C nella zona di Pertegada-Isola Picchi-Aprilia Marittima, mentre l’acquifero “M” supera i 45 °C nell’area circostante Aprilia Marittima.

Il sistema di acquiferi “I” interessa livelli prevalentemente sabbiosi, talvolta sabbioso-ghiaiosi, debolmente cementati nelle Molasse mioceniche [3]. È lenticolare e discontinuo ma particolarmente permeabile con corpi dello spessore variabile tra 5 e 20 m e spessore medio di 10 m. Esso è stato individuato ed intercettato in due areali. Un areale è presso la foce del Fiume Tagliamento, da Lignano a Ronchis, ed ha il tetto tra -450 e -470 m s.l.m.m. L’altro areale si apre in un’area indicativamente compresa tra Pordenone, Pravisdomini, Brugnera e Azzano Decimo con tetto a quote fra -430 m s.l.m.m. e -480 m s.l.m.m.

Il sistema di acquiferi “L” è localizzato in un intervallo di arenarie poco cementate o di sabbie cementate del Tortoniano [3] ed ha spessore variabile da 10 a 30 metri. Il tetto è posto con buona continuità lungo l’asta del Fiume Tagliamento, a profondità che da Gorgo a Isola Picchi passano da -500 m s.l.m.m. fino a circa -540 m s.l.m.m.

Il sistema di acquiferi “M” è contenuto in orizzonti permeabili per fratturazione appartenenti alla successione arenacea del Miocene Superiore [3]. Nell’area veneto-orientale, in destra Tagliamento, il tetto del sistema può essere indicativamente posto a profondità superiori a -590 m s.l.m.m.



La Fascia delle Risorgive fra Virco e Flambro.

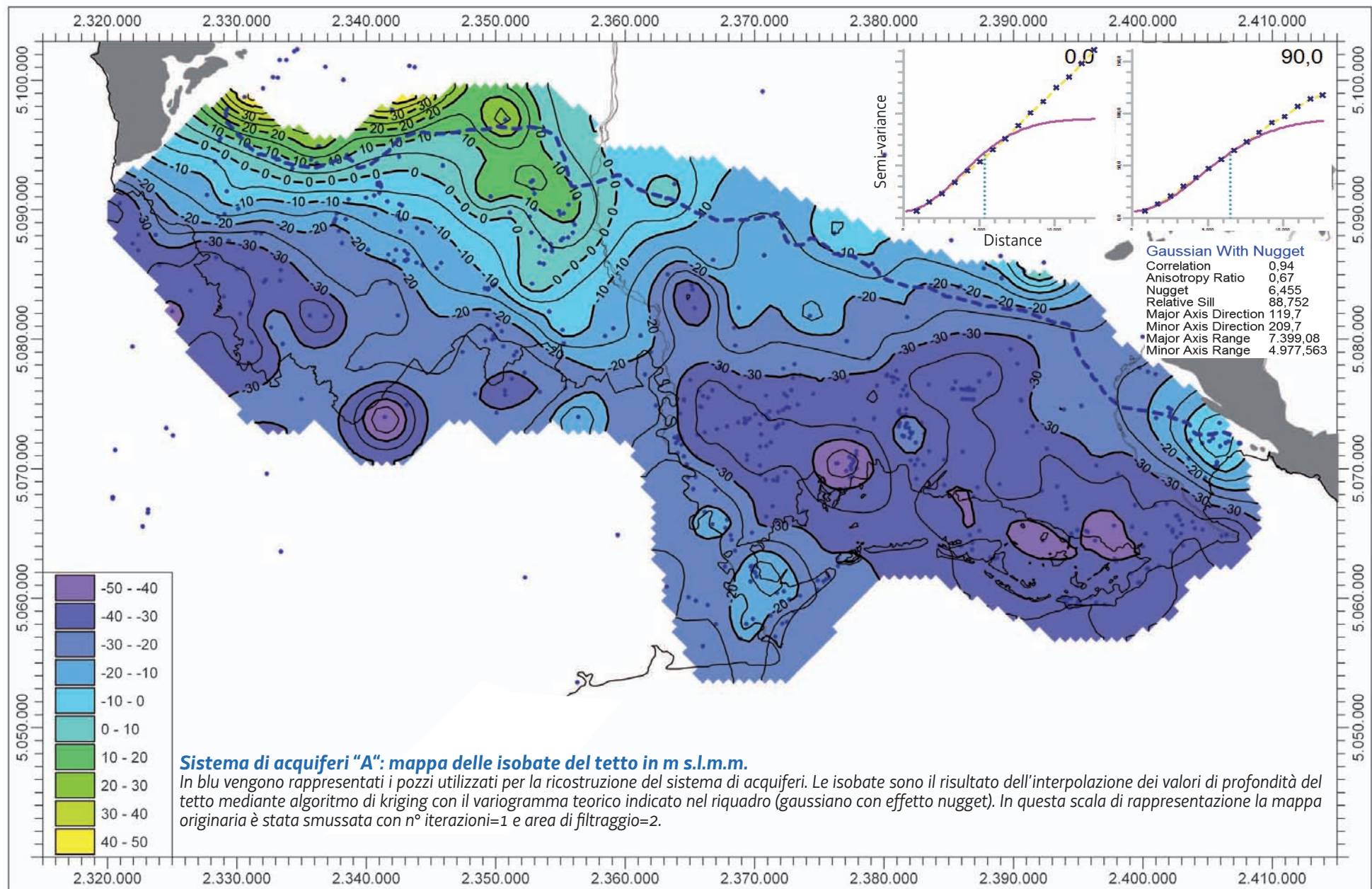
Quadro sinottico delle caratteristiche idrogeologiche dei sistemi di acquiferi

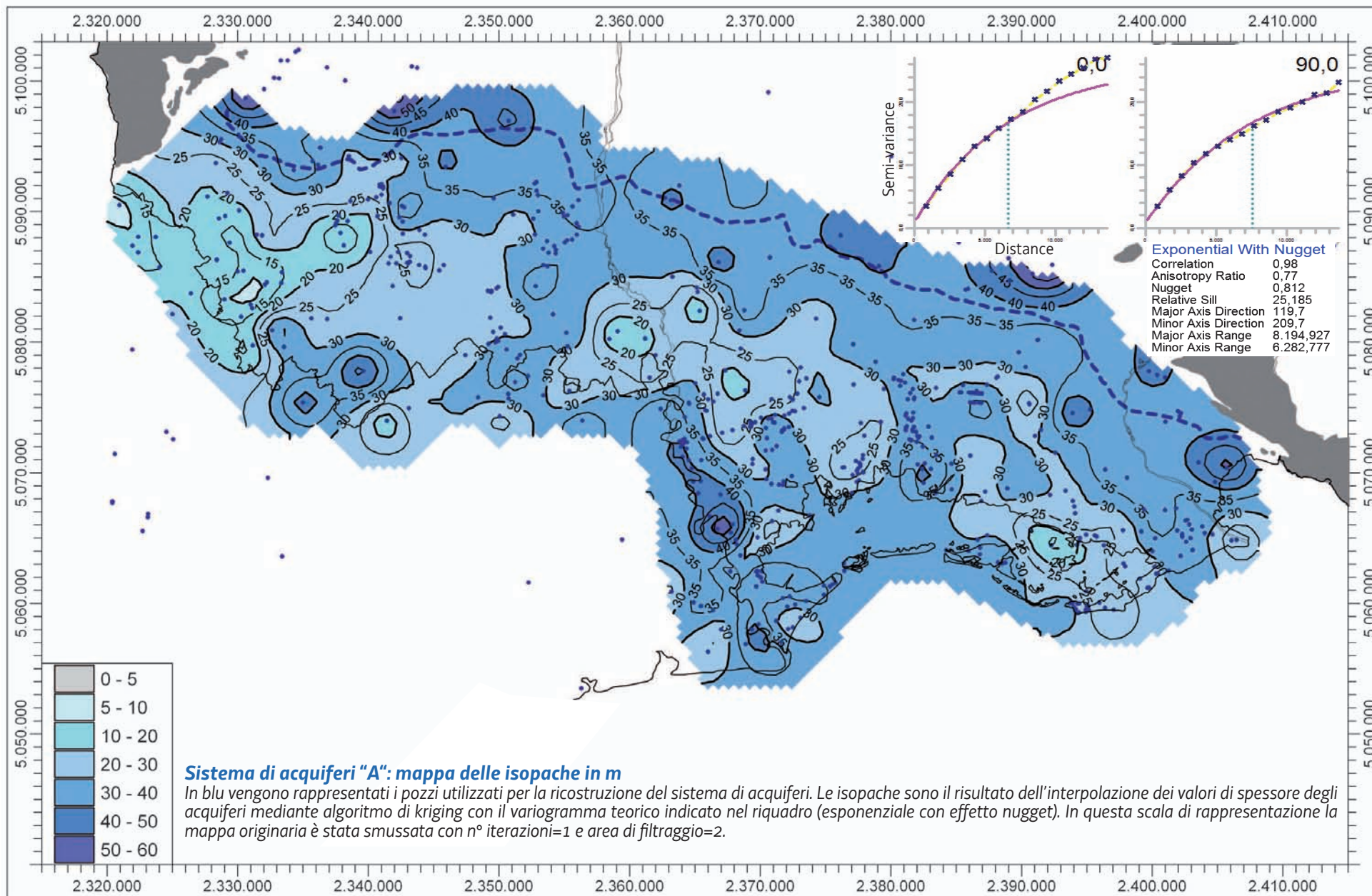
La ricostruzione delle geometrie dei primi otto sistemi di acquiferi ha permesso di ricavare le aree, i volumi e le potenze medie degli stessi in riferimento agli areali indagati. A partire da questi valori e da quelli di porosità efficace media è stata calcolata l'entità della riserva idrica contenuta in ciascun sistema. La riserva idrica, espressa sia in volume [km³] sia in altezza media di colonna d'acqua Hw [m], è qui intesa come quantità d'acqua contenuta nei pori dei sedimenti che può essere mobilizzata. Nel calcolo non si è tenuto conto, essendo di un ordine

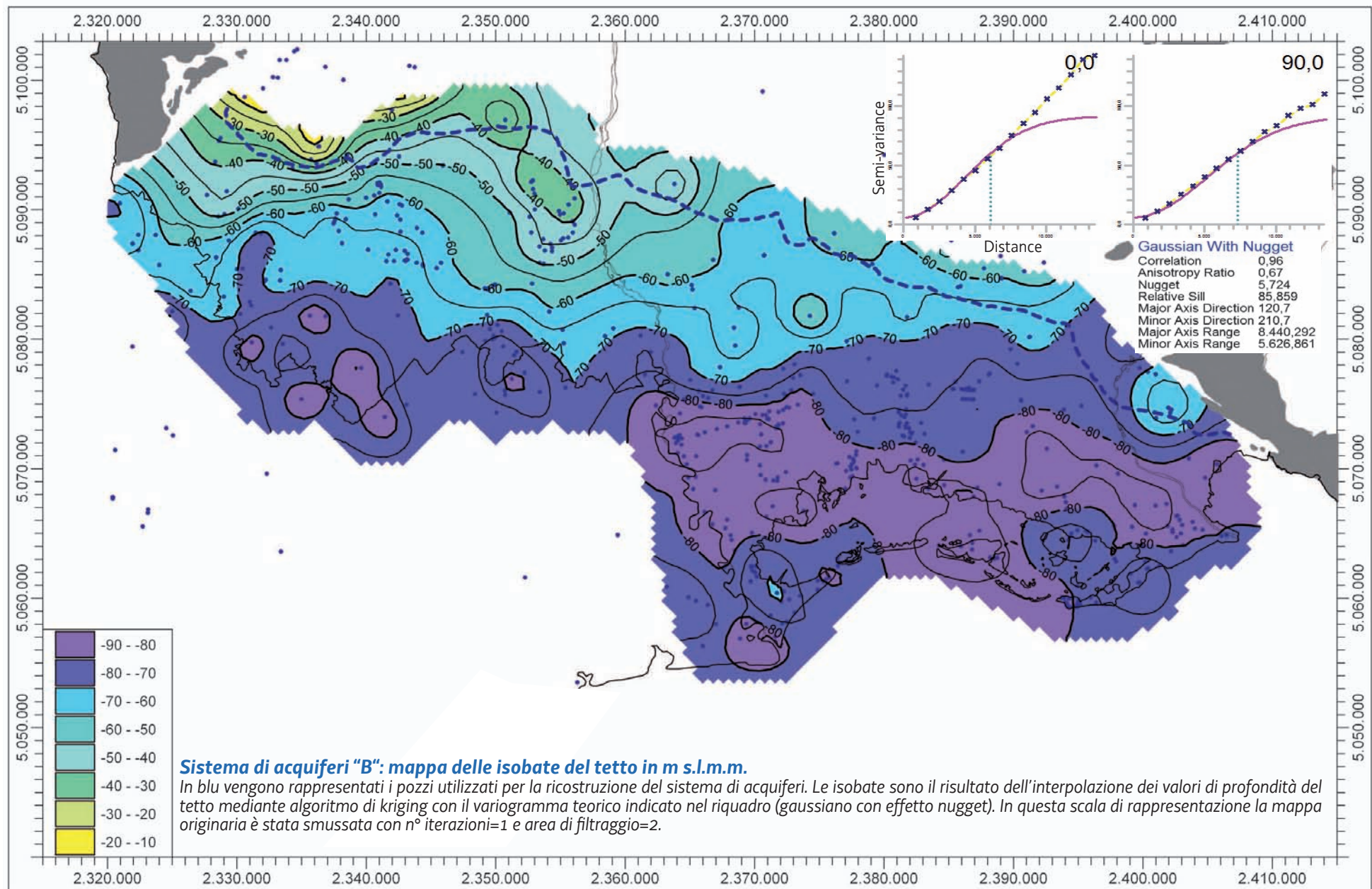
di grandezza inferiore, della quota di riserva idrica dovuta all'immagazzinamento per compressibilità.

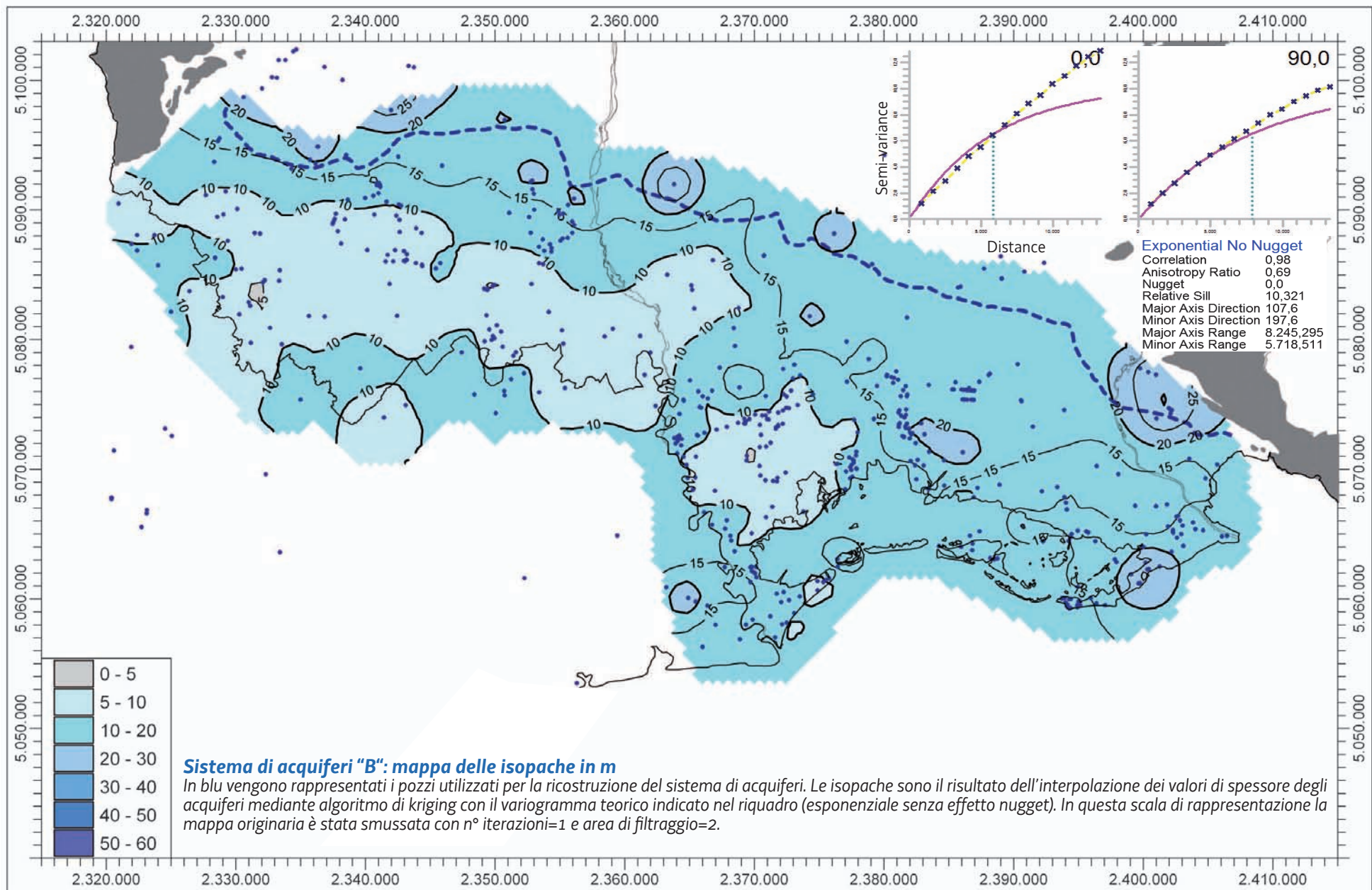
I valori di porosità efficace e di permeabilità sono stati stimati a partire dai dati tessiturali presenti nelle litostratigrafie e tenendo in considerazione il grado di compattazione, cementazione o fratturazione. Nel calcolo delle volumetrie utili, non sono state considerate le eventuali lenti impermeabili presenti all'interno dei sistemi di acquiferi.

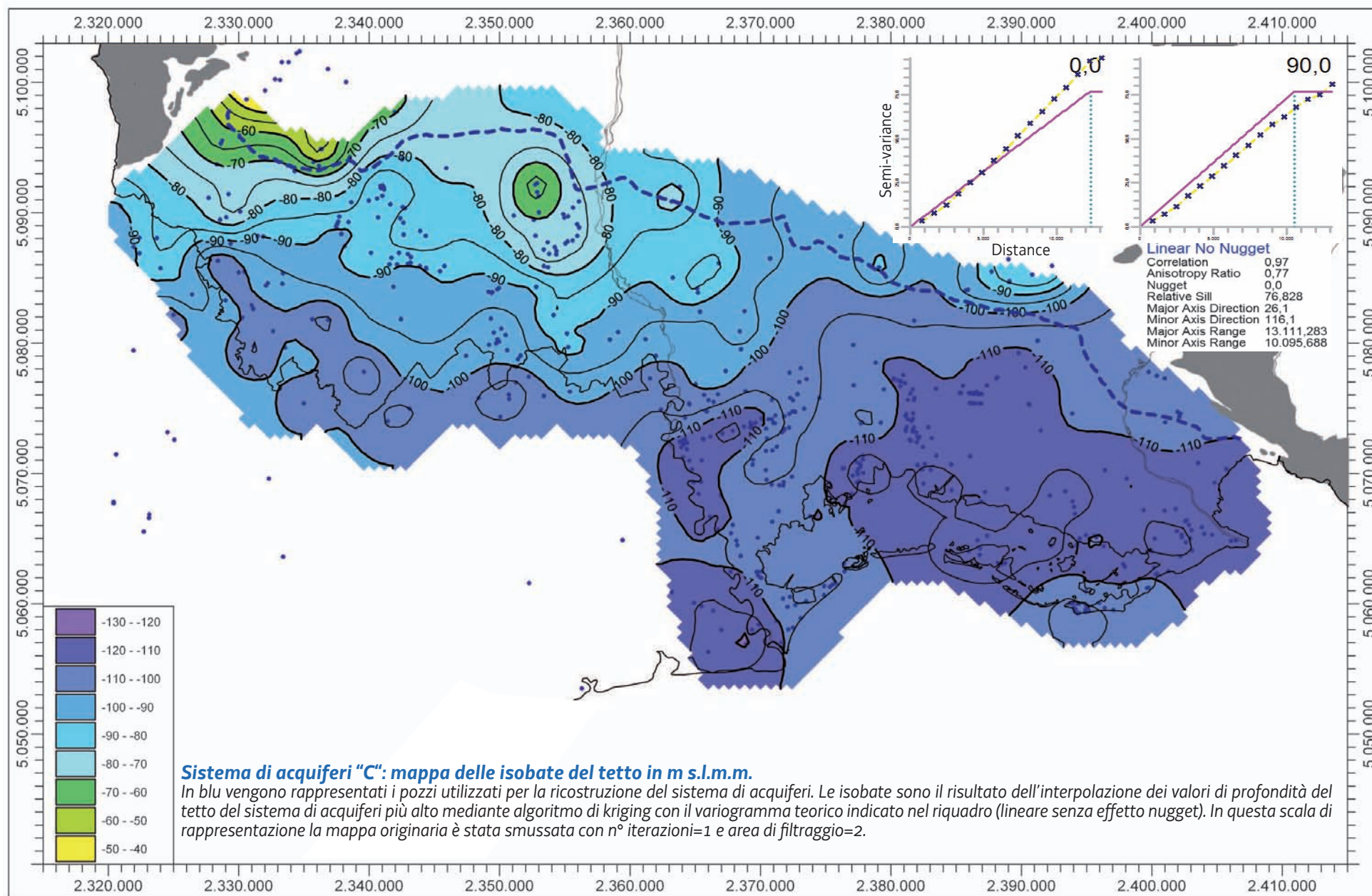
Sistema di Acquiferi	Area [km ²]	Volume [km ³]	Profondità del tetto	Campo di esistenza	Potenza media [m]	Conducibilità idraulica K [m/s]		Porosità efficace [%]			Riserva idrica [km ³]	Hw [m]
	A	V	m s.l.m.m.	m s.l.m.m.	$b_{media} = 1000 \cdot V/A$	K _{min}	K _{max}	ne _{min}	ne _{max}	ne _{media}	$V \cdot ne_{media} / 100$	$b_{media} \cdot ne_{media} / 100$
A	2294	71,2	da 10 a -50	tra 10 e -80	31,0	1,0E ⁻⁰⁵	5,0E ⁻⁰²	15,0	25,0	20,0	14,2	6,2
B	2294	30,6	da -30 a -90	tra -30 e -100	13,3	1,0E ⁻⁰⁵	5,0E ⁻⁰²	15,0	25,0	20,0	6,1	2,7
C	2294	33,3	da -60 a -120	tra -60 e -130	14,5	1,0E ⁻⁰⁵	5,0E ⁻⁰³	20,0	25,0	22,5	7,5	3,3
D	2294	35,1	da -110 a -155	tra -110 e -170	15,3	1,0E ⁻⁰⁵	5,0E ⁻⁰²	20,0	28,0	24,0	8,4	3,7
E	2294	32,5	da -150 a -200	tra -150 e -215	14,2	1,0E ⁻⁰⁴	1,0E ⁻⁰²	16,0	24,0	20,0	6,5	2,8
F	2294	39,5	da -190 a -250	tra -190 e -265	17,2	1,0E ⁻⁰⁴	5,0E ⁻⁰³	16,0	24,0	20,0	7,9	3,4
G	2124	23,1	da -260 a -300	tra -260 e -320	10,9	1,0E ⁻⁰⁵	5,0E ⁻⁰²	16,0	24,0	20,0	4,6	2,2
H _{alto}	1135	15,2	da -320 a -370	tra -320 e -380	13,4	1,0E ⁻⁰⁵	5,0E ⁻⁰²	16,0	24,0	20,0	3,0	2,7
H _{basso}	852	12,5	da -380 a -420	tra -380 e -440	14,7	1,0E ⁻⁰⁵	5,0E ⁻⁰²	16,0	24,0	20,0	2,5	2,9
I	—	—	—	—	—	1,0E ⁻⁰⁶	1,0E ⁻⁰⁴	5,0	15,0	10,0	—	—
L	—	—	—	—	—	1,0E ⁻⁰⁶	1,0E ⁻⁰⁵	5,0	15,0	10,0	—	—
M	—	—	—	—	—	1,0E ⁻⁰⁵	5,0E ⁻⁰³	5,0	15,0	10,0	—	—

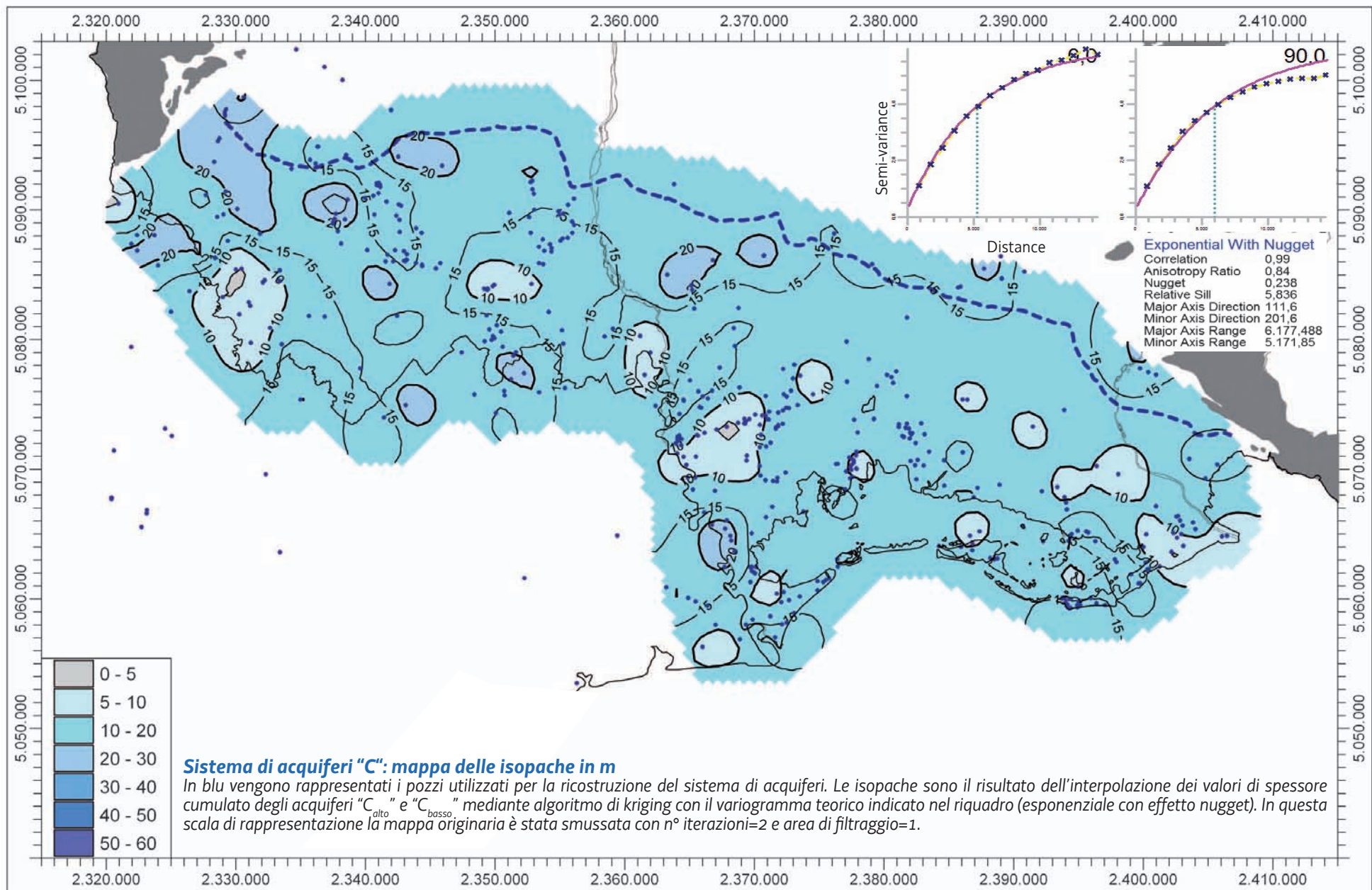


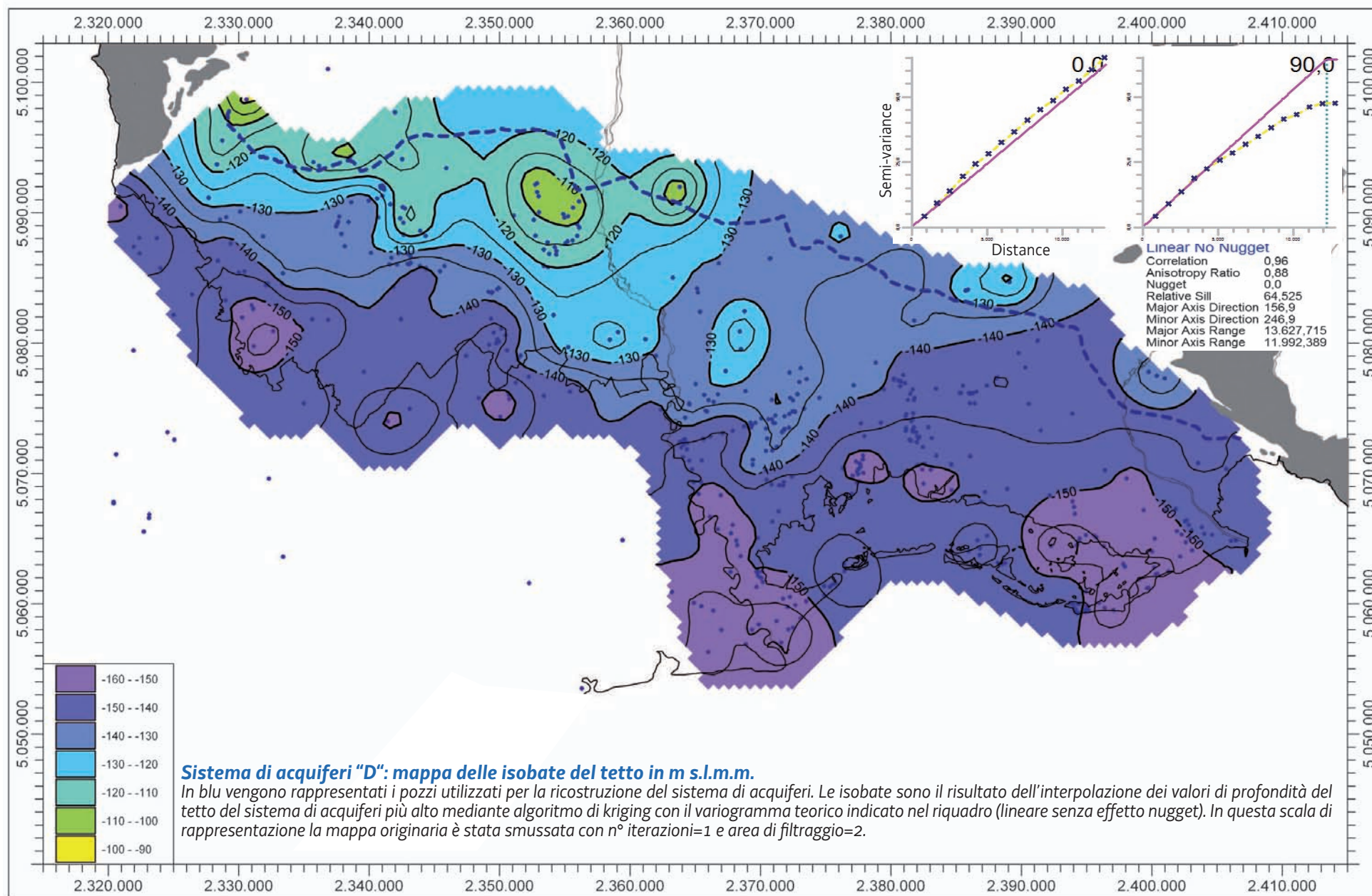


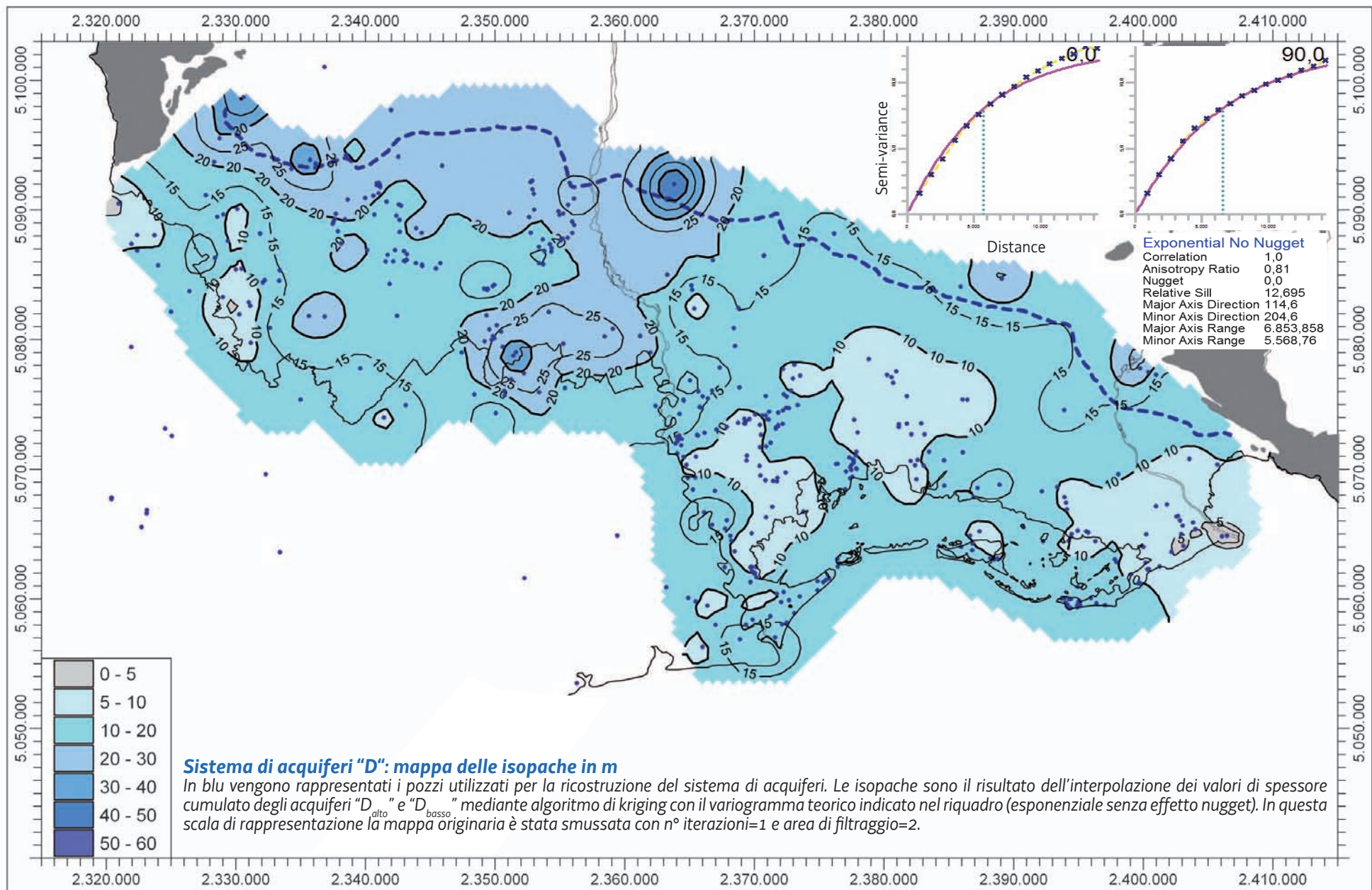


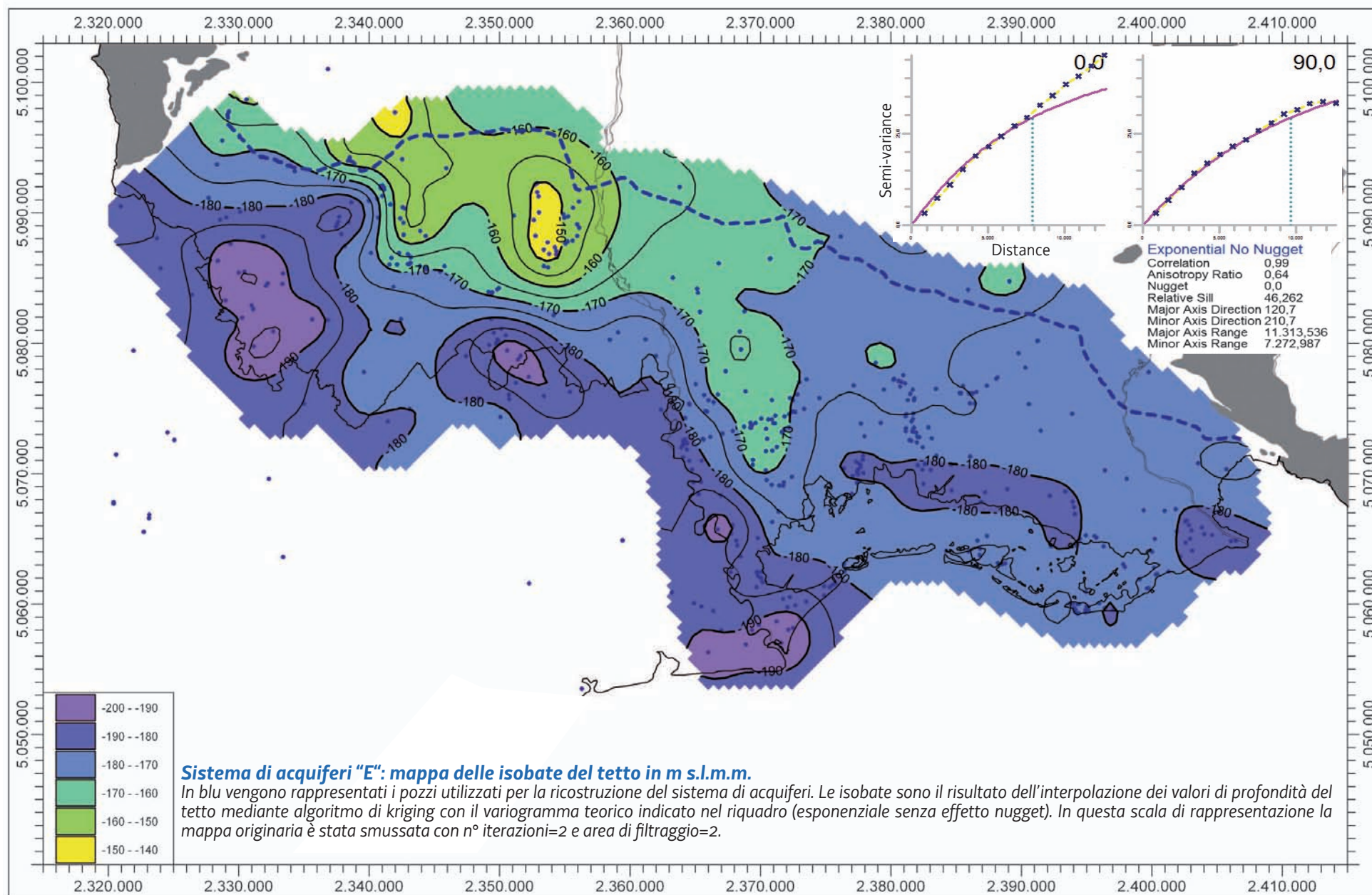


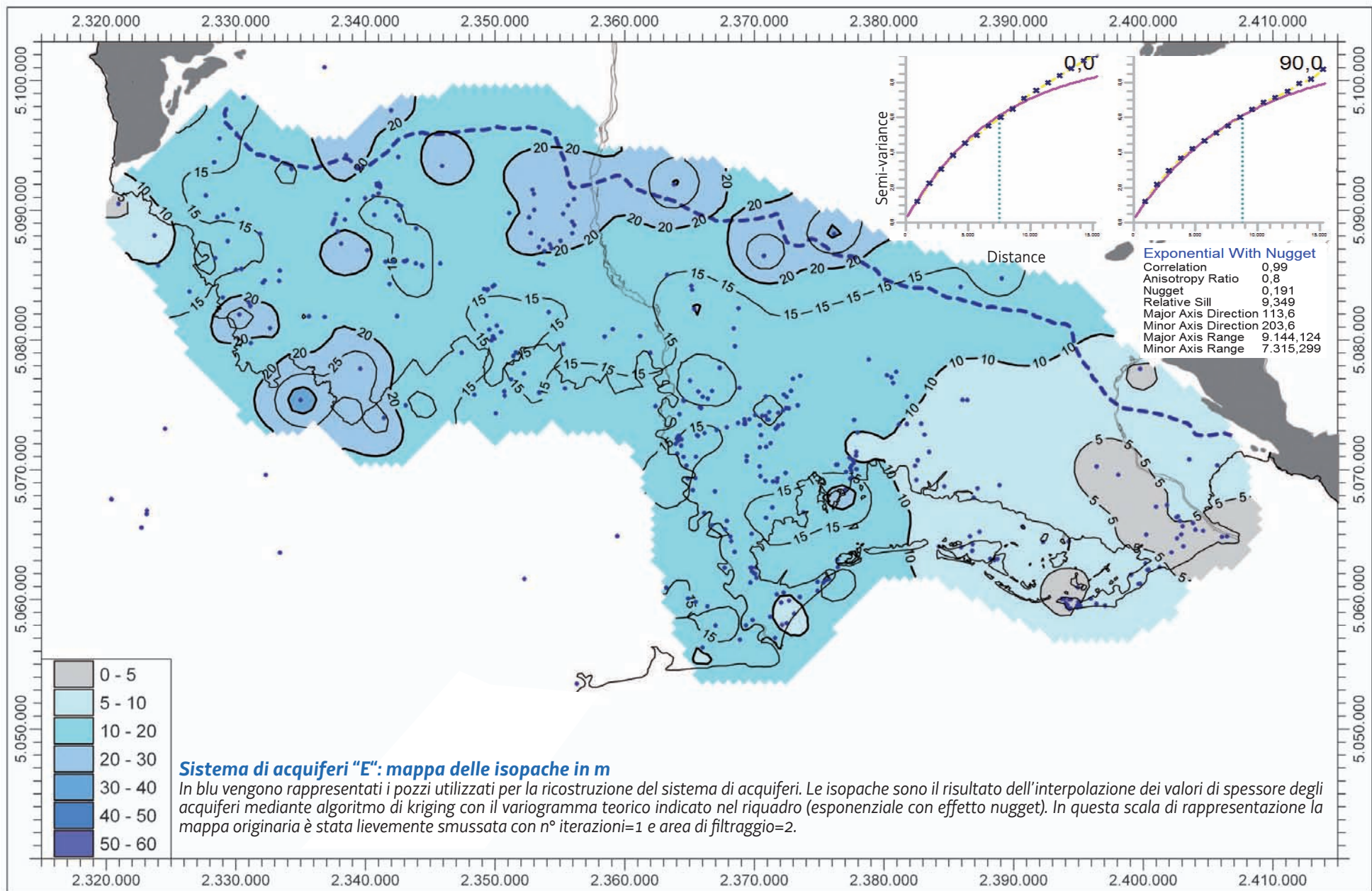


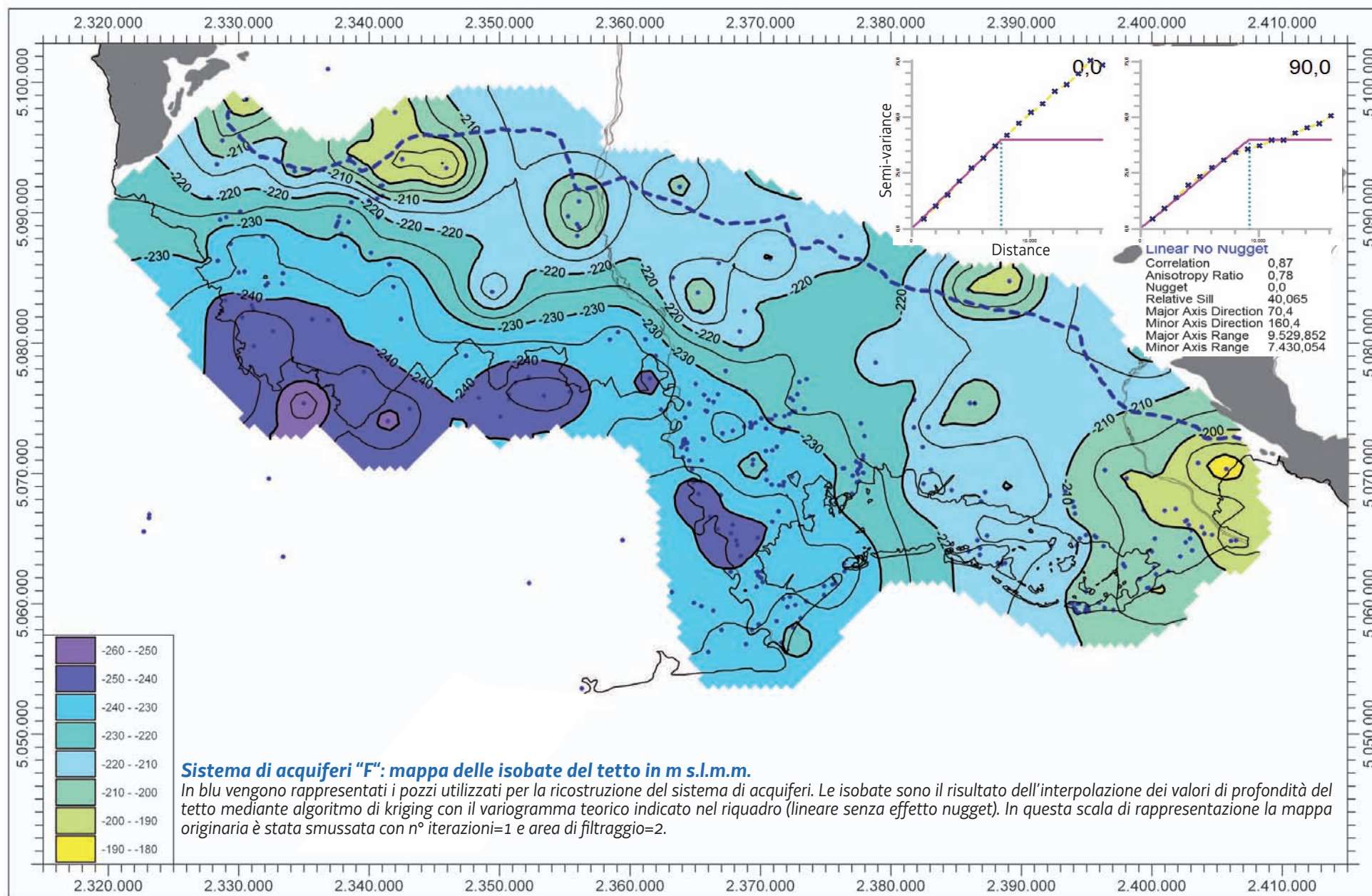


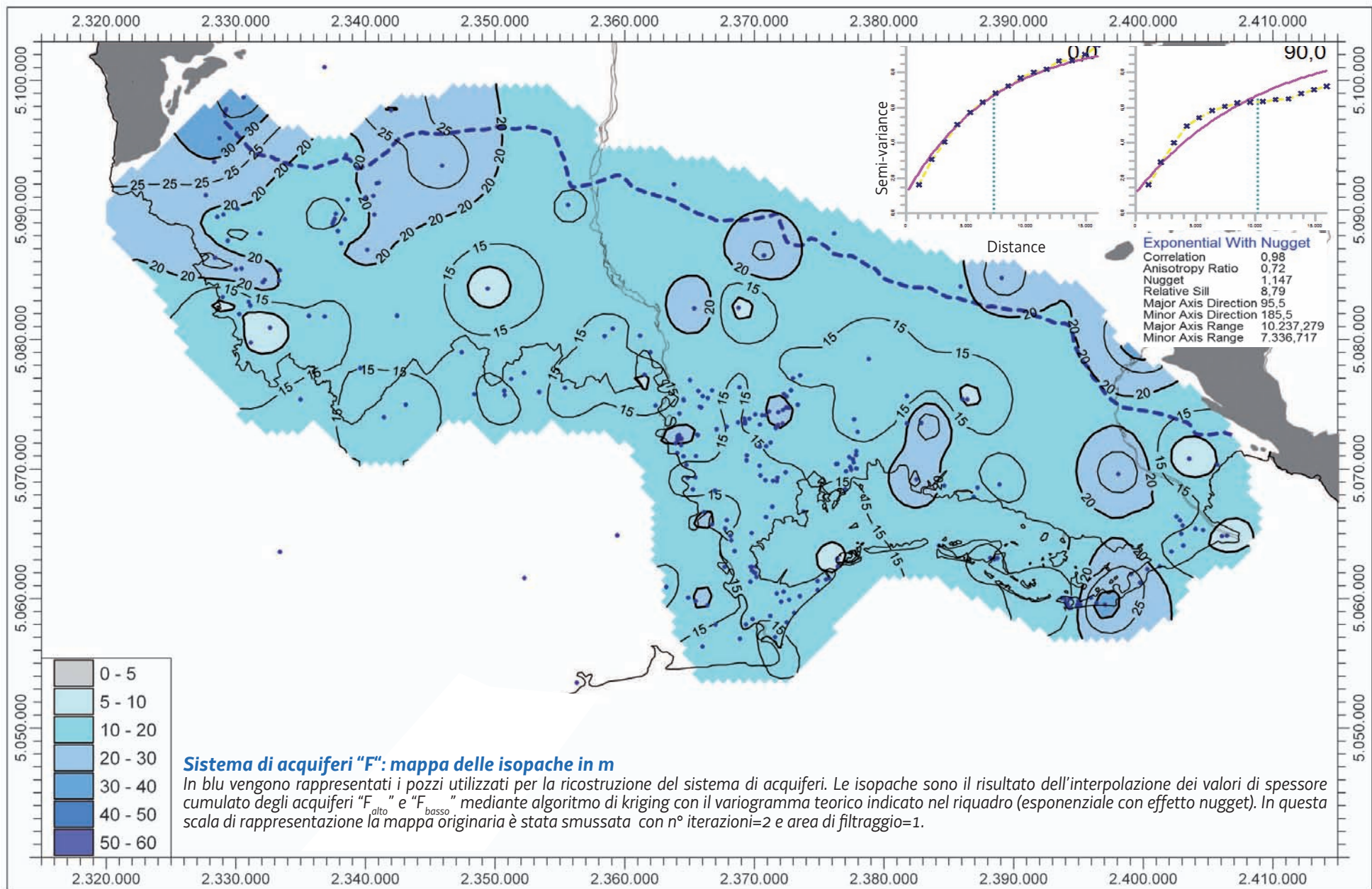


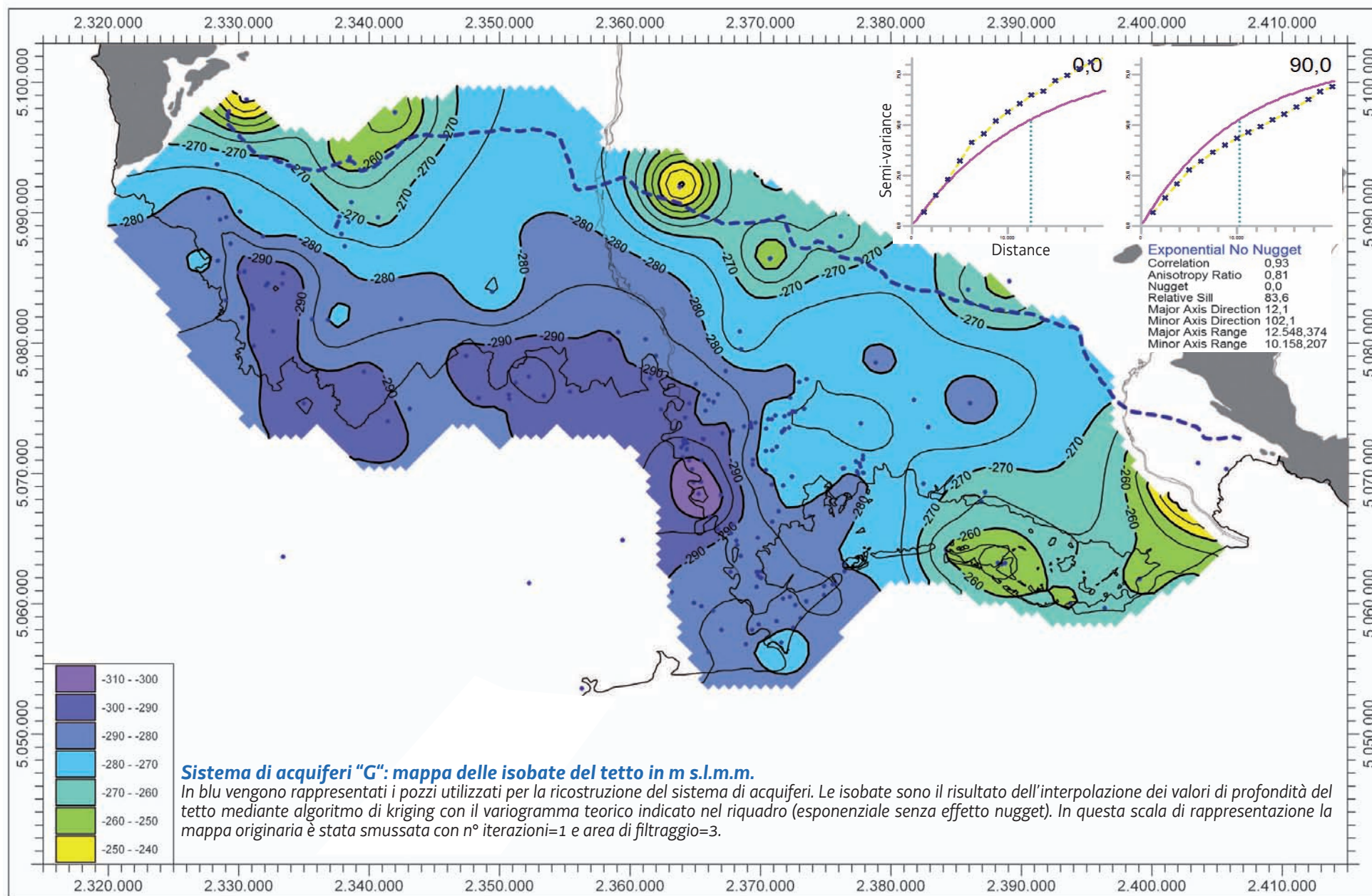


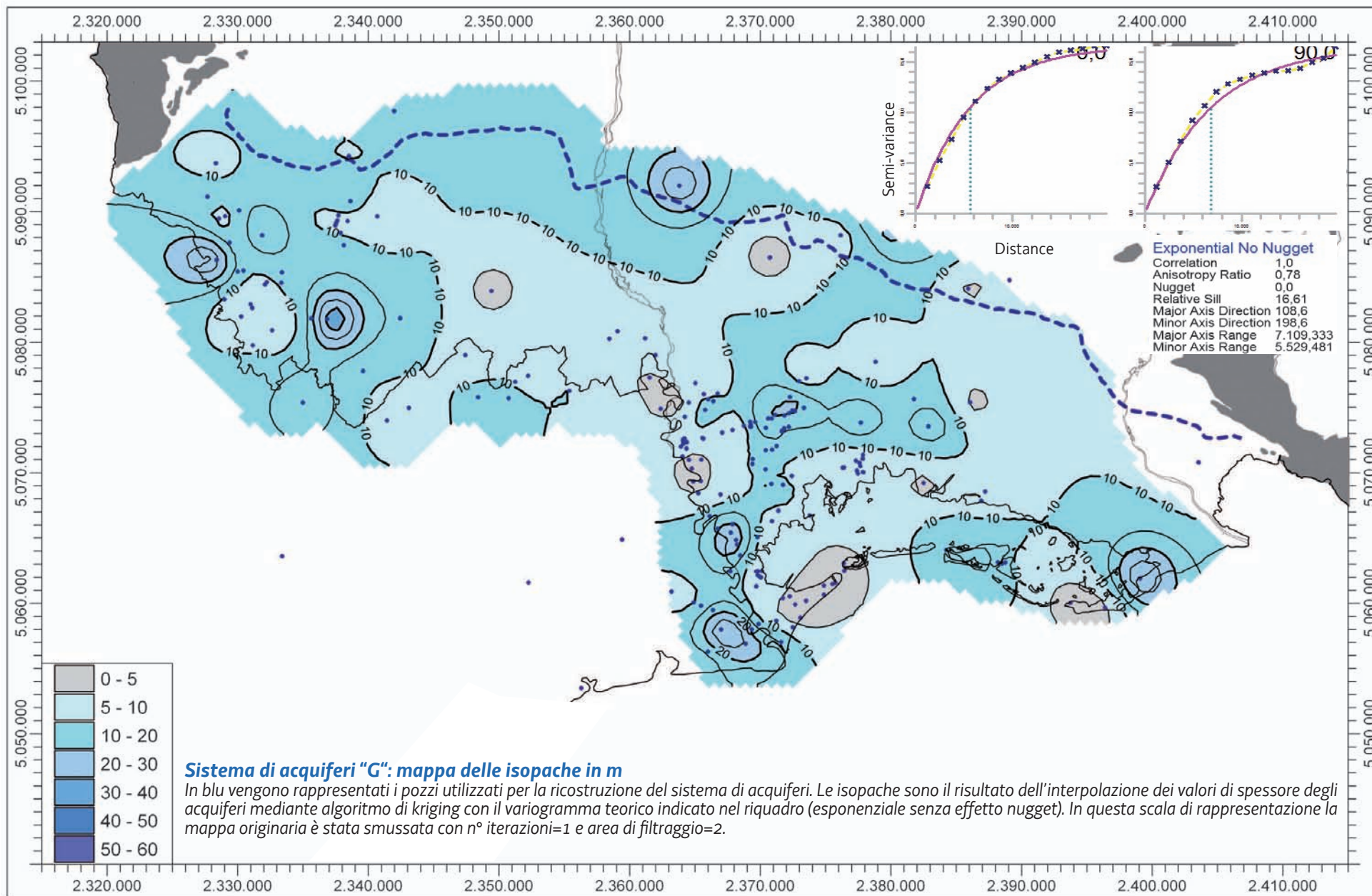


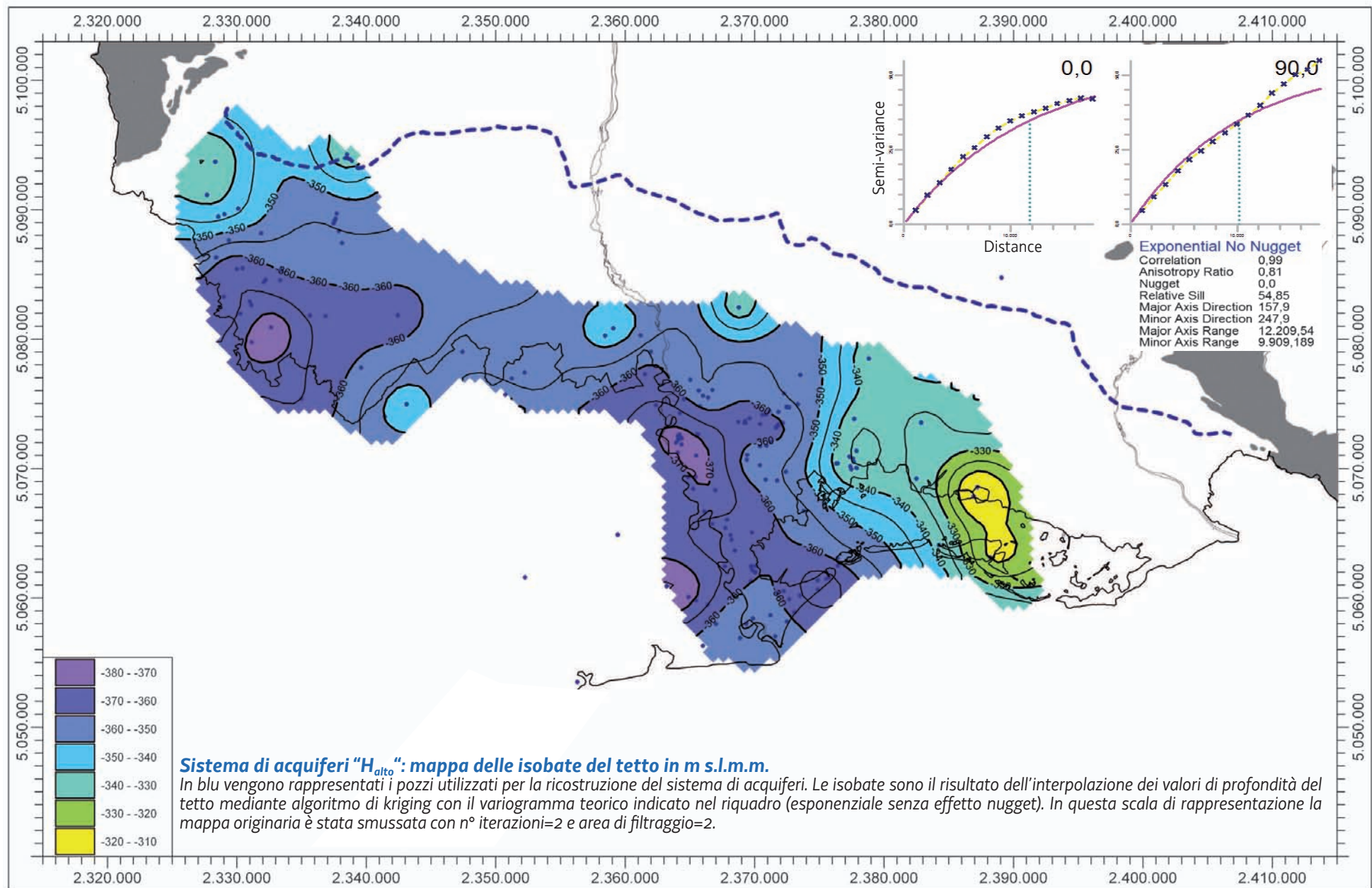


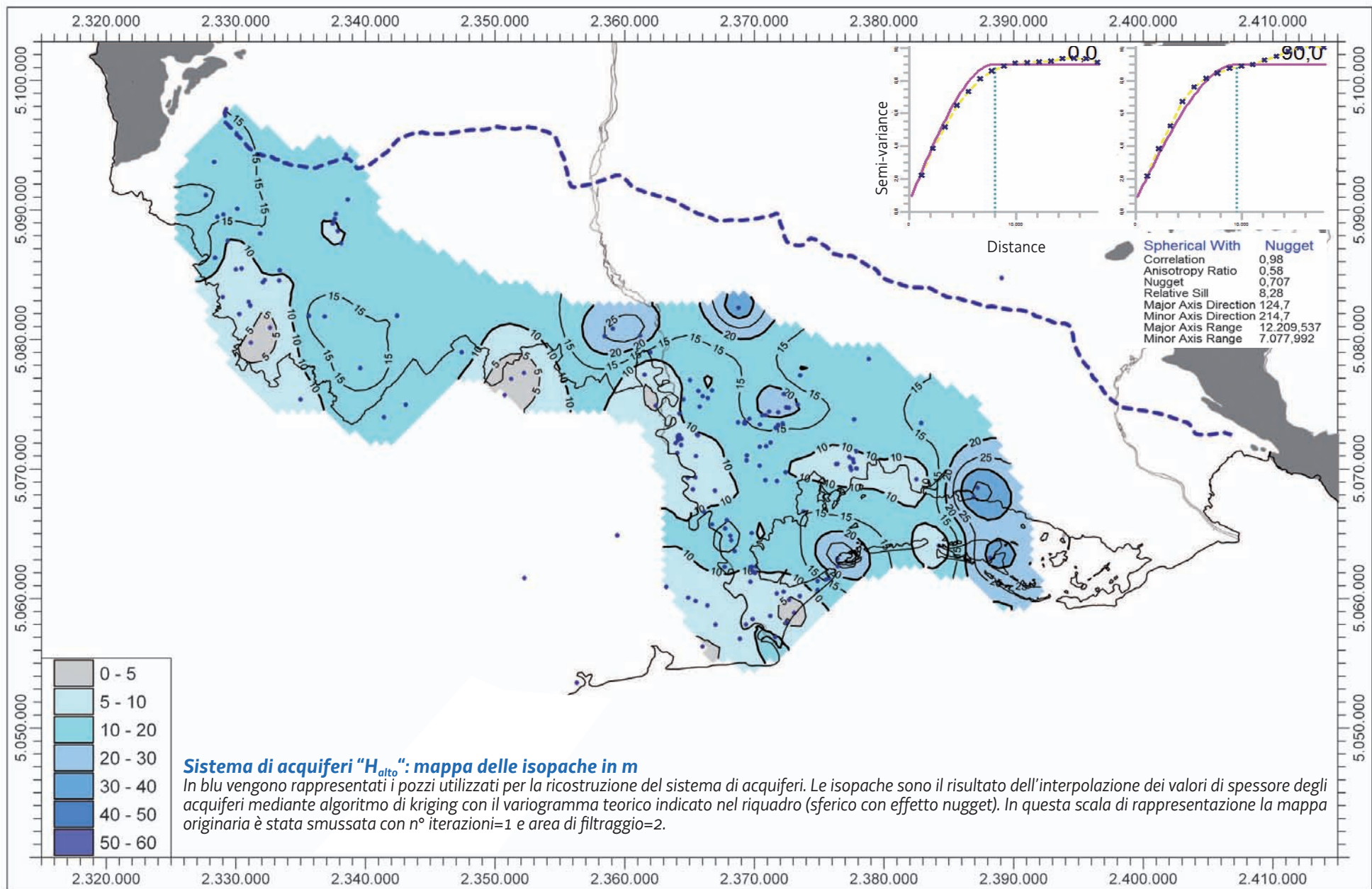


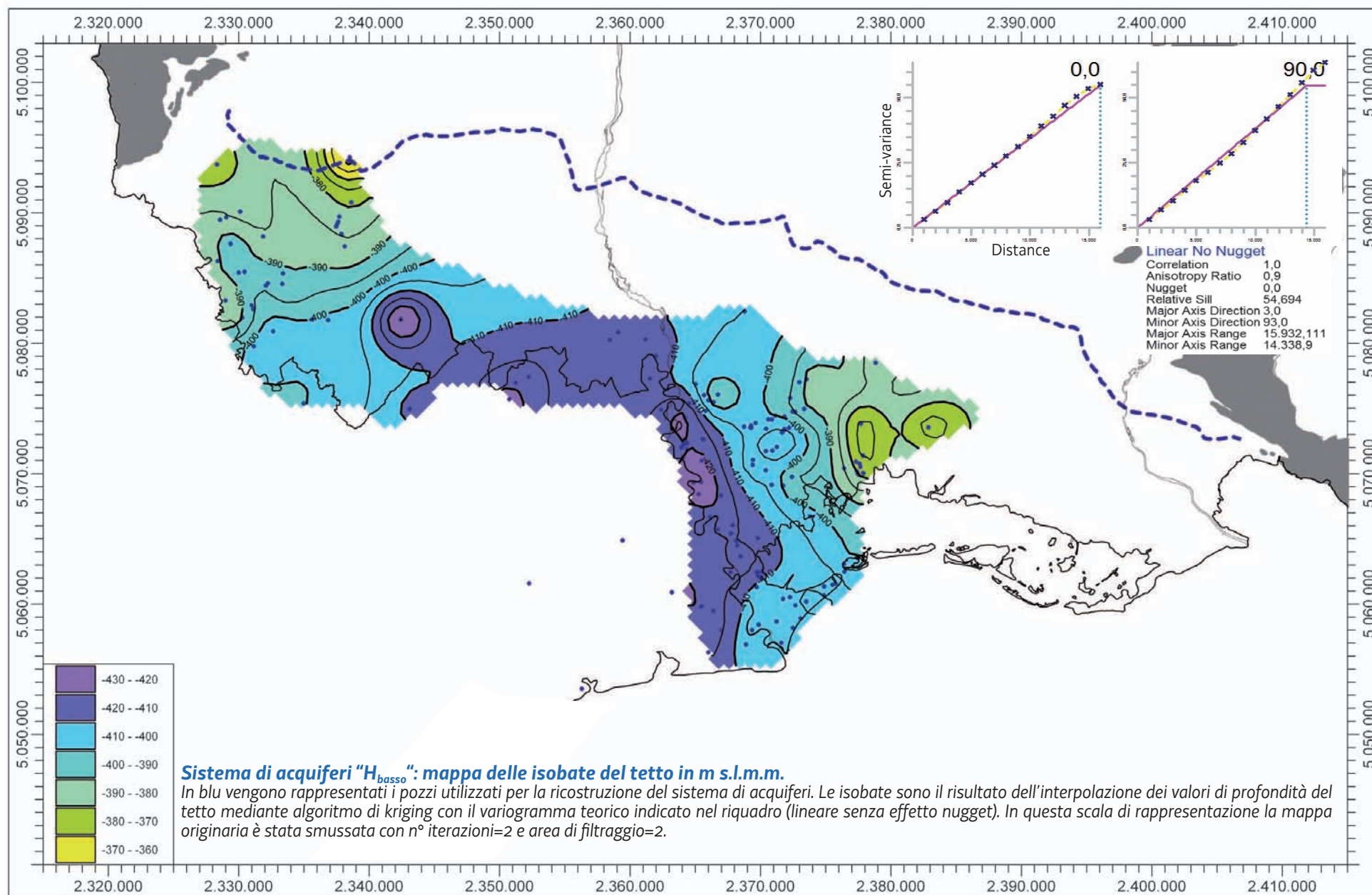


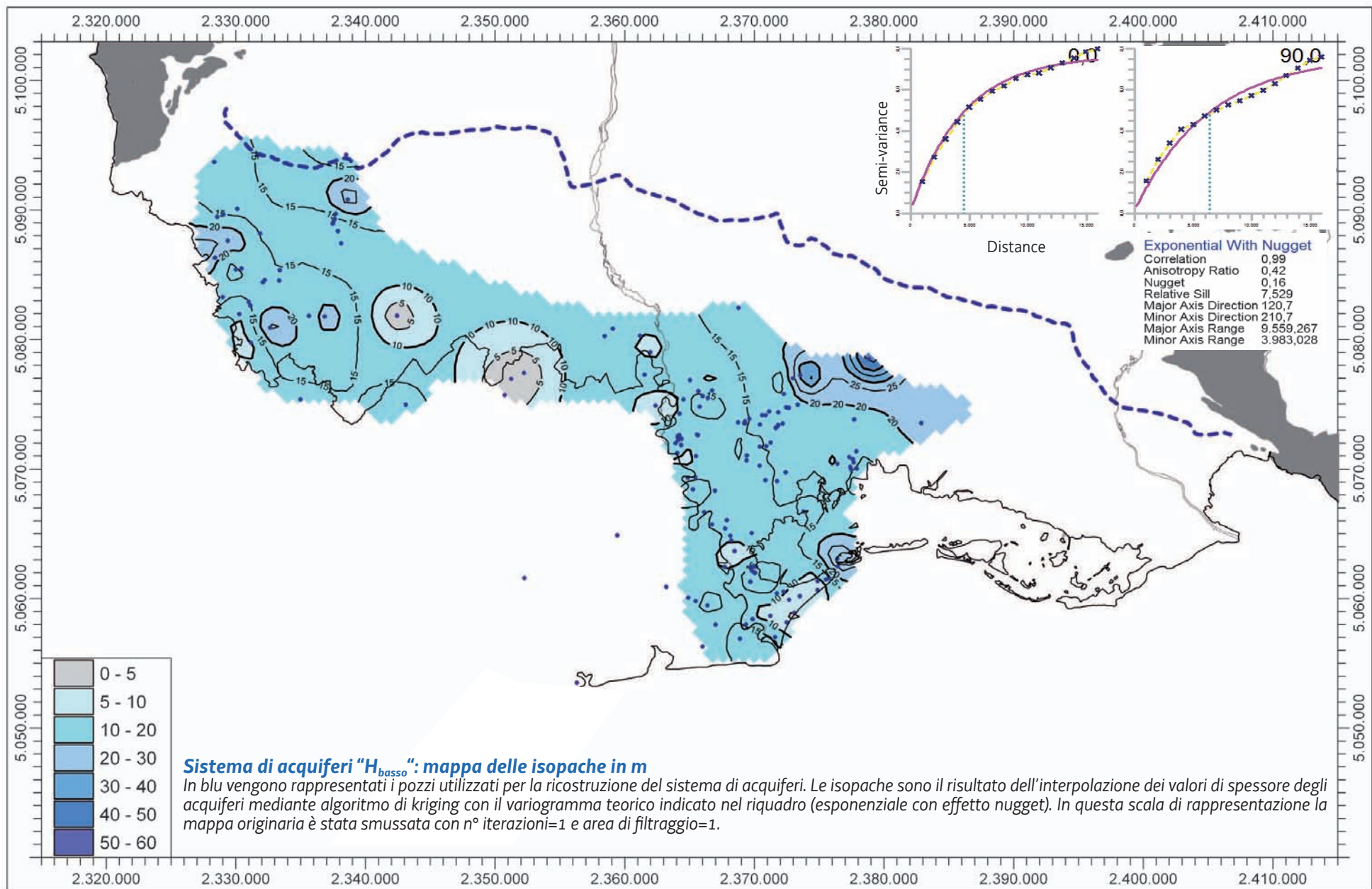


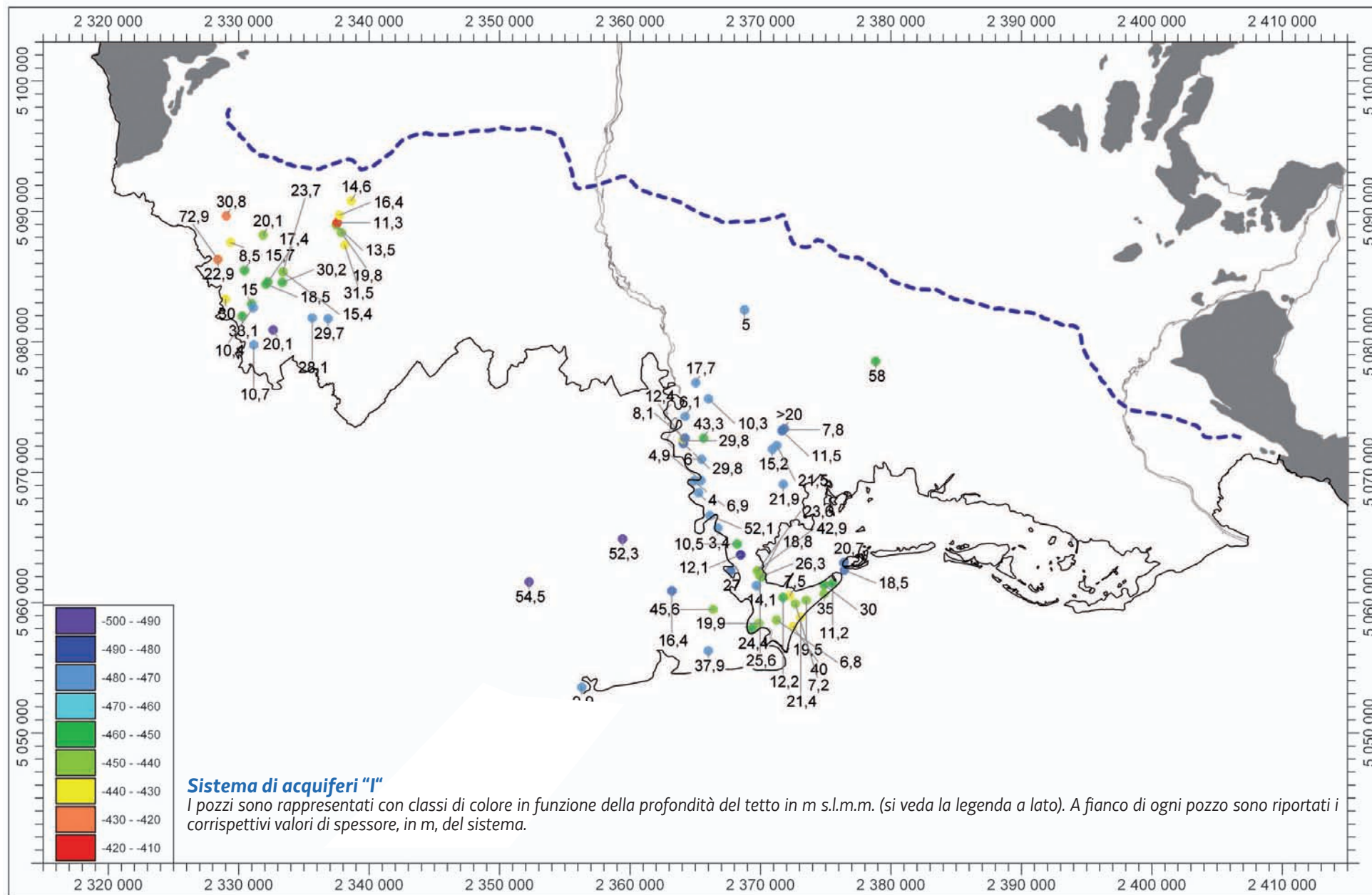


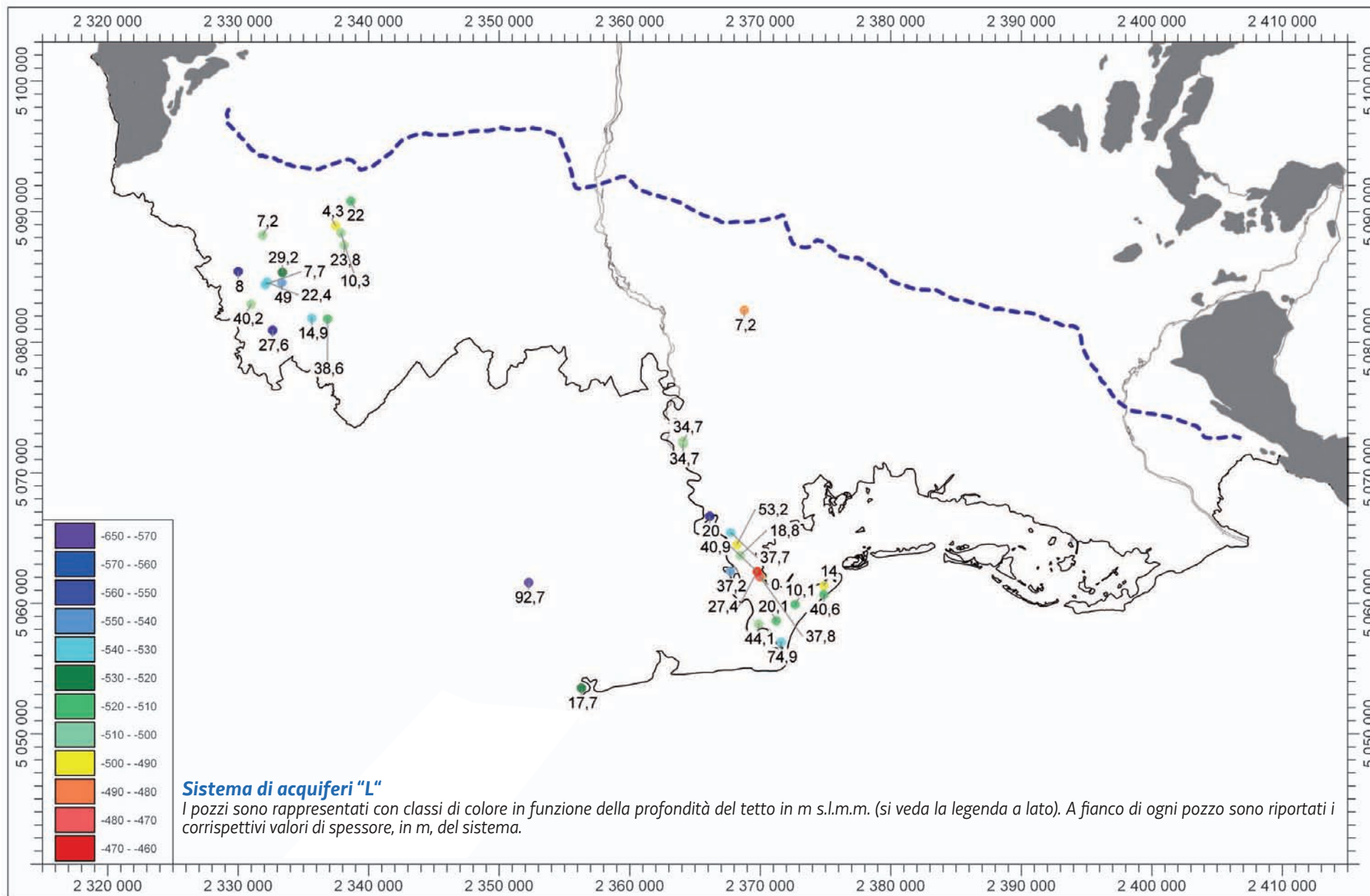


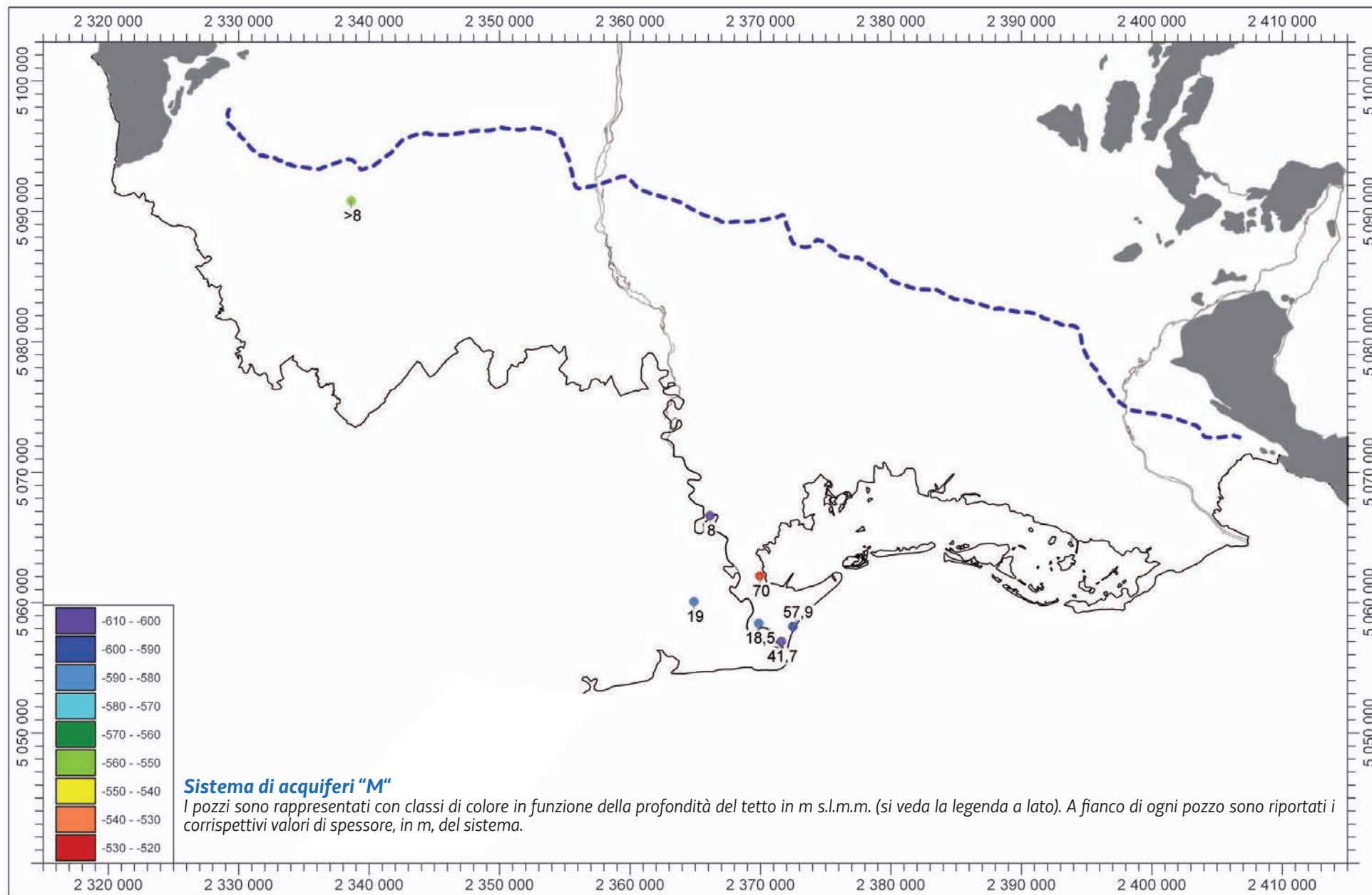












IL CICLO DELL'ACQUA

Il ciclo dell'acqua descrive l'esistenza e il movimento dell'acqua sulla, nella e al di sopra della Terra. Il ciclo inizia con l'evaporazione dell'acqua dal mare; una gran parte di quest'acqua condensa e ricade sulla superficie sotto forma di precipitazioni (pioggia/neve). Non tutta la precipitazione raggiunge la Terra, in quanto una parte evapora durante la caduta e un'altra è intercettata dalla vegetazione. L'acqua precipitata può, a sua volta, evaporare, essere utilizzata dalle piante, può scorrere in superficie sostenendo la portata dei corsi d'acqua o infiltrarsi nel terreno alimentando le falde sotterranee.

Scopo di parte del presente lavoro è stato quello di quantificare le singole componenti del ciclo dell'acqua in modo da definire le risorse idriche disponibili nella nostra regione. Le unità di misura delle singole componenti del ciclo dell'acqua sono state tutte uniformate al mm/periodo di riferimento, ovvero a quella di norma utilizzata per esprimere le precipitazioni.

Il ciclo è descritto dalla seguente espressione:

$$P = Et + R + I$$

dove:

P = quantitativo d'acqua di precipitazione

Et = quantitativo d'acqua di evapotraspirazione data dalla somma dell'evaporazione e della traspirazione delle piante

R = quantitativo d'acqua di ruscellamento superficiale

I = quantitativo d'acqua di infiltrazione efficace

In particolare si definisce:

$$\begin{aligned} P - Et &= P_{\text{eff}} \\ R + I &= D \end{aligned}$$

dove:

P_{eff} = precipitazione efficace

D = deflusso idrico globale

La separazione del deflusso globale nelle due componenti superficiale e sotterranea dipende da numerosi fattori di tipo meteorologico (intensità della pioggia, precipitazioni nevose), morfologico (acclività dei versanti, presenza di zone pianeggianti), idrogeologico (permeabilità dei terreni e loro grado di saturazione) e biologico (azione delle piante e della vegetazione). A tali fattori si aggiunge l'azione antropica che, con le coperture nelle zone urbanizzate, determina un aumento del ruscellamento a svantaggio dell'infiltrazione.

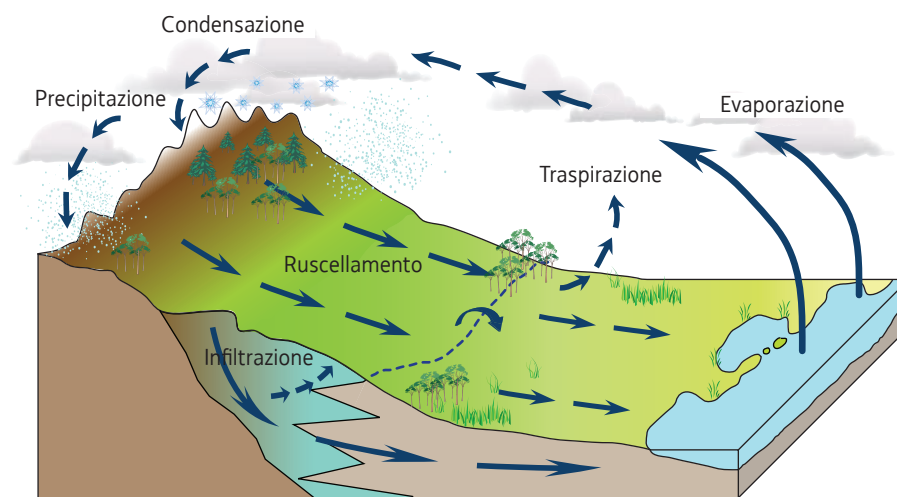
Il parametro D (Deflusso idrico globale) rappresenta la potenzialità idrica totale del territorio che viene esaminato e pertanto è il massimo volume di acqua, sia superficiale che sotterranea, teoricamente utilizzabile. Dato che si tratta di risorse interdipendenti, la suddivisione a grande scala in due componenti è teorica: i corsi superficiali alimentano le falde e alcune falde alimentano corsi superficiali. Inoltre, le captazioni di acque sotterranee comportano spesso una diminuzione del deflusso superficiale e l'utilizzazione delle acque superficiali va talora a detrimento delle risorse sotterranee.

Allo scopo di risolvere l'equazione del ciclo dell'acqua si è suddiviso il territorio regionale in celle aventi una maglia 500 m x 500 m e per ogni cella sono state calcolate tutte le componenti sopra descritte.

Per quanto attiene la scala temporale, il calcolo è stato sviluppato per l'anno medio sul periodo 1971-2008 e per l'anno scarso sui dati dell'anno idrologico 2003.

La soluzione dell'espressione è stata affidata ad un software appositamente sviluppato del quale si riporta il diagramma sintetico del flusso di calcolo.

Nella parte di pianura il modello è stato calibrato e validato sulla base delle risultanze di studi precedenti; per la parte montana, in mancanza di dati adeguati, la calibrazione non è stata possibile e pertanto i risultati della modellazione sono stati utilizzati solo in forma aggregata (R+I).



Evaporazione, traspirazione, condensazione, precipitazione, ruscellamento ed infiltrazione sono tutte fasi del ciclo dell'acqua.

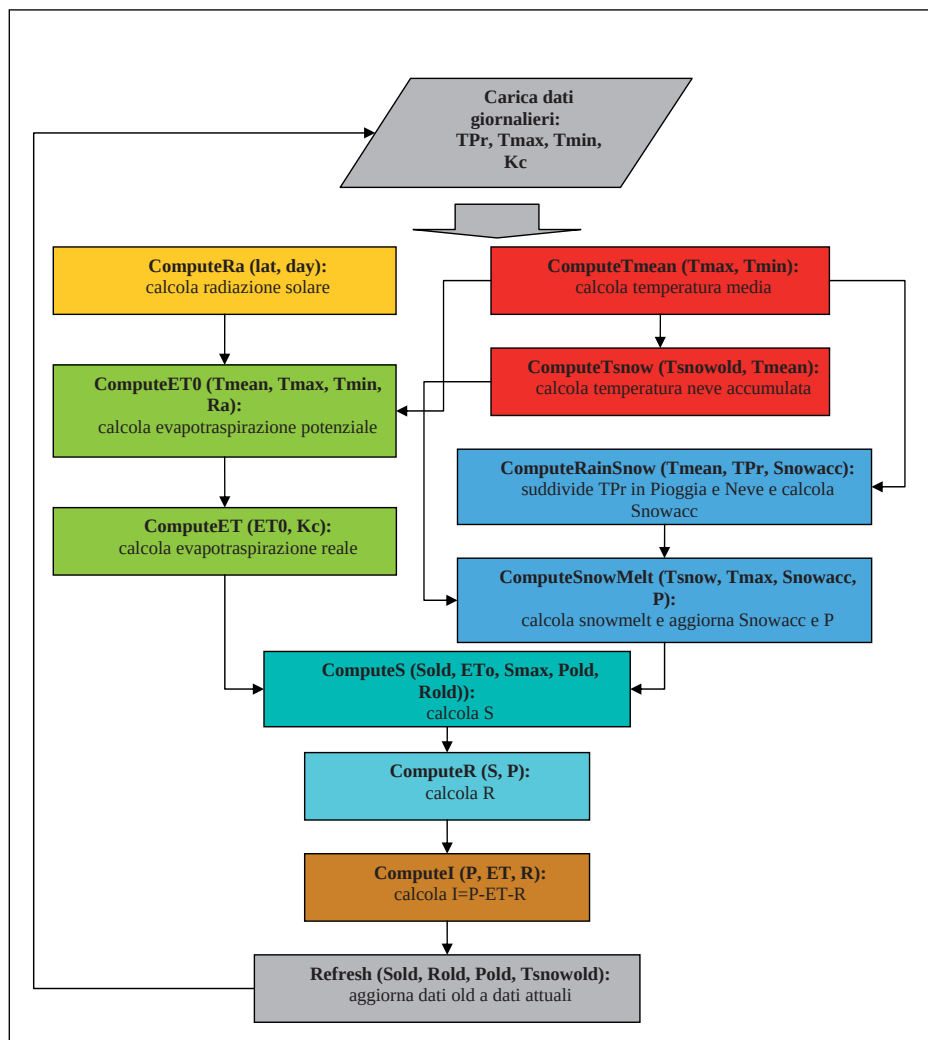


Diagramma sintetico del flusso di calcolo del ciclo dell'acqua.

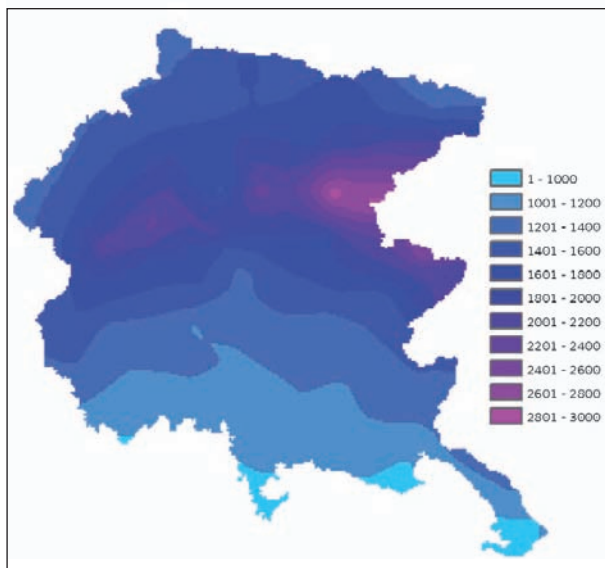
Sulla base dei dati giornalieri di pioggia, temperatura e del coefficiente colturale (Kc) forniti per ogni elemento della griglia che rappresenta il territorio regionale, il software modella il ciclo idrologico a passo giornaliero, fornendo come risultati finali le medie mensili sul periodo di osservazione dei parametri idrologici di studio. L'anno medio è dato quindi dalla somma dei mesi medi.



Pozzo fluente in Comune di Brugnera.

COMPONENTE DI PRECIPITAZIONE (P)

Per il calcolo di questa componente sono stati utilizzati i dati giornalieri registrati nel periodo 1971-2008 di 109 stazioni pluviometriche e di 46 stazioni termometriche regionali, gestite dall'Unità Idrografica Regionale e da Arpa Osmer. I dati mancanti sono stati ricostruiti con tecniche di regressione lineare (Stepwise o multiregressioni) già utilizzate nella compilazione dell'Atlante Climatico del Friuli Venezia Giulia [4]. I dati pluviometrici e termometrici giornalieri sono stati spazializzati su una griglia di 500 m sovrapposta al modello digitale del terreno (DEM). Il DEM, di proprietà della Regione, è la rappresentazione della distribuzione delle quote in formato digitale raster le cui celle hanno il lato di 40 m. Per le precipitazioni sono stati utilizzati algoritmi interpolanti del tipo Natural Neighbor, per le temperature sono stati utilizzati i gradienti altimetrici sperimentali ottenuti dalla correlazione tra i dati termometrici giornalieri e la quota delle stazioni. Nei bacini montani si è descritto il processo di accumulo e scioglimento della neve classificando come neve tutta la precipitazione a bassa temperatura e, successivamente, sommando alle precipitazioni, all'aumentare della temperatura, il quantitativo di acqua equivalente alla precipitazione nevosa.

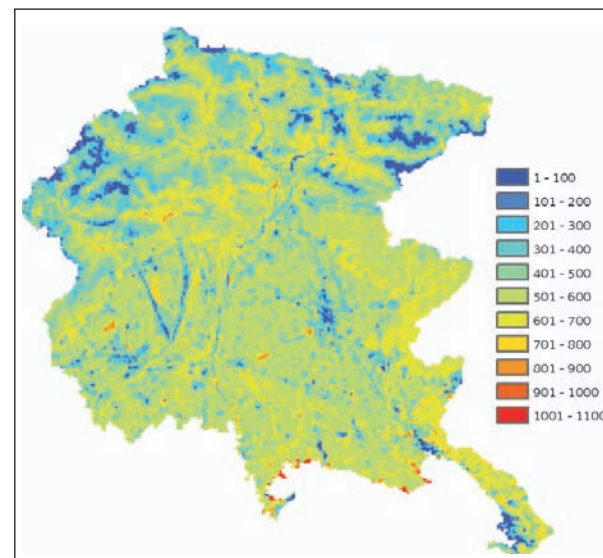


Distribuzione areale dei valori di afflusso medio annuale (parametro P) espressi in mm/anno.

COMPONENTE EVAPOTRASPIRAZIONE (Et)

Il parametro evapotraspirazione è stato quantificato come “evapotraspirazione colturale”, calcolata con l’approccio a “due fasi” (two-step approach) come prodotto tra l’evapotraspirazione di riferimento e un coefficiente colturale Kc che ingloba e sintetizza tutti gli effetti sull’evapotraspirazione legati alle caratteristiche morfo-fisiologiche delle diverse specie, alla fase fenologica, al grado di copertura del suolo. Il coefficiente Kc, funzione della tipologia della vegetazione e della fase di sviluppo delle piante, è stato valutato per ciascuna classe di uso del suolo di Moland e per ogni decade dell’anno ed è stato associato a ciascuna cella della griglia. L’evapotraspirazione di riferimento è un parametro tipicamente climatico in quanto esprime la tendenza a traspirare di una determinata superficie vegetale in funzione dei soli parametri climatici. Per il calcolo dell’evapotraspirazione di riferimento è stata utilizzata la formula di Hargreaves, descritta nel quaderno 56 della FAO (Food and Agriculture Organization) “Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements”, nel caso in cui si abbia a disposizione il solo dato di temperatura [5].

Mediamente l’evapotraspirazione colturale annua (Et) sul territorio regionale è risultata essere pari a 489 mm.

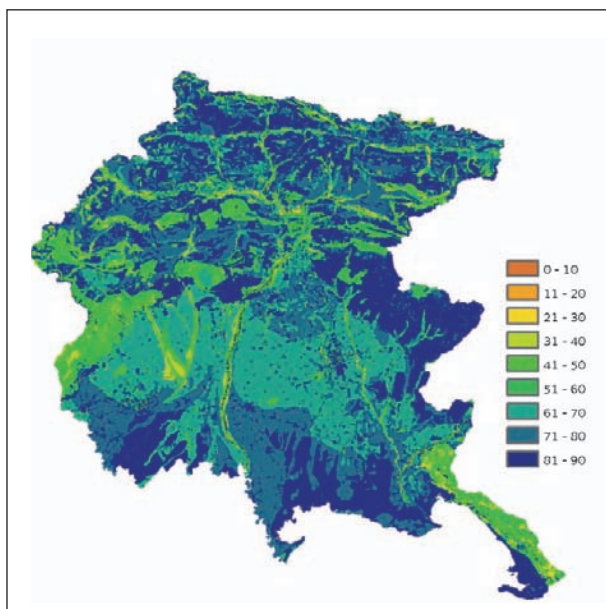


Distribuzione areale dei valori di evapotraspirazione colturale media annua (parametro Et) espressi in mm/anno.

COMPONENTE DI RUSCELLAMENTO SUPERFICIALE (R)

La componente di ruscellamento superficiale è stata definita utilizzando la metodologia del Curve Number (CN method) modificata da Williams per adattarla alle analisi a lungo termine [6].

Il CN (Curve Number) è un parametro che descrive l'attitudine di un territorio a produrre ruscellamento in base alla permeabilità, all'uso del suolo e all'acclività. Esso varia da 0 a 100: a parità di precipitazione, più alto è il suo valore maggiore è il ruscellamento. Il CN è stato determinato per tutto il territorio regionale, combinando sulla base di una griglia 50 x 50 m la carta dei gruppi idrologici, la carta di uso del suolo e la carta delle pendenze ricavata dal DEM. Dal CN si è calcolato

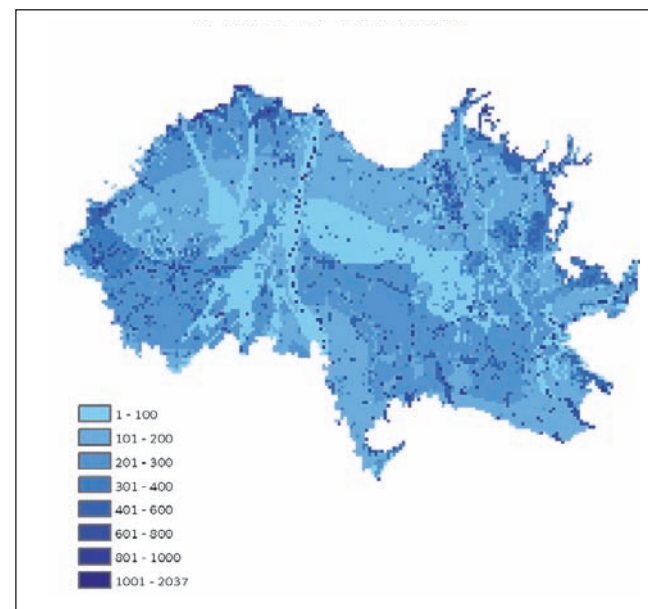


Carta del parametro CN. Valori bassi di tale parametro si possono notare in corrispondenza delle aree carsiche della Regione dove è maggiore la componente di infiltrazione nel sottosuolo rispetto a quella di ruscellamento. Riportano viceversa una più marcata attitudine a generare ruscellamenti quei territori o molto urbanizzati, ad esempio l'area della città di Udine, o caratterizzati da litologie poco impermeabili, come ad esempio il flysch delle Prealpi Giulie.

il parametro di ritenzione che nella metodologia modificata non è più fisso, ma è variabile tra un minimo corrispondente al terreno saturo e un massimo coincidente con il terreno secco ed è dipendente dall'evapotraspirazione potenziale del giorno di calcolo e dalla pioggia e dallo scorrimento superficiale del giorno precedente.

La componente di ruscellamento è, in definitiva, funzione della precipitazione giornaliera e del coefficiente di ritenzione.

Il ruscellamento superficiale (R) medio annuo sulla pianura risulta essere pari a 216 mm.



Distribuzione areale del valore della componente di ruscellamento superficiale (parametro R) espressa in mm/anno.

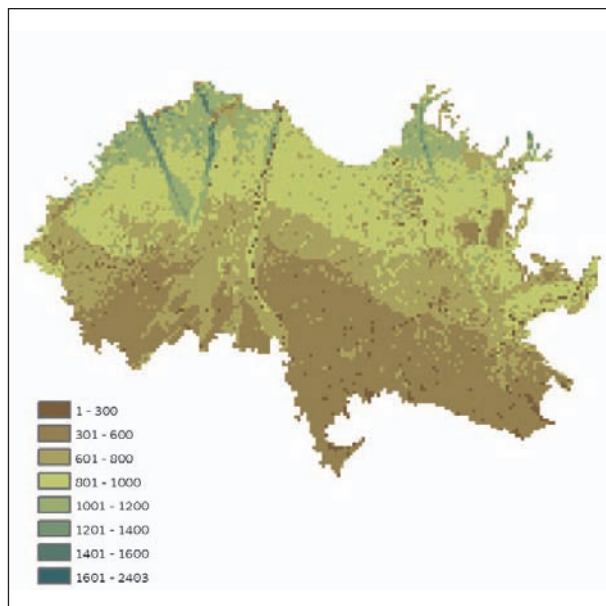
COMPONENTE DI INFILTRAZIONE EFFICACE (I)

Tale componente è stata calcolata per differenza e su base decadale secondo l'equazione:

$$I = P - E_t - R$$

In questo modo si simula la capacità che ha il suolo di trattenere parte dell'acqua che si infila e di utilizzarla in seguito per i fabbisogni della vegetazione. Quando il valore decadale dell'infiltrazione risulta negativo si assume che non ci sia percolazione nel terreno.

L'infiltrazione efficace (I) media annua sulla pianura risulta essere pari a 718 mm.

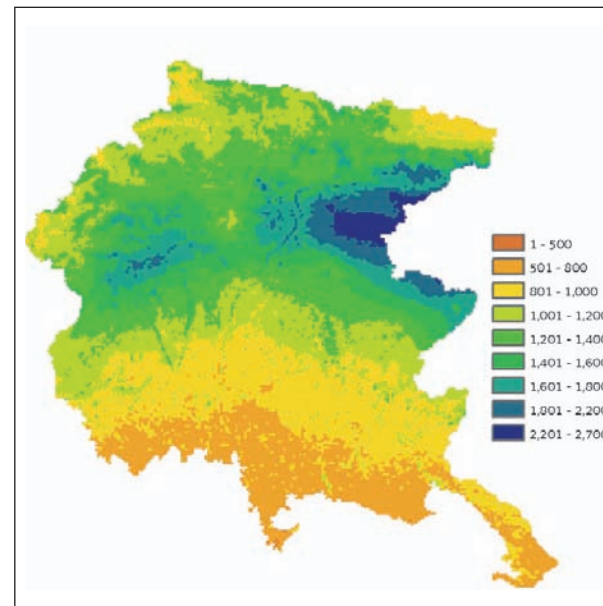


Distribuzione areale dei valori dell'infiltrazione efficace media annua (parametro I) espressi in mm/anno.

DEFLUSSO IDRICO GLOBALE (D=R+I)

Per quanto riguarda la parte montana, in mancanza di dati adeguati, la calibrazione non è stata possibile e pertanto i risultati della modellazione sono stati utilizzati solo in forma aggregata D, e non separatamente R+I.

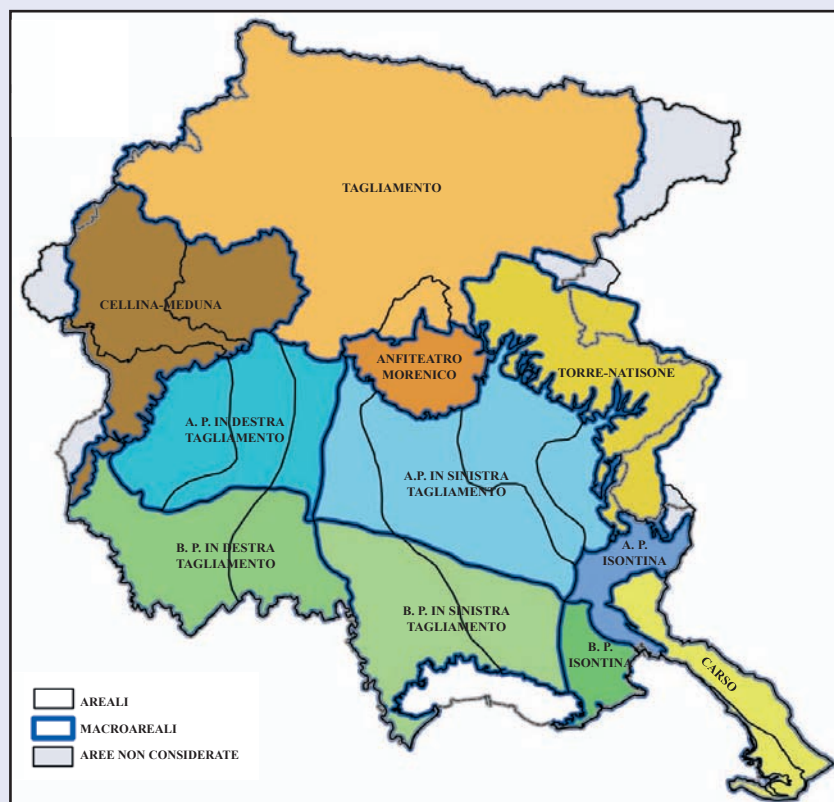
La potenzialità idrica totale media annua del territorio esaminato è pari a 1160 mm.



Distribuzione areale dei valori del deflusso superficiale medio annuo (parametro D) espressi in mm/anno.

Areali e macroareali di riferimento

Ai fini dei calcoli ed in considerazione delle necessità del presente progetto, si sono adottati macroareali e areali di riferimento idrogeologico ottenuti adeguando agli scopi della ricerca la perimetrazione dei Corpi Idrici Sotterranei del Friuli Venezia Giulia e dei bacini idrografici⁴.



⁴ I Corpi Idrici Sotterranei ("documentazione tecnica a supporto della valutazione globale provvisoria dei problemi prioritari per la gestione delle acque nella Regione Friuli Venezia Giulia", atto approvato con delibera della Giunta regionale, n. 1309 del 11.06.2009) sono stati perimetrati:

- in area montana, in base ai complessi idrogeologici riconosciuti in funzione dell'orografia, delle caratteristiche geologiche e geostutturali, della distribuzione delle aree carsiche distinte per grado di carsificazione;
- nella pianura, tenendo in considerazione le province idrogeologiche, definite sulla base delle caratteristiche idrogeologiche e geochemiche delle acque di falda, e la distribuzione delle zone di inquinamento delle acque da nitrati, erbicidi, solventi organici clorurati e cromo.

Il Torrente Giaf (Comune di Forni di Sopra).



ANALISI DEI PRELIEVI DA POZZO

La conoscenza dell'entità dei prelievi e del tipo di utilizzo delle acque è essenziale ai fini del calcolo del bilancio idrogeologico il quale, infatti, deve tener conto anche dei termini relativi agli usi antropici delle acque.

Per quanto concerne i corpi idrici sotterranei, i quantitativi d'acqua prelevati da pozzo rappresentano il miglior indice di valutazione delle pressioni antropiche. Nella nostra Regione essi costituiscono l'elemento di regolazione forzata del flusso idrico sotterraneo in assoluto più rilevante. Mancano, infatti, prove di perdite significative verso mare (sia lungo il litorale sia a una certa distanza dalla costa) e sono difficilmente valutabili gli scambi, probabilmente limitati, con i corpi idrici sotterranei adiacenti ai confini regionali.

Altri parametri di interesse strategico, strettamente legati ai prelievi, sono rappresentati dal rapporto tra volumi emunti e disponibilità delle risorse idriche sotterranee e dagli usi prevalenti delle acque. Il primo, costituisce un ottimo indicatore di sostenibilità in grado di fornire ragguagli sul grado di rinnovamento dei sistemi di acquiferi. Il tipo d'uso è di grande utilità per l'individuazione delle criticità e la razionalizzazione nei diversi comparti di utilizzo delle acque.

Al fine della corretta gestione della risorsa idrica sotterranea, si devono quindi quantificare nella maniera più attendibile possibile i parametri citati. Dato che esistono più modi di porsi dinanzi al problema, la scelta del tipo di approccio e quindi, dei procedimenti più adeguati da adottare, è fortemente vincolata dalla tipologia, dalla quantità e qualità delle informazioni a disposizione.

Nel presente lavoro, sono state sviluppate apposite metodologie che hanno consentito di ottenere una buona stima dell'entità dei prelievi oltre che delle aliquote pertinenti ai diversi sistemi di acquiferi e ai tipi di utilizzo delle acque⁵. In particolare si è fatto ricorso a due distinti protocolli di stima, uno applicato ai pozzi soggetti a concessione (ovvero pozzi ad uso non domestico), l'altro applicato a quelli ad uso domestico. Ciò proprio in base alla differente tipologia, qualità e quantità di dati reperiti riguardo questi due distinti tipi di utilizzo.

Si precisa che le tecniche adottate si differenziano da quelle di cui ci si serve normalmente per la stima del fabbisogno idrico o della domanda di acqua per i diversi usi ed attività. Queste ultime tipologie di stime, si fondano, infatti, su metodi indiretti, basati su indicatori e dati statistici, sulle diverse attività produttive e sulle necessità ipotetiche della popolazione civile, e forniscono solo una quantificazione delle esigenze idriche complessive, senza distinguere se la fonte di provenienza è da acque sotterranee o da acque superficiali. Il fabbisogno idrico, inoltre, può

discostarsi anche di molto dal consumo reale e ciò è ancor più vero in una regione come la nostra, ad alta densità di pozzi artesiani lasciati zampillare liberamente.

È doveroso, pertanto, richiamare l'attenzione sulla necessità di investire risorse per una sempre più corretta conoscenza degli emungimenti effettivi, gli unici in grado di fornire il quadro reale dello stato di sfruttamento dei sistemi di acquiferi.

Per il raggiungimento degli obiettivi esposti, in fase preliminare, per ogni singolo pozzo o categoria di pozzi, si è stabilito:

- il numero di punti di prelievo⁶ in esercizio e la loro distribuzione sul territorio;
- il tipo prevalente di utilizzo;
- la portata media effettivamente estratta;
- il sistema di acquiferi emunto, deducibile dalla profondità del pozzo o dal posizionamento dei tratti filtranti.

A tal fine si è fatto ricorso alle informazioni inerenti ai pozzi presenti nel Sistema Informativo SITCGT-SITI, alla bibliografia e al modello tridimensionale del sistema di acquiferi.

L'entità dei prelievi è stata valutata su base annua ed espressa sia in m³ al secondo (m³/s) che in milioni di m³ all'anno (Mm³/anno).

⁵ Per quanto riguarda gli usi si riconoscono le seguenti tipologie di pozzo:

- **domestico:** utilizzato a scopi potabili, per innaffiamento di giardini ed orti inservienti direttamente al proprietario ed alla sua famiglia e per abbeveraggio del bestiame;
- **potabile:** al servizio di acquedotti, comunità e complessi residenziali in genere;
- **irriguo:** al servizio di aziende agricole e coltivatori diretti per il solo scopo di irrigazione;
- **industriale:** al servizio di attività industriali, artigianali e produttive in genere;
- **igienico e assimilato:** al servizio di impianti igienici, antincendio, sportivi e di autolavaggio;
- **ittigenico:** al servizio di impianti di piscicoltura, per la pesca sportiva e valli da pesca;
- **geotermico:** con acqua a temperatura superiore a 15°C destinata al riscaldamento per fini domestici, agricoli, ittigenici, industriali e turistici.

⁶ I punti di prelievo tengono conto della presenza dei tratti filtranti. Il loro numero è pertanto maggiore di quello dei pozzi. Si specifica, inoltre, che i pozzi multifiltro, generalmente, intercettano e quindi utilizzano le acque di più sistemi di acquiferi.

ANALISI DEI PRELIEVI PER I POZZI SOGGETTI A CONCESSIONE

I pozzi soggetti a concessione sono quelli per i quali occorre ottenere la concessione a derivare come stabilito dal Regio Decreto 1775/1933, ovverosia quelli ad uso non domestico.

Al fine del calcolo dell'entità dei prelievi, si sono considerati solo i dati inerenti ai pozzi soggetti a concessione in esercizio, epurando cioè quelli a portata nulla (pozzi non ancora terebrati, rinunciati e/o dismessi), e si sono determinati i punti di prelievo.

I dati sulla profondità di perforazione sono riportati nelle schede caratteristiche di quasi tutti i pozzi, mentre quelli inerenti il numero e il posizionamento dei tratti filtranti sono riportati solo in alcune. Si è assunto che i pozzi privi di quest'ultima informazione fossero monofiltro e che la profondità di prelievo fosse prossima a quella di perforazione. Per agevolare la definizione dei sistemi di acquiferi d'emunzione, le profondità dei pozzi e quelle di posizionamento dei tratti filtranti, originariamente riferite al piano campagna, sono state quotate rispetto al livello medio del mare, facendo ricorso al DEM.

Per quanto riguarda il tipo d'uso, dato reperito per la totalità dei pozzi esaminati, nei casi composti si è fatto riferimento solo alla voce riferita all'uso prevalente.

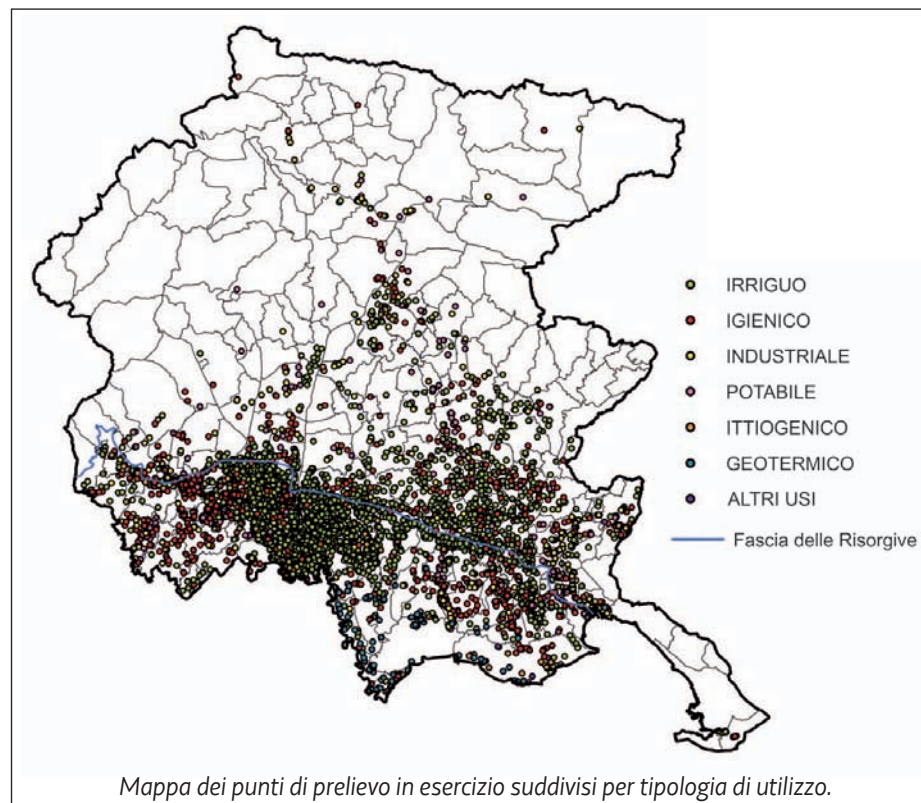
Per quanto concerne le portate captate, esse sono state ricondotte, attraverso opportune procedure, a livello dei singoli punti di prelievo.

Per evitare di sovrastimare i prelievi, si è ricercato, presso gli Enti preposti, il maggior numero di informazioni relative ai consumi effettivi. In particolare, sono stati recuperati dati inerenti ai consumi recenti, ricavati da misure eseguite tramite contatore, di 553 pozzi corrispondenti a 648 punti di prelievo, su un totale di 7.930. I dati di consumo reale hanno anche permesso di guidare la valutazione dei tempi percentuali di utilizzo effettivo medi e quindi dei coefficienti riduttivi da applicare ai valori di portata concessa per ognuna delle tipologie d'uso. Si sono ottenute così basi più certe per calcolare l'entità dei prelievi reali.

Per quanto riguarda i pozzi irrigui, si è considerato che l'utilizzo delle acque è concentrato da inizio primavera a fine estate in virtù del tipo di coltivazione e che esso è strutturato nell'arco delle settimane e/o delle giornate in modo intermittente, anche in funzione delle condizioni meteorologiche. In base ai consumi effettivi da contatore di 65 pozzi rappresentativi (appartenenti in buona parte al Consorzio "Bassa Pianura Friulana"), a questa categoria di pozzi è stato assegnato un tempo percentuale di utilizzo pari a circa il 10%, corrispondente a 37 giorni netti l'anno.

Per l'uso potabile, inerente al solo comparto acquedottistico, si è preso atto che

le portate di concessione sono assegnate tenendo in considerazione i picchi di richiesta giornalieri e/o stagionali. Il più delle volte, pertanto, i volumi effettivamente prelevati nel corso dell'anno sono inferiori a quelli previsti nel disciplinare. In base ai consumi reali di 137 pozzi rappresentativi (30% dei totali) è stato attribuito un tempo percentuale di utilizzo pari al 56%, corrispondente a circa 13 ore e mezza al giorno di funzionamento a pieno regime.



Mapa dei punti di prelievo in esercizio suddivisi per tipologia di utilizzo.

Riguardo l'uso ittiotenoico, si è considerato che gli impianti d'allevamento, al fine di consentire il ricambio d'acqua e il mantenimento della temperatura ideale, sono in genere attivi per tutto l'anno, con picchi di fabbisogno idrico nel periodo estivo. Data la carenza di informazioni significative sui consumi reali, a questa tipologia di pozzi è stato attribuito un tempo di utilizzo del 100%, ovvero un consumo pari a quello delle portate di concessione.

Per l'uso industriale, si è osservato che la portata effettiva è estremamente variabile a seconda dell'utilizzo negli specifici processi industriali. In base ai consumi reali di

191 pozzi (30% di quelli totali), si è aggiudicato un tempo percentuale di utilizzo pari al 26%, equivalente a quasi sei ore e mezza al giorno di spillamento a pieno flusso. Per quanto concerne i pozzi ad uso prevalente igienico, questi racchiudono al loro interno più destinazioni ad esso assimilate (come, ad esempio, l'antincendio) ma che, generalmente, implicano un impiego saltuario, difficilmente quantificabile. In mancanza di conoscenze più approfondite, ci si è affidati alla stima desunta dai consumi da contatore, svolta su un campione rappresentativo di pozzi pari al 12% di quelli totali. A questa categoria si è potuto così attribuire un tempo percentuale di utilizzo uguale a 7%.

Riguardo i pozzi destinati agli altri usi, in mancanza di dati sui consumi reali e dato l'esiguo numero, non è stato valutato il tempo di utilizzo in quanto ininfluyente alla scala di progetto. Per questi pozzi si è fatto quindi semplicemente riferimento alla portata di concessione, cioè a un tempo di utilizzo pari a 100%.

In riferimento all'uso geotermico (acqua prelevata con temperatura superiore a 15°C, destinata al riscaldamento per fini domestici, agricoli, ittiogenici, industriali e turistici) si è constatato che la re-immissione in falda, tramite sistema a doppietto, è quasi sempre disattesa. Si è presupposto che, come accade effettivamente nella maggioranza dei casi, il prelievo sia continuo per cui a questa categoria di pozzi è stato assegnato un tempo di utilizzo pari a 100%.

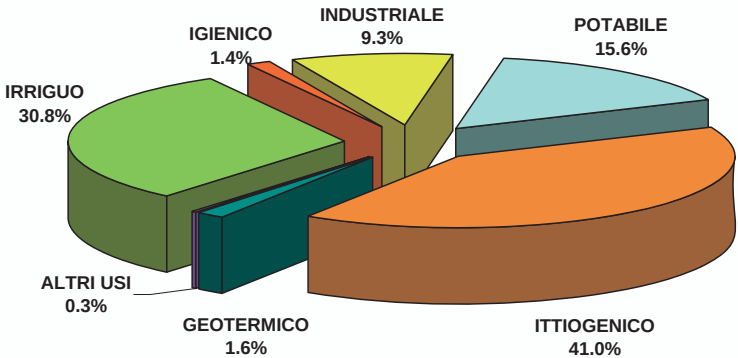
Per procedere nel calcolo dei volumi d'acqua prelevati si è attribuito ad ogni punto di prelievo il sistema di acquiferi corrispondente. Questa operazione si è svolta in ambiente ArcGIS, con procedura semi automatica, intersecando le profondità dei punti di prelievo con le profondità dei sistemi di acquiferi.

TIPI DI USO	Tempi percentuali di utilizzo	Coefficienti
IRRIGUO	10 %	0,10
POTABILE	56 %	0,56
ITTIOGENICO	100 %	1
INDUSTRIALE	26 %	0,26
IGIENICO	7 %	0,07
ALTRI USI	100 %	1
GEOTERMICO	100 %	1

Quadro riassuntivo dei tempi percentuali di utilizzo medi e dei coefficienti applicati ai valori di portata concessa.

Noti e definiti per ogni singolo punto di prelievo i valori delle portate concesse, i tempi percentuali di utilizzo e i sistemi di acquiferi di emunzione, si è calcolata l'entità dei prelievi per ciascuna tipologia di utilizzo. A descrizione dei risultati, si sono elaborate numerose mappe, restituite a livello di areali e macroareali di riferimento, illustranti la pressione sui corpi idrici sotterranei.

TIPI D'USO E PRELIEVI [m³/s]

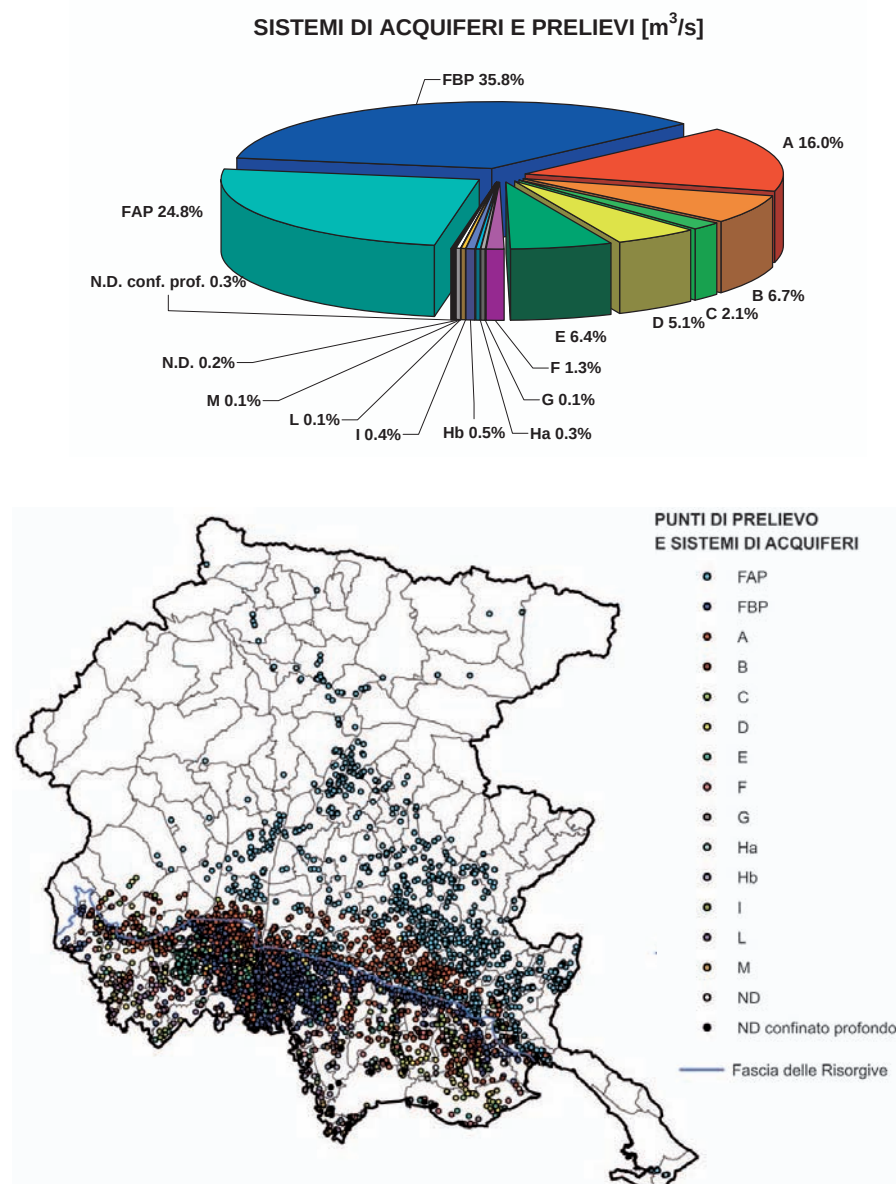


TIPI DI USO	n° POZZI	n° PUNTI DI PRELIEVO	PRELIEVI		
			Mm³/anno	m³/s	%
IRRIGUO	4'517	4'563	277	8,79	30,8
IGIENICO	1'354	1'377	13	0,41	1,4
INDUSTRIALE	662	801	84	2,67	9,3
POTABILE	457	550	141	4,46	15,6
ITTIOGENICO	478	494	369	11,70	41,0
GEOTERMICO	106	124	14	0,45	1,6
ALTRI USI	20	21	3	0,08	0,3
TOTALE	7594	7930	901	28,56	100,0

Numero dei pozzi e dei punti di prelievo in esercizio suddivisi per tipologia di utilizzo ed entità dei prelievi. I punti di prelievo tengono conto del numero di tratti filtranti nei singoli pozzi.

SISTEMI DI ACQUIFERI	n° PUNTI DI PRELIEVO	PRELIEVI		
		Mm³/anno	m³/s	%
Freatico Alta Pianura (FAP)	1349	223	7,07	24,8
Freatico Bassa Pianura (FBP)	4045	322	10,22	35,8
A	1208	144	4,56	16,0
B	365	60	1,91	6,7
C	99	19	0,60	2,1
D	281	46	1,46	5,1
E	272	58	1,84	6,4
F	96	12	0,37	1,3
G	12	1	0,03	0,1
H _{alto}	30	3	0,09	0,3
H _{basso}	46	4	0,14	0,5
I	45	3	0,10	0,4
L	26	1	0,02	0,1
M	8	0	0,02	0,1
Non definito (N.D.)	28	2	0,06	0,2
Non definito (N.D.) ma confinato profondo	20	2	0,07	0,3
TOTALE	7930	901	28,56	100,0

Numero dei punti di prelievo in esercizio suddivisi per sistema di acquiferi di emunzione e corrispettive entità dei prelievi.



Mappa con i punti di prelievo classificati in funzione dei sistemi di acquiferi emunti.

ANALISI DEI PRELIEVI PER I POZZI AD USO DOMESTICO

Nella Regione Friuli Venezia Giulia sono ancora molto diffusi gli attingimenti idrici ad uso domestico per mezzo di pozzi privati, tant'è che essi costituiscono parte integrante della cultura popolare del territorio. L'uso domestico è definito nel Regio Decreto n°1775 del 1933 per la pratica ai fini potabili, igienico-sanitari, agricoli e zootecnici di ciascuna famiglia nell'ambito ristretto del nucleo abitativo e delle sue dirette pertinenze. Nel territorio regionale la densità areale di questi pozzi e l'entità dei prelievi variano sensibilmente a seconda della distribuzione geografica degli insediamenti e delle condizioni al contorno. Queste sono molteplici: tipologia del sistema di acquiferi (artesiani o freatici), soggiacenza della falda, qualità delle acque sotterranee, distanza dalla linea di costa, presenza ed efficienza della rete acquedottistica. Riguardo quest'ultimo punto, si ricorda che alcuni Comuni sono ancora oggi pervicacemente sprovvisti di una vera rete acquedottistica pur in presenza di numerosi Enti distributori di acqua ad uso potabile.

La Bassa Pianura, in particolare, è caratterizzata da una miriade di pozzi ad uso domestico. I prelievi interessano i sistemi di acquiferi in pressione poco o mediamente profondi ed avvengono, in buona parte, in modo continuo, essendo i pozzi naturalmente zampillanti e generalmente non dotati di dispositivi per la regolazione delle portate. Di conseguenza, i prelievi sono ben superiori ai reali fabbisogni della popolazione. Le acque che sgorgano liberamente, di norma, vengono recapitate a mare, attraverso la rete di canali irrigui e di bonifica, o vanno ad alimentare la debole falda freatica superficiale.

A nord della Fascia delle Risorgive, invece, il prelievo delle acque a fini prettamente domestici per mezzo di pozzi è sempre stato poco diffuso dato che la falda freatica è spesso a notevole profondità. In questo caso l'utilizzo è discontinuo ed i consumi sono strettamente legati alle reali esigenze idriche degli utilizzatori. Negli ultimi anni, tale pratica si è ulteriormente ridotta principalmente per il degradarsi nel tempo della qualità dell'acqua circolante nella falda freatica e per la realizzazione di una diffusa rete acquedottistica.

Comunque sia, le informazioni disponibili riguardo i pozzi ad uso domestico non consentono di tracciare un quadro veramente esaustivo delle conoscenze. L'approccio utilizzato per i pozzi sottoposti a concessione, non poteva quindi essere reiterato per quelli domestici in quanto per questi ultimi si è in possesso solamente di informazioni perlopiù amministrative. I dati tecnici sono pochi, spesso incerti e in grado di fornire un quadro non sempre omogeneo. Inoltre si è dovuto operare distintamente per i pozzi

posti a nord e a sud della Fascia delle Risorgive, considerate le differenti modalità di utilizzo delle acque in queste due aree.

L'attività svolta ha previsto, da un lato, la ricerca di ulteriori fonti informative e dall'altro l'utilizzo di tecniche di stima di tipo indiretto.

In particolare, si sono preliminarmente stimati e stabiliti:

- il numero complessivo di pozzi domestici e la loro distribuzione sul territorio;
- i coefficienti di consumo, per i pozzi freatici, e di portata media, per quelli artesiani;
- le aliquote di ripartizione dei volumi d'acqua emunti fra i diversi sistemi di acquiferi.

Dati e fonti bibliografiche consultate

Il DB DENUNCE, con oltre 40000 pozzi, di cui 28902 assimilabili ad uso domestico prevalente, rappresenta la migliore conoscenza a livello regionale attualmente a disposizione per quanto riguarda il numero e la distribuzione dei pozzi ad uso civile. Nonostante ciò, questo catasto non è ancora in grado di fornire un quadro esaustivo della situazione reale: il numero di pozzi denunciati è ancora inferiore a quello effettivo, in quanto il recepimento dell'art.10 del D.L. 12.07.1993 n.275 da parte della popolazione è rimasto in buona misura disatteso. I dati, inoltre, sono prevalentemente di carattere amministrativo e solo raramente consentono di acquisire informazioni sufficienti per quanto riguarda l'entità dei prelievi e i sistemi di acquiferi emunti.

Infine, per quanto concerne la localizzazione dei pozzi, nel DB DENUNCE si fa riferimento agli estremi catastali (comune censuario, foglio e/o particella). Per ovviare a ciò, si è ricorsi ad una procedura automatica, sviluppata in Access e basata sull'utilizzo della Carta Catastale Numerica della Regione, che ha consentito la georeferenziazione di buona parte dei pozzi (ben 23215 fra i 28902 pozzi ad uso domestico) a livello di coordinate puntuali Gauss Boaga riferite al centroide di baricentro di particella o di foglio catastale di appartenenza.

Fonte informativa di grande utilità è quella relativa al "14° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni" del 2001, rinvenuta presso la banca dati dell'ISTAT. Nello specifico, nella Tavola "Abitazioni occupate da persone residenti per disponibilità di servizi" è stato reperito il numero, riferito a livello di Comune, delle abitazioni servite da pozzo privato (69968 in tutta la Regione). Attraverso opportuni trattamenti si è ottenuta una buona calibrazione del numero di pozzi ad uso domestico ricadenti in ogni Comune della Regione. Sulla base dei dati relativi agli abitanti si è potuto stimare il numero di persone facenti uso di pozzo privato.

Si sono inoltre consultate numerose risultanze di specifici studi di settore da cui si sono ricavate informazioni integrative riguardo il numero di pozzi, l'entità dei prelievi e la ripartizione degli stessi fra i diversi sistemi di acquiferi.

Fra questi studi, in particolare, si ricorda:

- quello elaborato nel periodo 1998-2001 dal DiSGAM (oggi DiGeo) dell'Università degli Studi di Trieste per conto dell'Autorità di Bacino dei Fiumi dell'Alto Adriatico [7];
- le indagini eseguite dalla ditta GEOS s.n.c. di Trieste che hanno interessato la Pianura Friulana e la Piana di Gemona-Osoppo [8, 9];
- i dati contenuti in alcuni lavori condotti per la Provincia di Udine da diversi Enti. e resi pubblici [10, 11, 12, 13].

Pozzi domestici e loro distribuzione sul territorio

Si è definita, in via preliminare, la distribuzione areale dei pozzi all'interno dei singoli territori comunali utilizzando là dove possibile i dati georiferiti, assumendo altrimenti, distribuzione di tipo uniforme.

Complessivamente sul territorio regionale risulta la presenza di quasi 48000 pozzi ad uso domestico o ad esso assimilato.

Attribuzione dei coefficienti per il calcolo dell'entità dei prelievi domestici

Per quanto concerne il valore dei coefficienti da adottare per il calcolo dell'entità dei prelievi domestici, considerato che i dati certi sulle portate di prelievo, sui tempi di effettivo utilizzo e sui consumi sono relativi solamente ad alcune centinaia di casi, non si è potuto fare ricorso al loro trattamento statistico. Si è dovuto quindi effettuare un esame ragionato dei dati a disposizione e delle conoscenze desunte dalle fonti bibliografiche.

E' stato necessario semplificare la realtà regionale, considerando freatici tutti i pozzi posti a monte della Fascia delle Risorgive e artesiani tutti quelli a valle.

Per quanto riguarda i 9376 pozzi freatici, al fine del calcolo dell'entità dei prelievi, si è fatto riferimento direttamente al fabbisogno idrico, stabilito in base alla stima del numero di persone facenti ricorso a pozzo domestico e adottando un indice di consumo medio pro capite pari a 290 litri al giorno.

Per i 38333 pozzi artesiani, invece, si è fatto riferimento a una stima della portata media dato che, in questo caso, i consumi sono del tutto indipendenti dai reali fabbisogni idrici della popolazione essendo i pozzi in buona parte zampillanti. Il valore di portata media utilizzato per i pozzi artesiani è stato stabilito pari a 0,8 l/s in

base ai dati a disposizione e alle conoscenze desunte dalle fonti bibliografiche. Nella quantificazione della portata media si è tenuto conto della aleatorietà di numerose informazioni, quali i valori di portata veri e propri, dipendenti a loro volta dall'efficienza del pozzo, dallo stato di impinguamento delle falde, dal tipo di sistema di acquiferi di emunzione, dalla presenza o meno di dispositivi per la regolazione e del fatto che, fra il numero di pozzi domestici presenti nella Bassa Pianura, ve ne sono alcuni, pochi in verità, che interessano le falde freatiche locali.

Ripartizione dell'entità dei prelievi tra i sistemi di acquiferi

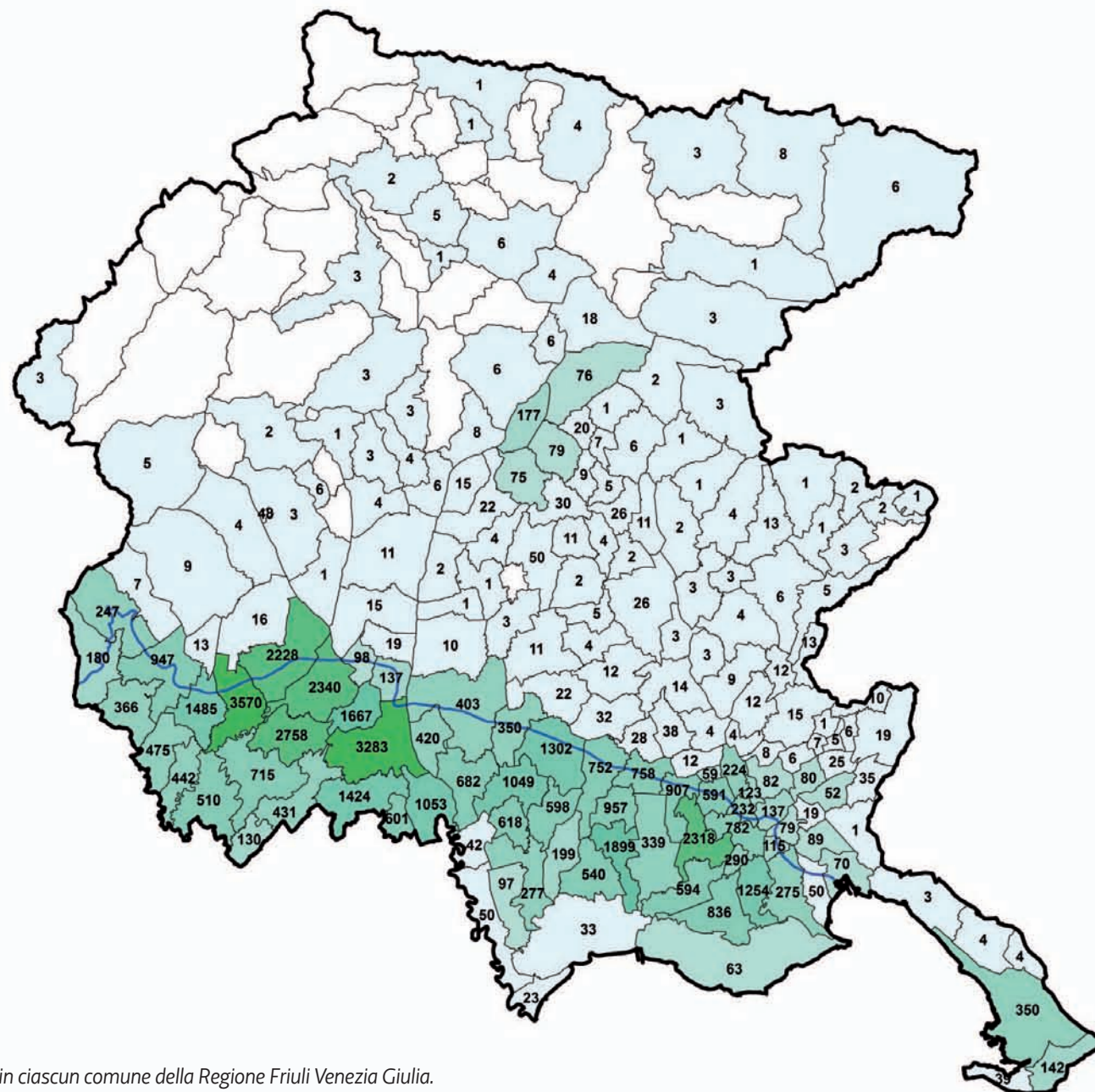
La ripartizione dell'entità dei prelievi fra i diversi sistemi di acquiferi della Bassa Pianura, considerata la scarsità di dati relativi al posizionamento dei tratti filtranti e alle profondità di perforazione, si è basata sulla distribuzione areale dei pozzi oltre che sulle conoscenze da bibliografia. Si è ritenuto che i prelievi domestici siano significativi solo per quanto riguarda i sistemi di acquiferi da "A" a "G". Le percentuali attribuite ai sistemi di acquiferi "A" e "B", che si presentano spesso indistinti, andrebbero forse considerate congiuntamente.

SISTEMI DI ACQUIFERI	RIPARTIZIONE DEI VOLUMI ESTRATTI
A	80 %
B	10 %
C	2 %
D	4 %
E	2 %
F	1 %
G	1 %

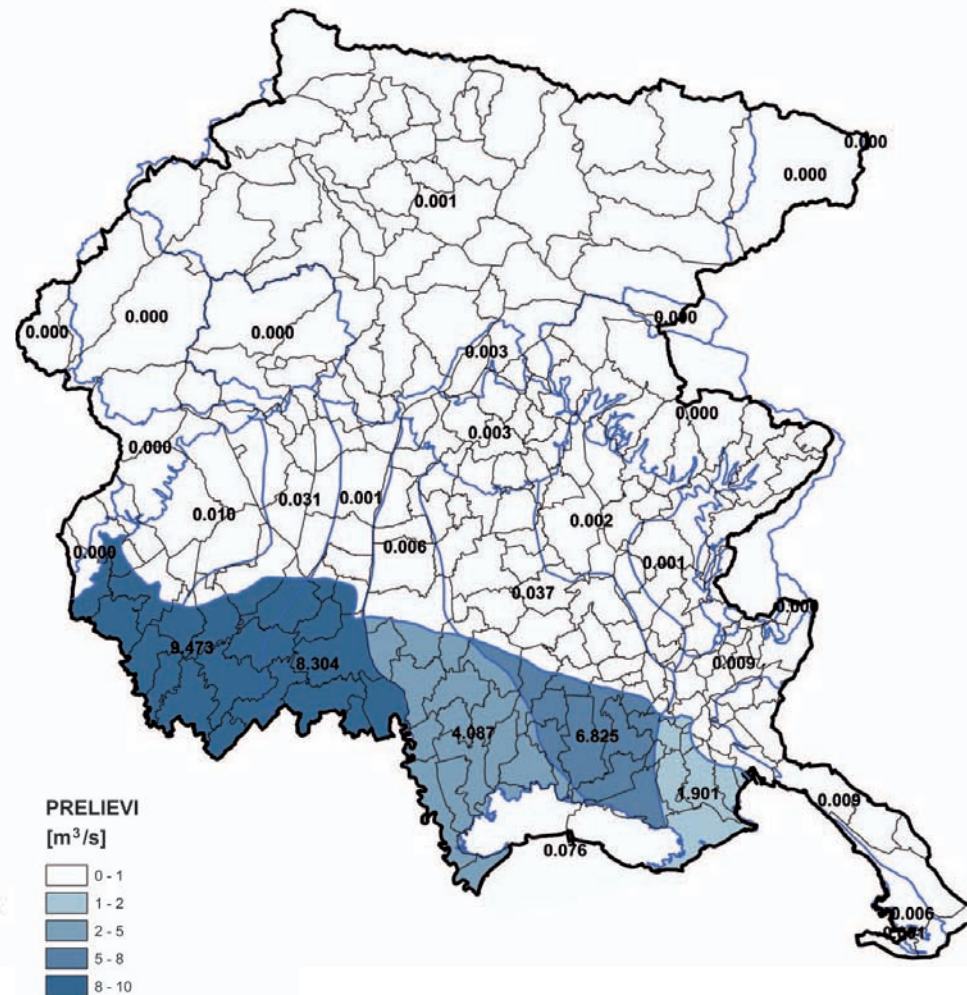
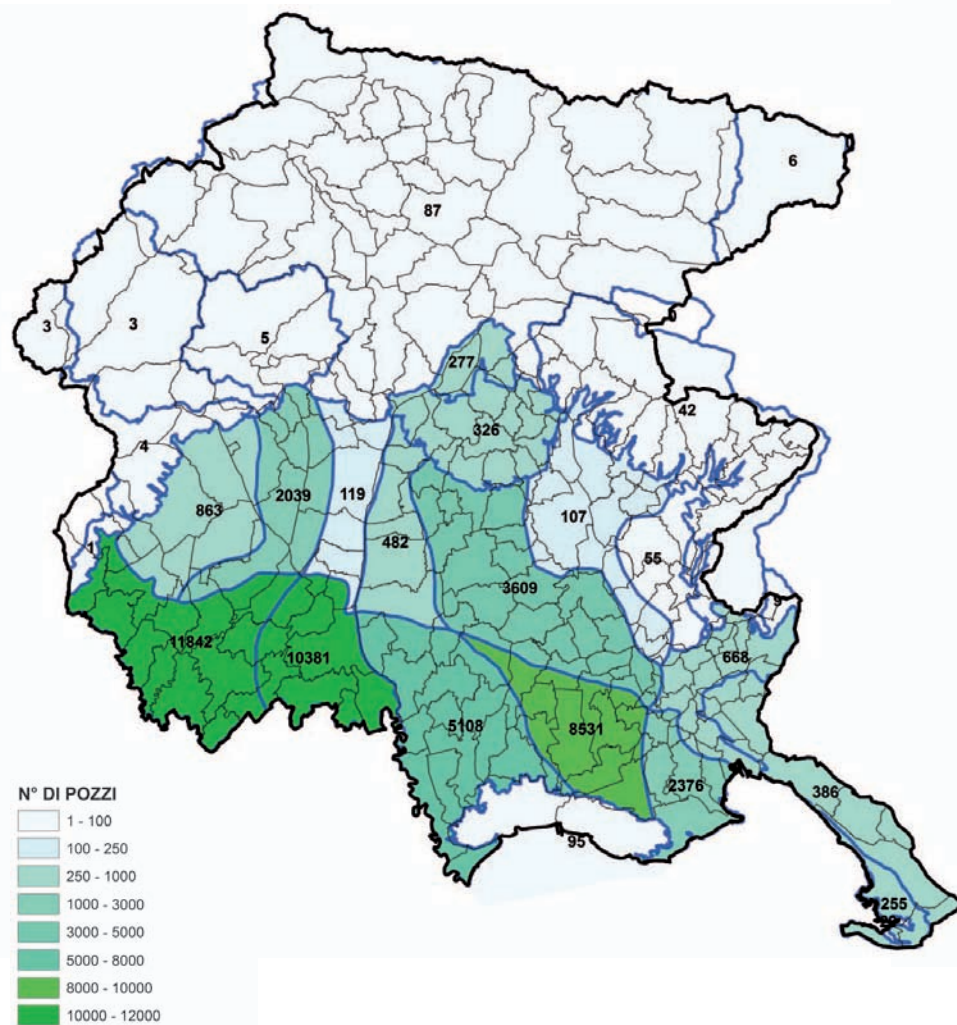
Valori percentuali di ripartizione dell'entità dei prelievi domestici fra i diversi sistemi di acquiferi.

Noti e definiti per ogni singolo pozzo i valori dei prelievi, i tempi percentuali di utilizzo e i sistemi di acquiferi di emunzione, si è calcolata l'entità dei prelievi per ciascuna tipologia di utilizzo. A descrizione dei risultati, si sono elaborate numerose mappe, restituite a livello di areali e macroareali di riferimento, illustranti la pressione presunta dei prelievi domestici sui corpi idrici sotterranei.

N° DI POZZI



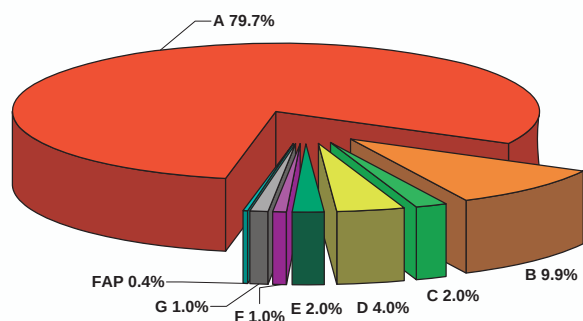
Mappa del numero di pozzi domestici ricadenti in ciascun comune della Regione Friuli Venezia Giulia.



A sinistra: mappa del numero di pozzi domestici ricadenti negli areali di riferimento (perimetrati in blu).

A destra: mappa dell'entità dei prelievi domestici calcolata per ciascun areale di riferimento (perimetrati in blu).

SISTEMI DI ACQUIFERI E PRELIEVI [m³/s]



Numero di pozzi domestici e della popolazione servita ed entità dei prelievi per ciascun sistema di acquiferi di emunzione. Quasi il 90% dei prelievi domestici interessa i sistemi di acquiferi più superficiali "A" e "B".

SISTEMI DI ACQUIFERI	n° POZZI	POPOLAZIONE SERVITA	PRELIEVI		
			Mm³/anno	m³/s	%
Freatico Alta Pianura (FAP)	9'376	35'405	3,8	0,12	0,4
A	30'667	118'172	774,2	24,53	79,7
B	3'833	14'771	96,8	3,07	9,9
C	767	2'954	19,4	0,61	2,0
D	1'533	5'909	38,7	1,23	4,0
E	767	2'954	19,4	0,61	2,0
F	383	1'477	9,7	0,31	1,0
G	383	1'477	9,7	0,31	1,0
TOTALI	47'709	183'120	971,5	30,79	100,0



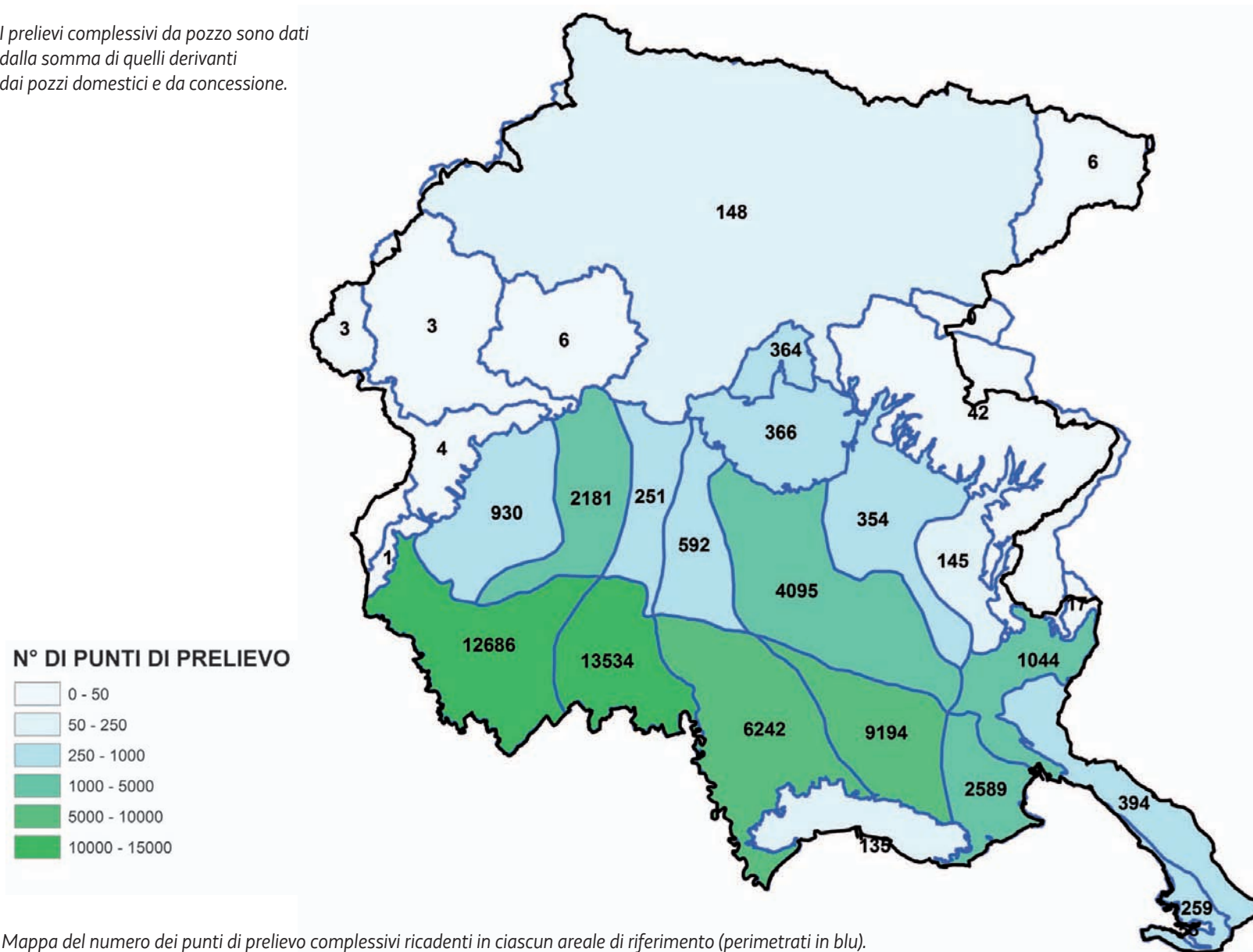
Il Torrente Resia a valle di S. Giorgio (foto di G. Finocchiaro).



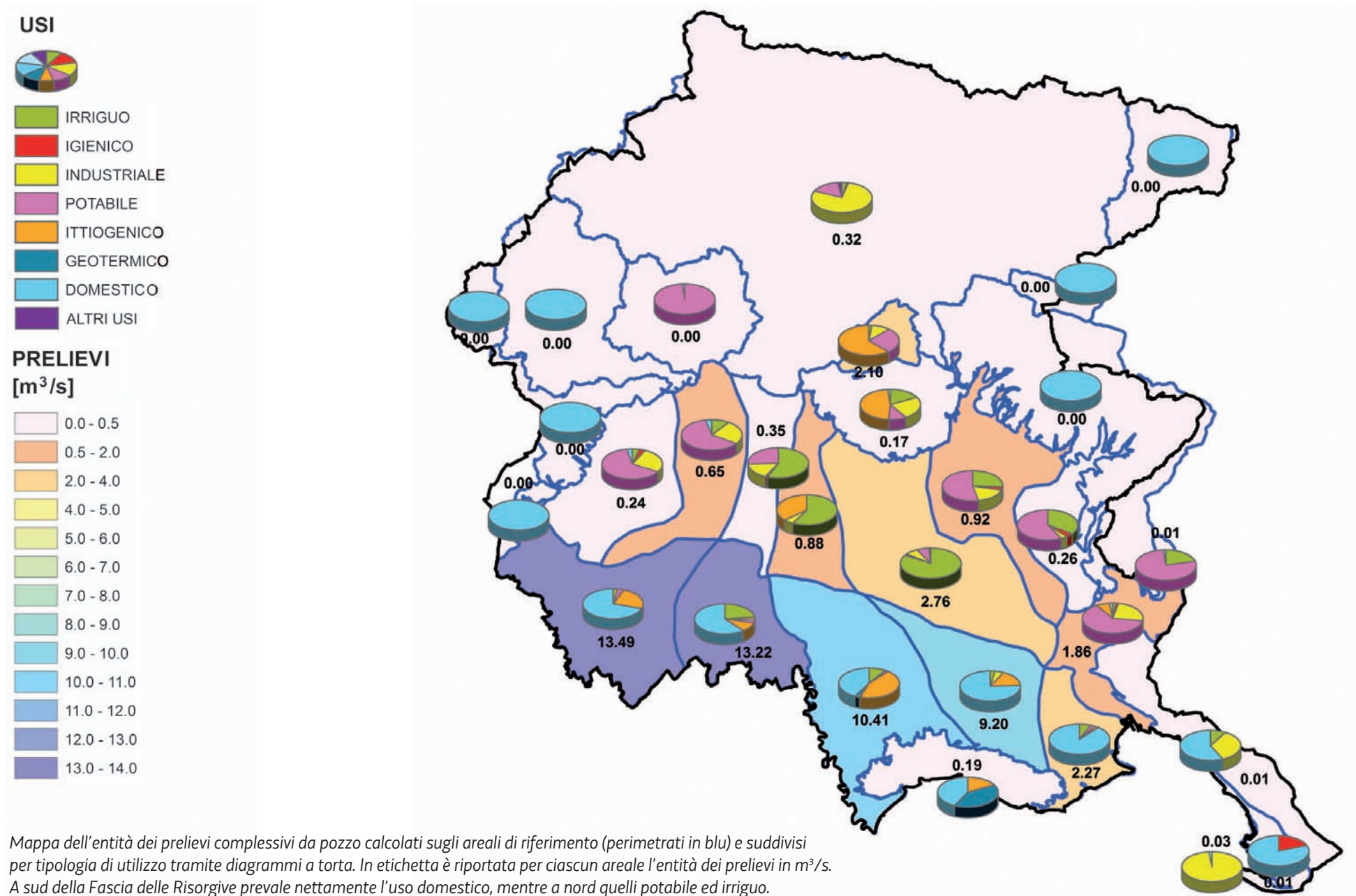
Impianto di irrigazione a pioggia.

ENTITÀ DEI PRELIEVI COMPLESSIVI DA POZZO

I prelievi complessivi da pozzo sono dati dalla somma di quelli derivanti dai pozzi domestici e da concessione.

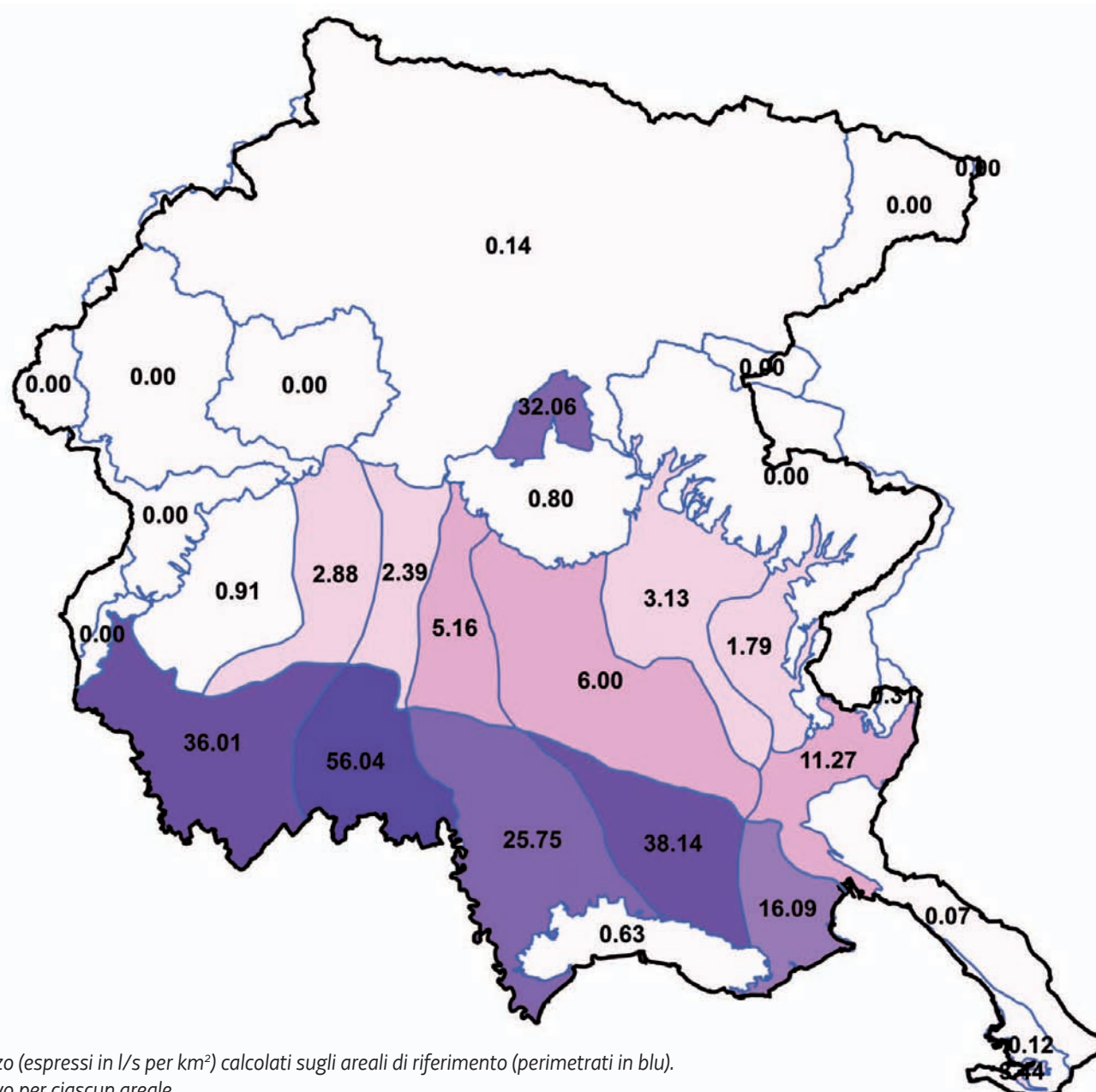
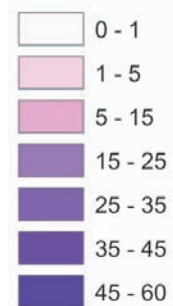


Mappa del numero dei punti di prelievo complessivi ricadenti in ciascun areale di riferimento (perimetrati in blu).



INTENSITA' DEI PRELIEVI

[l/s per km²]



Mapa delle intensità dei prelievi complessivi da pozzo (espressi in l/s per km²) calcolati sugli areali di riferimento (perimetrati in blu).
In etichetta sono riportati i valori dell'intensità di prelievo per ciascun areale.

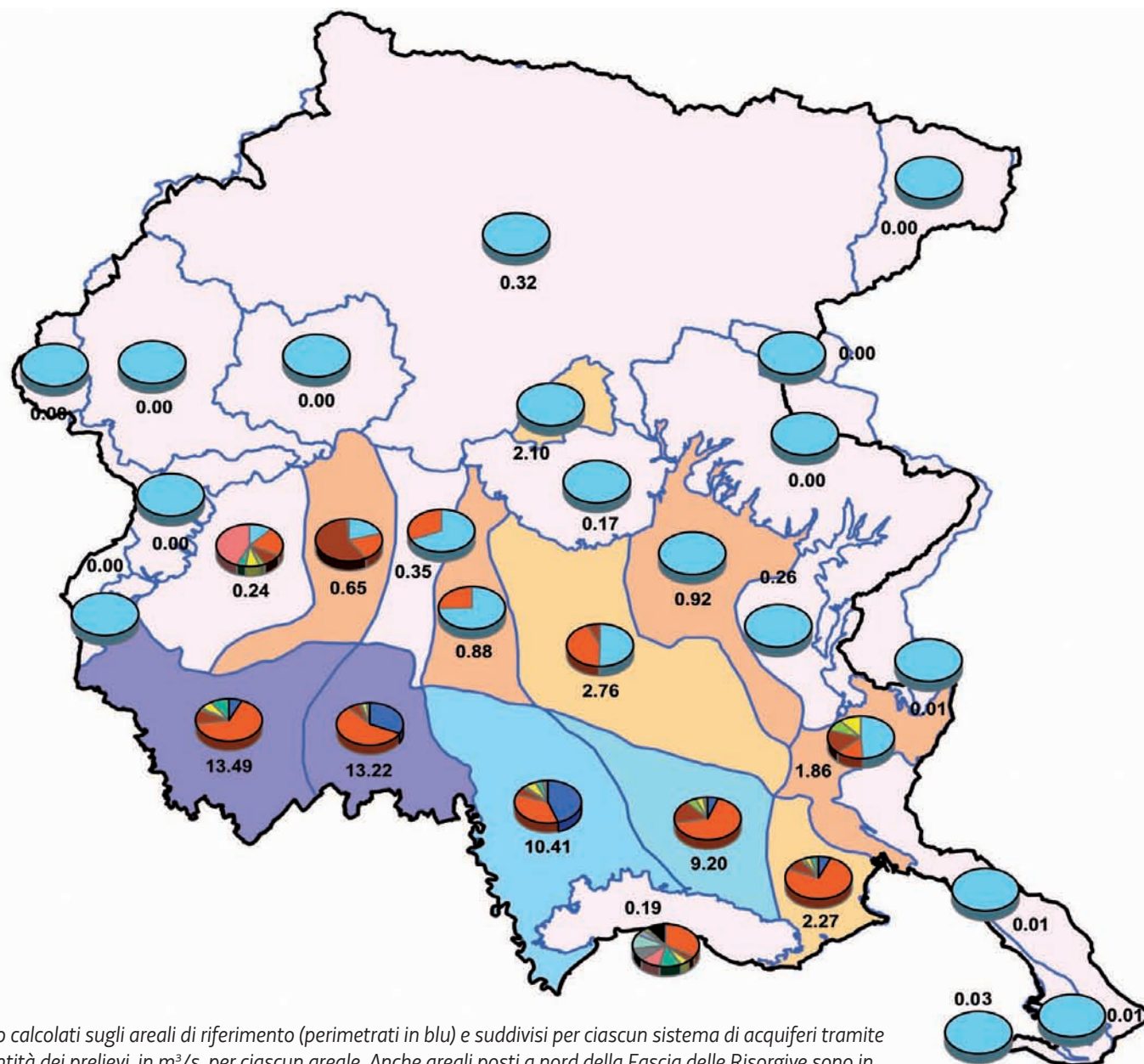
SISTEMI DI ACQUIFERI



- FAP
- FBP
- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- Ha
- Hb
- I
- L
- M
- ND
- ND PROF

PRELIEVI [m³/s]

- 0.0 - 0.5
- 0.5 - 2.0
- 2.0 - 4.0
- 4.0 - 5.0
- 5.0 - 6.0
- 6.0 - 7.0
- 7.0 - 8.0
- 8.0 - 9.0
- 9.0 - 10.0
- 10.0 - 11.0
- 11.0 - 12.0
- 12.0 - 13.0
- 13.0 - 14.0



Mapa dell'entità dei prelievi complessivi da pozzo calcolati sugli areali di riferimento (perimetrati in blu) e suddivisi per ciascun sistema di acquiferi tramite diagrammi a torta. In etichetta sono riportate le entità dei prelievi, in m³/s, per ciascun areale. Anche areali posti a nord della Fascia delle Risorgive sono in parte interessati da prelievi insistenti su sistemi di acquiferi confinati poiché hanno radice a monte della stessa.

SISTEMA DI ACQUIFERI D

USI

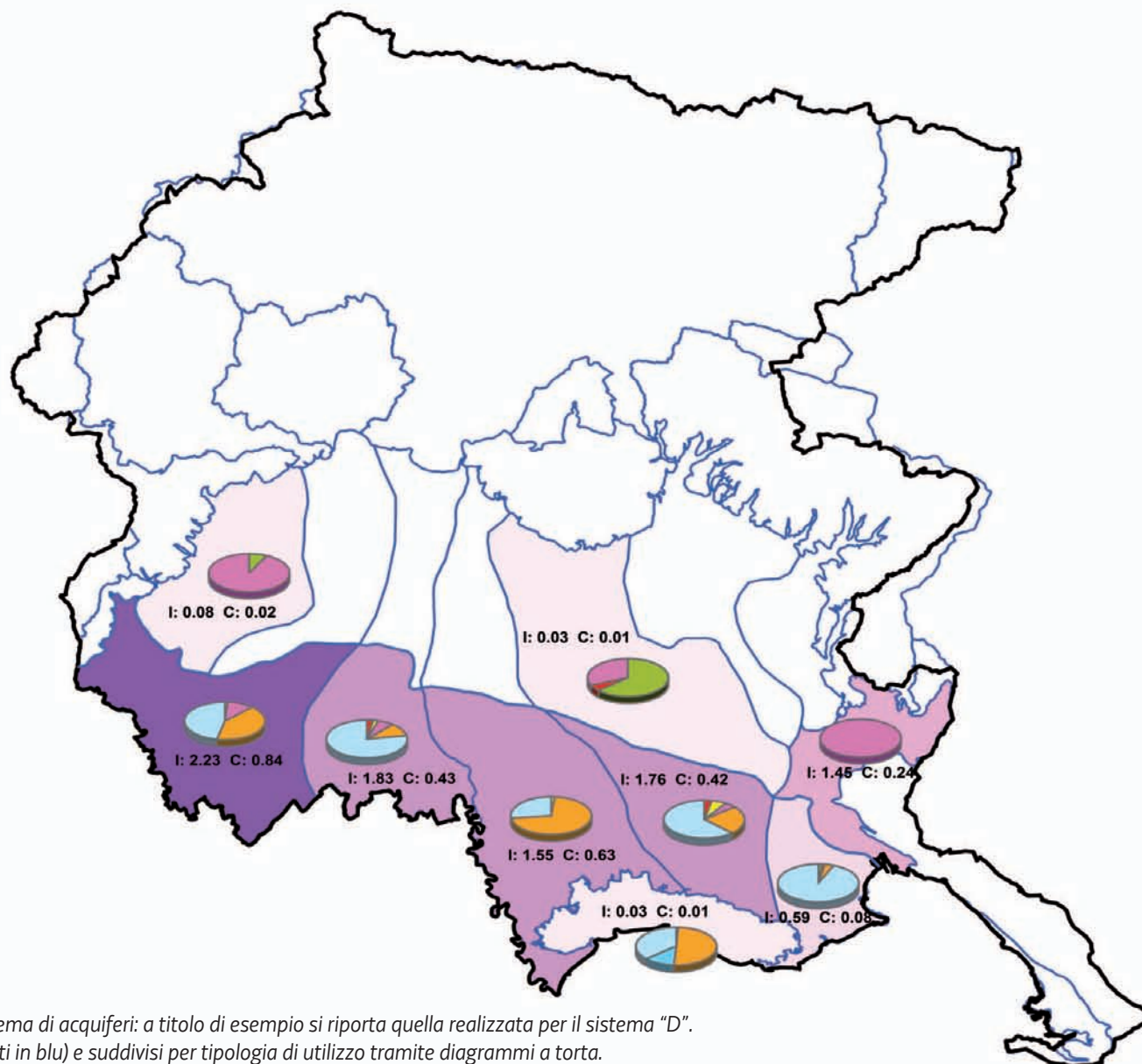


- IRRIGUO
- IGIENICO
- INDUSTRIALE
- POTABILE
- ITTIOGENICO
- GEOTERMICO
- DOMESTICO
- ALTRI USI

INTENSITA' DEI PRELIEVI

[l/s per km²]

- 0.0 - 0.5
- 0.5 - 1.0
- 1.0 - 1.5
- 1.5 - 2.0
- 2.0 - 3.0



Mapa dell'entità dei prelievi complessivi da pozzo per sistema di acquiferi: a titolo di esempio si riporta quella realizzata per il sistema "D".

I prelievi sono calcolati sugli areali di riferimento (perimetrati in blu) e suddivisi per tipologia di utilizzo tramite diagrammi a torta.

In etichetta sono riportate le intensità dei prelievi (I, in l/s km²) e l'entità (C, in m³/s).

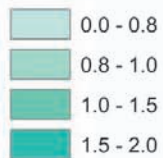
Colonna d'acqua prelevata
per sistemi di acquiferi
[m/anno]



0.49

Hw FBP
Hw A
Hw B
Hw C
Hw D
Hw E
Hw F
Hw G
Hw Ha
Hw Hb
Hw I
Hw L

Colonna d'acqua prelevata
[m/anno]

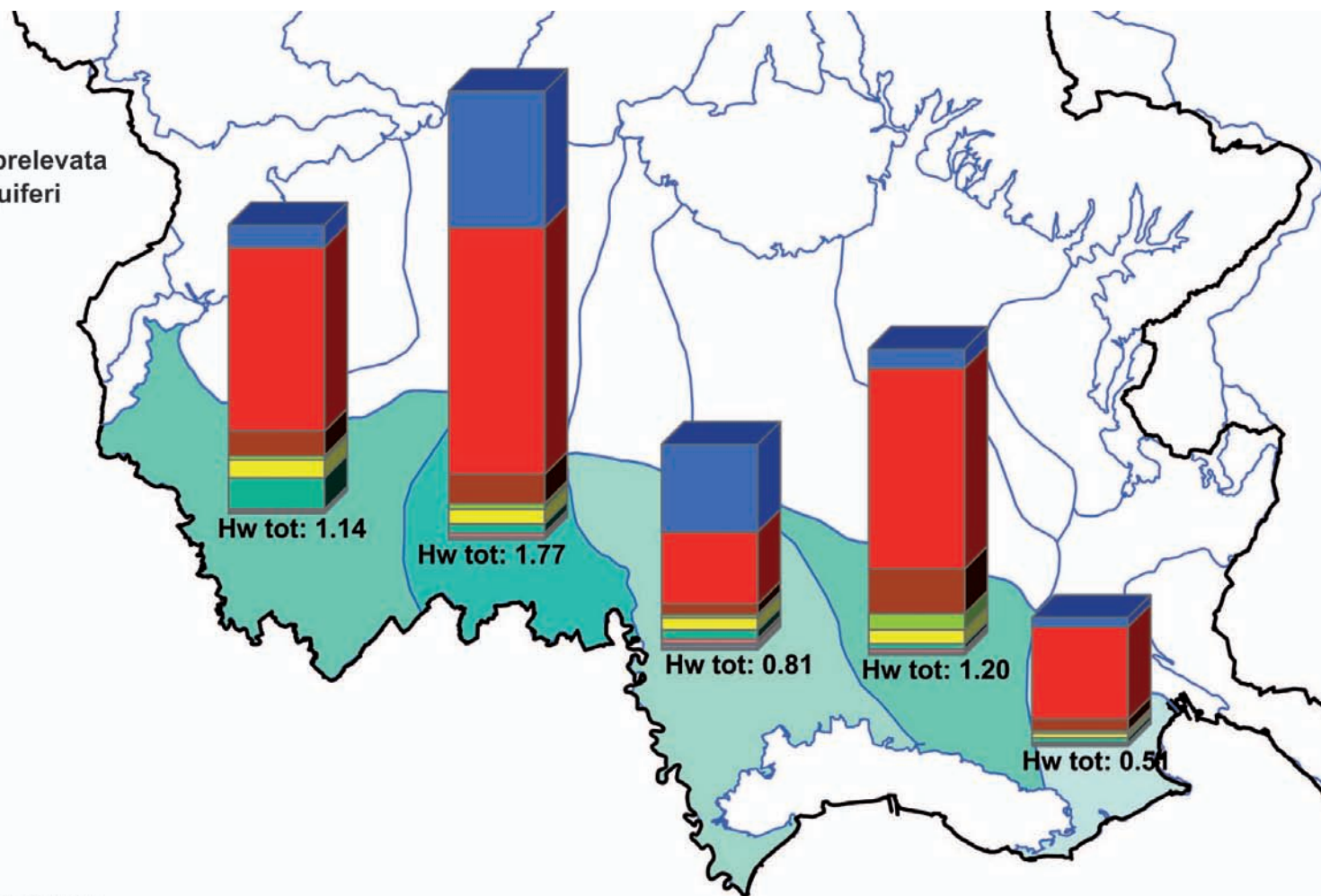


0.0 - 0.8

0.8 - 1.0

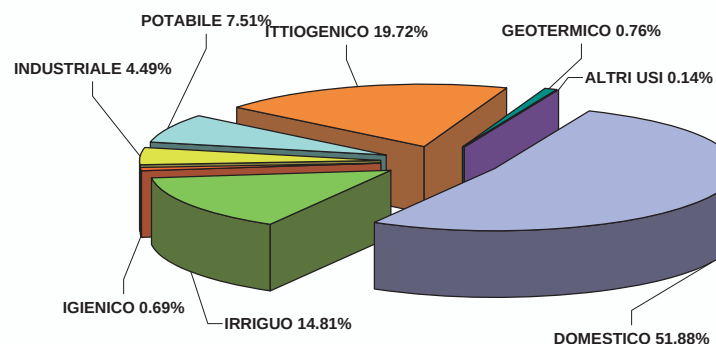
1.0 - 1.5

1.5 - 2.0



Mappa dell'entità dei prelievi complessivi da pozzo, espressi in altezze di colonna d'acqua Hw, in metri prelevati all'anno, calcolati sugli areali di riferimento della Bassa Pianura e suddivisi per sistema di acquiferi. La suddivisione tra i sistemi di acquiferi è visibile tramite gli istogrammi cumulativi riportati sugli areali. In etichetta è riportata la colonna d'acqua prelevata per ciascun areale.

TIPI D'USO E PRELIEVI [m³/s]

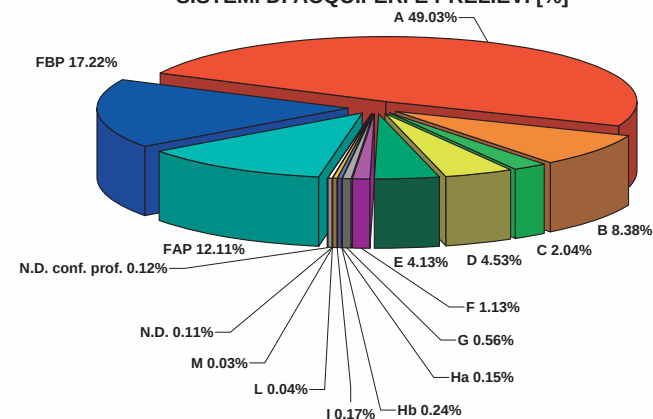


TIPI D'USO	n° POZZI	n° PUNTI DI PRELIEVO	PRELIEVI		
			Mm³/anno	m³/s	%
DOMESTICO	47'709	47'709	971,5	30,79	51,9
IRRIGUO	4'517	4'563	277	8,79	14,8
IGIENICO	1'354	1'377	13	0,41	0,7
INDUSTRIALE	662	801	84	2,67	4,5
POTABILE	457	550	141	4,46	7,5
ITTIOGENICO	478	494	369	11,70	19,7
GEOTERMICO	106	124	14	0,45	0,8
ALTRI USI	20	21	3	0,08	0,1
TOTALE	55'303	55'639	1'872	59,34	100,0

Sopra: numero dei pozzi e dei punti di prelievo complessivi suddivisi per tipologia di utilizzo ed entità dei prelievi.

A lato: entità dei prelievi suddivisi per ciascun sistema di acquiferi di emunzione: in torta ed esplicitati in tabella.

SISTEMI DI ACQUIFERI E PRELIEVI [%]



SISTEMI DI ACQUIFERI	PRELIEVI		
	[Mm³/anno]	[m³/s]	%
Freatico Alta Pianura (FAP)	227	7,19	12,11
Freatico Bassa Pianura (FBP)	322	10,22	17,22
A	918	29,10	49,03
B	157	4,97	8,38
C	38	1,21	2,04
D	85	2,69	4,53
E	77	2,45	4,13
F	21	0,67	1,13
G	10	0,33	0,56
H _{alto}	3	0,09	0,15
H _{basso}	4	0,14	0,24
I	3	0,10	0,17
L	1	0,02	0,04
M	0	0,02	0,03
Non definito (N.D.)	2	0,06	0,11
Non definito (N.D.) ma confinato profondo	2	0,07	0,12
TOTALE	1'872	59.34	100.00



Il Torrente Meduna allo sbocco in pianura prima della stretta di Colle.

RISORSE IDRICHE E LORO UTILIZZO

La quantificazione delle risorse idriche disponibili complessivamente nella Regione Friuli Venezia Giulia è stata affrontata valutando puntualmente le componenti di afflusso (precipitazione efficace) e di deflusso (ruscellamento ed infiltrazione).

Nella prospettiva di definire l'entità dell'utilizzo ecosostenibile delle risorse idriche superficiali e sotterranee i risultati ottenuti vanno aggregati in senso globale, creando un modello concettuale della realtà fisica. Si tratta di un'analisi di non sempre semplice applicazione, per la disomogeneità e la carenza di alcuni dati a disposizione (portate, permeabilità dei terreni, trasmissività, coefficienti di immagazzinamento dei sistemi di acquiferi...), per l'incompletezza delle conoscenze sui processi di alimentazione, di ricarica e di reciproca interazione tra i diversi corpi idrogeologici.

Si è ritenuto perciò di procedere considerando la Regione e i sistemi di acquiferi nel loro complesso, utilizzando un modello concettuale semplice e schematico che, in considerazione dei dati disponibili, è risultato il più significativo e rappresentativo della realtà regionale. Il territorio è stato suddiviso in settori che possono essere paragonati a serbatoi comunicanti tra loro: i bacini montani alimentano, tramite apporti sotterranei diretti oppure attraverso le dispersioni dei corsi d'acqua, l'Alta Pianura la quale, a sua volta, alimenta sia le Risorgive sia i sistemi di acquiferi artesiani della Bassa Pianura. Alcuni di questi sistemi potrebbero essere parzialmente alimentati direttamente dalla montagna.

Fattore nodale del modello concettuale proposto è il ruolo svolto dalle acque di risorgiva. Esse rappresentano una sorta di "troppo pieno" delle acque contenute nel sottosuolo dell'intera pianura regionale e, quindi, un indicatore indiretto dell'entità e sostenibilità dei prelievi nella Pianura Friulana.

Si è ritenuto che, nell'ipotesi di assenza di prelievi dalle falde la Fascia delle Risorgive avrebbe il compito di drenare tutti i quantitativi d'acqua che si infiltrano a monte, ciò in quanto non si sono ritenuti significativi gli eventuali travasi verso mare e i possibili interscambi sotterranei con i domini adiacenti, eccezion fatta per il Carso.

Si è assunto inoltre che le precipitazioni sulla Bassa Pianura non alimentino le falde artesiane e vadano ad alimentare esclusivamente la falda freatica della Bassa Pianura, che a sua volta è regimata artificialmente dai prelievi e dal sistema di bonifica.

I parametri caratteristici del ciclo dell'acqua sono stati elaborati in funzione dei settori regionali. Sono così quantificate le seguenti variabili:

R_M : ricarica dalla montagna, rappresenta la quantità di acqua, proveniente dai bacini montani, che contribuisce ad alimentare l'Alta Pianura. Il calcolo è stato effettuato a partire dalle componenti di ruscellamento superficiale (R) e infiltrazione efficace (I), ovvero dal deflusso globale. A questo valore sono state sottratte le portate derivate ad uso idroelettrico, irriguo e da pozzo (i prelievi) e non restituite prima dello sbocco in pianura e quanto non disperso dai corsi d'acqua.

Nel computo totale della montagna, sono state escluse le aree carsiche del Cansiglio-Cavallo (Bacino idrogeologico del Fiume Livenza, sezione di chiusura presso Gorgazzo e La Santissima) e del Carso, poichè si è ritenuto che non ricarichino la pianura in modo significativo.

Per gli areali inerenti il Cellina-Meduna e l'Anfiteatro Morenico (comprendente anche il Campo di Gemona-Osoppo) le dispersioni nell'Alta Pianura sono state valutate nel 100% dei deflussi.

Per quanto riguarda i Fiumi Tagliamento, Torre-Natisone ed Isonzo, il contributo di alimentazione all'Alta Pianura è stato valutato sulla base di studi pregressi e di alcune opportune considerazioni.

Le dispersioni del Tagliamento sono state valutate, in funzione delle risultanze della campagna di misura effettuata tra il 1981 e il 1982 dal Consorzio di Bonifica Ledra Tagliamento [14], in circa il 72% della portata media del fiume stesso a Pinzano. In prima approssimazione le dispersioni sono state suddivise equamente tra destra e sinistra. Per il bacino montano del Torrente Torre-Natisone le dispersioni sono state valutate nel 90% dei deflussi.

Nel caso del Fiume Isonzo, per il quale non sono disponibili le componenti di ruscellamento e infiltrazione della parte ricadente nel territorio montano sloveno, si sono utilizzate le portate in ingresso in territorio italiano (stazione di Ponte Piuma monitorata dall'Unità Idrografica Regionale). Le dispersioni nel tratto da Ponte Piuma a Turriaco (Fascia delle Risorgive) sono state valutate, analogamente a quanto fatto per il Fiume Tagliamento, nel 26% della portata.

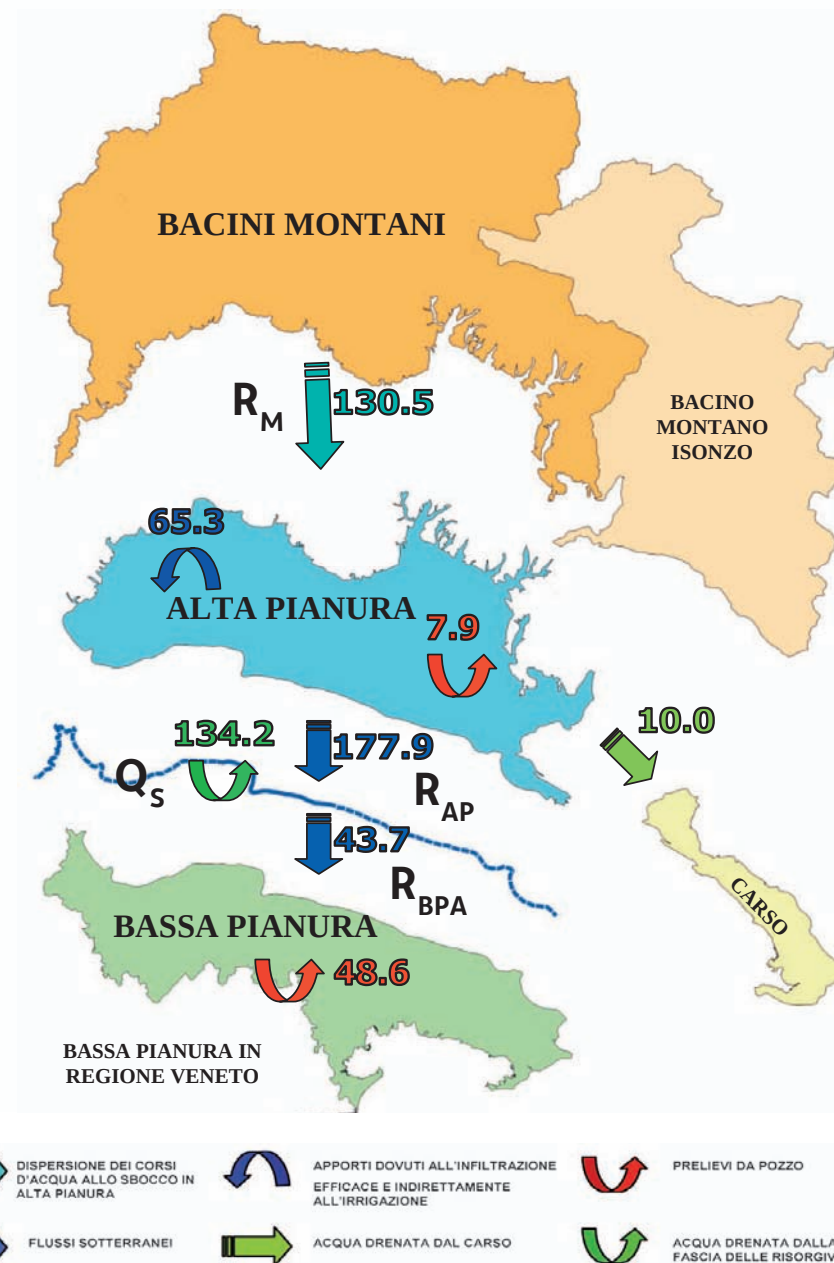
R_{AP} : potenzialità dell'Alta Pianura, rappresenta la quantità d'acqua complessiva che alimenta l'Alta Pianura ed è calcolata come somma della ricarica montana (R_M), della componente di infiltrazione efficace (I) e degli apporti dovuti indirettamente alle pratiche di irrigazione (Ii) quali le perdite da canali, quelli conseguenti alla bassa efficienza dei sistemi di irrigazione a scorrimento e alla restituzione delle portate prelevate a monte, al netto dei prelievi insistenti sull'Alta Pianura e delle acque drenate dal Carso.

RICARICA ATTIVA MEDIA ANNUA DELL'ALTA PIANURA IN M ³ /S				
ENTRATE		USCITE		ENTRATE - USCITE
R_M apporti provenienti dai bacini montani	I+li infiltrazioni conseguenti alle precipitazioni efficaci e alle pratiche irrigue nell'Alta Pianura	prelievi da pozzo nell'Alta Pianura	quantitativi drenati dal Carso	R_{AP}
+130,5	+65,3	-7,9	-10,0	+177,9
+195,8		-17,9		

Q_s: portata di risorgiva, rappresenta la quantità d'acqua che complessivamente è drenata dai Fiumi di Risorgiva. La valutazione delle portate di risorgiva si è basata sui dati relativi alle portate dei corsi d'acqua della Bassa Pianura opportunamente trattati.

R_{BPA}: ricarica potenziale dei sistemi di acquiferi confinati della Bassa Pianura, questo valore rappresenta il quantitativo di acqua rimanente a disposizione dei sistemi artesiani della Bassa Pianura ed è stato ottenuto sottraendo dalla portata proveniente dall'Alta Pianura (R_{AP}) le portate di risorgiva (Q_s).

RICARICA ATTIVA MEDIA ANNUA AI SISTEMI DI ACQUIFERI CONFINATI DELLA BASSA PIANURA IN M ³ /S		
ENTRATE	USCITE	ENTRATE - USCITE
R_{AP} ricarica sotterranea proveniente dall'Alta Pianura	Q_s portata naturalmente drenata dalla Fascia delle Risorgive	R_{BPA} ricarica attiva media annua ai sistemi di acquiferi confinati della Bassa Pianura
+177,9	-134,2	+43,7



BILANCIO IDROGEOLOGICO DEI SISTEMI DI ACQUIFERI CONFINATI DELLA BASSA PIANURA IN M ³ /S		
ENTRATE	USCITE	ENTRATE - USCITE
R_{BPA} ricarica attiva media annua ai sistemi confinati della Bassa Pianura	prelievi dai sistemi di acquiferi confinati della Bassa Pianura	bilancio complessivo
+43,7	-48,6	-4,9

I valori della ricarica attiva e dei prelievi riportati hanno un grado di incertezza dovuto ai metodi di valutazione utilizzati.

I prelievi includono anche quelli stimati per la parte di pianura friulana ricadente in regione Veneto e non considerano i prelievi dalla falda freatica superficiale della Bassa Pianura.

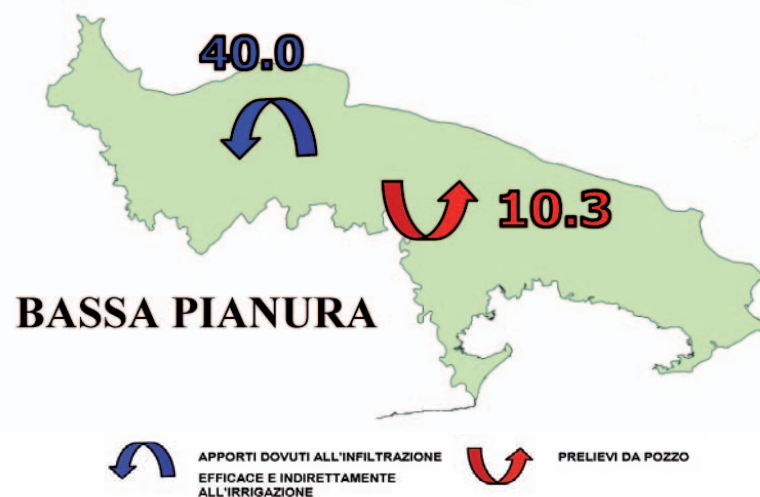
Il confronto tra la ricarica attiva media annua dei sistemi di acquiferi confinati della Bassa Pianura e la stima dei prelievi, risulta sostanzialmente in equilibrio con una tendenza a prelievi di poco superiori ai valori della ricarica.

Nella pagina precedente: bilancio idrogeologico delle acque sotterranee della Pianura Friulana. I settori considerati sono: i bacini montani (che includono anche il Campo di Gemona-Osoppo e l'Anfiteatro Morenico), il Carso, l'Alta Pianura (Isontina, in destra e in sinistra Tagliamento) e la Bassa Pianura (Isontina, in destra e in sinistra Tagliamento).

Agli apporti dai bacini montani, dalle precipitazioni efficaci e dalle acque di irrigazione si contrappongono i prelievi da pozzo e i drenaggi naturali da parte delle risorgive e del Carso.

R_{BPF}: **ricarica della falda freatica della Bassa Pianura**, questo valore, che rappresenta il quantitativo di acqua che va ad alimentare la falda freatica della Bassa Pianura, è stato ottenuto sommando alla componente di infiltrazione efficace della Bassa Pianura (I) gli scarichi provenienti dai pozzi artesiani domestici non restituiti al reticolo idrografico o alle reti fognarie (quantitativo stimato pari alla metà dei prelievi domestici da pozzi artesiani). I contributi dovuti ai prelievi da pozzi artesiani di altro uso sono stati ritenuti trascurabili, se non nulli, qualora l'acqua emunta fosse convogliata nel reticolo idrografico (ad es. gli ittiogenici).

RICARICA DELLA FALDA FREATICA DELLA BASSA PIANURA IN M ³ /S			
ENTRATE		USCITE	ENTRATE - USCITE
I infiltrazione Bassa Pianura	scarichi da pozzi domestici in confinato non restituiti al reticolo idrografico	prelievi in Bassa Pianura	bilancio complessivo
+24,6	+15,4	-10,3	+29,7
R_{BPF} = +40,00			



La ricarica della falda freatica della Bassa Pianura. I prelievi in Bassa Pianura sono solamente quelli dalla falda freatica.

Portate di risorgiva

Per la valutazione dei quantitativi drenati dalla Fascia delle Risorgive si è operato considerando le portate dei corsi d'acqua della Bassa Pianura depurate dal contributo dovuto al ruscellamento superficiale, dagli apporti provenienti dalle aree carsiche (ad esempio le aree di alimentazione delle sorgenti del Fiume Livenza) e dagli scarichi.

Nel calcolo si è tenuto conto degli apporti provenienti dallo scarico delle centrali idroelettriche di Livenza e Cordenons, delle portate emunte dalle falde sotterranee da parte degli impianti ittogenici e dei pozzi ad uso domestico e immesse nel reticolo superficiale. Viceversa si sono considerati come trascurabili, visti i dati a disposizione forniti dagli Ambiti Territoriali Ottimali, gli apporti ai corsi d'acqua da parte di fognature e depuratori. In particolare la portata scaricata dai pozzi ad uso domestico nel reticolo superficiale è stata valutata nel 50% del quantitativo emunto.

Complessivamente la portata di drenaggio delle Risorgive in condizioni medie è pari a 45,9 m³/s per la destra Tagliamento, 72,3 m³/s per la sinistra Tagliamento. A questi valori si devono aggiungere i circa 16 m³/s drenati dal Torrente Torre-Natisone e dal Fiume Isonzo e dal Canale del Brancolo.

Settore	Portata alle sezioni	Contributo ruscellamento e scarichi pozzi domestici	Q _s = Portata di Risorgiva
Destra Tagliamento	62,4 m³/s	16,5 m³/s	45,9 m³/s
Sinistra Tagliamento	84,3 m³/s	12,0 m³/s	72,3 m³/s
Isonzo			16,0 m³/s
TOTALE			134,2 m³/s

Stazioni di monitoraggio considerate

Corso d'acqua	Portata media annua alla sezione
Fiume Livenza (Sorgenti)	11,5 m³/s
Fiume Livenza (Fiaschetti)	12,0 m³/s
Fiume Livenza (Sacile)	16,0 m³/s
Fiume Livenza (monte confluenza Meduna)	43,6 m³/s
Fiume Meschio	4,6 m³/s
Fiume Grava	2,0 m³/s
Fiume Meduna (monte confluenza Livenza)	45,0 m³/s
Fiume Sile (chiusura)	5,5 m³/s
Fiume Fiume (chiusura)	8,0 m³/s
Fiume Reghena (chiusura)	2,5 m³/s
Fiume Lemene (chiusura)	4,0 m³/s
Fiume Lugugnana (chiusura)	0,5 m³/s
Fiume Varmo	10,2 m³/s
Fiume Stella (chiusura)	37,9 m³/s
Fiume Turgnano (chiusura)	0,5 m³/s
Torrente Cormor (chiusura)	11,1 m³/s
Torrente Cormor (strada napoleonica)	3,5 m³/s
Fiume Zellina (chiusura)	1,0 m³/s
Fiume Ausa Corno (chiusura)	26,6 m³/s
Fiume Natissa (chiusura)	4,0 m³/s
Fiume Tiel (chiusura)	0,2 m³/s
scolo meccanico	4,0 m³/s
Fiume Isonzo (Ponte Piuma)	148,8 m³/s
Fiume Isonzo (Turriaco)	82,9 m³/s
Risorgiva Fiume Isonzo e Torrente Torre	6,0 m³/s

Il valore di portata indicato è riferito alla media annua calcolata, dove possibile, utilizzando le scale di deflusso messe a punto dall'Unità Idrografica Regionale, altrimenti considerando le singole misure di portata reperite sia nella banca dati dell'Unità stessa sia da bibliografia.

RISORSA IDRICA MEDIA DISPONIBILE E PRELIEVI

La quantificazione del bilancio idrogeologico è diretta a valutare la sostenibilità dei prelievi d'acqua per i diversi usi in funzione delle risorse disponibili.

Ad oggi, nella nostra regione, i prelievi complessivi da pozzo hanno raggiunto valori ragguardevoli, pari a $59,3 \text{ m}^3/\text{s}$: di questi, $56,7 \text{ m}^3/\text{s}$ provengono dalle falde freatiche ed artesiane della Pianura Friulana. I prelievi complessivi nelle aree alimentate dall'Alta Pianura Friulana salgono a $66,7 \text{ m}^3/\text{s}$ se si tiene conto anche delle emunzioni nella Regione Veneto in destra Tagliamento, stimate pari a $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Dei rimanenti $2,65 \text{ m}^3/\text{s}$ ($59,3 - 56,7 \text{ m}^3/\text{s}$), $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ sono attinti dal Campo di Gemona-Osoppo quasi interamente ad uso acquedottistico, $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ dal Bacino montano del Tagliamento, $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ dall'Anfiteatro Morenico e $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ dalla Zona Industriale di Trieste.

L'entità complessiva degli emungimenti nell'Alta Pianura è di $7,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nella Bassa Pianura regionale risultano complessivamente prelevati $48,8 \text{ m}^3/\text{s}$, di cui $10,2 \text{ m}^3/\text{s}$ dalla debole falda freatica superficiale e $38,6 \text{ m}^3/\text{s}$ dai sistemi di acquiferi artesiani confinati. Al fine di definire il bilancio idrogeologico, si sono dovuti considerare anche i prelievi insistenti nella porzione di Pianura Friulana facente parte del territorio della Regione Veneto in destra Tagliamento. In quest'area, non disponendo di dati inerenti i prelievi da pozzo, i consumi dei sistemi di acquiferi artesiani sono stati stimati, per analogia con quelli della Bassa Pianura pordenonese, in almeno $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Complessivamente quindi, i prelievi dai sistemi di acquiferi artesiani della Bassa Pianura Friulana calcolati sulla base dei dati dichiarati e/o stimati, vanno considerati pari a $48,6 \text{ m}^3/\text{s}$, di cui $38,6 \text{ m}^3/\text{s}$ in regione e $10 \text{ m}^3/\text{s}$ da parte veneta. A conferma della validità di questa stima globale, tale valore è comparabile con quello della ricarica potenziale dei sistemi di acquiferi artesiani della Bassa Pianura ($R_{BPA} = 43,7 \text{ m}^3/\text{s}$) calcolata sulla base della potenzialità dell'Alta Pianura, delle portate di risorgiva e dei prelievi ($R_{BPA} = R_{AP} - Q_s$). La ricarica potenziale infatti rappresenta indirettamente il quantitativo d'acqua che viene estratto dai sistemi confinati della Bassa Pianura.

L'entità dei prelievi dai sistemi di acquiferi confinati risulta così dell'ordine del 30% della disponibilità della risorsa idrica complessivamente proveniente dai bacini montani e dall'Alta Pianura, epurata del quantitativo drenato dal Carso (R_{AP}).

Il 70% rimanente costituisce la portata dei corsi d'acqua di risorgiva ed è quindi acqua che fuoriesce dal sistema "idrostruttura della Pianura Friulana" e confluisce al mare. L'idrogeologia e la geometria delle Risorgive (portata, ampiezza della fascia,

oscillazione delle quote di affioramento...) sono quindi strettamente connesse all'entità dei prelievi.

Non è lo scopo del presente lavoro definire l'entità minima ammissibile delle portate alle Risorgive per garantire la naturalità degli ecosistemi collegati, ma ogni futura pianificazione dovrà tenerne conto. Un ulteriore incremento dei prelievi significherebbe una diminuzione della quantità d'acqua a disposizione della naturalità delle aree di risorgiva e della Bassa Pianura, con conseguente impatto sugli ecosistemi connessi e possibile perdita di habitat tipici (ad esempio, i prati umidi). Effetto che già si può osservare nella progressiva riduzione dell'ampiezza della Fascia delle Risorgive congiuntamente alle conseguenze indirette, quali l'abbassamento della superficie freatica, la perdita di pressione degli acquiferi artesiani e la subsidenza antropica.

Analizzando nello specifico i macroareali in cui si è divisa la Regione Friuli Venezia Giulia agli effetti del bilancio idrogeologico, è da porre particolare attenzione ad alcune considerazioni.

BACINO MONTANO DEL CELLINA – MEDUNA

In questo macroareale il deflusso (inteso come quantitativo d'acqua potenzialmente disponibile per la pianura) è mediamente di $28,5 \text{ m}^3/\text{s}$: di questi ben $25,1 \text{ m}^3/\text{s}$ sono derivati per usi irrigui ed idroelettrici. Ne consegue che il deflusso utile per l'alimentazione della falda freatica della pianura si limita a $3,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ed è quindi appena il 12 % della risorsa montana.

BACINO MONTANO DEL TAGLIAMENTO

In questo macroareale il deflusso è mediamente di $100,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Di questi, $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ alimentano pozzi (fra i quali quelli del Campo di Gemona-Osoppo), $23,0 \text{ m}^3/\text{s}$ sono derivati per usi irrigui, $21,2 \text{ m}^3/\text{s}$ defluiscono direttamente a mare e $54,1 \text{ m}^3/\text{s}$ alimentano, in prima approssimazione, equamente al 50%, le falde della sinistra e della destra Tagliamento. Il deflusso utile per la pianura quindi pari a circa il 50% della risorsa montana.

ANFITEATRO MORENICO

In questo limitato macroareale, ad un deflusso stimato di 8,5 m³/s corrispondono prelievi complessivi pari a 0,2 m³/s, il che comporta che l'anfiteatro contribuisce all'alimentazione dell'Alta Pianura con un volume d'acqua complessivo pari a 8,3 m³/s.

BACINO MONTANO TORRE – NATISONE

In questo macroareale il deflusso è mediamente di 32,8 m³/s, dei quali 2,5 m³/s sono derivati per usi potabili, irrigui ed idroelettrici. Dato che si calcola in 3,0 m³/s l'entità che defluisce mediamente direttamente a mare, l'alimentazione della pianura è pari a 27,3 m³/s.

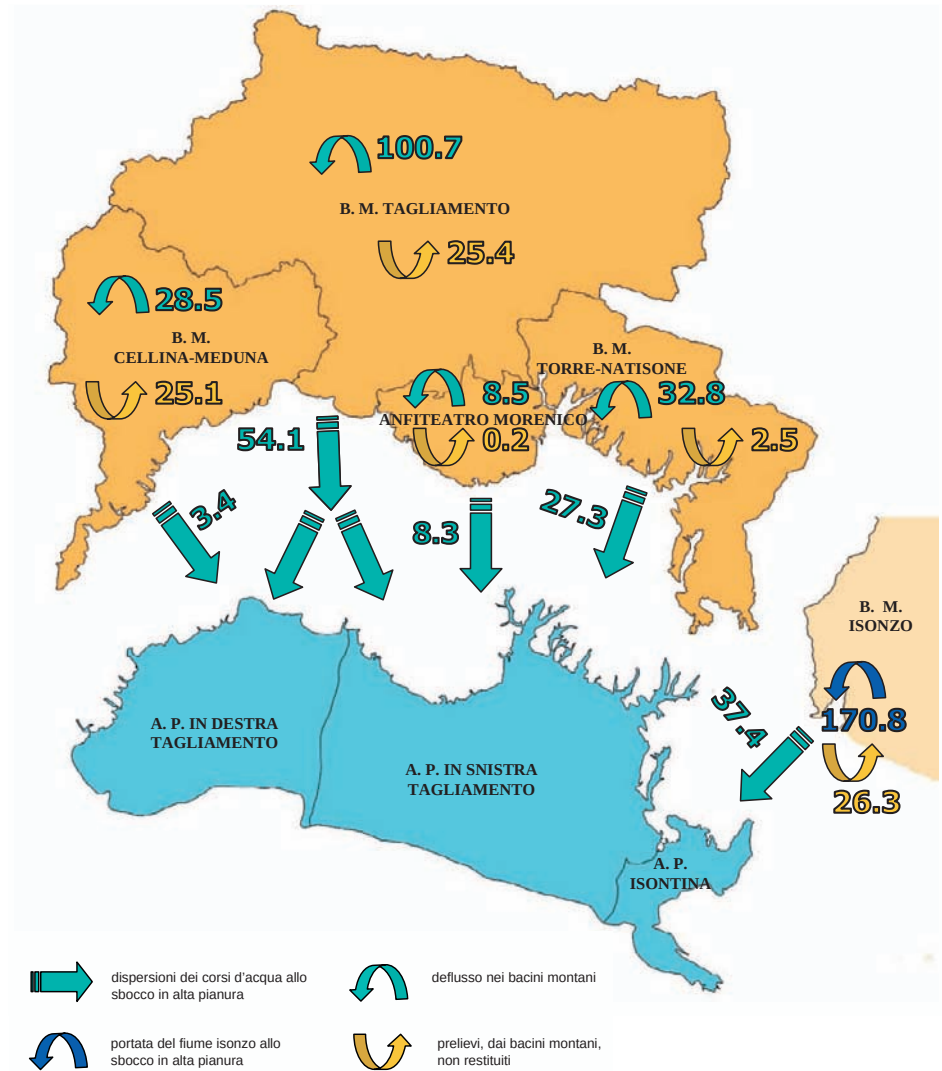
BACINO MONTANO DELL'ISONZO

In questo macroareale esteso in gran parte in territorio sloveno, la portata allo sbocco in pianura è mediamente di 170,8 m³/s. Di questi 26,3 m³/s sono derivati per usi irrigui ed idroelettrici, 107,1 m³/s defluiscono mediamente direttamente a mare e 37,4 m³/s alimentano le falde della Pianura isontina.

Bacino Montano	R+I = Deflusso	Prelievi	R+I-Prelievi	% dispersione dei corsi d'acqua	R _M
Cellina-Meduna	28,5 m³/s	25,1 m³/s	3,4 m³/s	100 %	3,4 m³/s
Tagliamento	100,7 m³/s	25,4 m³/s	75,3 m³/s	72 %	54,1 m³/s
Torre-Natisone	32,8 m³/s	2,5 m³/s	30,3 m³/s	90 %	27,3 m³/s
Anfiteatro Morenico	8,5 m³/s	0,2 m³/s	8,3 m³/s	100 %	8,3 m³/s
Isontino (*)	170,8 m³/s	26,3 m³/s	144,5 m³/s	26 %	37,4 m³/s
TOTALE	341,3 m³/s	79,5 m³/s	261,8 m³/s		130,5 m³/s

La ricarica montana (R_M). Si noti come i prelievi siano vicini al 25% del deflusso.

(*) Per il bacino montano del Fiume Isonzo si è considerata la portata allo sbocco in pianura, anziché il deflusso.



Entità delle risorse montane e di quelle che vanno ad alimentare l'Alta Pianura Friulana. A fronte delle notevoli potenzialità della montagna derivate dalle precipitazioni, si contrappongono gli intensi prelievi, essenzialmente per uso idroelettrico ed irriguo.

ALTA PIANURA IN DESTRA TAGLIAMENTO

In questo macroareale, a fronte di un quantitativo di acqua medio annuo in ingresso pari a 59,6 m³/s (di cui 30,4 m³/s di ricarica montana locale e 29,2 m³/s di ricarica dovuta all'infiltrazione e alle pratiche irrigue), i prelievi sono valutati in 1,2 m³/s. Tutto il rimanente (58,4 m³/s) va ad alimentare con 45,9 m³/s la Fascia delle Risorgive e con 12,5 m³/s i sistemi di acquiferi artesiani confinati della Bassa Pianura.

ALTA PIANURA IN SINISTRA TAGLIAMENTO

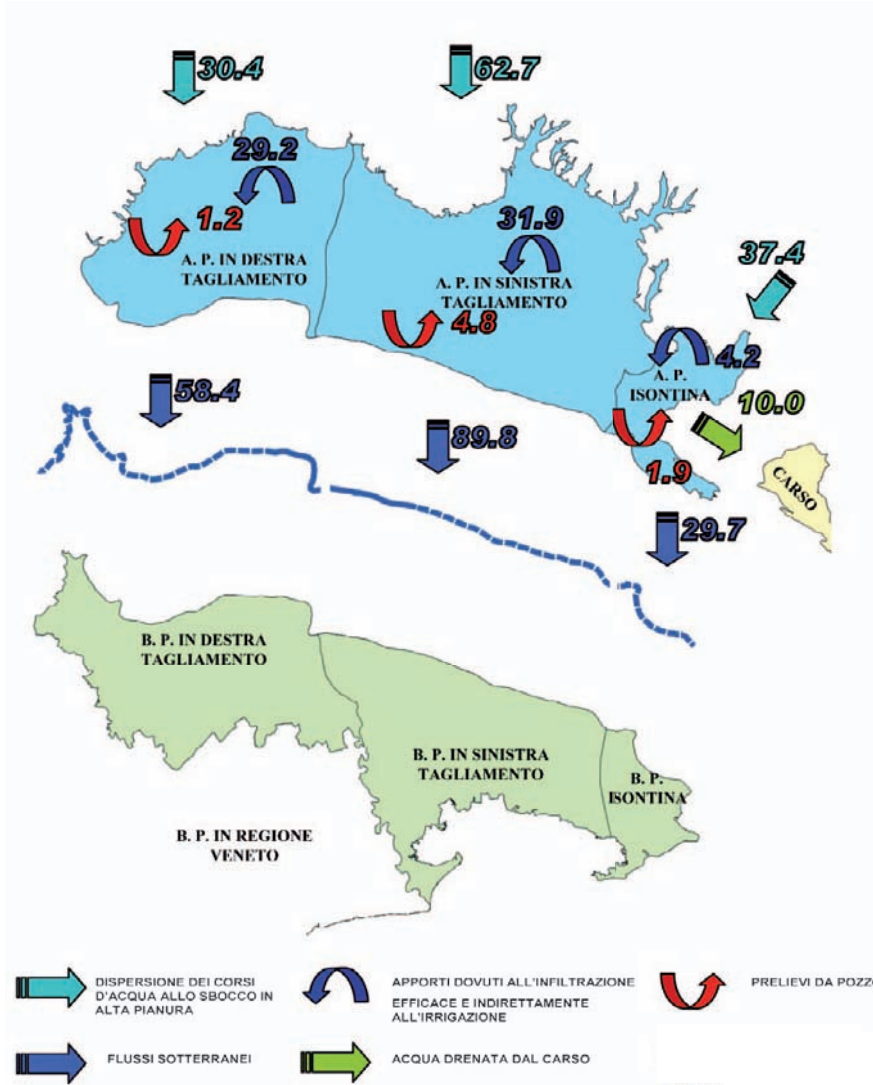
In questo macroareale, a fronte di un quantitativo di acqua medio annuo in ingresso pari a 94,6 m³/s (di cui 62,7 m³/s di ricarica montana locale e 31,9 m³/s di ricarica dovuta all'infiltrazione e alle pratiche irrigue), il prelievo è valutato in 4,8 m³/s. Tutto il rimanente (89,8 m³/s) va ad alimentare con 72,3 m³/s la Fascia delle Risorgive e con 17,5 m³/s i sistemi di acquiferi artesiani confinati della Bassa Pianura.

ALTA PIANURA ISONTINA

In questo macroareale, a fronte di un quantitativo di acqua medio annuo in ingresso pari a 41,6 m³/s (di cui 37,4 m³/s di ricarica montana locale e 4,2 m³/s di ricarica dovuta all'infiltrazione e alle pratiche irrigue), il prelievo è valutato in 1,9 m³/s. D'altro canto si deve tener conto che il rimanente (39,7 m³/s) va ad alimentare con 10 m³/s il Carso, con 16,0 m³/s la Fascia delle Risorgive e con 13,7 m³/s i sistemi di acquiferi artesiani della Bassa Pianura.

Alta Pianura	R_M = Ricarica dalla montagna	I = Infiltrazione	li = infiltrazione da pratiche irrigue	Prelievi in Alta Pianura	R_{AP} = Potenzialità Alta Pianura (ricarica totale)
Destra Tagliamento	30,4 m³/s	19 m³/s	10,2 m³/s	1,2 m³/s	58,4 m³/s
Sinistra Tagliamento	62,7 m³/s	27,2 m³/s	4,7 m³/s	4,8 m³/s	89,8 m³/s
Isontino (*)	37,4 m³/s	3,7 m³/s	0,5 m³/s	11,9 m³/s	29,7 m³/s
TOTALE	130,5 m³/s	49,9 m³/s	15,4 m³/s	7,9 m³/s	177,9 m³/s

(*) Per l'Alta Pianura isontina, nel quantitativo dei prelievi è incluso anche il drenaggio da parte del Carso (10,0 m³/s).



Bilancio idrogeologico della Pianura Friulana: nell'Alta Pianura alle risorse montane si sommano quelle legate alle infiltrazioni dovute alle precipitazioni e alle pratiche irrigue. A lato, in tabella: La ricarica totale: il contributo suppletivo totale di infiltrazione ed irrigazione è pari a circa il 50% della ricarica dalla montagna ed è quasi il 90% delle portate sottratte al deflusso dalla montagna per uso irriguo ed idroelettrico.

FASCIA DELLE RISORGIVE

Nel computo totale del bilancio, il valore di portata della Fascia delle Risorgive (134,2 m³/s) è stato suddiviso in tre settori: destra Tagliamento (45,9 m³/s), sinistra Tagliamento (72,3 m³/s) e isontino (16,0 m³/s).

BASSA PIANURA IN DESTRA TAGLIAMENTO

A fronte di un contributo locale di ricarica medio annuo dei sistemi di acquiferi artesiani proveniente dal settore a monte (R_{BPA}) pari a 12,5 m³/s, il prelievo (comprensivo del contributo veneto) è valutato in 31,7 m³/s. L'acqua prelevata dai sistemi di acquiferi artesiani è quindi 2,5 volte superiore al quantitativo del contributo di ricarica locale medio annuo. I prelievi eccedono la ricarica locale di 19,2 m³/s. Affinchè il sistema rimanga in equilibrio, è necessario un travaso laterale, cioè un'alimentazione sotterranea dai corpi idrici adiacenti, che compensi questo deficit.

Riguardo la falda freatica superficiale presente in Bassa Pianura, invece, il contributo delle precipitazioni e delle perdite di subalveo alla ricarica della stessa (R_{BPF}) è pari a 20,8 m³/s (calcolata tenendo conto anche dello scarico dei pozzi ad uso domestico) a fronte di un prelievo pari a 5,1 m³/s.

BASSA PIANURA IN SINISTRA TAGLIAMENTO

A fronte di un contributo di ricarica medio annuo dei sistemi di acquiferi artesiani (R_{BPA}) pari a 17,5 m³/s, il prelievo è valutato in 14,8 m³/s (comprensivo del contributo dell'areale in laguna).

L'acqua prelevata dai sistemi di acquiferi artesiani è quindi di poco inferiore (poco più di 2,7 m³/s) al contributo di ricarica locale. Dato però che nel bilancio locale vanno tenuti presenti i travasi verso la destra Tagliamento, bisogna ammettere che anche la sinistra Tagliamento è in sofferenza e che è la Pianura isontina a contribuire a sua volta ad alimentare anche la bassa sinistra Tagliamento.

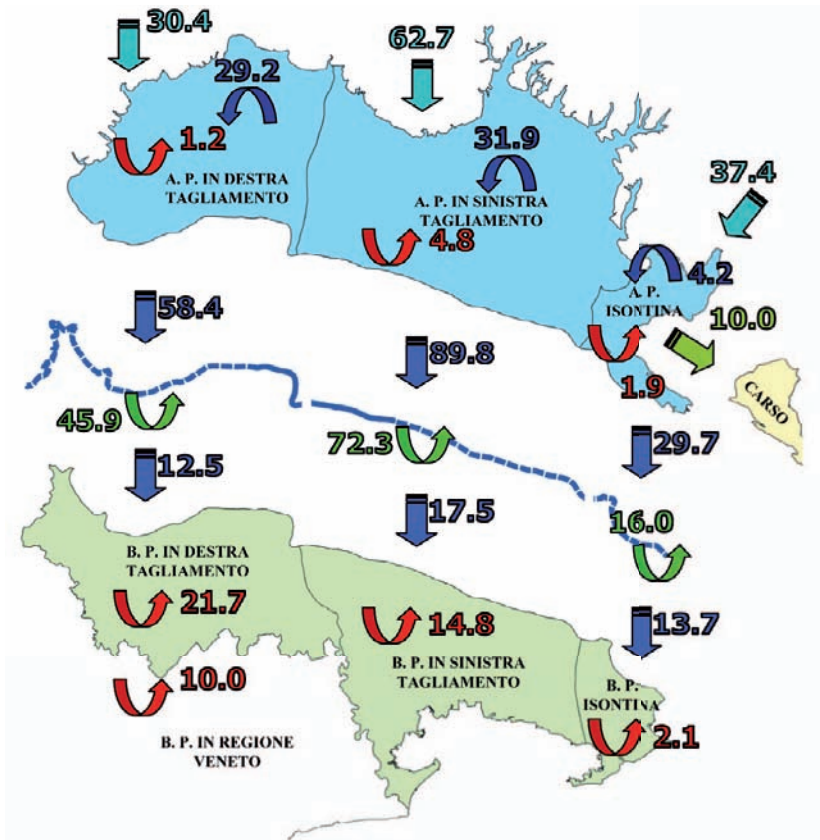
Riguardo la falda freatica superficiale presente in Bassa Pianura, invece, il contributo alla ricarica della stessa (R_{BPF}) è pari a 16,3 m³/s (calcolata tenendo conto anche dello scarico dei pozzi ad uso domestico) a fronte di un prelievo pari a 5,0 m³/s.

BASSA PIANURA ISONTINA

A fronte di un contributo di ricarica medio annuo dei sistemi di acquiferi artesiani (R_{BPA}) pari a 13,7 m³/s, il prelievo è valutato in 2,1 m³/s.

L'acqua prelevata nella Bassa Pianura isontina è ben inferiore (poco più di 11,6 m³/s) alla ricarica locale, ma vanno tenuti in conto i travasi, non quantificabili ma considerevoli, verso la sinistra Tagliamento.

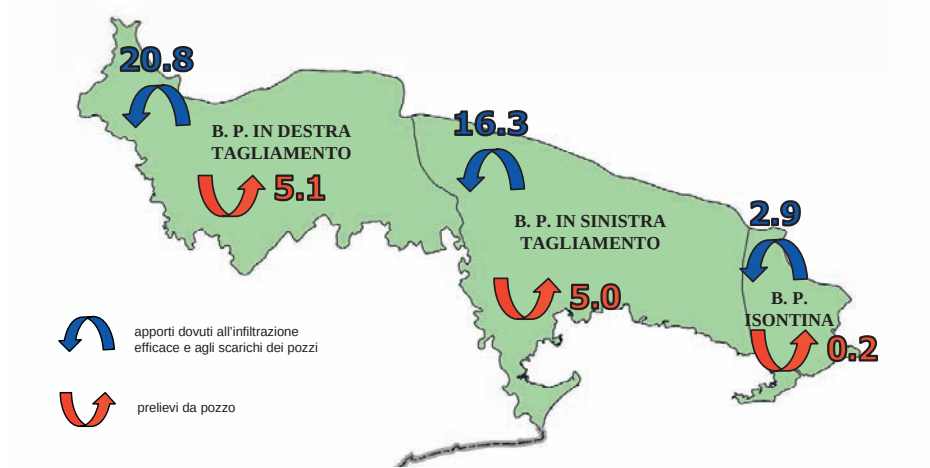
Bassa Pianura	R_{AP}	Q_S	R_{BPA}	Prelievi Bassa Pianura	$R_{BPA} - \text{Prelievi}$
Destra Tagliamento	58,4 m ³ /s	45,9 m ³ /s	12,5 m ³ /s	31,7 m ³ /s	- 19,2 m ³ /s
Sinistra Tagliamento	89,8 m ³ /s	72,3 m ³ /s	17,5 m ³ /s	14,8 m ³ /s	2,7 m ³ /s
Isonzo	29,7 m ³ /s	16 m ³ /s	13,7 m ³ /s	2,1 m ³ /s	11,6 m ³ /s
TOTALE	177,9 m ³ /s	134,2 m ³ /s	43,7 m ³ /s	48,6 m ³ /s	- 4,9 m ³ /s



- disposizione dei corsi d'acqua allo sbocco in Alta Pianura
- apporti dovuti all'infiltrazione efficace e indirettamente all'irrigazione
- prelievi da pozzi
- flussi sotterranei
- acqua drenata dal carso
- acqua drenata dalla fascia delle risorgive

Il contributo alla ricarica della falda freatica presente in Bassa Pianura (R_{BPF}) è pari a $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (calcolata tenendo conto anche dello scarico dei pozzi ad uso domestico) a fronte di un prelievo pari a $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ nella falda freatica.

Bassa Pianura	I = Infiltrazione Bassa Pianura	Scarichi da pozzi domestici in artesia non restituiti al reti- colo idrografico	R_{BPF} = ricarica falda freatica Bassa Pianura	Prelievi in Bassa Pinura
Destra Tagliamento	11,9 m^3/s	8,9 m^3/s	20,8 m^3/s	5,1 m^3/s
Sinistra Tagliamento	10,8 m^3/s	5,5 m^3/s	16,3 m^3/s	5,0 m^3/s
Isonzo	1,9 m^3/s	1,0 m^3/s	2,9 m^3/s	0,2 m^3/s
TOTALE	24,6 m^3/s	15,4 m^3/s	40,0 m^3/s	10,3 m^3/s



La ricarica della falda freatica della Bassa Pianura. I prelievi in Bassa Pianura sono solamente quelli dalla falda freatica.

Nella pagina precedente:

- tabella con i valori della ricarica potenziale (R_{BPA}) dei sistemi di acquiferi artesiani. I prelievi in Bassa Pianura sono solamente quelli dai sistemi di acquiferi confinati.
- bilancio idrogeologico della Pianura Friulana. Nella Bassa Pianura Friulana vengono prelevati ingenti quantitativi di acqua che indirettamente regolano le portate della Fascia delle Risorgive.

Sostenibilità dell'attuale utilizzo

La verifica della sostenibilità degli utilizzi deriva dalla congruità tra la ricarica e i prelievi in atto. Considerato che la portata delle risorgive non può ulteriormente diminuire, a meno di perdite di importanti ecosistemi, ne risulta che attualmente ci si trova in una situazione che potremmo definire di equilibrio limite tra ricarica e prelievi. In aggiunta a tutto ciò, bisogna tener conto che, in Regione, il regime dei prelievi è notevolmente disomogeneo. Ci sono territori in cui i prelievi sono sostenibili, altri che presentano situazioni critiche che vanno al più presto affrontate se si aspira a un futuro ecocompatibile, rispettoso tanto delle esigenze umane quanto di quelle della natura.

Il bilancio idrogeologico, a livello di macroareali, è stato lo strumento per evidenziare tali disomogeneità e mettere in luce le aree a maggior criticità. Va tenuto in considerazione, inoltre, il fatto che i prelievi non sono omogeneamente distribuiti nello spazio e nel tempo, per cui vi sono territori che sono solo occasionalmente vicini al limite della sostenibilità, altri che superano questo limite di quando in quando, altri ancora che lo hanno da tempo superato.

In particolare, si osserva sovrasfruttamento nella macroarea in destra Tagliamento, dove i consumi risultano decisamente sbilanciati rispetto alla ricarica potenziale. Gli ingenti prelievi idroelettrici ed irrigui dai bacini montani, via via aumentati nel tempo, determinano oggi una forte diminuzione della ricarica nell'Alta Pianura, con diretta ripercussione sull'alimentazione degli acquiferi artesiani della Bassa Pianura. Questo squilibrio è per il momento naturalmente compensato da un sempre maggiore richiamo delle acque freatiche ed artesiane dalla sinistra Tagliamento verso la destra. Fatto reso evidente dal bilancio idrogeologico schematico relativo ai singoli macroareali e confermato anche dalla distribuzione dei solfati (tracciante naturale delle acque del Tagliamento) e dei nitrati (diluizione da parte delle acque del Tagliamento) nei sistemi di acquiferi confinati (in particolare "A", "B", "C" e "D") che indicano l'effetto "richiamo" dovuto ai prelievi.

Tale situazione mette sotto pressione la sinistra Tagliamento, che, dal punto di vista quantitativo sarebbe di suo in semiequilibrio, in quanto i prelievi sono teoricamente compensati dalla ricarica. In verità il richiamo di acque verso la destra depaupera i quantitativi disponibili in sinistra.

Tale situazione di squilibrio, causa un sempre maggiore mescolamento fra acque appartenenti a sistemi di acquiferi differenti, con il richiamo delle acque di falda ed artesiane, con il richiamo nei sistemi di acquiferi profondi delle acque di quelli superficiali. Il drenaggio forzato esercitato dagli emungimenti provoca un esaurimento delle acque residenti e porta alla loro "accelerata" sostituzione con acque di neoinfiltrazione, che, per inciso, hanno qualità decisamente inferiore. Queste ultime sono infatti altamente vulnerabili e qualitativamente alterate dall'antropizzazione dell'Alta Pianura e della fascia pedemontana, in particolare da

nitrati ed erbicidi.

Ad aumentare ulteriormente il rischio di mescolamento delle acque profonde con quella degli acquiferi superficiali contribuisce anche il graduale aumento delle profondità dei nuovi pozzi terebrati e, quindi, del numero di sistemi di acquiferi potenzialmente interconnessi.

Tutto ciò significa un impoverimento dei sistemi artesiani non solo in termini quantitativi, ma anche qualitativi, fatto questo ancora più rilevante dato che l'acqua prelevata è in gran parte ad uso potabile.

Analisi sull'età delle acque [15] indicano che gran parte di quelle più profonde di 110 metri dal piano campagna (quelle contenute nei sistemi da "C" in poi) hanno età superiori ai 15.000 anni. Le acque profonde sono una risorsa di ottima qualità ma hanno un bassissimo ricambio naturale.

I "tempi di esaurimento" per i diversi sistemi di acquiferi, cioè il tempo necessario ad estrarre, con il ritmo di prelievo attuale, tutta l'acqua contenuta in essi se non vi fosse la ricarica, sono molto variabili, talora brevi. Il tempo di "esaurimento" calcolato è comunque sovrastimato, se si considera che il quantitativo d'acqua è stato valutato senza considerare la presenza di lenti impermeabili presenti all'interno dei sistemi di acquiferi.

Per i sistemi più superficiali ("A" e "B") il tempo di "esaurimento" varia da un minimo di 6 anni nel settore della Bassa Pianura in destra Tagliamento ad un massimo di 66 anni nella Bassa Pianura in sinistra Tagliamento.

Per il sistema "C", il tempo di "esaurimento" varia da un minimo di 51 anni nel settore della Bassa Pianura Centrale Orientale ad un massimo di 349 anni nella Bassa Pianura isontina.

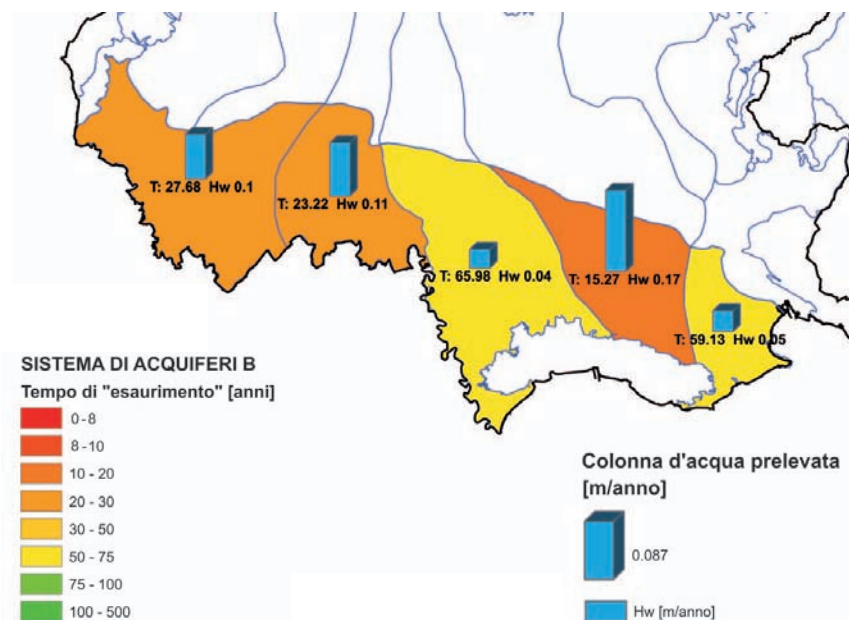
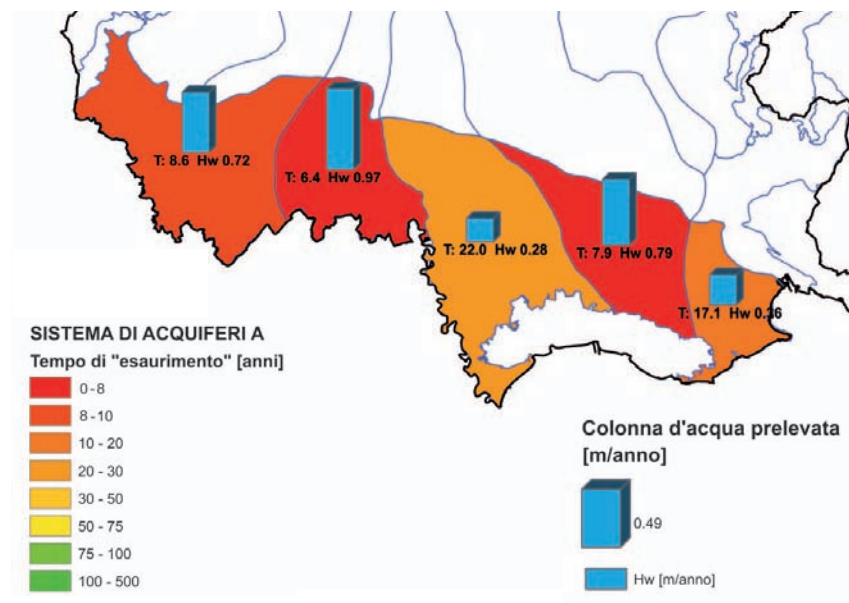
Per il sistema "D", il tempo di "esaurimento" varia da un minimo di 52 anni nel settore della Bassa Pianura pordenonese in destra Tagliamento ad un massimo di 197 anni nella Bassa Pianura isontina.

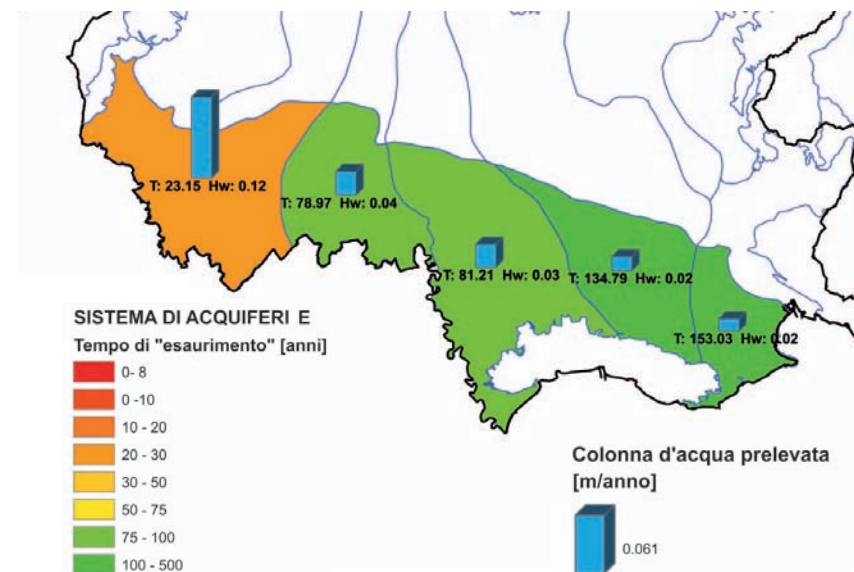
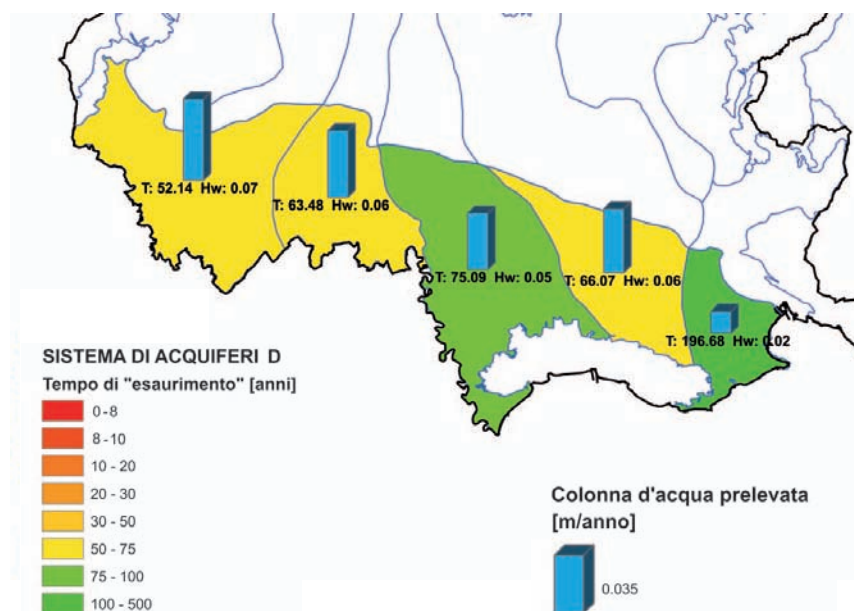
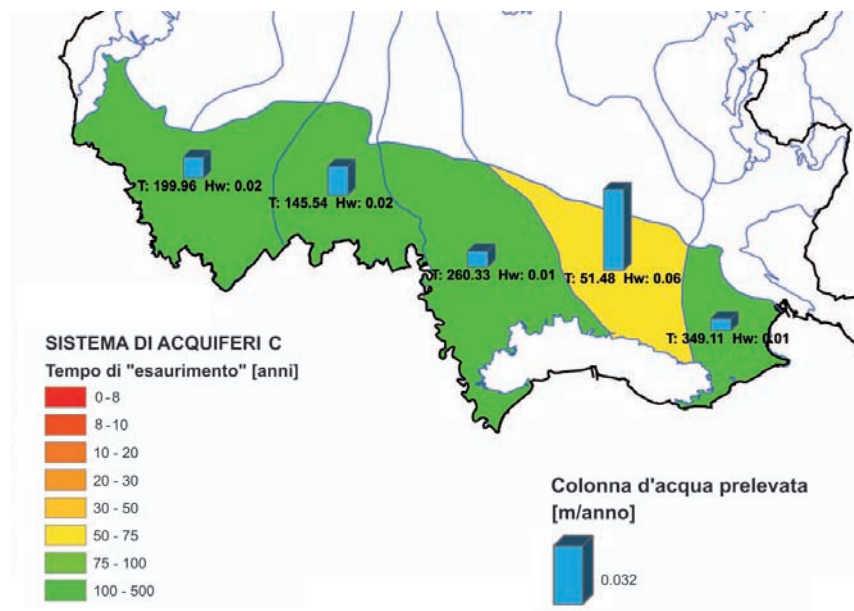
Per il sistema "E", il tempo di "esaurimento" varia da un minimo di 23 anni nel settore della Bassa Pianura pordenonese in destra Tagliamento ad un massimo di 153 anni nella Bassa Pianura isontina.

I sistemi di acquiferi sottostanti sono ancora poco utilizzati e di conseguenza i tempi di esaurimento aumentano notevolmente, ad esempio per il sistema "F" si hanno tempi medi di "esaurimento" di 274 anni.

Minori sono i tempi di esaurimento maggiore è la velocità di ricambio delle acque del sistema di acquiferi. Dato che l'alimentazione deriva principalmente dalle acque freatiche dell'Alta Pianura, che hanno qualità peggiori, si favorisce la depauperazione qualitativa delle acque profonde.

Qualsiasi pianificazione futura deve tener conto di tali dati cercando di proteggere e limitare l'utilizzo degli acquiferi non ancora vulnerati e con bassi tempi di "esaurimento".





- Tempo di "esaurimento": tempo di totale esaurimento della riserva d'acqua del sistema di acquiferi in caso di completa assenza di ricarica; corrisponde a $H_w \text{ acquifero} / H_w \text{ prelevata}$.
- $H_w \text{ acquifero}$: altezza netta media della colonna d'acqua contenuta nei sistemi di acquiferi corrispondenti, ovvero il prodotto fra lo spessore medio del sistema d'acquiferi e la porosità efficace.
- $H_w \text{ prelevata}$: prelievo espresso in termini di altezza di colonna d'acqua (metri) consumata in un anno in riferimento all'areale corrispondente.

SISTEMI DI ACQUIFERI	Hw ACQUIFERO	Hw PRELEVATA	"TEMPO DI ESAURIMENTO"
	[m]	[m/anno]	[anni]
A	6,2	0,6127	10
B	2,7	0,0917	29
C	3,3	0,0237	139
D	3,7	0,0543	68
E	2,8	0,0545	51
F	3,4	0,0124	274
G	2,2	0,0072	307
H _{alto}	2,7	0,0015	1784
H _{basso}	2,9	0,0030	970

Altezza media della colonna d'acqua contenuta nei sistemi di acquiferi, altezza prelevata e tempo di "esaurimento".



Pozzo della fattoria didattica del biotopo naturale regionale delle risorgive di Zarnicco (Comune di Rivignano).

LINEE GUIDA PER LA PROGRAMMAZIONE DEGLI UTILIZZI DELLA RISORSA ACQUA

Bilancio idrogeologico e relativo equilibrio

Le linee guida qui proposte sono un insieme di suggerimenti/direttive/indirizzi volti ad assicurare l'equilibrio del bilancio idrogeologico tenendo conto dei fabbisogni, delle disponibilità, della quantità d'acqua necessaria ai corsi d'acqua per un minimo vitale, delle capacità di ravvenamento delle falde, delle destinazioni d'uso delle risorse compatibili con le loro caratteristiche qualitative e quantitative.

Definire il bilancio idrogeologico ha significato valutare gli afflussi e i deflussi, le portate dei corsi d'acqua, la posizione e l'andamento della superficie piezometrica delle falde, i prelievi per i diversi utilizzi e la qualità delle risorse idriche.

Solo così è possibile analizzare la sostenibilità del sistema, le cui risorse devono essere preservate e gestite in modo tale da rendere compatibili le esigenze di sfruttamento con quelle di tutela quantitativa e qualitativa.

L'utilizzo dei sistemi di acquiferi artesiani è a livelli di guardia, se non di allarme, specie nel pordenonese.

Non è il caso di ignorare che il modello di utilizzo delle acque oggi crea disequilibri in termini di bilancio delle risorse idriche. È opportuno ricorrere quanto prima a provvedimenti finalizzati alla protezione e al ripristino, almeno parziale, della potenzialità dei corpi idrici sotterranei.

Gli interventi per assicurare un maggior equilibrio tra prelievi e disponibilità della risorsa idrica, consistono in misure volte all'incremento della ricarica, alla riduzione dei prelievi, alla conservazione, se non al miglioramento, della qualità della risorsa idrica. Un tanto, oltre a riequilibrare il bilancio ed avere ripercussioni positive in termini sia quantitativi sia qualitativi delle acque, contribuirà a mitigare anche alcuni fenomeni correlati quali la subsidenza antropica e l'ingressione delle acque marine.

Nondimeno, per una sempre più mirata pianificazione, è indispensabile proseguire nell'acquisizione di dati, ampliare gli interventi di monitoraggio e promuovere attività atte al progresso delle conoscenze.

Misure volte all'incremento della ricarica

Considerato il manifesto deficit che comporta il generale impoverimento delle falde freatiche ed artesiane, particolarmente importante nel sottosuolo della Pianura in destra Tagliamento, si auspica che venga rilasciato un quantitativo di acqua congruo dagli invasi montani, in particolare da quelli siti nella fascia pedemontana e i cui sbarramenti sono immediatamente a monte degli sbocchi

fluviali nella Pianura, al fine di incrementare la ricarica dei sistemi di acquiferi attualmente in sofferenza. Lo sbilancio è infatti imputabile, oltre che ai prelievi da pozzo, ai prelievi per le derivazioni idroelettriche ed irrigue effettuati sui corsi d'acqua montani.

Accanto alle misure di contenimento dei prelievi sono da attivare interventi mirati al ravvenamento artificiale dei sistemi di acquiferi.

Misure volte alla riduzione dei consumi

Congiuntamente alle misure di ravvenamento dei sistemi di acquiferi è opportuno promuovere azioni che tendano alla razionalizzazione degli utilizzi ed al "risparmio" della risorsa.

Ciò vale specialmente per i prelievi effettuati nei sistemi confinati. Gli usi prevalenti nei sistemi di acquiferi artesiani della Bassa Pianura sono, nell'ordine, l'uso domestico ($30 \text{ m}^3/\text{s}$), ittigenico (quasi $5 \text{ m}^3/\text{s}$), potabile del comparto acquedottistico (più di $1 \text{ m}^3/\text{s}$), industriale (quasi $1 \text{ m}^3/\text{s}$), geotermico (circa $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$), irriguo (circa $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) e igienico (poco più di $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$).

È importante intervenire nel campo dell'uso domestico anche per mezzo di semplici interventi poco onerosi, al fine di ottenere il maggior risparmio con il minimo sforzo. Evidente è lo spreco di risorsa imputabile alla non controllata risalienza naturale delle acque artesiane. Questo tipo di prelievo costituisce una frazione più che consistente (circa il 50%) del volume complessivamente emunto dalle acque sotterranee e supera da 4 a 7 volte il quantitativo immesso nelle reti del solo comparto acquedottistico ($4,5 \text{ m}^3/\text{s}$).

Se le fontane e i lavatoi della Bassa Pianura fanno parte da sempre del paesaggio e della cultura del nostro territorio, così come le fontanelle private, si sente la necessità di una profonda riflessione sulla sostenibilità di questi usi e di come essi si siano evoluti nel tempo. Un conto è, infatti, affermare il diritto previsto dall'art. 93 del R.D. n. 1775/1933, tutt'altro è pretendere il riconoscimento dello sperpero di risorsa che viene fatto attraverso questi prelievi a getto continuo. Si consideri che, a fronte di un fabbisogno medio giornaliero d'acqua pro capite generalmente stimato in Europa pari a 250 litri, risulta che ogni abitante che nel Friuli Venezia Giulia fa ricorso a pozzo domestico artesiano consuma ben 17.937 litri al giorno, cioè 72 volte le reali necessità!

Pertanto, ai fini del risparmio e della tutela quantitativa e qualitativa della risorsa idrica sotterranea, si auspica che ciascun pozzo artesiano a risalianza naturale venga dotato quanto prima di un qualsiasi dispositivo di regolazione (a saracinesca, con flangia riduttrice, a valvola) atto a impedire l'esercizio a getto continuo o, perlomeno, a ridurne la portata.

Si pensi che se, ad esempio, fosse applicata a tutti i pozzi domestici una riduzione di portata fluente massima da 0,8 (attuale stimata) a 0,1 l/s, si potrebbe ottenere un "risparmio" di risorsa di quasi 27 m³/s, il che corrisponderebbe a risparmiare più della metà dei consumi complessivi attuali provenienti dai sistemi di acquiferi confinati della Bassa Pianura (incluso la laguna e la parte di pianura veneta del portogruarese).

Le azioni per invertire l'attuale tendenza dovranno quindi agire contemporaneamente su più fronti:

- sulla riduzione del prelievo dai sistemi di acquiferi artesiani,
- sulla ricarica nell'Alta Pianura tramite il rilascio di un congruo quantitativo di acqua dagli invasi montani (in particolare del pordenonese),
- sulla razionalizzazione dei consumi.

Prelievi dai soli sistemi di acquiferi artesiani della Bassa Pianura (tutti gli usi)	Scenario attuale con portata domestici artesiani a 0,8 l/s	Scenario con portata domestici artesiani a 0,1 l/s
Destra Tagliamento	31,7 m³/s	16,1 m³/s
Sinistra Tagliamento	14,8 m³/s	5,2 m³/s
Isontino	2,1 m³/s	0,4 m³/s

Scenario attuale e scenario auspicato dei prelievi complessivi dai sistemi di acquiferi confinati nella Bassa Pianura Friulana (comprensivi di quelli in laguna e nel veneto portogruarese).

In quest'ottica, si vuole anche sfatare il luogo comune che vede nella presenza del rubinetto un possibile rischio di intasamento del pozzo: i dispositivi di regolazione oggi in commercio non limitano la funzionalità del pozzo e non ne riducono l'efficienza, anzi portano a un notevole risparmio della risorsa e a un aumento di pressione all'interno dell'acquifero, a tutto vantaggio dell'utente. Anche il tanto paventato "colpo di ariete" dato al pozzo o all'autoclave, è un fenomeno facilmente eludibile tramite chiusura graduale e controllata o l'utilizzo di apposite valvole.

Relativamente agli impianti ittigenici, emblematico è il caso di quelli situati lungo i fiumi di risorgiva della Bassa Pianura: essi sono nati, infatti, sfruttando l'abbondanza e l'ottima qualità delle acque risorgenti. Negli anni la portata di questi corsi d'acqua si è parzialmente ridotta e si è avuto un peggioramento qualitativo: ciò ha indotto i gestori degli impianti ittigenici a ricorrere alla terebrazione di pozzi per compensare il calo di portata e il decadimento di qualità. Ad oggi il prelievo da falda nella Bassa Pianura per l'uso ittigenico è pari a 9,8 m³/s, di cui 4,8 m³/s dalla falda freatica e 5 m³/s dai sistemi confinati, per un totale di 460 punti di emunzione, di cui 125 interessanti le falde profonde ("C" e sottostanti) per una portata complessiva di 2,7 m³/s mediante getto continuo. In media sono stati costruiti ben 7 pozzi per impianto: appare necessaria una razionalizzazione dell'uso dell'acqua mediante il ricorso obbligatorio a tecniche di gestione degli impianti improntate sul risparmio idrico e su riduttori della portata emunta, in modo tale da limitare il prelievo al fabbisogno reale. Riguardo l'uso potabile (comparto acquedottistico) un risparmio è ottenibile riducendo le portate emunte mediante la riduzione delle perdite da rete (intervento tuttavia ad alto rapporto costi/benefici immediati), mentre per l'uso industriale un significativo risparmio verrebbe dal miglioramento dell'efficienza dei processi produttivi e ricorrendo al riutilizzo dei reflui depurati laddove lo consenta la qualità dell'acqua dopo l'utilizzo.

In riferimento all'uso geotermico (acqua prelevata con temperatura superiore a 15°C e destinata al riscaldamento per fini domestici, agricoli, industriali e turistici) si è constatato che la re-immissione in falda, tramite sistema a doppietto, è quasi sempre disattesa. Questa, infatti, dato che non sono ancora previste forme di incentivazione, è operazione antieconomica a causa della profondità e della pressione dei sistemi di acquiferi geotermici. Il ricorso a sistemi a doppietto, con pozzo di re-iniezione, consentirebbe una notevole riduzione dell'impatto quantitativo dovuto a questa tipologia di prelievi che, tra l'altro, interessano proprio quei sistemi di acquiferi più profondi che necessitano di maggior tutela. In alternativa si suggerisce almeno l'incentivazione al riutilizzo per altri scopi delle acque prelevate a fini geotermici. Fermo restando che per i pozzi che attingono da falde carsiche, interessanti cioè le rocce carbonatiche, la re-iniezione è già obbligatoria.

Riguardo la pressione sulle acque profonde esercitata dal settore agricolo, va fortunatamente riconosciuto che la maggior parte dei prelievi in Bassa Pianura avviene dalle acque della falda freatica superficiale. I Consorzi di Bonifica, inoltre, si stanno da tempo adoperando per promuovere tecniche di irrigazione più efficienti: il passaggio da modalità a scorrimento a modalità ad aspersione è un buon punto di partenza che va incentivato. Poco ancora invece si è fatto per sensibilizzare l'agricoltore verso la scelta di colture meno idroesigenti e verso un utilizzo più

consapevole della risorsa idrica; in questo senso potrebbe essere d'aiuto passare dal sistema a turnazione fissa a quello a domanda. Un contributo potrebbe venire dalla disincentivazione all'utilizzo di pozzi privati per l'irrigazione di vaste superfici, specialmente se finalizzati all'uso dei cosiddetti "rotoloni semoventi per l'irrigazione": si tratta di impianti che richiedono il prelievo di portate molto elevate per singola entità (da 20 fino a 90 l/s) e le cui acque provengono da pozzi terebrati anche in falde artesiane.

L'acqua risparmiata grazie all'aumentata efficienza degli impianti dovrebbe essere opportunamente "reinvestita", con lo scopo sia di migliorare lo stato ecologico dei corsi d'acqua sia di riequilibrare il bilancio delle risorse idriche.

Misure volte alla conservazione della qualità della risorsa

E' opportuno, se non indispensabile, promuovere azioni volte a mantenere la qualità delle acque contenute negli acquiferi, in particolare in quelli profondi. Proprio perché si sta registrando un continuo decadimento della qualità delle acque di falda, risulta necessario agire per la salvaguardia, con un'attenzione particolare ai quei sistemi di acquiferi profondi non ancora contaminati che sono strategici per gli sviluppi socio-economici futuri della nostra Regione.

La consapevole e condivisa gestione delle risorse deve spingere ad utilizzare per scopi irrigui, industriali, ittigenici, igienico-sanitari e energetici le falde più superficiali (freatica di Bassa Pianura, sistemi di acquiferi "A" e "B") che già oggi presentano minor qualità e sono maggiormente vulnerate e vulnerabili e caratterizzate da bassi tempi di "esaurimento" (10 anni per la "A" e 29 anni per la "B", stime medie su tutta la Bassa Pianura).

I sistemi di acquiferi più profondi, di ottima qualità, dovrebbero essere invece riservati agli altri usi e, nello specifico, la "C" all'uso domestico e gli altri a scopi acquedottistici potabili e, laddove vi sia flusso di calore d'interesse, geotermici.

Devono essere minimizzati i rischi di miscelazione di acque appartenenti ad acquiferi differenti, sia durante le operazioni di terebrazione di nuovi pozzi sia durante la fase di esercizio.

La gestione a livello regionale deve tenere conto che lo sfruttamento e la degradazione della qualità delle acque superficiali e profonde dell'Alta Pianura, condizionano direttamente e pesantemente, la quantità e la qualità delle acque di risorgiva e di quelle contenute nei sistemi di acquiferi artesiani.

Sarebbe opportuno che vengano rese obbligatorie, ogni qual volta si apra un nuovo impianto, a tutela della salute pubblica, analisi delle acque presso laboratori certificati comprensive almeno dei parametri di base: pH, conducibilità, ossigeno disciolto, durezza, cloruri, nitrati, solfati, ione ammonio, ferro, manganese, pesticidi, coliformi fecali e totali e streptococchi fecali (i primi tre preferibilmente determinati in situ tramite strumentazione portatile).

Misure per il controllo della sostenibilità e il progresso delle conoscenze

La sostenibilità degli emungimenti si basa sul bilancio idrogeologico ed è sull'equilibrio del bilancio che tutte le iniziative in merito alla pianificazione delle acque dovranno sempre basarsi, anche in futuro.

Lo strumento "bilancio idrogeologico" sarà tanto più preciso ed indicativo quanto maggiori saranno il numero e l'accuratezza dei dati di input utili alla stima dei prelievi e alla conoscenza dei sistemi di acquiferi, in particolare dei dati relativi a pluviometrie, portate, freaticimetrie, piezometrie, caratteristiche litostratigrafiche ed idrogeologiche del sottosuolo.

Le reti di monitoraggio presenti in Regione sono state l'indispensabile supporto per la realizzazione del bilancio idrogeologico così come oggi illustrato. Si evidenzia al riguardo tuttavia una carenza di dati utili territorialmente ben distribuiti: bisogna intervenire per incrementare la rete di monitoraggio delle portate dei fiumi (in particolare di quelli di risorgiva) e per creare la rete di monitoraggio delle piezometrie e della risalienza dei diversi sistemi di acquiferi artesiani della Bassa Pianura.

Per quanto concerne i prelievi, si è visto come quelli da pozzo costituiscano l'elemento di regolazione forzata del flusso idrico nei sistemi di acquiferi in pressione in assoluto più rilevante. Le informazioni attualmente disponibili riguardo i pozzi, seppur sufficienti, non sono ancora in grado di offrire un quadro delle conoscenze del tutto esaustivo, specialmente per quanto riguarda i pozzi adibiti ad uso domestico, in quanto la segnalazione dell'esistenza dei pozzi prevista dall'art. 10 del Decreto Legislativo n°275 del 12/07/1993 da parte dei privati è rimasta in certa misura disattesa.

Si vuole ribadire quindi la necessità, se non il dovere, di investire maggiori risorse per la conoscenza più approfondita dello stato di qualità e quantità delle acque ipogee. Ciò può essere attuato anche attraverso la promozione di campagne di monitoraggio svolte a tappeto sul territorio regionale. Esse, nel caso specifico dei pozzi domestici situati nella Bassa Pianura, consentirebbero di definire più

accuratamente il loro numero e la loro distribuzione sul territorio, l'entità della risalienza, la presenza o meno di zampillamento e di dispositivi di regolazione delle portate, i quantitativi d'acqua effettivamente prelevati ovvero i consumi reali.

Per quanto riguarda i diversi sistemi di acquiferi presenti nel sottosuolo, la ricostruzione della loro distribuzione spaziale ha raggiunto, con il presente lavoro, un buon livello di dettaglio, migliorabile in futuro disponendo di dati litostratigrafici provenienti da nuove terebrazioni.

Non si può affermare, invece, che la conoscenza dei parametri idrogeologici di base

dei sistemi di acquiferi, quali trasmissività, conducibilità idraulica e coefficiente di immagazzinamento sia sufficiente. Si tratta di parametri senza i quali non si possono valutare correttamente i meccanismi di flusso sotterraneo e le potenzialità delle risorse e delle riserve idriche. Per ovviare a questa carenza informativa, si ritiene indispensabile l'esecuzione di una serie di prove di acquifero (a portata costante con pozzo di prova e più piezometri di controllo, le uniche in grado di fornire parametri idraulici di acquifero accurati) e, in seconda scelta, prove di risalita (col solo pozzo di prova e misure in risalita), analisi di sensitività (codice di calcolo Q_{spec}), Slug Test e Bail Test.

Voci richiamate

- [1] Stefanini S., Cucchi F. (1977) - Gli acquiferi nel sottosuolo della Provincia di Udine. Quaderni dell'Istituto Ricerca sulle Acque, vol.34 (6), pp. 131-147.
- [2] Wackernagel H. (2001) – Multivariate geostatistics. In El-Shaarawi A., Piegorsch W. (eds) *Enciclopedia of Environmetrics*, vol. 3, pp.1344-1347, Wiley, Chischester.
- [3] DICA, DiSGAM e OGS (2004) - Realizzazione della Carta Geologico-Tecnica della risorsa geotermica regionale (Convenzione 8443, D.D. 24/11/2004). Rapporto finale. Committente: Servizio geologico RAFVG; pp.275.
- [4] ARPA - OSMER (2008) - Atlante climatico del Friuli Venezia Giulia: 1. Precipitazioni, pp.42, published on line in www.meteo.fvg.it
- [5] Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998) - Evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (www.fao.org/docreo).
- [6] Kannan N., Santhi C., Williams J.R., Arnold J.G. (2007) - Development of a continuous soil moisture accounting procedure for curve number methodology and its behaviour with different evapotranspiration method. *Hydrological Processes* (published online in www.interscience.wiley.com).
- [7] DiSGAM (2001) - Relazione illustrativa dei modelli idrogeologici delle zone montane e di pianura dei bacini dei fiumi Isonzo, Tagliamento e Livenza. Rapporto interno. Università degli studi di Trieste.
- [8] GEOS s.n.c. di Trieste (1989) - Studio per la realizzazione del Catasto regionale dei pozzi per acqua e delle perforazioni eseguite nelle alluvioni quaternarie e nei depositi sciolti del Friuli-Venezia Giulia. Relazione. Reg. Aut. F.-V.G., Dir. Reg. Ambiente, Rapporto interno.
- [9] GEOS s.n.c. di Trieste (1994) - Censimento dei pozzi per l'approvvigionamento idrico ad uso privato nei comuni di Fiume Veneto, Pordenone e Zoppola. Relazione. Reg. Aut. F.-V.G., Dir. Reg. Ambiente, Rapporto interno.
- [10] Martelli G., Granati C. (2006) - The confined aquifer system of Friuli Plain (North Eastern Italy): analysis of sustainable groundwater use. *Giornale di Geologia Applicata* 3 (2006), pp. 59-67.
- [11] Martelli G., Granati C. (2007) - Valutazione della ricarica del sistema acquifero della bassa pianura friulana. *Giornale di Geologia Applicata* 5 (2007), pp. 89-114.
- [12] Martelli G., Granati C., Roda C. (2007) - Criteri per la realizzazione di una rete di monitoraggio quantitativo e sperimentazione. *Mem. Descr. Carta Geol. d'It. LXXV* (2007), pp.23-85.
- [13] Martelli G., Granati C. (2007) – Lithostratigraphical and Hydrogeological Characteristics of the Aquifers of the Low Friuli Plain and Sustainability of Groundwater Extractions. *Mem. Descr. Carta Geol. d'It. LXXVI* (2007), pp. 241-266.
- [14] Consorzio di Bonifica Ledra-Tagliamento (1982) - Studio per la determinazione del bilancio idrologico dell'alta pianura friulana compresa tra i fiumi Isonzo e Tagliamento. Relazione. Reg. Aut. F.-V.G., Dir. Reg. LLPP, Consorzio Ledra-Tagliamento, Rapporto interno: 140 pp .
- [15] Cucchi F., Franceschini G., Zini L. (2008) - Hydrogeochemical investigations and groundwater provinces of the Friuli Venezia Giulia plain aquifers, Northeastern Italy, *Environmental Geology* 55, pp. 985–999.

Bibliografia essenziale

ANTONELLI R., BORTOLAMI G. C., BRAGA G., DAL PRÀ A., FRANCANI V., FRANCAVILLA F., GIULIANO G., MANFREDINI M., PELLEGRINI M., PETRUCCI F., POZZI R., STEFANINI S. (1981) - Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana. Contributi tematici per la conoscenza della idrogeologia Padana. In: Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana, Quaderno I.R.S.A., Roma, III, 51 (II), parte II, 5-70 / fig. 8.

BERLASSO G., CUCCHI F. (1992) - Caratteristiche geologiche e strutturali della bassa pianura isontina (Friuli-Venezia Giulia). Rend. Soc. Geol. It., Roma, 14, 13-16, fig. 2.

BERLASSO G., CUCCHI F., GIACOMICHI R., MOSCA R., PADOAN G., REISENHOFER E., TOFFUL C., VASCOTTO P. (1989) - Studio delle anomalie geotermiche della Bassa Pianura Friulana. Rilievo di superficie e censimento dei pozzi d'acqua calda. Relazione finale. O.G.S., Trieste, RAFVG.

BRAMBATI A., CARULLI G. B., CUCCHI F., GIORGETTI F., LONGO SALVADOR G., MAROCCO R., ONOFRI R., STEFANINI S., ULCIGRAI F. (1996) - Gli aspetti fisici del territorio regionale. Elementi e metodologie per gli strumenti di pianificazione. RAFVG, Ass. Pianificazione Territoriale, pp. 147, fig. 14, tab. 10, tav. 6.

BRANDOLIN D., GIORGETTI F. (1996) - Idrogeologia dell'estremo lembo orientale della pianura friulana. Boll. Soc. Adr. Sci. Nat., Trieste, LXXIII, fig. 5.

CALLIGARIS C., ZINI L., TREU F., IERVOLINO D., LIPPI F. e CUCCHI F. (2010) - Water sustainability in the Friuli Venezia Giulia Plain. In proceedings of: 85° Congresso Nazionale della società Geologica Italiana, 6-8 Settembre 2010, Pisa, Italia.; pp. 157-158.

CALLIGARIS C., CUCCHI F., DEANA A., TREU F., ZAVAGNO E., ZINI L., IERVOLINO D. and LIPPI F. (2010) - Water hydrogeological balance in the FVG Plain. In proceedings of HydroPredict2010: 20-23 September 2010, Prague, Czech Republic, p.68.

CALORE C., DELLA VEDOVA B., GRASSI S., MARSON I., NICOLICH R., SQUARCI P. (1995) - A hydrothermal system along the coastal area of Friuli-Venezia Giulia region (NE Italy). In proceeding of: World Geothermal Congress, Firenze, 2, 1269-1274, fig. 15, tab. 2.

CARULLI G. B. et AL., (2006) - Carta geologica del Friuli Venezia Giulia. Scala 1:150000. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Regionale Ambiente e Lavori Pubblici, Servizio Geologico Regionale. S.E.L.C.A., Firenze.

CARULLI G.B., CAROBENE L., CAVALLIN A., MARTINIS B., ONOFRI R., CUCCHI F., VAIA F. (1980) - Evoluzione strutturale Plio-Quaternaria del Friuli e della Venezia Giulia. Contributi alla Carta Neotettonica d'Italia. Pubbl. n°356, P.F. Geodinamica, C.N.R., 488-545.

CASTELLARIN A., NICOLICH R., FANTONI R., CANTELLI L., SELLA M., SELLI L. (2006) - Structure of the lithosphere beneath the Eastern Alps (Southern sector of the TRANSALP transect). Tectonophysics, 414, 259-282.

CUCCHI F., FRANCESCHINI G., ZINI L. (2008) - Hydrogeology and Geochemistry of the Friuli Venezia Giulia Plain Alluvial Aquifers, Northeastern Italy. In: Groundwater: Modelling, Management..., Ed. L.F. Konig & J.L. Weiss, pp 231-257, Nova Science Publishers, Inc., ISBN: 978-1-60456-832-5.

CUCCHI F., MASSARI G., OBERTI S. (1999) - Il chimismo delle falde freatiche e artesiane della pianura friulana. Quaderno del Museo Carsico Geologico e Paleontologico, 7, 3-20.

CUCCHI F., PIANO C. (2000) - Studi per una carta idrogeologica del Friuli Venezia Giulia. Gruppo nazionale per la difesa delle catastrofi idrogeologiche del CNR U.O. 4.7.

D'AMBROSI C. & MOSETTI F. (1962) - Contributo alla conoscenza della piana isontina in sinistra del basso Isonzo. Boll. Geof. Teor. Appl., 4(13), 16-36.

D'AMELIO L., FLORA O., LONGINELLI A. (2006) - Environmental isotope data: oxygen isotope concentration in precipitation in N-E Italy (Friuli-Venezia Giulia). Miner Petrogr. Acta 37, 113-124.

D'AMBROSI C., MOSETTI F. (1962) - Contributo alla conoscenza della geoidrologia della piana isontina in sinistra del basso Isonzo. Boll. Geof. Teor. Appl., Trieste, IV, 16-36.

DELLA VEDOVA B. & BRANCOLINI G. (2002) - Studio preliminare degli acquiferi profondi della Bassa Pianura friulana. Rapporto Tecnico-Scientifico, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Regionale dell'Ambiente, Servizio Geologico, 51 pp.

DELLA VEDOVA B. (1999) - Caratterizzazione dell'area geotermica della Bassa Pianura Friulana. Potenzialità geotermiche della bassa pianura friulana: stato dell'arte e proposte operative, Atti Regione Friuli Venezia Giulia - Università, Trieste.

DELLA VEDOVA B., MARSON I., NICOLICH R., BELLANI S., CALORE C., GRASSI S., SQUARCI P., PERUSINI P. (1994) - Valutazione di dettaglio delle strutture profonde nella Bassa Pianura Friulana. Inventario delle risorse geotermiche nazionali, Rapporto Ministero dell'Industria e dell'Artigianato, STAR, C.N.R., 40 pp.

DELLA VEDOVA B., MARSON I., NICOLICH R., TROCCA C. (1999) - Potenzialità e sfruttamento dell'energia geotermica della bassa pianura friulana. Università degli Studi di Trieste, D.I.N.M.A. (Dipart. Ingegneria navale, del Mare e per l'Ambiente), Trieste.

DIPARTIMENTO DI SCIENZE GEOLOGICHE, AMBIENTALI E MARINE (2001) - Relazione illustrativa sul modello idrogeologico delle zone montane e di pianura dei bacini dei fiumi Isonzo, Tagliamento e Livenza. Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta - Bacchiglione. Rapporto interno. Università degli studi di Trieste.

DiGEO e DICA (2010) - Accordo per lo studio sugli acquiferi regionali finalizzato anche alla definizione di Linee Guida per il corretto e compatibile utilizzo delle loro acque: Rapporto interno. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia; pp.213.

GEOS s.n.c. di Trieste (1989) - Studio per la realizzazione del Catasto regionale dei pozzi per acqua e delle perforazioni eseguite nelle alluvioni

quaternarie e nei depositi sciolti del Friuli-Venezia Giulia. Relazione. Reg. Aut. F.-V.G., Dir. Reg. Ambiente, Rapporto interno.

GEOS s.n.c. di Trieste (1994) - Censimento dei pozzi per l'approvvigionamento idrico ad uso privato nei comuni di Fiume Veneto, Pordenone e Zoppola. Relazione. Reg. Aut. F.-V.G., Dir. Reg. Ambiente, Rapporto interno.

GIORGETTI F., STEFANINI S. (1989) - Vulnerabilità degli acquiferi del Campo di Osoppo-Gemona all'inquinamento (Provincia di Udine), Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 11 Tav., Trieste.

GIORGETTI F., STEFANINI S. (1989) - Composizione e provenienza delle acque di risorgiva del Campo di Osoppo-Gemona e della piana di Artegna-Buia (Provincia di Udine); Gortania, 11, pp. 39-62.

GIORGETTI F., STEFANINI S., RIGHINI M. (1994) - Risorse idropotabili integrative, sostitutive e di emergenza nella Provincia di Udine, Quaderni di geologia applicata, 2, 849, 77-96 tab. 3, fig. 4, tav. 1 Pitagora Editrice, Bologna.

GRANATI C., MARTELLI G., RODA C. (2000) - Valutazione preliminare del volume d'acqua estratta annualmente in Provincia di Udine dal sottosuolo della Bassa Pianura Friulana. IGEA (Ingegneria e Geologia degli Acquiferi); 15, 13-26.

LONGINELLI A., ANGLESIO E., FLORA O., IACUMIN P. e SELMO E. (2006) - Isotopic composition of precipitation in Northern Italy: Reverse effect of anomalous climatic events. Journal of Hydrology 329, 471-476.

LONGINELLI A., SELMO E. (2003) - Isotopic composition of precipitation

in Italy: a first overall map. Journal of Hydrology 270, 75-88.

MARI G.M. (2007) - Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia: Progetto per il monitoraggio degli acquiferi della bassa pianura friulana in Provincia di Udine; Vol.LXXV; pp.81

MAROCCO R. (1989) - Evoluzione quaternaria della Laguna di Marano (Friuli-Venezia Giulia). Il Quaternario, 2(2), 125-137.

MARTELLI G. & RODA C. (1998) - L'acquifero della bassa pianura friulana in comune di S. Giorgio di Nogaro. Quaderni di Geologia Applicata; 5(1), 15-38.

MARTELLI G., GRANATI C., RODA C. (2003) - Distribution of coarse-grained sediments in the Friuli alluvial plain (Northern Italy) from surface till depth of 50 metres. Quaderni di Geologia Applicata, serie AIGA (It. Journal of Eng. Geology and Environment); 21, 131-146.

MARTELLI G., GRANATI C., TOSCANI L., IACUMIN I., SELMO E. (2007) - Risultati preliminari delle indagini isotopiche svolte sulle acque delle falde profonde della Bassa Pianura friulana. Giornale di Geologia Applicata 6, 93-110.

MOSETTI F. (1983) - Sintesi sull'idrologia del Friuli Venezia Giulia. Ente Tutela Pesca del F.-V.G., Laboratorio di Idrobiologia, Quad. n° 6, pp. 296.

MOSETTI F. FERUGLIO G. B. (1964) - Schizzo dell'idrologia della Piana Friulana. Atti Conv. sui Contributi della Geologia e della Geofisica nell'economia della Regione Friuli - Venezia Giulia, Rass. Tecnica Regione FVG, 5-6, pp. 14.

MOSETTI F. & MOSETTI-ALBRECHT P. (1985) - Nuove vedute sulla falda

acquifera della pianura friulana (Friuli-Venezia Giulia). Ente Tutela Pesca del FVG, Laboratorio di Idrobiologia, quad.12, pp. 27.

NICOLICH R., DELLA VEDOVA B., GIUSTINIANI M., FANTONI R. (2004) - Carta del sottosuolo della Pianura Friulana (Map of Subsurface Structures of the Friuli Plain). Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione centrale Ambiente e Lavori Pubblici, Servizio Geologico.

REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA (2007) - Le acque calde della Pianura Friulana. pp.27.

SLEJKO D., CARULLI G.B., NICOLICH R., REBEZ A., ZANFERRARI A., CAVALLIN A., DOGLIONI C., CARRARO F., CASTALDINI D., ILICETO V., SEMENZA E., ZANOLLA C. (1989) - Seismotectonics model of the Eastern Southern Alps: a review. Boll. Geof. Teor. Appl., 31(122), pp.109-136.

STEFANINI S. (1972) - Le acque freatiche tra il fiume Livenza ed il torrente Torre (Friuli Venezia Giulia). Mem. Soc. Geol. It., 11, pp.343-365, fig. 13, tab. 2, Roma.

STEFANINI S. (1976) - Composizione delle acque fluviali del Friuli-Venezia Giulia durante la fase di magra e di piena dei corsi d'acqua. In: Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana, Quaderno I.R.S.A., 28 (15), P/344, pp. 391-448, fig. 48, tav. 2.

STEFANINI S. (1978) - La falda freatica dell'Alta Pianura friulana. In: Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana, Quaderno I.R.S.A., 34 (14), pp. 343-361, fig. 6.

STEFANINI S. (1986) - Caratteristiche idrologiche di pozzi della Pianura friulana,

dell'Anfiteatro morenico del Tagliamento e del Campo di Osoppo e Gemona, Università degli studi di Trieste, Istituto di Geologia e Paleontologia, Trieste, pp. 70.

STEFANINI S., CUCCHI F. (1976) - Gli acquiferi nel sottosuolo della Provincia di Gorizia (Friuli-Venezia Giulia). In: Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana, Quaderno I.R.S.A., 28 (13), pp. 351-366, fig. 8.

STEFANINI S., CUCCHI F. (1977) - Gli acquiferi del sottosuolo della Provincia di Udine (Friuli Venezia Giulia). In: Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana, Quaderno I.R.S.A., 34 (6), pp. 131-147, fig. 10, tav. 3.

STEFANINI S., CUCCHI F. (1978) - Gli acquiferi del sottosuolo della pianura veneta fra i fiumi Piave e Tagliamento. In: Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana, Quaderno I.R.S.A., 34 (12), pp. 287-299, fig. 8.

STEFANINI S., CUCCHI F. (1977) - Le ghiaie nel sottosuolo della pianura veneta ad oriente del F. Piave. In: Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana, Quaderno I.R.S.A., 34 (3), pp. 67-79, fig. 4.

STEFANINI S., GIORGETTI F. (1996) - I potenziali inquinamenti delle acque freatiche dell'alta pianura friulana, p. 42, Stella Arti Grafiche, Trieste.

ZANFERRARI A., BOLLETTINARI G., CAROBENE L., CARTON A., CARULLI G.B., CASTALDINI D., CAVALLIN A., PANIZZA M., PELLEGRINI G.B., PIANETTI F., SAURO U. (1982) - Evoluzione neotettonica dell'Italia nord orientale. Mem. Sc. Geol., 35, pp. 355-376.

Coordinamento di:

Franco CUCCHI

Dipartimento di Geoscienze dell'Università degli Studi di Trieste

Roberto SCHAK

Servizio idraulica della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

Alberto DEANA

Servizio idraulica della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

Redazione:

Luca ZINI, Chiara CALLIGARIS, Francesco TREU

Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste

Daniela IERVOLINO, Federica LIPPI

Servizio idraulica della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

Con contributi di:

Chiara CALLIGARIS per: La pianura friulana, La ricostruzione degli acquiferi: i sistemi multifalda, Prelievi da pozzo, Risorse idriche e loro utilizzo, Linee guida per la programmazione degli utilizzi della risorsa acqua; **Alessio MEREU** per: Il sistema informativo dei pozzi e delle sorgenti; **Francesco TREU** per: La ricostruzione degli acquiferi: i sistemi multifalda, Prelievi da pozzo, Risorse idriche e loro utilizzo, Linee guida per la programmazione degli utilizzi della risorsa acqua; **Enrico ZAVAGNO** per: La ricostruzione degli acquiferi: i sistemi multifalda; **Luca ZINI** per: La pianura friulana, La ricostruzione degli acquiferi: i sistemi multifalda, Prelievi da pozzo, Risorse idriche e loro utilizzo, Linee guida per la programmazione degli utilizzi della risorsa acqua, raccomandazioni.

Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste

Daniela IERVOLINO per: Il ciclo dell'acqua, Risorse idriche e loro utilizzo, Linee guida per la programmazione degli utilizzi della risorsa acqua; **Federica LIPPI** per: Prelievi da pozzo, Linee guida per la programmazione degli utilizzi della risorsa acqua.

Servizio idraulica della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

Per citare il volume:

Zini L., Calligaris C., Treu F., Iervolino D., Lippi F. (a cura di), 2011 – Risorse idriche sotterranee del Friuli Venezia Giulia: sostenibilità dell'attuale indirizzo. Edizioni EUT, 89 pp., Trieste, 9-788883-033148.

Hanno collaborato alla realizzazione del progetto:

Sara ALZETTA (DiGeo – UniTS) per il censimento delle utilizzazioni; Erika BARISON (DICA – UniTS) per la ricostruzione del substrato prequaternario; Giovanna BURELLI (DiGeo – UniTS) per il censimento delle utilizzazioni; Giovanna CATANESE (Serv. Idraulica – RAFVG) per il censimento delle utilizzazioni; Andrea CICOGLIA (OSMER – ARPA) per il ciclo dell'acqua; Aurelie CIMOLINO (AdB Alto Adriatico) per la ricostruzione degli acquiferi e dei sistemi multifalda; Silvia CLEVA (DiGeo – UniTS) per la ricostruzione delle isofreatiche e dell'andamento del substrato prequaternario; Giuliana FRANCESCHINI (DiGeo – UniTS) per la ricostruzione delle isofreatiche; Giancarlo MASSARI (SINF – RAFVG) per le linee guida per la programmazione degli utilizzi della risorsa acqua; Rinaldo NICOLICH (DICA – UniTS) per la ricostruzione del substrato prequaternario; Sara OBERTI DI VALNERA (Serv. geologico – RAFVG) per le linee guida per la programmazione degli utilizzi della risorsa acqua; Paolo OLIVO (Serv. Idraulica – RAFVG) per il ciclo dell'acqua; Chiara PIANO (Serv. geologico – RAFVG) per il sistema informativo dei pozzi e delle sorgenti; Massimo RAMANI (Serv. Idraulica – RAFVG) per il sistema informativo dei pozzi e delle sorgenti; Philippe TURPAUD (DiGeo – UniTS) per il sistema informativo dei pozzi e delle sorgenti.

Copertina e impaginazione:

Chiara CALLIGARIS, Rodolfo RICCAMBONI, Francesco TREU e Luca ZINI

Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste

Si ringraziano:

le strutture periferiche del Servizio idraulica (ex Direzioni provinciali dei lavori pubblici) per la collaborazione e l'ospitalità durante il censimento delle utilizzazioni;

il Servizio statistica e affari generali per i dati forniti.

ISBN: 9-788883-033148

Volume omaggio, vietata la vendita

© Università degli Studi di Trieste – Dipartimento di Geoscienze

Tutti i diritti riservati



Lago di Doberdò (Comune di Doberdò del Lago).

Finito di stampare nel gennaio 2011
dalla Stella Arti Grafiche di Trieste