

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI SCIENZE MM. FF. NN.

Dipartimento di Geoscienze

Direttore Prof. Cristina Stefani

TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN
GEOLOGIA E GEOLOGIA TECNICA

**“IDROSTRATIGRAFIA E MODELLAZIONE
NUMERICA DELL’ACQUIFERO FREATICO
NELL’ALTA PIANURA VENETA”**

Relatore: Prof. Leonardo Piccinini

Correlatore: Prof. Paolo Mozzi

Laureanda: Elena Nostrani

ANNO ACCADEMICO 2014/2015

*...Alla mia famiglia e
a tutti coloro che in questi cinque anni mi hanno sostenuto...*

Indice

1. Introduzione	1
2. Inquadramento dell'Alta Pianura Veneta	3
2.1 Inquadramento geografico	3
2.2 Inquadramento geologico e geomorfologico	4
2.3 Inquadramento idrogeologico	9
3. Aggiornamento del modello geologico dell'Alta pianura	15
3.1 Dati di base	15
3.2 Metodologia di lavoro	17
3.2.1 Digitalizzazione delle schede in formato cartaceo del DB- UNIPD in ambiente GIS	19
3.2.2 Suddivisione dei sondaggi per classi di profondità	21
3.2.3 Visualizzazione ed elaborazione delle stratigrafie in GMS	24
3.2.4 Scelta delle tracce delle sezioni geologiche	26
3.2.5 Costruzione delle sezioni geologiche in ambiente CAD	28
3.2.6 Digitalizzazione delle isobate reperite in letteratura	34
3.2.7 Creazione dei TINs e conversione in RASTER	38
3.2.8 Ricostruzione della base dell'acquifero indifferenziato	40
3.2.9 Confronto tra le profondità del bedrock reperite in bibliografia	.45
4. Modellazione idrogeologica	53
4.1 Dati idrogeologici di base	53
4.1.1 Dati meteo – climatici	53
4.1.2 Portate fluviali	59
4.1.3 Dati isopotenziometrici	68
4.1.4 Prelievi ad uso idropotabile	92

4.2 Modello idrogeologico concettuale	96
4.3 Codici di calcolo e tipologia delle simulazioni utilizzate	99
4.4 Discretizzazione spaziale del dominio di modellazione	103
4.5 Parametrizzazione delle unità idrogeologiche	106
4.6 Condizioni al contorno e distribuzione iniziale del carico idraulico	107
4.7 Approccio metodologico per la calibrazione	111
4.8 Risultato della simulazione	117
5 Conclusioni	123
Bibliografia	125
Sitologia	129
Ringraziamenti	131

1. Introduzione

L'acquifero freatico dell'Alta pianura costituisce una risorsa strategica per quanto riguarda le acque sotterranee dell'intera regione Veneto; esso, oltre ad essere ampiamente utilizzato per l'approvvigionamento idrico, alimenta sia la rete idrografica attraverso la fascia delle risorgive e sia il sistema acquifero multifalda presente nella Media e Bassa pianura da cui sono derivate la maggior parte delle risorse idropotabili della regione.

Il Veneto è una delle regioni più avanzate del paese e senz'altro uno dei fattori che ha contribuito a renderla tale è la notevole disponibilità d'acqua sotterranea da poter sfruttare per scopi, oltre che idropotabili, anche industriali ed irrigui.

D'altro canto, trattandosi di un acquifero indifferenziato costituito prevalentemente da ghiaie, con una conducibilità idraulica elevata, esso rappresenta anche un sistema vulnerabile che può diventare sede di fenomeni di inquinamento e deterioramento. L'acquifero freatico indifferenziato, inoltre, a partire dal dopoguerra è stato oggetto di uno sfruttamento intenso della risorsa idrica che è andato aumentando negli anni a causa della crescita demografica, agricola ed industriale e che ha provocato una diminuzione dei quantitativi di acqua sotterranea disponibili.

In virtù di ciò ci si rende conto che l'equilibrio idrogeologico dell'acquifero è cambiato e continua a farlo, complice anche una riduzione generale delle precipitazioni e un aumento della temperatura media annua (Tomasino *et al.*, 2004). Questo cambiamento è confermato da conseguenze evidenti, come per esempio l'abbassamento dei livelli di falda nella fascia pedemontana e la diminuzione delle portate nelle zone di risorgiva.

In questa ottica si conclude che per conservare e sfruttare in maniera idonea la risorsa idrica sotterranea, si deve partire dalla conoscenza dei processi che regolano l'equilibrio del sistema idrogeologico dell'Alta pianura.

Gli obiettivi principali della presente tesi sono due:

1. fare una ricostruzione geologica ed idrogeologica per arrivare ad una revisione del modello geologico/idrogeologico concettuale dell'acquifero, attraverso l'elaborazione di tutti i dati disponibili;
2. realizzare una modellazione numerica preliminare, la quale attraverso una simulazione allo stato stazionario, riproduca il più realisticamente possibile il bilancio di massa dell'acquifero e che implementi tutte le informazioni geologiche ed idrogeologiche raccolte.

2. Inquadramento dell'Alta Pianura Veneta

2.1. Inquadramento geografico

L'area d'indagine su cui si sviluppa il lavoro della presente tesi è quella dell'Alta Pianura Veneta, in altre parole la fascia di territorio compresa tra il piede dei rilievi prealpini a nord e la cosiddetta fascia delle risorgive a sud (Fig.2.1), mentre in senso laterale è compresa tra il torrente Timonchio a ovest e il Fiume Monticano a est.

La fascia delle risorgive rappresenta la zona di transizione tra l'Alta Pianura, caratterizzata da terreni più grossolani, e la Media e Bassa Pianura dove invece dominano materiali più fini. La fascia delle risorgive corre parallela al margine alpino-pedemontano, a una distanza di circa 15-20 km.

In particolare l'area oggetto di studio è rappresentata da quella porzione di Alta Pianura Veneta compresa tra i monti Lessini ad ovest ed il fiume Piave ad est (Fig. 2.1). Si tratta di un territorio di estensione pari a circa 1062 km², che dal punto di vista amministrativo è compreso tra le provincie di: Vicenza, Treviso e Padova.

La zona in esame è caratterizzata da un'importante rete idrografica con orientamento prevalente da nord-ovest verso sud-est, alla cui azione è da imputare l'attuale morfologia della pianura, strettamente legata alle avulsioni, ai cambi di percorso, al trasporto dei materiali ed all'erosione fluviale. Tra i più importanti fiumi, da ovest verso est, si ricordano: l'Astico, il Brenta e il Piave, mentre più a sud lungo il limite dell'area nascono alcuni importanti fiumi di risorgiva come il Sile e lo Zero.

All'uscita dei bacini montani, questi corsi d'acqua sono ancora dotati di notevole pendenza, da 0.1 a 0.3 % (Piano di gestione dei bacini delle Alpi Orientali, 2010), e assumono la tipica configurazione pluricursale, con elevata mobilità laterale.

Infine, nell'Alta Pianura sorgono alcune tra i principali centri abitati della regione quali: Schio, Bassano Del Grappa, Treviso, Vittorio Veneto e Vicenza.

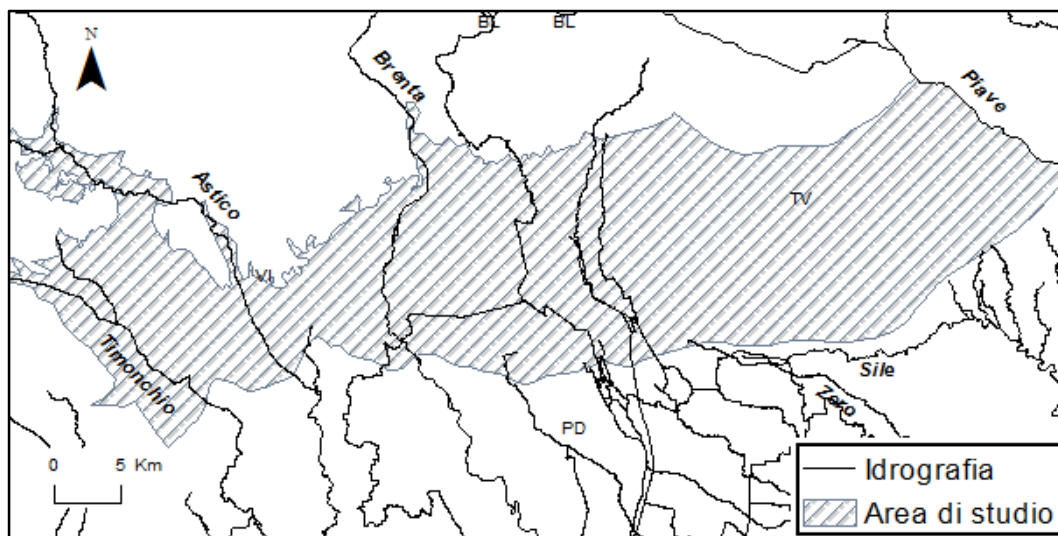


Fig. 2.1: L'Alta Pianura Veneta.

2.2. Inquadramento geologico e geomorfologico

Dal punto di vista geologico la Pianura Veneta è costituita dai sedimenti alluvionali formati dagli apporti solidi dei fiumi alpini quali il Brenta, il Piave, l'Adige e il Tagliamento.

L'assetto attuale della Pianura è fortemente legato all'evoluzione tardo - pleistocenica di questi corsi d'acqua che, grazie ai ripetuti movimenti e cambi di percorso, hanno formato delle strutture a ventaglio che prendono il nome di megafan alluvionali e che solitamente interessano le zone di avampaese delle catene a thrust (Fontana *et al.*, 2007).

I megafan che interessano l'area di indagine sono, da ovest verso est, il megafan del Brenta, il megafan di Montebelluno, il megafan di Nervesa e il megafan del Tagliamento. Ovviamente la porzione di megafans rientrante nella zona dell'Alta Pianura è solamente quella apicale, cioè quella che si estende dallo sbocco delle valli dei corsi d'acqua fino alla linea delle risorgive (Fig. 2.2).

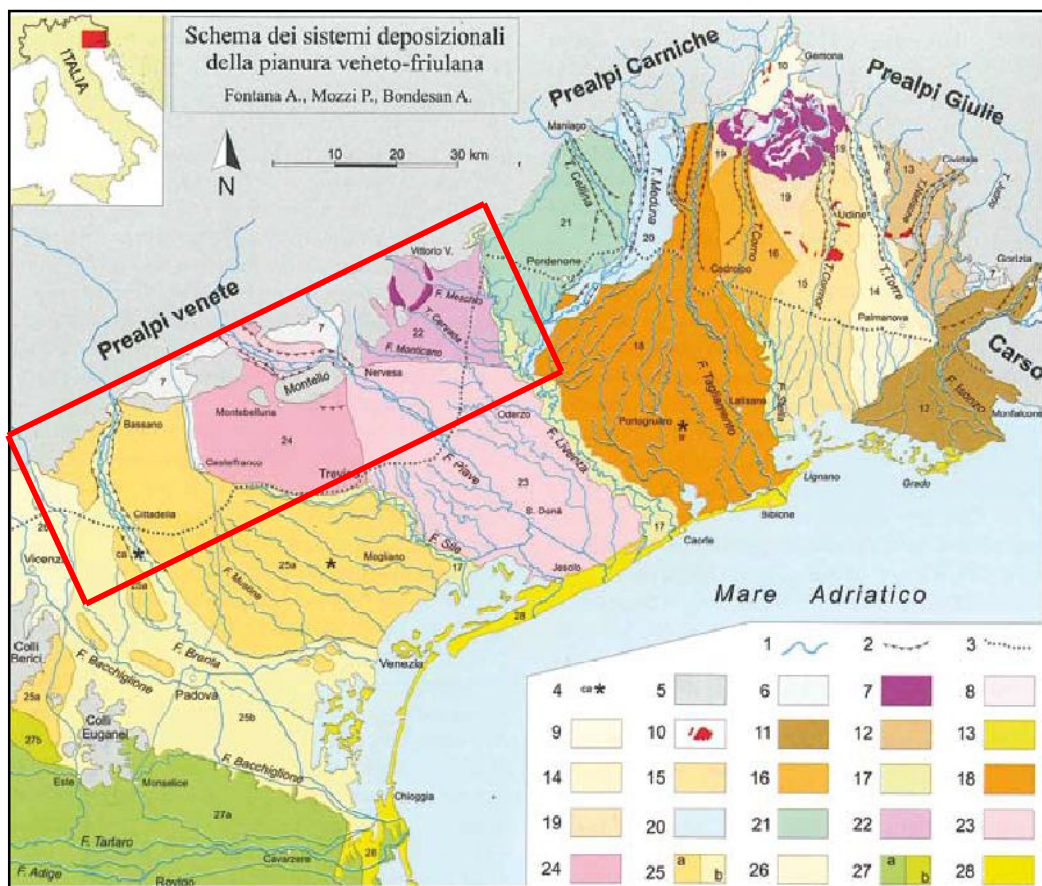


Fig. 2.2: Schema dei sistemi deposizionali della pianura Veneto Friulana (da Bondesan & Meneghel, 2004). L'area dell'Alta Pianura Veneta presa in esame è quella contornata di rosso. Legenda: 1) idrografia; 2) orlo delle principali scarpate fluviali; 3) limite superiore delle risorgive; 5) Prealpi, Colli Euganei e Berici; 6) aree alluvionali di corsi d'acqua prealpini; 7) cordoni morenici degli anfiteatri di Piave e Tagliamento; 8) depressioni intermoreniche; 9) piana di Osoppo; 10) terrazzi tettonici dell'alta pianura friulana; 11) megafan dell'Isonzo-Torre; 12) conoide del Natisone-Judrio; 14) megafan del Torre; 15) megafan del Cormor; 16) megafan del Corno di San Daniele; 17) sistemi dei principali fiumi di risorgiva (Stella, Livenza e Sile), localmente incisi; 18) megafan del Tagliamento; 19) aree interposte tra megafan, appartenenti al sandur del Tagliamento; 20) megafan del Meduna; 21) conoide del Cellina; 22) conoidi dei fiumi Monticano, Cervada e Meschio, e degli scaricatori glaciali di Vittorio Veneto; 23) megafan del Piave di Nervesa; 24) megafan del Piave di Montebelluna; 25) sistema del Brenta: a) settore pleistocenico (megafan di Bassano), b) pianura olocenica del Brenta con apporti del Bacchiglione; 26) conoide dell'Astico; 27) sistema dell'Adige: a) pianura olocenica con apporti del Po; b) pianura pleistocenica; 28) sistemi costieri e deltizi.

I sedimenti in questa parte di pianura sono grossolani e sono generalmente costituiti da ghiaie o ghiaie-sabbiose o ghiaie e sabbie. Accanto ai megafan è possibile individuare anche la presenza di conoidi, come il conoide dell'Astico.

La differenza sostanziale tra i megafan ed i conoidi è da imputarsi alla granulometria: un megafan è una forma geomorfologica fortemente differenziata

longitudinalmente, che ha una zona apicale grossolana e una zona distale più fine a causa della riduzione della capacità di trasporto dei corsi d'acqua; un conoide invece è privo di questa differenziazione, essendo costituito quasi prevalentemente da sedimenti grossolani. Tuttavia, essendo in questo contesto interessati ad analizzare la struttura geologica e geomorfologica dell'Alta Pianura, la differenza nell'uso dell'uno o dell'altro termine in merito alla struttura deposizionale perde di significato. Infine, esistono anche dei sistemi conoide - megafan compositi, come nel caso del Monticano – Cervada – Meschio e degli scaricatori glaciali dell'anfiteatro di Vittorio Veneto (Fontana *et al.*, 2007).

Dal punto di vista geodinamico, la Pianura Veneta è costituita dal riempimento risalente all'età terziaria e quaternaria di un bacino che è situato all'estremità nord-orientale della microplacca adriatica (Fontana *et al.*, 2007). Essa può quindi essere vista come l'avampaese delle Alpi meridionali. Alla fine dell'era Terziaria l'orogenesi alpina, che ha interessato anche quest'area, ha continuato la fase di sollevamento delle catene montuose e lo sprofondamento del relativo avampaese e, solo nel Quaternario, ha avuto inizio il riempimento di questo grande bacino ad opera dei sedimenti alluvionali e fluvio-glaciali trasportati dai fiumi, che hanno deposto un esteso materasso formato da coni coalescenti, che può raggiungere uno spessore di qualche migliaio di metri vicino alle coste del Mare Adriatico.

Nella Figura 2.3 è riportato lo schema geologico-strutturale della Pianura Veneto - Friulana (Regione Veneto, 1990).

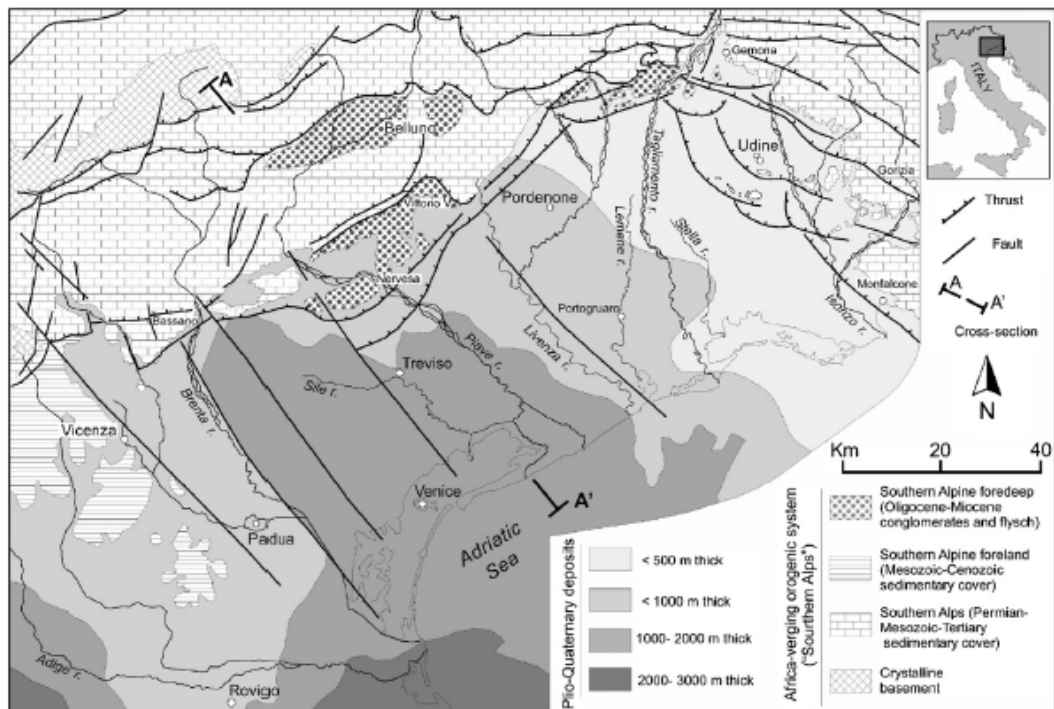


Fig. 2.3: Schema geologico-strutturale della pianura veneto-friulana (da Regione Veneto, 1990).

L'evoluzione tettonica della regione, oltre a essere caratterizzata dalla progressiva convergenza della placca adriatica con la placca europea che ha determinato nel Neogene e nel Quaternario il sollevamento di vasti settori del Sudalpino con formazione di pieghe, sovrascorrimenti e bacini sedimentari, è stata influenzata anche dalla chiusura dello stretto di Gibilterra durante il Messiniano, circa 5 milioni di anni fa. La chiusura temporanea dello Stretto di Gibilterra, e il conseguente isolamento del Mediterraneo, determinarono un notevole abbassamento del livello di base dei fiumi che vi si immettevano. Questo evento portò all'impostazione di una nuova rete idrografica che, erodendo, diede origine a profonde valli e depressioni.

Dal punto di vista tettonico la Pianura Veneta è interessata da alcune faglie trascorrenti subverticali, con orientazione prevalente uguale a quella dei fiumi che interessano l'area, che suddividono il substrato roccioso in blocchi indipendenti; da ciò deriva una morfologia a gradoni della base del Quaternario (ARPAV, 2008).

In linea generale si può dire che l'evoluzione quaternaria della Pianura Veneto - Friulana è fortemente legata alla risposta dei sistemi alluvionali ai cambiamenti climatici e del livello del mare (Fontana *et al.*, 2010). Com'è accaduto in tutta l'Italia Nord - Orientale, anche la Pianura Veneta ha subito una delle più importanti fasi evolutive durante l'ultimo massimo glaciale, denominato LGM, compreso tra i 30.000 e i 17.000 anni fa (Fontana *et al.*, 2007). È proprio durante questo periodo, chiamato *periodo peniglaciale* che si formarono i megafan alluvionali; l'avanzata dei ghiacciai fino alla pianura produsse ingente quantità di detrito che venne trasportato dai fiumi e scaricato da questi sottoforma di corpi a ventaglio di estensione. Tra i 20.000 e i 17.000 anni fa, ebbe luogo la deglaciazione; questo periodo è comunemente chiamato *periodo cataglaciale*. I ghiacciai si allontanarono dalle cerchie moreniche più esterne degli anfiteatri e alcuni fiumi quali il Tagliamento, il Cormor e il Corno di San Daniele si approfondirono nel tratto apicale dei loro megafan creando terrazzamenti nell'Alta Pianura (Fontana *et al.*, 2007). A causa di quest'azione d'incisione fluviale nella parte apicale dei megafan, il flusso venne a concentrarsi, aumentò di velocità e con essa diventò maggiore anche la capacità di trasporto. Questo permise il prelievo delle ghiaie d'Alta Pianura che furono trasportate più a valle a formare dossi ghiaioso-sabbiosi.

La fine dell'LGM vide un miglioramento climatico; esso si attesta a circa 17.000 anni fa e tale data è presa a livello globale come terminazione dell'LGM e inizio del *periodo tardo glaciale* (Fontana *et al.*, 2007). Il ritiro definitivo dei ghiacciai porta a un periodo di scarsa sedimentazione e a una nuova fase di terrazzamento e incisione fluviale. Ciò permise la formazione di valli alluvionali racchiuse nelle alluvioni LGM con una profondità di 40-70 m nei settori prossimali e fino a 25 m in quelli distali, dove sono presenti diverse incisioni (Fontana *et al.*, 2010). Fino all'Olocene medio (circa 3000- 5000 anni fa, in relazione ai diversi corsi d'acqua) i fiumi conservarono la loro tendenza erosiva, creando incisioni profonde in parte mascherate dall'aggradazione, dai depositi lagunari olocenici imputabili alla trasgressione marina e dalla deposizione fluviale post-romana (Fontana *et al.*, 2007).

L'Olocene vede infine l'inizio della pedogenesi, dovuta anche a un clima più caldo, soprattutto in prossimità dei dossi e argini fluviali, dove la falda, non molto prossima alla superficie, non poteva contrastare il processo. Nei depositi di piana alluvionale LGM, poco permeabili, con il livello di falda superficiale, si formarono invece concrezioni carbonatiche, definibili con il termine *caranto* (Fontana *et al.*, 2007).

L'evoluzione quaternaria della Pianura Veneto-Friulana è inoltre regolata, con intensità crescente, a partire dall'epoca romana, anche dall'azione antropica. Sistemazioni idraulico-forestali e costruzioni di dighe nelle porzioni montane dei bacini, senza dimenticare la massiccia estrazione di ghiaie dagli alvei a partire dal secondo dopo-guerra, hanno portato a una riduzione del trasporto solido ed a una modifica delle configurazioni dei tracciati dei corsi d'acqua. Infatti, oltre all'abbassamento diretto del livello del fondo nel punto di estrazione, l'escavazione altera il profilo longitudinale, creando un aumento locale di pendenza che tende a migrare verso monte.

2.3 Inquadramento idrogeologico

L'Alta Pianura Veneta è caratterizzata dalla presenza di un potente materasso alluvionale ghiaioso - sabbioso, molto permeabile almeno nei primi 300 m di spessore (ARPAV, 2008). Tali sedimenti grossolani sono da imputare alla deposizione Quaternaria da parte dei fiumi sottoforma di corpi a ventaglio, i già citati megafan, che hanno continuità laterale da est verso ovest. Le ghiaie dal punto di vista idrogeologico hanno una conducibilità idraulica alta, fino a 10^{-2} m/s, e una porosità del 10-20%. Questi depositi costituiscono il cosiddetto acquifero indifferenziato, sede di un'unica falda freatica.

L'alimentazione dell'intero sistema idrogeologico è prevalentemente legata alle dispersioni idriche che si attuano entro l'alveo dei corsi d'acqua lungo il tratto settentrionale del loro percorso di pianura, dove il letto fluviale si trova inciso entro il materasso ghiaioso (Dal Prà & Antonelli, 1980).

Altre fonti di alimentazione della falda freatica derivano dall'infiltrazione delle piogge e dall'irrigazione a dispersione, pratica colturale molto usata nell'Alta Pianura al fine di rendere il suolo più consono alle attività agricole praticate. Questa attività ha preso piede a partire dagli anni '60 del secolo scorso e la rete irrigua che interessa l'Alta Pianura si estende per oltre 3600 km (Progetto Trust, 2009). Sebbene il contributo delle acque irrigue sia il meno noto e il più difficile da valutare, le esperienze finora messe in atto hanno permesso di affermare che, in prima approssimazione, è nettamente superiore a quello dovuto alle precipitazioni, che contribuiscono con un'infiltrazione diretta stimata in circa 9 – 10 m³/s (Progetto Trust, 2009).

L'acquifero freatico indifferenziato è particolarmente importante poiché rappresenta l'area di ricarica dell'intero sistema idrogeologico che oltre la fascia delle risorgive evolve un sistema acquifero multifalda. Di contro qui la falda freatica è in comunicazione con la superficie del suolo e questo rende la risorsa idrica sotterranea vulnerabile e suscettibile di deterioramento. Il limite tra Alta, Media e Bassa Pianura Veneta è, come in precedenza detto, costituito dalla fascia delle risorgive, larga qualche chilometro, rappresenta la zona dove le acque sotterranee vengono a giorno poiché la soggiacenza diminuisce progressivamente come conseguenza del cambio di granulometria dei sedimenti e della diminuzione di pendenza del piano campagna. Tra i fiumi di Risorgiva, poiché si tratta del più ampio e di portata più rilevante, si ricorda il Fiume Sile, la cui portata complessiva misurata in corrispondenza della sezione di S. Cristina (TV) si aggira attorno ai 9,55 m³/s (Dal Prà & Antonelli, 1980).

Uno schema della transizione tra l'acquifero indifferenziato dell'Alta Pianura ed il sistema multifalda della Media e Bassa Pianura è mostrato nella Figura 2.4.

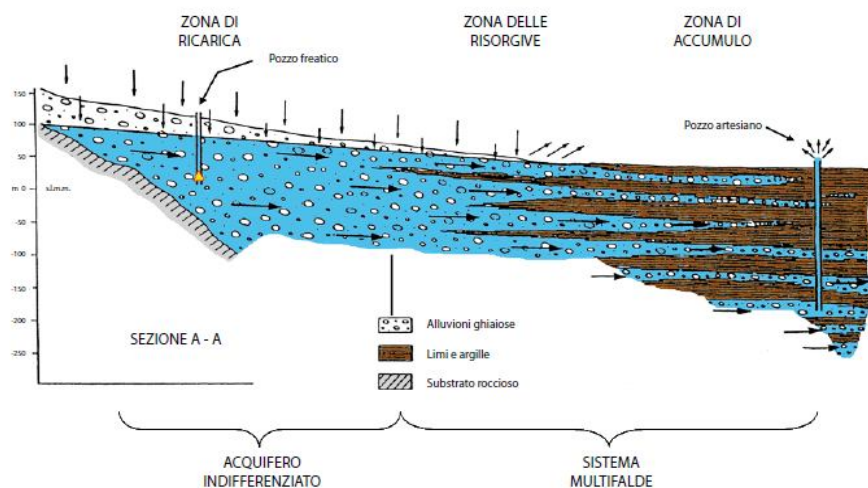


Fig. 2.4: Schematizzazione idrogeologica della Pianura Veneta (da Dal Prà, 1971).

La direzione prevalente di flusso dell'acquifero freatico nell'Alta Pianura è da nord – ovest verso sud – est, come mostrato in Figura 2.5 (Dal Prà, 1983). L'interazione con la rete idrografica e la presenza di paleoalvei possono comunque determinare modificazioni locali della direzione flusso.

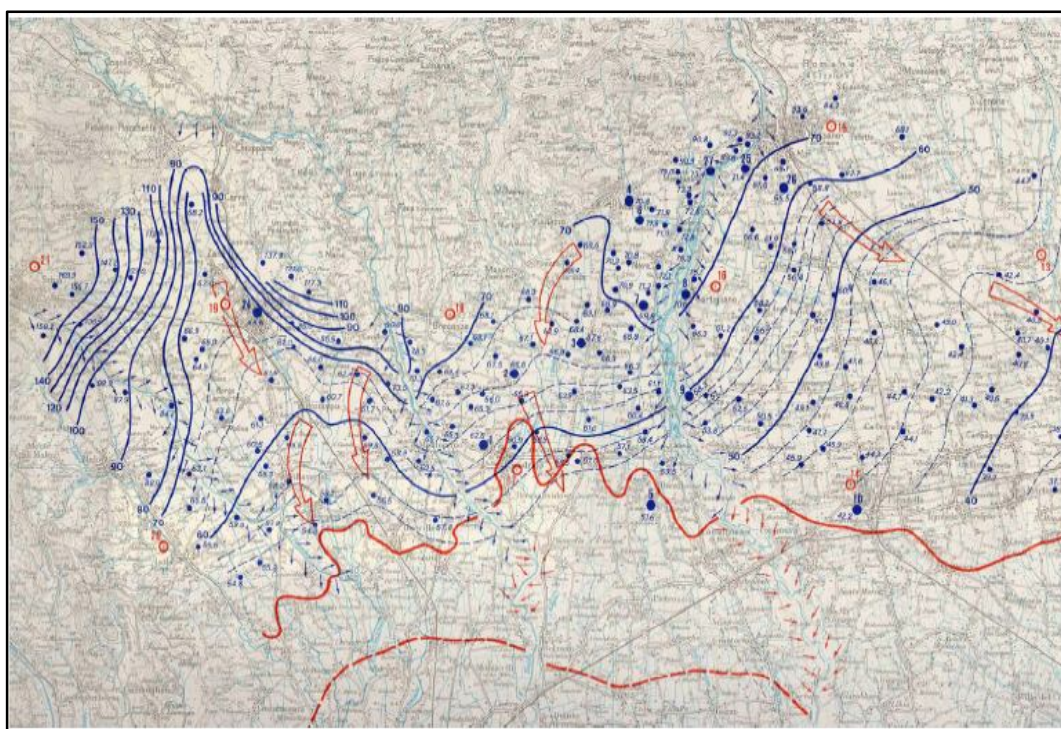


Fig. 2.5: Carta isopotenziometrica dell'acquifero freatico indifferenziato dell'Alta Pianura Veneta tra i corsi dei fiumi Astico e Brenta (Dal Prà, 1983).

La soggiacenza della falda nell'Alta pianura è molto variabile (ARPAV, 2008), ma in via generale decresce dalla zona prealpina verso la fascia delle risorgive. Nella Piana di Thiene (VI) sono state registrate soggiacenze di 90-100 m da piano campagna (m p.c.), mentre nella zona di Nervesa – Priula (TV) di circa 20-30 m p.c (ARPAV, 2008). Inoltre si registrano soggiacenze maggiori procedendo dall'alveo dei fiumi verso le zone più distali, il che rimarca il carattere prevalentemente disperdente dei corsi d'acqua. E' necessario ricordare che un fiume viene detto *disperdente* qualora vada ad alimentare la falda. Questa situazione accade quando il livello idrometrico del fiume è maggiore del carico idraulico nell'acquifero e quando l'alveo è costituito da materiale permeabili che favorisco la filtrazione delle acque superficiali. In questa condizione il fiume funge da spartiacque sotterraneo e per cui le linee di flusso tendono a divergere dal suo corso (Fig. 2.6).

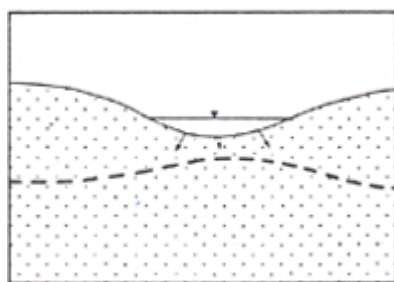


Fig. 2.6: Schema di un corso d'acqua a comportamento disperdente
(da www.parcotaro.it/acquacorrente/)

Secondo ARPAV (2008) il regime idrogeologico della falda freatica nell'Alta pianura Veneta rispecchia quello dei principali fiumi che la attraversano, essendoci tra i due elementi forti interazioni, quindi ad una fase di piena fluviale solitamente corrisponde una di piena in falda, ritardata di 20-30 giorni. Si parla inoltre di *regime bimodale* per indicare il fatto che mediamente si registrano due fasi di piena e due fasi di magra durante l'anno idrologico, come si verifica per i principali fiumi prealpini. La prima fase di piena, molto evidente, si verifica in tarda primavera, mentre l'altra, meno marcata, in autunno, mentre le fasi di magra

si hanno invece tra la fine dell'inverno e l'inizio della primavera e a cavallo tra fine estate e l'avvicinarsi dell'autunno (ARPAV, 2008).

3. Aggiornamento del modello geologico dell'Alta Pianura

3.1. Dati di base

I dati geognostici che stanno alla base di tutte le considerazioni geologiche che verranno esposte nel seguito, consistono in due *database* distinti: il primo, cartaceo e di proprietà del Dipartimento di Geoscienze dell'Università degli Studi di Padova, consiste in un archivio delle perforazioni per pozzi realizzate in Veneto a partire dai primi anni del '900 fino al 2000 (DB-UNIPD), il secondo invece si riferisce all'archivio dei sondaggi profondi realizzati da AGIP per la ricerca di idrocarburi nel periodo compreso tra il 1939 e il 2007 (DB-AGIP). Il database più consistente è senz'altro l'archivio cartaceo dell'Università di Padova, che per altro essendo tale è stato in prima battuta digitalizzato con le modalità che successivamente verranno discusse, ma si può comunque già accennare che i dati più significativi per la ricostruzione della geometria dell'acquifero indifferenziato sono stati quelli AGIP. Il motivo risiede nel fatto che solo pochi pozzi del DB-UNIPD sono sufficientemente profondi da raggiungere il bedrock, mentre nel DB-AGIP sono presenti perforazioni che raggiungono profondità anche di qualche chilometro.

La cartografia che si è utilizzata comprende i Fogli IGM della Carta Topografica d'Italia alla scala 1:50000: Vicenza (125), Schio (103), Bassano del Grappa (104), Treviso (105) e Vittorio Veneto (84; Fig. 3.1).

Il DB-AGIP, comprende un totale di 109 stratigrafie, di cui solo 35 ricadenti nell'area d'interesse, la maggior parte nel Foglio IGM Vittorio Veneto (84) e, con minor densità, nei Fogli Bassano del Grappa (104), Treviso (105) e Schio (103; Fig. 3.1).

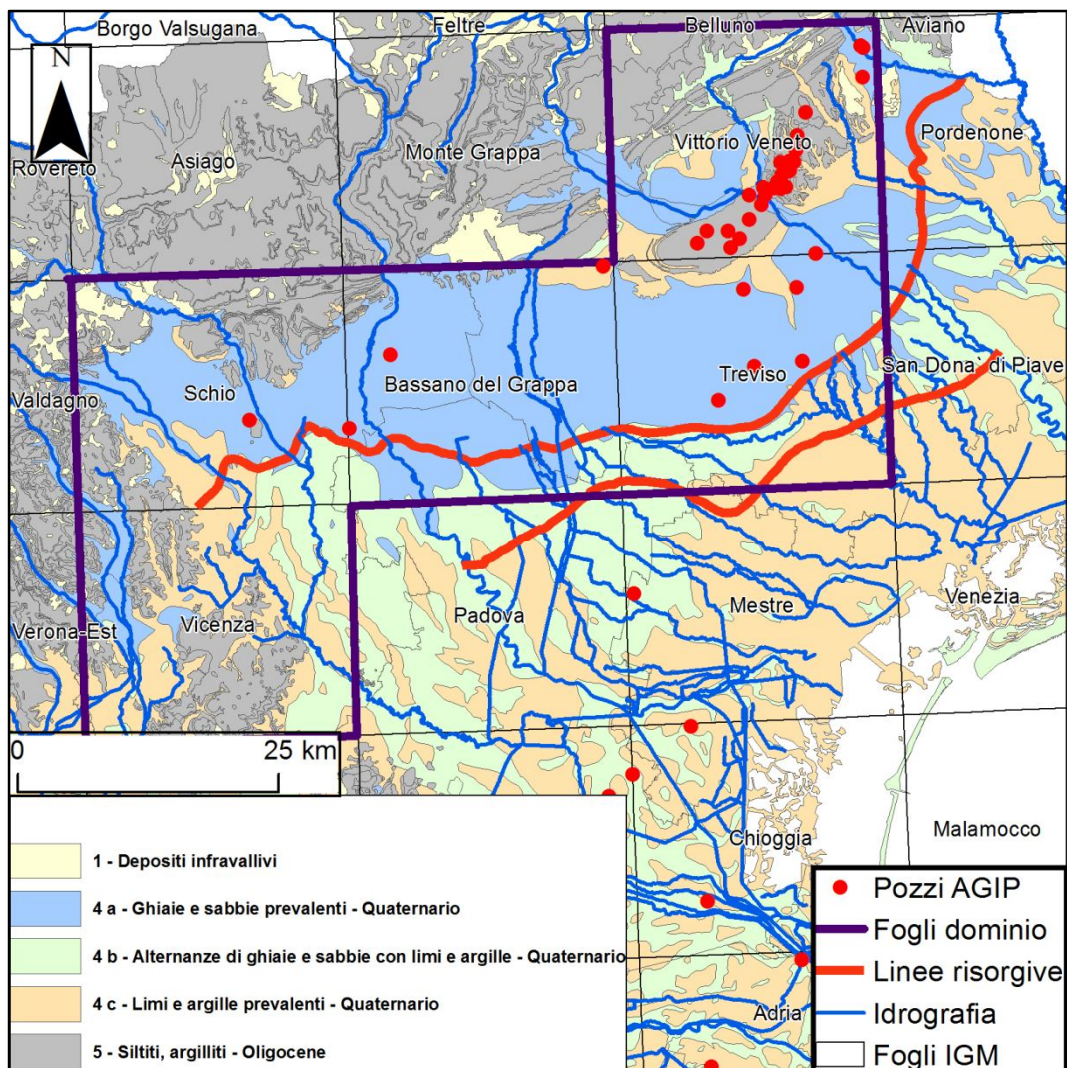


Fig. 3. 1: Quadro di unione dei Fogli IGM della Carta Topografica d'Italia alla scala 1:50000 comprendenti la Regione Veneto; evidenziati in verde i Fogli utilizzati nel presente lavoro, mentre i pallini rossi rappresentano i sondaggi del DB-AGIP.

Per quanto riguarda il DB-UNIPD sono state visionate le schede dei pozzi perforati nelle provincie di Vicenza e Treviso, quest'ultima con *dataset* già digitalizzato; in particolare ci si è concentrati sui pozzi presenti nei territori di Schio, Bassano del Grappa e Vittorio Veneto. Si tratta di un totale di 630 schede che contengono informazioni stratigrafiche e idrogeologiche dei pozzi a cui si riferiscono e da cui è stato possibile ricavare la stratigrafia, l'ubicazione, la quota, la data di costruzione ed in alcuni casi la posizione dei filtri.

Essendo state compilate da persone diverse e in anni differenti, in linea generale le schede del DB-UNIPD sono alquanto eterogenee: i dati che si trovano al loro interno non sempre sono esaustivi e non è raro che una scheda possa contenere

molteplici informazioni, mentre un'altra ne contenga veramente poche. In Figura 3.2 è possibile vedere i pozzi in questione, colorati in base alla loro profondità.

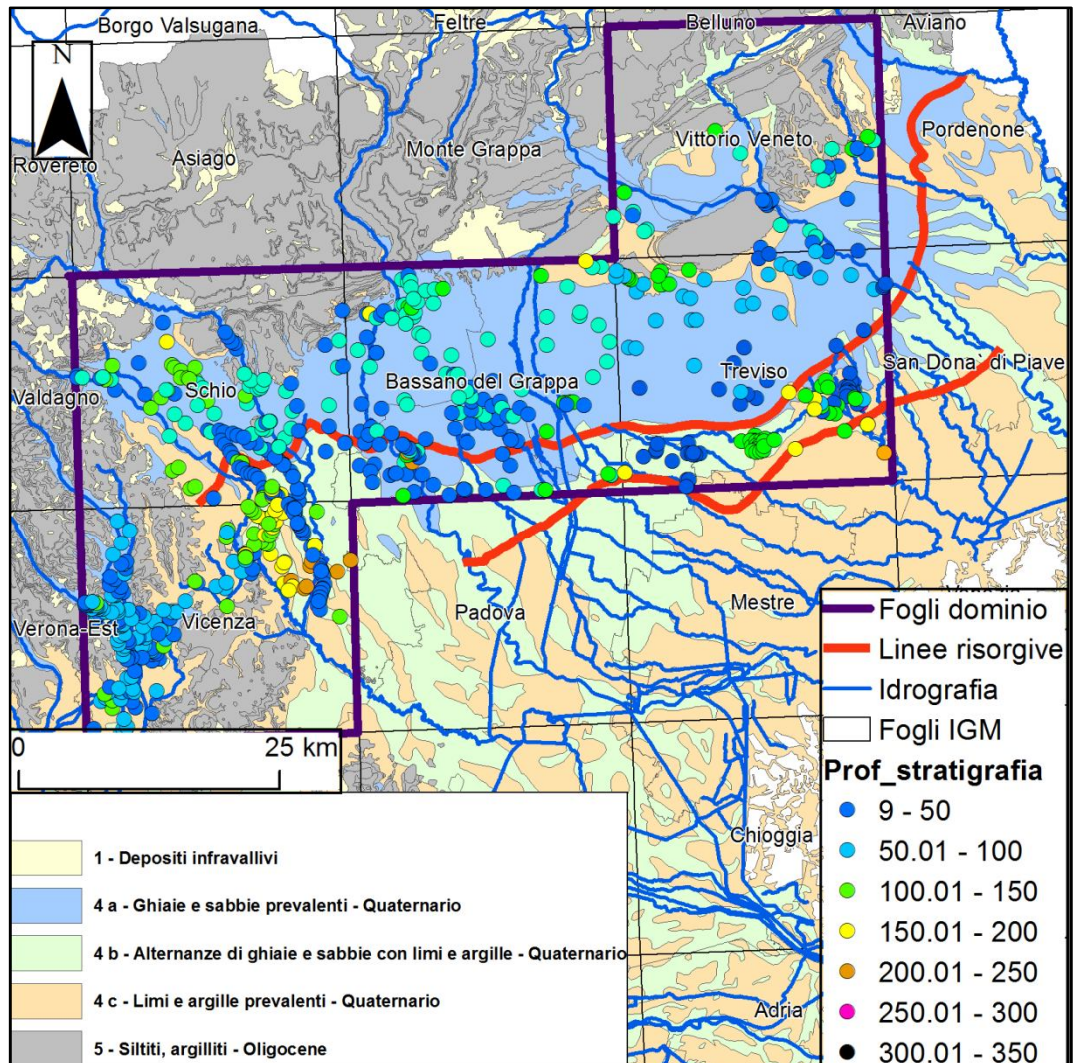


Fig.3. 2: Quadro di unione dei Fogli IGM della Carta Topografica d'Italia alla scala 1:50000 comprendenti la Regione Veneto; contornati in nero i Fogli utilizzati nel presente lavoro, mentre i pallini rappresentano i pozzi del DB-UNIPD colorati in base alla profondità.

3.2. Metodologia di lavoro

Obiettivo principe della prima parte del lavoro è stato quello di ottenere una stima della profondità del bedrock a partire dalla costruzione di sezioni geologiche passanti per alcuni dei pozzi presenti nei due database disponibili. Per poter

perseguire questo obiettivo è stato indispensabile digitalizzare le schede in formato cartaceo del DB-UNIPD, per poter analizzare ed elaborare le informazioni stratigrafiche in maniera più immediata.

Poiché, nonostante la mole dei pozzi disponibili, solo pochi di questi raggiungono profondità adeguate all'individuazione della roccia in posto, si è reso necessario un confronto con lo schema delle isobate della Pianura Veneta redatto dall'AGIP (Antonelli *et al.*, 1990), con la mappa delle isobate del substrato roccioso dell'area di Bassano Del Grappa, reperita dallo studio di C.N.R - Regione Veneto (1988), e con la mappa delle isobate della base del Pliocene presentata da Pola *et al.* (2014).

Partendo dalle digitalizzazione delle isobate, che sono definite come linee che congiungono punti a uguale profondità, si sono costruiti i modelli vettoriali, in formato TIN, delle superfici. I TIN sono composti da una rete di triangoli irregolari i cui nodi sono rappresentati da punti di elevazione nota (z) in quanto posizionati sulle isobate digitalizzate.

I TIN sono stati poi convertiti in RASTER, sovrapponibili al DEM della Regione Veneto con passo di 25x25 m, per poter fare una differenza tra RASTER e calcolare così la profondità del bedrock.

In linea generale le fasi di lavoro per arrivare ad ottenere una ricostruzione della profondità del bedrock, possono essere sintetizzate in 8 step:

1. digitalizzazione delle schede del DB-UNIPD in ambiente GIS;
2. suddivisione dei sondaggi per classi di profondità;
3. visualizzazione delle stratigrafie in ambiente Groundwater Modeling System (GMS), software per la modellazione tridimensionale di flusso e trasporto nei mezzi porosi saturi che ha al proprio interno un pacchetto (*Borehole*) molto efficace la gestione dei dati stratigrafici;
4. scelta delle tracce delle sezioni geologiche;
5. costruzione delle sezioni geologiche in ambiente CAD;
6. digitalizzazione delle isobate disponibili in letteratura;
7. creazione dei TIN;
8. utilizzo del DEM della Regione Veneto come base di riferimento per la conversione da TIN a RASTER e successiva sottrazione tra il DEM e

ciascuna delle superfici interpolate per la ricostruzione della base dell'acquifero indifferenziato;

9. Confronto tra le profondità del bedrock ottenute dai 3 RASTER elaborati. Ogni punto verrà ora analizzato singolarmente per esplicitare nel dettaglio le varie metodologie utilizzate.

3.2.1 Digitalizzazione delle schede in formato cartaceo del DB-UNIPD in ambiente GIS

Le 630 schede-pozzi in formato cartaceo sono state digitalizzate in ambiente GIS, in particolare è stato utilizzato il software ArcGis 10.1 della ESRI, cioè un sistema per la gestione, l'analisi e la visualizzazione di informazioni con contenuto geografico.

Il lavoro è consistito nello scansionare i Fogli IGM della Carta Topografica di Italia alla scala 1:50000 di Schio (103), Bassano Del Grappa (104), Vicenza (125) e Vittorio Veneto (84) in cui era stata precedentemente segnata l'ubicazione dei pozzi, e nel georeferenziare tale cartografia. Avviando le operazioni di Editing è stato poi possibile disegnare dei punti in corrispondenza dei pozzi segnati in carta (Fig. 3.3) e attribuire a questi tutte le informazioni reperibili dalle schede-pozzi.

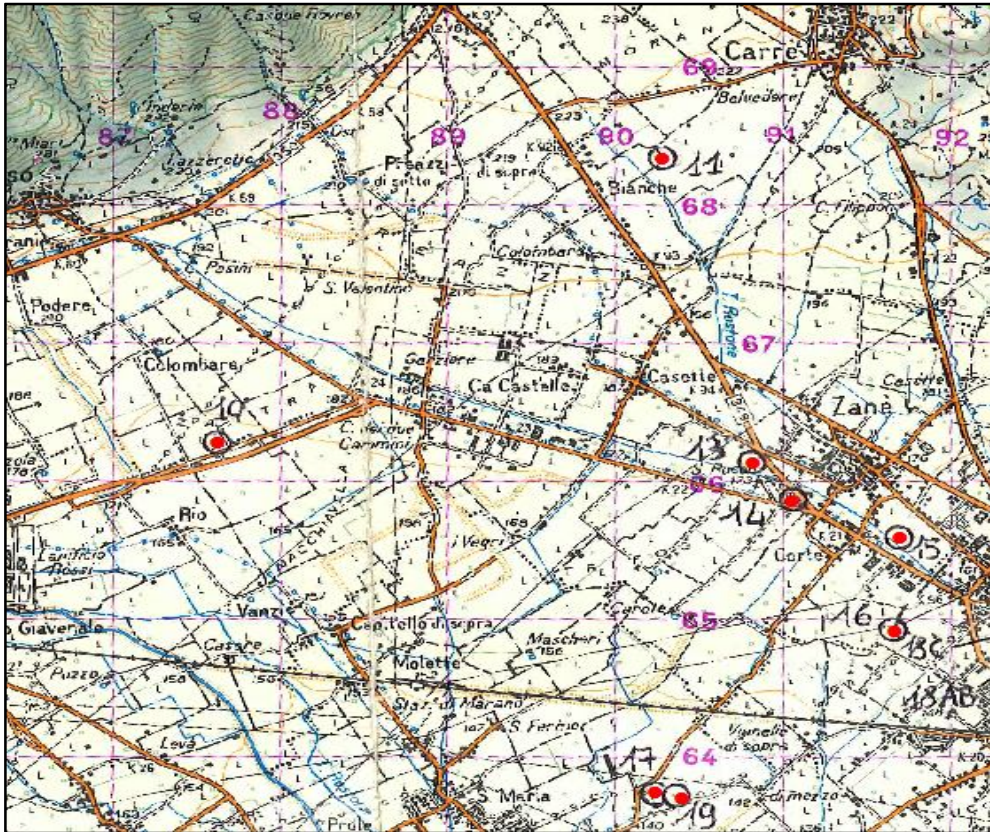


Fig. 3.3: Stralcio del Foglio IGM alla scala 1:50000 di Schio (103) in cui si vedono alcuni dei pozzi digitalizzati.

Ad ogni layer è associata una tabella che permette di definire per ogni oggetto degli attributi, nel caso specifico sono stati inseriti il codice identificativo del pozzo, le coordinate X e Y del punto, il comune entro cui ricade, la profondità della perforazione e gli eventuali livelli di falda misurati. In ambiente GIS queste caratteristiche possono essere reperite con facilità mediante il comando di interrogazione degli attributi. In seconda battuta sono state inserite anche tutte le informazioni stratigrafiche, generando una tabella di dati come nella Figura 3.4.

OBJECTID*	Numero_strato	ID_SONDAGGIO*	Descrizione_strato	Prof_letto_strato	Prof_letto_strato	Spessore	Quota	TopElev	BottomElev	CODICE_LITOLOGICO
1	1	1	Terreno vegetale	0	1	1	48	48	47	terreno vegetale, humus
2	2	1	Ghiaia	1	6	5	48	47	42	ghiaia
3	3	1	Ghiaia con sabbia	6	10	4	48	42	38	ghiaia con sabbia
4	4	1	Argilla	10	14	4	48	38	34	argilla
5	5	1	Conglomerato	14	14.5	0.5	48	34	33.5	conglomerato
6	6	1	Ghiaia	14.5	20	5.5	48	33.5	28	ghiaia
7	7	1	Sabbia	20	23	3	48	28	25	sabbia
8	8	1	Argilla	23	25.5	2.5	48	25	22.5	argilla
9	1	2	Terreno vegetale	0	1	1	60	60	59	terreno vegetale, humus
10	2	2	Ghiaia	1	13	12	60	59	47	ghiaia
11	3	2	Ghiaia argillosa	13	14	1	60	47	46	ghiaia argillosa
12	4	2	Ghiaia e sabbia	14	26	12	60	46	34	ghiaia e sabbia
13	5	2	Sabbia e ghiaia con lenti di conglomerato	26	31	5	60	34	29	sabbia e ghiaia
14	6	2	Sabbia	31	36	5	60	29	24	sabbia
15	1	3	Terreno di riporto	0	3	3	54	54	51	terreno di riporto
16	2	3	Ghiaia e sabbia con grossi ciottoli	3	12	9	54	51	42	ghiaia con sabbia
17	3	3	Argilla sabbiosa	12	13	1	54	42	41	argilla sabbiosa
18	4	3	Ghiaia e argilla	13	16	3	54	41	38	ghiaia e argilla
19	5	3	Ghiaia e sabbia	16	26	10	54	38	28	ghiaia e sabbia
20	6	3	Argilla	26	32	6	54	28	22	argilla
21	1	4	Ghiaia	0	8	8	60	60	52	ghiaia
22	2	4	Ghiaia con sabbia	8	16	8	60	52	44	ghiaia con sabbia
23	3	4	Ghiaia	16	24	8	60	44	36	ghiaia
24	4	4	Arenaria	24	26	2	60	36	34	arenaria
25	5	4	Ghiaia con sabbia	26	31	5	60	34	29	ghiaia con sabbia
26	1	5	Ghiaia	0	22	22	57	57	35	ghiaia
27	1	6	Ghiaia sciolta	0	22.5	22.5	56	56	33.5	ghiaia
28	2	6	Argilla mista a ghiaia	22.5	25.5	3	56	33.5	30.5	argilla e ghiaia
29	3	6	Ghiaia	25.5	28.5	3	56	30.5	27.5	ghiaia
30	4	6	Argilla	28.5	31	2.5	56	27.5	25	argilla
31	5	6	Argilla mista a ghiaia	31	40	9	56	25	16	argilla e ghiaia
32	6	6	Argilla	40	43	3	56	16	13	argilla
33	7	6	Argilla torbosa	43	47	4	56	13	9	argilla torbosa
34	8	6	Ghiaia poco argillosa	47	51	4	56	9	5	ghiaia deb argillosa
35	9	6	Ghiaia sciolta	51	57	6	56	5	-1	ghiaia
36	10	6	Argilla	57	64	7	56	-1	-8	argilla
37	11	6	Ghiaia	64	67.5	3.5	56	-8	-11.5	ghiaia
38	12	6	Argilla	67.5	85	17.5	56	-11.5	-29	argilla

Fig. 3.4: Tabella generata in ArcGis riguardante le stratigrafie di alcuni pozzi.

3.2.2 Suddivisione dei sondaggi per classi di profondità

Al fine di poter evidenziare in maniera rapida i sondaggi più profondi, e quindi più significativi all'individuazione del bedrock, si è reso necessario visualizzare i pozzi in funzione della profondità. In ArcGis, infatti, è possibile rappresentare gli elementi grafici in base ai valori che questi assumono per un qualsiasi campo della tabella degli attributi. Andando nelle *properties* dei pozzi è stato possibile scegliere l'opzione *Graduated Colors* e selezionare un certo numero di classi entro cui far ricadere i valori dell'attributo profondità (Fig. 3.5).

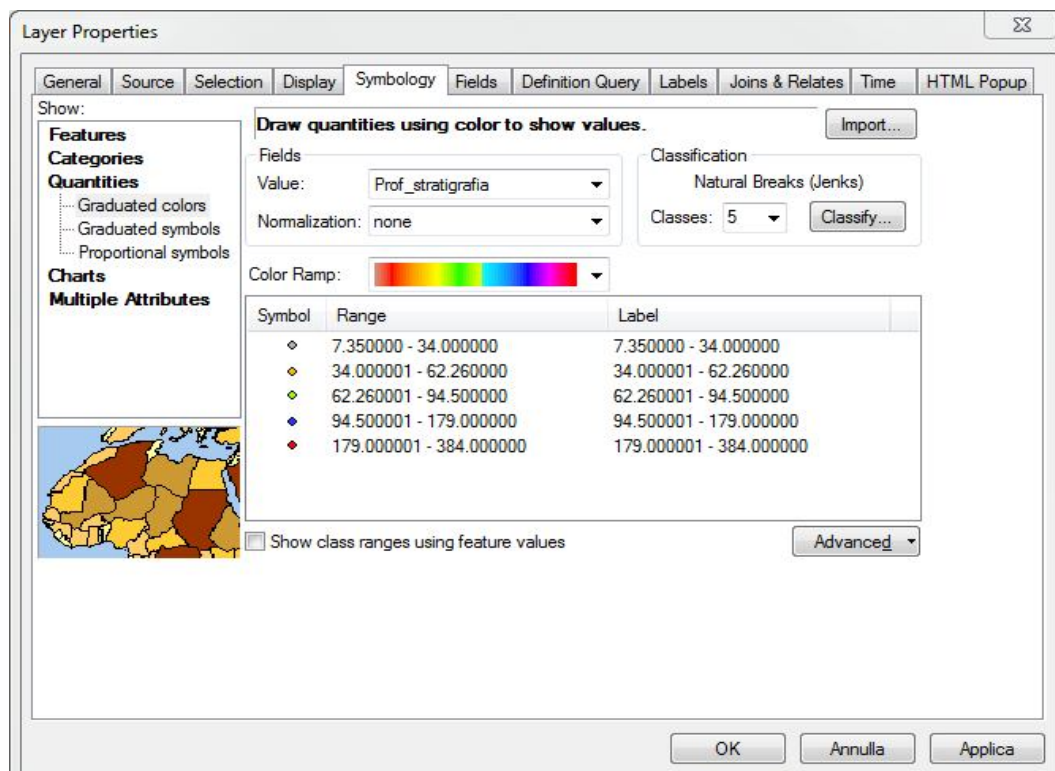


Fig. 3.5: *Quantities Graduated colors*: con questa modalità ciascun oggetto geometrico assume la veste grafica prevista per la classe di valore entro la quale è compreso il valore del suo attributo.

Il risultato di questo step è mostrato in Figura 3.5.

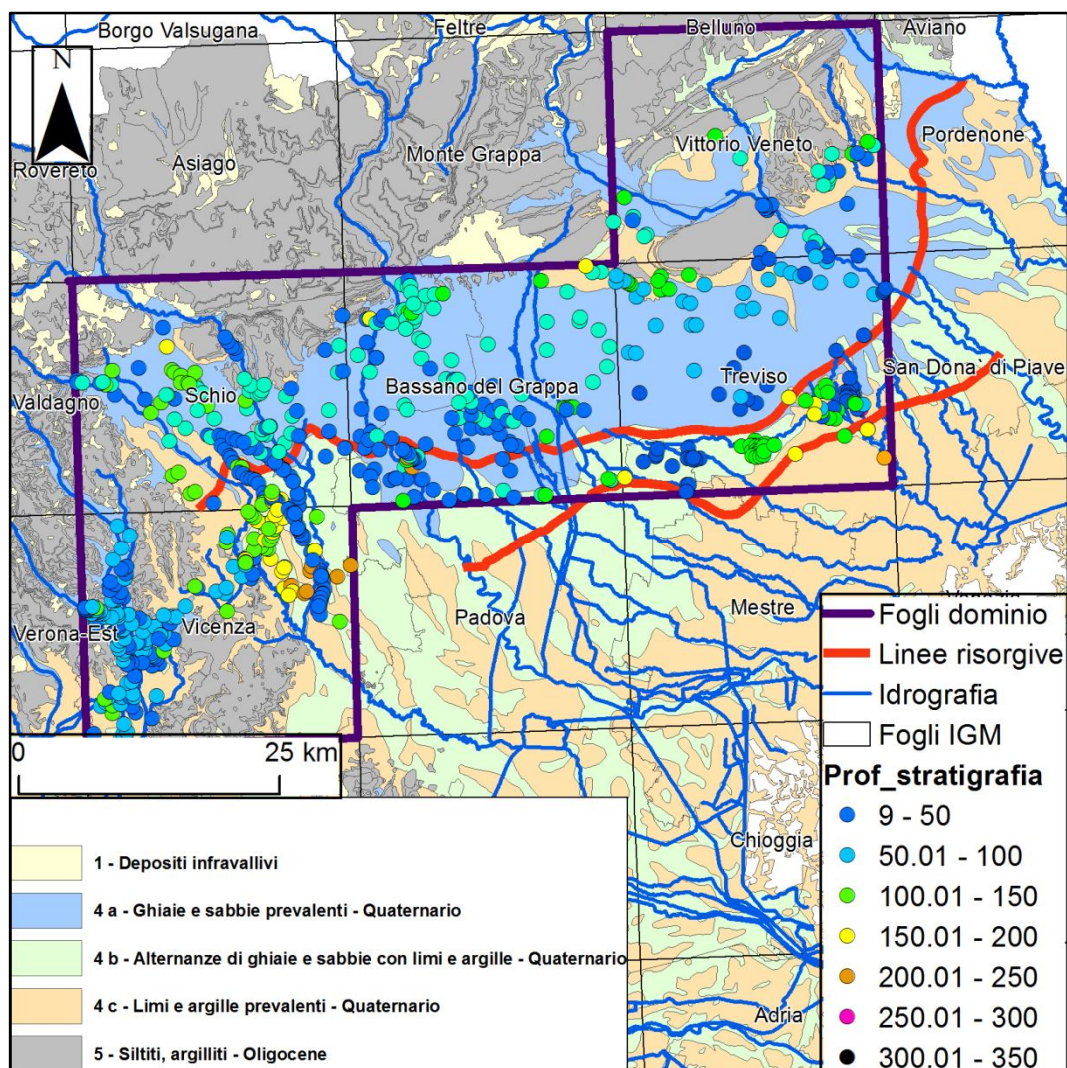


Fig. 3.5: Pozzi del DB-UNIPD, colorati in base alla profondità della stratigrafia.

Prima di caricare i dati nel software GIS, sono state realizzate delle *query* che automaticamente individuano gli oggetti che corrispondono, sulla base delle informazioni tabellari, a uno specifico criterio di selezione. Le *query* sono state definite sulla base della profondità delle stratigrafie, utilizzando 7 classi, che, di volta in volta, è possibile visualizzare separatamente in GIS. Grazie a tale funzione si ottengono tabelle degli attributi contenenti i dati dei soli pozzi che rientrano nel criterio scelto. Ogni *query* è stata esportata in formato testo (*txt*) e successivamente importata in GIS.

3.2.3 Visualizzazione ed elaborazione delle stratigrafie in ambiente GMS

GMS 10.0 è un ambiente grafico utilizzato soprattutto per le simulazioni di flusso e di trasporto delle acque sotterranee, in cui può essere preparato l'input e visualizzato l'output (*pre-processing* e *post-processing*). Il software però non si limita ad essere utilizzato per fini idrogeologici, infatti è stato utile in questo contesto anche per gestire ed elaborare le informazioni stratigrafiche derivate dai database disponibili. L'interfaccia di GMS si articola in 10 moduli distinti con utilità differenti, uno dei quali è proprio chiamato modulo pozzi (o *Boreholes*).

Le tabelle di dati che contengono gli attributi stratigrafici dei pozzi in formato testo sono caricate come input in GMS, e questo come output restituisce una rappresentazione grafica dei sondaggi in colonne stratigrafiche dove ciascuna litologia è distinta attraverso un colore o una campitura. Queste colonne stratigrafiche sono visualizzabili sotto 3 punti di vista differenti:

- *Plan View*, ovvero la vista in pianta (Fig. 3.6);
- *Front View*, ovvero la vista frontale (Fig. 3.7);
- *Side View*, ovvero la vista laterale.

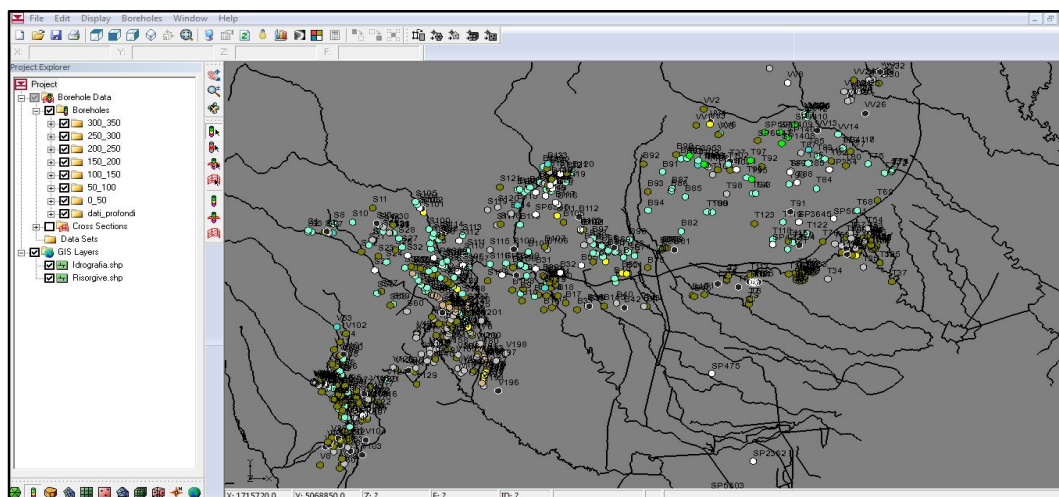


Fig. 3.6: La *Plan View* dei pozzi.

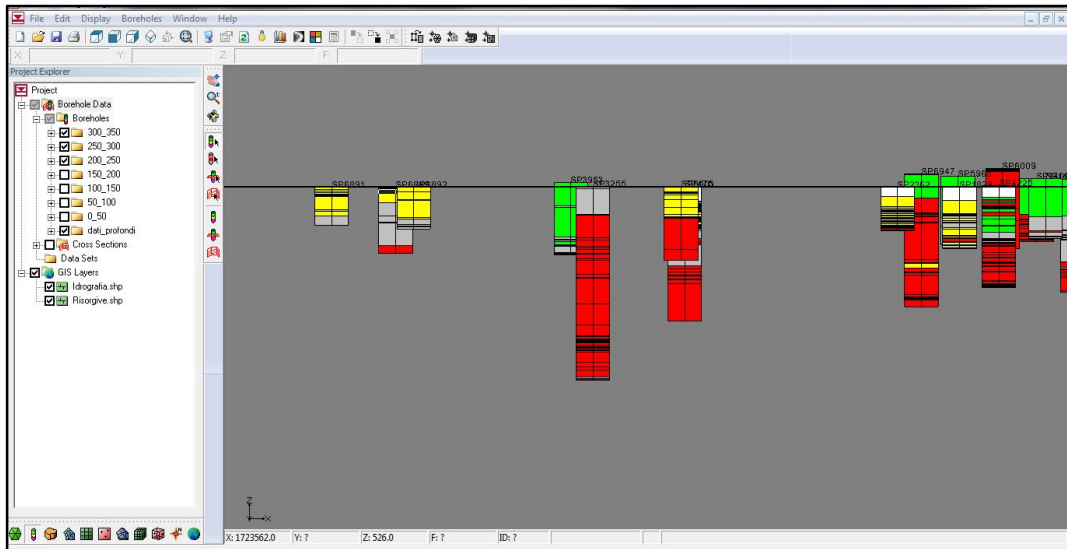


Fig. 3.7: La *Front View* dei pozzi con visualizzazione delle colonne stratigrafiche.

Facendo una *Front View* è possibile visualizzare la stratigrafia dei pozzi. Ogni litologia è caratterizzata da un codice identificativo (codice litologico) a cui possono essere associati un colore o una campitura grazie all'opzione *Materials* (Fig. 3.8).

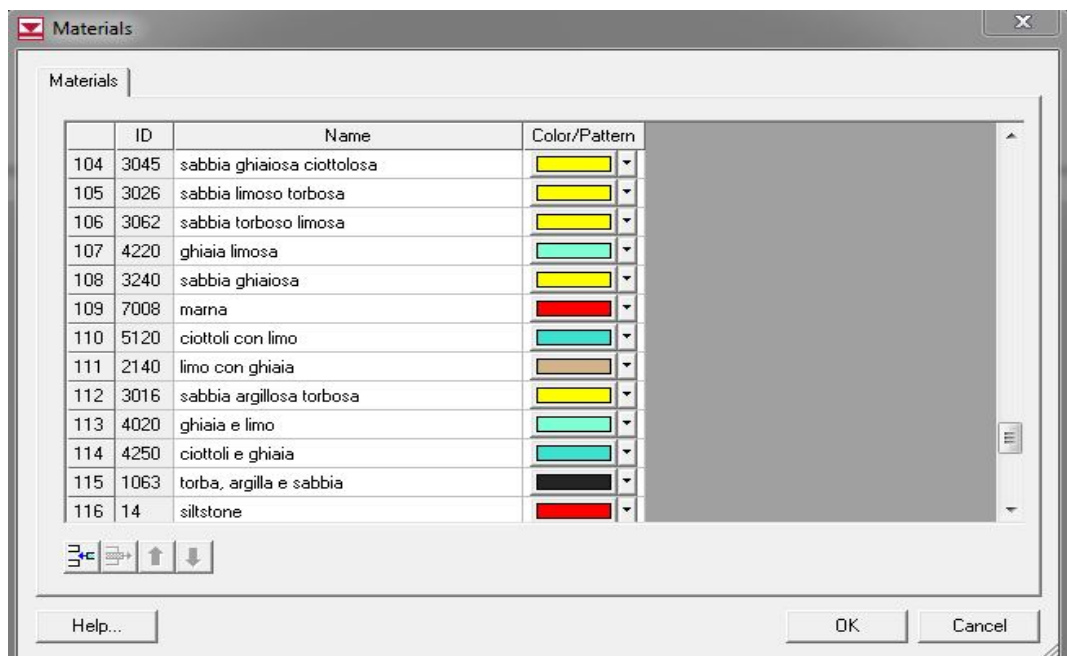


Fig. 3.8: Opzione *Materials*: permette di associare ad ogni ID un determinato colore.

3.2.4 Scelta delle tracce delle sezioni geologiche

L'ubicazione delle tracce delle sezioni è stata decisa sulla base della profondità e rappresentatività dei sondaggi: si è cercato di far passare tali tracce per quei pozzi che sono più profondi e che hanno una stratigrafia più dettagliata dal punto di vista litologico. Come precedentemente accennato, i sondaggi del DB-AGIP sono talvolta stati preferiti rispetto a quelli del DB-UNIPD in quanto la stratigrafia raggiunge una profondità più consona allo scopo prefissato. Tuttavia, per poter realizzare sezioni che coprissero una buona parte del territorio preso in esame, sono stati inclusi molti pozzi nel DB-UNIPD, scelti sempre con i criteri di cui sopra.

È stato possibile così tracciare in GMS, mediante lo specifico comando *Create Borehole Cross Sections*, 6 tracce denominate in ordine progressivo da ovest verso est con numerazione da 1 a 6 (Fig. 3.9).

Laddove è stato possibile, le sezioni sono state prolungate oltre la linea delle risorgive al fine di investigare e validare il passaggio granulometrico che esiste in corrispondenza di questa zona di demarcazione tra l'Alta e la Bassa Pianura.

Per poter sfruttare al meglio i carotaggi del DB-AGIP che, quasi sempre, intercettano in profondità il bedrock, quelli nell'intorno delle tracce delle sezioni scelte sono stati anch'essi proiettati diventando parte integrante delle sezioni geologiche.

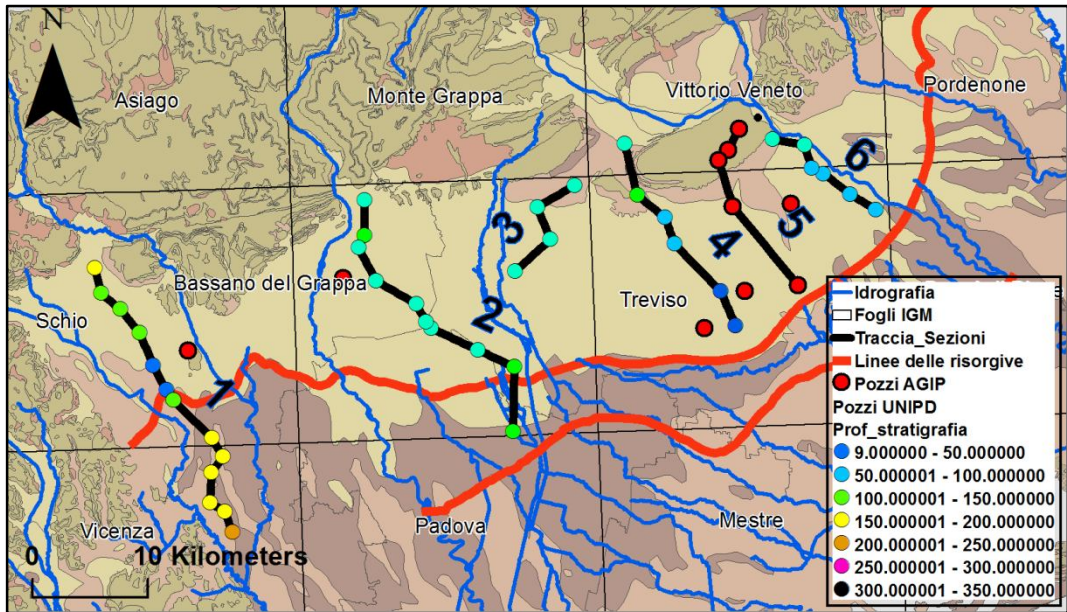


Fig. 3.9: Le tracce delle sezioni scelte.

L'utilizzo di *GMS* è stato di fondamentale importanza nella scelta dei pozzi su cui vincolare la traccia delle sezioni. Infatti è possibile visualizzare i sondaggi che ricadono lungo la traccia scelta mediante l'opzione *Cross Section Edition* (Fig.3.10).

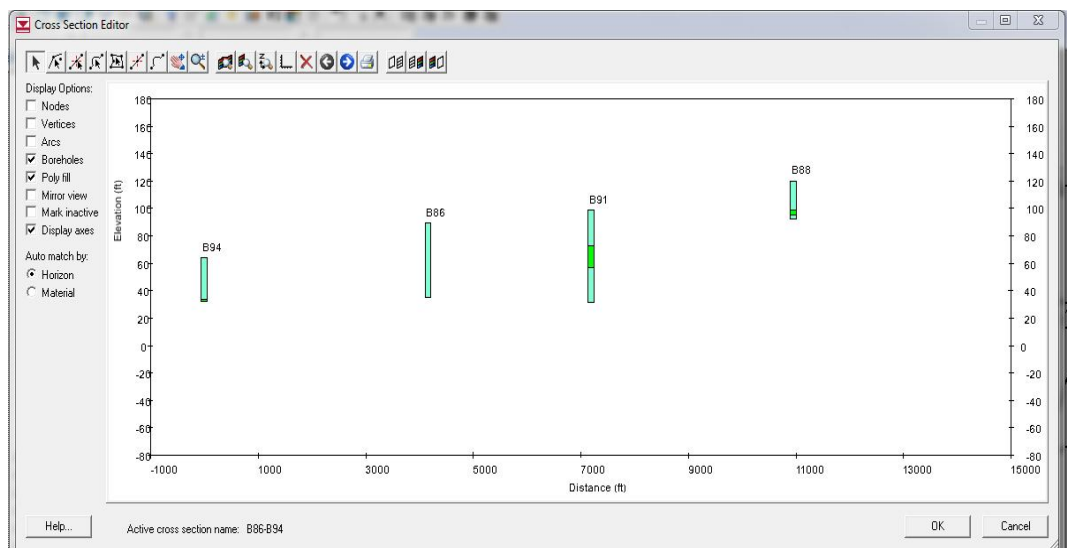
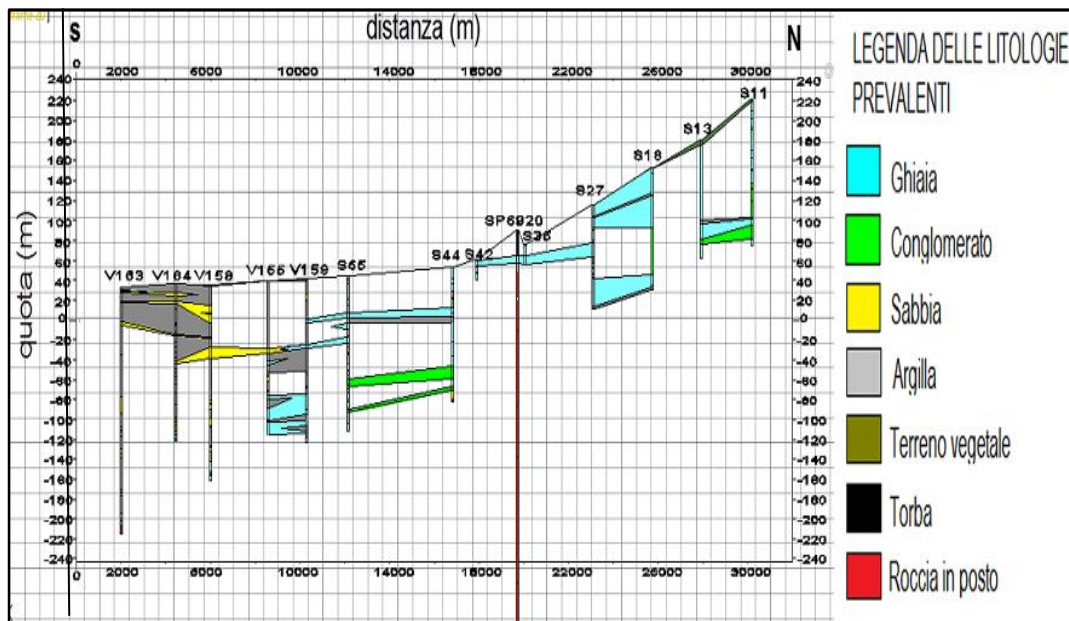


Fig. 3.10: Il comando *Cross Section Edition* permette di creare e visualizzare sezioni trasversali tra pozzi.

3.2.5 Costruzione delle sezioni geologiche in ambiente CAD

Una volta scelte le tracce delle sezioni, queste sono state disegnate in AUTOCAD 2013, software grafico molto usato in ambito ingegneristico, che permette di tracciare ogni tipo di linea e di applicare effetti di retinatura. Su ogni sezione elaborata sono stati presentati, laddove è stato possibile, i limiti di separazione tra le diverse litologie. Poiché i sondaggi del DB-AGIP sono molto più profondi rispetto a quelli del DB-UNIPD, a fini di risoluzione grafica delle immagini, è stato necessario troncarli, in modo da poter mettere in luce più dettagliatamente quelle parti di sezione dove sono state fatte le correlazioni. Nelle Figure di seguito sono presentate le 6 sezioni geologiche realizzate (Fig. 3.11, Fig. 3.12, Fig. 3.13, Fig.3.14, Fig. 3.15 e Fig. 3.16).



La sezione 1 si estende per circa 27 km, ed è localizzata all'estrema sinistra del dominio, nei dintorni di Schio. I sondaggi presenti in quest'intorno hanno permesso di estenderla oltre la linea superiore delle risorgive, per circa 15 km. Il passaggio tra l'Alta pianura e la zona dei fontanili è documentato dalla riduzione di granulometria da nord verso sud lungo la traccia della sezione: a partire dal

sondaggio B44, si può notare come gli importanti strati di ghiaia che si trovano verso nord tendano ad assottigliarsi, e comincino invece a diventare più frequenti litologie più fini come la sabbia e l'argilla. Il cambiamento è documentato anche dal drastico cambio di pendenza che si riscontra tra l'ultimo sondaggio presente nella zona dell'Alta pianura (SP6920) e il primo sondaggio nella fascia dei fontanili (S44). Infatti, la linea superiore delle risorgive coincide con il limite di sedimentazione delle ghiaie grossolane, limite che determina appunto la brusca variazione di pendenza della pianura. La scarsa profondità dei sondaggi non permette di arrivare a vedere la roccia in posto, se non per il sondaggio profondo S6920 il quale mostra un bedrock abbastanza superficiale, a circa 35 metri al di sotto del piano campagna. Localmente sono presenti lungo le stratigrafie orizzonti di torba, seppur di scarso spessore.

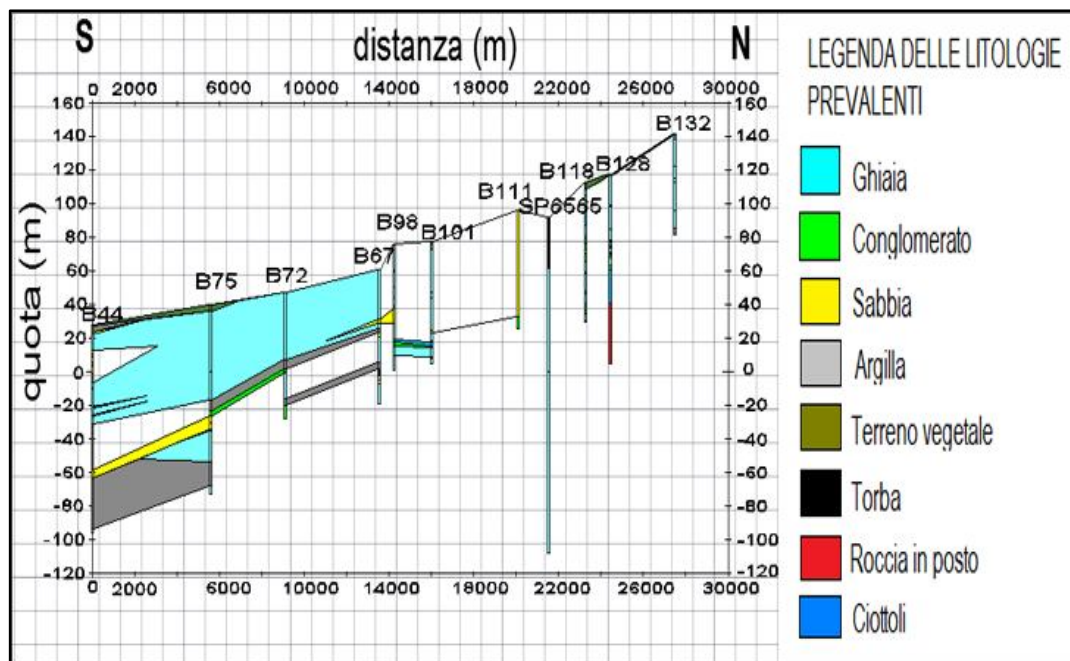


Fig. 3.12: Sezione 2.

La sezione 2 passa per Bassano Del Grappa ed ha una lunghezza di circa 28 km, gli ultimi 4 dei quali si trovano oltre la linea superiore delle risorgive. L'unico sondaggio che documenta la stratigrafia della zona dei fontanili è il B44: in

profondità si può notare un importante strato di argilla e sopra un orizzonte di sabbia; il potente spessore di ghiaia sovrastante comincia a perdere la sua continuità in quanto sottili straterelli di sabbia e argilla cominciano ad impostarsi al suo interno. Anche per la sezione 2 il bedrock è raggiunto solo da un unico sondaggio, il B128, ad una profondità di circa 80 metri sotto il piano campagna. Da constatare infine lo strano spessore di sabbia che caratterizza il sondaggio B111, in quanto non viene registrato anche dai sondaggi immediatamente vicini ad esso; forse si tratta semplicemente di un errore in fase di identificazione della carota.

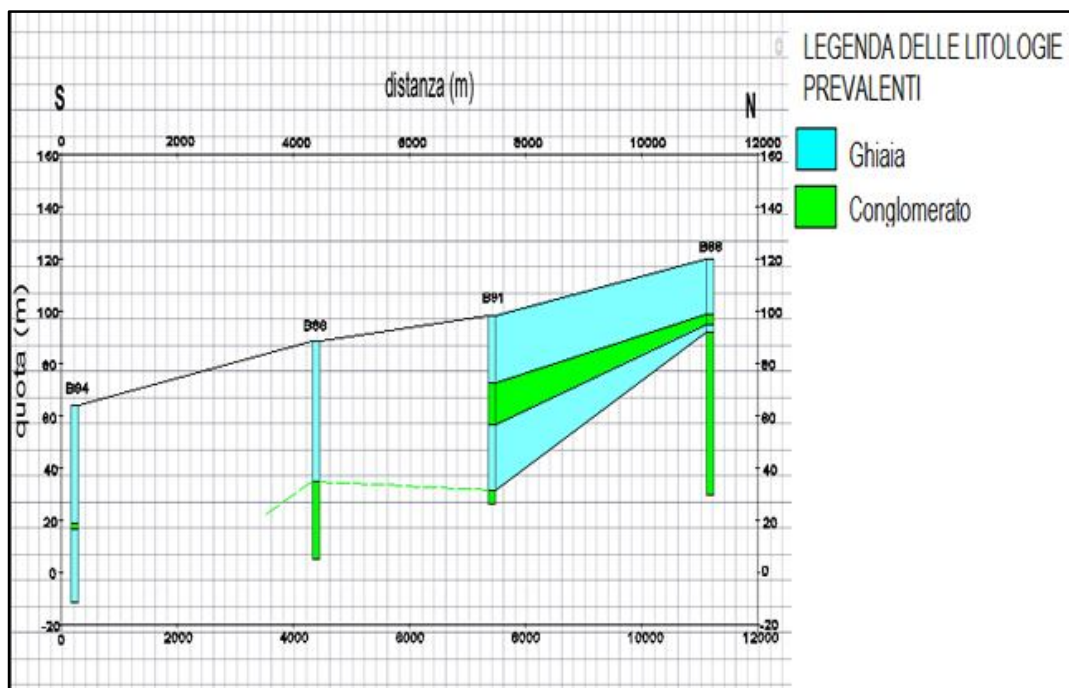


Fig. 3.13: Sezione 3.

La sezione 3 è situata nell'Alta pianura trevigiana, sul Megafan del Piave di Montebelluna e, con i suoi 11 km circa di lunghezza, è la più corta di tutte quelle realizzate. Questa porzione di pianura, come dimostra la Figura 3.13, è caratterizzata da un materasso alluvionale a granulometria grossolana che si sviluppa dal piede dei rilievi prealpini. Potenti strati di ghiaia caratterizzano i

primi metri di sottosuolo, a cui si alternano in profondità spessori abbastanza consistenti di conglomerato. Quest'ultimo può essere identificato come l'unità stratigrafica chiamata *Conglomerato del Montello*, che affiora in corrispondenza dell'omonimo rilievo. Tale formazione che fa parte della Molassa miocenica delle Alpi Meridionali, cioè del complesso di sedimenti inizialmente marini, poi continentali, accumulatisi nell'avanfossa a seguito del progressivo smantellamento della catena alpina in sollevamento (Zampieri, 2005).

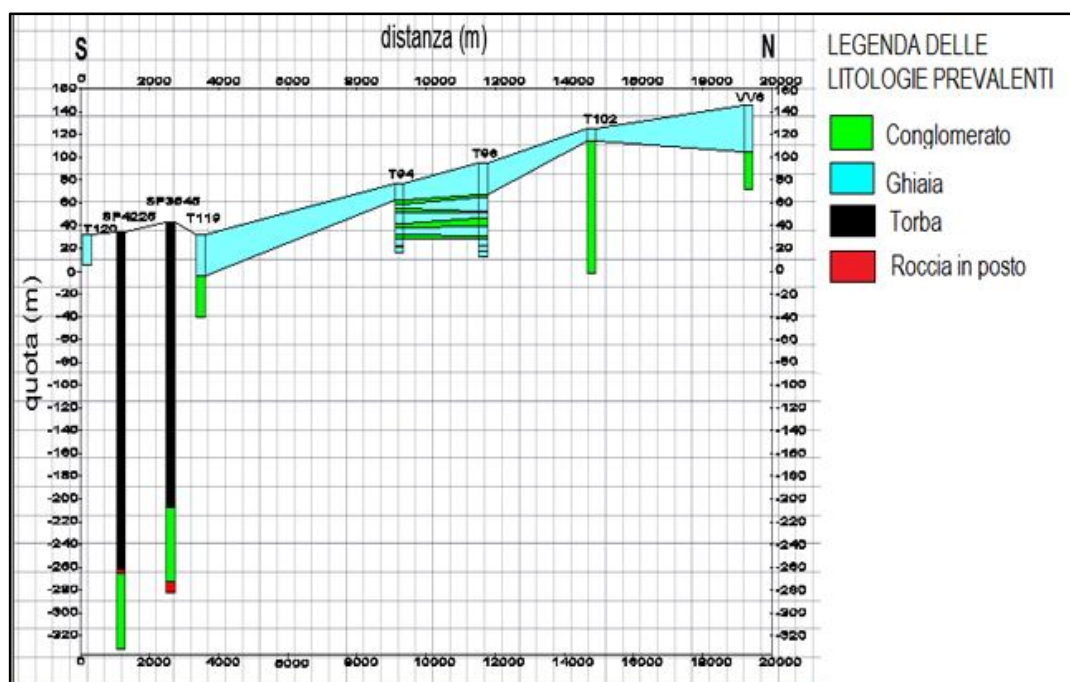


Fig. 3.14: Sezione 4.

La sezione 4 lambisce il Montello e si estende fino alla provincia di Treviso, per un totale di circa 19 km. Le granulometrie riscontrabili lungo la traccia della sezione sono principalmente ghiaiose e conglomeratiche, prive di livelli argillosi e sabbiosi. I potenti strati di ghiaia, spessi anche 30 m, hanno buona continuità laterale, e sono talora intercalati da strati più sottili di conglomerato, i quali diventano anch'essi più spessi in profondità. La continuità è rotta talvolta da livelli torbosi presenti nei sondaggi SP3625 e SP4225 che in alcuni casi possono raggiungere spessori di circa 300 m. Tali sondaggi non rientrano propriamente nella

traccia della sezione, ma, essendo nell'intorno di questa, sono stati comunque proiettati per cercare di arrivare in profondità alla roccia in posto.

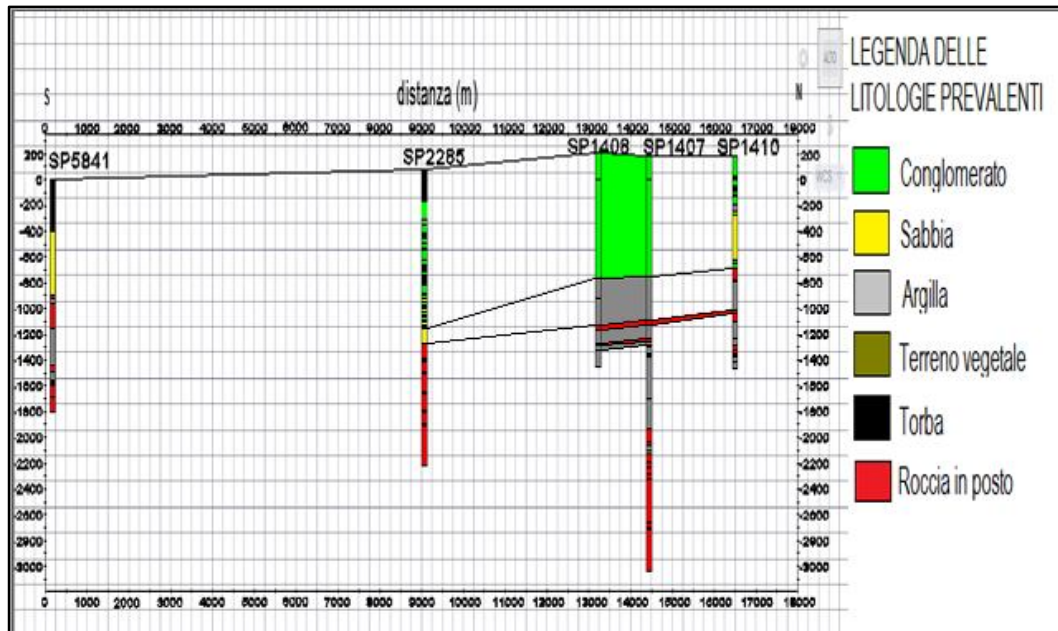


Fig. 3.15: Sezione 5.

La sezione 5 è la più profonda tra tutte quelle redatte, essendo stata costruita utilizzando solo i sondaggi del DB – AGIP. Essa è lunga circa 17 km e si estende dal Montello fino a lambire la linea superiore delle risorgive. I primi tre sondaggi verso nord sono ubicati proprio sul rilievo conglomeratico del Montello e ne riscontrano quindi la litologia per le prime centinaia di metri, al di sotto delle quali è interrotta da strati a granulometria più fine. Gli ultimi due sondaggi verso sud documentano la progressiva scomparsa dei potenti orizzonti conglomeratici, lasciando spazio a un'eterogeneità granulometrica in cui piccoli spessori di conglomerato possono trovarsi intervallati da altrettanto piccoli spessori di torba, sabbia ed argilla. La profondità dei sondaggi permette di raggiungere la roccia in posto: il sondaggio SP1410 non ne presenta un orizzonte continuo lungo la verticale, essendo intervallata da strati a granulometria argillosa; spostandosi verso sud essa comincia a essere abbastanza continua a partire dai 2 km di profondità

per poi diventare più superficiale nel Sondaggio SP2285 dove comincia a vedersi attorno a 1,2 km al di sotto del piano campagna; l'ultimo sondaggio a sud vede infine il bedrock a circa 1 km di profondità, alternato poi da straterelli di argilla che possono essere interpretati come materiale di disaggregazione della roccia sovrastante.

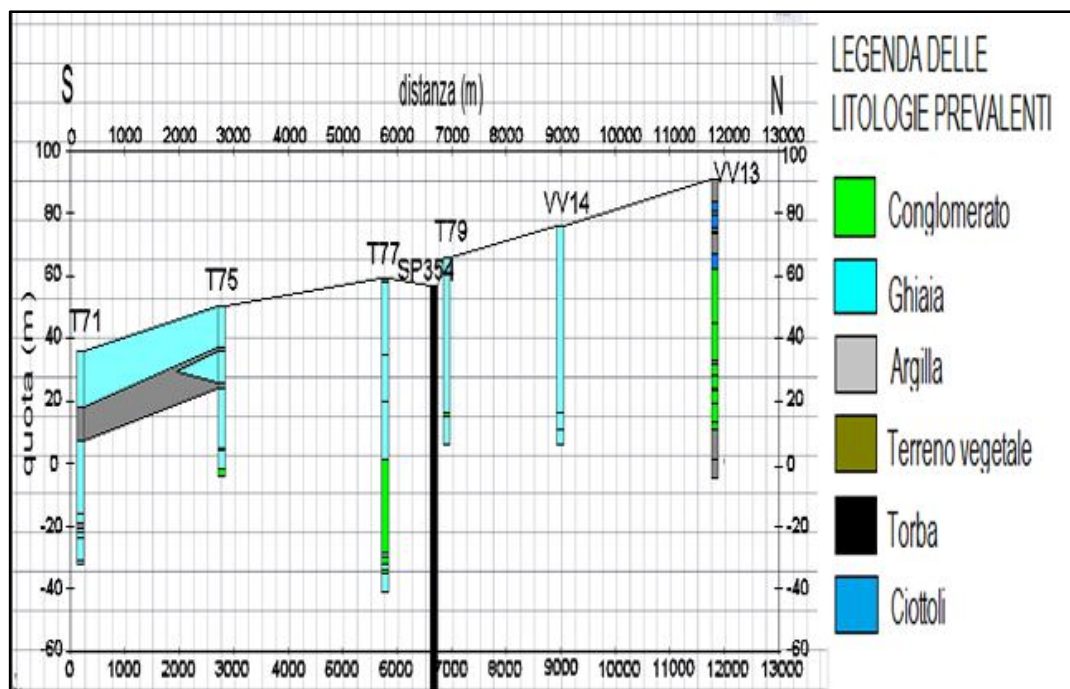


Fig. 3.16: Sezione 6.

L'ultima sezione eseguita si trova vicino al limite est del dominio, sotto il rilievo del Montello. Essa è lunga circa 12 km e nell'ultimo tratto corre parallela al corso del Fiume Piave. La granulometria prevalente lungo la traccia della sezione è quella ghiaiosa, con spessori che possono arrivare a circa 75 metri (VV14), talora intervallati da sottili orizzonti argillosi. Più in profondità compaiono strati conglomeratici spessi qualche decina di metri che scompaiono andando verso sud. I carotaggi selezionati sono troppo superficiali per incontrare la roccia in posto.

3.2.6 Digitalizzazione delle isobate reperite in letteratura

Con il completamento delle sezioni, ci si è resi conto che solo in taluni punti era possibile ipotizzare e tracciare la profondità del bedrock, questo per i motivi già precedentemente accennati. Quindi il lavoro è stato integrato grazie allo schema delle isobate della Pianura Veneta redatto dall'Agip (Antonelli *et al*, 1990; Fig. 3.17), alla mappa delle isobate del substrato roccioso dell'area di Bassano Del Grappa, reperita dallo studio di C.N.R & Regione Veneto (1988; Fig. 3.18) e alla mappa delle isobate della base del Pliocene reperibile in Pola *et al*. (2014; Fig. 3.19).

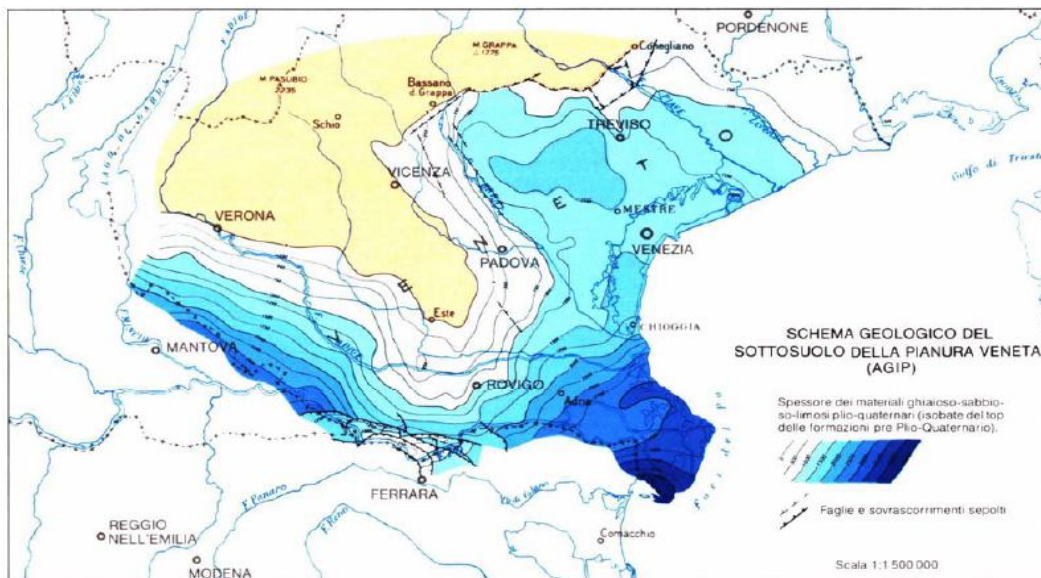


Fig. 3.17: Schema geologico del sottosuolo della Pianura Veneta - spessore dei materiali plio-quaternari (isobate del top delle formazioni pre - plio quaternarie; da Antonelli *et al*,1990)

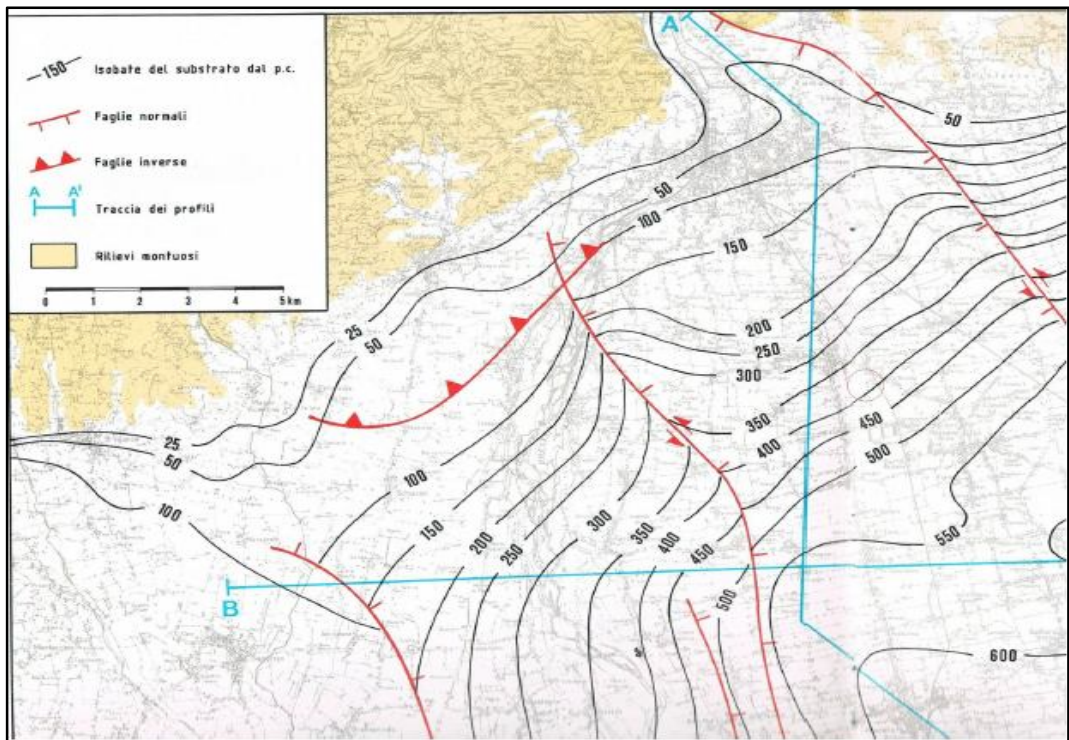


Fig. 3.18: Mappa delle isobate del substrato roccioso dell'area di Bassano del Grappa (da C.N.R - Regione Veneto, 1988).

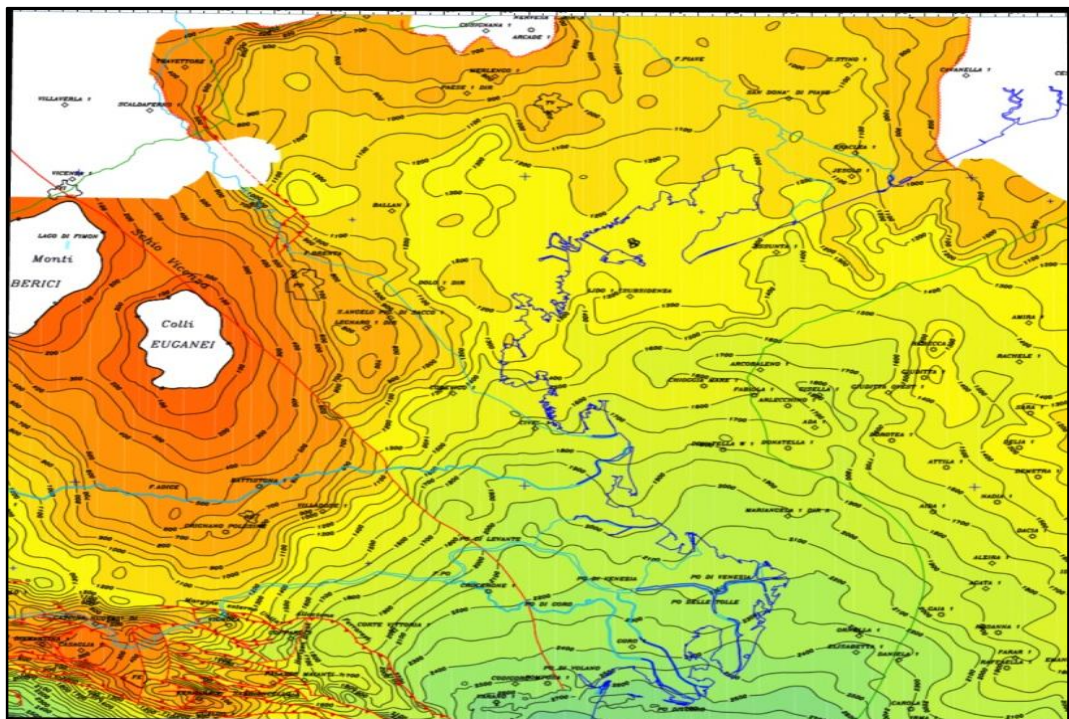


Fig. 3.19: Mappa delle isobate della base del Pliocene (da Pola *et al*, 2014)

Le isobate di cui sopra sono state digitalizzate in ArcGis andando a ridisegnare in modo accurato l'isobata di valore 0 e facendola coincidere con l'affioramento delle formazioni rocciose presente nella Carta Geologica della Regione Veneto alla scala 1:250000 (Antonelli *et al.*, 1990). Il risultato, per le isobate che interessano il dominio, è mostrato nelle figure sottostanti (Fig.3.20, Fig. 3.21 e Fig. 3.22):

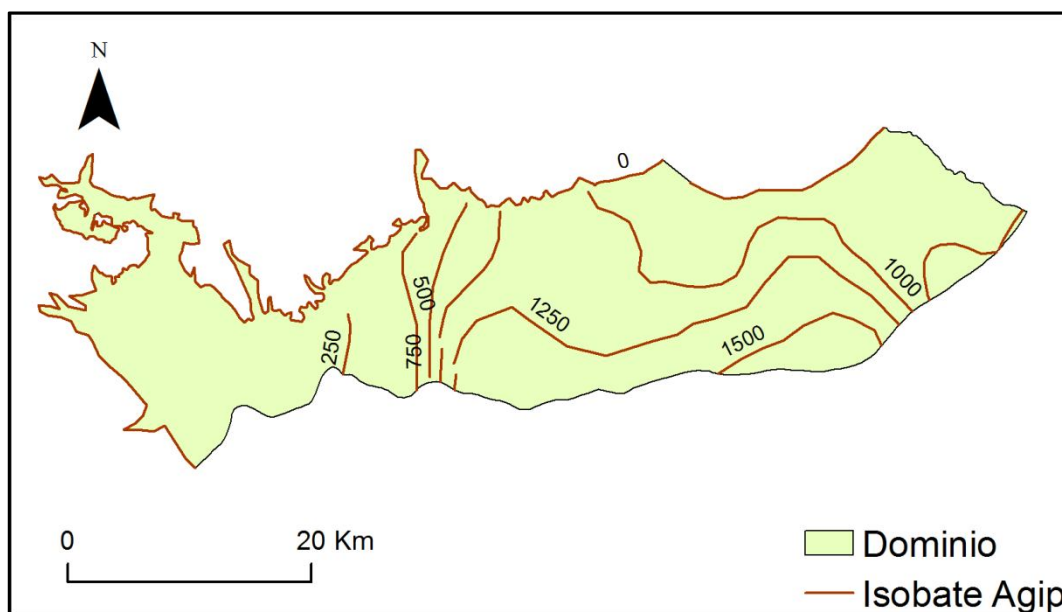


Fig. 3.20: Isobate Agip digitalizzate con ArcGis.

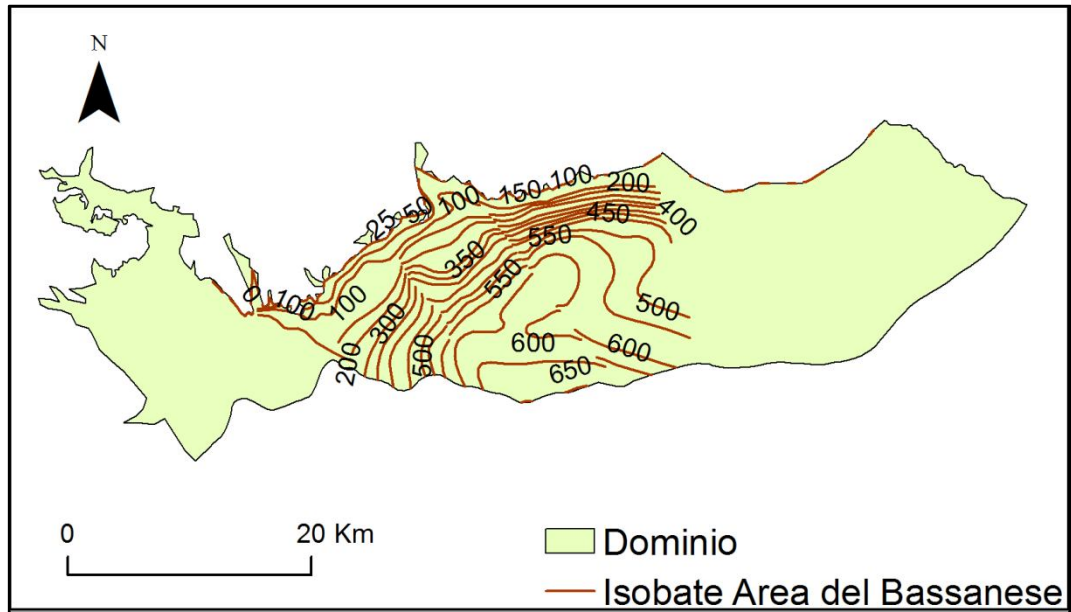


Fig. 3.21: Isobate dell'area del Bassanese digitalizzate con ArcGis.

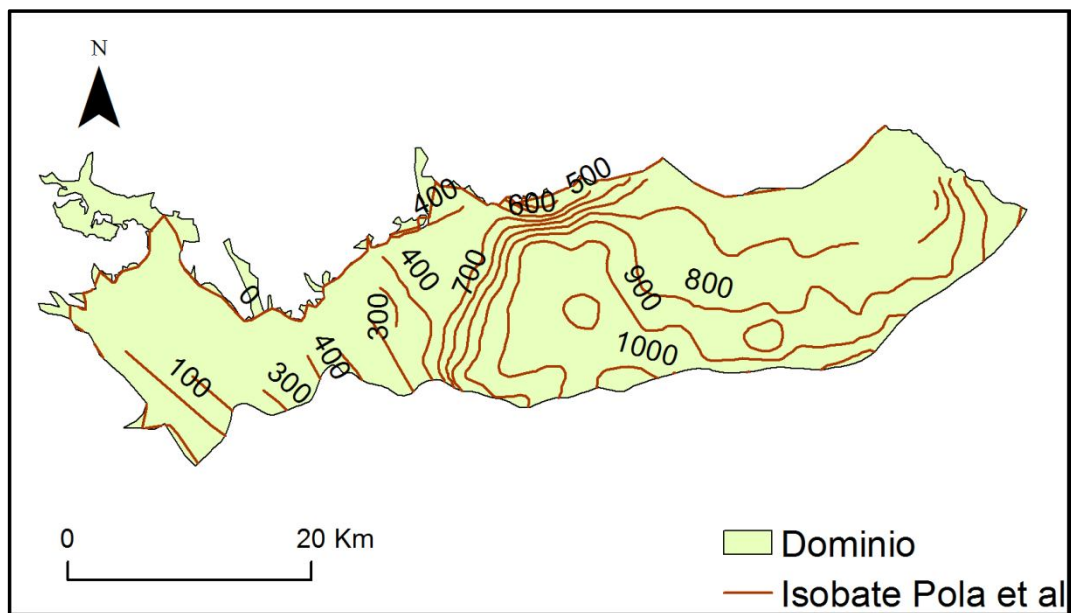


Fig. 3.22: Isobate della base del Pliocene digitalizzate con ArcGis.

Le isobate dello schema AGIP mostrano come il substrato si trovi ad una profondità pari a 0 m (piano campagna) in corrispondenza del margine occidentale dove infatti affiora ed in zone quali il Montello; raggiunge invece la massima profondità andando verso sud, dove si può trovare ad una quota massima di 1500 m sotto il piano campagna. La situazione del Bassanese mostra che il

bedrock ha una variazione di profondità compresa in un range che va da 50 m a 650 m sotto il piano campagna. Per quanto riguarda invece le isobate facenti riferimento alla base del Pliocene, esse sono state tracciate ogni 100 m e vanno dall'isobata minima di 0 m a quella massima di 1000 m procedendo da nord verso sud.

3.2.7 Creazione dei TIN e conversione in RASTER

Le isobate digitalizzate rappresentano delle isolinee di profondità nota del bedrock; i vertici dei triangoli che costituiscono la rete del TIN durante il processo di conversione vengono distribuiti su queste linee. Un TIN può essere definito come un modello vettoriale del terreno ottenuto attraverso la triangolazione di punti quotati della superficie. Con ArcGis creare un TIN è un'operazione semplice: nell'*ArcToolBox* è presente l'opzione *Create TIN* all'interno della quale l'utente deve semplicemente inserire l'input (solitamente uno shape di punti o linee che contiene le quote da interpolare e che viene utilizzato per delineare la rete di triangoli), specificare dove si desidera che venga salvato l'output e il sistema di coordinate scelto. I TIN vengono visualizzati per default attraverso una veste grafica che prevede la classificazione per classi altimetriche in scala di grigio. Agendo sulle *Properties* del Layer è possibile modificare lo spettro cromatico. Di seguito sono visualizzati i TIN creati a partire dalle isobate AGIP (Fig. 3.23), dalle isobate di Bassano Del Grappa (Fig. 3.24) e dalle isobate della base del Pliocene (Fig. 3.25).

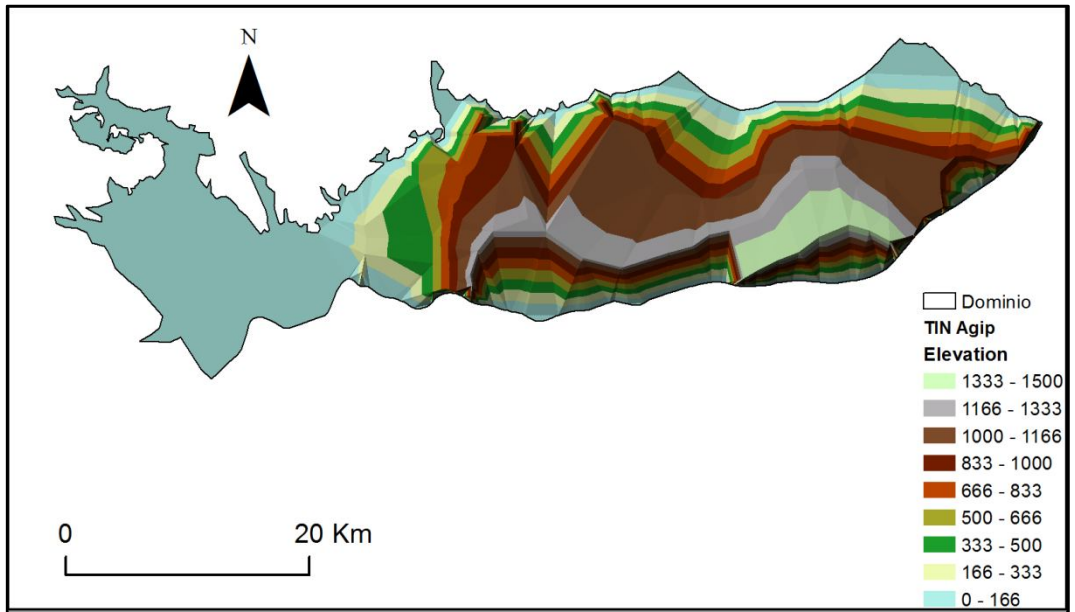


Fig. 3.23: TIN generato partendo dalle isobate AGIP.

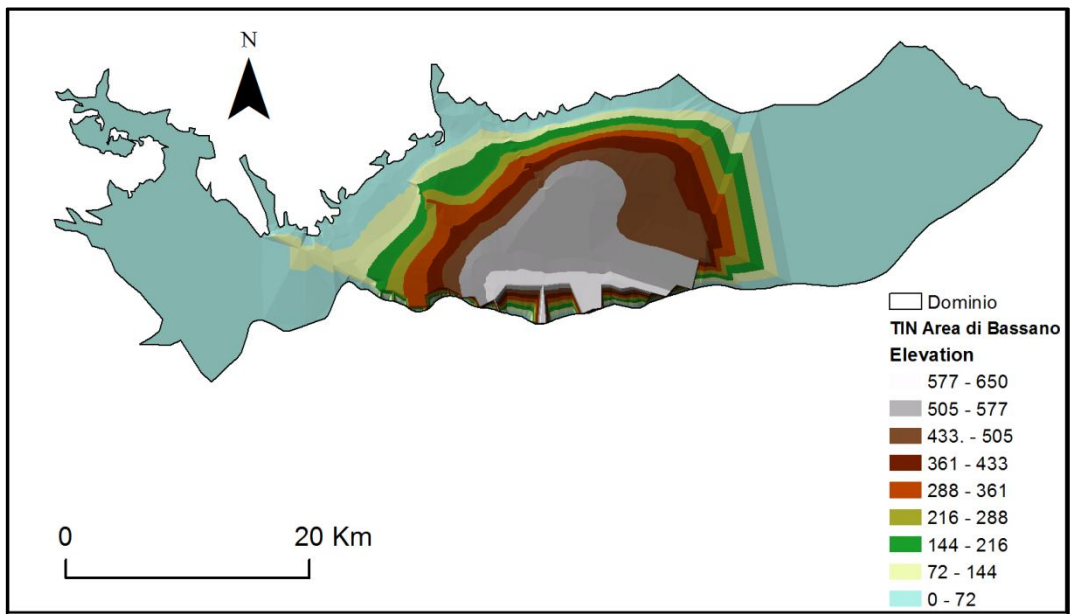


Fig. 3.24: TIN generato partendo dalle isobate del Bassanese.

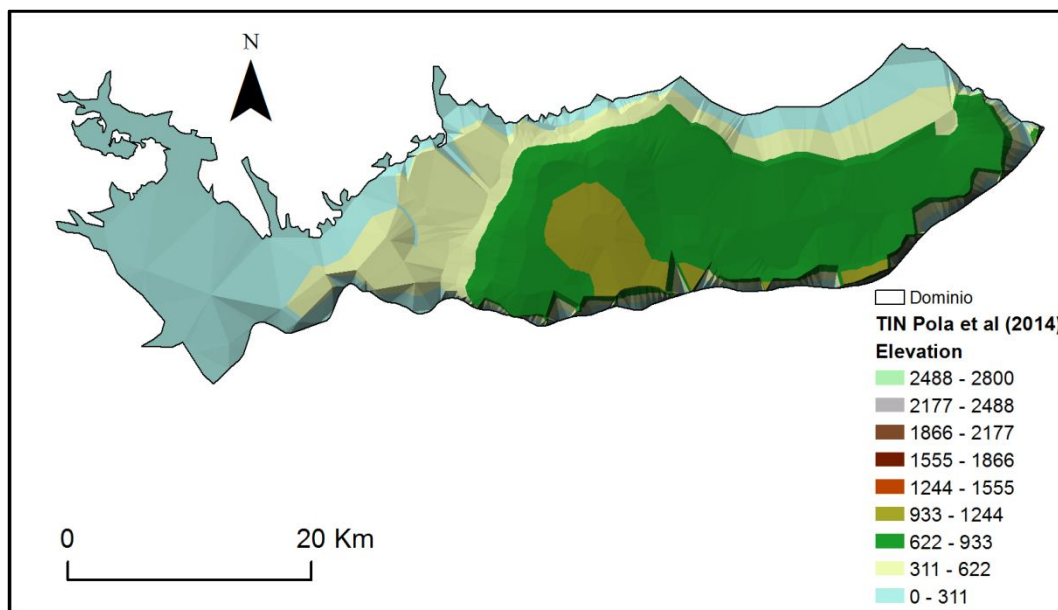


Fig. 3.25: TIN generato partendo dalle isobate della base del Pliocene.

3.2.8 Ricostruzione della base dell'acquifero indifferenziato

Successivamente si è proceduto a convertire i TIN creati in RASTER per poter essere poi sottratti al DEM della Regione Veneto, facendo la sottrazione dell'isospessore alla quota. ArcGis permette questa operazione attraverso l'utilizzo del Tool *TIN to Raster* presente negli *ArcToolbox*. Il processo converte la rete irregolare di triangoli di cui è formato un TIN in un RASTER attraverso l'interpolazione, che può essere del tipo *Natural Neighbor* oppure *Linear*. L'interpolazione lineare, che è il metodo che è stato utilizzato, vede i triangoli del TIN come dei piani, interpolando linearmente i valori lungo i lati di questi triangoli e attribuendo un valore proporzionale alla distanza tra due punti adiacenti osservati. Il metodo del *Natural Neighbor* si avvale invece di un sistema di ponderazione mediante l'attribuzione di pesi a ogni punto di osservazione, in base al concetto dell'area di influenza, secondo cui i punti ricadenti all'interno dei poligoni di Thiessen, costruiti a partire dalla rete di triangoli del TIN, sono più vicini al punto osservato interno che a tutti gli altri punti osservati. La conversione da TIN a RASTER prevede che l'utente specifichi il TIN di input da inserire, il percorso dove si intende salvare l'output, il metodo di interpolazione da utilizzare

e la *sampling distance*, cioè la dimensione delle celle del RASTER. Come riferimento spaziale per la conversione TIN – RASTER è stato usato il DEM della Regione Veneto con passo 25x25 m (Fig. 3.26). Successivamente alla conversione, i RASTER sono stati sottratti al DEM per il calcolo della profondità del substrato, utilizzando il *Raster Calculator* disponibile nei *Toolbox* di *Map Algebra*.

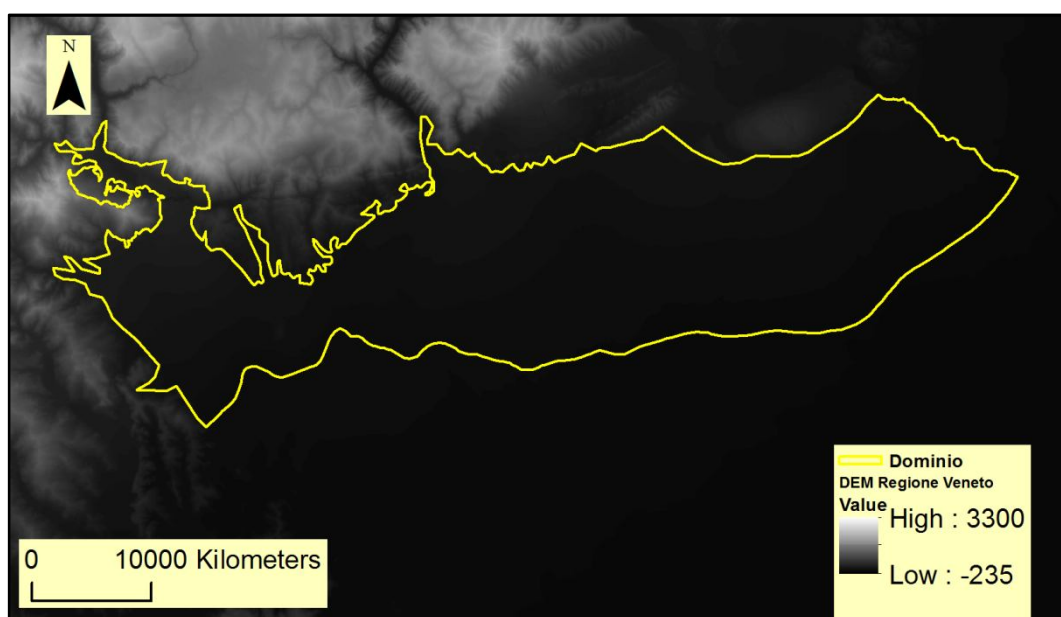


Fig. 3.26: il DEM della Regione Veneto con passo 25x25 m.

I RASTER risultanti dalla sottrazione con il DEM sono mostrati di seguito (Fig. 3.27; Fig. 3.28 e Fig. 3.29).

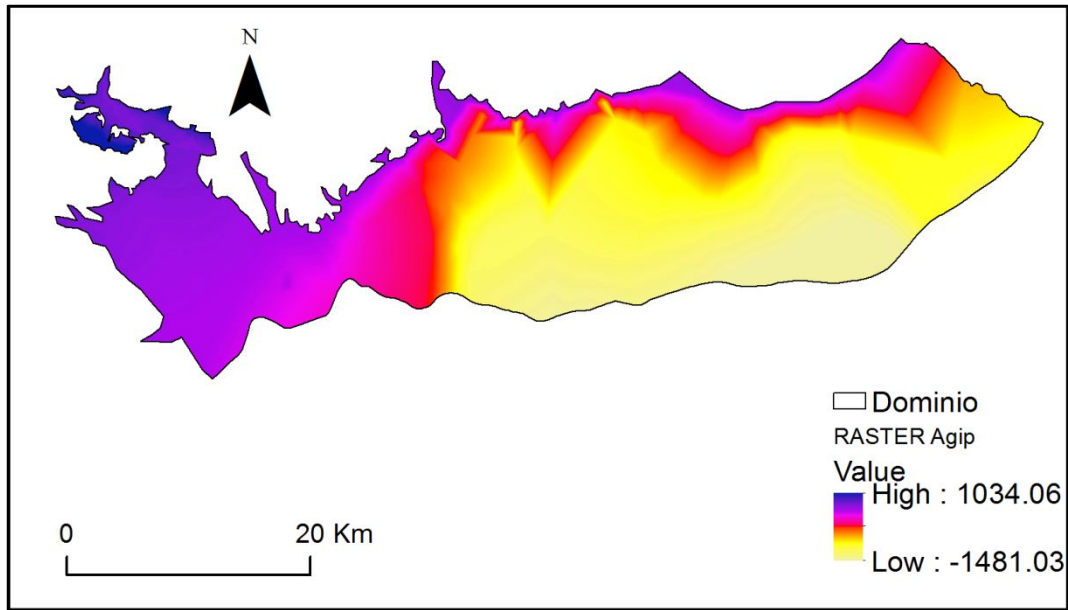


Fig. 3.27: RASTER ottenuto dalla sottrazione tra il DEM e le isolinee AGIP.

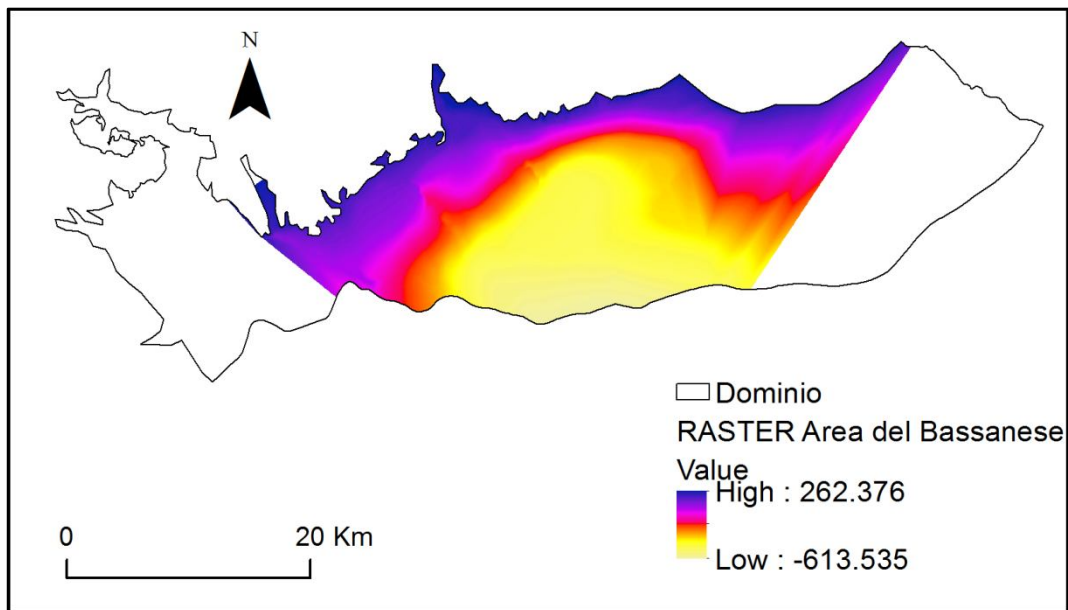


Fig. 3.28: RASTER ottenuto dalla sottrazione tra il DEM e le isolinee dell'area del Bassanese.

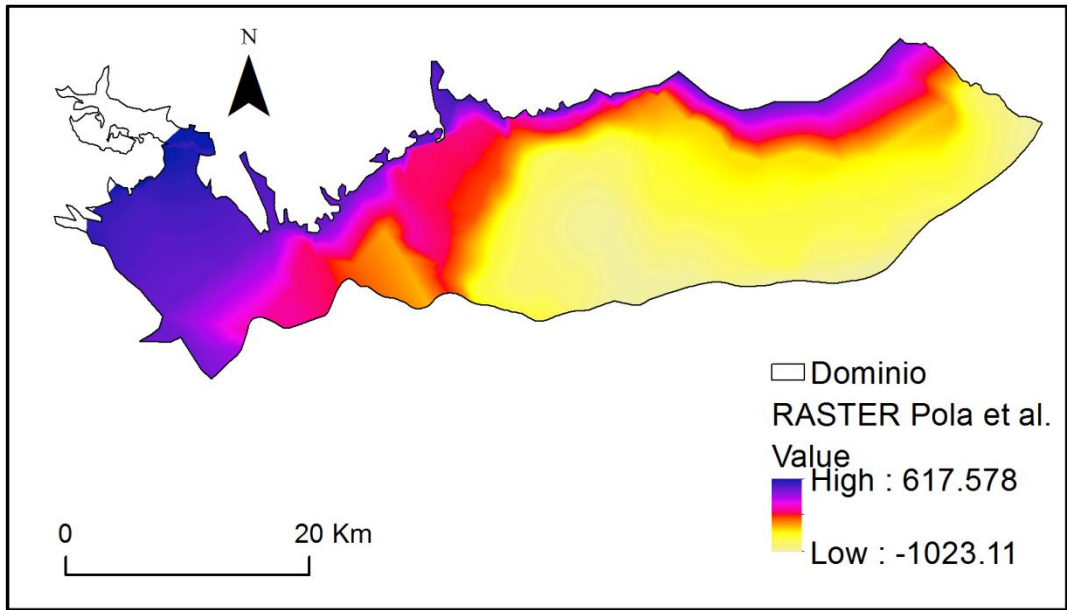


Fig. 3.29: RASTER ottenuto dalla sottrazione tra il DEM e le isolinee della base del Pliocene.

Dopo aver ottenuto i tre RASTER che descrivono la profondità del substrato, sono state caricate in ArcGis le tracce delle sezioni precedentemente scelte e opportunamente georeferenziate (Fig. 3.30; Fig.3.31 e Fig. 3.32).

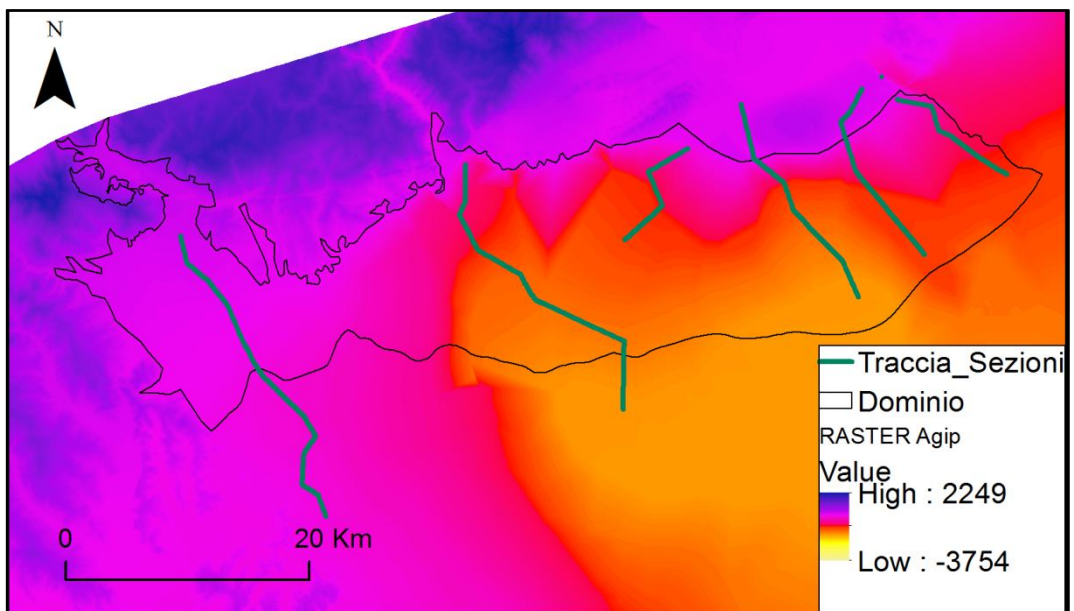


Fig. 3.30: Tracce delle sezioni scelte caricate sul RASTER AGIP.

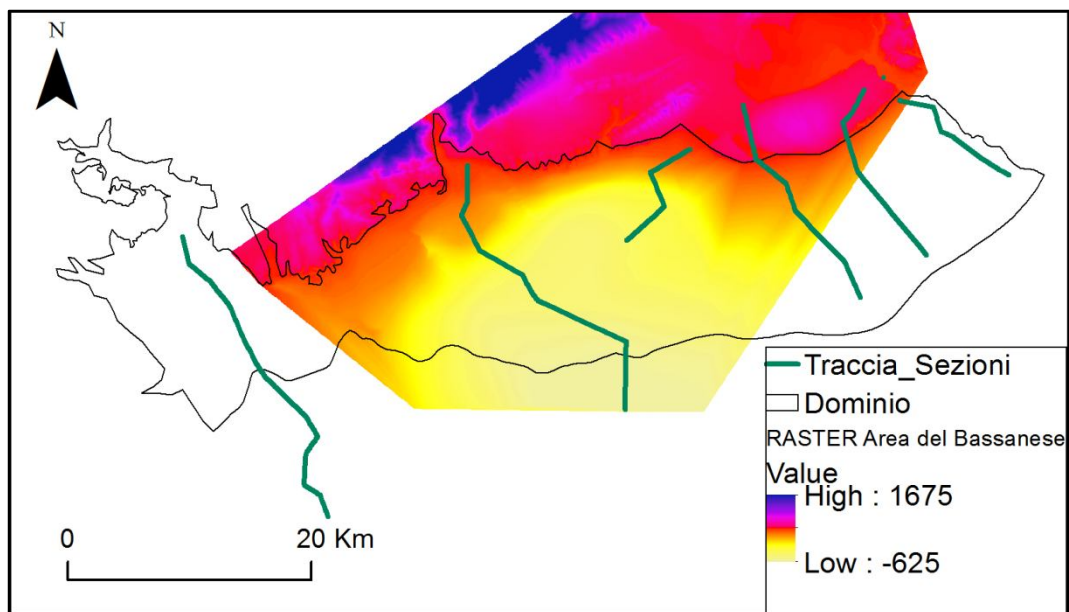


Fig. 3.31: Tracce delle sezioni scelte caricate sul RASTER dell'area di Bassano Del Grappa.

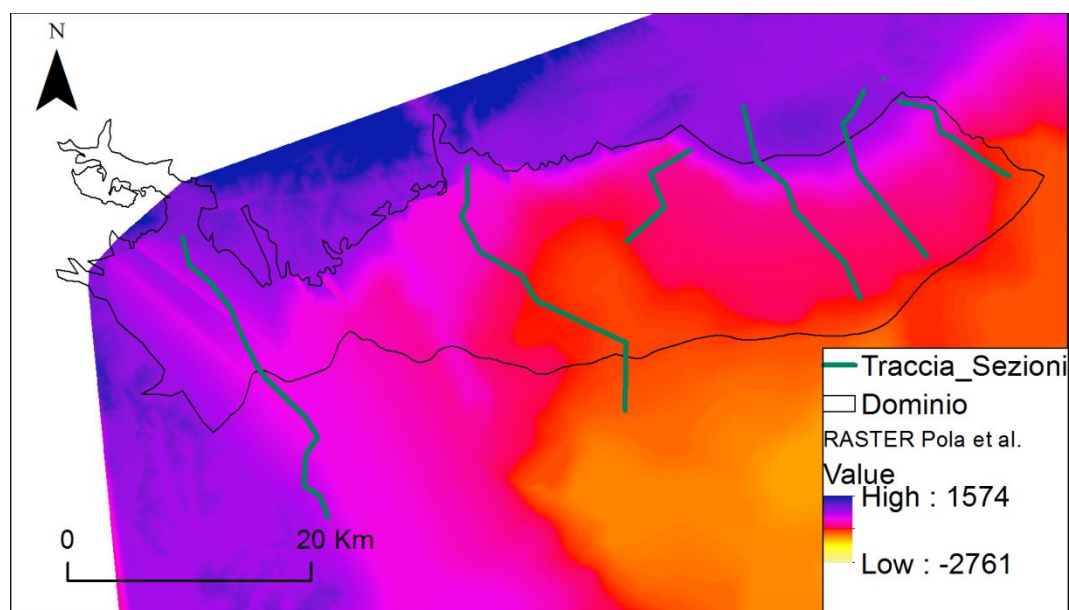


Fig. 3.32: Tracce delle sezioni scelte caricate sul RASTER ottenuto dalle isobate della base del Pliocene.

Grazie al comando *Identify* di ArcGis è possibile conoscere per ogni punto del RASTER a che quota si trova il bedrock; ognuno dei pozzi che rientra nella traccia delle sezioni è stato interrogato in modo tale da rendere nota la profondità

del substrato. Infine, tale profondità è stata riportata sulle sezioni geologiche realizzate, come mostrato nel sottocapitolo successivo.

3.2.9 Confronto tra le profondità del bedrock reperite in bibliografia.

Nelle Figure 3.33, 3.34, 3.35, 3.36, 3.37 e 3.38 sono state riportate le profondità della roccia in posto, ottenuta grazie all'elaborazione dei 3 RASTER precedentemente presentati, lungo le tracce delle sezioni individuate. A colpo d'occhio si può subito notare la sostanziale differenza di profondità del bedrock tra le 3 diverse ricostruzioni (AGIP, area del Bassanese e base del Pliocene). Ci si è quindi trovati di fronte alla scelta di quale rappresentazione usare nella fase successiva di modellazione idrogeologica. Si è optato per la ricostruzione del bedrock più recente, ovvero quella della base del Pliocene di Pola *et al.* (2014), che sembra anche essere quella che approssima meglio le profondità della roccia nei sondaggi.

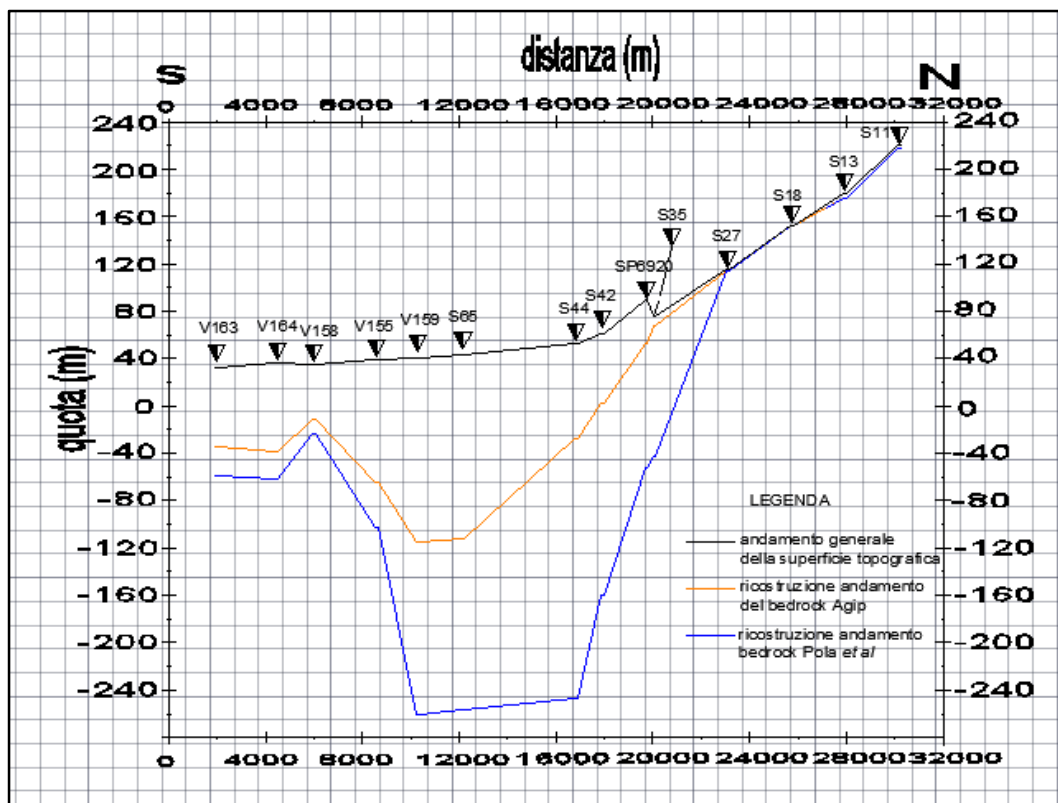


Fig. 3.33: Ricostruzione della profondità del bedrock nelle 2 rappresentazioni, per la sezione 1.

In Figura 3.33 è possibile vedere l'andamento del bedrock per la prima sezione eseguita; lungo tale sezione è stato possibile inserire solo 2 delle 3 ricostruzioni in quanto il RASTER dell'Area del Bassanese non copre la superficie lungo la quale si estende la sezione 1. Il bedrock, per entrambe le ricostruzioni, ha andamento pressoché simile, ma esse risultano sfasate anche di una centinaia di metri in corrispondenza dei sondaggi V159 e S65. I due andamenti sembrano essere concordi solo nella parte nord della sezione.

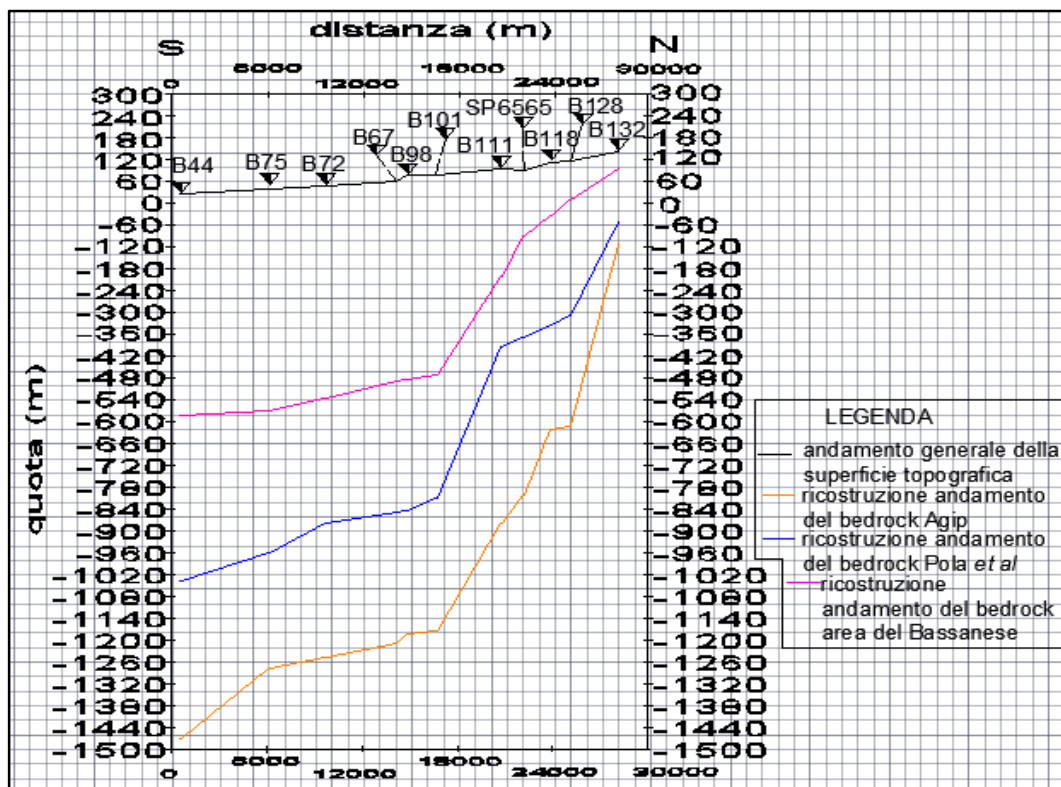


Fig. 3.34: Ricostruzione della profondità del bedrock nelle 3 rappresentazioni, per la sezione 2.

Lungo la sezione 2 le ricostruzioni dell'andamento del tetto del bedrock non sono coincidenti le une con le altre, con differenze anche sostanziali. Tali differenze tendono a diminuire spostandosi verso nord, sebbene gli andamenti non siano comunque coincidenti.

Il trend riscontrato in tutte e 3 le interpretazioni vede una progressiva riduzione della profondità del bedrock da sud verso nord, cioè dalla zona delle risorgive verso i rilievi prealpini che si trovano alle spalle dell'area di studio. L'andamento derivato dal RASTER AGIP è quello più profondo mentre quello riferibile al RASTER dell'area di Bassano è il più superficiale. Prendendo in considerazione il bedrock lungo la verticale del sondaggio B44, che rappresenta il punto dove la roccia in posto si trova a maggiore profondità, si può notare come la differenza tra gli *end members* sia davvero elevata, e sia pari a un chilometro circa.

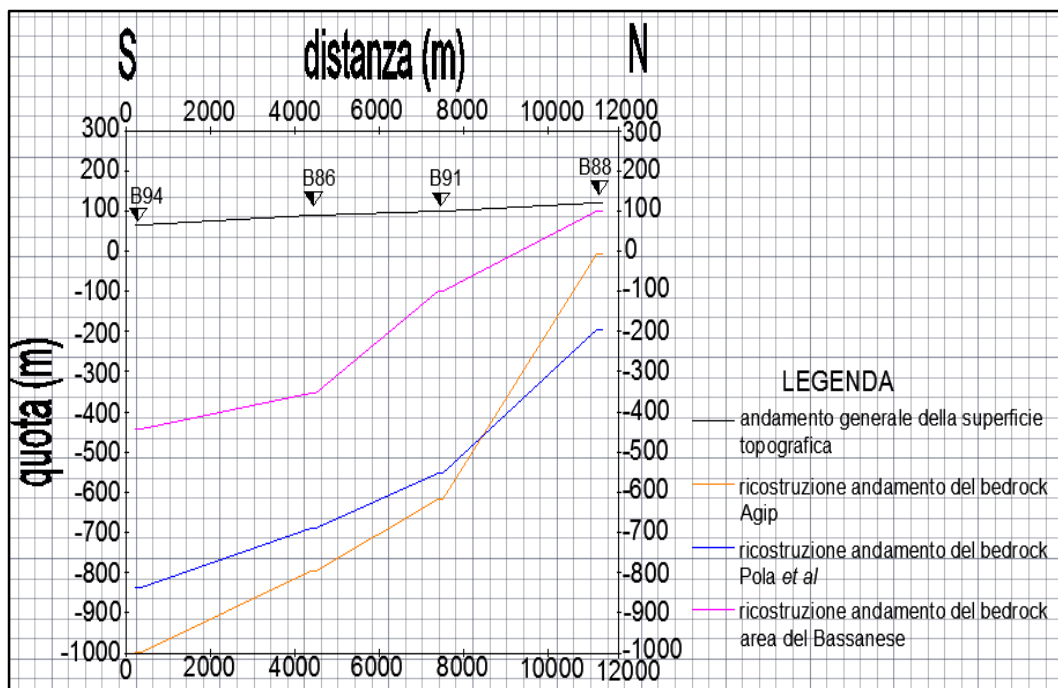


Fig. 3.35: Ricostruzione della profondità del bedrock nelle 3 rappresentazioni, per la sezione 3.

Anche per la sezione 3 le ricostruzioni non sono coincidenti e, come per la Figura 3.34, quella derivata dalle isobate AGIP è la più profonda.

Il bedrock si trova a profondità maggiori verso sud e tende progressivamente ad avvicinarsi al piano campagna andando verso nord. L'andamento della ricostruzione AGIP tende a differire dagli altri a partire dal sondaggio B91: tutti e 3 hanno la tendenza ad avvicinarsi al piano campagna, ma il bedrock derivato dai dati AGIP lo fa in modo più brusco, essendo la pendenza della linea maggiore di quella delle altre ricostruzioni.

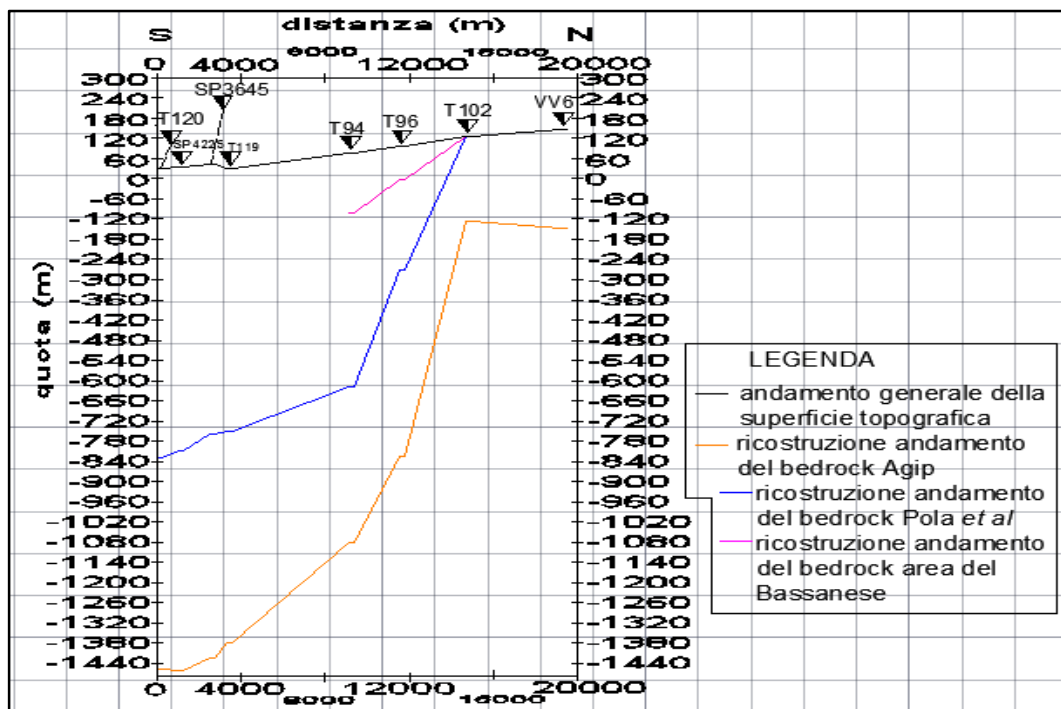


Fig. 3.36: Ricostruzione della profondità del bedrock nelle 3 rappresentazioni, per la sezione 4.

Sempre in accordo con quanto descritto per le sezioni 2 e 3, nella sezione 4 (Fig. 3.36), l'andamento del bedrock estrapolato dai dati AGIP è quello a cui è associata la maggior profondità rispetto al piano campagna. Per i primi sondaggi la ricostruzione AGIP e la ricostruzione di Pola *et al.* (2014), seppur non coincidenti a livello di quote, hanno un andamento simile, che mostra come il bedrock si trovi a profondità maggiori a sud per poi avvicinarsi al piano campagna andando verso nord. La ricostruzione AGIP però ha un trend di crescita maggiore. L'elaborazione basata sui dati di Pola *et al.* (2014) si interrompe in corrispondenza del sondaggio T102 in quanto da quel punto in poi il dato non è più disponibile, mentre la ricostruzione Agip si estende fino alla fine della sezione e mostra come l'andamento del bedrock in corrispondenza del suddetto sondaggio tende di nuovo a decrescere. Per quanto riguarda la ricostruzione dell'area di Bassano del Grappa, l'estensione del RASTER ha permesso di rendere nota la profondità della roccia in posto solo per i sondaggi T94, T96 e T102; in corrispondenza di quest'ultimo, secondo l'elaborazione, il bedrock tende a

raggiungere il piano campagna, in accordo anche con la ricostruzione di Pola *et al.* (2014).

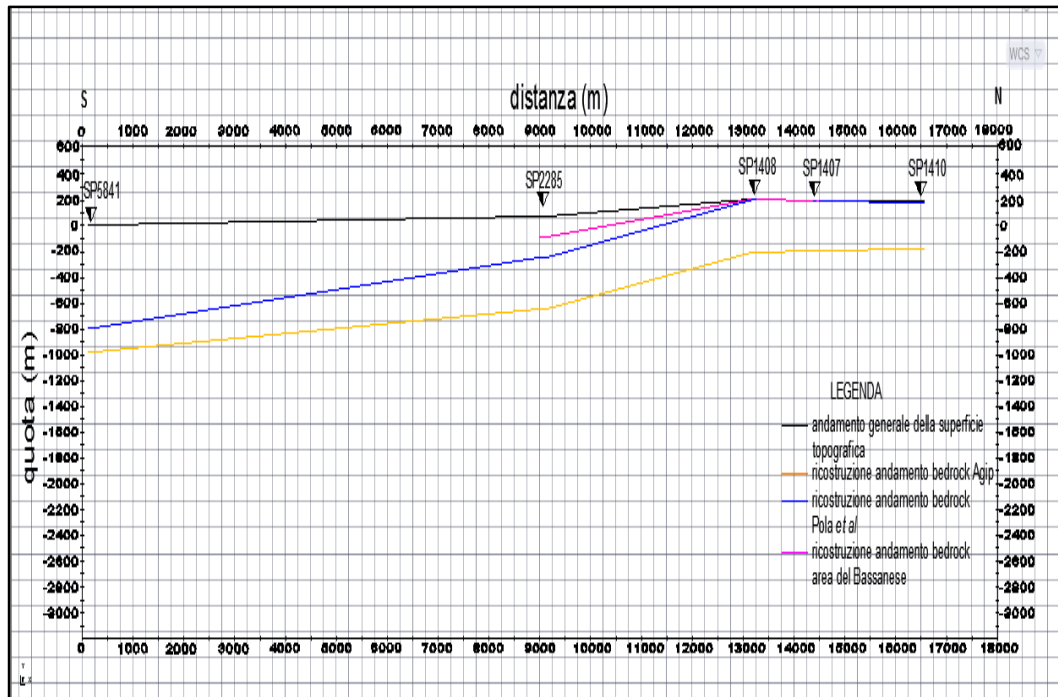


Fig. 3.37: Ricostruzione della profondità del bedrock nelle 3 rappresentazioni, per la sezione 5.

La Figura 3.37 mostra l'andamento del bedrock per la sezione 5 eseguita sui soli sondaggi AGIP, quindi per la sezione più profonda tra quelle realizzate.

La ricostruzione AGIP e la ricostruzione di Pola *et al.* (2014) hanno andamento abbastanza simile e tendono a differire di circa 200 metri a sud mentre andando verso nord la differenza si accentua diventando, in corrispondenza dell'ultimo sondaggio, il doppio. Come per le altre sezioni, anche per la sezione 5 l'andamento più profondo è quello riferibile alla ricostruzione AGIP, mentre quello più superficiale è l'andamento ricostruito dai dati dell'area del Bassanese. Quest'ultimo non si estende per tutta la sezione in quanto i dati a disposizione non permettevano di estrapolare l'andamento del bedrock ovunque lungo la traccia.

Nei punti dove è stato tracciato, si può notare come esso sia simile a quello di Pola *et al.* (2014); i due tendono a coincidere perfettamente per gli ultimi 3 sondaggi.

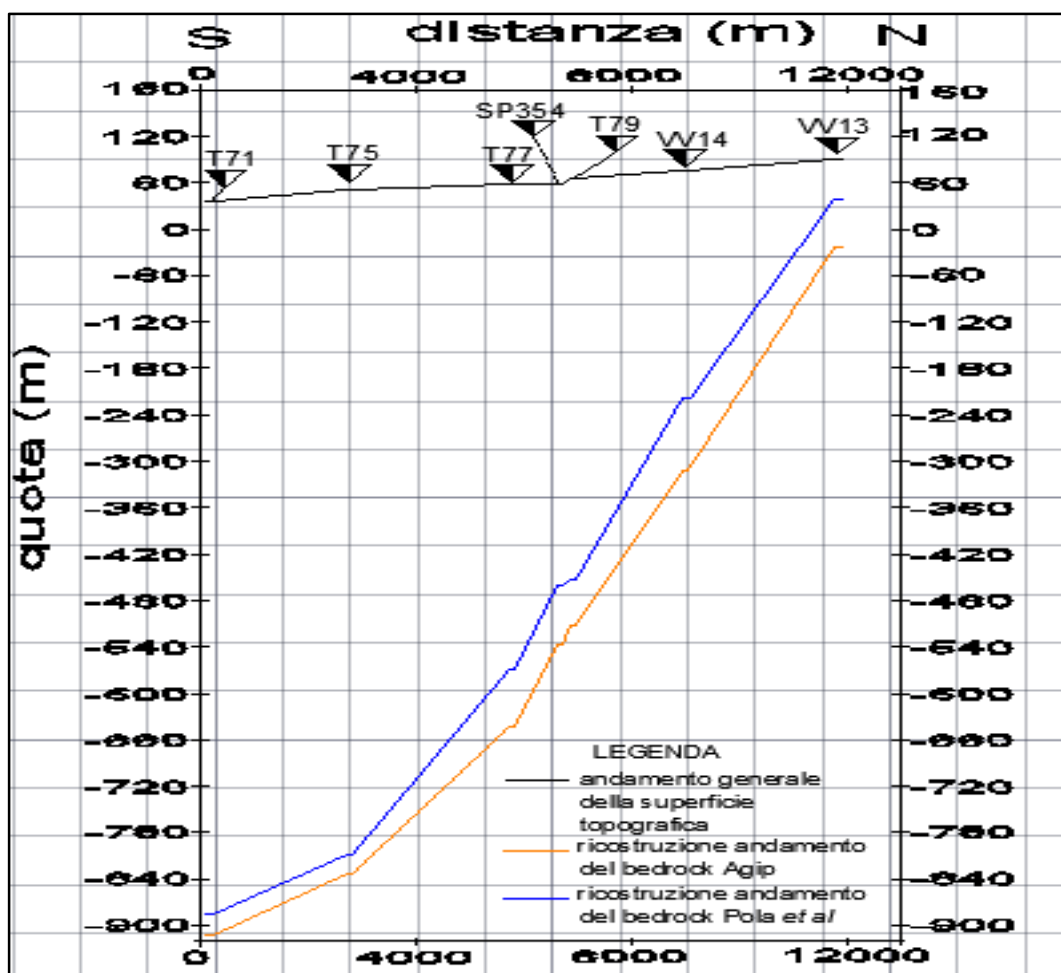


Fig. 3.38: Ricostruzione della profondità del bedrock nelle 3 rappresentazioni, per la sezione 6.

L'andamento del bedrock ricostruito per la sezione 6 mostra come i trend riferibili ad AGIP e a Pola *et al.* (2014) siano molto simili: essi si discostano solo di alcune decine di metri. Rispetto alle altre sezioni questa è quella in cui le due ricostruzioni della profondità della roccia in posto hanno la minore differenza. In particolare essa si trova a circa 1 km di profondità nella zona sud della sezione e diventa via via più superficiale verso nord trovandosi a 30 m dal piano campagna secondo Pola *et al.* (2014) e a circa 100 m secondo la ricostruzione AGIP. Come successo per altre sezioni, non è stato possibile tracciare l'andamento riferibile alla ricostruzione dell'area di Bassano del Grappa per la mancanza del dato.

4. Modellazione idrogeologica

4.1. Dati idrogeologici di base

Per la definizione di un modello concettuale e la successiva implementazione di un modello numerico è necessaria una prima fase di fondamentale importanza che consiste nella raccolta e nella elaborazione dei dati idrogeologici di base. Un buon modello idrogeologico presuppone infatti un'approfondita conoscenza del sito d'interesse in riferimento a:

1. regime climatico dell'area, per avere un'idea di quanta precipitazione cade sul dominio (dati meteo climatici);
2. portate in entrata e in uscita dal dominio riferibili ai principali fiumi della zona d'interesse (dati di portate fluviali);
3. livello potenziometrico dell'acquifero (dati isopotenziometrici);
4. quantità di acqua che viene captata dall'acquifero (prelievi ad uso idropotabile).

Verranno in seguito presentate ed analizzate le quattro tipologie di dati raccolti.

4.1.1. Dati meteo- climatici

I dati che descrivono il clima dell'area di studio sono stati reperiti dal sito della Regione Veneto, dove è possibile scaricare misurazioni di temperatura, precipitazione, direzione e velocità dei venti, radiazione solare e umidità relativa, all'interno del *GeoPortale* che la regione mette a disposizione (<http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/>). Si tratta dei dati di monitoraggio delle rete delle stazioni meteo gestita dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV).

Per caratterizzare il regime climatico dell'area, sono stati utilizzati i dati relativi alla precipitazione ed alla temperatura registrati tra il 1994 ed il 2012. Tali stazioni sono descritte in Tabella 4.1 e 4.2, e la loro ubicazione è mostrata in Figura 4.1.

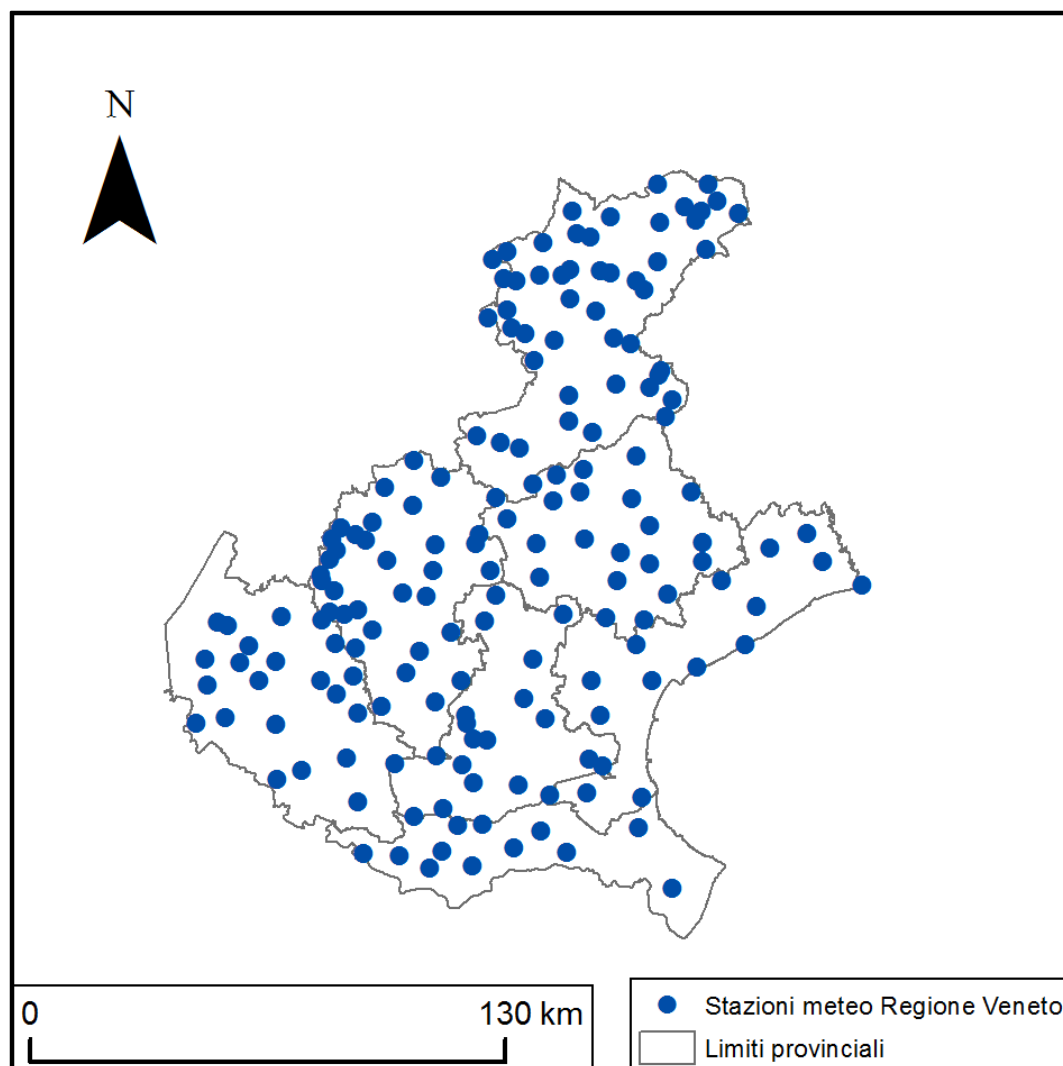


Fig. 4.1: Ubicazione delle stazioni di monitoraggio dei dati meteo – climatici gestite dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Regione Veneto (ARPAV).

Nome	ID	X_GBO	Y_GBO	Quota (m s.l.m.)	Anno attivazione	Provincia
Agordo	19	1733713	5129436	585	1984	BL
Arabba	3	1720718	5153640	1645	1983	BL
Auronzo	53	1762629	5161582	849	1984	BL
Belluno - aeroporto	264	1750557	5117453	376	2004	BL
Cansiglio - Tramedere	216	1764055	5108353	1028	1992	BL
Caprile	9	1729708	5147354	1008	1984	BL
Casamazzagno	247	1769316	5166067	1341	1992	BL
Cimacanalè (San Pietro di Cadore)	61	1778097	5167374	1240	1985	BL
Col Indes (Tambre)	92	1765832	5113056	1183	1986	BL
Col di Pra'	239	1725599	5131136	860	1984	BL
Cortina d'Ampezzo - Gilardon	237	1739833	5158457	1270	1992	BL
Costalta	246	1773984	5164594	1135	1992	BL
Domegge di Cadore	59	1761893	5150941	841	1988	BL
Falcade	223	1720787	5137567	1145	1996	BL
Faloria	47	1743531	5157576	2240	1984	BL
Feltre	217	1724099	5099945	267	1996	BL
Forno di Zoldo - Campo	56	1745042	5137517	884	1985	BL
Gares	15	1721980	5132902	1360	1984	BL
Lamon	200	1712495	5103276	660	1991	BL
Longarone	199	1754623	5128442	440	1991	BL
Malga Campobon (San Pietro di Cadore)	60	1775801	5172011	1940	1984	BL
Malga Ciapela	11	1723214	5145786	1475	1984	BL
Marmolada - Punta Rocca	41	1719960	5146229	3256	1991	BL
Misurina	238	1749057	5163251	1743	1992	BL
Monte Avena	67	1718812	5101524	1412	1985	BL
Passo Falzarego	37	1730665	5156102	2090	1985	BL
Passo Monte Croce Comelico	91	1762015	5172231	1620	1986	BL
Passo Pordoi	80	1716666	5151658	2155	1984	BL
Passo Valles	203	1715631	5135568	2020	1991	BL
Perarolo	17	1758086	5143344	527	2002	BL
Pescul	132	1735782	5147232	1403	2001	BL
Pian del Crep (Zoldo Alto)	55	1737890	5140872	1740	1985	BL
Podestagno (Cortina d'Ampezzo)	48	1738428	5164732	1317	1984	BL
Ponte Rio Cordon (Selva di Cadore)	505	1737796	5148839	1763	2010	BL
Quero	245	1727948	5089994	249	2002	BL
Roncadin Chies d'Alpago	348	1762992	5120965	1255	1992	BL
Rovina di Cancia (Borca di Cadore)	219	1749124	5147757	1335	1996	BL
San Martino d'Alpago	236	1762187	5119735	832	1992	BL
Sant'Andrea (Gosaldo)	21	1728092	5123838	1250	1984	BL
Sant'Antonio Tortal	22	1744072	5104281	540	1988	BL
Santa Giustina Bellunese	266	1737599	5107373	270	2005	BL
Santo Stefano di Cadore	58	1772376	5162172	895	1984	BL
Sappada	136	1784181	5164160	1264	1997	BL
Sella Ciampigotto	268	1775145	5154420	1790	2005	BL
Soffranco	235	1749855	5130088	605	1992	BL
Sospirolo	25	1737563	5114296	430	1983	BL
Torch	93	1759720	5116407	590	1986	BL
Valle di Cadore	224	1756116	5145629	793	1996	BL
Valpore (Seren del Grappa)	262	1717709	5086487	1275	2004	BL
Villanova (Borca di Cadore)	50	1746303	5148323	968	1984	BL
Agna	169	1732500	5004921	2	1992	PD
Balduina (Sant'Urbano)	152	1703222	5001188	8	1994	PD
Campodarsego	179	1727668	5042147	15	1992	PD
Cittadella	110	1717680	5059690	56	1991	PD
Codevigo	175	1743297	5014716	0	1992	PD
Codevigo - Ca' di Mezzo	211	1746929	5012991	6	1996	PD
Este - Calaone	180	1708384	5013285	69	1991	PD
Faedo (Cinto Euganeo)	142	1711449	5020414	247	1994	PD
Galzignano - Ca' Demia	265	1715064	5019974	1	2004	PD
Grantorto	177	1714671	5052692	31	1991	PD
Legnaro	111	1731296	5025799	8	1991	PD
Masi	151	1695166	4999008	8	1994	PD
Montagnana	106	1690044	5013423	10	1990	PD
Monte Grande (Teolo)	201	1709358	5026653	454	1992	PD
Padova - Orto Botanico	234	1725465	5031295	12	2000	PD
Sant'Elena	551	1711668	5008317	6	2013	PD
Teolo	170	1709767	5024532	158	1992	PD
Trebaseleghe	122	1735991	5054349	19	1995	PD
Tribano	182	1723829	5007659	4	1996	PD
Adria - Bellombra	115	1737013	4989122	1	1992	RO
Bagnolo di Po - Pellizzare	96	1699431	4984911	6	1989	RO
Castelnovo Bariano	113	1681389	4989029	9	1992	RO
Concadirame (Rovigo)	98	1714125	4996919	6	1989	RO
Frassinelle Polesine	116	1711195	4985401	4	1992	RO
Lusia	121	1707268	4996612	6	1995	RO
Porto Tolle - Pradon	101	1765952	4979306	-3	1989	RO
Rosolina - Po di Tramontana	112	1756791	4996051	-2	1992	RO
San Bellino	99	1703023	4989688	6	1989	RO
Sant'Apollinare (Rovigo)	231	1722631	4990567	2	1998	RO
Trecenta	221	1691214	4988241	10	1993	RO
Villadose	114	1730075	4995054	0	1992	RO
Breda di Piave	198	1759803	5068127	21	1992	TV
Castelfranco Veneto	102	1729544	5064403	50	1989	TV
Conegliano	100	1754728	5086125	83	1989	TV
Crespano del Grappa	156	1720610	5080406	401	2002	TV

Tab. 4.1: Caratteristiche delle stazioni di misura meteo – climatiche; Nome, nome della località nel quale la stazione di misura è ubicata; ID, codice identificativo della stazione di misura; X_GBO e Y_GBO, longitudine e latitudine in coordinate piane nel sistema di riferimento Gauss-Boaga, Roma 1940, Fuso Ovest; Quota (m s.l.m.), quota rispetto al livello del mare in metri; Anno attivazione, anno a partite dal quale la stazione è attiva; Provincia, provincia di appartenenza della stazione di misura.

Nome	ID	X_GBO	Y_GBO	Quota (m s.l.m.)	Anno attivazione	Provincia
Farra di Soligo	195	1740846	5087888	172	1992	TV
Follina	33	1741576	5094037	286	1984	TV
Gaiarine	186	1771060	5088027	18	1992	TV
Maser	197	1728768	5073708	101	1992	TV
Mogliano Veneto	227	1758086	5052812	5	1997	TV
Monte Cesen	28	1734207	5092399	1552	1990	TV
Oderzo	196	1774069	5074080	8	1992	TV
Ponte di Piave	204	1774311	5068689	6	1995	TV
Roncade	187	1764703	5059832	6	1992	TV
Treviso	220	1750868	5063692	20	2002	TV
Valdobbiadene - Bigolino	189	1733368	5085364	222	1992	TV
Vazzola - Tezze	185	1759626	5078593	40	1992	TV
Villorba	188	1751649	5071267	41	1992	TV
Vittorio Veneto	240	1756207	5097775	122	2000	TV
Volpago del Montello	183	1742000	5074920	125	1992	TV
Zero Branco	184	1747685	5053500	12	1992	TV
Bibione	425	1817759	5062307	1	2008	VE
Campagna Lupia - Valle Averto	230	1746123	5026591	0	1997	VE
Cavallino Treponti	160	1772595	5039845	1	1992	VE
Cavarzere	178	1742665	5005550	1	1996	VE
Chioggia - Sant'Anna	168	1757563	5004263	-1	1992	VE
Eraclea	164	1789122	5056679	-1	1992	VE
Favaro Veneto	454	1756125	5046000	2	2009	VE
Fossalta di Portogruaro	165	1802760	5076524	4	1992	VE
Jesolo Lido	556	1785990	5046225	1	2014	VE
Lugugnana (Portogruaro)	166	1807248	5068864	0	1992	VE
Mira	167	1743864	5036132	5	1992	VE
Noventa di Piave - Grassaga	163	1779548	5063479	2	1992	VE
Portogruaro - Lison	159	1792604	5072675	2	1992	VE
Venezia - Istituto Cavanis	252	1760365	5036127	20	2000	VE
Asiago - aeroporto	218	1694869	5084184	1010	1996	VI
Astico a Pedescala	72	1683840	5079537	308	1985	VI
Barbarano Vicentino	145	1701211	5030367	16	1991	VI
Bassano del Grappa	232	1712258	5073804	128	2000	VI
Breganze	147	1700519	5066236	182	1991	VI
Brendola	148	1693037	5038382	82	1991	VI
Brustole' (Velo d'Astico)	190	1682121	5074661	328	1991	VI
Castana	68	1679369	5076164	430	1985	VI
Chiampo	409	1679112	5045126	175	2007	VI
Contra' Doppio (Posina)	73	1672938	5075022	725	1985	VI
Crespadoro	88	1672246	5054903	382	1986	VI
Dolina Campoluzzo (Monte Lozze)	501	1695080	5096408	1768	2007	VI
Lonigo	105	1686304	5029117	28	1990	VI
Lusiana	139	1701210	5073345	772	1991	VI
Malo	134	1692000	5060290	99	1992	VI
Molini (Laghi)	191	1675208	5078024	597	1991	VI
Monte Summano	81	1687851	5069238	619	1985	VI
Monte Verena	74	1687119	5089158	2015	1986	VI
Montecchio Precalcino	83	1698530	5059290	74	1993	VI
Montegalda	149	1708173	5036371	23	1991	VI
Noventa Vicentina	150	1701379	5015558	14	1991	VI
Passo Santa Caterina (Valdagno)	140	1676151	5054309	806	1991	VI
Passo Xomo (Posina)	192	1674012	5071777	1056	1991	VI
Piana di Marcesina - Rendole	248	1702486	5091760	1310	1998	VI
Pove del Grappa - Costalunga	82	1712940	5076113	675	1985	VI
Quinto Vicentino	153	1705283	5049560	33	1991	VI
Recoaro Mille	77	1673341	5060970	1071	1986	VI
Rifugio la Guardia (Recoaro Terme)	135	1669793	5065148	1131	1991	VI
Rosa'	144	1716095	5066330	85	1991	VI
Trissino	146	1683986	5050040	265	1992	VI
Turcati (Recoaro Terme)	76	1670107	5063499	705	1986	VI
Valdagno	79	1679980	5055700	228	1986	VI
Valli del Pasubio	137	1672265	5069542	600	1991	VI
Vicenza - Sant'Agostino	451	1696854	5044313	43	2009	VI
Arcole	123	1679789	5027250	27	1991	VR
Bardolino - Calmasino	118	1637929	5042074	165	1991	VR
Bosco Chiesanuova	251	1658971	5053801	1050	1999	VR
Buttapietra	127	1657503	5024149	39	1991	VR
Caprino Veronese - Platano	510	1641491	5052197	275	2010	VR
Castelnuovo del Garda	129	1638607	5035007	120	1991	VR
Colognola ai Colli	260	1673913	5032598	90	2004	VR
Dolce'	120	1644210	5051242	105	1991	VR
Grezzana	128	1657307	5041581	156	1992	VR
Illasi	126	1669803	5036390	146	1991	VR
Marano di Valpolicella	124	1650168	5045646	296	1991	VR
Montecchia di Crosara	130	1678503	5037502	50	1992	VR
Roverchiara	119	1676635	5014964	20	1991	VR
Salizole	108	1664508	5011774	23	1991	VR
San Bortolo	87	1670129	5052884	936	1986	VR
San Giovanni Ilarione	71	1673701	5046287	320	1992	VR
San Pietro in Cariano	125	1647514	5041286	130	1991	VR
Sorga'	117	1657750	5009143	24	1992	VR
Valeggio sul Mincio	253	1635660	5024480	115	2001	VR
Vangadizza (Legnago)	131	1679852	5003017	14	2001	VR
Verona - Parco Adige Nord	452	1652780	5036163	70	2009	VR
Villafranca Veronese	104	1643529	5025977	66	1990	VR

Tab. 4.2: Caratteristiche delle stazioni di misura meteo – climatiche; Nome, nome della località nel quale la stazione di misura è ubicata; ID, codice identificativo della stazione di misura; X_GBO e Y_GBO, longitudine e latitudine in coordinate piane nel sistema di riferimento Gauss-Boaga, Roma 1940, Fuso Ovest; Quota (m s.l.m.), quota rispetto al livello del mare in metri; Anno attivazione, anno a partite dal quale la stazione è attiva; Provincia, provincia di appartenenza della stazione di misura.

Sono state poi selezionate le stazioni ubicate all'interno dell'area di studio ed entro un raggio di 15 km dal suo limite.

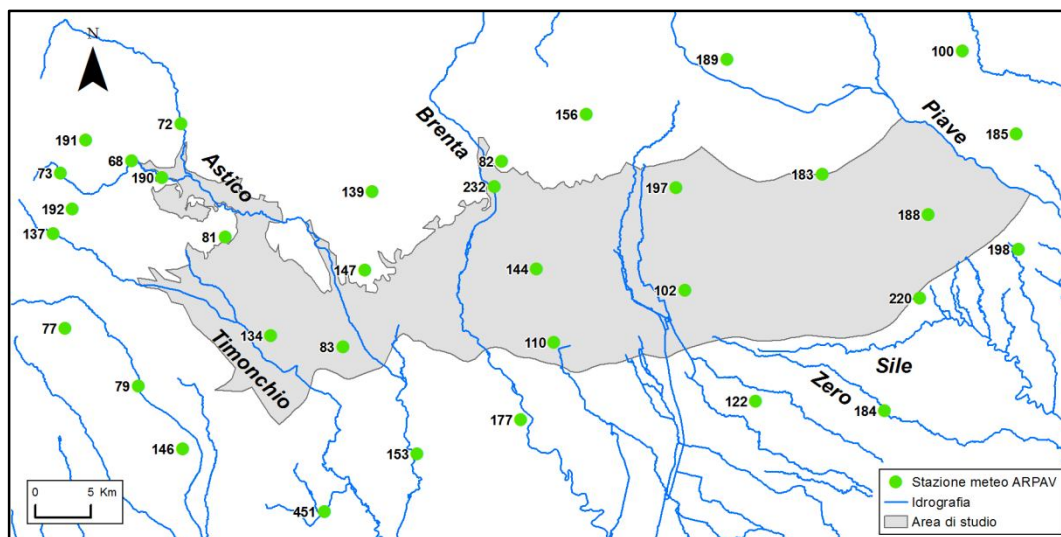


Fig. 4.2: Ubicazione delle stazioni meteo – climatiche dominio della reti di monitoraggio ARPAV.

La temperatura e la precipitazione medie mensili dell'area di studio sono state stimate mediando tutti i valori mensili delle stazioni individuate per il periodo 1994 - 2012 (Tab. 4.3). Il risultato di questa operazione è presentato in forma di istogrammi nelle figure 4.3 e 4.4, dalla cui analisi è possibile derivare rispettivamente i regimi termico e pluviometrico dell'area di studio.

PRECIPITAZIONE	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
MEDIA MENSILE (mm)	68.38144	57.12241	78.25657	125.5942	134.8424	113.1495	94.79035	112.3826	140.28754	142.5041	190.87778	110.6172
TEMPERATURA MEDIA	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
MENSILE (°C)	4.367559	5.019866	9.961897	15.0299	20.28704	22.76628	23.87591	24.69185	20.813289	16.43864	12.96932	6.576783

Tab. 4.3: Precipitazione media mensile e Temperatura media mensile calcolate per il periodo compreso tra il 1994 ed il 2012 a partire dai dati di tutte le stazioni meteo individuate come rappresentative del regime climatico dell'area di studio.

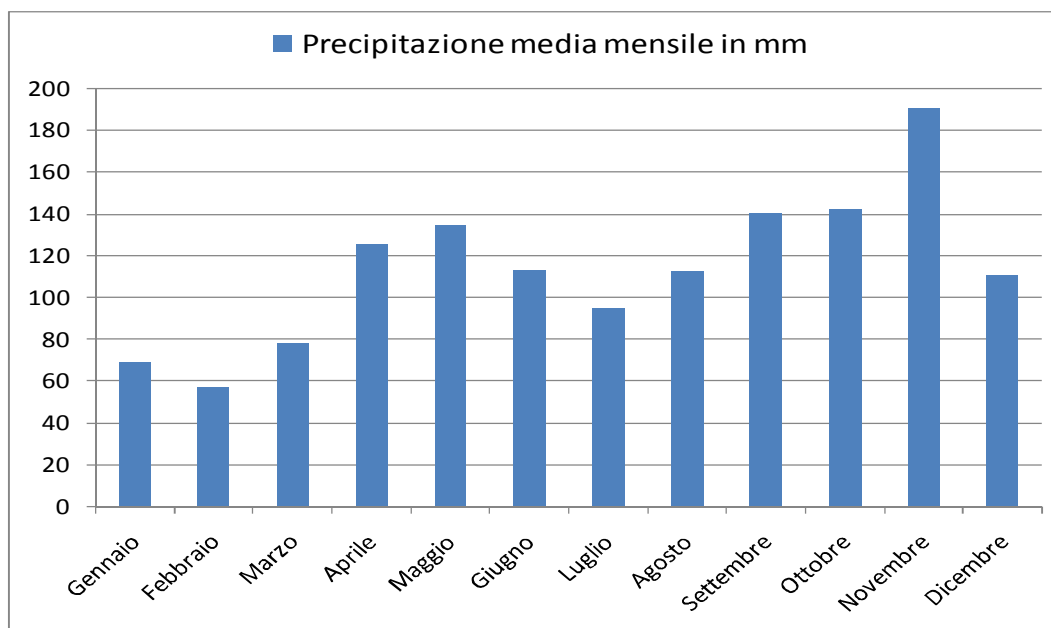


Fig. 4.3 : Istogramma della precipitazione media mensile per il periodo 1994-2012.

Dal grafico di Figura 4.3 si evidenzia che il regime delle precipitazioni è di tipo bimodale con un massimo assoluto nel mese di novembre (circa 190 mm) ed un massimo relativo nel mese di maggio, con 135 mm circa. Il mese meno piovoso, invece, è febbraio, con circa 60 mm.

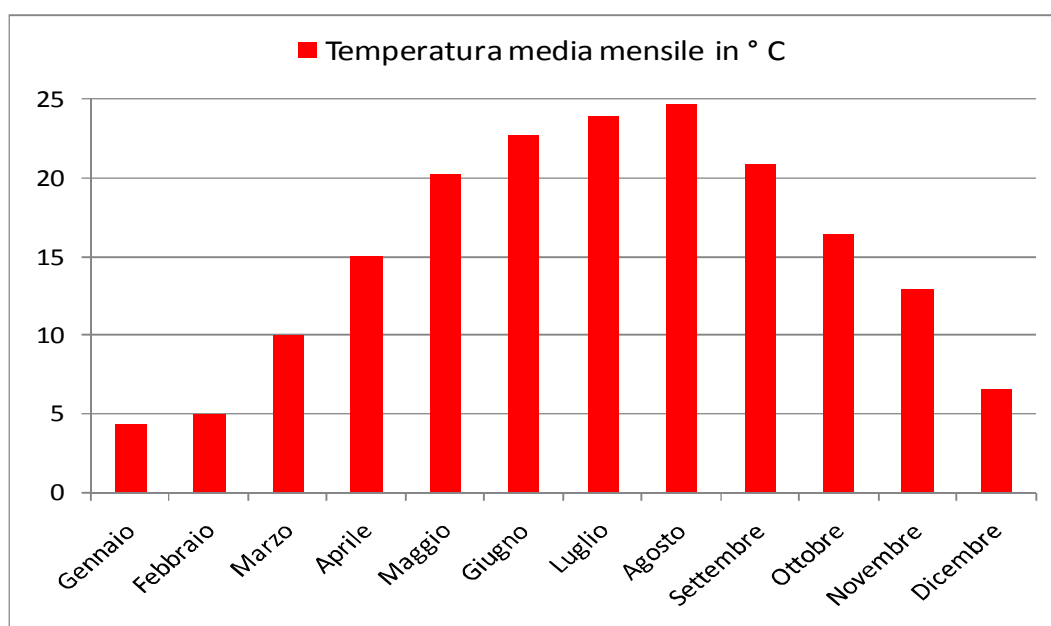


Fig. 4.4: Istogramma della temperatura media mensile per il periodo 1994-2012.

Per quanto riguarda il regime termico medio dell'area di studio (Fig. 4.4), esso presenta i mesi più freddi all'inizio e alla fine dell'anno nella stagione invernale (4,5 °C e 6.5 °C) ed i mesi più caldi nella stagione estiva, rispettivamente a luglio ed agosto (circa 24 °C e 25 °C).

4.1.2. Portate fluviali

Un'altra componente di estrema importanza nell'elaborazione di un modello idrogeologico risiede nella definizione dei deflussi superficiali che attraversano l'area e dal rapporto che questi hanno con le acque sotterranee. I fiumi più importanti nell'Alta Pianura sono, da ovest verso est, l'Astico, il Brenta ed il Piave, che creano importanti bacini all'interno dei quali si trovano corsi d'acqua e torrenti più piccoli, oltre ai fiumi di risorgiva come il Sile, lo Zero ed il Dese che interessano solo il margine inferiore del dominio e che costituiscono il recapito finale della parte di deflusso idrico sotterraneo che riemerge in corrispondenza della fascia delle risorgive.

È ormai noto come i fiumi dell'Alta pianura Veneta abbiano un carattere prevalentemente disperdente: essi cedono parte della loro portata alla falda soprattutto all'inizio il loro corso nella pianura.

La diminuzione di portata però non è dovuta solo alla dispersione in alveo; bisogna infatti considerare la possibilità che lungo il tratto di interesse i fiumi siano sottoposti a derivazioni, come effettivamente avviene per i corsi d'acqua in esame; derivazioni che spesso hanno scopo irriguo, per cui la maggior parte vanno ad alimentare anch'esse l'acquifero.

I dati riguardanti le portate fluviali sono stati anch'essi, come quelli relativi ai livelli di falda, scaricati dal sito dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Regione Veneto (ARPAV), che mette a disposizione un *dataset* che va dal 2004 al 2012. In questi 9 anni sono state misurate le portate dei fiumi in corrispondenza di sezioni di monitoraggio prestabilite. All'interno di questo

archivio di dati, sono state scelte solo le sezioni di misura riguardanti i fiumi che interessano il dominio, la cui ubicazione è mostrata in Figura 4.5.

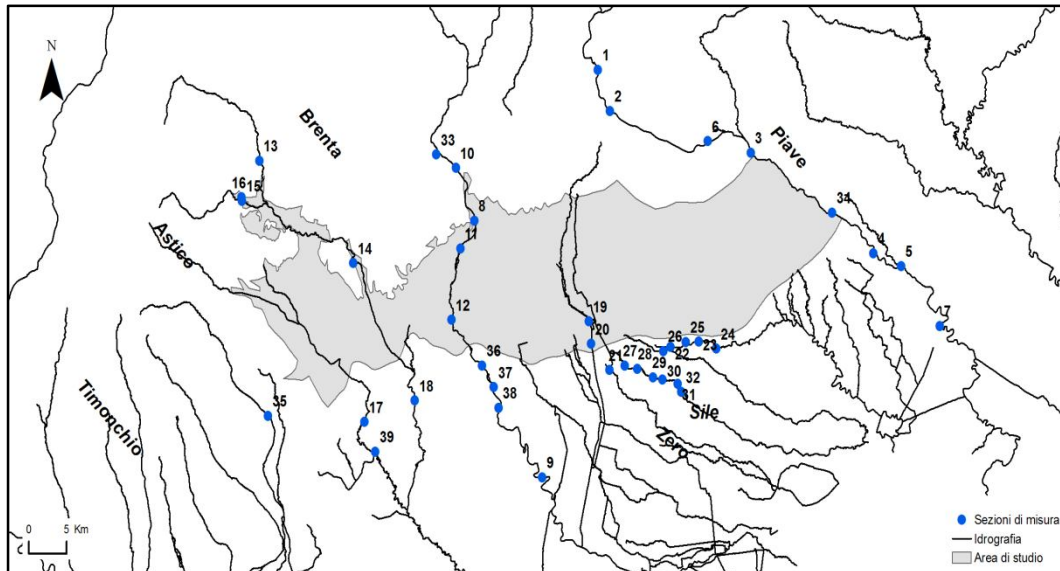


Fig. 4.5: Ubicazione delle sezioni di misura delle portate fluviali a cura dell'ARPAV interessanti l'area di studio e l'intorno di essa.

Per ognuna delle sezioni di cui sopra è stata calcolata la portata media (m^3/s) ed è stato conteggiato il numero di misurazioni effettuate nell'arco dei 9 anni di indagine. Le caratteristiche di questi punti di misura sono mostrate in Tabella 4.4.

ID	X	Y	LOCALITÀ	n misure	Q media (m ³ /s)
1	1728579	5089676	Segusino	22	39.25
2	1730194	5085109	Fener	8	10.20
3	1748840	5080464	Nervesa della Battaglia	19	19.97
4	1765119	5069269	Saletto	2	3.11
5	1768757	5067858	Ponte di Piave	49	52.85
6	1743139	5081743	Moriago-Isola dei Morti	2	9.57
7	1773881	5061249	Fossalta di Piave	1	11.88
8	1712198	5072910	Barziza	66	111.01
9	1721210	5044424	Curtarolo	51	87.40
10	1709757	5078757	Campolongo (monte fontanazzi)	4	52.85
11	1710351	5069805	Marchesane-Nove	10	38.27
12	1709163	5061934	Tezze-Friola	12	30.45
13	1683723	5079563	Pedescala	76	6.45
14	1696169	5068171	Lugo di Vicenza	23	14.40
15	1681422	5075115	Stancari	78	5.56
16	1681370	5075485	Valoje	21	0.36
17	1697663	5050578	Ponte Marchese	43	4.14
18	1704304	5052959	Bolzano Vicentino	59	15.74
19	1727367	5061762	Castelfranco Veneto	59	5.12
20	1727659	5059256	Castelfranco-Treviso	40	3.06
21	1730123	5056332	Resana	3	0.67
22	1738227	5058922	Cavasagra	3	0.86
23	1741944	5059506	Morgano	5	3.90
24	1744283	5058713	Santa Cristina	42	9.79
25	1740231	5059465	Ospedaletto	2	1.72
26	1737266	5058462	Torreselle-Tre Ponti	3	1.15
27	1732155	5056836	Resana-zona risorgive	0	-
28	1733841	5056499	Piombino Dese-Case Lucato	6	0.20
29	1735887	5055538	Silvelle-Mulino Gumirato	2	0.70
30	1737141	5055288	Silvelle	2	0.72
31	1739145	5054828	S.Ambrogio	2	0.76
32	1739647	5053909	Trebaseleghe-Segheria Barbiero	2	0.71
33	1707195	5080261	Oliero	4	5.15
34	1759624	5073798	Cimadolmo	1	3.35
35	1684857	5051262	Ponte Brogliano	10	6.43
36	1713259	5056851	Fontaniva	7	36.51
37	1714781	5054432	San Giorgio in Brenta	1	62.82
38	1715412	5052144	Carturo	3	49.47
39	1699096	5047272	Vicenza	23	41.31

Tab. 4.4: Tabella delle sezioni di misura delle portate portate fluviali. ID,codice identificativo della sezione di misura; ; X e Y, longitudine e latitudine in coordinate piane nel sistema di riferimento Gauss-Boaga, Roma 1940, Fuso Ovest; LOCALITÀ, località di appartenenza del punto di monitoraggio; n misure, numero di misure di portata effettuate dal 2004 al 2012; Q media (m³/s), portata mediata sull'intero periodo di misurazione in m³/s.

Una visualizzazione attraverso ArcGis 10.1 delle portate fluviali medie è mostrata in Figura 4.6 attraverso l'applicazione di un'etichetta che esplicita la portata di ogni punto della rete di monitoraggio e l'utilizzo di una simbologia per classi di portata. Già in questa prima fase di analisi dei dati è possibile notare il carattere disperdente dei fiumi e, in generale, una riduzione di portata da monte a valle,

dovuta anche a eventuali regimazioni. I corsi d'acqua, anche secondo quanto detto nel paragrafo precedente, entrano nel dominio con una certa portata ed escono con una portata inferiore. Come già rilevato da D'Alpaos & Dal Prà (1978), l'alimentazione dell'acquifero indifferenziato dell'Alta pianura infatti è assicurato per buona parte dal processo di dispersione in alveo dei fiumi allo sbocco delle vallate sulla pianura.

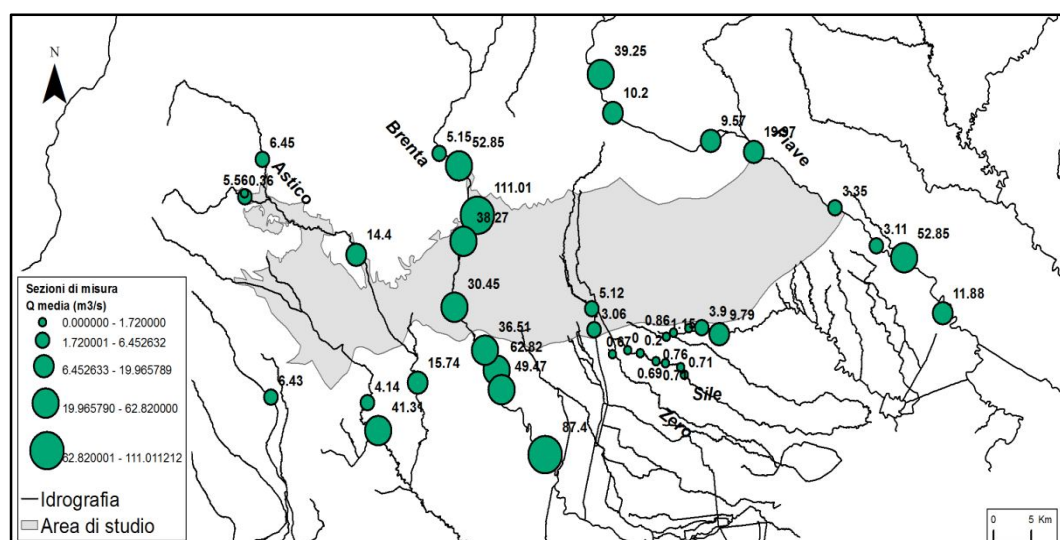


Fig. 4.6: Portata media in corrispondenza delle sezioni di misura delle reti di monitoraggio ARPAV.

La diminuzione di portata tra le sezioni di monte e valle non è sempre la regola, come si può vedere in Figura 4.6 questa considerazione è valida per il Fiume Brenta, che passa da una portata di 111.01 m³/s nella sezione a monte ad una portata di 36.51 m³/s nella sezione a valle, e per il Fiume Piave, che registra una portata di 19.97 m³/s in entrata e una di 3.11 m³/s in uscita dal dominio. Viceversa questo non si verifica per l'Astico, la cui portata non sembra risentire del percorso che compie all'interno dell'Alta pianura.

Sulla base delle portate medie mensili elaborate, sono stati generati degli istogrammi che confrontano le portate in entrata e con quelle in uscita lungo i principali sistemi fluviali, che sono: l'Astico – Bacchiglione (Fig. 4.7), il Brenta (Fig. 4.8) e il Piave (Fig. 4.9), Oltre a questi è stato realizzato anche un

istogramma mostrante le portate dei due fiumi di risorgiva: Sile e Dese (Fig. 4.10) che, ovviamente, non hanno alveo a entro l'area di studio.

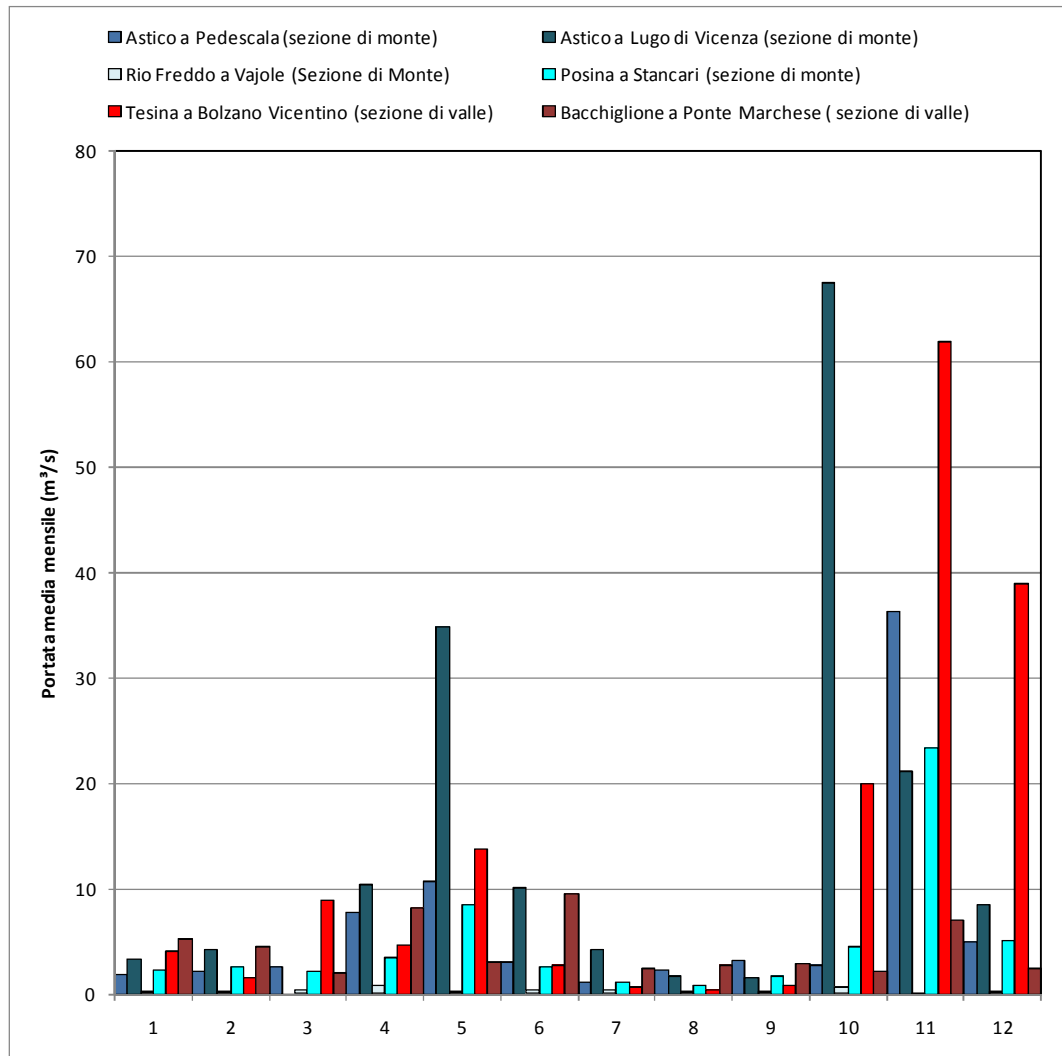


Fig. 4.7: Portata media mensile in alcune sezioni a monte e a valle dell'area di studio lungo il sistema costituito da Astico e Bacchiglione.

Sebbene si sia constatato che la portata dell'Astico rimane pressoché invariata da monte a valle (Fig. 4.6), l'analisi puntuale delle portate medie attraverso gli istogrammi di Figura 4.7 mostra che il sistema è complessivamente disperdente: infatti le sezioni a monte hanno quasi sempre una portata maggiore di quella registrata a valle. L'unica eccezione è la portata misurata per il Fiume Tesina a Bolzano Vicentino, che rappresenta una sezione a valle del Bacino dell'Astico, eppure ha una portata maggiore di alcune sezioni a monte. Questo dato può essere

considerato fuorviante, ma bisogna ricordare che questo punto di monitoraggio si trova entro la fascia delle risorgive.

Il Brenta (Fig. 4.8) è un fiume marcatamente disperdente: seppur non siano sempre presenti i dati in corrispondenza delle sezioni a valle, quando questi ci sono, registrano una portata di valle sempre minore rispetto a quella di monte. Questa differenza tra la portata di monte e quella di valle è sicuramente imputabile anche alle derivazioni irrigue operate dal Consorzio *Pedemontano Brenta* di Cittadella che deriva le acque dal Brenta presso la città di Bassano del Grappa e provvede ad irrigare, nell'alta pianura in sinistra Brenta, un territorio di circa 13.500 ha (Zannin & Battagion, 1999).

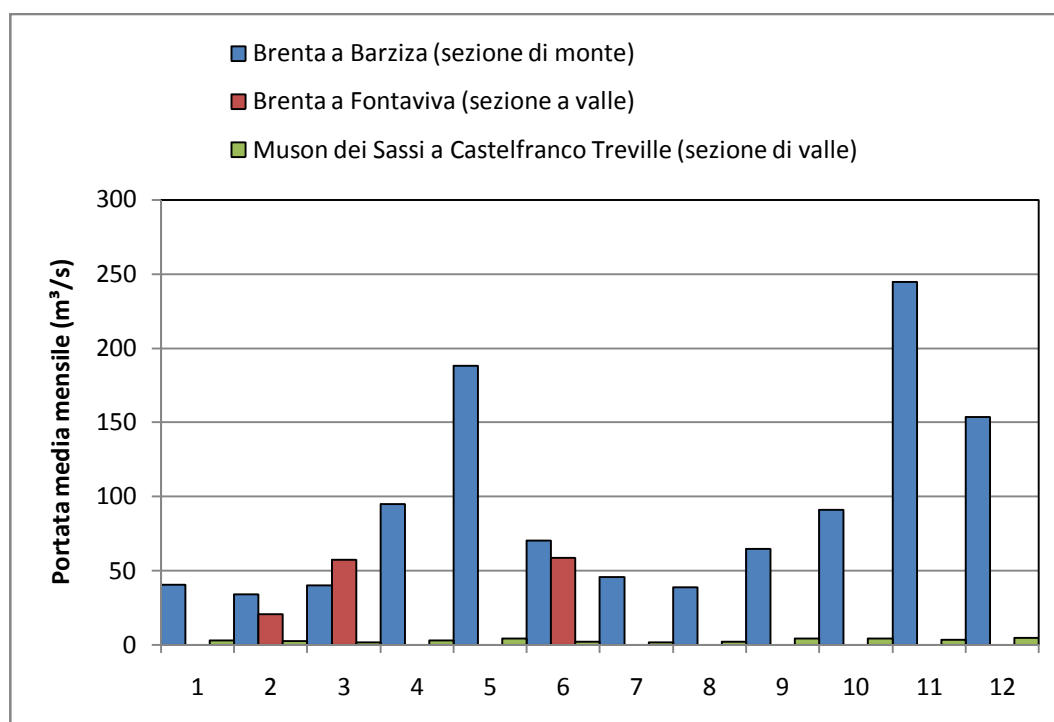


Fig. 4.8: Portata media mensile in alcune sezioni a monte e a valle del Fiume Brenta e del suo affluente Muson dei Sassi.

Come già detto in merito alla sezione di misura del Fiume Tesina a Bolzano Vicentino, anche per il Piave si può notare una portata maggiore a valle rispetto a quella di monte dovuta all'ubicazione della sezione di misura in prossimità della zona dei fontanili (Fig. 4.9). La scarsità dei dati non ha permesso di visualizzare le misure di portata in corrispondenza della sezione denominata Saletto (ID 4 in

Tabella 4.4); se così fosse stato ci si sarebbe resi conto che tale punto di monitoraggio presenta una portata minore di quella registrata a monte a Nervesa della Battaglia, confermando ancora una volta che anche lungo Piave si registra una diminuzione della portata.

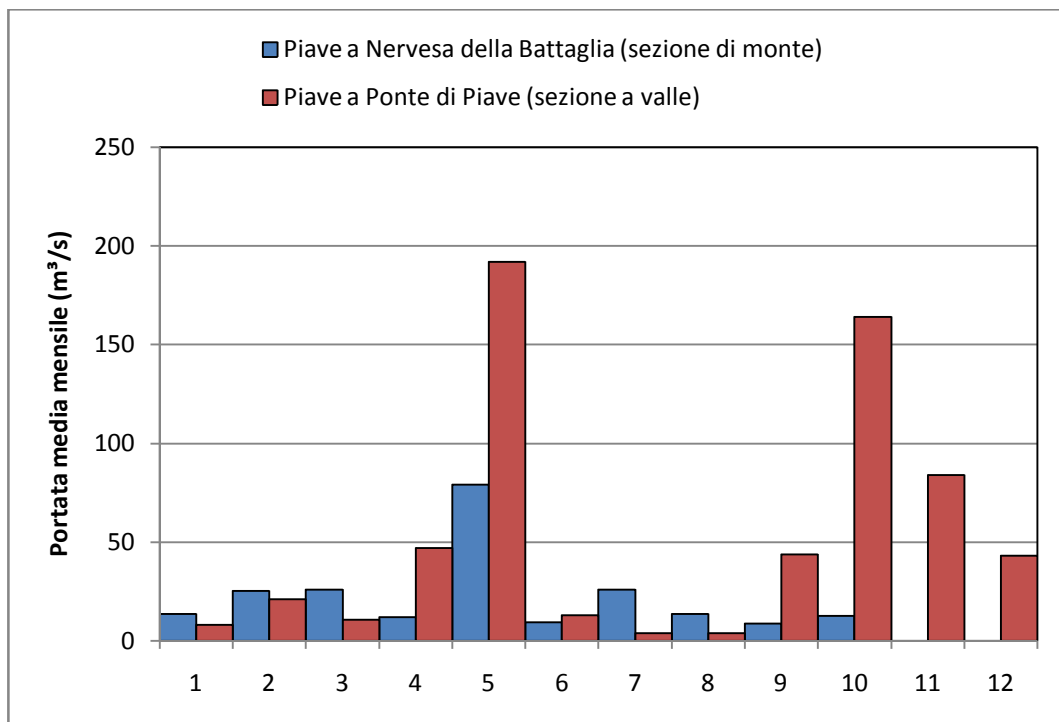


Fig. 4.9: Portata media mensile in due sezioni: a monte e a valle dell'area di studio lungo il Fiume Piave.

La Figura 4.10 prende in considerazione i due fiumi di risorgiva che lambiscono l'area di studio verso Sud. Il Sile ha una portata media mensile nettamente superiore del Dese, essendo il sistema più ampio all'interno della zona dei fontanili, con portate attorno a 10 m³/s.

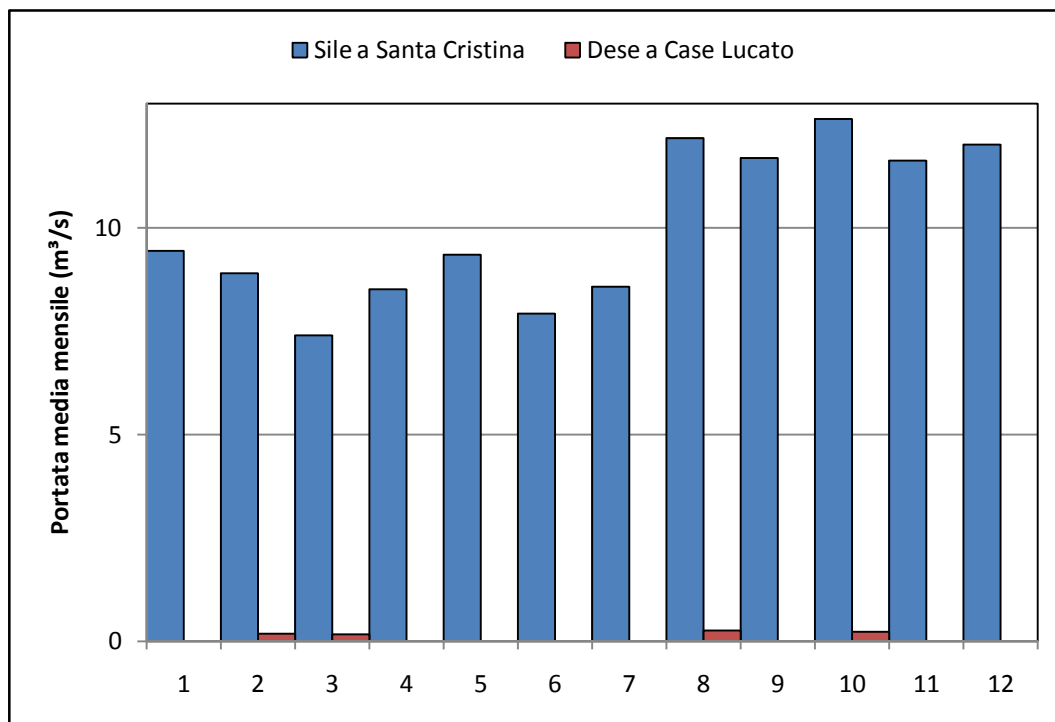


Fig. 4.10: Portata media mensile in alcune sezioni dei fiumi di risorgiva Sile e Dese.

Infine sono stati realizzati due istogrammi riassuntivi in cui sono confrontate tra loro le portate medie di monte e valle dei 3 sistemi fluviali (Astico-Bachiglione, Brente e Piave; Fig. 4.11 e Fig. 4.12).

Dall'analisi delle portate medie registrate nelle sezioni di monte (Fig. 4.11) emerge chiaramente che il Piave presenta una portata in ingresso all'area di studio nettamente inferiore rispetto a quella del Brenta, nonostante il suo bacino idrografico sia circa il doppio di quello del Brenta. Il motivo di ciò risiede nel fatto che il Piave è un corso d'acqua fortemente regimato nella sua parte a monte; esso è interessato da due grandi punti di derivazione nella sua parte apicale, ad opera di Consorzi che hanno il compito di somministrazione irrigua delle aree circostanti durante i mesi estivi: il Consorzio di Bonifica *Pedemontano Brentella* che deriva dal Piave a Pederobba e il Consorzio *Destra Piave* che preleva a Nervesa (Zattin & Battagion, 1999). La portata media annua derivata dai due enti e presente costantemente in entrata alla rete di distribuzione è rispettivamente di 18 e 10 m³/s (Zattin & Battagion, 1999). Anche il Brenta è interessato dai prelievi ad opera di un Consorzio di somministrazione irrigua, si tratta del consorzio *Pedemontano Brenta*, che deriva presso la città di Bassano del Grappa una portata

media annua di 10 m³/s (Zattin & Battagion, 1999), circa un terzo di quella prelevata dal Piave, chiarendo così il motivo del perché quest'ultimo abbia una portata a monte decisamente minore di quella del Brenta.

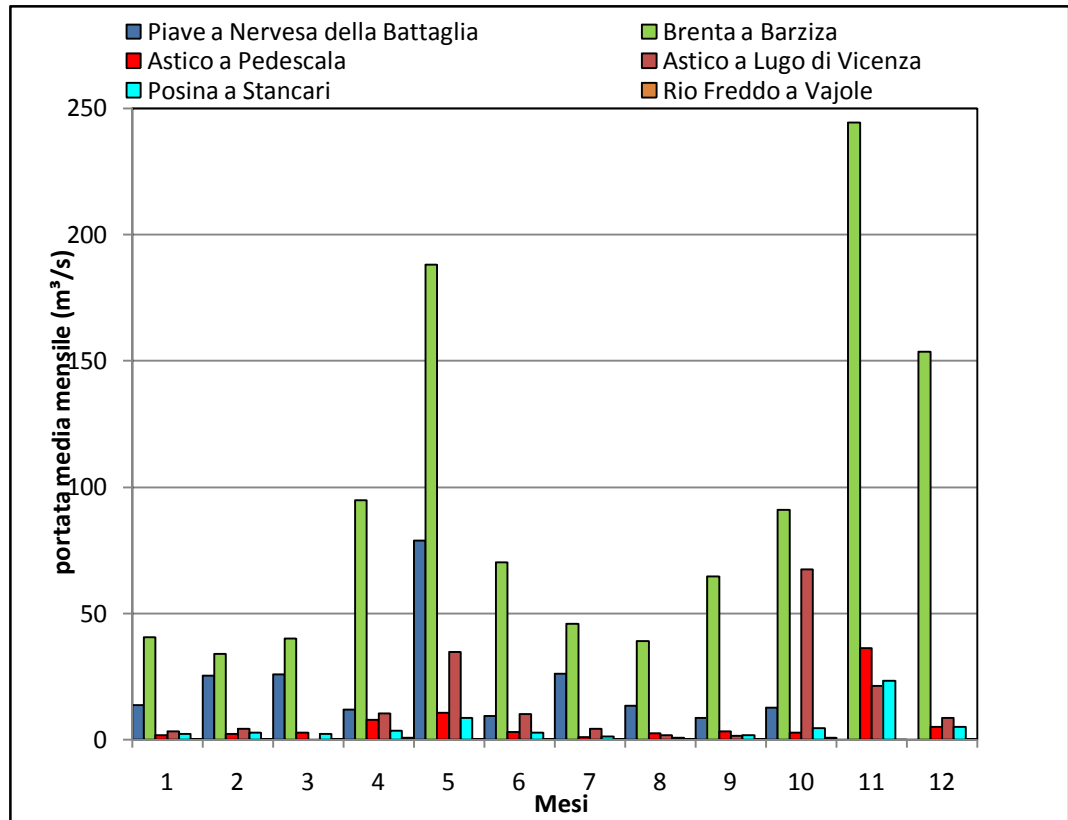


Fig. 4.11: Portata media mensile delle sezioni a monte dell'area di studio.

Il Brenta registra la sua portata maggiore a monte a novembre, con un picco più basso anche a maggio, a rimarcare il regime bimodale delle precipitazioni che si registra durante l'anno, mentre la portata minima si verifica all'inizio dell'anno e nei mesi estivi. Questa situazione si verifica anche per gli altri fiumi analizzati, anche se in maniera meno evidente in quanto i picchi di portata sono decisamente più bassi. Lo stesso istogramma per le sezioni di valle è presentato in Figura 4.12.

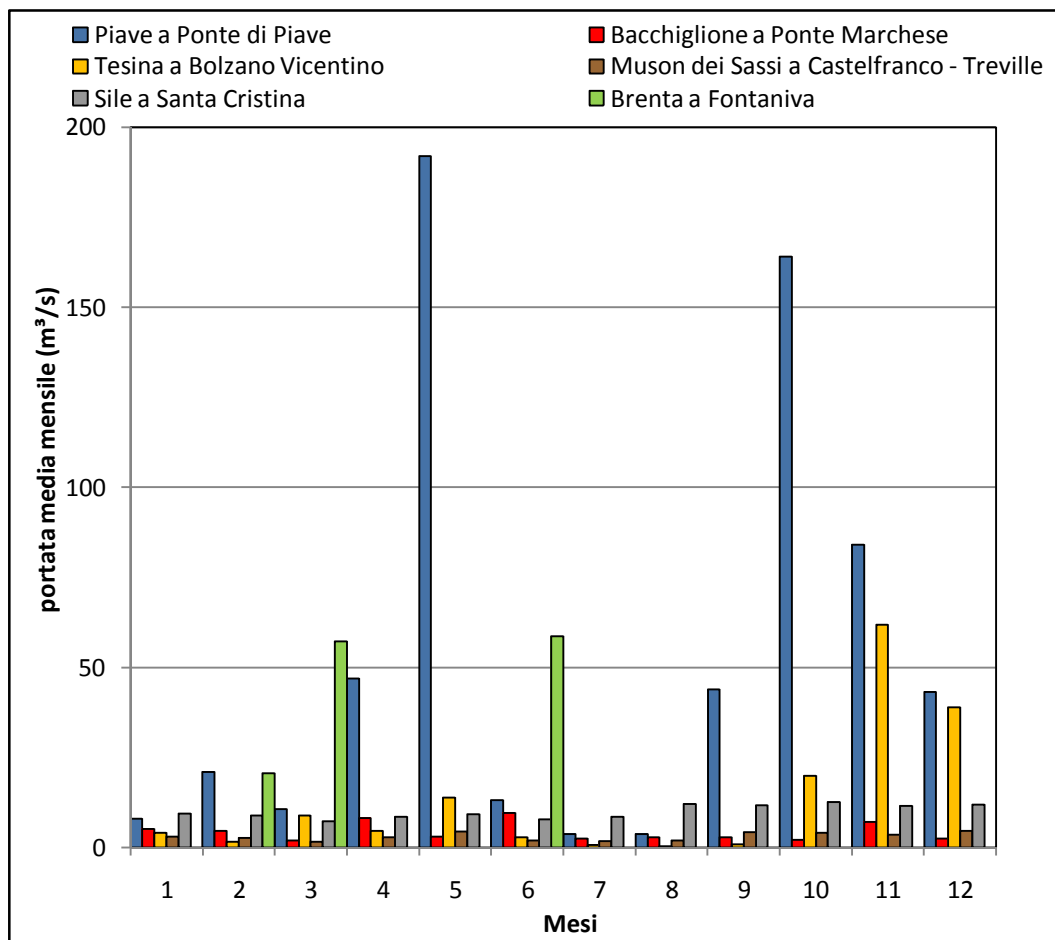


Fig. 4.12: Portata media mensile delle sezioni a valle dell'area di studio.

A valle dell'area di studio è il Piave quello che registra il deflusso maggiore, mediamente nel mese di maggio, con una portata di circa 190 m³/s, seguito da ottobre con una portata che si aggira attorno 170 m³/s.

Le portate a valle riguardanti il sistema Astico – Bacchiglione sono state misurate in corrispondenza del Fiume Tesina a Bolzano Vicentino e del Fiume Bacchiglione a Ponte Marchese; si nota come le portate siano molto più ridotte rispetto a quelle imputabili al Piave, sebbene negli ultimi due mesi dell'anno si registri un aumento di portata per il Tesina a Bolzano Vicentino.

4.1.3. Dati isotenziometrici

I dati riguardanti il livello della falda che sono stati utilizzati nel presente lavoro, sono fruibili sul sito dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della

Regione Veneto (ARPAV), che mette a disposizione degli utenti un database contenente misure del carico idraulico che sono comprese in un *range* temporale che va dal marzo 1999 al novembre 2013. Per ben 14 anni sono state effettuate misure freaticometriche in 372 stazioni sparse sul territorio della Regione Veneto.

Nelle Tabelle 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9 sono riportati tutti i pozzi di misura con le informazioni relative a: comune e provincia di ubicazione, coordinate geografiche, riferimenti di quota, profondità del pozzo/piezometro e periodo di monitoraggio.

ID	X_GBO	Y_GBO	COMUNE	PROV	Quota_pr_m	Quota_pc_m	Prof_m_pc	DATI_da	DATI_a
1	1731021.4	5026500.5	LEGNARO	PD	7.82	7.82	170	1999	2013
2	1715257.7	5035798.3	MESTRINO	PD	17.23	17.79	60	1999	2013
3	1728400	5044100	CAMPODARSEGO	PD	17.42	17.42	230	1999	2013
7	1718684.6	5028563	ABANO TERME	PD	14.2	13.35	4.76	1999	2006
9	1716639.5	5030407.9	SACCOLONGO	PD	15.78	15.46	4.09	1999	2012
15	1730317.4	5011735.1	ARRE	PD	2.19	0.74	3.63	1999	2009
16	1710701.7	5050968.1	GAZZO	PD	35.74	35.49	1.76	1999	2013
17	1714791.9	5036060.4	MESTRINO	PD	19.12	18.32	3.48	1999	2003
18	1722368.6	5055420.1	VILLA DEL CONTE	PD	35.88	35.12	2.85	1999	2013
19	1716756.2	5058436.2	CITTADELLA	PD	47.11	46.92	9	1999	2008
20	1726325.6	5017709.1	CARTURA	PD	4.57	3.87	4.7	1999	2003
21	1700117.4	5010523.2	SANTA MARGHERITA D'ADIGE	PD	13.1	11.97	5.86	1999	2007
22	1734017.2	5050128.5	MASSANZAGO	PD	19.82	18.95	3.63	1999	2012
23	1710773	5003269.1	VILLA ESTENSE	PD	6.51	5.56	5.16	1999	2013
24	1714383.7	5008333.2	MONSELICE	PD	6.99	5.89	4.5	1999	2009
25	1718616.5	5009349.4	POZZONOVO	PD	5.16	4.99	4.25	1999	2009
27	1744607.9	5017772.5	CODEVIGO	PD	-0.62	-1.56	3.83	1999	2009
28	1709106.2	5010720.9	ESTE	PD	11.23	10.19	4.9	1999	2009
29	1701187.6	5000177.9	PIACENZA D'ADIGE	PD	6.65	5.74	5.6	1999	2013
30	1692693.5	5013443.5	MONTAGNANA	PD	15.06	14.29	5.24	1999	2009
31	1722477.7	5059657.4	SAN MARTINO DI LUPARI	PD	42.22	47.52	7.81	1999	2013
33	1711933.6	5059413.7	CITTADELLA	PD	48	52.09	6	1999	2013
35	1718209.8	5059012.2	CITTADELLA	PD	47.11	47.2	12.98	2001	2013
36	1719783.3	5059252.8	TOMBOLO	PD	41.33	46.32	12.6	2001	2013
37	1721774.2	5059941.3	SAN MARTINO DI LUPARI	PD	45.95	44.72	8.8	2001	2013
38	1722028	5060722.9	SAN MARTINO DI LUPARI	PD	40.54	47.58	13.7	2001	2013
39	1710729	5031720	CERVARESE SANTA CROCE	PD	0	0	6	2010	2013
40	1724669	5022157	MASERA' DI PADOVA	PD	0	0	6	2010	2013
41	1726131	5012177	CONSELVE	PD	0	0	6	2010	2013
42	1715729	5012902	MONSELICE	PD	0	0	6	2010	2013
48	1692876	5011652	MONTAGNANA	PD	0	0	6	2010	2013
52	1694495	5007029	CASALE DI SCODOSIA	PD	0	0	6	2010	2013
56	1742806	5017522	CODEVIGO	PD	0	0	6	2010	2013
58	1734522.1	5049724.1	MASSANZAGO	PD	0	0	9	2012	2013
60	1725243.2	5049897.2	SANTA GIUSTINA IN COLLE	PD	0	0	9	2012	2013
66	1719030.4	5044817.5	PIAZZOLA SUL BRENTA	PD	0	0	9	2012	2013
67	1736385.4	5054825.5	TREBASELEGHE	PD	0	0	8.5	2012	2013
68	1715526.7	5035190.6	MESTRINO	PD	0	0	9	2012	2013
69	1715526.7	5035190.6	MESTRINO	PD	0	0	20	2012	2013
73	1725503.9	5036664.7	PADOVA	PD	0	0	9	2012	2013
74	1722135.1	5032370.2	PADOVA	PD	0	0	9	2012	2013
75	1733394.1	5041766.5	VILLANOVA DI CAMPOSAMPIERO	PD	0	0	11	2012	2013
76	1735645.1	5025018	SANT'ANGELO DI PIOVE DI SACCO	PD	0	0	9	2012	2013
77	1722328.6	5003387.6	POZZONOVO	PD	0	0	9	2012	2013
78	1722328.6	5003387.6	POZZONOVO	PD	0	0	20	2012	2013
79	1715952	5016796.9	MONSELICE	PD	0	0	9	2012	2013
80	1736711.9	5011449.6	CANDIANA	PD	0	0	9	2012	2013
82	1709281.1	4998212.3	BARBONA	PD	0	0	8.5	2012	2013
83	1737154.5	5010467.2	CORREZZOLA	PD	0	0	9	2012	2013
84	1731307	5025735.1	LEGNARO	PD	0	0	9	2012	2013
85	1689155.1	5014262.6	MONTAGNANA	PD	0	0	8.5	2012	2013
86	1688960.1	5008433.1	URBANA	PD	0	0	9	2012	2013
87	1729281	4996278.6	VILLADOSE	RO	3.72	2.92	4.4	1999	2009
88	1702458.9	4986317.7	CASTELGUGLIELMO	RO	6.81	6.25	2.5	1999	2013
89	1706578.4	4977522.3	OCCHIOBELLO	RO	4.93	4.5	3.5	1999	2013
90	1752297	4997273.5	LOREO	RO	-0.98	-1.96	2.1	1999	2009
91	1689106	4983622.5	SALARA	RO	8.12	7.54	3.4	1999	2009
94	1735282.4	4989081.5	VILLANOVA MARCHESANA	RO	1.77	0.27	6.5	1999	2013
95	1747276.7	4982180.1	ARIANO NEL POLESINE	RO	2.02	0.72	3.35	1999	2013
98	1725612	4985518.8	CRESPINO	RO	3.99	3.09	4.25	1999	2013
99	1759225.7	4993286.6	PORTO VIRO	RO	-1.45	-2.09	3.85	1999	2009
100	1744102.5	4991143.8	ADRIA	RO	1.02	-0.39	4.5	1999	2013
101	1673660.9	4993807	MELARA	RO	12.39	10.91	3.14	2000	2008
102	1689172	4989523.6	CENESELLI	RO	9.45	8.83	4.4	1999	2013
103	1697866.7	4981046.2	STIENTA	RO	8	7.13	5.5	1999	2013
107	1757724.6	4988682.1	PORTO VIRO	RO	-1.45	-1.94	2.1	1999	2013
110	1716477.9	4992369.9	ROVIGO	RO	3.91	3.75	3	1999	2013
113	1696340	4996570	BADIA POLESINE	RO	10	9.5	4.5	2006	2013
114	1696340	4996570	BADIA POLESINE	RO	9.96	9.47	18.5	2006	2013
115	1696559	4987611	BAGNOLO DI PO	RO	6.13	5.62	11	2006	2013
116	1696559	4987611	BAGNOLO DI PO	RO	6.12	5.62	16.5	2006	2013
117	1676861	4992481	BERGANTINO	RO	12.34	11.88	10.5	2006	2013
119	1676861	4992481	BERGANTINO	RO	12.36	11.9	16.5	2006	2013
127	1697745	4990084	CANDA	RO	7.3	6.82	8	2006	2013
128	1697745	4990084	CANDA	RO	7.27	6.79	20	2006	2013
130	1683370	4992254	CASTELNOVO BARIANO	RO	8.53	8.02	9	2006	2013

Tab. 4.5: Caratteristiche dei Pozzi/piezometri della rete di monitoraggio ARPAV; ID, codice identificativo del punto di monitoraggio; X_GBO e Y_GBO, longitudine e latitudine in coordinate piane nel sistema di riferimento Gauss-Boaga, Roma 1940, Fuso Ovest; COMUNE, comune di appartenenza del punto di monitoraggio; PROV, provincia di appartenenza del punto di monitoraggio; Quota_pr_m, quota rispetto al piano di riferimento in metri; Quota_pc_m, quota rispetto al piano campagna in metri; Prof_m_pc, profondità in metri rispetto al piano campagna; DATI_da e DATI_a, periodo di misurazione dei dati.

ID	X_GBO	Y_GBO	COMUNE	PROV	Quota_pr_m	Quota_pc_m	Prof_m_pc	DATI_da	DATI_a
131	1683370	4992254	CASTELNOVO BARIANO	RO	8.53	8.02	15	2006	2013
132	1707251	4982358	FIESSO UMBERTIANO	RO	7.07	6.63	5	2006	2013
133	1707251	4982358	FIESSO UMBERTIANO	RO	7.09	6.63	19	2006	2013
134	1689947	4991263	GIACCIANO CON BARUCHELLA	RO	10.16	9.65	7	2006	2013
136	1689947	4991263	GIACCIANO CON BARUCHELLA	RO	10.12	9.61	15	2006	2013
137	1693216	4988919	TRECENTA	RO	9.3	8.81	6	2006	2013
138	1693216	4988919	TRECENTA	RO	9.32	8.84	14	2006	2013
139	1708522	4993031	VILLANOVA DEL GHEBBO	RO	5.75	5.26	12	2006	2013
140	1708522	4993031	VILLANOVA DEL GHEBBO	RO	5.8	5.28	17	2006	2013
141	1712792	4988086	VILLAMARZANA	RO	4.83	4.32	6.3	2006	2013
142	1712792	4988086	VILLAMARZANA	RO	4.83	4.33	19	2006	2013
143	1752440.9	4994083.2	LOREO	RO	-0.718	0	7	2010	2013
144	1727844.8	4996727.8	VILLADOSE	RO	0	0	7.7	2010	2013
149	1690428.6	4983450.9	SALARA	RO	0	0	0	2010	2013
151	1757024.4	4994593.6	PORTO VIRO	RO	-2.374	0	6	2010	2013
153	1727845	4996728	VILLADOSE	RO	0	0	19	2010	2013
154	1717869	4995744.1	ROVIGO	RO	0	0	8.5	2012	2013
155	1722595.8	4990657.1	ROVIGO	RO	0	0	8.5	2012	2013
158	1721609.4	4986691.8	GUARDA VENETA	RO	0	0	8.5	2012	2013
160	1729326.3	4986707.4	CRESPINO	RO	0	0	9	2012	2013
162	1757114.5	4982237.7	ARIANO NEL POLESINE	RO	0	0	8.5	2012	2013
163	1695923.9	4981463.7	GAIBA	RO	0	0	9	2012	2013
168	1726111.8	4992355.5	CEREGNANO	RO	0	0	8.5	2012	2013
170	1765985.3	4979267.4	PORTO TOLLE	RO	0	0	8.5	2012	2013
171	1740305.6	4985889.5	PAPOZZE	RO	0	0	9	2012	2013
172	1734489.2	5067576.6	VEDELAGO	TV	67.8	67.05	35.8	2000	2009
173	1729759.1	5070504.6	ALTIVOLE	TV	84.75	86.38	85.97	1999	2013
174	1750864.6	5074892.4	ARCADE	TV	56.8	58.5	56.2	1999	2009
176	1768556.4	5051330.8	RONCADE	TV	0.77	0	5.7	1999	2013
181	1738820.8	5069781.2	TREVIGNANO	TV	80.4	80	40	2000	2009
184	1748488.9	5058537.9	TREVISO	TV	15.14	15.14	140	1999	2012
185	1766313.1	5082863.7	VAZZOLA	TV	21.3	21.3	88.9	2000	2013
187	1741698.7	5093043.2	FOLLINA	TV	189.11	190.19	22	1999	2013
194	1764500.2	5071655.6	ORMELLE	TV	18.5	18.96	109	1999	2012
195	1780831.7	5070516.9	CESSALTO	TV	2.39	2.24	0	1999	2013
196	1752074.9	5050273.9	MOGLIANO VENETO	TV	8.05	7.45	3.6	1999	2013
198	1747417.9	5060937.1	QUINTO DI TREVISO	TV	18.95	18.45	6	1999	2013
199	1734934.7	5080240.7	CORNUDA	TV	152.64	153.9	55.5	1999	2013
200	1747648.4	5081277.8	NERVESIA DELLA BATTAGLIA	TV	87.95	86.94	22.6	1999	2013
201	1755750.9	5096406.8	VITTORIO VENETO	TV	122.77	121.97	14.67	1999	2013
217	1765438.1	5092163.5	ORSAGO	TV	45.88	45.17	6.72	1999	2013
224	1748043.9	5064269.4	PAESE	TV	29.55	28.55	10.9	1999	2009
225	1770564.9	5072071.4	ODERZO	TV	10.86	9.93	4.3	1999	2008
226	1767677.1	5062207	MONASTIER DI TREVISO	TV	6.04	4.83	7.49	1999	2008
227	1780722.1	5067667	CESSALTO	TV	4.3	3.42	7.2	1999	2013
228	1780023.5	5075954	MOTTA DI LIVENZA	TV	6.98	6.2	5.52	1999	2008
229	1758181.7	5056983.9	CASALE SUL SILE	TV	8.53	7.76	6.07	1999	2006
230	1758037.7	5057402.1	CASALE SUL SILE	TV	0	0	7.6	2003	2013
231	1726063.2	5074279.5	ASOLO	TV	96.25	97.85	127	1999	2009
232	1721632.9	5066950.7	LORIA	TV	70.75	71.95	59	1999	2013
233	1728581.5	5073413.7	ASOLO	TV	98.7	98.7	70	1999	2009
234	1726286.8	5068138.1	RIESE PIO X	TV	65.43	65.03	150	1999	2013
235	1721175.5	5070903.5	SAN ZENONE DEGLI EZZELINI	TV	84.6	85.45	56.5	1999	2013
236	1728403.7	5061756.7	CASTELFRANCO VENETO	TV	41.79	40.96	10.05	1999	2009
238	1731041.3	5075332.2	MASER	TV	115.05	116.41	77	1999	2013
239	1732783.3	5068295.7	VEDELAGO	TV	73.63	74.35	64	1999	2013
241	1745406.7	5053099.6	ZERO BRANCO	TV	13.75	13.75	52	1999	2013
244	1726622.5	5070566.1	ALTIVOLE	TV	76.34	76.84	49.15	2001	2013
245	1731936.3	5069860.5	ALTIVOLE	TV	84.44	0	61.7	2002	2005
247	1724481.8	5076756.1	ASOLO	TV	136.94	140.2	40	2002	2013
248	1731281.7	5064767.8	CASTELFRANCO VENETO	TV	53.56	52.5	65	2001	2009
264	1725321.6	5065507.2	CASTELLO DI GODEGO	TV	56.75	55.95	24.5	2001	2009
266	1723674.9	5064335.3	CASTELLO DI GODEGO	TV	57.02	56.21	27.9	2001	2013
267	1735153.7	5072970.5	MONTEBELLUNA	TV	99.97	99.8	81	2002	2013
268	1732795.5	5077526.2	MASER	TV	139.01	138.71	0	2001	2013
271	1728096.8	5068945.8	RIESE PIO X	TV	71.31	73.43	45.6	2001	2010
273	1724280	5066860	RIESE PIO X	TV	60.4	61.91	40.2	2001	2010
275	1727170	5066470.6	RIESE PIO X	TV	58.64	57.97	30.6	2001	2009
276	1760776.7	5096707.2	CAPPELLA MAGGIORE	TV	109.8	0	15.25	2001	2010
277	1763415.9	5091633.4	GODEGA DI SANT'URBANO	TV	52.4	51.6	12.8	2010	2013
278	1754711.6	5080350.9	SANTA LUCIA DI PIAVE	TV	60.71	59.35	29.4	2003	2013
280	1754238	5083815.6	SANTA LUCIA DI PIAVE	TV	0	60	42.5	2002	2013
282	1755221.6	5077351.6	SANTA LUCIA DI PIAVE	TV	58.43	58	29.5	1999	2013
283	1769180.8	5086907.3	GAJARINE	TV	0	21.3	4	2010	2013
284	1744254.5	5075221.7	VOLPAGO DEL MONTELLO	TV	0	86	103	2010	2013
285	1744945.2	5071513.8	VOLPAGO DEL MONTELLO	TV	0	69	85	1999	2013

Tab. 4.6: Caratteristiche dei Pozzi/piezometri della rete di monitoraggio ARPAV; ID, codice identificativo del punto di monitoraggio; X_GBO e Y_GBO, longitudine e latitudine in coordinate piane nel sistema di riferimento Gauss-Boaga, Roma 1940, Fuso Ovest; COMUNE, comune di appartenenza del punto di monitoraggio; PROV, provincia di appartenenza del punto di monitoraggio; Quota_pr_m, quota rispetto al piano di riferimento in metri; Quota_pc_m, quota rispetto al piano campagna in metri; Prof_m_pc, profondità in metri rispetto al piano campagna; DATI_da e DATI_a, periodo di misurazione dei dati.

ID	X_GBO	Y_GBO	COMUNE	PROV	Quota_pr_m	Quota_pc_m	Prof_m_pc	DATI_da	DATI_a
288	1742713.8	5067146.8	TREVIGNANO	TV	58.25	59.25	50	1999	2013
289	1751208.8	5077685.6	NERVESA DELLA BATTAGLIA	TV	67	67	45	2010	2013
290	1734743.9	5066361.8	VEDELAGO	TV	0	59.65	37	2010	2013
292	1753768.7	5070464	VILLORBA	TV	36.59	0	20	2010	2013
294	1746081.3	5084033.6	SERNAGLIA DELLA BATTAGLIA	TV	114.39	0	30	2001	2013
296	1743023.5	5082576.6	SERNAGLIA DELLA BATTAGLIA	TV	109	108	8.6	2001	2013
297	1742902.2	5088347.8	FARRA DI SOLIGO	TV	0	0	13	2010	2013
298	1746966.6	5076123.1	GIAVERA DEL MONTELLO	TV	0	67	44	2010	2013
299	1748224.1	5065916.2	PONZANO VENETO	TV	34.99	0	21	2002	2013
301	1749823.4	5069420.7	PONZANO VENETO	TV	39.69	0	33	1999	2013
302	1731754.7	5064738.6	CASTELFRANCO VENETO	TV	51.3	51.5	30	2004	2013
303	1742328	5064637	PAESE	TV	46.57	0	35	2010	2013
304	1722560.4	5065860.4	LORIA	TV	0	0	38	2010	2013
305	1728354	5068498	RIESE PIO X	TV	69.96	70	39	2004	2013
306	1750176.4	5074547.7	ARCADE	TV	57.5	0	40	2012	2013
308	1757387.3	5081908.3	MARENO DI PIAVE	TV	46.58	46.4	25	2010	2013
309	1760837	5096787	CAPELLA MAGGIORE	TV	0	0	16.4	2011	2013
310	1768074	5069250.2	PONTE DI PIAVE	TV	0	0	8	2011	2013
311	1740777.1	5057758.3	MORGANO	TV	0	0	18	2011	2013
313	1763273.7	5065461.3	SAN BIAGIO DI CALLALTA	TV	0	0	6.21	2011	2013
314	1767257.9	5074381.1	ORMELLE	TV	0	0	6.5	2011	2013
315	1763338.1	5062622.1	SAN BIAGIO DI CALLALTA	TV	0	0	9	2012	2013
316	1767732.4	5054241	RONCADE	TV	0	0	9	2012	2013
317	1761932.5	5069604.9	BREDA DI PIAVE	TV	0	0	8.5	2012	2013
320	1750984.9	5054503.2	PREGANZIOL	TV	0	0	9	2012	2013
361	1754833	5039041.1	VENEZIA	VE	4.59	2.27	220	1999	2012
362	1798568.1	5084087.7	GRUARO	VE	12.36	11.38	192	1999	2004
363	1749609.8	5048382.3	VENEZIA	VE	7.51	7.51	199	1999	2013
364	1745425.4	5035421	MIRA	VE	3.46	2.85	200	1999	2013
365	1768888.2	5051190.6	QUARTO D'ALTINO	VE	0.12	0	299	1999	2013
366	1740708.5	5026739.6	CAMPOLONGO MAGGIORE	VE	1.84	1.84	280	1999	2013
367	1759725.3	5026443.8	VENEZIA	VE	1.06	1.06	298.63	1999	2013
368	1751883	5038829.3	VENEZIA	VE	2.36	2.36	312	2000	2005
372	1778062.3	5042191.7	CAVALLINO TREPONTI	VE	0.98	0.66	114	1999	2005
373	1744850.6	5003009	CAVARZERE	VE	0.54	0.34	27	1999	2013
374	1813974.3	5068885.1	SAN MICHELE AL TAGLIAMENTO	VE	1.2	0.52	264	1999	2005
450	1788646.3	5075730.6	PRAMAGGIORE	VE	4.76	3.8	200	1999	2011
451	1759323.2	5036721.1	VENEZIA	VE	1.48	1.48	298.53	1999	2012
452	1767125.6	5042613	VENEZIA	VE	0.91	1.01	225	1999	2013
453	1760848.9	5049211.6	MARCON	VE	2.41	2.11	285.9	1999	2013
454	1745709.1	5035401.1	MIRA	VE	2.59	2.59	4.69	1999	2013
455	1744355.6	5021471.4	CAMPAGNA LUPIA	VE	1.19	0.39	3	1999	2013
456	1802252.6	5077244.4	FOSSALTA DI PORTOGRUARO	VE	5.67	5	4	1999	2013
460	1749527.3	5047729.9	VENEZIA	VE	8.75	7.92	3.5	1999	2013
461	1737408.7	5041973.9	SANTA MARIA DI SALA	VE	11.41	10.41	4.8	1999	2013
463	1735420.4	5032967.7	STRA	VE	9.59	8.79	4	1999	2009
464	1760165.8	5026863.8	VENEZIA	VE	2	1.37	14	1999	2013
465	1750589.1	5036366.6	VENEZIA	VE	2.45	1.5	2.55	1999	2013
467	1750539.8	5039239.2	VENEZIA	VE	1.92	1.92	3.1	1999	2013
468	1778011.7	5043333.5	CAVALLINO TREPONTI	VE	2.58	1.58	1.8	1999	2013
501	1790703.6	5058073.8	ERACLEA	VE	1.29	0.29	4.6	1999	2009
502	1737036.6	5048357.1	NOALE	VE	15.95	16.2	197	1999	2012
504	1738904.9	5051178.7	NOALE	VE	0	0	299	1999	2012
506	1741103.5	5051015.9	NOALE	VE	0	0	300	1999	2009
507	1741277.6	5049879	NOALE	VE	0	0	130	1999	2013
509	1741813.4	5049497.9	NOALE	VE	0	0	180	1999	2009
513	1745884.8	5052531.1	SCORZE'	VE	0	0	313	1999	2012
514	1747682.6	5049882.1	SCORZE'	VE	0	0	200	1999	2009
515	1748629.7	5045716	MARTELLAGO	VE	0	0	270	1999	2009
518	1745664.9	5045413.5	MARTELLAGO	VE	0	0	300	1999	2008
519	1748202.1	5040599.1	SPINEA	VE	3.15	0	286.5	1999	2012
521	1743754.7	5039775.6	MIRANO	VE	0	0	130	1999	2009
523	1742064.5	5037361.3	MIRANO	VE	4.44	0	240	1999	2013
524	1738948.3	5045493.7	SANTA MARIA DI SALA	VE	12.45	12.45	300	1999	2006
526	1741005.5	5043409	MIRANO	VE	9.27	9.52	140	1999	2013
529	1735011.3	5038082.3	PIANIGA	VE	0	0	120	1999	2013
531	1745361.5	5039281.9	MIRA	VE	0	0	101	1999	2009
533	1748870.5	5035803.7	MIRA	VE	1.54	0	103	1999	2013
535	1764182	5050526.2	QUARTO D'ALTINO	VE	1.5	0	300	1999	2009
542	1761493.8	5047290.9	VENEZIA	VE	0.535	0.28	221	1999	2009
544	1758543.9	5046642.9	VENEZIA	VE	0.85	0	280	1999	2013
545	1793944.5	5083124.1	CINTO CAOMAGGIORE	VE	0	0	37	1999	2013
552	1798358.3	5083056.8	GRUARO	VE	0	0	80	1999	2013
556	1799368.8	5080940.3	GRUARO	VE	0	0	230	1999	2009
558	1806903.9	5083845.8	SAN MICHELE AL TAGLIAMENTO	VE	0	0	192	1999	2009
560	1807527.8	5083474.5	SAN MICHELE AL TAGLIAMENTO	VE	0	0	55	1999	2013

Tab. 4.7: Caratteristiche dei Pozzi/piezometri della rete di monitoraggio ARPAV; ID, codice identificativo del punto di monitoraggio; X_GBO e Y_GBO, longitudine e latitudine in coordinate piane nel sistema di riferimento Gauss-Boaga, Roma 1940, Fuso Ovest; COMUNE, comune di appartenenza del punto di monitoraggio; PROV, provincia di appartenenza del punto di monitoraggio; Quota_pr_m, quota rispetto al piano di riferimento in metri; Quota_pc_m, quota rispetto al piano campagna in metri; Prof_m_pc, profondità in metri rispetto al piano campagna; DATI_da e DATI_a, periodo di misurazione dei dati.

ID	X_GBO	Y_GBO	COMUNE	PROV	Quota_pr_m	Quota_pc_m	Prof_m_pc	DATI_da	DATI_a
624	1797260.7	5070755	CONCORDIA SAGITTARIA	VE	0	0	530	1999	2013
636	1805332.1	5067867.2	CAORLE	VE	0	0	150	1999	2013
642	1809773.8	5071397	SAN MICHELE AL TAGLIAMENTO	VE	0	0	380	1999	2013
646	1793342.9	5067012.1	SANTO STINO DI LIVENZA	VE	0	0	340	1999	2013
649	1816097.5	5065496.4	SAN MICHELE AL TAGLIAMENTO	VE	0	0	440	1999	2005
656	1793248.3	5052873.1	ERACLEA	VE	0	0	120	1999	2013
670	1787153.1	5059765	ERACLEA	VE	0	0	147	1999	2013
671	1791059.2	5063935.7	TORRE DI MOSTO	VE	0	0	128	1999	2013
672	1774583.8	5063899	NOVENTA DI PIAVE	VE	0	0	614	1999	2010
673	1782332.3	5065606	CEGGIA	VE	0	0	385	1999	2013
704	1791430.3	5080964	PRAMAGGIORE	VE	0	0	200	1999	2005
706	1805929	5063658.3	CAORLE	VE	0	0	480	1999	2011
713	1776569.8	5042002	CAVALLINO TREPORTI	VE	0.48	0	120	1999	2009
714	1769420.9	5039805	CAVALLINO TREPORTI	VE	1.23	0.81	307	1999	2013
715	1769249.5	5038220.8	CAVALLINO TREPORTI	VE	1.317	0	120	1999	2012
726	1765798.5	5039032.1	VENEZIA	VE	1.203	1.1	298.8	1999	2009
732	1743725	5030440.6	CAMPONOGARA	VE	1.52	1.07	170	1999	2013
735	1802160.4	5068454.7	CONCORDIA SAGITTARIA	VE	0	0	213	1999	2009
738	1751487	5014364.3	CHIOGGIA	VE	0.66	0.65	199.5	2000	2009
739	1757063.1	5011497.4	CHIOGGIA	VE	0.76	0.8	219	2000	2013
741	1769607	5057343	MEOLO	VE	0	0	6	2010	2013
742	1778314	5059536	SAN DONA' DI PIAVE	VE	0	0	6	2010	2013
750	1786892	5069948	SANTO STINO DI LIVENZA	VE	0	0	6	2010	2013
754	1799281	5075835	PORTOGRUARO	VE	0	0	6	2010	2013
756	1738901	5008929	CONA	VE	0	0	6	2010	2013
758	1742719	5002551	CAVARZERE	VE	0	0	6	2010	2013
761	1783252	5049853	IESOLO	VE	0	0	6	2010	2013
762	1789254	5053122	ERACLEA	VE	0	0	6	2010	2013
763	1744703	5041597	SPINEA	VE	4.4	4.63	6	2010	2013
765	1745193	5045656	SALZANO	VE	8.44	8.55	6	2010	2013
766	1745631	5049183	MARTELLAGO	VE	11.34	11.46	15	2010	2013
771	1746103	5051058	SCORZE'	VE	12.63	12.58	15	2010	2013
772	1800461.5	5080402.5	TEGLIO VENETO	VE	0	0	8.5	2012	2013
773	1792398.7	5079193.8	PRAMAGGIORE	VE	0	0	9	2012	2013
790	1797122.1	5069422.4	CONCORDIA SAGITTARIA	VE	0	0	7.5	2012	2013
806	1800884.6	5058279.6	CAORLE	VE	0	0	12	2012	2013
807	1785834.3	5057247.2	ERACLEA	VE	0	0	7.5	2012	2013
808	1743800.1	4996600.8	CAVARZERE	VE	0	0	8.5	2012	2013
809	1699828	5058021	DUEVILLE	VI	67.61	66.75	10.5	2000	2013
812	1714743.4	5045729.5	CAMISANO VICENTINO	VI	27.97	27.02	2.85	1999	2011
903	1711760	5070393	BASSANO DEL GRAPPA	VI	106.42	106.18	62.26	1999	2013
904	1700766	5060877	SANDRIGO	VI	89.03	88.24	22.25	1999	2013
905	1715633	5070324	CASSOLA	VI	111.72	111.69	49.47	1999	2013
906	1698864	5019630	NOVENTA VICENTINA	VI	15.15	14.23	3.6	1999	2013
907	1685975	5025740	LONIGO	VI	27.1	26.2	4	1999	2013
908	1705599	5032215	NANTO	VI	19.62	18.97	6.67	1999	2013
909	1704266	5044103	TORRI DI QUARTESOLO	VI	30.62	29.47	4.7	1999	2013
910	1705263	5060040	SANDRIGO	VI	61.19	60.49	4.77	1999	2013
911	1692952	5064424	THIENE	VI	145.59	145.39	112.5	2000	2013
912	1714996	5073065	ROMANO D'EZZELINO	VI	130.61	130.61	58	1999	2013
913	1705540	5067512	PIANEGGIA	VI	88.2	87.38	24.78	1999	2013
914	1707241.8	5062376.4	SCHIAVON	VI	68.53	68.53	10.3	1999	2005
915	1717968	5065137	ROSSANO VENETO	VI	75.8	75.8	78.2	1999	2013
916	1699418.3	5062696.9	BREGANZE	VI	99.38	98.39	32.77	1999	2013
917	1708500	5058468	POZZOLEONE	VI	55.93	54.77	6.3	1999	2013
918	1695412.4	5063971.3	SARCEDO	VI	119.22	118.33	40	1999	2007
919	1708052	5065227	NOVE	VI	79.37	78.67	18.2	1999	2013
920	1687907.1	5061567.4	MALO	VI	135.25	134.36	85	1999	2013
921	1694436	5058504	VILLAVERLA	VI	73.79	73.04	25	1999	2013
922	1694880	5054255	CALDOGNO	VI	56.11	55.36	5.87	1999	2013
923	1712479	5063459	TEZZE SUL BRENTA	VI	71.72	75.37	78	1999	2013
924	1703023.3	5062917.2	BREGANZE	VI	77.08	76.27	23	2000	2004
925	1710444	5067469	BASSANO DEL GRAPPA	VI	99.22	99.22	42.1	1999	2013
927	1695683	5061405	SARCEDO	VI	0	88.2	33	2000	2013
928	1685729.8	5035010.5	MONTEBELLO VICENTINO	VI	45.03	45.03	97	2000	2007
975	1685036.6	5043762.1	ARZIGNANO	VI	87.25	89.13	91.5	1999	2013
976	1685785.3	5047799.7	TRISSINO	VI	122.52	122.52	30	2000	2009
977	1685735.9	5039211.4	ZERMEGHEDO	VI	67.12	68.52	70	2000	2007
978	1708611	5068789	MAROSTICA	VI	0	94	74	2005	2013
979	1704048	5065594	MASON VICENTINO	VI	85.36	85	60	2005	2013
980	1706844	5065792	MAROSTICA	VI	0	82	40	2005	2013
981	1687472	5065983	SCHIO	VI	0	0	0	2006	2013
1001	1685227.4	5065146.4	SCHIO	VI	0	0	0	2005	2009
1002	1690826	5063600	MARANO VICENTINO	VI	0	0	0	2007	2013
1003	1690090	5063519	MARANO VICENTINO	VI	0	140	95	2005	2007
1004	1690967	5061223	MALO	VI	0	0	0	2005	2013

Tab. 4.8: Caratteristiche dei Pozzi/piezometri della rete di monitoraggio ARPAV; ID, codice identificativo del punto di monitoraggio; X_GBO e Y_GBO, longitudine e latitudine in coordinate piane nel sistema di riferimento Gauss-Boaga, Roma 1940, Fuso Ovest; COMUNE, comune di appartenenza del punto di monitoraggio; PROV, provincia di appartenenza del punto di monitoraggio; Quota_pr_m, quota rispetto al piano di riferimento in metri; Quota_pc_m, quota rispetto al piano campagna in metri; Prof_m_pc, profondità in metri rispetto al piano campagna; DATI_da e DATI_a, periodo di misurazione dei dati.

ID	X_GBO	Y_GBO	COMUNE	PROV	Quota_pr_m	Quota_pc_m	Prof_m_pc	DATI_da	DATI_a
1005	1699724	5059921	MONTECCHIO PRECALCINO	VI	0	0	0	2005	2013
1006	1708687.7	5062303.6	POZZOLEONE	VI	67.22	0	9.8	2005	2013
1007	1685811	5034344	MONTEBELLO VICENTINO	VI	0	0	100	2008	2013
1008	1686301	5038999	ZERMEGHEDO	VI	0	0	100	2008	2013
1009	1685856	5064867	SCHIO	VI	0	0	0	2010	2013
1010	1686540	5049396	CASTELGOMBERTO	VI	133.22	133.2	36	2010	2013
1011	1709904	5065730	CARTIGLIANO	VI	0	85.7	70	2003	2013
1012	1710874	5064446	TEZZE SUL BRENTA	VI	78.43	78.43	80	2001	2013
1013	1713241	5062607	TEZZE SUL BRENTA	VI	70.03	70.03	70	2001	2013
1014	1714969	5067132	ROSA'	VI	95.79	95.71	73	2001	2013
1015	1717326.8	5066304.4	ROSSANO VENETO	VI	83.7	83.71	50	2001	2013
1016	1718827	5063441	ROSSANO VENETO	VI	64.23	65.93	72.2	2003	2013
1017	1713179	5070770	BASSANO DEL GRAPPA	VI	117.73	117.73	80.5	2001	2013
1018	1713192	5069929	BASSANO DEL GRAPPA	VI	113.09	113.09	70.3	2001	2013
1019	1714480	5068599	ROSA'	VI	105.95	105.95	84	2001	2013
1020	1712603.3	5066450.2	ROSA'	VI	92.52	92.36	60	2001	2013
1021	1709794	5064623	CARTIGLIANO	VI	80.13	80.06	20.47	2001	2013
1022	1717766.6	5063631.6	ROSSANO VENETO	VI	52.7	0	22	2001	2013
1023	1689709.7	5034455.4	SAREGO	VI	0	0	9	2012	2013
1024	1711257.6	5045231.5	CAMISANO VICENTINO	VI	0	0	8	2012	2013
1025	1706619.4	5043638.9	TORRI DI QUARTESOLO	VI	0	0	9	2012	2013
1026	1696682.4	5015319	POIANA MAGGIORE	VI	0	0	9	2012	2013
1027	1693579.7	5021124.8	ASIGLIANO VENETO	VI	0	0	8	2012	2013
1028	1693579.7	5021124.8	ASIGLIANO VENETO	VI	0	0	25	2012	2013
1029	1667335	5031837.8	LAVAGNO	VR	48.05	47.24	10.65	1999	2008
1030	1638973	5024261.9	VALEGGIO SUL MINCIO	VR	82.35	81.45	32	1999	2013
1031	1641168	5042805.6	SANT'AMBROGIO DI VALPOLICELLA	VR	112.02	110.84	88.5	1999	2012
1032	1658074.1	5025638.3	BUTTAPIETRA	VR	42.47	42.47	5.7	1999	2013
1033	1669467.2	5039862.8	ILLASI	VR	245.21	246.31	182	1999	2013
1034	1678160.2	5029756.9	SAN BONIFACIO	VR	29.31	29.16	27	1999	2006
1035	1689308.9	5015719.6	PRESSANA	VR	16.39	15.51	5.11	1999	2013
1036	1655174.7	5009849	SORGA'	VR	24.51	24.51	60	1999	2010
1037	1661242.7	5006356.9	NOGARA	VR	19.61	19.61	60	1999	2013
1038	1689426.7	4999353	CASTAGNARO	VR	12.43	12.43	59	1999	2006
1039	1663292.8	5016599.8	ISOLA DELLA SCALA	VR	24.73	24.73	110	1999	2013
1040	1687899.2	4998504.6	CASTAGNARO	VR	9.36	9.36	3.25	2000	2013
1041	1671206.1	5002078.5	CASALEONE	VR	13.36	12.42	3	1999	2007
1042	1676997.5	5038588.2	MONTECCHIA DI CROSARA	VR	66.97	66.97	18	1999	2013
1043	1669132.5	5011812.4	BOVOLONE	VR	21.78	20.83	3.7	1999	2013
1044	1670293.1	5019749.4	OPPEANO	VR	22.81	25.59	10	1999	2009
1045	1675945	5006130.3	CEREA	VR	15.14	14.06	5.5	1999	2006
1046	1658979.9	5038013.3	VERONA	VR	68.48	69.24	30	2000	2013
1047	1657473.2	5021860.1	ISOLA DELLA SCALA	VR	0	0	5	2004	2013
1048	1647154	5022547	POVEGLIANO VERONESE	VR	0	0	20	2004	2010
1049	1645920	5027632	SOMMACAMPAGNA	VR	0	0	35	2004	2013
1050	1648778	5037618	PESCANTINA	VR	0	0	40	2004	2013
1051	1647272.6	5034307.3	BUSSOLENO	VR	0	0	40	2007	2010
1052	1660119	5026346	SAN GIOVANNI LUPATOTO	VR	0	119	9	2004	2013
1053	1643617.6	5022349.3	VILLAFRANCA DI VERONA	VR	51.23	52.3	7.11	2011	2013
1054	1654275.7	5028228.5	VERONA	VR	53.1	53.18	11.82	2011	2013
1055	1669736.1	5021659.2	PALU'	VR	23.38	23.3	3.94	2011	2013
1056	1660988.7	5032720.4	VERONA	VR	57.88	56.8	0	2011	2013
1057	1681203	5006970	LEGNAGO	VR	0	0	6	2012	2013
1058	1675061	5006360	CEREA	VR	0	0	6	2012	2013
1059	1665463	5000988	GAZZO VERONESE	VR	0	0	6	2012	2013
1060	1657676	5015491	ISOLA DELLA SCALA	VR	0	0	6	2012	2013
1061	1656866	5022838	BUTTAPIETRA	VR	0	0	6	2012	2012
1062	1665960	5013730	BOVOLONE	VR	0	0	6	2012	2013
1063	1667123.6	5025380.3	ZEVIO	VR	0	0	9	2012	2013
1064	1674019.8	5019438.7	RONCO ALL'ADIGE	VR	0	0	9	2012	2013
1065	1674019.8	5019438.7	RONCO ALL'ADIGE	VR	0	0	20	2012	2013
1066	1679133.4	5020480.6	ALBAREDO D'ADIGE	VR	0	0	9	2012	2013
1067	1666413.9	5007349	SALIZOLE	VR	0	0	9	2012	2012
1068	1666413.9	5007349	SALIZOLE	VR	0	0	20	2012	2012
1069	1686558.1	5022152.3	ZIMELLA	VR	0	0	9	2012	2013
1070	1681653.8	5002854.9	LEGNAGO	VR	0	0	8.5	2012	2013

Tab. 4.9: Caratteristiche dei Pozzi/piezometri della rete di monitoraggio ARPAV; ID, codice identificativo del punto di monitoraggio; X_GBO e Y_GBO, longitudine e latitudine in coordinate piane nel sistema di riferimento Gauss-Boaga, Roma 1940, Fuso Ovest; COMUNE, comune di appartenenza del punto di monitoraggio; PROV, provincia di appartenenza del punto di monitoraggio; Quota_pr_m, quota rispetto al piano di riferimento in metri; Quota_pc_m, quota rispetto al piano campagna in metri; Prof_m_pc, profondità in metri rispetto al piano campagna; DATI_da e DATI_a, periodo di misurazione dei dati.

L'ubicazione dei piezometri è stata gestita attraverso ArcGis 10.1 per avere una visione immediata della loro localizzazione e per individuare quelli che sono

compresi entro il dominio d'interesse. Al termine dell'analisi spaziale sono stati individuati gli 89 punti di monitoraggio riportati in Figura 4.13.

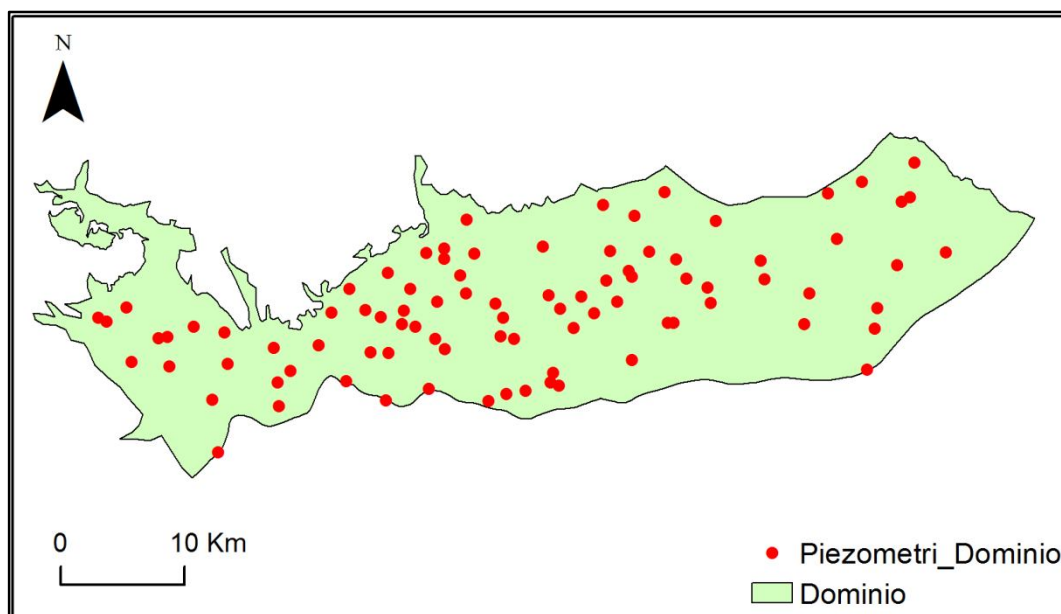


Fig. 4.13: Ubicazione dei punti di monitoraggio della rete ARPAV all'interno del dominio.

Al fine di capire il regime idrodinamico dell'acquifero freatico indifferenziato, degli 89 punti ricadenti nell'area di studio, ne sono stati individuati 7 come rappresentativi di tutto il dominio. I criteri su cui si è basata la scelta di questi punti sono riconducibili alla profondità del pozzo/piezometro ed al numero delle misure disponibili. Per cui sono stati preferiti i piezometri più profondi e che, a parità di profondità, presentano un maggior numero di misure del livello di falda, cercando di coprire omogeneamente l'area d'interesse.

In Figura 4.14 è mostrata l'ubicazione dei 7 piezometri scelti all'interno del dominio. Altresì nella Tabella 4.10 sono riportati i dati relativi agli 89 piezometri compresi nella zona d'indagine, evidenziando i 7 scelti per le ricostruzioni idrogeologiche successive. Il campo denominato *Conteggio* in Tabella 4.10 riporta il numero di misure disponibili per ciascun punto.

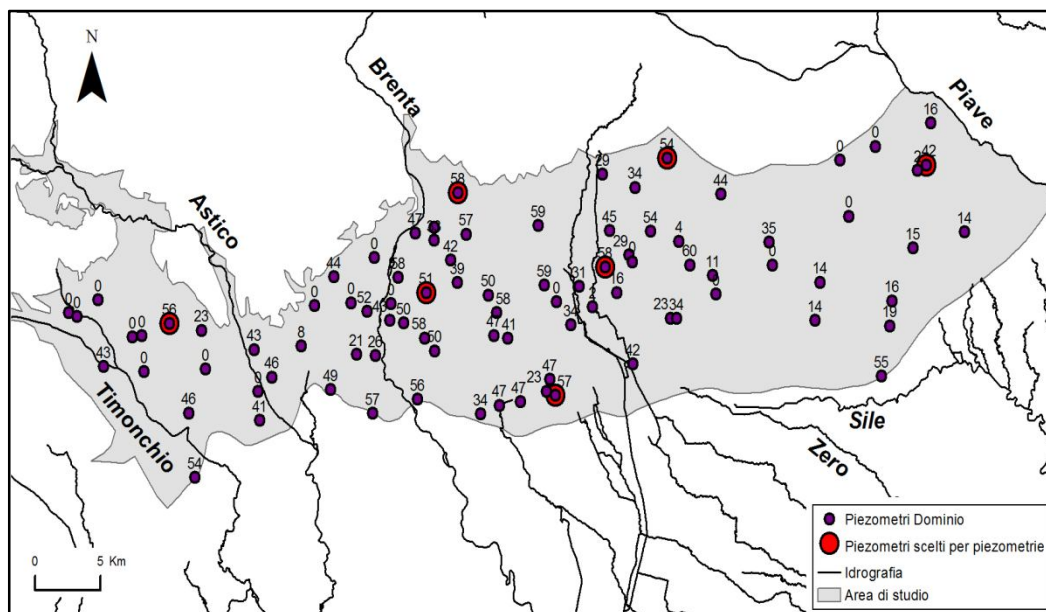


Fig. 4.14: Ubicazione dei piezometri ARPAV all'interno del dominio; contornati in rosso vengono mostrati i 7 piezometri scelti per le ricostruzioni idrogeologiche successive; ogni piezometro è correlato da un'etichetta che riporta il numero di misure del livello di falda disponibili su ciascun punto.

ID	COMUNE	X_GBO	Y_GBO	Prof_m_pc	ConteggioDiLivello_mslm
9	VEDELAGO	1734489.246	5067576.56	35.8	11
23	ALTIVOLE	1729759.123	5070504.575	85.97	54
31	ARCADE	1750864.569	5074892.367	56.2	42
38	DUEVILLE	1699828	5058021	10.5	41
52	TREVIGNANO	1738820.784	5069781.172	40	35
76	CITTADELLA	1716756.172	5058436.226	9	34
99	BASSANO DEL GRAPPA	17111760	5070393	62.26	47
107	QUINTO DI TREVISO	1747417.925	5060937.137	6	55
107	PAESE	1748043.855	5064269.367	10.9	19
119	ASOLO	1726063.231	5074279.462	127	29
140	SANDRIGO	1700766	5060877	22.25	46
149	CASSOLA	1715633	5070324	49.47	57
158	SANDRIGO	1705263	5060040	4.77	49
160	THIENE	1692952	5064424	112.5	56
162	ROMANO D'EZZELINO	1714996	5073065	58	58
163	PIANEZZE	1705540	5067512	24.78	44
217	SCHIAVON	1707241.787	5062376.431	10.3	21
224	ROSSANO VENETO	1717968	5065137	78.2	58
225	LORIA	1721632.935	5066950.727	59	59
226	BREGANZE	1699418.3	5062696.9	32.77	43
227	POZZOLEONE	1708500	5058468	6.3	57
228	SARCEDO	1695412.371	5063971.288	40	23
229	ASOLO	1728581.506	5073413.69	70	34
230	RIESE PIO X	1726286.786	5068138.074	150	58
231	NOVE	1708052	5065227	18.2	52
232	MALO	1687907.1	5061567.4	85	43
233	VILLAVERLA	1694436	5058504	25	46
234	CALDOGNO	1694880	5054255	5.87	54
235	TEZZE SUL BRENTA	1712479	5063459	78	58
236	SAN ZENONE DEGLI EZZELINI	1721175.513	5070903.478	56.5	59
238	BREGANZE	1703023.254	5062917.198	23	8
239	SAN MARTINO DI LUPARI	1722477.687	5059657.416	7.81	57
241	CITTADELLA	1711933.578	5059413.728	6	56
244	BASSANO DEL GRAPPA	1710444	5067469	42.1	58
245	SARCEDO	1695683	5061405	33	0
247	CASTELFRANCO VENETO	1728403.71	5061756.69	10.05	42
248	MASER	1731041.296	5075332.163	77	54
271	VEDELAGO	1732783.324	5068295.698	64	60
450	MAROSTICA	1708611	5068789	74	0
451	MASON VICENTINO	1704048	5065594	60	0
452	MAROSTICA	1706844	5065792	40	0
453	SCHIO	1687472	5065983	0	0
454	SCHIO	1685227.4	5065146.4	0	0
455	MARANO VICENTINO	1690826	5063600	0	0
456	MARANO VICENTINO	1690090	5063519	95	0
460	MALO	1690967	5061223	0	0
461	MONTECCHIO PRECALCINO	1699724	5059921	0	0
463	POZZOLEONE	1708687.69	5062303.58	9.8	26
467	SCHIO	1685856	5064867	0	0
501	CARTIGLIANO	1709904	5065730	70	0
502	TEZZE SUL BRENTA	1710874	5064446	80	50
504	TEZZE SUL BRENTA	1713241	5062607	70	50
506	ROSA'	1714969	5067132	73	39
507	ROSSANO VENETO	1717326.811	5066304.368	50	50
509	ROSSANO VENETO	1718827	5063441	72.2	41
513	CITTADELLA	1718209.76	5059012.157	12.98	47
514	TOMBOLO	1719783.273	5059252.846	12.6	47
515	SAN MARTINO DI LUPARI	1721774.152	5059941.278	8.8	23
518	SAN MARTINO DI LUPARI	1722027.995	5060722.884	13.7	47
519	BASSANO DEL GRAPPA	1713179	5070770	80.5	44
521	BASSANO DEL GRAPPA	1713192	5069929	70.3	33
523	ROSA'	1714480	5068599	84	42
524	ROSA'	1712603.337	5066450.193	60	51
526	CARTIGLIANO	1709794	5064623	20.47	43
529	ROSSANO VENETO	1717766.583	5063631.576	22	47
531	ALTIVOLE	1726622.531	5070566.092	49.15	45
533	ALTIVOLE	1731936.295	5069860.509	61.7	4
542	CASTELFRANCO VENETO	1731281.693	5064767.781	65	23
544	CASTELLO DI GODEGO	1725321.606	5065507.184	24.5	2
545	CASTELLO DI GODEGO	1723674.933	5064335.345	27.9	34
552	MONTEBELLUNA	1735153.677	5072970.46	81	44
558	RIESE PIO X	1728096.759	5068945.795	45.6	29
560	RIESE PIO X	1724280.01	5066860.02	40.2	31
561	RIESE PIO X	1727170.032	5066470.599	30.6	16
732	VOLPAGO DEL MONTELLO	1744254.466	5075221.726	103	0
735	VOLPAGO DEL MONTELLO	1744945.16	5071513.757	85	0
738	TREVIGNANO	1739082.92	5068290.901	46	0
739	TREVIGNANO	1742713.846	5067146.829	50	14
741	NERVEA DELLA BATTAGLIA	1751208.759	5077685.648	45	16
742	VEDELAGO	1734743.854	5066361.776	37	0
750	VILLORBA	1753768.699	5070464.013	20	14
761	GIAVERA DEL MONTELLO	1746966.608	5076123.087	44	0
762	PONZANO VENETO	1748224.068	5065916.208	21	16
763	PONZANO VENETO	1749823.399	5069420.672	33	15
765	CASTELFRANCO VENETO	1731754.71	5064738.56	30	34
766	PAESE	1742328	5064637	35	14
771	LORIA	1722560.438	5065860.443	38	0
772	RIESE PIO X	1728353.983	5068497.976	39	0
773	ARCADE	1750176.421	5074547.738	40	2

Tab. 4.10: falda punti di monitoraggio della rete ARPAV ricadenti nell'area di studio. Evidenziati in giallo si possono vedere i 7 pozzi scelti per l'analisi del regime dell'acquifero; ID, codice identificativo del punto di monitoraggio; COMUNE, comune di appartenenza del punto di monitoraggio; PROV, provincia di appartenenza del punto di monitoraggio; X_GBO e Y_GBO, longitudine e latitudine in coordinate piane nel sistema di riferimento Gauss-Boaga, Roma 1940, Fuso Ovest; Prof_m_pc, profondità in metri rispetto al piano campagna; Conteggio di Livello_mslm, numero di misurazioni di livello effettuate.

Per evidenziare il regime idrodinamico della falda, è stato realizzato un grafico mostrante l'andamento della tavola d'acqua per ognuno dei 7 piezometri scelti, nell'arco dei 14 anni di monitoraggio (Fig. 4.15), mentre nelle Tabelle 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14 sono riportati i relativi valori di carico idraulico.

ID	COMUNE	DATA	Livello_mslm	ID	COMUNE	DATA	Livello_mslm
31	ARCADE	25/05/1999	29.6	160	THIENE	05/01/2004	62.49
31	ARCADE	11/11/1999	30.88	160	THIENE	19/04/2004	67.4
31	ARCADE	24/01/2000	29.15	160	THIENE	16/08/2004	67.11
31	ARCADE	20/04/2000	28.57	160	THIENE	01/12/2004	62.63
31	ARCADE	18/07/2000	27.64	160	THIENE	16/02/2005	65.95
31	ARCADE	10/11/2000	31.09	160	THIENE	08/05/2005	62.91
31	ARCADE	13/02/2001	30.57	160	THIENE	03/08/2005	62.75
31	ARCADE	11/05/2001	30.82	160	THIENE	14/11/2005	67.59
31	ARCADE	07/08/2001	31.64	160	THIENE	13/02/2006	66.05
31	ARCADE	22/11/2001	29.52	160	THIENE	09/05/2006	66.79
31	ARCADE	04/02/2002	27.3	160	THIENE	07/08/2006	64.2
31	ARCADE	13/05/2002	29.15	160	THIENE	06/11/2006	62.16
31	ARCADE	26/07/2002	31.55	160	THIENE	09/02/2007	60.59
31	ARCADE	13/11/2002	28.85	160	THIENE	07/05/2007	61.42
31	ARCADE	03/02/2003	29.76	160	THIENE	25/07/2007	63.58
31	ARCADE	08/05/2003	28.56	160	THIENE	19/11/2007	61.59
31	ARCADE	28/07/2003	28	160	THIENE	11/02/2008	64.13
31	ARCADE	12/11/2003	26.4	160	THIENE	28/04/2008	63.89
31	ARCADE	11/02/2004	29	160	THIENE	29/07/2008	69.44
31	ARCADE	11/05/2004	28.73	160	THIENE	17/11/2008	64.59
31	ARCADE	12/08/2004	28.88	160	THIENE	09/02/2009	74.52
31	ARCADE	17/11/2004	30.79	160	THIENE	22/04/2009	73.89
31	ARCADE	14/02/2005	26.86	160	THIENE	27/07/2009	70.09
31	ARCADE	10/05/2005	28.81	160	THIENE	02/11/2009	62.89
31	ARCADE	04/08/2005	30.66	160	THIENE	03/02/2010	70.09
31	ARCADE	05/12/2005	30	160	THIENE	26/04/2010	69.09
31	ARCADE	14/02/2006	28.53	160	THIENE	26/07/2010	70.19
31	ARCADE	10/05/2006	30.85	160	THIENE	08/11/2010	71.09
31	ARCADE	07/08/2006	30.84	160	THIENE	08/02/2011	77.99
31	ARCADE	22/11/2006	27.61	160	THIENE	18/04/2011	73.19
31	ARCADE	14/02/2007	26.07	160	THIENE	25/07/2011	66.89
31	ARCADE	24/05/2007	27.35	160	THIENE	07/11/2011	60.69
31	ARCADE	02/08/2007	28.63	160	THIENE	31/01/2012	61.99
31	ARCADE	19/12/2007	26.85	160	THIENE	16/04/2012	59.09
31	ARCADE	25/02/2008	26.86	160	THIENE	16/07/2012	63.29
31	ARCADE	09/06/2008	30.56	160	THIENE	30/10/2012	59.99
31	ARCADE	19/08/2008	31.05	160	THIENE	29/01/2013	67.43
31	ARCADE	01/12/2008	30.45	160	THIENE	16/04/2013	71.81
31	ARCADE	02/02/2009	30.72	160	THIENE	15/07/2013	74.44
31	ARCADE	23/04/2009	31.85	160	THIENE	04/11/2013	63.72
31	ARCADE	27/07/2009	31.06				
31	ARCADE	01/12/2009	29.8				
160	THIENE	20/01/2000	64.32				
160	THIENE	19/04/2000	59.99				
160	THIENE	14/07/2000	60.95				
160	THIENE	09/11/2000	58.59				
160	THIENE	12/02/2001	72.09				
160	THIENE	16/05/2001	70.59				
160	THIENE	01/08/2001	61.59				
160	THIENE	12/11/2001	58.09				
160	THIENE	04/02/2002	62.09				
160	THIENE	23/04/2002	58.09				
160	THIENE	24/07/2002	67.59				
160	THIENE	05/11/2002	68.59				
160	THIENE	31/01/2003	69.59				
160	THIENE	29/04/2003	64.03				
160	THIENE	25/07/2003	59.75				
160	THIENE	11/11/2003	56.42				

Tab. 4.11: Tabella mostrante le misurazioni di livello dei piezometri di ARCADE e THIENE; ID,codice identificativo del punto di monitoraggio; COMUNE, comune di appartenenza del punto di monitoraggio; DATA, giorno di misurazione del livello; Livello_mslm, livello di falda misurato rispetto al livello del mare.

ID	COMUNE	DATA	Livello_mslm	ID	COMUNE	DATA	Livello_mslm
162	ROMANO D'EZZELINO	18/05/1999	83.73	230	RIESE PIO X	05/05/1999	37.29
162	ROMANO D'EZZELINO	04/11/1999	84.31	230	RIESE PIO X	07/07/1999	35.23
162	ROMANO D'EZZELINO	27/01/2000	84.14	230	RIESE PIO X	28/10/1999	36.38
162	ROMANO D'EZZELINO	18/04/2000	83.74	230	RIESE PIO X	10/11/1999	37.61
162	ROMANO D'EZZELINO	17/07/2000	84.12	230	RIESE PIO X	18/01/2000	39.43
162	ROMANO D'EZZELINO	08/11/2000	84.68	230	RIESE PIO X	18/04/2000	39.58
162	ROMANO D'EZZELINO	16/02/2001	84.96	230	RIESE PIO X	20/07/2000	35.4
162	ROMANO D'EZZELINO	26/04/2001	85.17	230	RIESE PIO X	07/11/2000	37.73
162	ROMANO D'EZZELINO	25/07/2001	84.5	230	RIESE PIO X	07/02/2001	38.13
162	ROMANO D'EZZELINO	14/11/2001	83.74	230	RIESE PIO X	03/08/2001	39.32
162	ROMANO D'EZZELINO	01/02/2002	83.28	230	RIESE PIO X	27/11/2001	36.37
162	ROMANO D'EZZELINO	22/04/2002	83.59	230	RIESE PIO X	11/02/2002	34
162	ROMANO D'EZZELINO	24/07/2002	85.25	230	RIESE PIO X	07/05/2002	34.43
162	ROMANO D'EZZELINO	13/11/2002	84.34	230	RIESE PIO X	18/05/2002	34.43
162	ROMANO D'EZZELINO	27/01/2003	84.83	230	RIESE PIO X	24/07/2002	36.63
162	ROMANO D'EZZELINO	30/04/2003	83.64	230	RIESE PIO X	14/11/2002	37.23
162	ROMANO D'EZZELINO	24/07/2003	83.64	230	RIESE PIO X	03/02/2003	37.3
162	ROMANO D'EZZELINO	13/11/2003	83.12	230	RIESE PIO X	22/05/2003	35.45
162	ROMANO D'EZZELINO	09/02/2004	83.76	230	RIESE PIO X	04/08/2003	36.07
162	ROMANO D'EZZELINO	06/05/2004	84.46	230	RIESE PIO X	18/11/2003	34.98
162	ROMANO D'EZZELINO	04/08/2004	84.56	230	RIESE PIO X	17/02/2004	35.35
162	ROMANO D'EZZELINO	11/11/2004	84.2	230	RIESE PIO X	19/05/2004	38.61
162	ROMANO D'EZZELINO	10/02/2005	84.13	230	RIESE PIO X	19/08/2004	37.7
162	ROMANO D'EZZELINO	02/05/2005	83.57	230	RIESE PIO X	25/11/2004	39.13
162	ROMANO D'EZZELINO	02/08/2005	84.15	230	RIESE PIO X	16/02/2005	36.16
162	ROMANO D'EZZELINO	08/11/2005	84.67	230	RIESE PIO X	16/05/2005	35.4
162	ROMANO D'EZZELINO	07/02/2006	84.11	230	RIESE PIO X	08/08/2005	36.23
162	ROMANO D'EZZELINO	08/05/2006	83.68	230	RIESE PIO X	01/12/2005	39.55
162	ROMANO D'EZZELINO	03/08/2006	84.49	230	RIESE PIO X	20/02/2006	36.19
162	ROMANO D'EZZELINO	08/11/2006	83.62	230	RIESE PIO X	18/05/2006	34.85
162	ROMANO D'EZZELINO	07/02/2007	83.28	230	RIESE PIO X	09/08/2006	35.89
162	ROMANO D'EZZELINO	11/05/2007	83.42	230	RIESE PIO X	18/12/2006	35.92
162	ROMANO D'EZZELINO	23/07/2007	84.42	230	RIESE PIO X	26/02/2007	34.45
162	ROMANO D'EZZELINO	07/11/2007	83.79	230	RIESE PIO X	04/06/2007	34.34
162	ROMANO D'EZZELINO	13/02/2008	83.69	230	RIESE PIO X	06/08/2007	35.66
162	ROMANO D'EZZELINO	12/05/2008	83.89	230	RIESE PIO X	18/12/2007	35.18
162	ROMANO D'EZZELINO	21/07/2008	84.99	230	RIESE PIO X	10/03/2008	34.38
162	ROMANO D'EZZELINO	13/11/2008	83.75	230	RIESE PIO X	17/06/2008	35.23
162	ROMANO D'EZZELINO	04/02/2009	85.7	230	RIESE PIO X	25/08/2008	37.03
162	ROMANO D'EZZELINO	27/04/2009	84.91	230	RIESE PIO X	02/12/2008	36.27
162	ROMANO D'EZZELINO	22/07/2009	84.41	230	RIESE PIO X	04/02/2009	38.03
162	ROMANO D'EZZELINO	05/11/2009	83.91	230	RIESE PIO X	05/05/2009	37.63
162	ROMANO D'EZZELINO	12/02/2010	84.51	230	RIESE PIO X	21/07/2009	37.53
162	ROMANO D'EZZELINO	29/04/2010	84.21	230	RIESE PIO X	27/10/2009	-
162	ROMANO D'EZZELINO	21/07/2010	84.61	230	RIESE PIO X	09/02/2010	36.13
162	ROMANO D'EZZELINO	23/11/2010	87.21	230	RIESE PIO X	03/05/2010	36.52
162	ROMANO D'EZZELINO	02/02/2011	86.61	230	RIESE PIO X	06/07/2010	37.53
162	ROMANO D'EZZELINO	28/04/2011	84.61	230	RIESE PIO X	08/11/2010	38.46
162	ROMANO D'EZZELINO	29/07/2011	84.21	230	RIESE PIO X	31/01/2011	39.99
162	ROMANO D'EZZELINO	23/11/2011	84.11	230	RIESE PIO X	05/04/2011	37.79
162	ROMANO D'EZZELINO	13/02/2012	83.51	230	RIESE PIO X	25/07/2011	37.79
162	ROMANO D'EZZELINO	02/05/2012	82.01	230	RIESE PIO X	03/11/2011	36.78
162	ROMANO D'EZZELINO	30/07/2012	83.81	230	RIESE PIO X	30/01/2012	35.71
162	ROMANO D'EZZELINO	13/11/2012	83.71	230	RIESE PIO X	13/03/2012	34.72
162	ROMANO D'EZZELINO	03/02/2013	84.45	230	RIESE PIO X	23/07/2012	36.12
162	ROMANO D'EZZELINO	29/04/2013	85.29	230	RIESE PIO X	15/10/2012	37.49
162	ROMANO D'EZZELINO	22/07/2013	85.32	230	RIESE PIO X	29/01/2013	36.26
162	ROMANO D'EZZELINO	05/11/2013	83.81	230	RIESE PIO X	28/03/2013	37.03
				230	RIESE PIO X	09/07/2013	38.33
				230	RIESE PIO X	14/11/2013	-

Tab. 4.12: Tabella mostrante le misurazioni di livello dei piezometri di ROMANO D'EZZELINO e RIESE PIO X; ID,codice identificativo del punto di monitoraggio; COMUNE, comune di appartenenza del punto di monitoraggio; DATA, giorno di misurazione del livello; Livello_mslm, livello di falda misurato rispetto al livello del mare.

ID	COMUNE	DATA	Livello_mslm	ID	COMUNE	DATA	Livello_mslm
239	SAN MARTINO DI LUPARI	20/07/1999	38.64	248	MASER	17/03/1999	-
239	SAN MARTINO DI LUPARI	09/11/1999	40.4	248	MASER	02/06/1999	38.05
239	SAN MARTINO DI LUPARI	01/02/2000	39.93	248	MASER	08/07/1999	-
239	SAN MARTINO DI LUPARI	20/04/2000	38.96	248	MASER	18/01/2000	40.59
239	SAN MARTINO DI LUPARI	17/07/2000	38.45	248	MASER	18/04/2000	37.51
239	SAN MARTINO DI LUPARI	24/11/2000	41.04	248	MASER	25/07/2000	40.01
239	SAN MARTINO DI LUPARI	06/02/2001	41.29	248	MASER	22/11/2000	47.05
239	SAN MARTINO DI LUPARI	20/04/2001	40.52	248	MASER	12/02/2001	43.41
239	SAN MARTINO DI LUPARI	07/08/2001	39.41	248	MASER	09/05/2001	43.57
239	SAN MARTINO DI LUPARI	20/11/2001	40.1	248	MASER	03/08/2001	42.65
239	SAN MARTINO DI LUPARI	15/02/2002	38.85	248	MASER	15/11/2001	40.66
239	SAN MARTINO DI LUPARI	10/05/2002	38.42	248	MASER	07/02/2002	-
239	SAN MARTINO DI LUPARI	09/08/2002	39.82	248	MASER	13/05/2002	43.03
239	SAN MARTINO DI LUPARI	22/11/2002	40.37	248	MASER	29/07/2002	43.87
239	SAN MARTINO DI LUPARI	13/02/2003	40.3	248	MASER	12/11/2002	40.37
239	SAN MARTINO DI LUPARI	09/05/2003	39.19	248	MASER	06/02/2003	40.55
239	SAN MARTINO DI LUPARI	20/08/2003	37.71	248	MASER	21/05/2003	36.48
239	SAN MARTINO DI LUPARI	17/11/2003	38.82	248	MASER	05/08/2003	37.63
239	SAN MARTINO DI LUPARI	06/02/2004	39.03	248	MASER	24/11/2003	35.95
239	SAN MARTINO DI LUPARI	07/05/2004	39.76	248	MASER	18/02/2004	38.45
239	SAN MARTINO DI LUPARI	13/08/2004	39.99	248	MASER	24/05/2004	40.87
239	SAN MARTINO DI LUPARI	19/11/2004	40.47	248	MASER	30/08/2004	43.06
239	SAN MARTINO DI LUPARI	31/01/2005	-	248	MASER	18/11/2004	41.4
239	SAN MARTINO DI LUPARI	04/05/2005	38.97	248	MASER	17/02/2005	40.06
239	SAN MARTINO DI LUPARI	28/07/2005	38.92	248	MASER	11/05/2005	36.55
239	SAN MARTINO DI LUPARI	16/11/2005	40.75	248	MASER	28/07/2005	38.75
239	SAN MARTINO DI LUPARI	06/02/2006	-	248	MASER	24/11/2005	41.45
239	SAN MARTINO DI LUPARI	31/05/2006	39	248	MASER	16/02/2006	38.45
239	SAN MARTINO DI LUPARI	28/07/2006	38.37	248	MASER	16/05/2006	38.45
239	SAN MARTINO DI LUPARI	10/11/2006	39.74	248	MASER	04/09/2006	41.91
239	SAN MARTINO DI LUPARI	09/02/2007	38.79	248	MASER	28/11/2006	38.55
239	SAN MARTINO DI LUPARI	26/04/2007	38.2	248	MASER	26/02/2007	35.25
239	SAN MARTINO DI LUPARI	24/07/2007	37.8	248	MASER	30/05/2007	36.63
239	SAN MARTINO DI LUPARI	14/11/2007	39.46	248	MASER	27/08/2007	39.7
239	SAN MARTINO DI LUPARI	06/02/2008	38.81	248	MASER	11/12/2007	36.58
239	SAN MARTINO DI LUPARI	28/04/2008	38.48	248	MASER	03/03/2008	37.05
239	SAN MARTINO DI LUPARI	18/07/2008	38.86	248	MASER	30/06/2008	42.91
239	SAN MARTINO DI LUPARI	07/11/2008	40.05	248	MASER	26/08/2008	38.79
239	SAN MARTINO DI LUPARI	27/02/2009	41.1	248	MASER	25/11/2008	39.75
239	SAN MARTINO DI LUPARI	21/05/2009	40.77	248	MASER	03/02/2009	43.66
239	SAN MARTINO DI LUPARI	21/07/2009	40.31	248	MASER	05/05/2009	43.21
239	SAN MARTINO DI LUPARI	11/11/2009	40.83	248	MASER	28/07/2009	40.65
239	SAN MARTINO DI LUPARI	10/02/2010	40.72	248	MASER	02/11/2009	39.95
239	SAN MARTINO DI LUPARI	14/05/2010	40.46	248	MASER	09/02/2010	43.45
239	SAN MARTINO DI LUPARI	30/07/2010	40.56	248	MASER	11/05/2010	41.55
239	SAN MARTINO DI LUPARI	30/11/2010	41.88	248	MASER	27/07/2010	42.15
239	SAN MARTINO DI LUPARI	02/02/2011	41.94	248	MASER	22/11/2010	47.37
239	SAN MARTINO DI LUPARI	03/05/2011	40.72	248	MASER	01/02/2011	44.29
239	SAN MARTINO DI LUPARI	13/07/2011	40.38	248	MASER	02/05/2011	41.75
239	SAN MARTINO DI LUPARI	03/11/2011	40.33	248	MASER	19/07/2011	42.53
239	SAN MARTINO DI LUPARI	29/02/2012	39.26	248	MASER	15/11/2011	41.7
239	SAN MARTINO DI LUPARI	24/04/2012	38.6	248	MASER	24/01/2012	37.88
239	SAN MARTINO DI LUPARI	19/07/2012	38.27	248	MASER	20/03/2012	35.67
239	SAN MARTINO DI LUPARI	02/11/2012	39.54	248	MASER	10/07/2012	-
239	SAN MARTINO DI LUPARI	01/02/2013	40.64	248	MASER	06/11/2012	-
239	SAN MARTINO DI LUPARI	03/05/2013	40.8	248	MASER	29/01/2013	42.1
239	SAN MARTINO DI LUPARI	31/07/2013	40.75	248	MASER	11/04/2013	43.6
239	SAN MARTINO DI LUPARI	04/11/2013	40.57	248	MASER	09/07/2013	43.18
				248	MASER	18/11/2013	38.53

Tab. 4.13: Tabella mostrante le misurazioni di livello dei piezometri di SAN MARTINO DI LUPARI e MASER; ID, codice identificativo del punto di monitoraggio; COMUNE, comune di appartenenza del punto di monitoraggio; DATA, giorno di misurazione del livello; Livello_mslm, livello di falda misurato rispetto al livello del mare.

ID	COMUNE	DATA	Livello_mslm
524	ROSA'	17/07/2001	58.47
524	ROSA'	21/11/2001	55.22
524	ROSA'	06/02/2002	52.98
524	ROSA'	09/05/2002	53.7
524	ROSA'	25/07/2002	58.59
524	ROSA'	20/11/2002	57.45
524	ROSA'	04/02/2003	57.36
524	ROSA'	10/02/2003	57.42
524	ROSA'	19/05/2003	54.13
524	ROSA'	24/07/2003	55.72
524	ROSA'	29/10/2003	52.06
524	ROSA'	09/02/2004	55.74
524	ROSA'	06/05/2004	57.04
524	ROSA'	04/08/2004	58.91
524	ROSA'	11/11/2004	56.25
524	ROSA'	07/02/2005	55.08
524	ROSA'	27/04/2005	54.07
524	ROSA'	02/08/2005	55.48
524	ROSA'	08/11/2005	57.08
524	ROSA'	07/02/2006	53.55
524	ROSA'	27/04/2006	54.59
524	ROSA'	03/08/2006	56.04
524	ROSA'	08/11/2006	54.73
524	ROSA'	07/02/2007	52.94
524	ROSA'	09/05/2007	53.56
524	ROSA'	23/07/2007	56.31
524	ROSA'	08/11/2007	54.02
524	ROSA'	13/02/2008	53.89
524	ROSA'	06/05/2008	58.53
524	ROSA'	21/07/2008	57.7
524	ROSA'	12/11/2008	55.82
524	ROSA'	03/02/2009	58.79
524	ROSA'	09/04/2009	58.53
524	ROSA'	20/07/2009	59.52
524	ROSA'	02/11/2009	57.52
524	ROSA'	11/02/2010	57.82
524	ROSA'	26/04/2010	57.02
524	ROSA'	21/07/2010	59.42
524	ROSA'	02/11/2010	57.22
524	ROSA'	31/01/2011	60.22
524	ROSA'	18/04/2011	58.32
524	ROSA'	18/07/2011	59.22
524	ROSA'	14/11/2011	58.22
524	ROSA'	30/01/2012	56.32
524	ROSA'	17/04/2012	53.32
524	ROSA'	18/07/2012	56.52
524	ROSA'	12/11/2012	56.82
524	ROSA'	03/02/2013	57.87
524	ROSA'	29/04/2013	58.51
524	ROSA'	24/07/2013	60.06
524	ROSA'	11/11/2013	56.74

Tab. 4.14: Tabella mostrante le misurazioni di livello del piezometro di ROSA'; ID,codice identificativo del punto di monitoraggio; COMUNE, comune di appartenenza del punto di monitoraggio; DATA, giorno di misurazione del livello; Livello_mslm, livello di falda misurato rispetto al livello del mare.

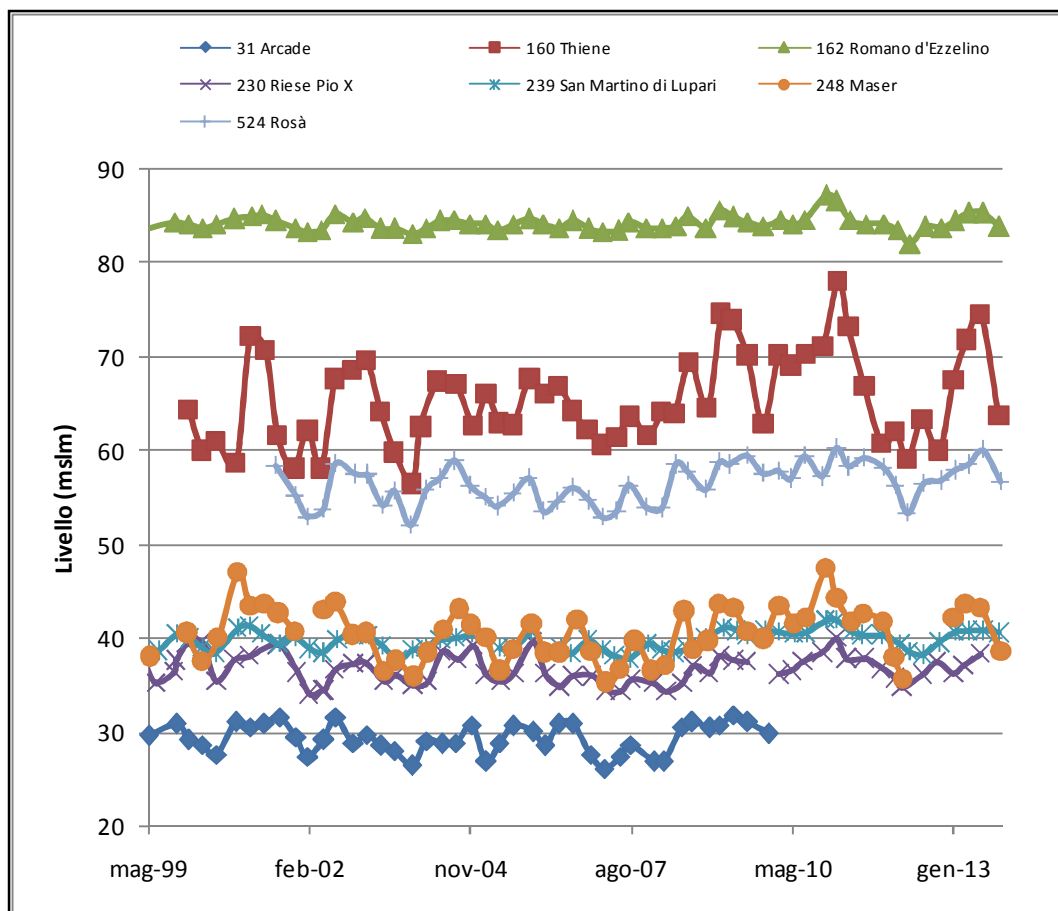


Fig. 4.15: Andamento del carico idraulico nei piezometri individuati come rappresentativi del regime idrodinamico della falda.

La Figura 4.15 mostra le variazioni di carico idraulico registrate con cadenza circa trimestrale nei punti di monitoraggio identificati come rappresentativi dell'acquifero freatico indifferenziato. Quasi tutti i punti presentano un comportamento legato alle pratiche irrigue a dispersione da cui deriva un rapido innalzamento della superficie freatica nella stagione estiva; come già precedentemente accennato la pratica è molto utilizzata nell'Alta Pianura durante la stagione estiva, dove le acque di irrigazione penetrano agevolmente nel sottosuolo mediante la dispersione nei canali di distribuzione non rivestiti (Zattin & Battagion, 1999). Inoltre si può notare come altre fasi di picco del livello della falda si registrino anche in autunno inoltrato e in tarda primavera, e le ragioni sono da ricercarsi nel regime bimodale delle precipitazioni, più intense in questi periodi dell'anno. I livelli minimi sono invece riferibili ai mesi compresi tra la fine dell'inverno e l'inizio della primavera e, in modo meno marcato

all'avvicinarsi dell'autunno, quando la pratica irrigua cessa. Queste considerazioni sono confermate dall'analisi degli idrogrammi medi mensili presentati in Figura 4.16. In questa figura sono mostrati i valori di carico idraulico medi registrati nei 7 pozzi scelti. Il pozzo dove è stata registrata la minore variazione è quello di Romano d'Ezzelino (162), ubicato vicino allo sbocco del Brenta in pianura. Il punto con la minore escursione del livello isopotenziometrico invece è quello di San Martino di Lupari (239), in prossimità del limite superiore delle risorgive.

La Figura 4.15 è stata utilizzata in seconda battuta per individuare 6 momenti significativi, 3 di magra e 3 di morbida, su cui ricostruire la distribuzione del carico idraulico a partire dalle misure puntuali. Sono stati preferiti quei periodi in cui il livello di falda fosse stato misurato in più punti nell'arco dello stesso mese. Infatti, le misure non hanno tutte la stessa cadenza temporale e non per tutti i mesi si hanno a disposizione dati di livello.

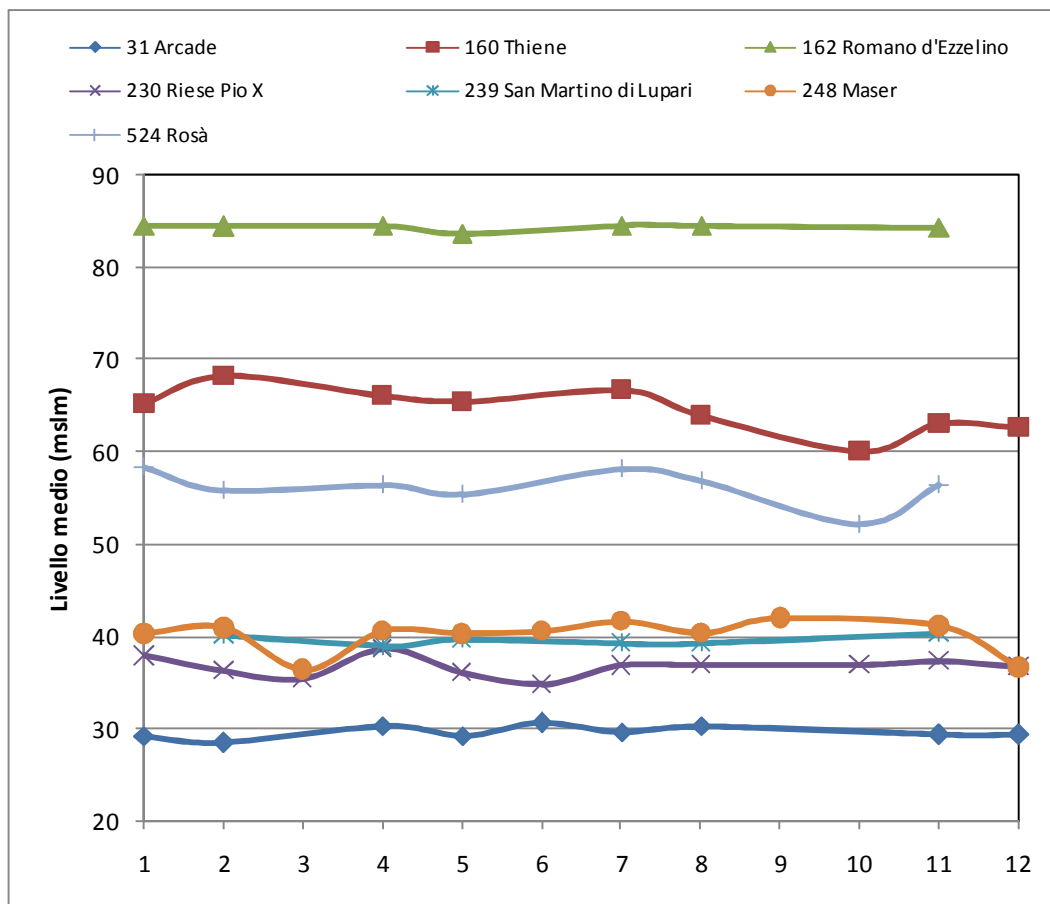


Fig. 4.16: Idrogramma medio mensile delle 7 stazioni scelte come rappresentative del regime idrodinamico dell'acquifero.

Sulla base di quanto appena detto, è stata ricostruita la distribuzione del carico idraulico in 3 periodi di morbida (agosto 2004, febbraio 2009 e novembre 2010), in 3 periodi di magra (novembre 2009, febbraio 2002 e aprile 2012) ed una piezometria media, derivata da tutti i dati disponibili. Queste ricostruzioni dell'andamento del carico idraulico sono state realizzate in ArcGis 10.1, usando come algoritmo di interpolazione il *Natural Neighbor* e generando dei RASTER. Il risultato finale delle interpolazioni, visualizzato con *contour lines*, è presentato nelle figure che seguono (Fig. 4.17, Fig. 4.18, Fig. 4.19, Fig. 4.20, Fig. 4.21, Fig. 4.22 e Fig. 4.23).

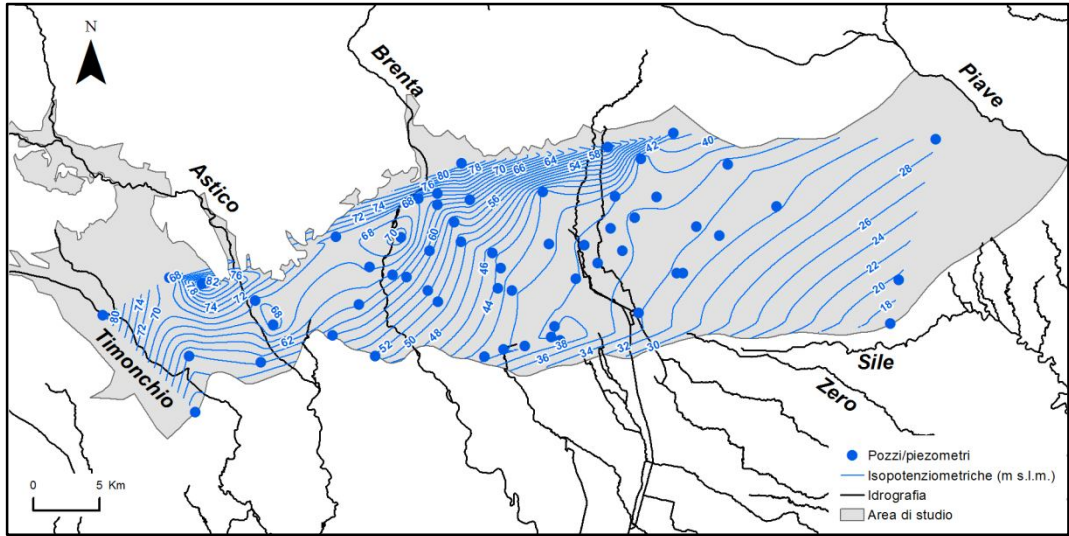


Fig. 4.17: Carta isopotenziometrica di agosto 2004 (morbida).

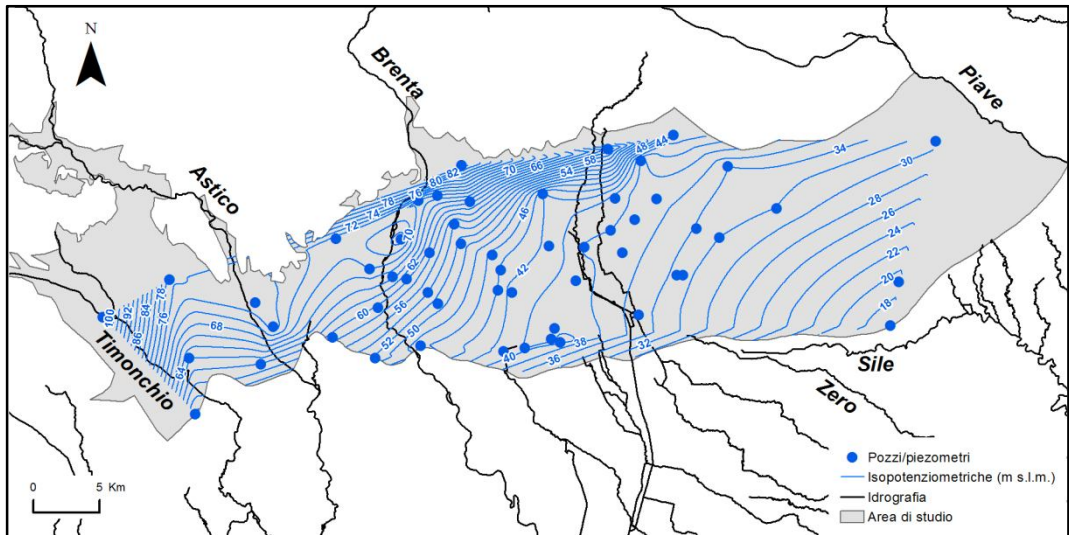


Fig. 4.18: Carta isopotenziometrica di febbraio 2009 (morbida).

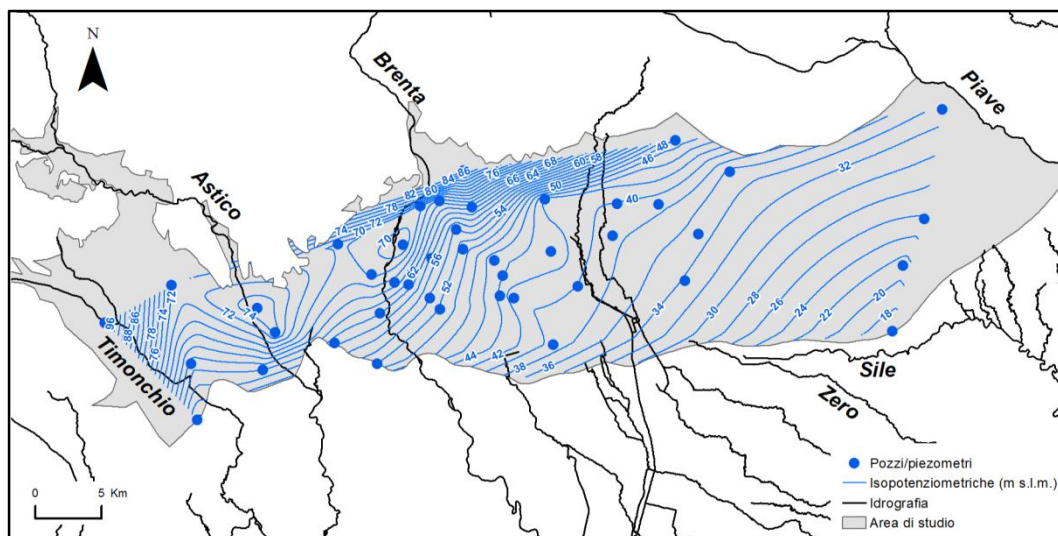


Fig. 4.19: Carta isopotenziometrica di novembre 2010 (morbida).

Queste prime 3 ricostruzioni della superficie freatica, riferibili ad una condizione di morbida, mettono in luce come la direzione prevalente del flusso sia da nord – ovest verso sud – est. Si può notare il carattere marcatamente disperdente dei fiumi Astico e Brenta, che agiscono da spartiacque e che vanno ad alimentare la falda. Il medesimo comportamento è attribuibile anche al Piave, sebbene non sia così evidente in quanto tale fiume si trova al margine dell’area di studio. Tra i principali fiumi sono presenti importanti assi di drenaggio che rappresentano zone di depressione della superficie piezometrica, dove le linee di flusso tendono a convergere. Infine, in tutte e 3 le piezometrie la tavola d’acqua raggiunge il massimo livello nella parte settentrionale del dominio e tende a decrescere man mano ci si avvicina alla zona delle risorgive, dove ovviamente il livello si trova in prossimità del piano campagna. Confrontando tra loro queste prime 3 elaborazioni, si nota che il livello più alto della tavola d’acqua è stato raggiunto nel febbraio 2009 (Fig. 4.18) in prossimità del Fiume Timonchio (100 m s.l.m.), mentre il livello più basso è all’incirca sempre costante in tutte le piezometrie, ed è rilevato in corrispondenza della linea superiore delle risorgive (limite inferiore del dominio), con valori di carico idraulico pari a circa 18 m s.l.m.

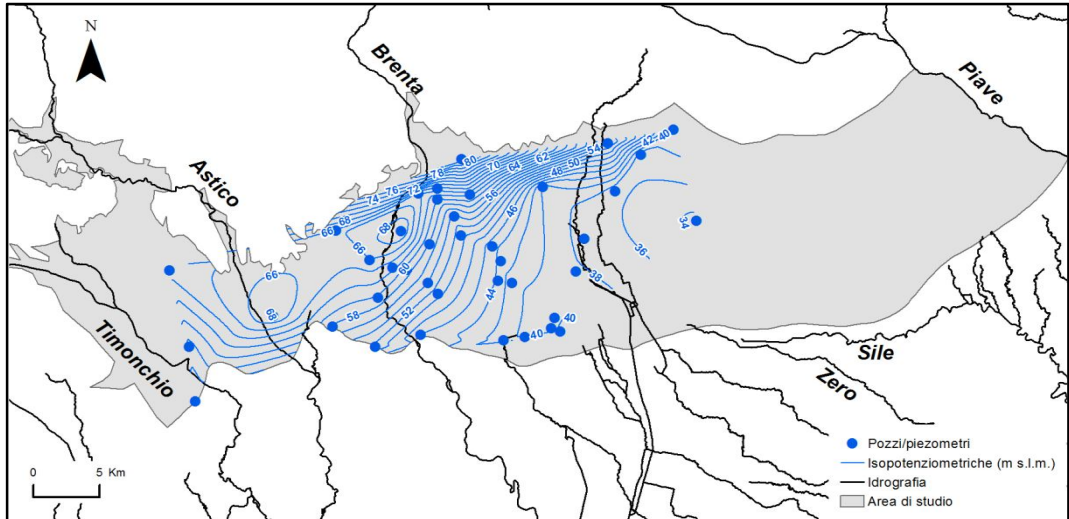


Fig. 4.20: Carta isopotenziometrica di novembre 2009 (magra).

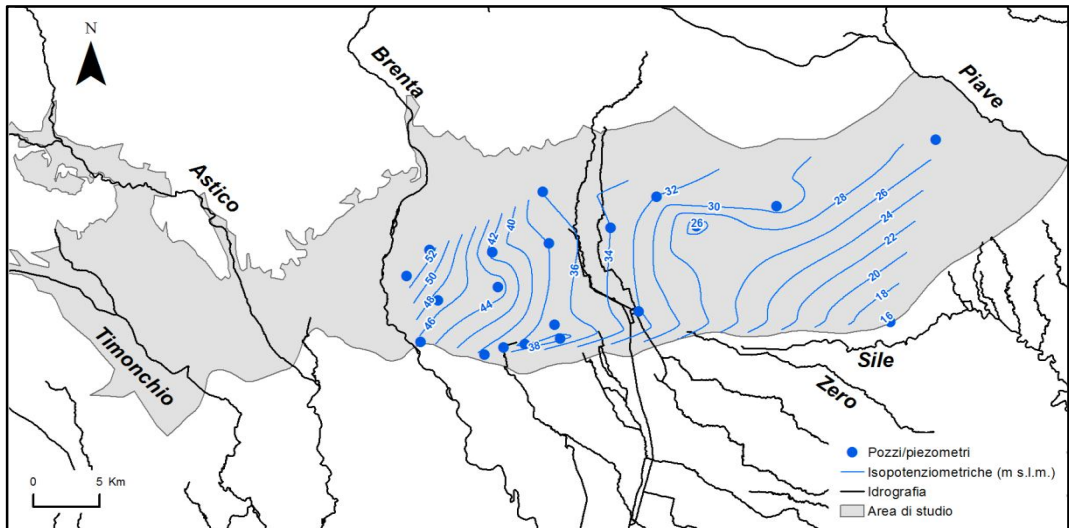


Fig. 4.21: Carta isopotenziometrica di febbraio 2002 (magra).

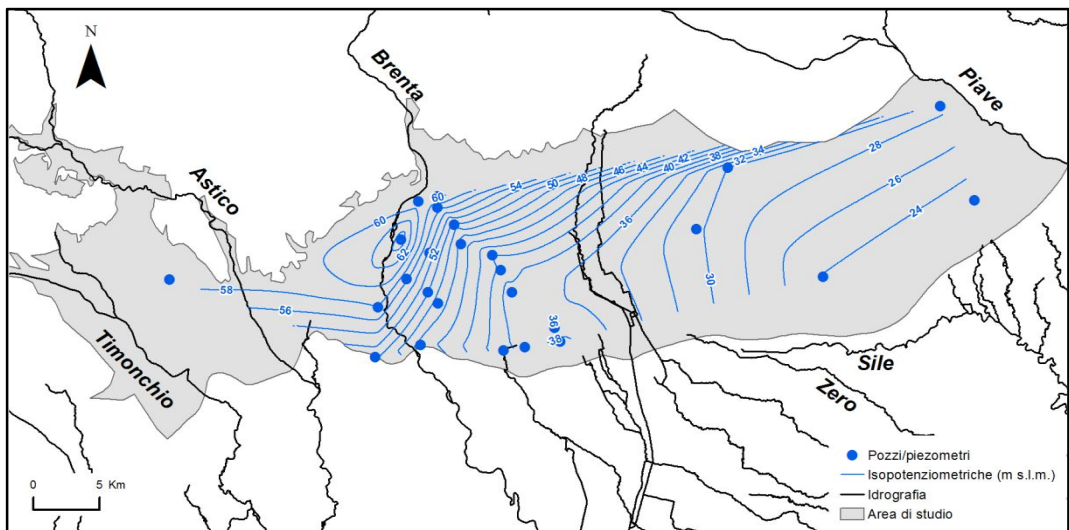


Fig. 4.22: Carta isopotenziometrica di aprile 2012 (magra).

Nei mesi di novembre 2009, febbraio 2002 e aprile 2012 si è registrato un livello della tavola d'acqua relativamente basso. Purtroppo, per questi 3 mesi, i punti di misura disponibili sono meno rispetto a quelli utilizzati per costruire le carte isopotenziometriche corrispondenti alle fasi di morbida, infatti le linee isopotenziometriche si estendono su un'area più limitata del dominio. La direzione prevalente del flusso rimane da nord – ovest verso sud – est, ma rispetto alle 3 piezometrie precedenti, è meno marcato il comportamento disperdente dei corsi d'acqua. Tra le ricostruzioni isopotenziometriche di magra quella che presenta i livelli più bassi è quella riferibile al febbraio 2002 (Fig. 4.21). Il livello più alto della tavola d'acqua, raggiunto sempre in corrispondenza del margine settentrionale del dominio è stato registrato nel novembre 2009 (Fig. 4.20), con un massimo di 80 m s.l.m, mentre nel febbraio 2002 (Fig. 4.21) la falda raggiunge la sua minima altezza in prossimità del Fiume Sile.

L'ultima ricostruzione della superficie isopotenziometrica, quella media, è mostrata in Figura 4.23.

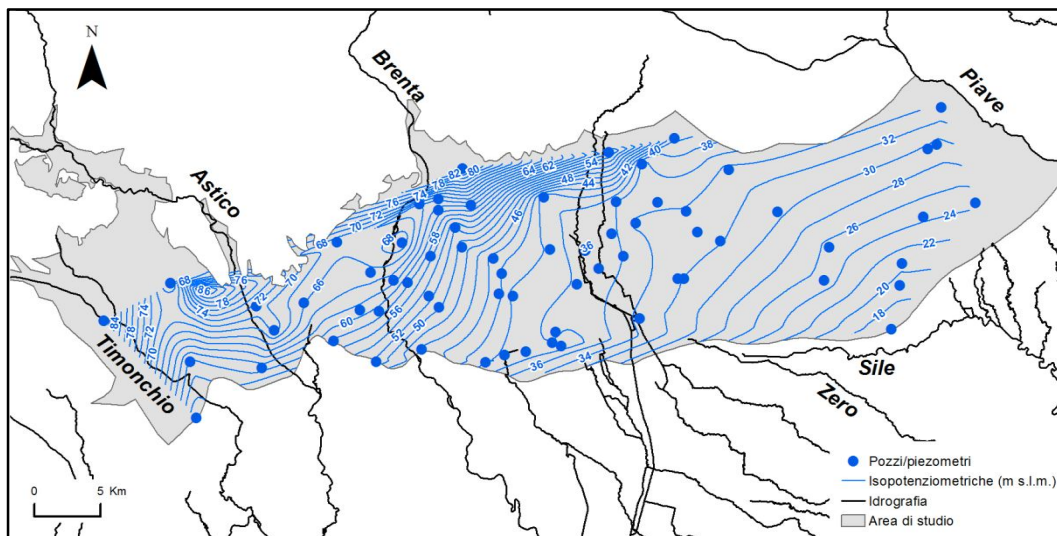


Fig. 4.23: Carta isopotenziometrica media del periodo 1999-2014.

Per descrivere l'evoluzione nel tempo del livello freatico, è sembrato opportuno fare un confronto della piezometria media con due elaborazioni disponibili in bibliografia e più precisamente:

- la carta idrogeologica dell'Alta pianura Veneta (Dal Prà, 1983) in scala 1:100000 (Fig. 4.24) redatta utilizzando misure freatiche ottenute da una campagna di monitoraggio effettuata dall'Istituto di Geologia dell'Università di Padova in collaborazione con il C.N.R. e il Ministero della Pubblica Istruzione, nel novembre del 1975;
- la carta isofreatica (Fig. 4.25) e la carta piezometrica (Fig. 4.26) alla scala 1:250000 della Regione Veneto (Regione Veneto, 1983) ottenute attraverso le misure periodiche dei livelli freatici e piezometrici dall'ottobre 1981 all'ottobre 1984.

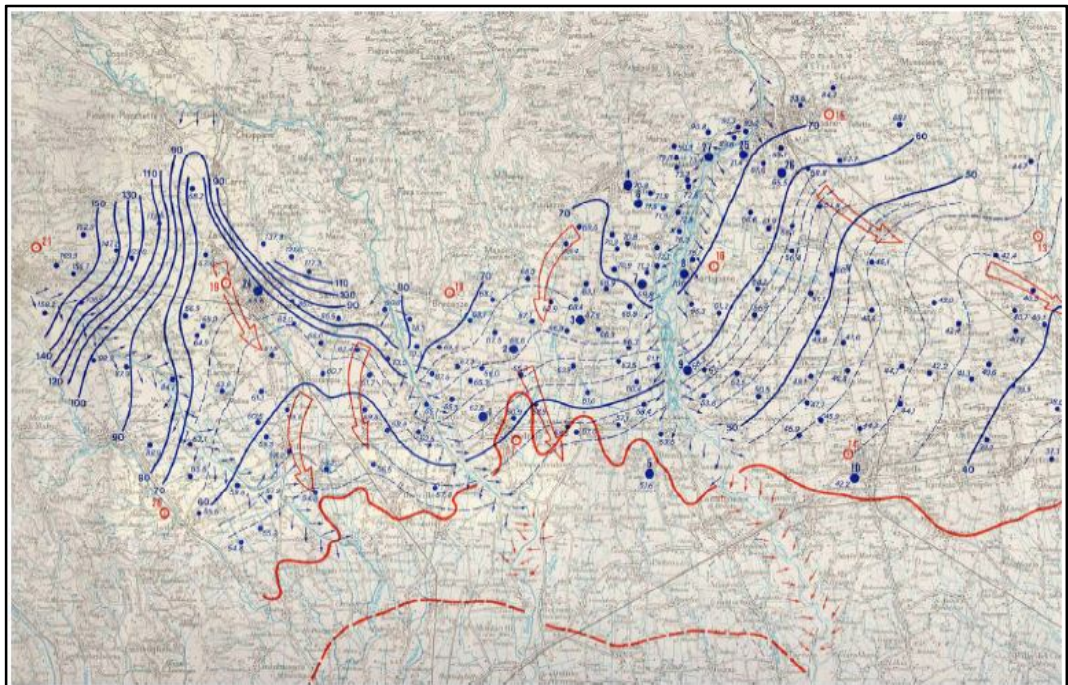


Fig. 4.24: Carta idrogeologica dell'Alta pianura Veneta alla scala 1:100000 (da Dal Prà, 1983).

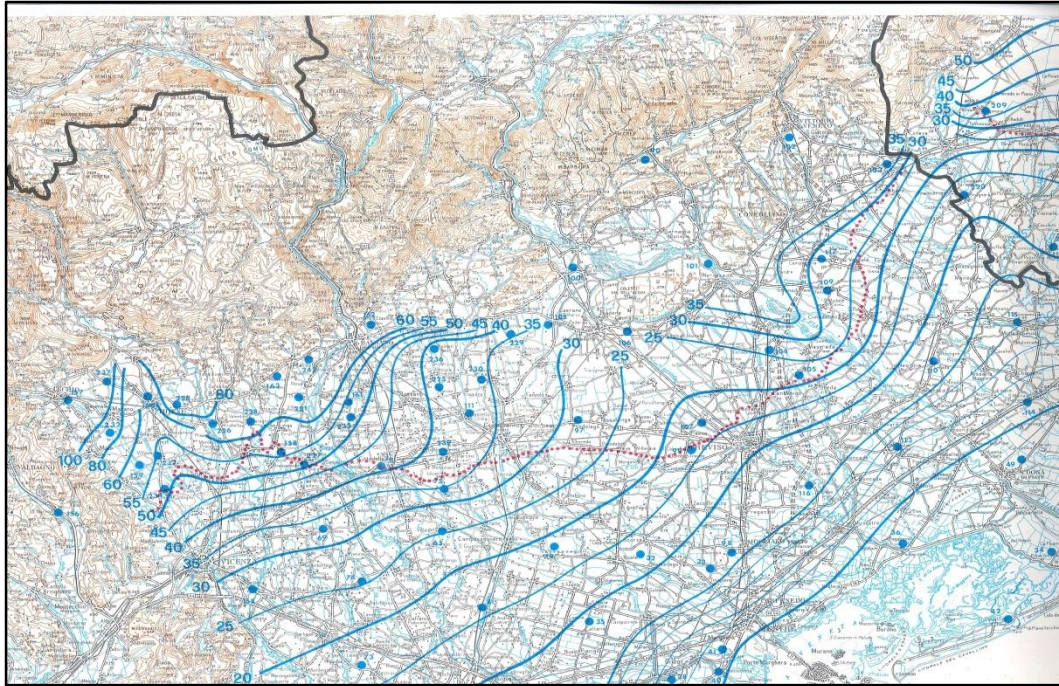


Fig. 4.25: Stralci della carta delle isofreatiche alla scala 1:250000 della Regione Veneto (da Regione Veneto, 1983).

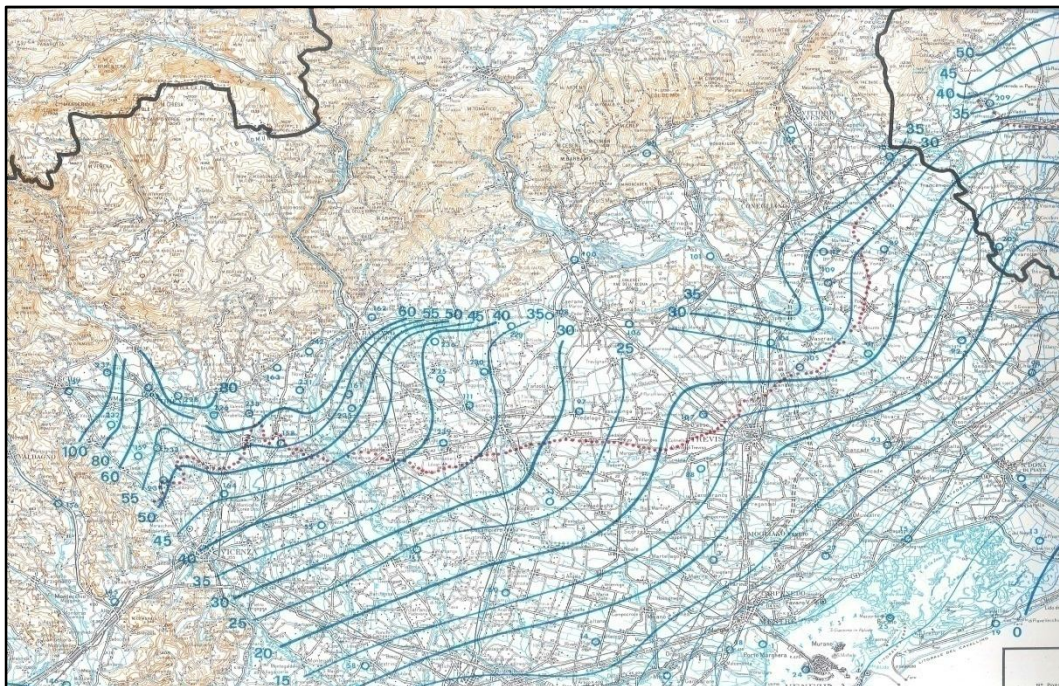


Fig. 4.26: Stralci della carta piezometrica alla scala 1:250000 della Regione Veneto (da Regione Veneto, 1983).

Le carte reperite in bibliografia sono state opportunamente georeferenziate e in seconda battuta le isolinee e i pozzi di misura digitalizzati in modo da poter confrontarle in maniera agevole con la carta isopotenziometrica media. Il confronto tra le isolinee della suddetta piezometria e le isolinee della carta idrogeologica dell'Alta pianura Veneta è mostrato in Figura 4.27. Purtroppo, il numero maggiore di pozzi misurati durante il monitoraggio dell'autunno 1975 rispetto a quelli utilizzati per la piezometria media rende difficile una comparazione vera e propria; comunque alcune differenze tra le due elaborazioni emergono. Le isolinee della carta di Dal Prà sono, nella parte a sinistra del Fiume Piave, molto meno piatte rispetto a quelle della piezometria media. A parità di livello, le linee potenziometriche blu, in questa zona, si trovano spostate più in alto rispetto a quelle viola. Nel settore di pianura compreso tra il Fiume Brenta ed il torrente Musone, l'andamento generale delle isolinee è all'incirca lo stesso in entrambe le interpretazioni, seppure con qualche differenza. In particolare l'asse drenante delimitato dalle linee della piezometria media, appare spostato verso destra nell'elaborazione del 1975. Infine, in corrispondenza del Fiume Astico le isofreatiche di Dal Prà mostrano in modo più accentuato il carattere disperdente dei fiumi, essendo più arcuate; a sinistra del corso d'acqua l'andamento generale è riconducibile ad un asse drenante che, grazie alle isolinee viola, può essere esteso fino al margine nord del dominio.

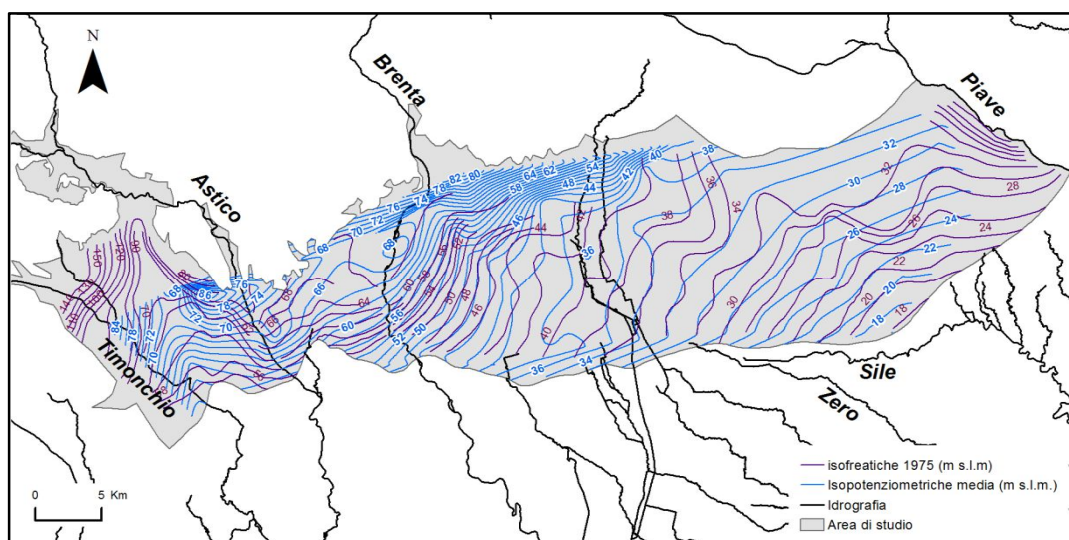


Fig. 4.27: Confronto tra le isofreatiche della Carta idrogeologica dell'Alta pianura Veneta e quelle della piezometria media 1999-2014.

Il confronto tra la carta isopotenziometrica media e la carta delle isofreatiche della Regione Veneto è mostrato in Figura 4.28.

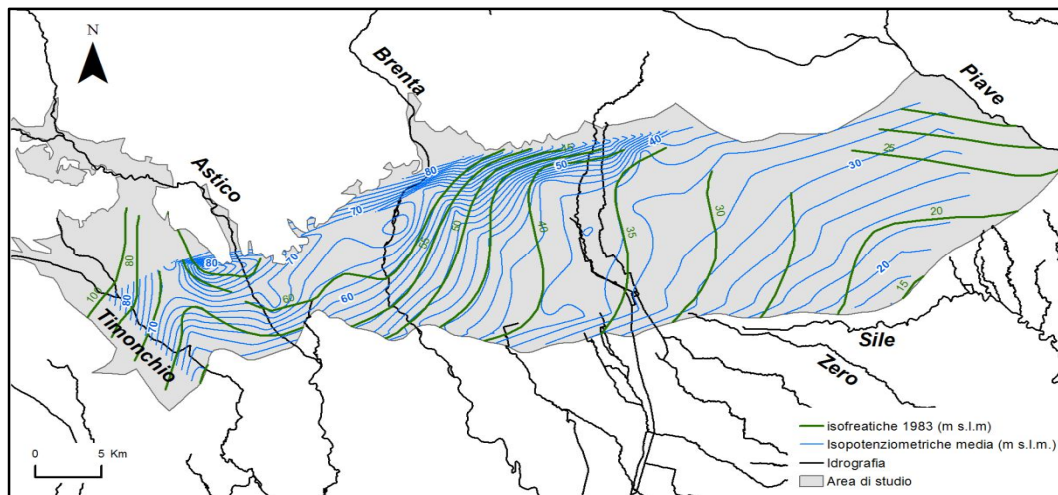


Fig. 4.28: Confronto tra le isofreatiche della Carta idrogeologica dell'Alta pianura Veneta e quelle della piezometria media 1999-2014.

I due *sets* di isolinee sono più simili, dal punto di vista dell'andamento generale, rispetto al confronto descritto precedentemente. Sebbene le isofreatiche del 1983 siano più distanziate rispetto a quelle della piezometria media, entrambe indicano in maniera evidente come nel settore a ovest del Piave ci sia un asse di drenaggio, così come a sinistra del Fiume Astico. Anche in prossimità del Brenta, nonostante l'andamento più dolce delle linee degli anni '80, l'asse di drenaggio è comunque persistente in entrambe le elaborazioni. In sintesi, la ricostruzione della Regione Veneto mostra in maniera forse più evidente il carattere di alimentazione della falda da parte dell'idrografia principale.

4.1.4. Prelievi ad uso idropotabile

L'ingente disponibilità di acqua sotterranea che caratterizza la falda dell'Alta Pianura è di fondamentale importanza per usi potabili, irrigui ed industriali.

Per tenere conto, in fase di modellazione, del volume di acqua prelevata dall'acquifero a scopi idropotabili, in questa fase di raccolta di dati è stata georeferenziata e digitalizzata in ArcGis 10.1, la mappa di Figura 4.29 che rappresenta la carta della distribuzione degli acquedotti nell'Alta pianura Veneta (Bullo & Dal Prà, 1994).

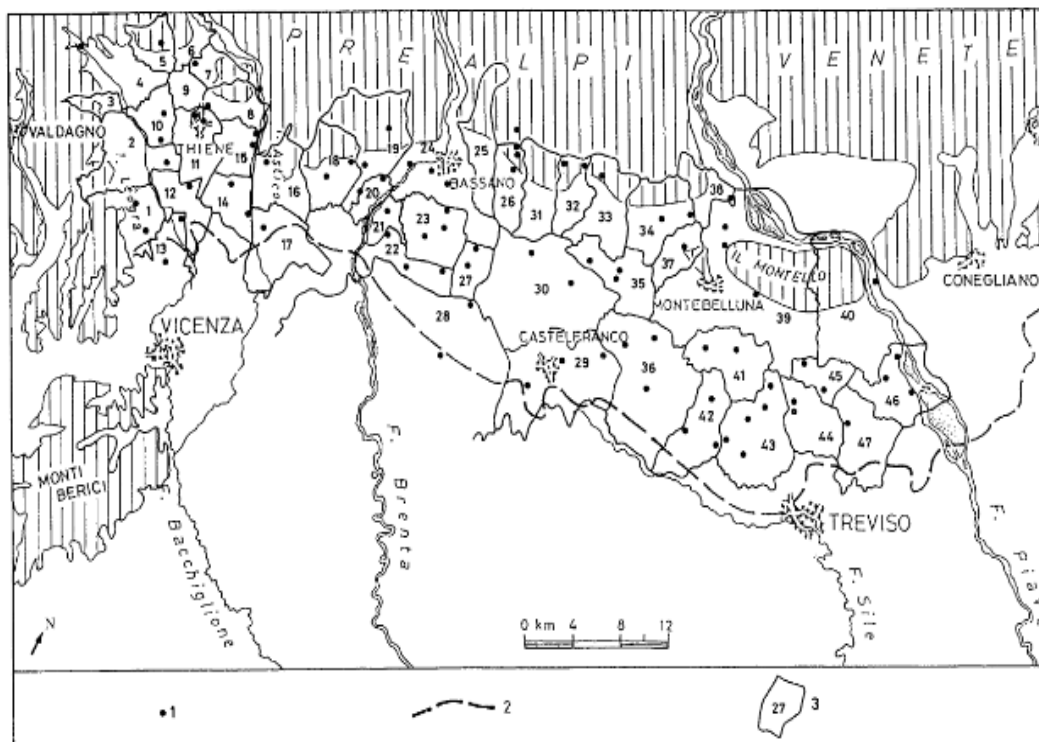


Fig. 4.29 : Carta della distribuzione degli acquedotti nell'Alta pianura Veneta (da Bullo & Dal Prà, 1994).

Il censimento acquedottistico raffigurato in carta risale al 1988 e sebbene lo studio sia datato rappresenta, in mancanza di ulteriori dati, una base di partenza per quantificare i prelievi ad uso acquedottistico dell'area oggetto di studio. In quell'anno sono stati censiti ben 47 acquedotti che prelevavano, tramite 99 pozzi posti in pianura, 44 sorgenti e 24 pozzi di subalveo situati sui fondovalle montani, una portata media annua di circa 1700 l/s (Bullo & Dal Prà, 1994).

La digitalizzazione dell'ubicazione dei pozzi (Fig. 4.30), rappresentati con dei pallini in Figura 4.29, ha permesso di creare un file formato shape a cui è stata associata una tabella di attributi (Tab. 4.15) che mostra la profondità media del pozzo e la portata complessiva estratta (in m³/anno). Ogni pozzo ha un codice

identificativo che riprende il numero d'area di competenza; altresì, per distinguere pozzi che si trovano nella medesima area di competenza, è stato associato un secondo numero in ordine progressivo partendo dall'uno, per cui il pozzo denominato 24 – 2 è il pozzo n° 2 all'interno dell'area di competenza 24.

ID Area competenza	ID pozzo	Prof. med	Q (m ³ /anno)	ID Area competenza	ID pozzo	Prof. med	Q (m ³ /anno)
1	1	100	353735	27	2	99	266000
1	2	100	353735	28	1	41	1975000
2	1	90	2000000	28	2	41	1975000
4	1	0	3200000	29	1	229.33	703333.33
5	1	120	446680	29	2	229.33	703333.33
7	1	150	365000	29	3	229.33	703333.33
8	1	65	325000	30	1	80	867250
8	2	65	325000	30	2	80	867250
10	1	100	500000	32	1	20	285300
10	2	100	500000	32	2	20	285300
11	1	56	1060200	33	1	10	1100000
11	2	56	1060200	34	1	151	265000
12	1	55	373100	34	2	151	265000
13	1	70	110000	35	1	106	157666.66
13	2	70	110000	35	2	106	157666.66
14	1	50.5	197500	35	3	106	157666.66
14	2	50.5	197500	36	1	73.33	386666.67
15	1	35	250000	36	2	73.33	386666.67
15	2	35	250000	36	3	73.33	386666.67
16	1	53.33	774000	37	1	116	746350
17	1	120	306000	38	1	53	1050700
18	1	69.25	500000	39	1	61.33	1604000
18	2	69.25	500000	39	2	61.33	1604000
19	1	60.67	500000	39	3	61.33	1604000
19	2	60.67	500000	40	1	60	2500000
19	3	60.67	500000	41	1	118.5	500000
20	1	64	608700	41	2	118.5	500000
21	1	66	260000	42	3	145	233333.3333
22	1	66.67	316666.67	42	2	145	233333.3333
22	2	66.67	316666.67	42	1	145	233333.3333
22	3	66.67	316666.67	43	1	35.6	774200
23	1	76.17	484866.67	43	2	35.6	774200
23	2	76.17	484866.67	43	3	35.6	774200
23	3	76.17	484866.67	43	4	35.6	774200
24	1	60.67	1645333.33	43	5	35.6	774200
24	2	60.67	1645333.33	44	1	50	1935500
24	3	60.67	1645333.33	44	2	50	1935500
26	1	2.5	150000	45	1	88	149500
26	2	2.5	150000	45	2	88	149500
26	3	2.5	150000	46	1	69.33	500000
26	4	2.5	150000	46	2	69.33	500000
27	1	99	266000	46	3	69.33	500000
				47	1	35	564000

Tab. 4.15: Tabella degli attributi dei pozzi di Figura 4.28; ID area di competenza, codice identificativo dell'area di competenza entro cui ricade il pozzo; ID pozzo, codice identificativo del pozzo; Prof. med, profondità media del pozzo; Q (m³/anno), portata estratta in m³/anno.

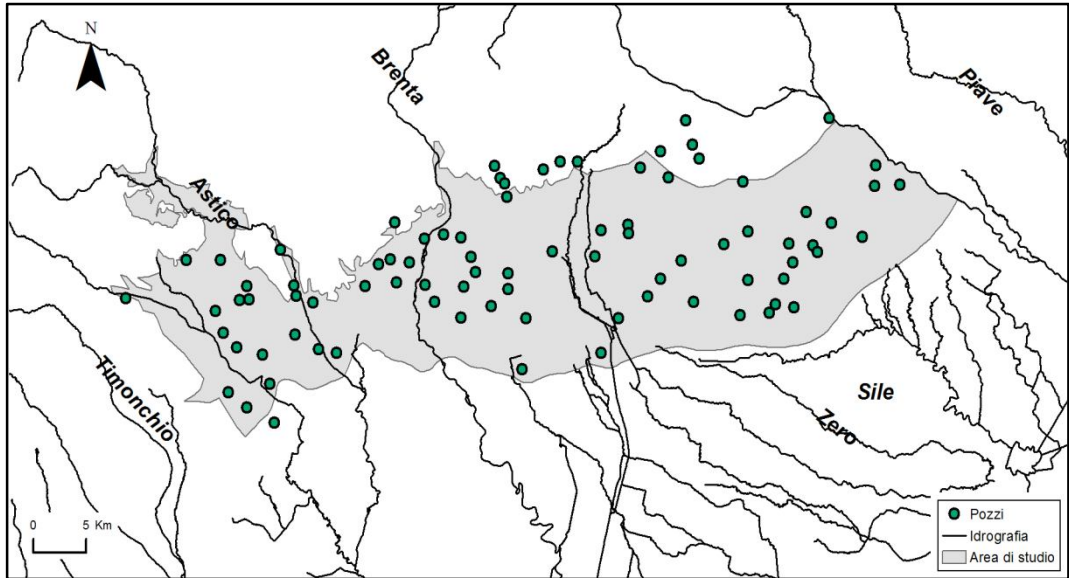


Fig. 4.30: Pozzi ad uso idropotabile presenti all'interno del dominio.

In Figura 4.31 è stata utilizzata una simbologia *Graduated symbols* con cui i pozzi sono rappresentati con un simbolo proporzionale alla portata emunta.

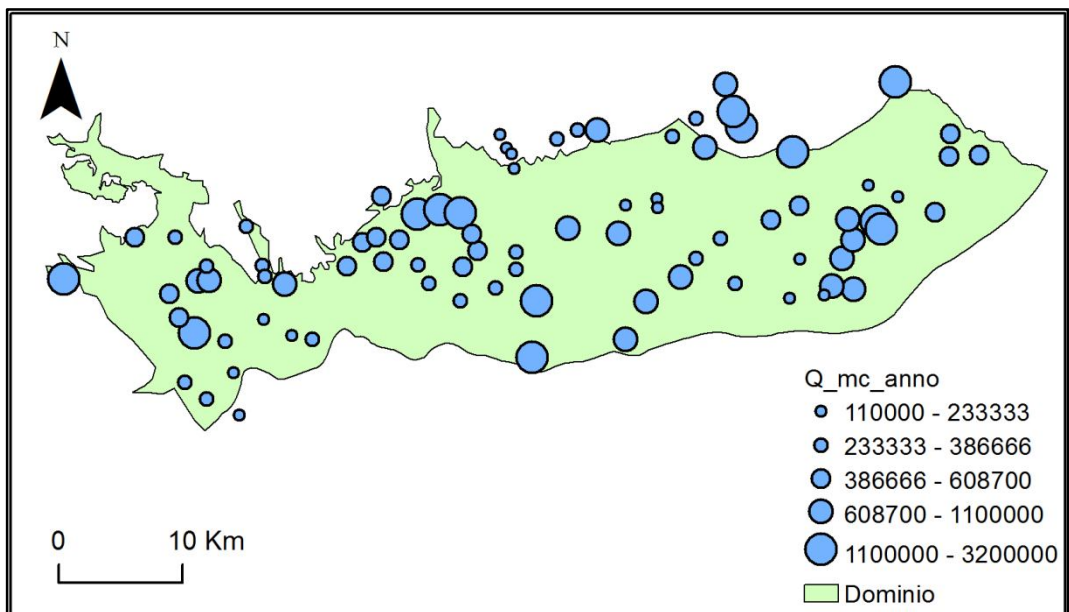


Fig. 4.31: Pozzi ad uso idropotabile inseriti all'interno del dominio; suddivisioni in classi di portata estratta.

Dalla Figura 4.31 si nota che i pozzi che estraggono il maggior quantitativo di acqua sono ubicati soprattutto in corrispondenza dei corsi d'acqua, con grande

densità vicino alla confluenza tra il Torrente Leogra e il Torrente Timonchio, nella zona a monte del Brenta e nell'area compresa tra il Musone dei Sassi e il Fiume Piave. È d'obbligo ricordare che l'uso dell'acqua a fini potabili costituisce solo una piccola parte della disponibilità; infatti molto più rilevante è lo sfruttamento della risorsa idrica per uso irriguo.

Indipendentemente dall'uso che se ne fa, negli ultimi decenni il prelievo di acqua è cresciuto continuamente, e le portate di emungimento, per soddisfare un numero sempre più grande di utenze, sono in continuo aumento; questo fatto, unitamente alla riduzione delle precipitazioni meteoriche, può a lungo termine portare a una diminuzione della capacità di ricarica degli acquiferi.

4.2. Modello idrogeologico concettuale

Un buon modello numerico è tale solo se alla base di questo è stato redatto un buon modello concettuale. La bontà del modello idrogeologico concettuale è strettamente correlata alla qualità e alla quantità dei dati disponibili per la sua definizione. L'affinamento del modello numerico è sempre possibile qualora emergano nuovi dati con cui affinare il modello concettuale. Vista l'interdipendenza tra modello numerico e modello concettuale, ci si rende immediatamente conto dell'importanza che riveste la definizione di quest'ultimo. Per delineare il modello idrogeologico concettuale bisogna passare attraverso la semplificazione del problema oggetto di studio (Anderson & Woessner, 1992); è stata quindi necessaria un'interpretazione dell'area di studio per giungere a quella rappresentazione semplificata della realtà essenziale per l'implementazione del modello.

Il primo *step* consiste nell'identificazione dell'area di studio: in questa fase non basta definire soltanto il dominio da un punto di vista areale, ma bisogna individuare le ipotetiche condizioni al contorno che verranno poi utilizzate nel codice di calcolo scelto. Infatti, qualora sia possibile, il dominio di modellazione dovrebbe attestarsi su limiti idrogeologici forti, quali ad esempio un fiume, che

viene definito come una boundary di tipo forte qualora abbia dimensioni tali da influenzare la distribuzione di carico idraulico dell'acquifero, oppure un limite impermeabile rappresentato dal bedrock. Quanto è possibile, al fine di semplificare l'individuazione delle condizioni al contorno, è buona norma quella di orientare il dominio secondo la direzione principale del flusso.

Nel caso in oggetto, il dominio è delimitato a ovest dai Monti Lessini, a est dal Fiume Piave, a nord dal piede dei rilievi prealpini e a sud dalla linea superiore delle risorgive, per una superficie totale di circa 1000 Km².

L'area è interessata da una serie di corsi d'acqua che, sboccando dalle vallate prealpine, la attraversano all'incirca da nord a sud. E' a questi fiumi che si deve la deposizione dei materiali sciolti che formano il sottosuolo della pianura e che costituiscono l'acquifero interessato. Si tratta di un unico grande acquifero freatico indifferenziato con spessori variabili da ovest ad est (lo spessore dell'acquifero tende ad aumentare dai Monti Lessini verso il Piave) e da nord a sud (in prossimità della linea delle risorgive la tavola d'acqua viene a giorno a causa della progressiva diminuzione di permeabilità che deriva dalla transizione dell'acquifero freatico in un sistema multifalda).

L'acquifero, entro i primi 300 metri di profondità, è costituito prevalentemente da ghiaie e sabbie a cui si può attribuire una conducibilità idraulica media (K) di circa 1×10^{-3} m/s. Al di sotto dei 300 m di profondità i depositi grossolani lasciano talora il posto ad una successione di origine prima fluviale poi marina costituita da alternanze di sabbie, limi ed argille, a cui corrisponde una diminuzione progressiva di K.

L'alimentazione dell'acquifero freatico indifferenziato deriva da 3 fattori principali che sono: la dispersione in alveo da parte dei principali corsi d'acqua che attraversano la pianura (Timonchio, Astico, Brenta e Piave), l'irrigazione e l'infiltrazione delle acque di precipitazione. Ognuno dei fattori di alimentazione è stato stimato sulla base dei dati di portata dei fiumi e dei dati meteo-climatici di ARPAV e sulla base dei valori di infiltrazione derivati dall'irrigazione reperibili in bibliografia (Zannin & Battagion, 1999). Le stime sono state successivamente confrontate con i bilanci idrogeologici presenti in bibliografia per alcuni settori dell'Alta Pianura (Cambruzzi *et al.*, 2010). Nella stima sono state dapprima

considerate la somma di dispersione e irrigazione, in quanto i due processi inducono entrambi una riduzione della portata fluviale a favore dell'alimentazione della falda; infatti le acque captate dal corso d'acqua per scopi irrigui, vanno comunque successivamente ad alimentare l'acquifero quando vengono disperse sul terreno da irrigare al netto dell'aliquota di evapotraspirazione. È stato accennato nel paragrafo 4.1.2 che esistono due grandi Consorzi che captano le acque del Piave a Pederobba e a Nervesa, per una portata media annua rispettivamente di 18 e 10 m³/s (Zattin & Battagion, 1999). Tenuto conto di tutto ciò la stima ha fornito un valore di dispersione più irrigazione pari a 3503,74 mm/anno, valore comparabile con quello ipotizzato da Zattin & Battagion (1999) che è pari a circa 3100 mm/anno. Successivamente, per ottenere il solo contributo di dispersione è stata sottratta alla somma di 3503,74 mm/anno la quantità di acqua che entra in falda per irrigazione, che secondo Zannin & Battagion (1999) è pari a circa 1300 mm/anno, ottenendo che 69,97 m³/s vengono dispersi dai fiumi Brenta e Piave. Quest'ultimo valore, se confrontato con quanto riportato in Cambruzzi *et al.* (2010), è da considerarsi una sovrastima della dispersione dei fiumi, dovuta prevalentemente alla sovrastima della portata media del Fiume Brenta presso la sezione di Barziza.

Per quanto riguarda le precipitazioni medie annue che cadono sul dominio, l'analisi dei dati della rete ARPAV sul periodo 1994-2012 ha fornito un valore pari a 1369 mm/anno. Ipotizzando che il 30% di quello che piove si infiltri, si stima che 410,64 mm/anno contribuiscano ad alimentare la falda. Sommando l'irrigazione alle piogge che si infiltrano, si ottiene un valore di ricarica pari a 1715.581 mm/anno

Cambruzzi *et al* (2010) hanno stimato i flussi entranti e uscenti dall'acquifero freatico indifferenziato tra i fiumi Brenta e il Piave, e trattandosi di un bilancio più dettagliato, è stato anch'esso utilizzato come riferimento per validare il risultato della simulazione numerica. In particolare essi hanno stimato un contributo dispersivo ad opera dei fiumi di $1,56 \times 10^6$ m³/d (36% del flusso totale in entrata), una quantità di acqua che entra in falda attraverso l'infiltrazione di $1,04 \times 10^6$ m³/d (24% del flusso totale entrante) e un contributo dell'acqua d'irrigazione di $1,71 \times 10^6$ m³/d (pari al 40% falda del flusso totale entrante). Infine, dal limite

Sud, attraverso le risorgive ed il sistema acquifero multifalda, esce dal dominio che essi hanno considerato, un flusso pari a 6.23×10^6 m³/d. Trattandosi di un bilancio di massa più dettagliato, in fase di calibrazione (paragrafo 4.7.2) è stato confrontato con il bilancio di massa fornito dal modello.

Dal punto di vista idrodinamico, la direzione di deflusso principale della falda è orientata da nord – ovest verso sud – est e i valori di carico idraulico variano da circa 84 m s.l.m. a valori di circa 15 m s.l.m. in corrispondenza del limite sud del dominio. L'acquifero freatico indifferenziato verso sud – est, a partire dalla linea superiore delle risorgive, evolve progressivamente nel sistema multifalda della Media e Bassa Pianura caratterizzato dalla presenza di alternanze di livelli ghiaioso sabbiosi e di strati limoso argillosi.

4.3. Codici di calcolo e tipologia delle simulazioni realizzate

Dopo aver redatto un modello concettuale dell'area, si deve decidere qual è il software più appropriato per la simulazione che si vuole eseguire. La scelta del codice di calcolo rappresenta lo *step* fondamentale per passare dal modello idrogeologico concettuale al modello numerico. In Figura 4.32 è riportato il classico diagramma di flusso utilizzato per implementare un modello numerico.

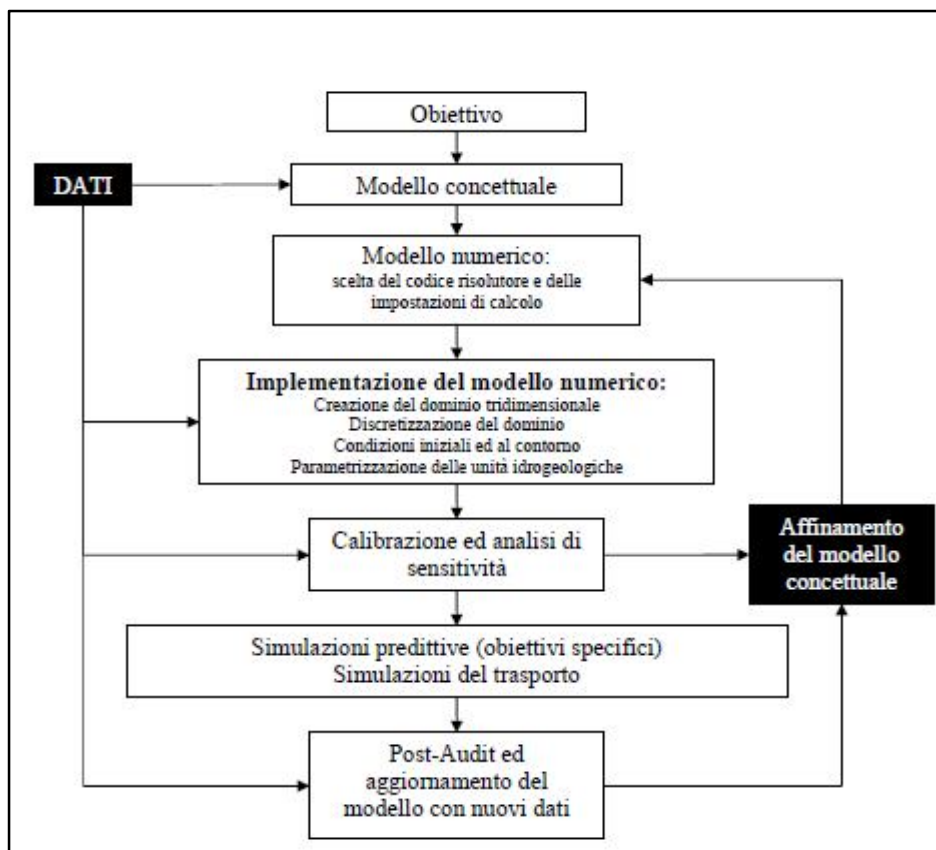


Fig. 4.32: Diagramma di flusso del processo di modellazione.

Dal diagramma si nota come tutte le fasi per arrivare al risultato finale siano strettamente correlate tra loro e come, anche nelle fasi finali della modellazione quali ad esempio la calibrazione e l'analisi di sensitività, il modello concettuale possa essere sempre affinato al fine di ottenere un prodotto che rappresenti nel modo più verosimile il processo naturale che si sta simulando.

Per la simulazione del flusso delle acque sotterranee nell'acquifero freatico indifferenziato è stato utilizzato il codice tridimensionale MODFLOW-2005 (Harbaugh *et al.*, 2000). MODFLOW-2005 è un codice libero sviluppato dal Servizio Geologico degli Stati Uniti (USGS) che risolve l'equazione di flusso nei mezzi porosi saturi allo stato stazionario e transitorio utilizzando l'approssimazione alle differenze finite. MODFLOW-2005 è stato utilizzato attraverso l'interfaccia grafica GMS 10.1 (Groundwater Modeling System) di Aquaveo. GMS è un ambiente grafico di *pre- e post-processing* con il quale è

possibile implementare modelli di flusso e trasporto delle acque sotterranee utilizzando diversi codici di calcolo tra cui MODFLOW.

La scelta del codice di calcolo richiede implicitamente l'accettazione di alcune assunzioni previste dal codice stesso; in particolare MODFLOW ne ammette 2:

- densità dell'acqua costante;
- validità della legge di Darcy (non sono ammessi flussi turbolenti).

MODFLOW è un programma *modulare* ovvero è diviso in pacchetti, alcuni dei quali sono fondamentali per realizzare la simulazione mentre altri sono opzionali e vengono impiegati in funzione del particolare caso che si vuole rappresentare. Nel caso specifico, la simulazione di flusso che si è scelto di implementare con MODFLOW è allo stato stazionario, quindi non viene presa in considerazione la variabile tempo.

L'equazione differenziale che governa il flusso delle acque sotterranee entro un mezzo poroso saturo allo stato stazionario deriva dalla combinazione dell'equazione di continuità e della legge di Darcy, e ci dice che il carico idraulico (h) è funzione della sua posizione nello spazio (x , y e z) e della conducibilità idraulica nelle tre direzioni (K_x , K_y e K_z) con cui lo spazio viene discretizzato:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0$$

Se il mezzo è omogeneo ed isotropo la permeabilità K diventa una costante e quindi l'equazione diventerà (Equazione di Laplace):

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

L'equazione può essere risolta analiticamente, attraverso delle assunzioni o semplificazioni, oppure numericamente, attraverso l'approssimazione alle differenze finite, come succede con MODFLOW, o attraverso l'approssimazione agli elementi finiti (un codice di calcolo che si basa sugli elementi finiti è ad esempio FeFlow).

Applicando i metodi di approssimazione numerica, si va a calcolare il carico idraulico su un certo numero di punti all'interno del dominio di modellazione: da qui deriva la necessità di progettare una griglia di discretizzazione.

Applicando il metodo delle differenze finite le derivate parziali dell'equazione di Laplace vengono sostituite con delle differenze (dette finite perché misurabili) dei carichi idraulici in corrispondenza nei nodi della griglia. Considerando il caso monodimensionale si ha (Fig. 4.31):

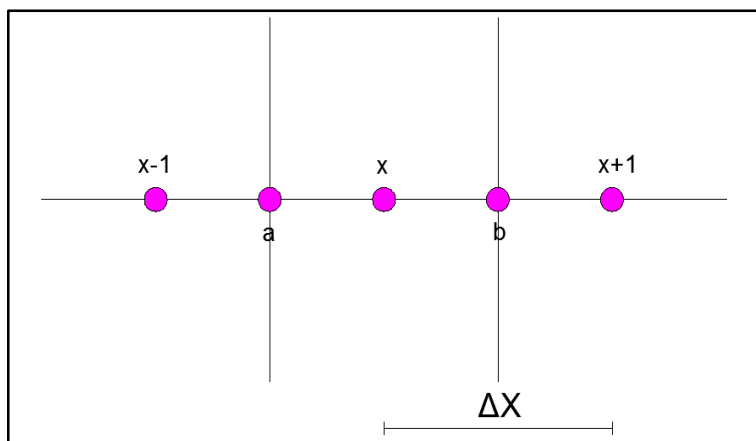


Fig. 4.31: Approssimazione centrale alle differenze finite nel caso monodimensionale.

Per il nodo a :

$$\frac{\partial^2 h_a}{\partial x^2} = \frac{h_x - h_{(x-1)}}{\Delta x}$$

Per il nodo b :

$$\frac{\partial^2 h_b}{\partial x^2} = \frac{h_{(x+1)} - h_x}{\Delta x}$$

Quindi la derivata del carico idraulico nel punto centrale x sarà:

$$\frac{\partial^2 h_x}{\partial x^2} = \frac{\frac{h_x - h_{(x-1)}}{\Delta x} - \frac{h_{(x+1)} - h_x}{\Delta x}}{\Delta x}$$

4.4. Discretizzazione spaziale del dominio di modellazione

Si è precedentemente accennato come applicando i metodi di approssimazione numerica si vada a calcolare il carico idraulico su un certo numero di punti all'interno del dominio di modellazione. Per questa ragione è necessario progettare una griglia di discretizzazione formata da un numero definito di celle o nodi. Nel caso dell'approssimazione alle differenze finite tali celle sono quadrangolari e possono avere nodi al centro della cella oppure sui vertici della stessa; nel nostro caso si è deciso di utilizzare una griglia *Block centered* con nodi al centro della cella. L'area di studio, individuata dal modello concettuale, viene quindi sostituita da un dominio di discretizzazione costituito da una griglia di nodi a cui sono associate le celle. Il carico idraulico viene calcolato sui nodi al centro delle celle, mentre i parametri di input (K) sono attribuiti alle celle.

Il poligono di forma irregolare individuato dalla linea delle risorgive, dal limite di affioramento delle formazioni rocciose al bordo della pianura e dal Fiume Piave è stato circoscritto da un rettangolo di 73 x 38 km ruotato di 30° rispetto alla direzione del Nord, al fine di orientare la griglia secondo la direzione di flusso prevalente delle acque sotterranee (*Grid Frame* in Fig. 4.33).

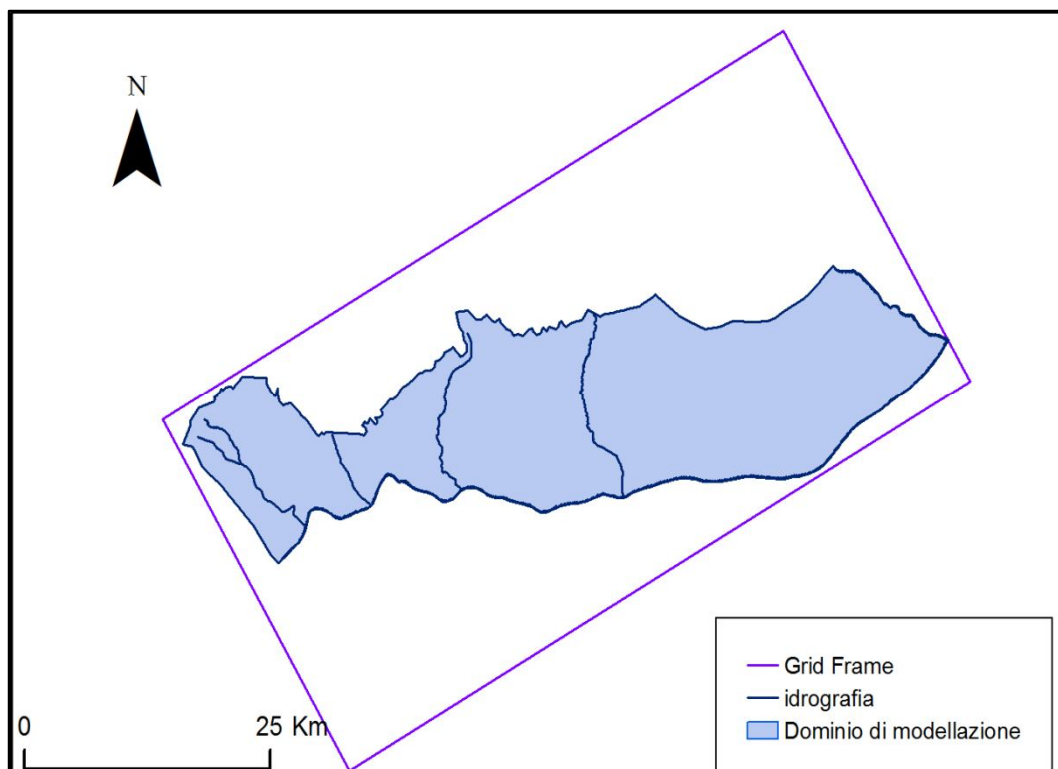


Fig. 4.33: Dominio di modellazione .

Per discretizzare il dominio di modellazione è stata creata una griglia all'interno del rettangolo di Figura 4.33 che può essere visualizzata in pianta, di fronte e di lato; all'interno di essa il codice calcola il valore del carico idraulico al centro di ogni cella a partire dai parametri di input che vengono associati a ciascuna cella con il processo di parametrizzazione.

Da ricordare che, una volta creata la griglia, vengono in automatico definite 6 condizioni al contorno di flusso nullo (boundary di 2° tipo o di *Neumann*) in corrispondenza delle 6 facce del parallelepipedo; successivamente, sulla base del modello concettuale da riprodurre, l'utente può decidere se sostituirle con altre condizioni. In seconda battuta sono state rese inattive le celle ricadenti nel rettangolo ma che si trovano al di fuori del poligono rappresentante il dominio. Oltre a queste sono state disattivate anche le celle in prossimità della località di Villaverla (Fig. 4.34), fra i fiumi Timonchio ed Astico, poiché in questa zona gli spessori del bedrock si annullano e la roccia in posto affiora in superficie. Secondo la Carta Geologica della Regione Veneto si tratta di formazioni eruttive

terziarie costituite da basalti di colata, filoni e camini di lava datati Oligocene – Paleocene Superiore.

La griglia che è stata creata (Fig. 4.34) ha una dimensione delle celle (*cell size*) di 100 x 100 m ed è costituita da 832200 celle, di cui 291339 inattive; in particolare la griglia è costituita da 380 righe e 730 colonne.

Per la discretizzazione verticale del dominio non si parla più di righe o colonne ma di layers; nel caso dell'acquifero freatico da simulare sono stati individuati 3 layers in cui il top (layer 1) è stato interpolato a partire dal DEM della Regione Veneto con passo 25 x 25 m, mentre il bottom è stato interpolato a partire dal RASTER ottenuto dalle isobate della base del Pliocene presentate da Pola *et al* (2014; Fig.3.22).

La scelta di utilizzare 3 layers per simulare l'acquifero indifferenziato risiede nel fatto che gli spessori coinvolti, verso la linea delle risorgive, superano i 1000 m ed è difficile ipotizzare una omogeneità dei sedimenti su uno spessore così elevato. La discretizzazione verticale iniziale ha previsto la creazione di 3 layers orizzontali di spessore costate pari a 300 m. I layers sono stati modificati in due fasi successive attraverso l'inserimento del DEM della Regione Veneto e del BOTTOM rappresentante la base dei depositi del Pliocene. Soprattutto quest'ultima fase ha portato alla disattivazione di diverse celle al di sotto della superficie di BOTTOM nelle zone prossime ai rilievi prealpini in cui questa si trova a quote più elevate rispetto a quelle della griglia iniziale. Il risultato finale è una griglia tridimensionale in cui solo il primo layer è esteso su tutto il dominio, mentre i layers 2 e 3 sono presenti nelle zone di maggiore spessore dei depositi.

Il numero totale di nodi (o celle) attivi che sono stati generati con la creazione della griglia 3D è pari a 1114044.

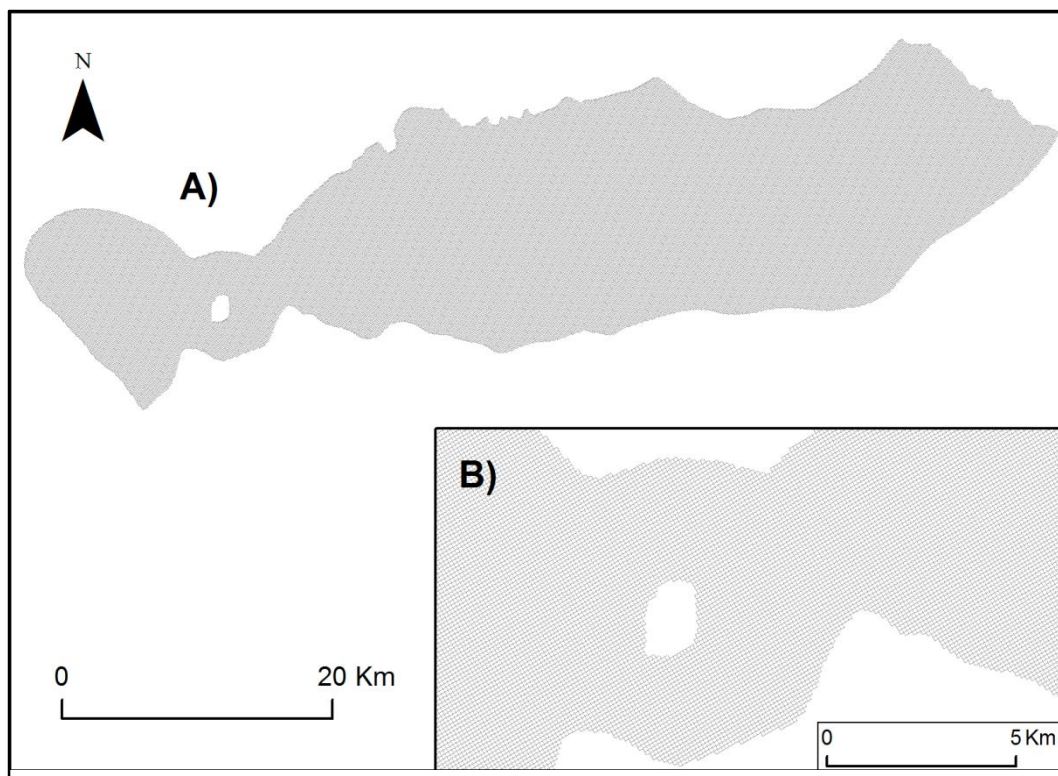


Fig. 4.34: La griglia di discretizzazione; A) Dominio completo; B) Particolare della griglia in prossimità della zona di Villaverla dove alcune celle interne al poligono sono state disattivate.

4.5. Parametrizzazione delle unità idrogeologiche

Nelle simulazioni allo stato stazionario i parametri di *storage* (immagazzinamento specifico e specific yield) non vengono utilizzati poiché le variazioni di immagazzinamento sono considerate trascurabili e quindi nulle. Pertanto, i parametri di input riguardano solo la conducibilità idraulica orizzontale (K_h o K_x) ed i suoi rapporti di anisotropia sul piano orizzontale e verticale, rispettivamente: K_x/K_y e K_x/K_z (o K_h/K_v).

Inizialmente al layer 1 è stata assegnata un K_h di 86,4 m/d, al layer 2 di 8,64 m/d ed al layer 3 di 0,864 m/d. Questi valori sono stati successivamente ottimizzati attraverso il processo di calibrazione. I valori finali sono presentati nel paragrafo 4.7. I rapporti di anisotropia orizzontale e verticale sono stati fissati pari a 1 e non hanno subito modifiche durante la calibrazione.

4.6. Condizioni al contorno e distribuzione iniziale del carico idraulico

Le condizioni al contorno sono una componente chiave della simulazione dei sistemi idrogeologici in quanto la loro definizione permette di riprodurre gli stress applicati al sistema.

Le condizioni al contorno che possono essere specificate, sono di 3 tipi: di 1° tipo o di *Dirichlet* è la condizioni di carico assegnato, di 2° tipo o di *Neumann* che è quella di flusso assegnato e di 3° tipo o di *Cauchy* che è una sorta di condizione mista, poiché simula un flusso dipendente da una differenza di carico idraulico.

Per implementare le condizioni al contorno, è necessario selezionare i pacchetti (*packages*) di cui il codice è dotato ognuno dei quali simula uno specifico tipo di condizione o una eventuale variante utilizzata per simulare particolari tipi di interazione.

I pacchetti utilizzati per il seguente modello sono:

- RECHARGE: è il pacchetto che simula la ricarica dell'acquifero ad opera dell'infiltrazione della pioggia e dell'acqua di irrigazione; la ricarica rappresenta una condizione di flusso assegnato (2° tipo) in quanto l'utente deve specificare al codice un valore in m/d che entra nel dominio; di solito la ricarica viene assegnata ed agisce sul 1° layer. Nelle fasi preliminari della modellazione la ricarica è stata applicata costante su tutto il dominio con un valore paria a $4,70 \times 10^{-3}$ m/d. Successivamente a seguito della calibrazione, si è proceduto alla modifica della ricarica ed alla sua zonazione entro il dominio. I valori finali ed i dettagli del processo sono riportati nel paragrafo 4.7.
- RIVER: è la boundary utilizzata per simulare l'interazione acque superficiali e sotterranee ed è una condizione del 3° tipo; essa è stata assegnata solo alle celle del 1° layer in corrispondenza dei principali corsi d'acqua (Timonchio, Astico, Brenta, Muson dei Sassi e Piave). I parametri da specificare per assegnare tale condizione sono: la conduttanza del letto del fiume (C in m²/d), il *River Head Stage* o livello idrometrico del fiume e l'*Elevation* o *Riverbed Bottom*, intesa come la quota del fondo del letto, che

rappresenta la soglia di attivazione della boundary. Inizialmente è stato assegnato un valore di Conduttanza costante pari a $84,6 \text{ m}^2/\text{d}$ per tutti i fiumi, mentre per esplicitare gli altri due parametri è stato utilizzato il DEM della Regione Veneto fissando ad 1 m sotto al piano campagna il *River Head Stage* ed a 5 m dal piano campagna il *Riverbed Bottom*. La conduttanza è l'unico parametro ottimizzato durante la calibrazione (Paragrafo 4.7). In Figura 4.35 sono mostrate le condizioni RIVER applicate sul dominio di modellazione.

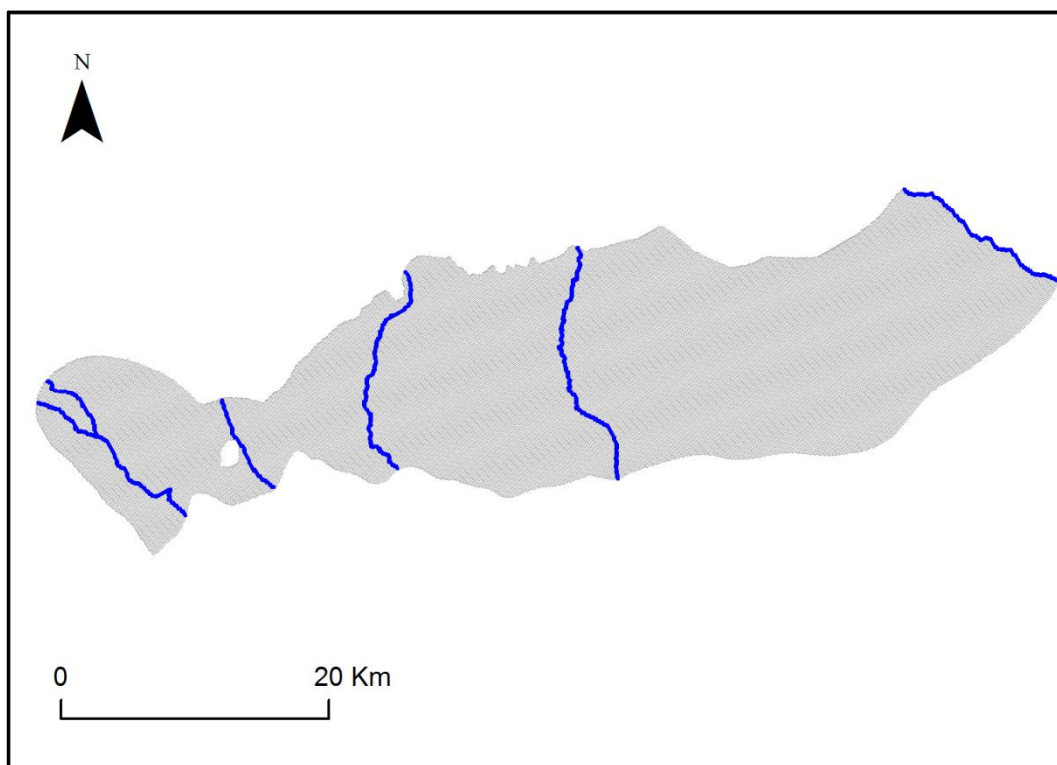


Fig. 4.35: Condizioni RIVER applicate sul dominio di modellazione.

Viene di seguito riportata (Fig. 4.36) una rappresentazione del concetto di Conduttanza (da McDonald & Harbaugh, 1988), che è basata sull'equazione di Darcy. Se la portata Q è data dal prodotto della conducibilità idraulica (K), per la sezione attraversata dal flusso (A) e per la differenza di carico tra punto di partenza e punto di arrivo del flusso (h_2-h_1), il tutto diviso la lunghezza del percorso (L), allora la Conduttanza si può essere definita come il prodotto della K

per la sezione A, diviso la lunghezza del percorso, cioè il rapporto tra Q e la differenza di carico h_2-h_1 :

$$\text{CONDUTTANZA (C)} = \frac{KA}{L} \text{ (m}^2/\text{d)}$$

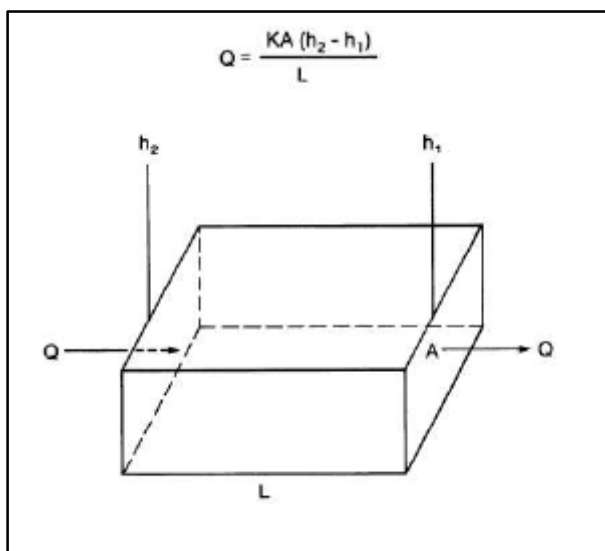


Fig.4.36: Il concetto di conduttanza (da McDonald & Harbaugh, 1988).

- DRAIN: la diminuzione della sezione filtrante dovuta alla transizione tra l'acquifero indifferenziato ed il sistema multifalda e la riemersione delle acque sotterranee in prossimità della linea delle risorgive sono stati riprodotti con il pacchetto DRAIN, vale a dire una boundary di 3° tipo, applicata a tutti e 3 i layers.

L'utilizzo di questa funzione richiede l'assegnazione alle celle di un valore di quota del dreno o *Drain Elevation* e di una Conduttanza. In analogia alla simulazione dell'interazione acque superficiali/sotterranee, la *Drain Elevation* è stata fissata 1 m sotto al piano campagna, mentre per la conduttanza è stato utilizzato un valore iniziale di 8,64 m²/d, successivamente ottimizzato durante la calibrazione. Un dreno funziona in modo tale che, finché il carico idraulico nell'acquifero è inferiore alla *Drain Elevation*, che quindi rappresenta una sorta di soglia di attivazione, non c'è trasferimento di portata, mentre esso comincia a rimuovere acqua dal

dominio con una portata direttamente proporzionale alla differenza di carico con l'acquifero (ossia fra il carico calcolato nella cella e la quota dreno) qualora tale soglia viene superata.

La condizione DRAIN è stata assegnata a tutte le celle in corrispondenza della linea superiore delle risorgive ad esclusione delle celle su cui ricade la condizione RIVER (Fig. 4.37).

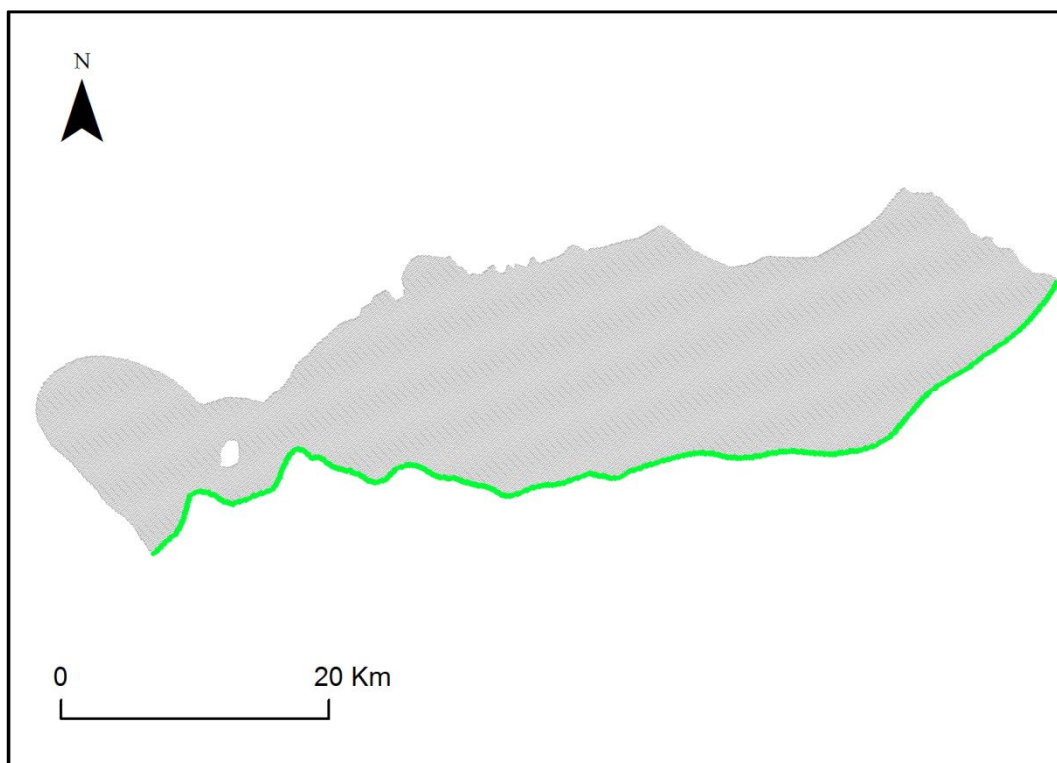


Fig.4.37: Condizione DRAIN applicate sul dominio di modellazione.

WELL: la funzione WELL permette di riprodurre la presenza di pozzi di iniezione o di pompaggio, e rappresenta una boundary di 2° tipo, cioè di flusso assegnato. Sono stati rappresentati con questo pacchetto i pozzi ad uso acquedottistico censiti nell'articolo di Bullo & Dal Prà (1994); i parametri da specificare nel codice sono il *Flow Rate*, cioè la portata estratta, che viene assegnata con un valore negativo in quanto esce dal dominio, e *Top e Bottom screen* per delimitare la zona filtrante. A tal fine si è considerato che l'acquifero venga completamente filtrato a partire da 1 m

sotto il piano campagna fino alla massima profondità del pozzo. In Figura 4.38 vengono visualizzate le condizioni WELL utilizzate sul dominio.

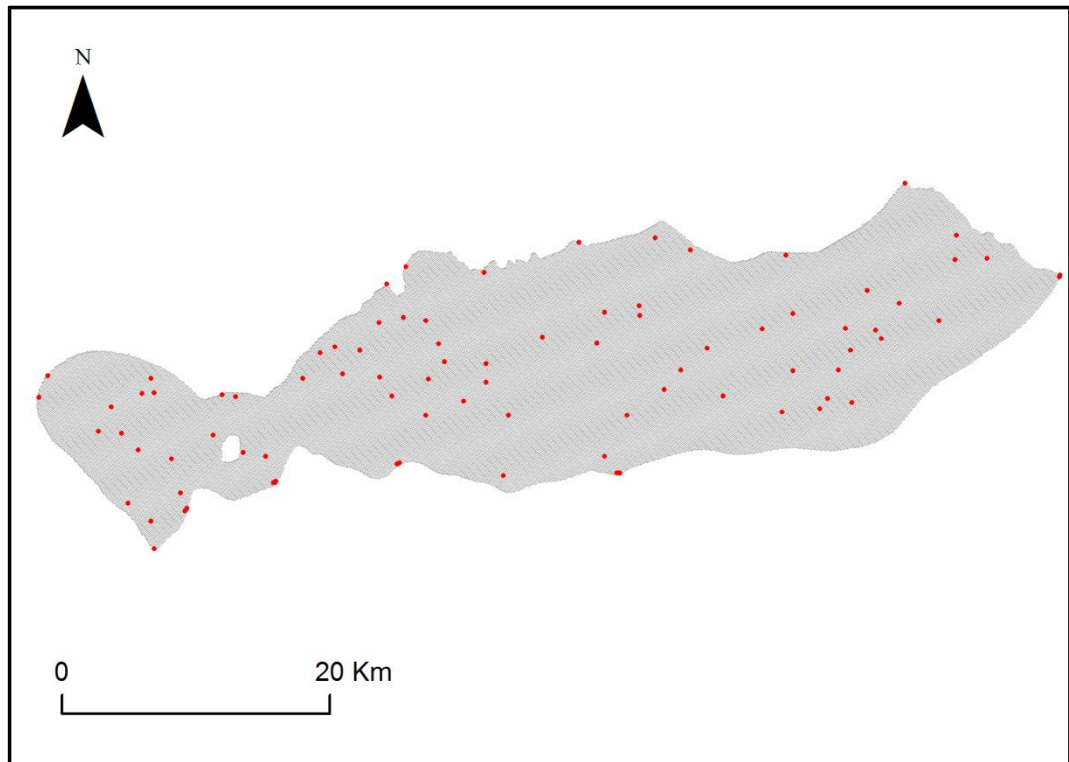


Fig.4.38: Condizioni WELL applicate sul dominio di modellazione.

Infine, come distribuzione iniziale di carico idraulico sono state utilizzate le quote del piano campagna derivate dal DEM della Regione Veneto con passo di 25 x 25 m. Trattandosi di una simulazione allo stato stazionario l'uso di criteri di convergenza idonei garantisce il raggiungimento di una soluzione adeguata.

4.7. Approccio metodologico per la calibrazione

La fase successiva all'implementazione del modello è rappresentata dal processo di calibrazione; calibrare il modello numerico significa verificare che esso sia congruo con il modello idrogeologico e riesca a riprodurre con sufficiente

approssimazione le misure sperimentali acquisite. Lo scopo della calibrazione è quello di trovare il *dataset* di parametri e di condizioni al contorno che approssimino nel modo migliore possibile i dati di campo che si hanno a disposizione. La calibrazione di un modello numerico può essere di due tipi: qualitativa e quantitativa (Anderson & Woessner, 1997). Nel primo caso consiste nel confronto tra l'andamento dei carichi simulati dal modello e quelli misurati durante una campagna piezometrica, che vengono sovrapposti e confrontati per avere un'indicazione della similarità tra modello e realtà. Con la calibrazione quantitativa, invece, ci si avvale dell'analisi statistica dei residui, ossia della differenza tra carico idraulico calcolato e misurato in punti omologhi del dominio. La calibrazione quantitativa può essere manuale, cioè realizzata per tentativi (o *trial and error*), in cui l'utente modifica i parametri di input finché il *dataset* non viene riprodotto con sufficiente approssimazione statistica, oppure automatica se ci si avvale di specifici algoritmi numerici.

In questo contesto è stata fatta una calibrazione quantitativa di tipo manuale, andando a variare i parametri uno alla volta per capire quali incidono maggiormente sulla soluzione finale.

Inizialmente, si è agito sulla Conduttanza (C) della funzione dreno; in fase di implementazione era stato dato un valore iniziale di C pari a 8,64 m²/d, che nel contesto calibrativo è stato alzato a 432 m²/d poiché così facendo la differenza tra carico osservato e carico calcolato tende a diminuire.

Successivamente si è agito sulla conduttanza (C) di alcuni fiumi a cui inizialmente era stato dato un valore uniforme di 86,4 m²/d. Durante la calibrazione, sono state modificate le conduttanze dei fiumi cercando di differenziare tra la parte a monte e la parte a valle del Fiume Brenta che si è visto essere quello a comportamento più marcatamente disperdente, mentre per il torrente Timonchio è stata attribuita una conduttanza all'asta principale e un'altra alle due ramificazioni di monte. Questa eterogeneità nelle proprietà è possibile in quanto il software permette di attribuirle in maniera differenziata agli spezzoni di archi che rappresentano i tracciati dei fiumi. Dopo vari tentativi, si è visto che i valori migliori, poiché abbassano la differenza tra i carichi osservati e calcolati, risultano essere quelli di Tabella 4.16 :

<i>Fiume</i>	<i>(m²/d)/m</i>
<i>Timonchio (ramo sx)</i>	<i>2.16</i>
<i>Timonchio (ramo dx)</i>	<i>2.16</i>
<i>Timonchio (p. Sud)</i>	<i>0.864</i>
<i>Astico</i>	<i>86.4</i>
<i>Brenta (p. Nord)</i>	<i>8.64</i>
<i>Brenta (p. Sud)</i>	<i>0.864</i>
<i>Musone</i>	<i>0.432</i>
<i>Piave</i>	<i>0.864</i>

Tab. 4.16: Valori di Conduttanza (in m²/d/m)/m attribuiti ai fiumi durante la fase di calibrazione manuale.

In seguito si è agito sulla ricarica dell'acquifero assegnata al primo layer; inizialmente, in fase di implementazione delle condizioni al contorno, alla ricarica era stato attribuito un valore costante di $4,7 \times 10^{-3}$ m/d; che successivamente, sulla base di quanto riportato in Cambruzzi *et al* (2010) è stato modificato in $3,49 \times 10^{-3}$ m/d. Attraverso questa modifica si è potuto constatare che la ricarica zenitale è il parametro che maggiormente influisce sulla soluzione e per questo motivo si è proceduto, come per la conduttanza dei fiumi, alla sua differenziazione entro il dominio. Anche la zonazione della ricarica (R) è stata fatta per *step* successivi; inizialmente il dominio è stato suddiviso in due zone, utilizzando come limite il Fiume Brenta ed assegnando un valore di R diverso tra la parte a destra e quella sinistra; la ragione per cui l'area è stata divisa in corrispondenza del suddetto fiume è dovuta al fatto che nella zona a est il carico idraulico era sempre troppo elevato, spesso al di sopra del top del *layer* 1 (celle allagate o *flooded cells*).

La zonazione finale prevede l'esistenza di 4 poligoni (Fig. 4.39) a cui sono associati diversi valori di ricarica, visualizzabili nella tabella di Figura 4.39.

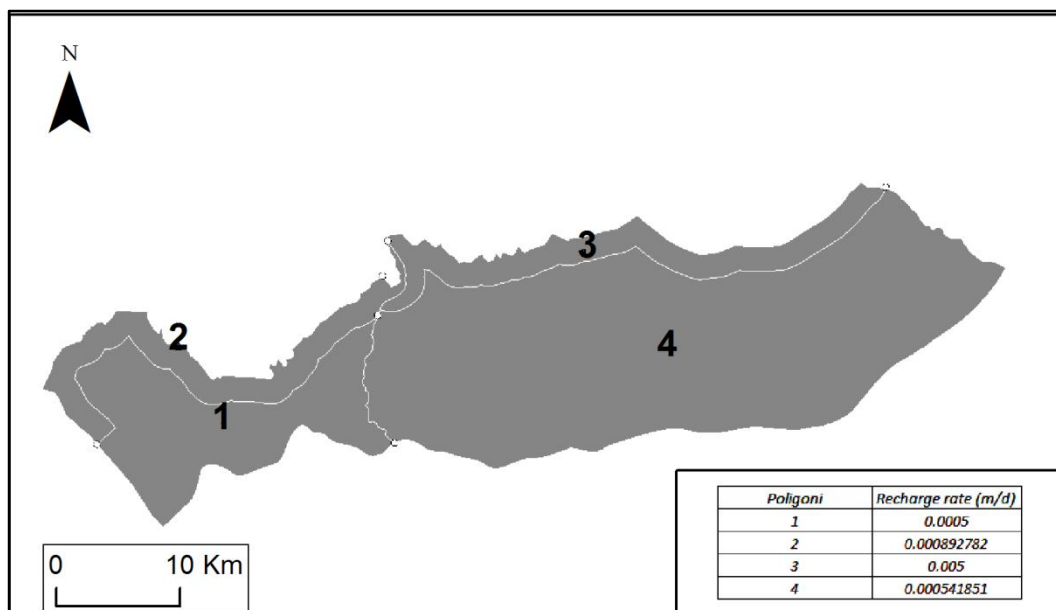


Fig. 4.39: Suddivisione del dominio in poligoni di ricarica; i valori di ricarica sono esplicitati nella tabella in basso a destra nella figura.

L'aggiunta dei poligoni 2 e 3, che formano una fascia spessa circa 2 km, è stata utile e necessaria per riprodurre l'effetto di infiltrazione delle acque di ruscellamento superficiale provenienti dalle Prealpi che, in corrispondenza della rottura di pendenza nel passaggio tra i rilievi e l'alta pianura, tendono a trovare una via preferenziale di infiltrazione e in parte anche per l'eventuale ricarica laterale proveniente dagli acquiferi fratturati che bordano la pianura. Questa condizione è confermata dalla presenza di diversi pozzi ad uso acquedottistico ubicati al bordo della pianura.

Infine è stata ottimizzata la conducibilità idraulica orizzontale (K_h) del layer 1, attribuendo un valore un po' più piccolo di quello iniziale da 86,4 m/d a 73,65 m/d.

La calibrazione quantitativa si basa essenzialmente sul calcolo e l'analisi statistica dei residui (R_i) che rappresentano la differenza tra il carico idraulico calcolato (X_{cal}) e quello osservato (X_{obs}), secondo:

$$R_i = X_{cal} - X_{obs}$$

Gli *observation points*, ovvero i punti di osservazione del carico idraulico, che sono stati utilizzati sono stati quelli della rete di monitoraggio ARPAV ricadenti sul dominio di modellazione, a cui è stato assegnato un valore di carico idraulico medio per il periodo 1999 - 2013; la loro ubicazione è mostrata in Figura 4.40.

La gestione dei punti di osservazione in MODFLOW prevede l'assegnazione del carico idraulico ad una cella. Nel caso specifico si è deciso di assegnare i valori di carico idraulico medio alle celle del 1° layer.

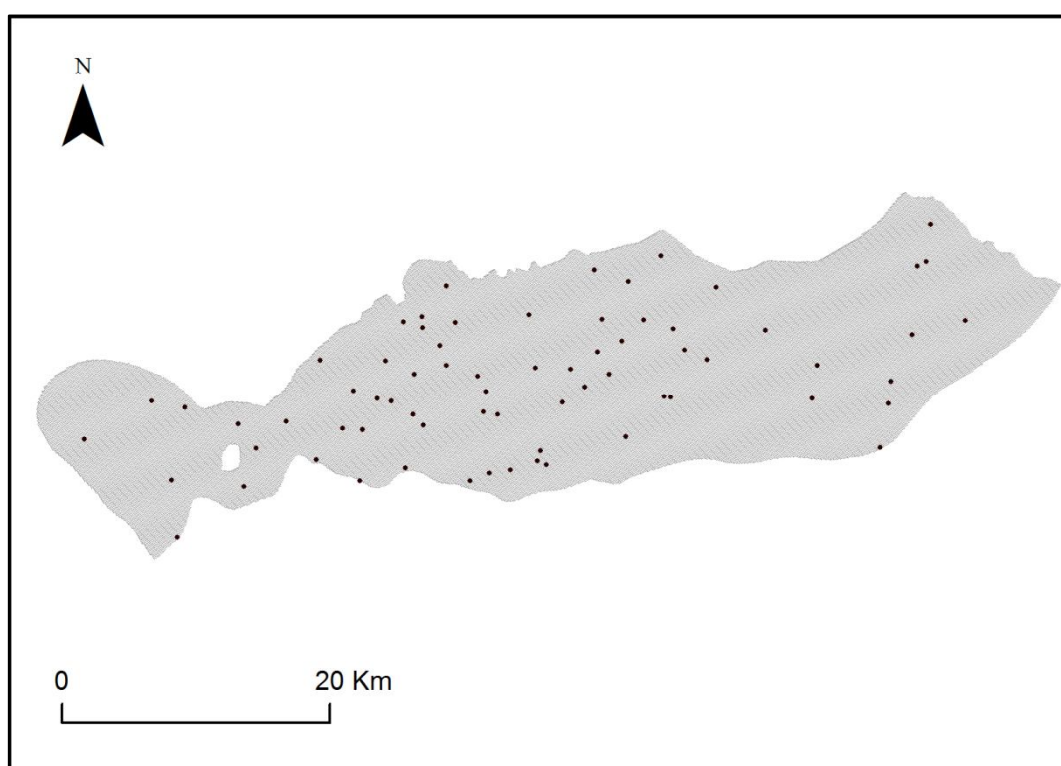


Fig. 4.40: *Observation Point* ricadenti nel dominio di modellazione.

La principale statistica di calibrazione è rappresentata dallo Scarto Quadratico Medio Normalizzato (*nRMS*) che viene calcolato dividendo lo Scarto Quadratico Medio (*RMS*) per il *range* di variazione del carico idraulico osservato ($X_{obs_{max}} - X_{obs_{min}}$), secondo:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Ri^2}$$

$$nRMS = \frac{RMS}{Xobs_{max} - Xobs_{min}}$$

La calibrazione è considerata accettabile qualora il valore nRMS sia inferiore al 10%.

I risultati dei parametri statistici e dei residui ottenuti in fase di calibrazione sono mostrati in Tabella 4.17:

DATI DI CALIBRAZIONE	
RM (m)	-1.21
AMR (m)	1.21
RMS (m)	6.30
nRMS (%)	9.19%
Ri max (m)	87.84
Ri min (m)	19.24
n° punti	67

Tab. 4.17: Parametri statistici e dati di calibrazione; RM (m), media dei residui; AMR (m), media assoluta dei residui; RMS (m), scarto quadratico medio; nRMS (%), scarto quadratico medio normalizzato; Ri_{max} (m), residuo massimo; Ri_{min} (m), residuo minimo; n° punti, numero di punti usati per la calibrazione.

La tabella 4.17 mostra chiaramente come sia stato raggiunto l'obiettivo: lo scarto quadratico medio normalizzato è inferiore al 10%, quindi la calibrazione può essere considerato accettabile.

Il software, dopo aver concluso tale processo, produce come output uno *scatter plot* (Fig. 4.41) dei *carichi osservati vs carichi calcolati* nel quale, attraverso il confronto con la linea di perfetta coincidenza (diagonale a 45°), è possibile visualizzare la qualità della calibrazione e l'andamento dei residui. Nello specifico si può vedere come per bassi valori di carico idraulico i dati vengono meglio fittati mentre all'aumentare del carico idraulico la differenza tra valori osservati e calcolati tende ad aumentare.

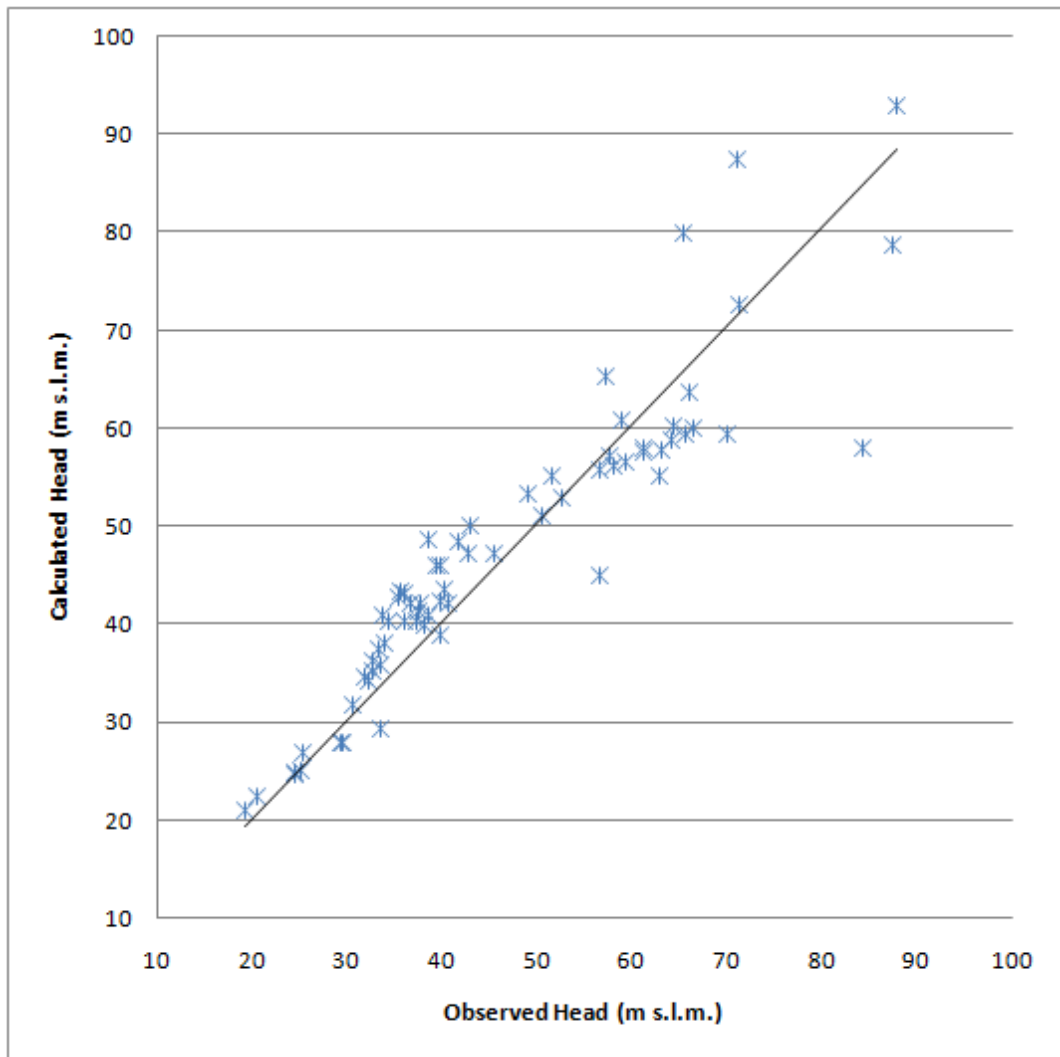


Fig. 4.41: *Scatter plot* di calibrazione.

4.8. Risultati della simulazione

Come già descritto nei paragrafi introduttivi alla modellazione, la simulazione ha avuto come obiettivi fondamentali: la riproduzione dei valori di carico idraulico medio del periodo 1999-2013 e la verifica del bilancio di massa dell'acquifero freatico indifferenziato dell'Alta Pianura.

La distribuzione del carico idraulico nei 3 *layers* è mostrata rispettivamente nelle Figure 4.42, 4.43 e 4.44.

Dalle figure si può anche notare la distribuzione dei 3 layers che, come accennato precedentemente, non sono presenti su tutto il dominio di modellazione.

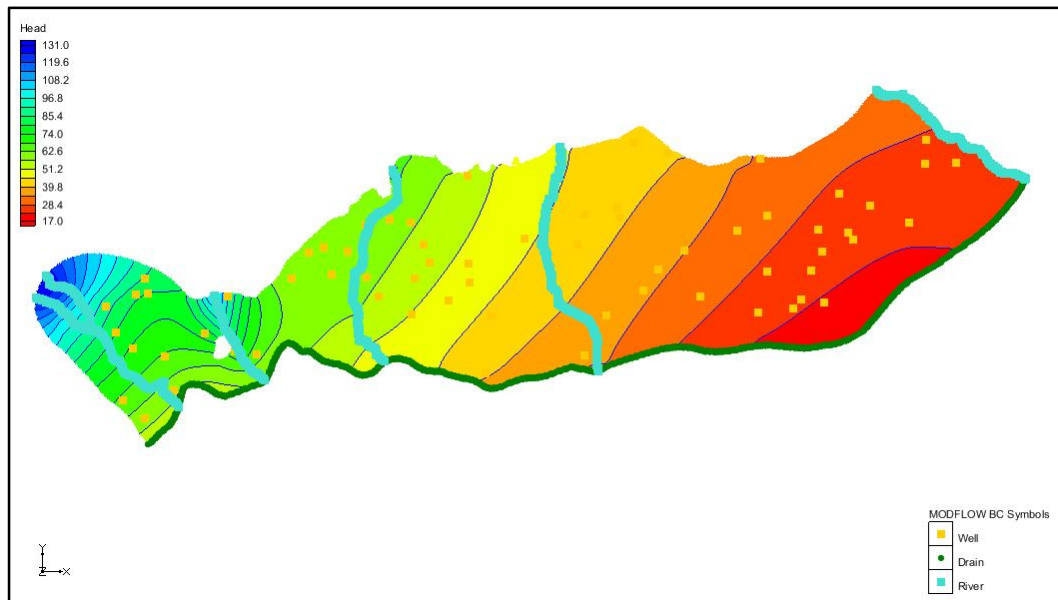


Fig. 4.42: Distribuzione del carico idraulico calcolata nel primo layer.

La distribuzione di carico idraulico calcolata dal modello per il primo layer (Fig.4.41) ben riproduce l'andamento della freaticmetria media presentata nel paragrafo 4.1.3. Si vede come il carico idraulico da un massimo di circa 130 m s.l.m. in corrispondenza dell'area a nord – ovest del dominio si abbassi progressivamente procedendo verso la linea superiore delle risorgive dove si registrano i valori minimi di carico idraulico. Il minimo assoluto pari a circa 17 m s.l.m. si trova nell'area di competenza del fiume Piave verso sud – est .

Per quanto riguarda l'idrografia principale, si nota il carattere alimentante dei fiumi rispetto alla falda, soprattutto per Astico e Brenta.

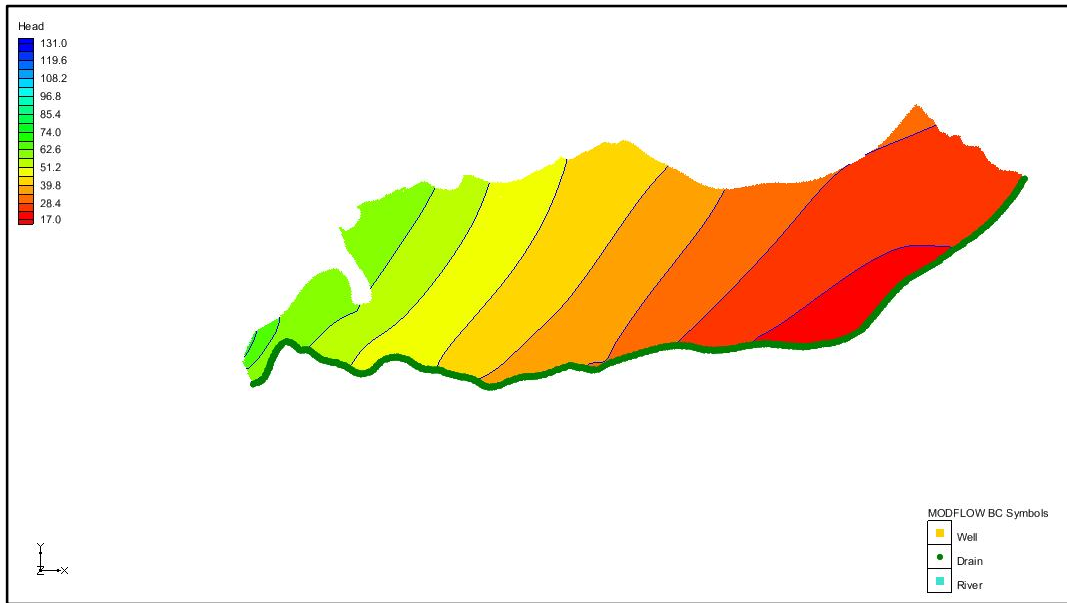


Fig. 4.43: Distribuzione del carico idraulico calcolata nel secondo layer.

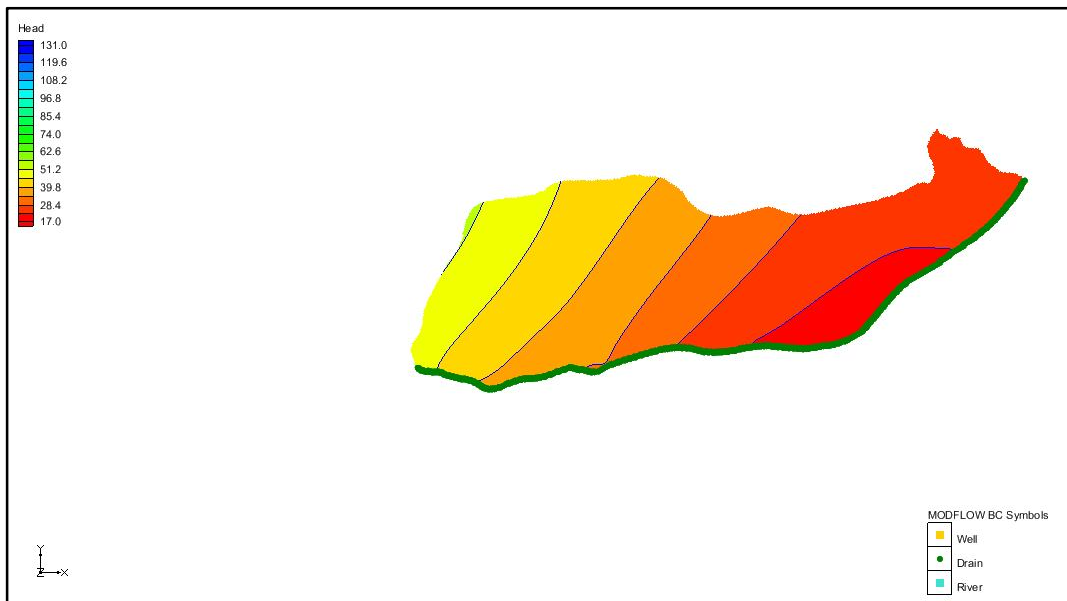


Fig. 4.44: Distribuzione del carico idraulico calcolata nel terzo layer.

L'andamento descritto per il layer 1 è lo stesso di quello riscontrabile in profondità nei layers 2 e 3; in entrambi i casi la direzione prevalente di flusso è da nord . ovest verso sud – est.

Oltre ai risultati relativi alla distribuzione di carico idraulico, il codice di modellazione genera anche il bilancio di massa del sistema idrogeologico (*Flow*

Budget); quello relativo alla simulazione in esame è riportato in Tabella 4.18. La percentuale di discrepanza è dello 0,00025%, ed è quindi da considerarsi accettabile perché inferiore alla soglia del 2% comunemente utilizzata in bibliografia.

L'osservazione dell'istogramma del bilancio di massa di Figura 4.44 suggerisce che la principale fonte di alimentazione del sistema è data dalla dispersione dei fiumi (66.96%), seguita dalla ricarica (33.04%); questa constatazione è in accordo con quanto detto più volte nei paragrafi precedenti, e cioè che l'acquifero dell'Alta pianura è alimentato prevalentemente dalla dispersione dei fiumi, soprattutto il Brenta, dall'infiltrazione delle acque meteoriche e dall'attività irrigua che viene periodicamente svolta.

Per quanto riguarda le voci in uscita del bilancio di massa, il contributo maggiore è opera del drenaggio lungo la linea delle risorgive (94.36%) e, in maniera molto meno consistente dai pozzi che estraggono acqua per fini idropotabili (4.11%).

SOURCE & SINK		
CONTRIBUTI	Flow IN (m ³ /d)	Flow OUT (m ³ /d)
CONSTANT HEAD	0	0
WELLS	0	-117397.59
DRAINS	0	-2692585.428
RIVER LEAKAGE	1910720.859	-43416.914
RECHARGE	942671.8453	0
TOTALE	2853392.704	-2853399.932
DISCREPANZA %	-2.53327E-06	

Tab. 4.18: Bilancio di massa.

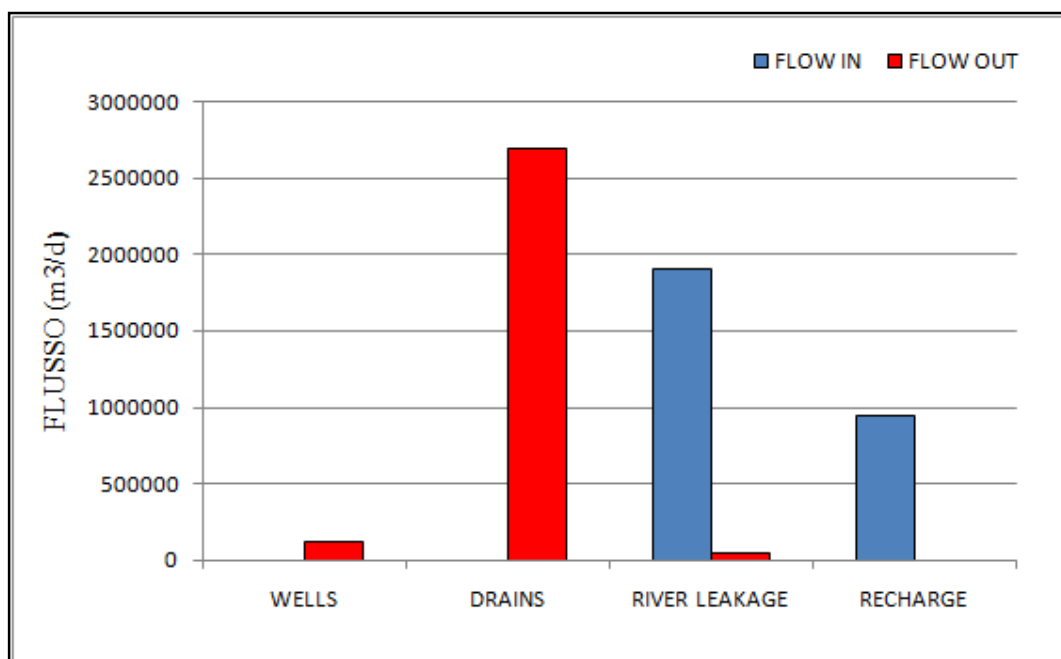


Fig.4.44: Istogramma del Bilancio di massa.

Ottenuto il bilancio di massa, è stato interessante fare un confronto tra i flussi entranti ed uscenti della simulazione e quelli reperibili in bibliografia. In particolare è stata effettuata una comparazione con il bilancio di massa calcolato da Cambuzzi *et al* (2010), per l'area compresa tra i Fiumi Brenta e Piave. In Tabella 4.19 sono mostrati i contributi in m³/d di entrambi i bilanci.

CONTRIBUTI	Bilancio di massa modello numerico dell'Alta pianura veneta	Bilancio di massa Cambuzzi <i>et al</i> (2010)
Dispersione	6.14E+05	1.56E+06
Recharge (precipitazione + irrigazione)	8.08E+05	2.75E+06
Drenaggio	1.41E+06	6.23E+06

Tab. 4.19: Confronto tra i contributi in m³/d del bilancio di massa derivato dalla modellazione numerica e quelli derivati dal bilancio di Cambuzzi *et al*. (2010).

Dal raffronto dei due bilanci si può notare come i risultati siano assolutamente confrontabili dal punto di vista degli ordini di grandezza; la voce relativa alla

ricarica è quella che più si avvicina al valore di Cambruzzi *et al* (2010), mentre per quanto riguarda la dispersione dei fiumi il bilancio di massa fornito dal modello numerico la sottostima leggermente. Infine il drenaggio lungo la linea delle risorgive, pur essendo dello stesso ordine di grandezza di quello reperito in bibliografia, è più basso, e forse questo è dovuto ad un applicazione di ricarica minore e a una più bassa dispersione dei fiumi.

5. Conclusioni

Negli ultimi anni la consapevolezza della necessità di proteggere e salvaguardare le riserve idriche sotterranee si è fatta sempre più incalzante, spingendo gli enti pubblici verso una politica di utilizzo sostenibile e di risparmio della risorsa. Ciò non può prescindere da una preliminare e dettagliata conoscenza della natura geologica ed idrogeologica del sottosuolo. In quest'ottica nella presente tesi ci si è occupati di aggiornare il modello geologico/idrogeologico concettuale dell'acquifero freatico indifferenziato presente nell'Alta Pianura Veneta. L'obbiettivo è stato raggiunto attraverso l'acquisizione e l'elaborazione di dati: geognostici, meteorologici, idrologici ed idrogeologici.

In particolare, sono stati digitalizzate e quindi rese fruibili per elaborazioni future, 630 stratigrafie relative a pozzi e piezometri perforati nell'Alta Pianura. I dati stratigrafici sono confluiti in un unico database da cui sono state estratte tutte le informazioni utili per poter poi realizzare delle sezioni geologiche che mostrassero la litostratigrafia dell'area in oggetto; queste schede sono state integrate con un ulteriore archivio realizzato da AGIP e comprendente 109 stratigrafie profonde, che si è rivelato di fondamentale utilità per la ricostruzione stratigrafica oltre i 300 m di profondità.

Nonostante l'identificazione del bedrock, utile per capire i reali spessori dell'acquifero freatico, si sia rivelata spesso di difficile interpretazione a causa della mancanza di stratigrafie e sondaggi geognostici abbastanza profondi, l'importanza di questa fase di raccolta ed elaborazione di dati non è da intendersi come superflua; innanzitutto la digitalizzazione delle schede cartacee rende più comodo e veloce il processo di utilizzo dei dati a tutti coloro che intendano fruirne in futuro o nel caso in cui si renda necessario un aggiornamento della banca dati, ed inoltre l'indubbia utilità risiede nel fatto che senza questa fase di omogeneizzazione e codifica delle informazioni non si sarebbe potuto analizzare in modo unitario tutte queste informazioni.

Una parte più consistente del lavoro è stata l'elaborazione dei dati meteorologici, idrologici ed idrogeologici reperiti dai portali di ARPAV e Regione Veneto, i quali hanno fornito indicazioni sui regimi: termico, delle precipitazioni, delle portate fluviali e della falda nell'area oggetto di studio.

Questa fase è terminata con la redazione di un modello idrogeologico concettuale unitario, valido per l'acquifero freatico di Alta Pianura, il quale rappresenta un passaggio fondamentale per poter successivamente eseguire un modello numerico. L'implementazione di un modello numerico di flusso e la realizzazione di una simulazione allo stato stazionario in grado di riprodurre con buona approssimazione statistica i valori di carico idraulico medio relativi al periodo 1999-2013, confermano l'esistenza dei molteplici fattori che concorrono all'alimentazione dell'acquifero freatico dell'Alta pianura.

In particolare si conferma che un ruolo preponderante è dovuto all'interazione tra le acque superficiali e quelle sotterranee: la dispersione dei fiumi è essenziale per alimentare l'acquifero e l'elaborazione dei dati di portata ha messo in luce che il fiume a carattere più marcatamente disperdente è il Brenta.

Una conseguenza dei risultati ottenuti potrebbe essere quella di adottare, a livello regionale di gestione delle acque sotterranee, un approccio che tenga in considerazione l'interdipendenza dei due sistemi (fiumi – falda).

La conoscenza dei processi responsabili dell'alimentazione della falda deve essere tuttavia approfondita al fine di salvaguardare la risorsa idrica, così importante per l'approvvigionamento di tutta la Regione.

Il modello di flusso presentato potrà essere in un secondo momento integrato qualora si venga in possesso di nuovi dati, potrà essere usato per fini gestionali o per scopi ambientali oppure potrà essere utilizzato come base per l'implementazione di modelli di trasporto in falda di ipotetici contaminanti.

Bibliografia

ANDERSON M.P. & WOESSNER W.W (1992) *“Applied Groundwater Modeling – Simulation of flow and advective transport”*, San Diego, Calif., Academic Press, 381 p.

ANTONELLI R., BARBIERI G., DAL PIAZ G.V, DAL PRÀ A., DE ZANCHE V., GRANDESSO P., MIETTO P., SEDEA R., ZANFERRARI A. (1990) *“Carta Geologica del Veneto scala 1:250.000”*, Regione del Veneto, SELCA, Firenze.

ARPAV (2008) *“Le acque sotterranee della Pianura Veneta, i risultati del progetto SAMPAS”*.

ARPAV (2008) *“Modello idrogeologico degli acquiferi dell’Alto Padovano”* 2° rapporto tecnico, 30 Settembre 2008.

BONDESAN A. & MENEGHEL M. (2014) *“Geomorfologia della Provincia di Venezia”* Esedra Editrice, Padova, p 516.

BULLO P. & DAL PRÀ A. (1994) *“Lo sfruttamento ad uso acquedottistico delle acque sotterranee dell’Alta pianura alluvionale Veneta”*, Geologica Romana p. 371 – 380, Roma 1994.

C.N.R, Regione Veneto, ULSS n. 5, ULSS n.19 (1988) *“Difesa degli acquiferi dell’alta pianura veneta – stato d’inquinamento e vulnerabilità delle acque sotterranee del bacino del F. Brenta”* Venezia 1988.

CAMBRUZZI T, CONCHETTO E., FABBRI P. ZANGHERI P., MARCOLONGO E., ROSIGNOLI A (2010) *“Risorse idriche e bilancio*

idrogeologico nell'ambito territoriale ottimale Laguna di Venezia” 191 p.. Venezia 2010,

D'ALPAOS L. & DAL PRÀ A. (1978) “*Indagini sperimentali sull'alimentazione delle falde idriche nell'Alta pianura alluvionale del Piave.*” Atti del XVI Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche, Torino, Settembre 1978.

DAL PRÀ A. (1971) “*Risultati preliminari di ricerche idrogeologiche nella pianura alluvionale tra Astico e Brenta*”. *Tecnica Italiana*, 36, 9-10, Trieste.

DAL PRÀ A. & ANTONELLI R. (1980) “*Restituzione freatica ai fontanili nell'Alta pianura Veneta, tra il fiume Piave e i monti Lessini*”, Quaderni CNR-IRSA 51 (I), Roma, 1980.

DAL PRÀ A. (1983) “*Carta idrogeologica dell'Alta Pianura Veneta*”. C.N.R., MPI, Grafiche Erredici, Padova.

FONTANA A., MOZZI P., BONDESAN A. (2008) “*Alluvial megafans in the Venetian Friulan Plain: Evidence of sedimentary and erosive phases during Late Pleistocene and Holocene*”, *Quaternary International*, 189 (2008), p. 71 – 90.

FONTANA A., MOZZI P., BONDESAN A. (2010) “*Late Pleistocene Evolution of the Venetian - Friulan Plain*”, *Rendiconti Lincei* 21 (1), p. 181 – 196.

HARBAUGH A.W., BANTA E.R., HILL M.C., MCDONALD G. (2000) “*MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey modular ground-water model – User Guide to modularization concepts and the ground-water flow process*” U.S. Geological Survey, Open – File Report 00 – 92.

MCDONALD M.G. & HARBAUGH A.W (2003). “*The history of MODFLOW. Ground Water*”. 41, no. 2: 280-283.

POLA M., RICCIATO A., FANTONI R., FABBRI P., ZAMPIERI D. (2014) “*Architecture of the western margin of the North Adriatic foreland: the Schio-Vicenza fault system*” Ital. J. Geosci., vol. 133 n° 2, p. 223-234.

PROGETTO TRUST (2009) “*Acqua in cassaforte: una sperimentazione sulla ricarica artificiale della falda nel bacino del Piave*”.

TOMASINO M. ZANCHETTIN D., TRAVERSO P. (2004) “*Long-range forecasts of River Po discharges based on predictable solar activity and a fuzzy neural network model*” Hydrogeological Sciences Journal, 49, 4, p. 673 – 684.

ZAMPIERI D. (2005) “*Elementi di Geologia*” in Castiglioni B. (a cura di), Montello, 3KCL - Karstic Cultural Landscapes. Architecture of a unique relationship people/territory, Museo di Storia Naturale e Archeologia, Montebelluna, 21-25, 2005.

ZANNIN A. & BATTAGION P. (1999) “*Sperimentazione sui rapporti tra derivazioni e utilizzazioni nell’ambito dei fiumi Piave, Sile, Brenta e Laguna di Venezia*” Memoria presentata alla giornata mondiale dell’acqua, Roma 29 marzo 1999.

Sitologia

AUTORITÀ DI BACINO DEI F. ISONZO, TAGLIAMENTO, LIVENZA, PIAVE, BRENTA – BACCHIGLIONE, ADIGE (2010) “Piano di gestione dei bacini idrografici delle Alpi Orientali; valutazione globale provvisoria dei problemi di gestione delle acque”, http://www.alpiorientali.it/documenti/list_doc/.../Valutaz_Globale_Prov.pdf

PORTALE ARPAV DATI AMBIENTALI: <http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali>

GEO - PORTALE REGIONE VENETO:
<http://www.regione.veneto.it/web/ambiente-e-territorio/geoportale>

Ringraziamenti

Questa, non lo nascondo, è la parte più piacevole da scrivere. Vale la pena laurearsi anche solo per fare i ringraziamenti e dedicarli a tutti coloro che hanno, in un modo o nell'altro, contribuito alla riuscita del mio traguardo.

Prof. Leonardo Piccinini, grazie per il tempo dedicatomi e per tutte le cose che ho imparato; il suo aiuto è stato davvero fondamentale e questo me lo ricorderò sempre.

Prof. Paolo Mozzi, grazie per aver accettato di aiutarmi nella parte riguardante le sezioni geologiche.

Prof. Paolo Fabbri, grazie per essersi prestato come lettore della tesi e soprattutto per aver firmato il mio primo 30 “padovano”!

Mamma, Papà, siete stati indispensabili sotto tutti i punti di vista, mi avete sempre spronato a dare il massimo e avete sempre creduto in me; vi voglio bene e non sarò mai come ringraziarvi abbastanza.

Federica, Guido, voi siete l'altra mia metà, quindi questa tesi è anche un po' vostra.

Mario, mi ha sopportato anche in quei momenti in cui io stessa non sarei stata in grado di farlo; sono felice di condividere con te i miei momenti migliori, spero sarà così sempre.

Zia Sabrina, Nonna Elena e Nonno Bortolino, siete la mia seconda famiglia, un esempio di amore e onestà da seguire.

Una battuta di un film famoso dice: “Non importa quanto dura sia, non ce la farai mai senza le tue amiche”. Vi ringrazio tutte, due in particolare, siete le migliori!

Grazie di cuore.