



Città
metropolitana
di Milano

Westfield

WESTFIELD MILAN S.p.a.
C.so Giacomo Matteotti, 10
20121 Milano

ACCORDO DI PROGRAMMA
(APPROVATO CON D.P.G.R. DEL 22.05.2009 N.5095)
PRIMO ATTO INTEGRATIVO
(APPROVATO CON D.P.G.R. DEL 29.03.2010 N.3148)

POTENZIAMENTO DELLA S.P. N.103
"ANTICA DI CASSANO"
1° LOTTO - 2° STRALCIO
TRATTA B

PROGETTO ESECUTIVO

TITOLO elaborato :			Cod. Elaborato:
STUDI E INDAGINI GEOLOGIA-IDROGEOLOGIA-GEOTECNICA Studio evoluzione livelli di falda			B.01.04
CODICE WM :			Scala:
WM-ERR-TB-00-RP-C-02004			
	Redatto	Controllato	Approvato
	FORMENTIN-ORTELLI- FUMAGALLI	FRANCANI	FRANCANI
			Data:
			Maggio 2015

Revisioni	Redatto	Controllato	Approvato	DATA:
A	FORMENTIN-ORTELLI- FUMAGALLI	FRANCANI	FRANCANI	VERIFICA - SETT. 2015
B	FORMENTIN-ORTELLI- FUMAGALLI	FRANCANI	FRANCANI	VERIFICA - APR. 2016
C				
D				

Progettazione :	<p>TETHYS</p>	Visto :	<p>errevia S.R.L. RICERCA VIABILITA' AMBIENTE</p> <p>Centro operativo: 20090 Trezzano S/N (MI), via Cristoforo Colombo n.23 Tel. 02-48400557 - Fax 02-48400429 - e-mail: info@errevia.com C.F. 01556460184 - P.IVA 12806130154</p>
-----------------	---------------	---------	--

Visto

WESTFIELD MILAN S.p.a.
C.so Giacomo Matteotti, 10
20121 Milano

.....

Visto

.....



Westfield Milan S.p.A.

Potenziamento della S.P. 103

Valutazione dell'evoluzione piezometrica nel lungo periodo

dicembre 2014

AMB-MI5/14/2

Redatto da

ing. Giovanni Formentin

ing. Angelo Ortelli

ing. Dario Fumagalli

Approvato da

prof. Vincenzo Francani



INDICE

1	INTRODUZIONE	7
2	FONTI DOCUMENTALI ED ATTIVITÀ DI CAMPO	9
2.1	Piani di Governo del Territorio	12
2.1.1	Inquadramento generale delle aree di studio.....	13
2.1.2	Scenari evolutivi e strategie di Piano.....	14
2.1.3	Dati demografici ed evoluzione temporale della popolazione.....	15
2.1.4	Aspetti geologici, idrogeologici ed idrologici.....	17
2.2	Programma di Tutela ed Uso delle Acque	20
2.3	Geoportale della Regione Lombardia	21
2.4	Consorzio Villoresi	22
2.5	Sistema Informativo Ambientale della Provincia di Milano	24
2.6	ARPA	25
2.7	ISTAT	27
2.8	Rilievo piezometrico	28
2.9	Prove di portata	30
3	RICOSTRUZIONE IDROGEOLOGICA E MODELLO CONCETTUALE	36
3.1	Inquadramento geografico e geomorfologico	36
3.2	Inquadramento geologico	36
3.3	Struttura idrogeologica	37
3.4	Variabili di interesse	39
3.4.1	Prelievi.....	39
3.4.2	Ricarica meteorica	42
3.4.3	Ricarica da irrigazione	44
3.4.4	Perdite da reti sotterranee	45
3.5	Evoluzione dei livelli piezometrici	46
3.5.1	Dettaglio nell'area di studio	47
4	MODELLO MATEMATICO DI FLUSSO	59
4.1	Costruzione	59
4.1.1	Griglia e discretizzazione verticale	59
4.1.2	Condizioni ai limiti del modello	62
4.1.3	Canali irrigui e fiume Lambro	63
4.1.4	Ricarica.....	64
4.1.5	Pozzi	67



4.1.6	Conducibilità idraulica.....	69
4.2	Calibrazione del modello	70
4.2.1	Procedura di calibrazione utilizzata.....	70
4.2.2	Risultato della calibrazione.....	72
5	METODOLOGIA DI LAVORO ED IMPOSTAZIONE DEGLI SCENARI	75
5.1	Applicazione del metodo Monte Carlo	75
5.2	Assunzioni di base sulle variabili di ingresso	78
5.2.1	Definizione probabilistica della ricarica superficiale	78
5.2.2	Assunzioni circa l'evoluzione dei prelievi	80
5.2.3	Escursione annuale dei livelli di falda	86
6	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI.....	91
6.1	Interferenza delle opere sotterranee.....	91
6.2	Scenari di evoluzione nel lungo periodo	95
6.2.1	Impostazioni di base degli scenari.....	95
6.2.2	Scenario 1	96
6.2.3	Scenario 2	100
6.2.4	Ulteriori scenari di valutazione	104
6.2.5	Confronto tra i risultati degli scenari	107
7	CONCLUSIONI	111
	BIBLIOGRAFIA.....	113

ALLEGATO: Impatti dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche nell'area di Pioltello e Segrate



INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Inquadramento generale dell'area di studio.	11
Figura 2 – Reticolo idrografico del Comune di Cernusco sul Naviglio.....	14
Figura 3 – Popolazione residente nel comune di Segrate.	16
Figura 4 – Popolazione di Segrate ai censimenti e nel 2008.	16
Figura 5 – Rappresentazione grafica delle previsioni lineari dell'andamento della popolazione nei prossimi 10 anni.	17
Figura 6 – Andamento della soggiacenza in alcuni pozzi e piezometri ubicati in Segrate.	19
Figura 7 – Distribuzione delle precipitazioni media mensili nel comune di Rodano.....	19
Figura 8 – Bacino 3 Adda–Ticino ed i relativi 24 settori in cui è stato suddiviso.	20
Figura 9 – Rappresentazione di alcune informazioni estratte dal GeoPortale della Regione Lombardia: reticolo idrografico, fontanili attivi e corpi idrici superficiali.	22
Figura 10 –Martesana e subcompensori del Villoresi nell'area di interesse	23
Figura 11 – Ubicazione di pozzi (cerchi) e piezometri (rettangoli) nell'area di interesse, distinti tra pubblici (giallo) e privati (azzurro), come risulta dal SIA della Provincia di Milano.	25
Figura 12 – Ubicazione delle stazioni meteorologiche in prossimità dell'area interessata dal tracciato stradale.....	27
Figura 13 – Piezometria ricostruita con i dati della campagna di monitoraggio piezometrico di giugno 2014.....	29
Figura 14 – Ubicazione dei campi prova.	31
Figura 15 – Campo prova nord. In primo piano il pozzo attrezzato, in secondo piano il piezometro di monitoraggio. Entrambe le opere sono state attrezzate con strumenti di rilevazione automatica e manuale.....	32
Figura 16 – Scarico delle acque emunte in adacquatrice privata.	32
Figura 17 – Abbassamenti registrati nel piezometro MW14.2	34
Figura 18 – Abbassamenti registrati nel piezometro MW14.1.....	34
Figura 19 – Carta piezometrica della falda freatica nella Provincia di Milano.	40
Figura 20 – Andamento dei livelli di soggiacenza media nella stazione Comasina – Milano negli anni 1920 – 2010 (Fonte: Rilievi MM).	41
Figura 21 – Istogramma delle precipitazioni annue nel periodo 1917 – 2014 (dicembre), registrate nella stazione di Milano Lambrate.	43
Figura 22 – Andamento della popolazione residente a Milano (Fonte: Airoidi 1970).....	48
Figura 23 – Variazione dei pompaggi dei pozzi dell'acquedotto di Milano e del numero degli abitanti della città (Fonte: Bonomi, 1997)	48



Figura 24 – Andamento dei livelli della falda superficiale a Milano e dei prelievi dai pozzi dell'acquedotto di Milano (Fonte: Beretta, 1998)	49
Figura 25 – Andamento dei pompaggi da pozzi privati e dei livelli di falda nel periodo 1979–1996 (Fonte: Bonomi, 1997)	50
Figura 26 – Andamento della soggiacenza della falda superficiale nel pozzo 0151461313 di Milano nel periodo 1982–2007 (Fonte: CNR–IRSA, 2005)	50
Figura 27– Andamento dei livelli di falda rilevati nel comune di Segrate (Fonte: Relazione Tecnica Geologica allegata al P.G.T. del Comune di Segrate).	51
Figura 28 – Indicazione delle differenti variazioni dei livelli di falda: il segmento rosso rappresenta la massima escursione stagionale mentre il segmento verde segnala la massima escursione di lungo periodo.	53
Figura 29 – Ubicazione dei punti di monitoraggio ubicati nell'area di interesse (Fonte: SIA Provincia di Milano)	53
Figura 30 – Grafico dell'andamento del delta tra il livello massimo e quello medio dei livelli piezometrici annui rilevati nei piezometri (cerchi) e pozzi (quadrati) ubicati nell'area del comune di Cernusco sul Naviglio.	54
Figura 31 – Grafico dell'andamento del delta tra il livello massimo e quello medio dei livelli piezometrici annui rilevati nei piezometri (cerchi) e pozzi (quadrati) ubicati nell'area del comune di Pioltello.	55
Figura 32 – Andamento del delta tra il livello massimo e quello medio dei livelli piezometrici annui rilevati nei piezometri e pozzi ubicati nell'area del comune di Segrate.	55
Figura 33 – Andamento del delta tra il livello massimo e quello medio dei livelli piezometrici annui rilevati nei piezometri e pozzi ubicati nei comuni di Cernusco sul Naviglio, Pioltello e Segrate.	57
Figura 34 – Grafico dei valori massimo, medio e minimo calcolati sull'insieme dei valori di "Delta" tra livello piezometrico massimo e medio riferiti ai piezometri ubicati in ciascuno dei tre comuni esaminati.	58
Figura 35 – Carte piezometriche della falda superficiale relative ai rilievi piezometrici effettuati a Marzo e Settembre 2013 (Fonte SIA Provincia di Milano).....	58
Figura 36 – Dominio del modello di flusso e griglia di discretizzazione orizzontale.....	61
Figura 37 – Discretizzazione verticale del modello lungo una sezione N–S.	62
Figura 38 – Condizioni al contorno (2° layer): in rosso il Canale Villoresi (a nord); a sud i tre differenti tratti della Martesana distinti in base alla differente natura del fondo alveo. In verde il fiume Lambro, in blu le condizioni di carico costante.	64
Figura 39 – Classificazione aree per uso del suolo	66
Figura 40 – Pozzi presenti nel 2° layer	68
Figura 41 – Pozzi presenti nel 4° layer	68



Figura 42 – Ricostruzione livello aquitard.....	70
Figura 43 – Pilot points inseriti in layer 2 (acquifero TrA) per la stima della conducibilità idraulica. I due punti nell’ovale costituiscono i valori ricavati dalle prove di portata.	72
Figura 44 – Piezometria simulata nell'acquifero TrA e scarti residui nei target del modello.	74
Figura 45 – Schema di lavoro adottato.....	78
Figura 46 – Distribuzione di frequenza della ricarica meteorica stimata.	80
Figura 47 – Elaborazione grafica dei dati previsionali forniti da ISTAT circa l'incremento atteso della popolazione della Regione Lombardia.....	82
Figura 48 – Evoluzione della popolazione residente in Lombardia nel periodo 1982–2011 (dati ISTAT).	82
Figura 49 – Evoluzione della popolazione residente nel comune di Segrate nel periodo 1982–2011 (dati ISTAT).	83
Figura 50 – Evoluzione della popolazione residente nel comune di Pioltello nel periodo 1982–2011 (dati ISTAT).	83
Figura 51 – Evoluzione della popolazione residente nel comune di Cernusco sul Naviglio nel periodo 1982–2011 (dati ISTAT).	84
Figura 52 – Prelievi pubblici nel Comune di Milano (1976 – 2006)	85
Figura 53 – Prelievi privati nel Comune di Milano (1986 – 2006).	86
Figura 54 – Rappresentazione spaziale dell'interpolazione dei valori medi delle oscillazioni stagionali dei livelli acquiferi calcolati per ciascun punto di monitoraggio.....	88
Figura 55 – Istogramma di frequenza dei valori storici di ΔH misurati nel pozzo n. 6 di Pioltello	89
Figura 56 – Test di normalità per i valori storici di ΔH misurati nel pozzo n. 6 di Pioltello.....	89
Figura 57 – Interpolazione dei valori di deviazione standard dei ΔH storici misurati in pozzi e piezometri nell'area di studio	90
Figura 58 – Raffittimento della maglia di calcolo in pianta. Le dimensioni delle celle variano tra 100X100 metri e 10X10 metri.	92
Figura 59 – Ubicazione dei punti di osservazione per la valutazione dell'interferenza delle opere sotterranee. Le linee blu indicano riga 155 e colonna 147 del modello raffittito.	93
Figura 60 – Sezione ovest–est rappresentativa dell'influenza delle opere sotterranee sul livello di falda.	93
Figura 61 – Sezione nord–sud rappresentativa dell'influenza delle opere sotterranee sul livello di falda.	94
Figura 62 – Sezione nord–sud rappresentativa del livello di falda indisturbato	94
Figura 63 – Posizione dei punti di osservazione in corrispondenza dei quali sono state valutate le probabilità di eccedenza dei livelli piezometrici.....	96



Figura 64 – Scenario 1 – Curve di frequenza cumulata per i punti di osservazione o1, o2, o3 ..	97
Figura 65 – Scenario 1 – Curve di frequenza cumulata per i punti di osservazione o4, o5, o6. .	98
Figura 66 – Scenario 1 – Interpolazione dei livelli piezometrici corrispondenti ad una probabilità di non eccedenza pari a 0,9.....	99
Figura 67 – Scenario 1 – Soggiacenza corrispondente ad una probabilità di non eccedenza pari a 0,1.....	100
Figura 68 – Scenario 2 – Curve di frequenza cumulata per i punti di osservazione o1, o2, o3	101
Figura 69 – Scenario 2 – Curve di frequenza cumulata per i punti di osservazione o4, o5, o6.	102
Figura 70 – Scenario 2 – Interpolazione dei livelli piezometrici corrispondenti ad una probabilità di non eccedenza pari a 0,9.....	103
Figura 71 – Scenario 2 – Soggiacenza corrispondente ad una probabilità di non eccedenza pari a 0,1	104
Figura 72 – Scenario 3-E – Piezometria simulata	107
Figura 73 – Curve di frequenza cumulata per i livelli piezometrici misurati e simulati in corrispondenza del pozzo n. 6 in Pioltello.....	108
Figura 74 – Piezometrie ricostruite sulla base di una probabilità di non eccedenza pari a 0,9 – Confronto tra Scenario 1 e Scenario 2.....	109



1 INTRODUZIONE

Il presente documento descrive lo studio svolto al fine di definire la possibile evoluzione dei livelli piezometrici nell'area di interesse della strada "Potenziamento della S.P. 103".

Poiché il livello della falda è funzione di numerose variabili sia naturali che antropiche, l'incarico comporta la necessità di descrivere quali possono essere le dinamiche di sviluppo di tali variabili (quali clima, utilizzo del suolo, sviluppo demografico ed industriale) nei prossimi 50 anni. L'elevata incertezza con cui tale previsione può essere svolta ha portato ad approcciare il problema utilizzando degli scenari di tipo probabilistico: rispetto a scenari deterministici (cioè scenari di tipo "what if" o "worst case"), tale metodo consente di descrivere l'incertezza delle variabili di partenza all'interno dei risultati. In questo modo, al progettista è consentito di operare una scelta più informata potendo decidere, su di una curva continua, quale probabilità di non superamento è la più compatibile con l'opera. Viceversa, uno scenario di tipo "worst case" comporta il rischio di eccedere in precauzione senza valutare né la probabilità di avvenimento, né la probabilità di eccedenza.

L'adozione dell'approccio probabilistico necessita comunque di formulare delle assunzioni circa l'evoluzione delle variabili di interesse. A tal fine, una corposa fase di raccolta ed analisi di dati ed informazioni disponibili circa l'evoluzione climatica e lo sviluppo del territorio e delle attività antropiche viene descritta in **Capitolo 2**.

Sono state poi raccolte le informazioni disponibili sulla struttura idrogeologica e le proprietà dell'acquifero nell'area di interesse. Due prove di portata svolte lungo il tracciato stradale hanno integrato il set di dati (**Capitolo 3**).

Il modello concettuale della circolazione idrica sotterranea nell'area vasta in cui insiste il tracciato in progetto, è stato tradotto in modello matematico alle differenze finite, descritto in **Capitolo 4**.



La metodologia di lavoro e le assunzioni di base sulle variabili di interesse, descritte in **Capitolo 5**, hanno consentito di ottenere, come risultati principali, le curve di distribuzione cumulata di frequenza per i livelli piezometrici lungo il tracciato stradale, descritti in **Capitolo 6**.

Come descritto nelle conclusioni riportate in **Capitolo 7**, bisogna considerare che né l'approccio probabilistico, né quello deterministico consentono di vagliare tutte le possibili modifiche che il territorio può subire nel corso di un periodo di tempo di alcune decine di anni: nell'utilizzo del territorio oppure nell'utilizzo delle acque, magari determinate da fenomeni di cui oggi non si ha alcun indizio, potrebbero causare variazioni di livello piezometrico che, allo stato attuale, non sono in alcun modo prevedibili.



2 FONTI DOCUMENTALI ED ATTIVITÀ DI CAMPO

Al fine di effettuare le scelte e le valutazioni propedeutiche ad una corretta impostazione dello studio descritto, è stato svolto un approfondito lavoro di ricerca ed analisi documentale mirato ad individuare le fonti di informazioni e di dati più affidabili. La ricerca è avvenuta a vari livelli di dettaglio, partendo dalla ricerca di informazioni e dati strettamente connessi alle zone geografiche d'interesse, ampliando poi lo studio considerando anche l'area dell'intero bacino idrogeologico.

Oggetto d'attenzione specifica è il territorio dei comuni direttamente interessati dall'opera e quello dei comuni circostanti (Figura 1), in particolare di quelli ubicati a monte rispetto alla direzione di deflusso della falda.

In primo luogo la ricerca si è basata sull'analisi dei **Piani di Governo del Territorio (PGT)** dei Comuni interessati dall'opera oggetto di studio e quelli ad essi limitrofi. Il PGT è uno strumento urbanistico - e non solo - introdotto in Lombardia dalla Legge Regionale n.12 dell'11 marzo 2005. Dei contenuti dei PGT risultano particolarmente utili le relazioni e gli studi geologici che corredano ciascun Piano, in cui vengono presentati dati e informazioni relativi alla geologia, l'idrogeologia ed altri parametri di interesse riferiti all'area del comune in esame. Oltre ai PGT dei comuni di Segrate e Pioltello, sono stati esaminati anche quelli di Cernusco sul Naviglio, Vimodrone e Cologno Monzese, ubicati a nord di essi. Tale scelta si deve al fatto che alcuni dei parametri idrogeologici che regolano e influenzano il comportamento della falda acquifera, e più in generale il sistema acquifero, sono a loro volta condizionati da ciò che avviene a monte idrogeologico e ai bordi del dominio spaziale considerato nell'analisi. Anche per questo motivo è stato inoltre esaminato il **Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA)**, redatto dalla Regione Lombardia, il quale, come si può leggere nella Prefazione dello stesso, “[..] *rende disponibile e organizza le informazioni sui dati ambientali relativi ai bacini idrografici e alle risorse idriche, consentendo la diffusione della conoscenza in materia [..]*”.

Parallelamente a questa analisi documentale si è provveduto alla raccolta dei dati, riportati spesso solo in forma descrittiva nei documenti appena citati, attingendo da diverse fonti quelli funzionali alle elaborazioni necessarie per il presente studio.



In primis è stata effettuata una raccolta di informazioni territoriali di vario genere, principalmente composta dalle basi geografiche di riferimento (cartografia tecnica) e da diverse basi informative tematiche (uso del suolo, reticolo idrografico, fontanili). Questi dati vengono elaborati dall'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale della Lombardia e sono resi disponibili all'utenza pubblica e privata presso il **GeoPortale della Regione Lombardia**.

Per la raccolta di informazioni di dettaglio relative ai canali irrigui presenti nell'area, è stato consultato l'archivio informativo ed il personale del **Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi** (ETVilloresi), ente pubblico in carico della gestione delle strutture necessarie all'irrigazione dei terreni agricoli nel comprensorio lombardo compreso tra il fiume Ticino, l'Adda, il Lambro ed il Po.

Una ulteriore preziosa fonte di informazioni e di dati è costituita dal **Sistema Informativo Ambientale** (SIA) della Provincia di Milano, archivio online in cui sono conservate le informazioni ed i dati relativi alla presenza e posizione di pozzi e piezometri all'interno della provincia, accompagnati da annesse informazioni stratigrafiche e litologiche, nonché i dati dei livelli di falda misurati nel tempo presso alcuni punti della rete complessiva e presso i punti di controllo delle cave presenti nel territorio.

Per quanto riguarda i dati meteo-climatici, le principali variabili d'interesse per l'area in esame sono state estratte dalla banca dati online di **ARPA Lombardia**, che rende pubblici i dati registrati dalla rete di monitoraggio meteorologico del Servizio Meteorologico Regionale. Sono così state acquisite tutte le informazioni necessarie alla stima dell'evapotraspirazione per le aree in esame, a cadenza giornaliera, in un intervallo temporale compreso a partire dal 2001 a oggi. Per estendere tale analisi ad un intervallo temporale più ampio, è stato consultato l'archivio della stazione meteorologica dell'aeroporto di Milano-Linate, riportante dati di pioggia a partire dal 1951, e gli annali idrologici contenenti i dati pluviometrici a partire dal 1917 per la stazione meteorologica di Lambrate.

Altri dati di notevole importanza sono stati individuati consultando le banche dati messe a disposizione dall'**Istituto Nazionale di Statistica** (ISTAT), in particolare per quanto riguarda l'evoluzione demografica nei singoli comuni.

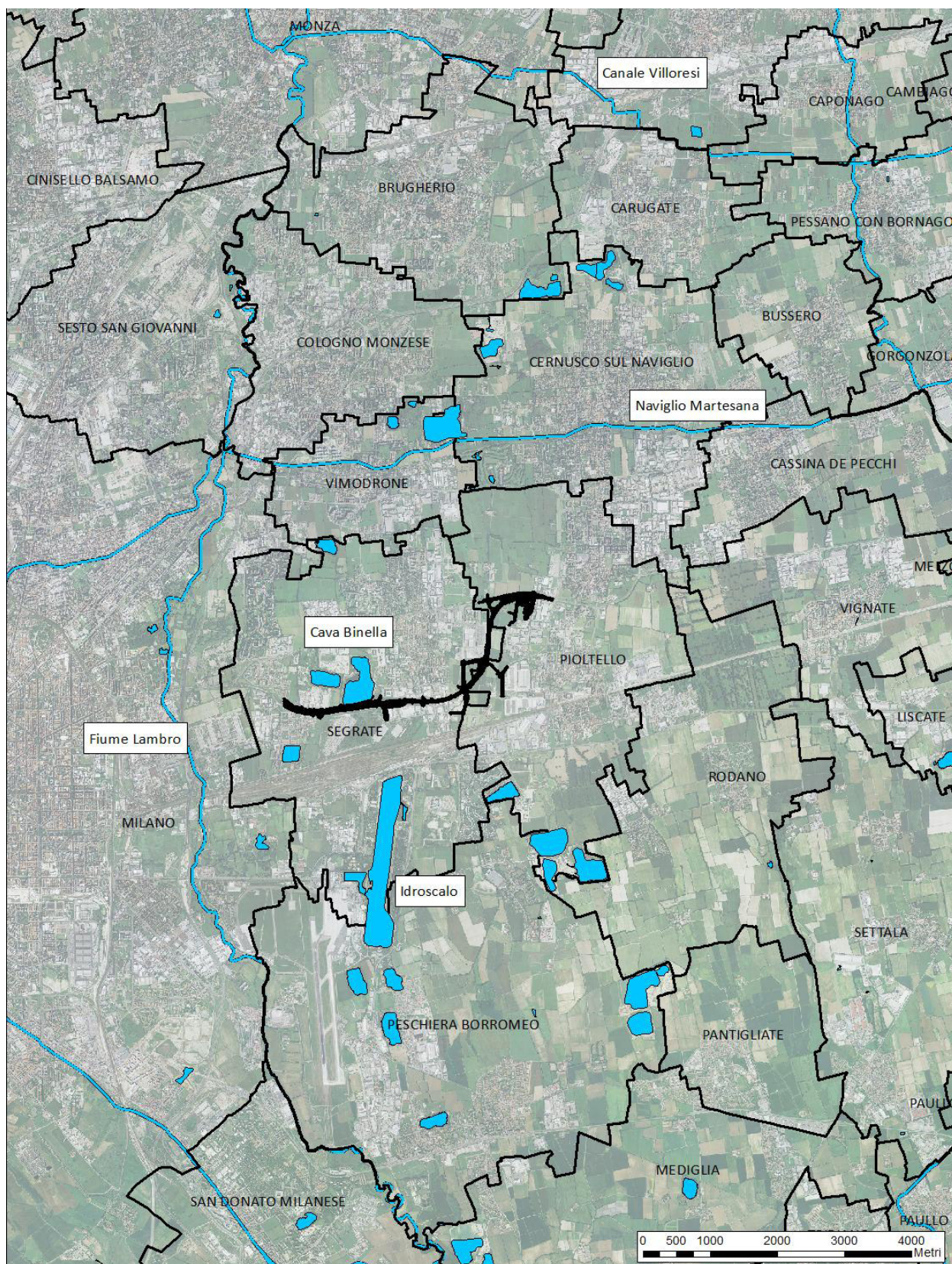


Figura 1 – Inquadramento generale dell'area di studio.



2.1 Piani di Governo del Territorio

Il PGT è uno strumento di pianificazione urbanistica redatto allo scopo di definire l'assetto dell'intero territorio comunale. È composto da tre atti diversi: il Documento di piano, il Piano dei servizi ed il Piano delle regole ed ha una validità di cinque anni, trascorsi i quali si dovrebbe procedere ad una verifica delle realizzazioni e ad eventuali correzioni. In ciascuno dei tre documenti che compongono il PGT è stato possibile reperire numerose informazioni utili a comprendere diversi aspetti che caratterizzano il territorio e la popolazione dei comuni oggetti dello studio. I documenti che compongono i PGT sono così articolati:

Documento di piano: definisce il quadro generale della programmazione urbanistica anche in base a proposte avanzate dai cittadini o da associazioni di cittadini; ha inoltre lo scopo di definire e pianificare lo sviluppo della popolazione residente nel comune e deve prevedere un lavoro di analisi del territorio comunale da tutti i punti di vista, compresi quello geologico, ambientale, urbanistico, viabilistico, infrastrutturale, economico, sociale e culturale. Questo documento deve anche evidenziare eventuali beni storici o ambientali di particolare interesse di cui tener conto nel corso della programmazione urbanistica. Il documento di piano si configura quindi come primo atto nella stesura del PGT;

Piano dei servizi: definisce le strutture pubbliche o di pubblico interesse di cui il comune necessita. Deve pertanto tenere conto della popolazione residente nel comune o che gravita in esso, così come di quella prevista in futuro dal Documento di piano. Il Piano dei servizi prende in considerazione anche i costi operativi delle strutture pubbliche già esistenti ed i costi di realizzazione di quelle previste, analizzando la loro fattibilità e definendo la modalità di realizzazione dei servizi. Le aree identificate come di pubblico interesse danno luogo ad indicazioni di tipo prescrittivo e vincolante per cinque anni dall'entrata in vigore del PGT, indicazioni che decadono qualora il servizio non sia inserito entro questo termine nel programma triennale delle opere pubbliche;

Piano delle regole: definisce la destinazione delle aree del territorio comunale, così come accadeva nel vecchio Piano Regolatore Generale. In particolare vengono individuate le aree destinate all'agricoltura, quelle di interesse paesaggistico, storico o ambientale e quelle per cui



non è prevista nessuna trasformazione urbanistica. Il Piano delle regole definisce anche le modalità degli interventi urbanistici, sia sugli edifici esistenti che su quelli di nuova realizzazione, stabilendo quanto costruire, come costruire e quali sono le destinazioni non ammissibili.

Di seguito si riportano alcuni degli elementi di maggiore interesse individuati all'interno dei PGT esaminati.

2.1.1 Inquadramento generale delle aree di studio

I comuni dell'area in esame sono connotati da un contesto fortemente urbanizzato la cui evoluzione, in particolare per il Comune di Segrate, è strettamente connessa alle funzioni ed all'espansione del Comune di Milano. Tale espansione è stata comunque ostacolata da una "barriera" costituita dal Parco Agricolo Sud, dall'Aeroporto di Linate, l'Idroscalo e il Parco Forlanini; queste realtà hanno impedito la saldatura di Milano con l'abitato di Segrate. Nel territorio dei comuni esaminati sono comunque presenti piccoli insediamenti a carattere agricolo e aree destinate a verde, eredità storica di aree un tempo caratterizzate da una marcata vocazione agricola. L'ambiente in cui insistono i comuni dell'area in esame si caratterizza anche per la presenza di diverse aree di cava, in larga parte dismesse e soggette a recupero ambientale. Tale peculiarità del territorio ha dato vita al Progetto del Parco delle Cave e all'ipotesi di connettere attraverso corridoi verdi realtà dedicate alla preservazione e alla valorizzazione del verde pubblico quali ad esempio: il Parco della Martesana, il Parco della Molgora, il Parco delle Cascine, il Bosco della Besozza ed altri. A completare il quadro delle aree verdi, a sud-ovest dell'area di studio vi è la presenza dei già citati Idroscalo e Parco Forlanini. L'idrografia superficiale dell'area è caratterizzata dalla presenza di due corsi d'acqua principali: il fiume Lambro, che scorre da Nord a Sud definendo un "limite" occidentale rispetto all'area di interesse ed il Naviglio della Martesana, con direzione di deflusso grossomodo est-ovest, che rappresenta un "limite" a settentrione. Sono inoltre presenti numerose vie d'acqua secondarie, quali ad esempio le rogge ed i canali di irrigazione, alcune di esse in passato alimentate anche da fontanili (vedi ad esempio Figura 2).

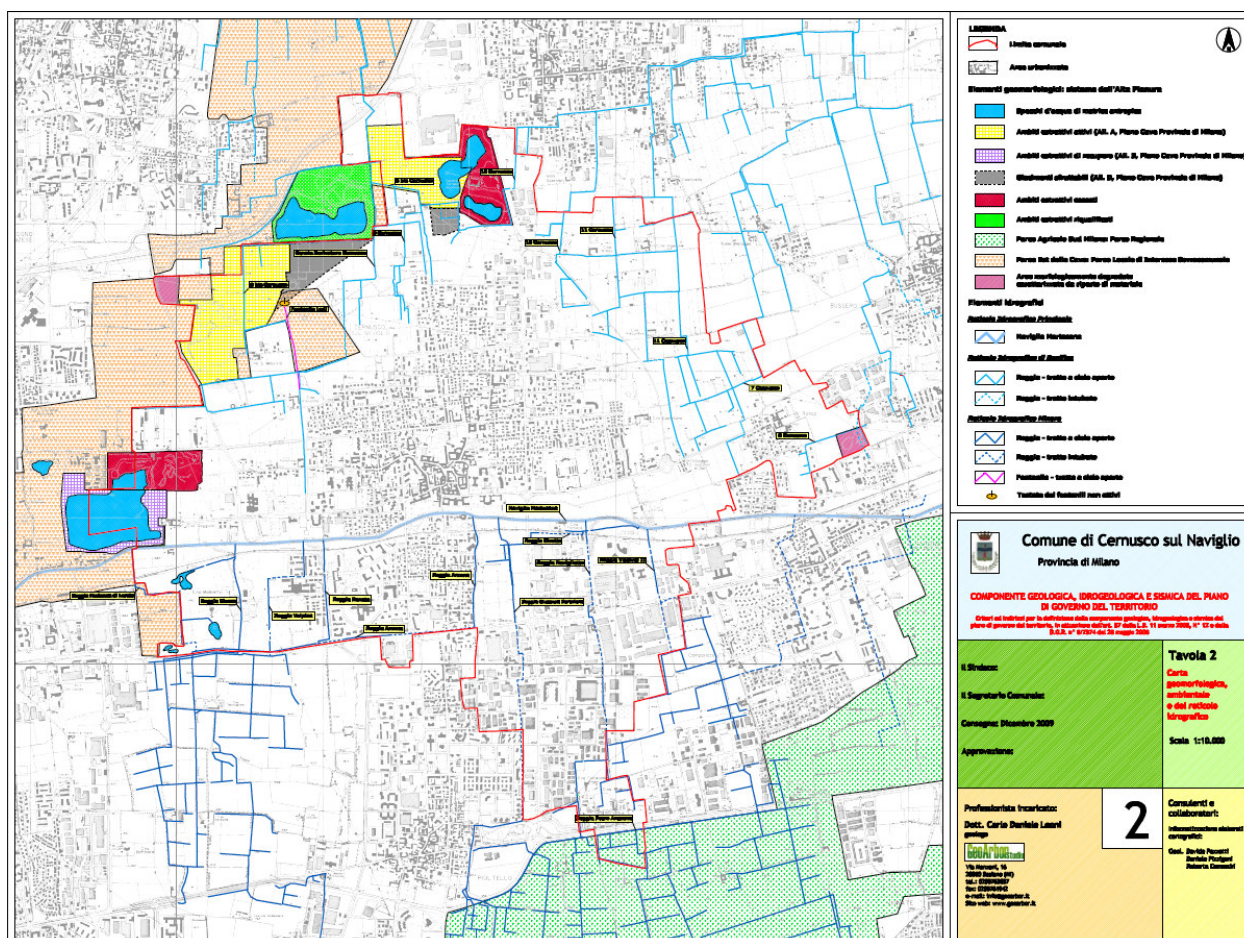


Figura 2 – Reticolo idrografico del Comune di Cernusco sul Naviglio.

2.1.2 Scenari evolutivi e strategie di Piano

Gli aspetti connessi al futuro sviluppo urbanistico dei comuni e alle politiche di utilizzo del territorio sono di cruciale importanza ai fini del lavoro, consentono infatti di identificare gli elementi su cui basare le previsioni circa il futuro utilizzo del suolo. L'individuazione di linee di indirizzo circa la futura trasformazione del territorio agevola il processo di previsione dell'evoluzione futura di alcuni parametri che possono influenzare, anche significativamente, le grandezze che governano l'evoluzione dei livelli di falda. Tra questi parametri si possono citare ad esempio: la permeabilità dei suoli, le irrigazioni, l'infiltrazione efficace delle piogge. Dall'analisi dei PGT sono emerse delle strategie e degli scenari evolutivi che tendono ad assumere come denominatore comune quello di uno sviluppo urbanistico che contenga il



consumo di suolo, favorendo politiche di recupero e trasformazione di aree già urbanizzate, attraverso la riqualificazione del tessuto edilizio esistente. Nonostante tale dichiarazione d'intenti, è comunque previsto nel breve periodo un incremento delle aree urbanizzate, anche a scapito di aree attualmente permeabili non urbanizzate. Sono difatti in atto nuove realizzazioni edilizie basate su progetti, già approvati e in corso di attuazione, spesso riconducibili a pianificazioni passate antecedenti ai PGT in vigore. In questi casi i PGT prevedono, come strumento di compensazione, la realizzazione di nuove aree permeabili destinate a verde pubblico. Un altro elemento che accomuna i Piani esaminati è dato dalla volontà di preservare e, in alcuni casi, rafforzare le realtà agricole esistenti. Le superfici delle aree destinate all'agricoltura, così come il numero delle aziende agricole in attività, sono diminuite nel corso degli ultimi anni. Le realtà agricole costituiscono comunque una importante eredità del passato recente che a lungo ha caratterizzato il paesaggio e l'utilizzo del territorio; vi è quindi l'interesse e l'intenzione da parte delle amministrazioni di preservarle per il futuro, recuperandone e valorizzandone in alcuni casi le funzionalità (es. Parco delle Cascine di Pioltello).

2.1.3 Dati demografici ed evoluzione temporale della popolazione

L'informazione relativa all'evoluzione della popolazione residente in un determinato comune nel tempo costituisce un indicatore per effettuare una stima, seppure indiretta, dell'evoluzione dei consumi idrici nel tempo. I consumi idrici sono a loro volta indicativi dei prelievi a scopo potabile dalla falda, effettuati tramite la rete di pozzi a servizio dell'acquedotto. Per questa ragione il dato relativo all'evoluzione della popolazione residente negli ultimi anni fornisce un utile indicatore della tendenza alla crescita, alla decrescita o alla stabilità, dei consumi di acqua. I dati contenuti nei PGT sono quindi funzionali alla valutazione dell'andamento dei consumi negli ultimi anni ed allo stesso tempo consentono di effettuare una stima degli scenari futuri. Dalle indicazioni rinvenute nei PGT (vedi ad esempio le Figura 3 e Figura 4 tratte dal PGT del Comune di Segrate) si rileva che negli ultimi anni la popolazione residente nei comuni di interesse non ha subito variazioni di rilievo, mostrando un andamento pressoché stabile e stazionario. In diversi comuni dal 2000 al 2008 si è registrato un leggero calo della

popolazione residente, ma nel corso degli ultimi due - tre anni il trend si è verosimilmente invertito con una leggera crescita degli abitanti.

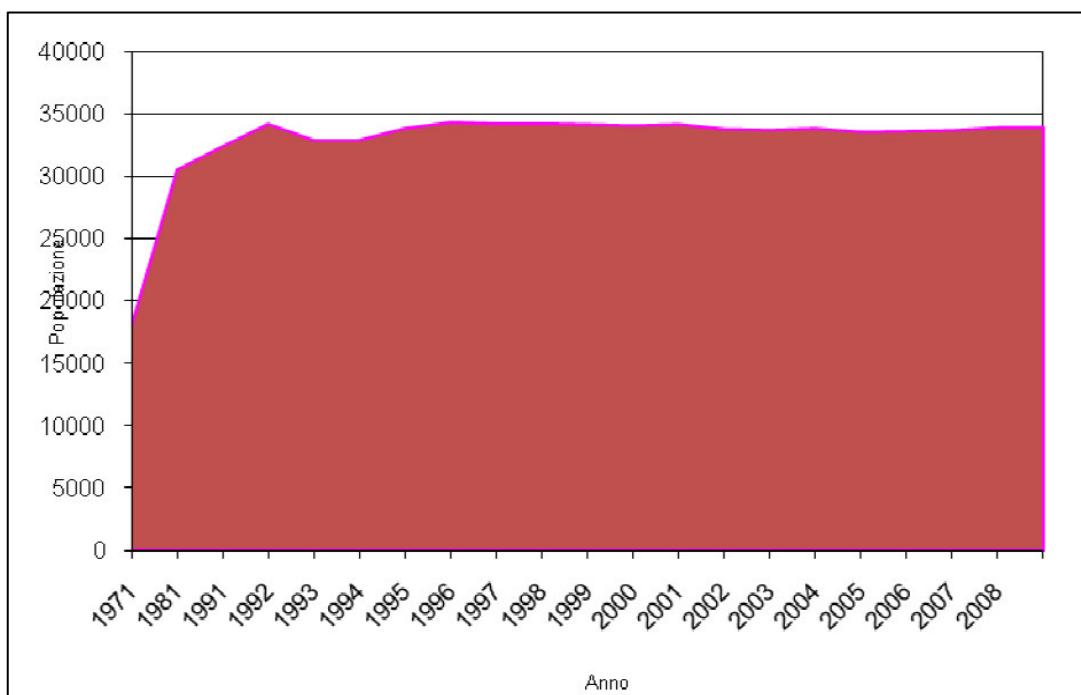


Figura 3 - Popolazione residente nel comune di Segrate.

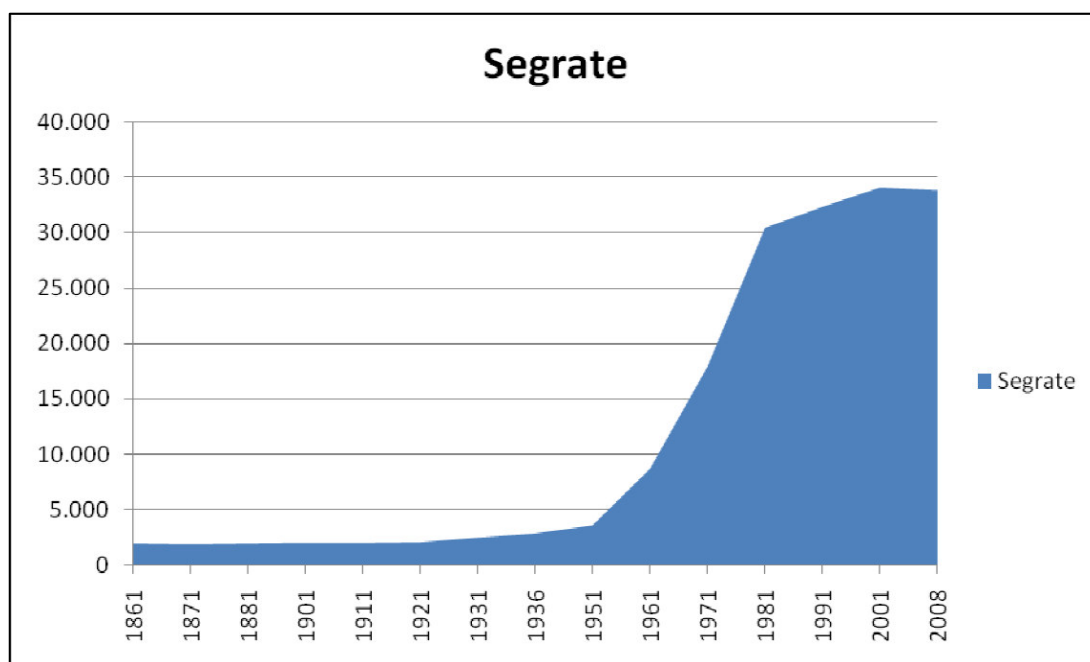


Figura 4 - Popolazione di Segrate ai censimenti e nel 2008.

Per quanto riguarda la stima dell'evoluzione futura della popolazione residente, alcune informazioni sono desumibili dai PGT esaminati. In alcuni casi, come quello del Comune di Cologno Monzese, nei Piani sono riportate delle vere e proprie previsioni sul breve-medio periodo (vedi Figura 5 tratta dal PGT del Comune di Cologno Monzese). Ad ogni modo per avere delle stime proiettate su un orizzonte di medio-lungo periodo, come quello considerato per lo studio oggetto del lavoro, sono state utilizzate le previsioni sviluppate da ISTAT.

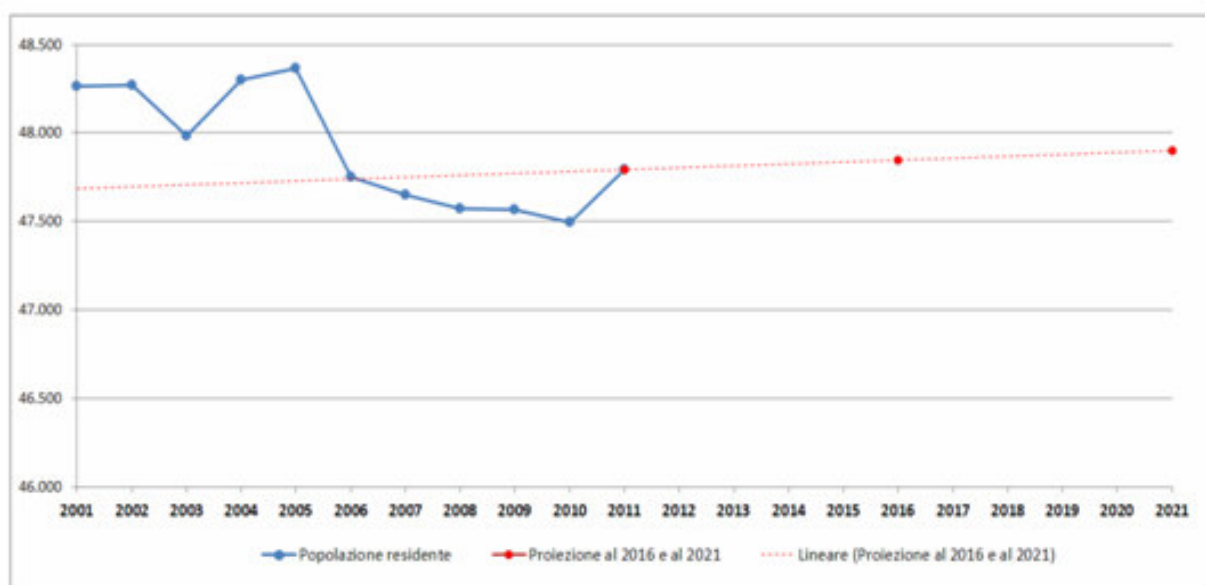


Figura 5 – Rappresentazione grafica delle previsioni lineari dell'andamento della popolazione nei prossimi 10 anni.

2.1.4 Aspetti geologici, idrogeologici ed idrologici

Allegate ai Piani vi sono Relazioni tecniche inerenti gli aspetti geologici che caratterizzano le aree di ciascun Comune. In questi documenti sono esaminate le componenti geologica, idrogeologica e sismica del territorio e sono riportati dati inerenti altri importanti aspetti quali ad esempio l'idrologia e le caratteristiche climatologiche dell'area, le acque superficiali e l'uso del suolo. Dalla lettura delle relazioni tecniche sono state quindi individuate informazioni relative ai seguenti parametri:



- geologia: informazioni stratigrafiche e litologiche;
- idrogeologia: carte piezometriche, andamento nel tempo dei livelli piezometrici, valori di permeabilità;
- idrologia e aspetti climatici: temperature medie, massime e minime, precipitazioni medie e indicazione dei mesi mediamente più piovosi e dei meno piovosi;
- acque superficiali: indicazione dei principali corsi d'acqua, dei reticoli idrografici minori e dei periodi in cui le rogge e i canali sono utilizzati per l'irrigazione dei campi agricoli.

I dati così reperiti sono stati utili per integrare o confermare le informazioni già individuate da altre fonti, permettendo di acquisire un quadro informativo sito-specifico e dettagliato per tutta l'area oggetto dello studio. A titolo di esempio sono riportate di seguito due grafici tratti dal documento *“Componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio ai sensi della l.r. 12/2005 e secondo i criteri della d.g.r. n. 8/7374/08”* allegata al PGT del Comune di Segrate che riportano l'andamento temporale della soggiacenza della falda e le precipitazione medie mensili.

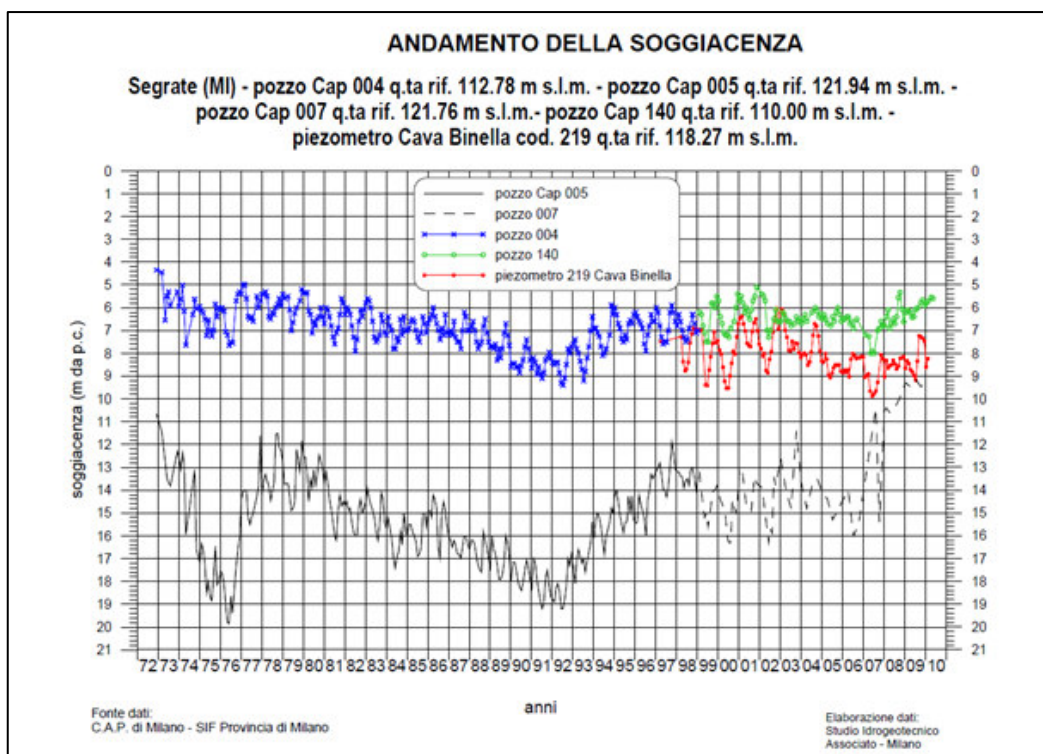


Figura 6 – Andamento della soggiacenza in alcuni pozzi e piezometri ubicati in Segrate.

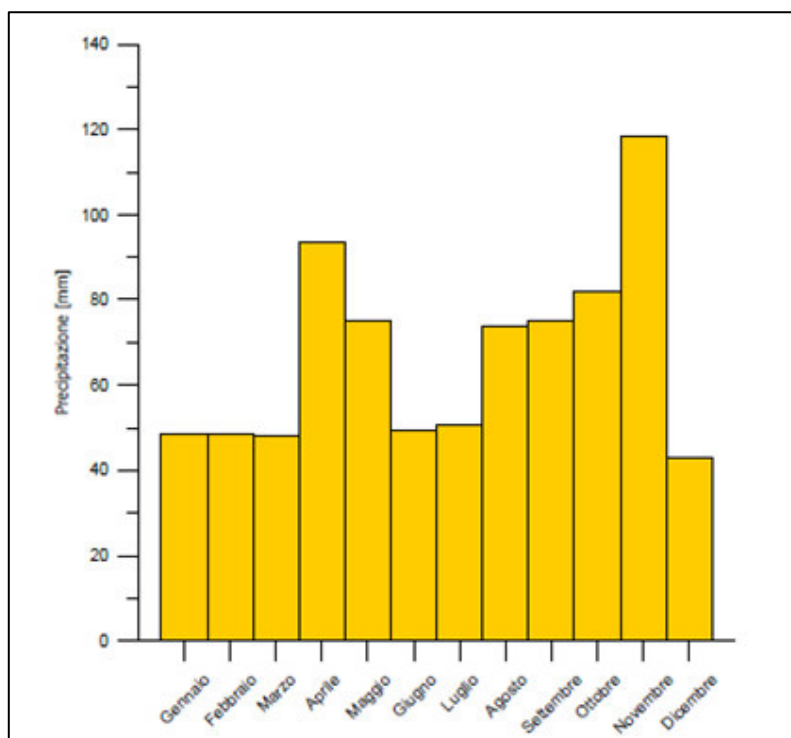


Figura 7 – Distribuzione delle precipitazioni media mensili nel comune di Rodano.

2.2 Programma di Tutela ed Uso delle Acque

Nel documento del Programma di tutela ed uso delle acque (PTUA) sono contenute numerose informazioni circa le acque superficiali e sotterranee che caratterizzano i diversi bacini in cui è suddiviso il territorio della Regione Lombardia. L'area di interesse ai fini dello studio è inserita nel bacino racchiuso tra i fiumi Ticino e Adda, denominato per l'appunto "Bacino Adda - Ticino". L'area del Bacino è a sua volta suddivisa in 24 sotto-bacini; i comuni oggetto dello studio ricadono nei sotto-bacini 18 e 14 (vedi Figura 8 tratta dall'Allegato 3 al PTUA).

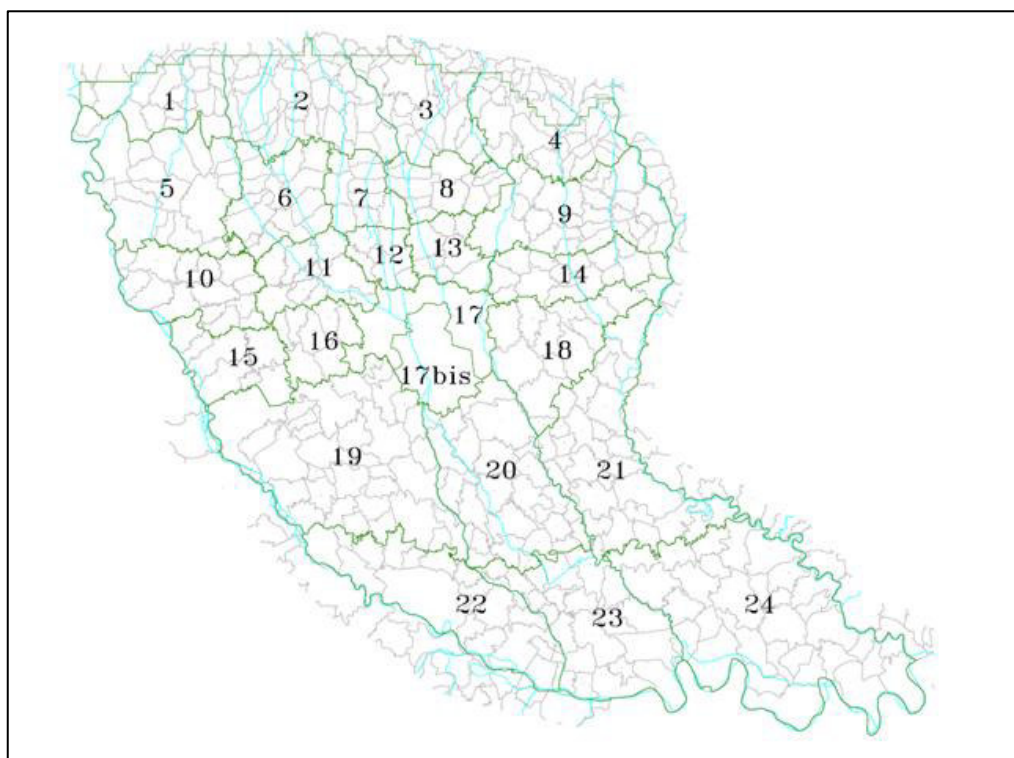


Figura 8 – Bacino 3 Adda-Ticino ed i relativi 24 settori in cui è stato suddiviso.

Nel PTUA sono quindi contenuti dati ed elaborazioni che forniscono elementi sia qualitativi sia quantitativi dello stato della risorsa idrica sotterranea. In particolare sono stimati i valori di prelievo idrico da pozzo e di ricarica sia per l'intero bacino sia per ciascuno dei sotto-bacini. Sono inoltre fornite indicazioni per quanto riguarda le diverse voci del bilancio idrico, specificando per ciascun settore l'influenza di ciascuna di esse. Ulteriori informazioni



riguardano l'assetto degli acquiferi e la loro caratterizzazione idrogeologica (spessori, valori di trasmissività, ecc.). Sono evidenziate anche le aree in cui si verificano degli squilibri nel bilancio idrico, in particolare dove i prelievi risultano molto superiori rispetto alla ricarica; tale aspetto non coinvolge tuttavia i due sotto-bacini di interesse che risultano infatti in classe quantitativa A (rapporto prelievi/ricarica pari a circa 0,5). Sia per il sotto-bacino 14 sia per il 18 è invece sottolineato l'incremento dei livelli di falda riscontrato negli ultimi anni, attribuito in particolare alla riduzione dei prelievi da pozzo delle acque di falda. Tale effetto è particolarmente evidente nell'area del comune di Pioltello ed il fenomeno è messo in relazione alla riduzione delle attività del Polo industriale ivi presente.

2.3 Geoportale della Regione Lombardia

Il GeoPortale della Regione Lombardia è uno strumento di condivisione di informazioni di tipo geografico inerenti il territorio lombardo: fornisce on-line una serie di servizi per il pubblico, che includono un visualizzatore cartografico di informazioni spazialmente distribuite, un catalogo dei dati e dei servizi geografici realizzati in Lombardia ed un servizio di download, attraverso cui è possibile scaricare alcune banche dati. I contenuti ivi presenti sono quelli raccolti da diversi enti ed organizzazioni facenti parte dell'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale della Lombardia che si occupa della condivisione.

Attraverso questo servizio è stato possibile consultare e raccogliere una serie di carte geografiche e tematiche, alla base di diverse elaborazioni presentate nel seguito. Le informazioni raccolte, sotto forma di dati vettoriali adatti all'utilizzo con strumenti di tipo GIS, sono le seguenti:

- carte tecniche regionali relative al reticolo idrografico regionale (principale e secondario);
- cartografia vettoriale dell'uso del suolo (DUSAF);
- cartografia vettoriale dei punti quotati del piano campagna;
- cartografia vettoriale della presenza e stato dei fontanili della Lombardia;
- cartografia vettoriale della presenza dei laghi di cava.

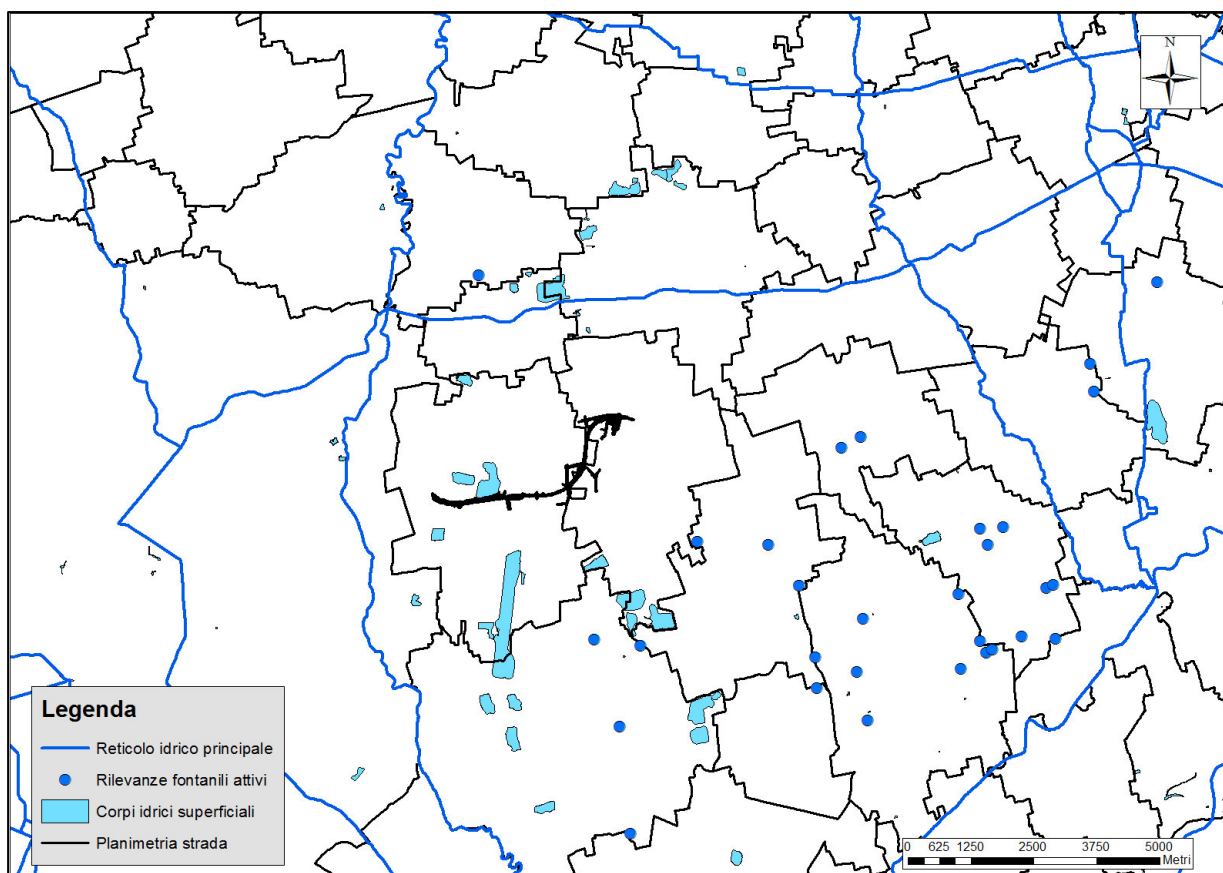


Figura 9 – Rappresentazione di alcune informazioni estratte dal GeoPortale della Regione Lombardia: reticolo idrografico, fontanili attivi e corpi idrici superficiali.

2.4 Consorzio Villoresi

Al fine della raccolta di informazioni precise inerenti i canali irrigui che potrebbero influenzare i livelli di falda nell'area interessata dall'opera in progetto, è stato consultato il Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi, ente gestore del comprensorio che include i terreni irrigati dal Canale Villoresi e quelli irrigati con le acque derivate dai Navigli Grande, Bereguardo, Pavese e Martesana. Il comprensorio amministrato ha una superficie complessiva pari a circa 280.000 ettari ed interessa una vasta area al centro della regione Lombardia, racchiusa da confini naturali formati dai corsi d'acqua Ticino, Adda, Lambro e Po. Di interesse per l'opera in progetto sono soprattutto il Naviglio Martesana, che corre parallelo alla strada Cassanese a 2 km di distanza a nord di essa ed il Canale Villoresi, disposto a circa 7 km a nord dell'opera.

Attraverso una ricerca documentale sono state raccolte una serie di informazioni di carattere generale circa i principali canali irrigui d'interesse, quali l'estensione fisica delle opere, la configurazione geometrica degli alvei, le portate transitanti e gli interventi di ristrutturazione previsti o realizzati. Per una caratterizzazione più completa della rete irrigua è stato contattato il personale tecnico-operativo del Consorzio, tramite cui è stato possibile ottenere carte tematiche riportanti la precisa definizione della distribuzione delle reti di irrigazione secondarie e private, le portate derivate e le aree di pertinenza di ciascuna derivazione (Figura 10). È stata inoltre fornita una stima della variazione delle portate transitanti nei diversi periodo dell'anno nei canali principali, oltre ad una carta tematica riportante la diversa natura dei rivestimenti dell'alveo e delle pareti per tutto il percorso del Villoresi e del Martesana.

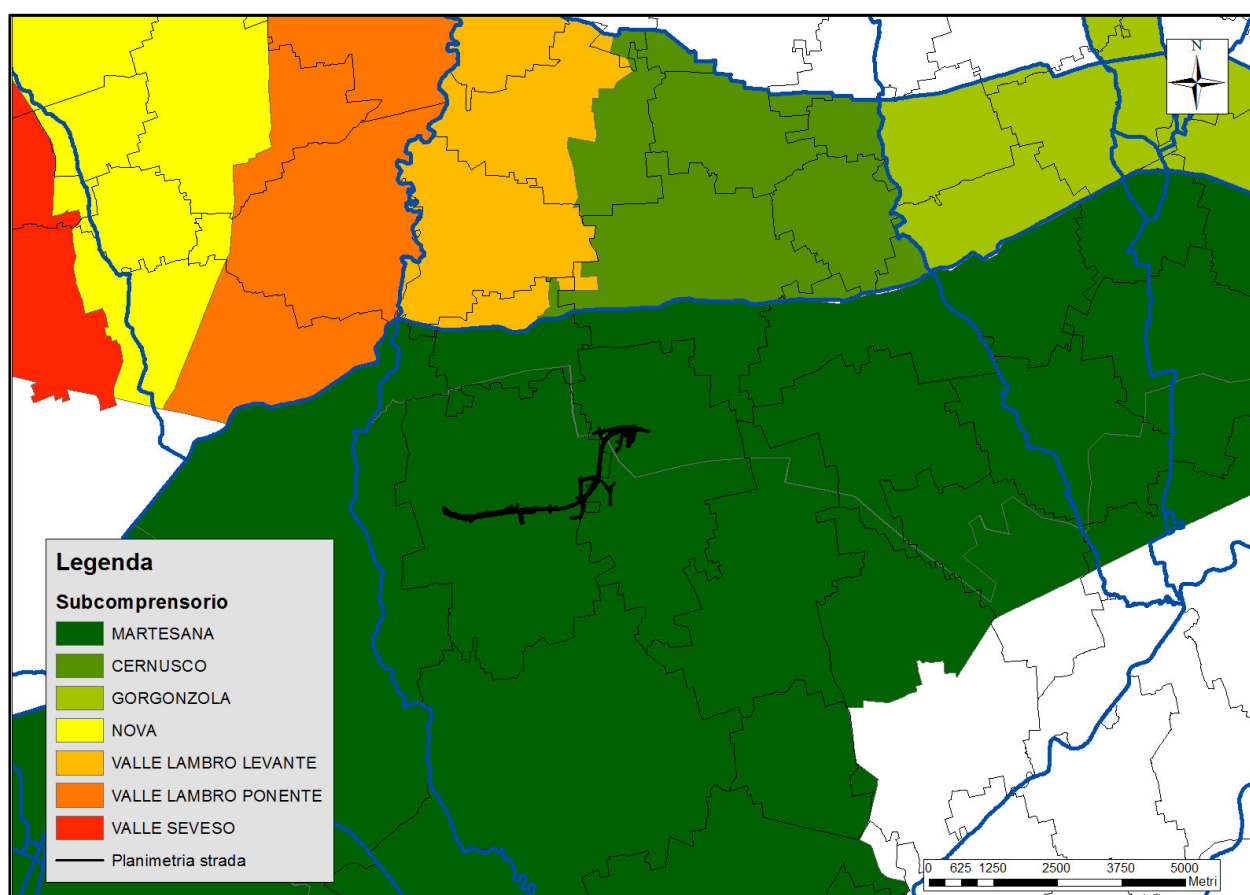


Figura 10 – Consorzio della Martesana e subcomprensori del Villoresi nell'area di interesse.



2.5 Sistema Informativo Ambientale della Provincia di Milano

Il SIA (Sistema Informativo Ambientale) è lo strumento, implementato utilizzando tecnologia Web-GIS, di cui si è dotata la Provincia di Milano per permettere la condivisione pubblica dei dati ambientali di varia natura all'interno del proprio territorio, con particolare indirizzo verso quelli inerenti le acque superficiali e sotterranee. Attraverso tale strumento è possibile estrarre ed elaborare dati di carattere ambientale, provenienti dagli archivi gestiti da Uffici della Provincia di Milano o da altri Enti, ed effettuare una rappresentazione spaziale dei dati in un sistema cartografico georeferenziato. Attraverso gli strumenti di catalogo e ricerca è quindi possibile navigare nel SIA, individuare gli archivi disponibili, le modalità di consultazione e acquisizione dei dati in essi contenuti ed i metadati associati. Nel corso del lavoro il database del SIA è stato consultato al fine di reperire diverse tipologie di dati (un esempio delle quali è mostrato in Figura 11):

- ubicazione dei pozzi e piezometri;
- distinzione di utilizzo dei pozzi (pubblici di servizio all'acquedotto, privati con vari utilizzi);
- stratigrafie di pozzi e piezometri;
- misure di livello piezometrico nel tempo;
- elaborazioni piezometriche a scala provinciale;
- livelli misurati presso le cave;
- cartografia del reticolo idrografico (principale, secondario, fontanili, rogge, etc.).

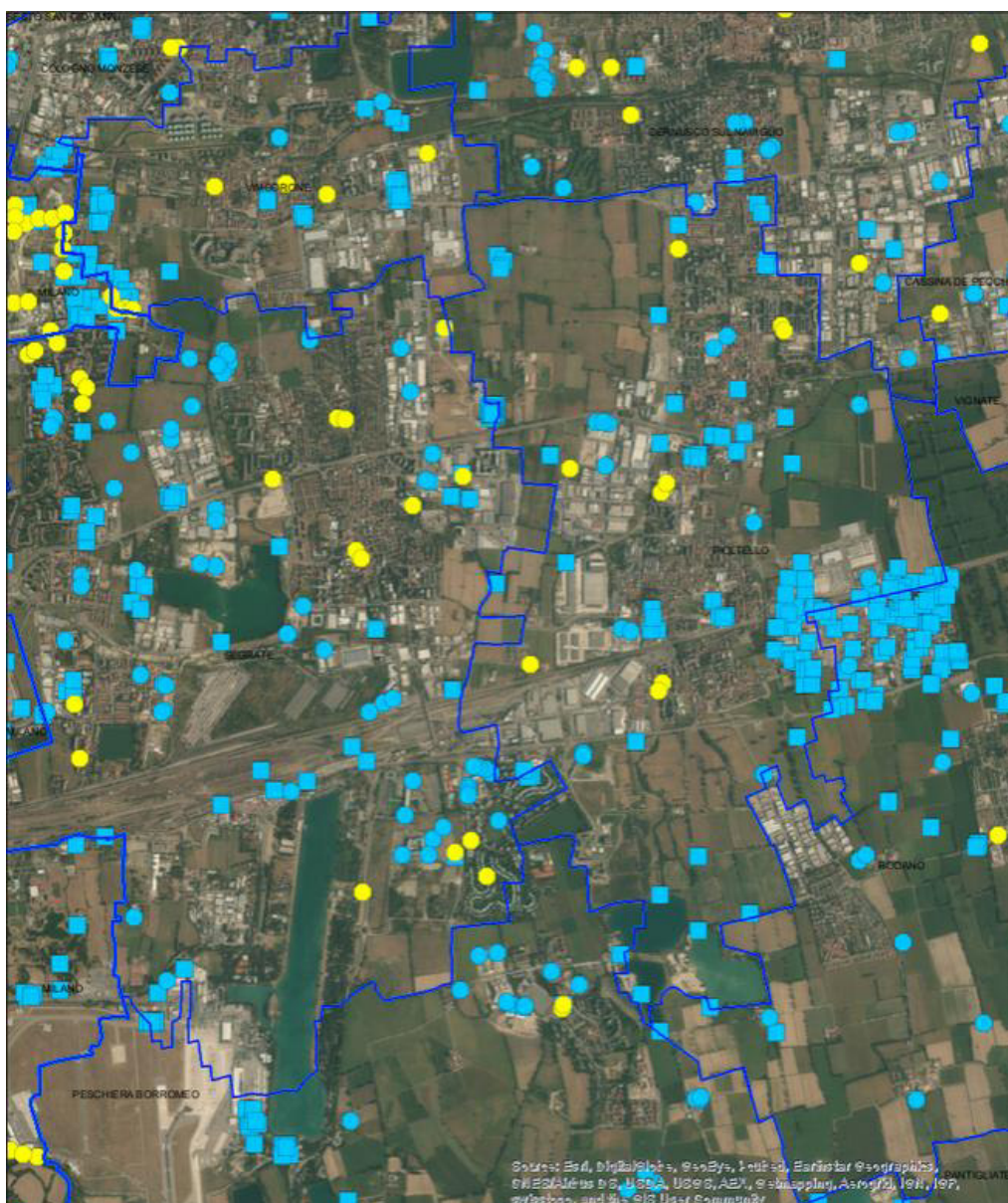


Figura 11 – Ubicazione di pozzi (cerchi) e piezometri (rettangoli) nell'area di interesse, distinti tra pubblici (giallo) e privati (azzurro), come risulta dal SIA della Provincia di Milano.

2.6 ARPA

ARPA Lombardia (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia) è un ente attivo dal 1° dicembre 1999 che svolge attività e servizi volti a supportare le scelte di politica ambientale delle istituzioni locali e, più in generale, di tutti gli enti pubblici che si occupano della gestione del territorio regionale. Più precisamente si occupa della raccolta e elaborazione



dei dati ambientali da fornire come supporto decisionale agli organi di governo e ai privati per la libera consultazione e utilizzo.

A partire dal 1 gennaio 2004, ARPA ha assorbito le competenze regionali in ambito meteorologico, fino ad allora distribuite tra vari Enti, dando vita al Servizio Meteorologico Regionale (SMR): attraverso la propria rete, costituita da 250 stazioni automatiche di misura operanti in tempo reale, distribuite sul territorio (nella Figura 12 vengono riportate le stazioni più vicine all'opera), è in grado di monitorare in continuo le variabili meteorologiche, elaborarle e archivarle all'interno del portale online, fruibile a tutti i cittadini. In particolare, l'archivio online permette l'accesso ai dati misurati delle seguenti grandezze:

- precipitazione
- temperatura
- pressione atmosferica
- velocità e direzione del vento
- umidità relativa
- radiazione globale
- radiazione netta

necessarie ai fini del calcolo dei valori di evapotraspirazione da sottrarre alle precipitazioni occorse, per la stima dei valori di ricarica meteorica.

Ai fini del presente elaborato sono state raccolte tutte le informazioni per ciascuna delle variabili a disposizione presenti per la stazione di Lambrate, a partire dal 2001 con cadenza giornaliera, integrando i dati mancanti attraverso le stazioni più vicine (Rodano e via Feltre) ed elaborandole secondo i criteri descritti nel Paragrafo 3.4.2.

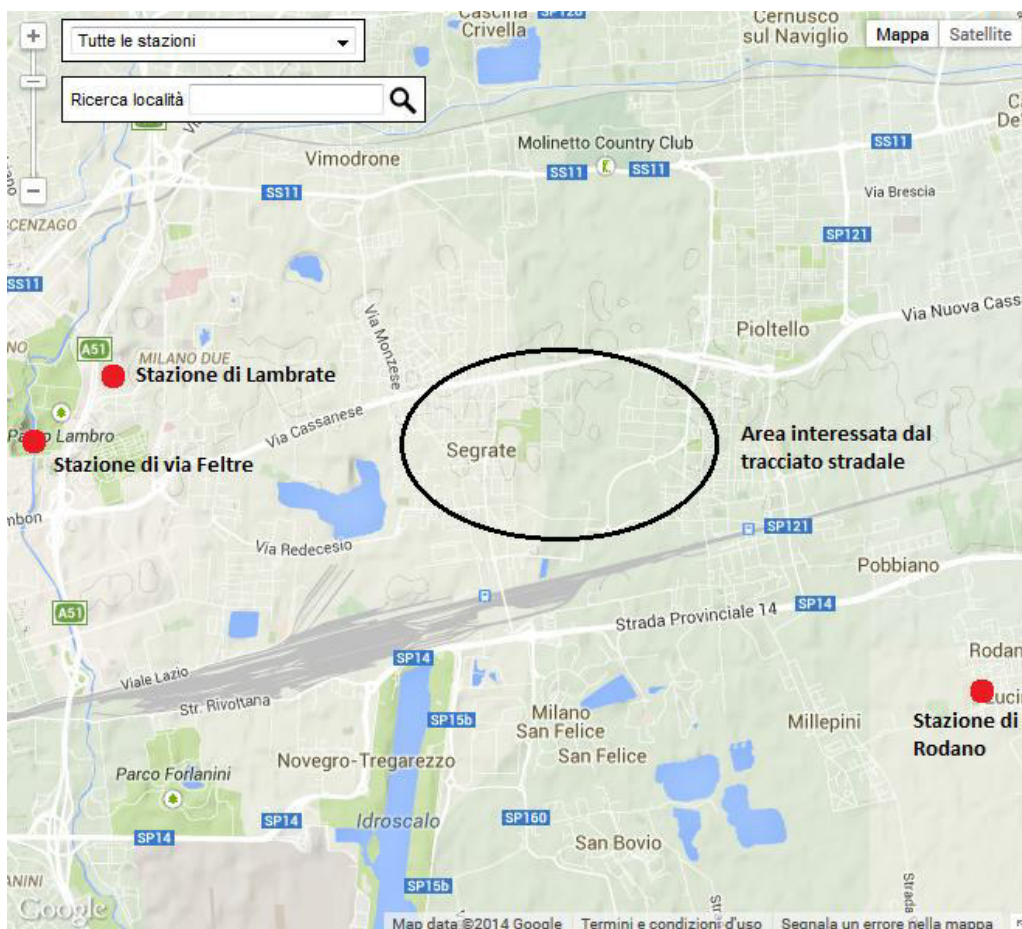


Figura 12 – Ubicazione delle stazioni meteorologiche in prossimità dell'area interessata dal tracciato stradale.

2.7 ISTAT

L'Istituto nazionale di statistica è un ente di ricerca pubblico. Presente nel Paese dal 1926, è il principale produttore di statistica ufficiale a supporto dei cittadini e dei decisori pubblici. L'Istat è l'amministrazione che contribuisce di più in termini di dataset rilasciati: è in sostanza il maggior produttore di open data in Italia. Anche per questa ragione, nel corso del lavoro è stato consultato il database dell'ISTAT al fine di ottenere conferme dei dati rinvenuti nei PGT circa l'evoluzione nel corso degli ultimi anni delle popolazioni dei comuni interessati dallo studio, ampliando in alcuni casi la serie storica dei dati disponibili. L'ISTAT ha anche effettuato una interessante previsione dell'evoluzione futura, relativa ai prossimi cinquanta anni, della



popolazione della Regione Lombardia; tale valutazione è stata presa in considerazione ai fini del presente lavoro nel capitolo 5.2.2.

2.8 Rilievo piezometrico

La Provincia di Milano esegue periodicamente delle campagne di misura dei livelli piezometrici su una rete di circa 350 pozzi e piezometri distribuiti nel proprio territorio. Le piezometrie ricostruite a partire da tali rilievi, disponibili per la consultazione presso il portale online, descrivono il deflusso idrico dell'acquifero tradizionale ad una scala sub-regionale. Per ricostruire con maggiore dettaglio la piezometria nell'area di interesse è stata condotta una campagna piezometrica ad hoc.

La campagna piezometrica, svolta nel giugno 2014, ha interessato 116 punti di misura, 25 dei quali sono piezometri della rete di controllo delle cave, i cui livelli sono stati estratti dal portale online SIA. Per alcuni dei punti cui si è provveduto ad effettuare il rilievo diretto del livello di falda, è stata effettuata in parallelo anche la battitura, tramite GPS, della quota di riferimento al fine di verificarne la correttezza.

La scelta della rete per il rilievo piezometrico è stata effettuata in modo da avere una distribuzione di punti più fitta nell'acquifero TrA, di maggiore interesse ai fini del presente elaborato, mentre i punti nell'acquifero TrB sono stati individuati con lo scopo principale di valutare la differenza di livello con punti limitrofi captanti l'acquifero superiore e quindi stimare il grado di separazione idraulica operato dall'aquitard che li separa.

L'elaborazione piezometrica risultate (Figura 13), effettuata utilizzando un approccio geostatistico con l'impiego del software ArcGIS 10.1 (Esri), interpolando i dati con il metodo del kriging, ha permesso di ricostruire la direzione di deflusso della falda dell'acquifero TrA e l'influenza di prelievi e corpi idrici superficiali.

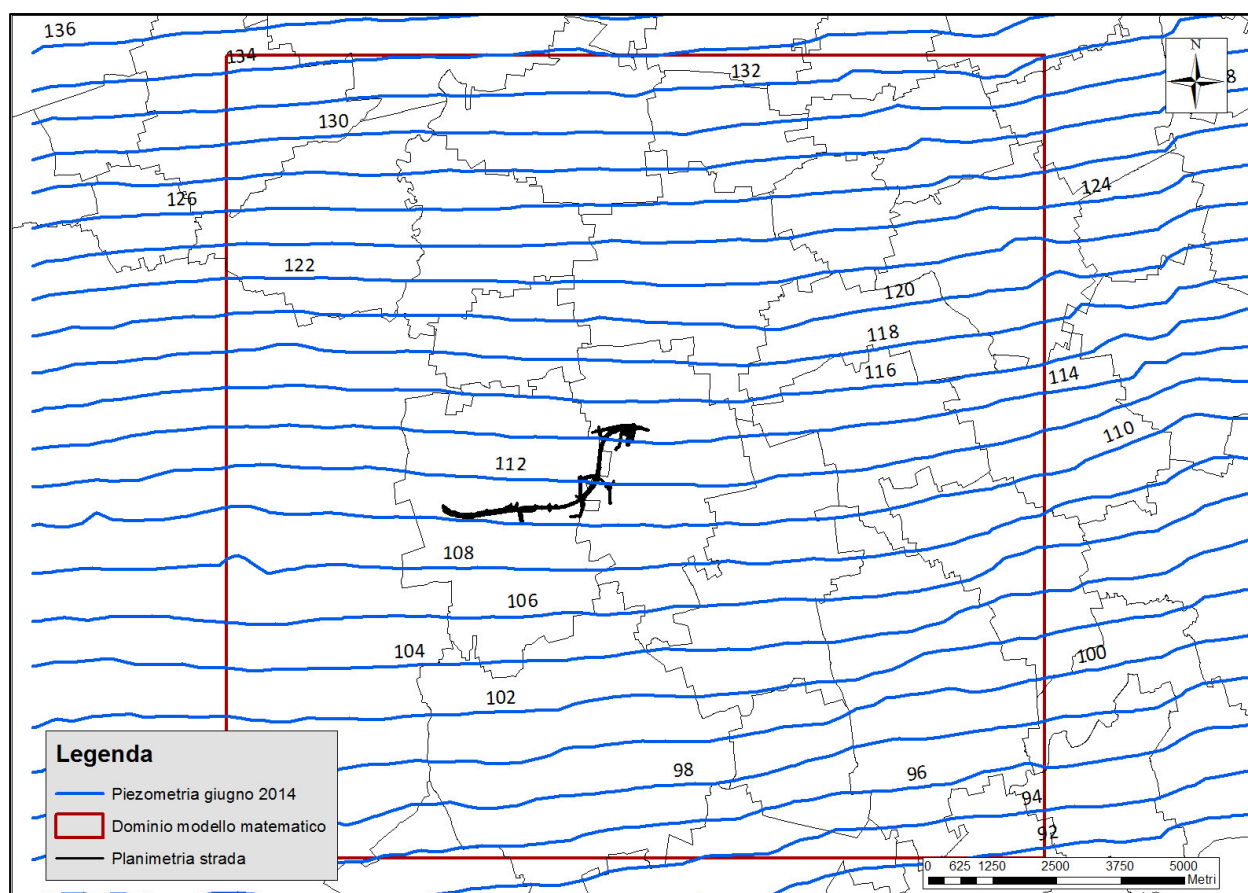


Figura 13 – Piezometria ricostruita con i dati della campagna di monitoraggio piezometrico di giugno 2014.

La direzione principale di deflusso è nord-sud in prossimità dei confini comunali di Milano, mentre più ad est, all'altezza dei comuni di Gorgonzola, Melzo, Liscate, tende ad assumere una direzione NNO-SSE. I carichi si attestano su valori di circa 133 m s.l.m. a sud dei comuni di Monza e Agrate Brianza, in corrispondenza del limite nord individuato dal dominio del modello matematico, fino a valori compresi tra 96 e 92 m s.l.m. a sud dei comuni di Peschiera Borromeo, Pantigliate e Settala. Il gradiente risulta uniforme su tutta l'area interessata dalla ricostruzione piezometrica, con un valore pari a circa lo 0,3%.



2.9 Prove di portata

Al fine di aumentare le conoscenze circa la struttura idrogeologica e le proprietà idrodinamiche nell'area, sono state eseguite due prove di portata presso due punti individuati nell'area interessata dal futuro tracciato stradale, al fine dell'acquisizione di informazioni di carattere idrogeologico necessarie allo svolgimento dei compiti richiesti. In particolare, la campagna di indagine descritta è stata funzionale alla verifica dei valori di conducibilità idraulica nei pressi dell'opera, fondamentali ai fini della corretta rappresentazione delle caratteristiche dell'acquifero nel modello matematico di flusso.

I test eseguiti prevedono che il pozzo venga mantenuto in emungimento a portata costante per tutta la durata della prova, durante la quale vengono monitorati in continuo gli abbassamenti in corso nel pozzo stesso e nei piezometri limitrofi. La ricostruzione delle curve di abbassamento nei piezometri di riferimento, in funzione del tempo trascorso dall'avvio della prova, permette di individuare il valore di conducibilità dell'acquifero nell'intorno del pozzo.

Nel caso in esame, le prove hanno interessato due campi prova, individuati nella Figura 14, ubicati rispettivamente nella porzione centrale e nella porzione settentrionale del futuro tracciato stradale. Ciascun campo è costituito dal pozzo di prova e da un piezometro di monitoraggio ubicato ad una distanza di 7 - 7,5 metri.

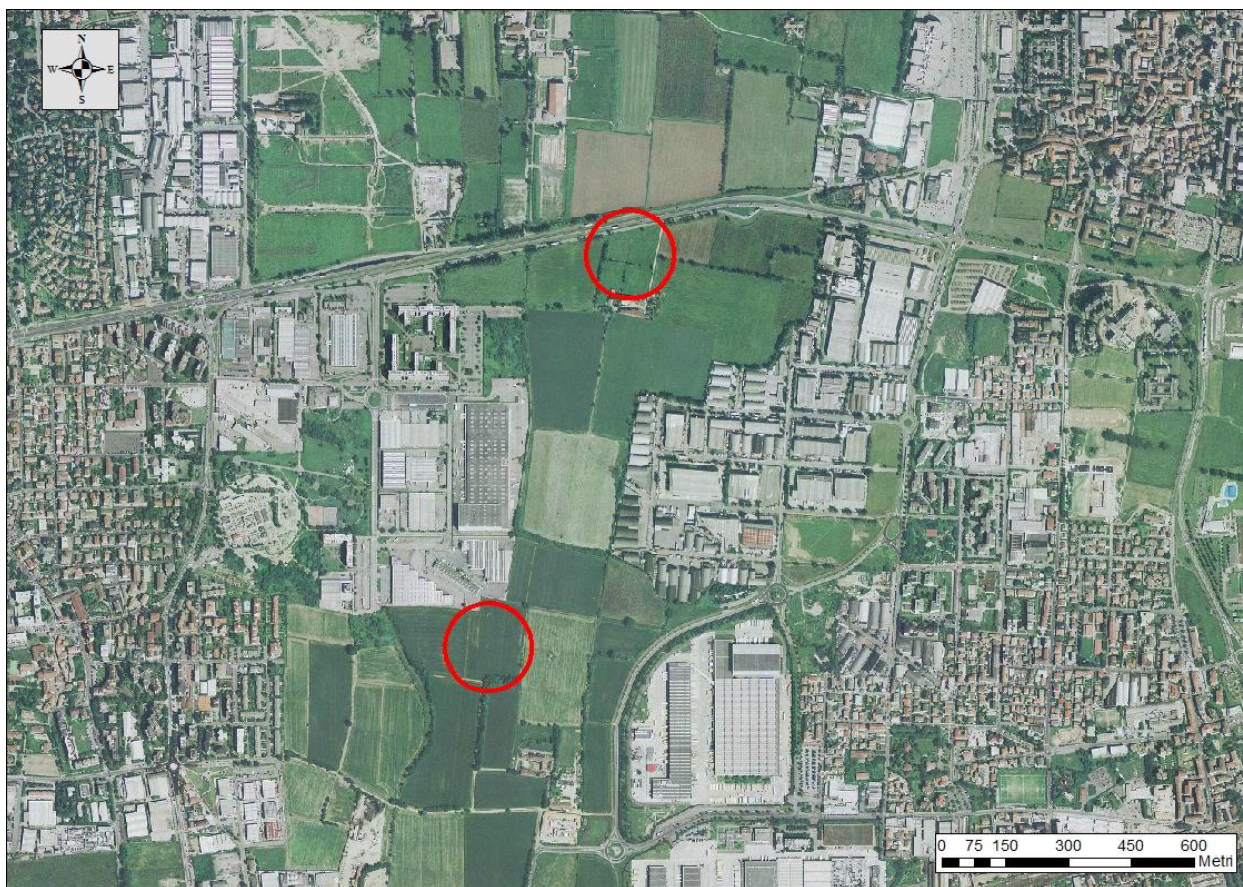


Figura 14 – Ubicazione dei campi prova.

Le prove di pompaggio (in Figura 15 il campo prova a nord) sono state condotte a portata costante, pari

- nel campo nord, a 10 l/s per una durata di circa 30 ore,
- nel campo sud, a 15 l/s per una durata di circa 45 ore.

La stabilità della portata emunta è stata verificata tramite un contaltri installato lungo la condotta di mandata. Al termine delle prove è stata monitorata la risalita fino al ripristino del livello iniziale, compatibilmente con le variazioni complessive della falda.

Le acque emunte sono state scaricate in adacquatrici private situate a breve distanza dai campi prova (Figura 16).



Figura 15 – Campo prova nord. In primo piano il pozzo attrezzato, in secondo piano il piezometro di monitoraggio. Entrambe le opere sono state attrezzate con strumenti di rilevazione automatica e manuale.



Figura 16 – Scarico delle acque emunte in adacquatrice privata.



Al termine della prova nel campo nord, sono stati registrati abbassamenti di 5,2 m nel pozzo WW14.2 e di 18 cm nel piezometro MW14.2. Nel campo sud, gli abbassamenti sono stati pari a 5,6 m nel pozzo WW14.1 e 34 cm nel piezometro MW14.1. In Figura 17 e Figura 18 sono riportati gli abbassamenti registrati nei due piezometri di monitoraggio.

Le prove di portata sono state interpretate sia analiticamente (tramite il metodo di Theis) che tramite il modello matematico. Quest'ultima modalità, basata sulla stima del valore di conducibilità idraulica tale da determinare gli abbassamenti osservati, consente una stima più accurata poiché supera le semplificazioni su cui sono basati i metodi grafici ed analitici.

Le stime per via analitica e per via modellistica hanno raggiunto valori simili (in Tabella 1 sono riportati i valori da modello), a conferma dell'attendibilità delle conducibilità stimate. I valori sono tipici di sabbie grossolane o di sabbie con ghiaia e si situano nella porzione inferiore dell'intervallo di conducibilità osservate per l'acquifero TrA nell'area in esame.

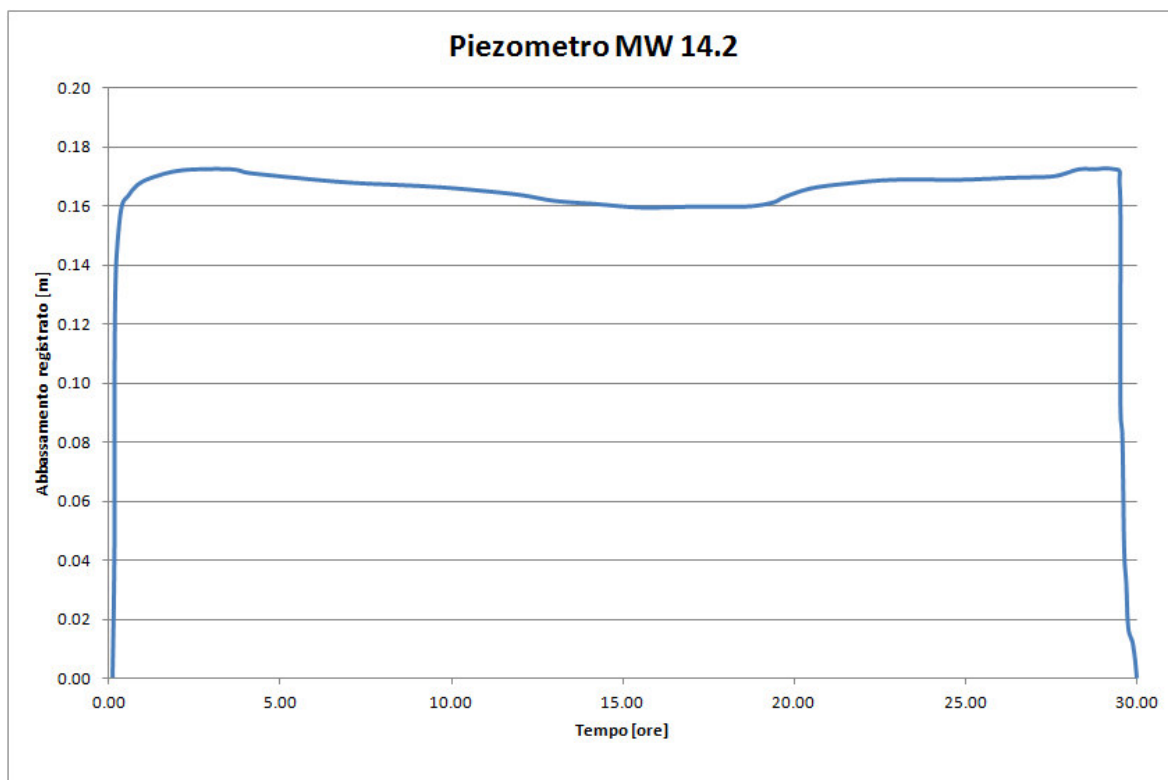


Figura 17 - Abbassamenti registrati nel piezometro MW14.2 (prova di portata in campo nord).

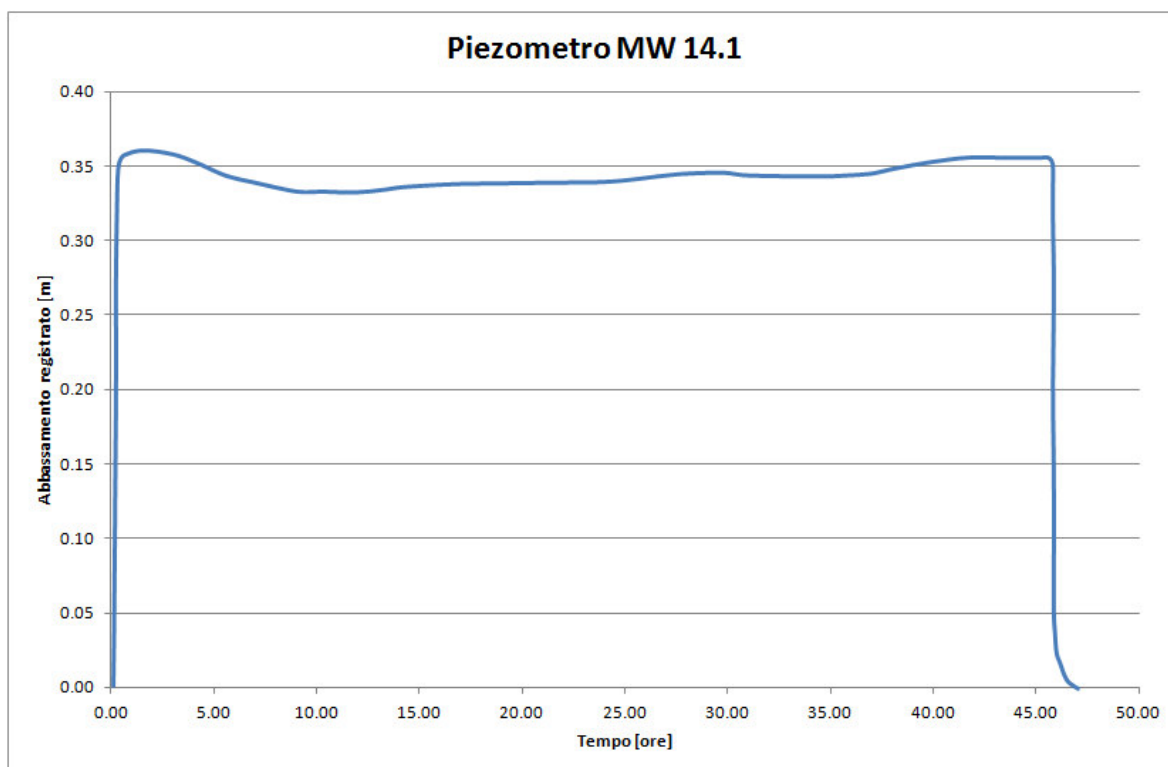


Figura 18 - Abbassamenti registrati nel piezometro MW14.1 (prova di portata in campo sud).



Tabella 1 – Valori di trasmissività e di conducibilità elettrica ricavati attraverso riproduzione con modello matematico delle prove di portata.

	$T [m^2/s]$	$K [m/s]$
<i>Prova di portata nord</i>	0.009	6.2E-04
<i>Prova di portata sud</i>	0.005	3.3E-04



3 RICOSTRUZIONE IDROGEOLOGICA E MODELLO CONCETTUALE

3.1 Inquadramento geografico e geomorfologico

L'area interessata dall'opera (Figura 1), situata al confine tra i comuni di Segrate e Pioltello, si trova nell'ambito della media pianura lombarda. Il territorio è caratterizzato dalla presenza di numerosi canali irrigui e rogge (il più importante dei quali ai fini del presente elaborato risulta essere il Naviglio Martesana), e dalla presenza di diverse attività estrattive, la maggior parte delle quali ora dismesse, che ne hanno modificato la morfologia dando vita a numerosi corpi idrici susseguente all'affioramento della falda superficiale (laghi di cava).

L'area in esame era caratterizzata, prima dello sviluppo demografico ed industriale, dalla presenza di numerosi fontanili formati in corrispondenza dell'emersione della falda a piano campagna lungo una direttrice ovest-est ("linea dei fontanili"). Tale linea passava, prima degli anni '50, nel territorio di Trezzano S/N. A seguito dello sfruttamento della falda a scopo industriale e potabile, l'abbassamento del livello freatico ha determinato la cessazione di numerose sorgenti e lo spostamento della linea dei fontanili verso meridione.

Le unità geologiche presenti in affioramento nel territorio in esame sono costituite essenzialmente da depositi fluvioglaciali e fluviali quaternari, prevalentemente ghiaioso-sabbiosi (indicati con la generica accezione di Diluvium recente), appartenenti alla formazione del Wurm e del Riss, che costituiscono il cosiddetto "livello principale della pianura padana".

3.2 Inquadramento geologico

L'area di studio è caratterizzata, secondo la letteratura tecnica (Braga et al., 1969; Comizzoli et al., 1969; Orombelli, 1979; Riva, 1957), dalle seguenti unità idrostratigrafiche, riportate di seguito dalla più antica alla più recente:

- **villafranchiano**, costituito prevalentemente da materiale fine, esso è rappresentato nella parte basale da argille e limi di colore grigio azzurro, mentre



nella parte sommitale da argilla e limi di colore grigio giallo, con intercalazioni di lenti sabbiose. In corrispondenza del comune di Milano è stato rilevato il passaggio tra le facies marine e quelle di transizione e continentali;

- **ceppo auct.**, costituito prevalentemente da conglomerati e arenarie molto cementate passanti lateralmente a ghiaia e sabbie, si rinviene solitamente in corrispondenza delle incisioni dei corsi d'acqua e prevalentemente nel settore orientale della provincia di Milano;
- **depositi fluvioglaciali Riss e Mindel auct.**, costituiti da depositi eterogenei formati da materiali grossolani immersi in una matrice sabbioso-limosa, si raccordano con le cerchie moreniche a monte e con il livello fondamentale della pianura tramite dei terrazzi. La superficie dei terrazzi risulta ricoperta dal vetusol rosso (Ferretto) spesso fino a qualche metro. I depositi sono talvolta ricoperti alla sommità da materiale loessico;
- **depositi fluvioglaciali Wurm auct.**, costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie in matrice limosa, essi rappresentano il "livello fondamentale della pianura". La granulometria dei sedimenti diminuisce spostandosi verso la parte meridionale;
- **alluvioni antiche e recenti**, costituite da depositi ghiaiosi sabbiosi, esse si sono depositate successivamente alle glaciazione Wurm. Sono alluvioni legate alle esondazioni dei corsi d'acqua.

3.3 Struttura idrogeologica

La struttura idrogeologica dell'area è stata ricostruita integrando le informazioni stratigrafiche relative ai pozzi e piezometri presenti nel dominio di studio, desunte dal database informativo della Provincia di Milano. Sulla base delle caratteristiche litologiche individuate, si riconoscono nel sottosuolo tre principali unità idrostratigrafiche, distinguibili per omogeneità di costituzione e continuità orizzontale e verticale, la cui denominazione trae spunto dal modello geologico del sottosuolo della pianura a scala regionale proposto da Regione Lombardia in collaborazione con Eni – Divisione Agip (2002).



Di seguito si riporta una descrizione delle caratteristiche principali dei diversi gruppi acquiferi, dal più superficiale al più profondo.

Gruppo acquifero A (TrA): corrisponde alla porzione superiore del cosiddetto acquifero Tradizionale, presenta uno spessore medio di circa 30/40 metri ed è costituito in prevalenza da litologie grossolane ad alta permeabilità (ghiaie e sabbie con presenza diffusa di ciottoli), con limitate intercalazioni limo-sabbiose e argillose, generalmente prive di continuità laterale. È sede della falda libera superficiale e presenta, nell'area del tracciato stradale, una soggiacenza compresa tra 5 e 7 metri da piano campagna.

Gruppo acquifero B (TrB): corrisponde alla porzione inferiore del cosiddetto acquifero Tradizionale, presenta uno spessore medio di circa 50-60 metri, raggiungendo una profondità di circa 100 metri da p.c. Le litologie incontrate sono tipicamente rappresentate da sabbie e ghiaie con intercalazioni consistenti di limi e argille sabbiose, caratterizzate da una buona continuità laterale. L'acquifero risulta localmente separato dall'acquifero superficiale dalla presenza di livelli limoso-argillosi (aquitard) che si possono individuare con discreta continuità nella porzione meridionale dell'area individuata, mentre risultano assenti nella porzione più a nord. Talvolta in sostituzione dei livelli argillosi si possono incontrare sabbie fini. Le caratteristiche tessiturali e la variazione dello spessore di questo orizzonte meno permeabile, talvolta addirittura non individuabile, rendono la falda presente dell'acquifero TrB da semiconfinata a confinata, in base al grado di separazione creato dai livelli meno permeabili. Tale falda è generalmente l'oggetto della captazione dei pozzi pubblici dell'acquedotto di Milano e dei comuni limitrofi, poiché maggiormente protetta rispetto a quella dell'acquifero TrA.

Nella parte meridionale dell'area di studio, i due risultano separati da un orizzonte di materiale argilloso, talvolta rinvenuto anche con spessori superiori a 10 metri; presso una porzione di area entro i comuni di Pioltello e Rodano, tale orizzonte risulta costituito da sabbie fini (Figura 42).

Gruppo acquifero C: la litologia prevalente è di tipo limoso, argillo-sabbiosa, con subordinate intercalazioni di sabbie medio-fini e ghiaie. L'unità è sede di falda acquifere profonde di tipo



confinato, generalmente riservate all'uso idropotabile. Tale acquifero non rientra nell'analisi oggetto del presente studio.

3.4 Variabili di interesse

Il livello della falda acquifera è soggetto a continue variazioni nel tempo, e si deve quindi ritenere che, effettuando misure di tale grandezza in periodi diversi, anche a distanza di poche settimane, si riscontrino valori differenti. Questo comportamento è dovuto alla variabilità intrinseca dei fattori che influiscono sul bilancio quantitativo delle acque di falda. Gli elementi che agiscono sui livelli di falda possono essere suddivisi e raggruppati in diverse categorie e classi: possono ad esempio essere distinti a seconda che siano naturali o antropici, così come si possono classificare in base al fatto che influenzino positivamente i livelli di falda, o viceversa, ne implichino la riduzione.

I principali fattori di carattere antropico che influenzano l'andamento dei livelli di falda sono:

- i prelievi tramite pozzi delle acque di falda, sia a scopo potabile che industriale o agricolo;
- le irrigazioni delle aree destinate ad uso agricolo;
- le perdite dalle reti di distribuzione delle acque (tipicamente gli acquedotti).

Nei paragrafi seguenti vengono descritti i principali fattori d'interesse.

3.4.1 Prelievi

Il prelievo delle acque di falda tramite pozzi costituisce uno dei fattori più influenti nel territorio in esame.

I prelievi da pozzo comportano evidentemente una riduzione dei livelli della falda che, a seconda delle caratteristiche del sottosuolo e della portata estratta, possono avere effetti che si estendono ad un intorno variabile da pochi metri a centinaia di metri dal punto di captazione. L'effetto dei pompaggi è naturalmente superiore in prossimità del pozzo mentre si riduce via via che ci si allontana dallo stesso sino ad annullarsi laddove il livello coincide con la quota

della falda “indisturbata” pre-esistente all’attivazione del pozzo. Laddove vi sia la presenza di numerosi pozzi concentrati in un’area circoscritta, gli effetti di ciascuno di essi si sovrappone a quello degli altri e l’area influenzata dai pompaggi si estende notevolmente. Un esempio estremamente chiaro di tale effetto è dato dalla città di Milano, dove si concentrano i pompaggi dei numerosi pozzi di servizio all’acquedotto che generano un consistente abbassamento dei livelli di falda il cui effetto si risente in tutta l’area del Comune e anche oltre (vedi Figura 19).

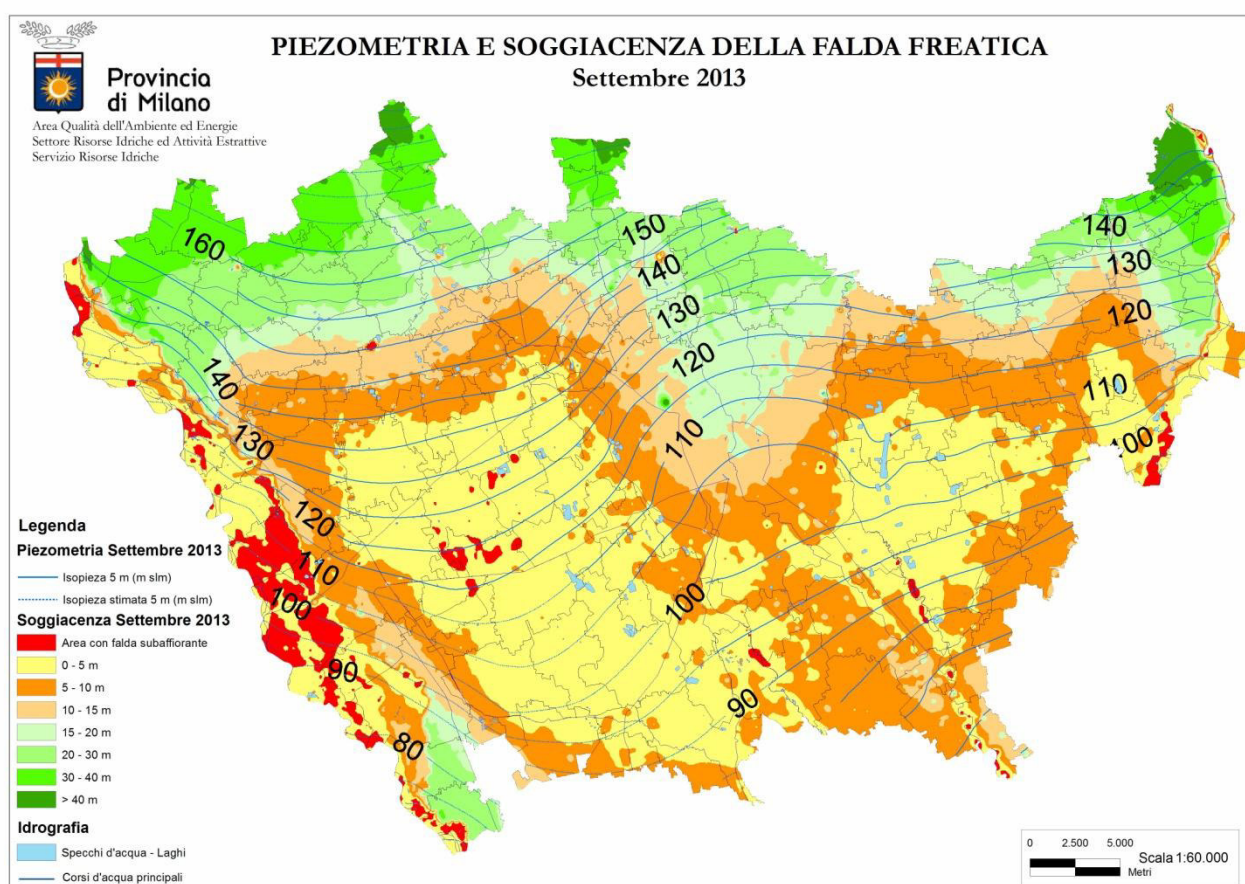


Figura 19 – Carta piezometrica della falda freatica nella Provincia di Milano. Nell’area del Comune di Milano è evidente l’effetto dei pompaggi attivi che comporta un abbassamento dei livelli di falda (curvatura convessa delle isopieze).

L’analisi dei livelli storici mostra come, in seguito allo sviluppo di numerose attività industriali nel territorio a partire dalla fine degli anni ‘50, il livello medio della falda abbia subito una drastica diminuzione; le industrie insediate nel territorio erano caratterizzate infatti da una

forte esigenza idrica e la loro influenza, insieme a quella dei prelievi a scopo potabile per alimentare la crescente popolazione, ha comportato un abbassamento dei livelli di falda pari ad oltre 40 metri rispetto al periodo pre-industriale.

A partire dalla fine degli anni '70, la progressiva dismissione delle maggiori industrie idroesigenti ha determinato una generale risalita dei livelli di falda che, accompagnata al decremento della popolazione in Milano, appare ancora in atto ed è tanto più marcata quanto più ci si avvicina al capoluogo.

L'andamento del livello di falda nella stazione di prelievo di Milano-Comasina, mostrato nel grafico di Figura 20, evidenzia quanto descritto.

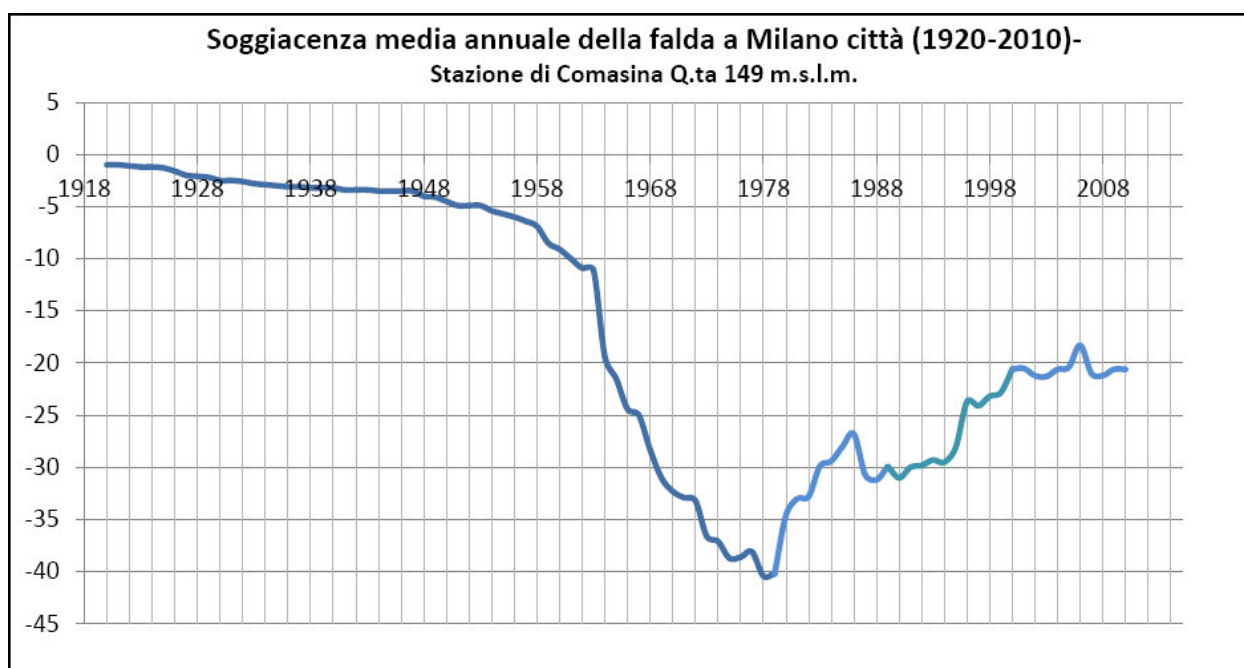


Figura 20 – Andamento dei livelli di soggiacenza media nella stazione Comasina – Milano negli anni 1920 – 2010 (Fonte: Rilievi MM).

Le informazioni già a disposizione circa i pozzi pubblici e privati attivi nell'area in esame sono state verificate e, ove necessario, aggiornate consultando banca dati del SIA. Sono stati raccolti i dati relativi a:

- destinazione d'uso



- profondità del pozzo e dei tratti fenestrati.

L'analisi della destinazione d'uso indica come prevalenti quello potabile e l'utilizzo per impianti a pompa di calore. Risulta fortemente ridimensionato, rispetto al passato, il numero dei pozzi ad uso industriale, a conferma della tendenza alla dismissione delle industrie idroesigenti già descritta nelle pagine precedenti.

Attraverso la consultazione degli schemi costruttivi dei pozzi, sono stati ricostruiti gli intervalli fenestrati, così da poter individuare correttamente le porzioni acquifere captate.

L'applicazione dei pozzi come condizioni al contorno all'interno del modello è descritta in Paragrafo 4.1.5. I pozzi inseriti nel modello sono mostrati in Figura 40 (secondo layer) ed in Figura 41 (quarto layer).

3.4.2 Ricarica meteorica

L'analisi storica delle precipitazioni è stata condotta con particolare riguardo ai dati della stazione di Milano Lambrate, la cui serie temporale copre il periodo dal 1917 ad oggi. Considerata l'omogeneità del territorio in esame, i dati della stazione sono rappresentativi, per i fini del presente lavoro, di tutta l'area in esame. La precipitazione annua misurata dalla stazione è mostrata in Figura 21. Sono riportati gli andamenti delle piogge misurate presso la stazione di Lambrate, aggiornate al 5 dicembre 2014. La precipitazione media risulta pari a 971 mm/anno; il valore massimo annuale registrato corrisponde a 1604 mm registrati durante il corso del 2014 (fino al 4 dicembre).

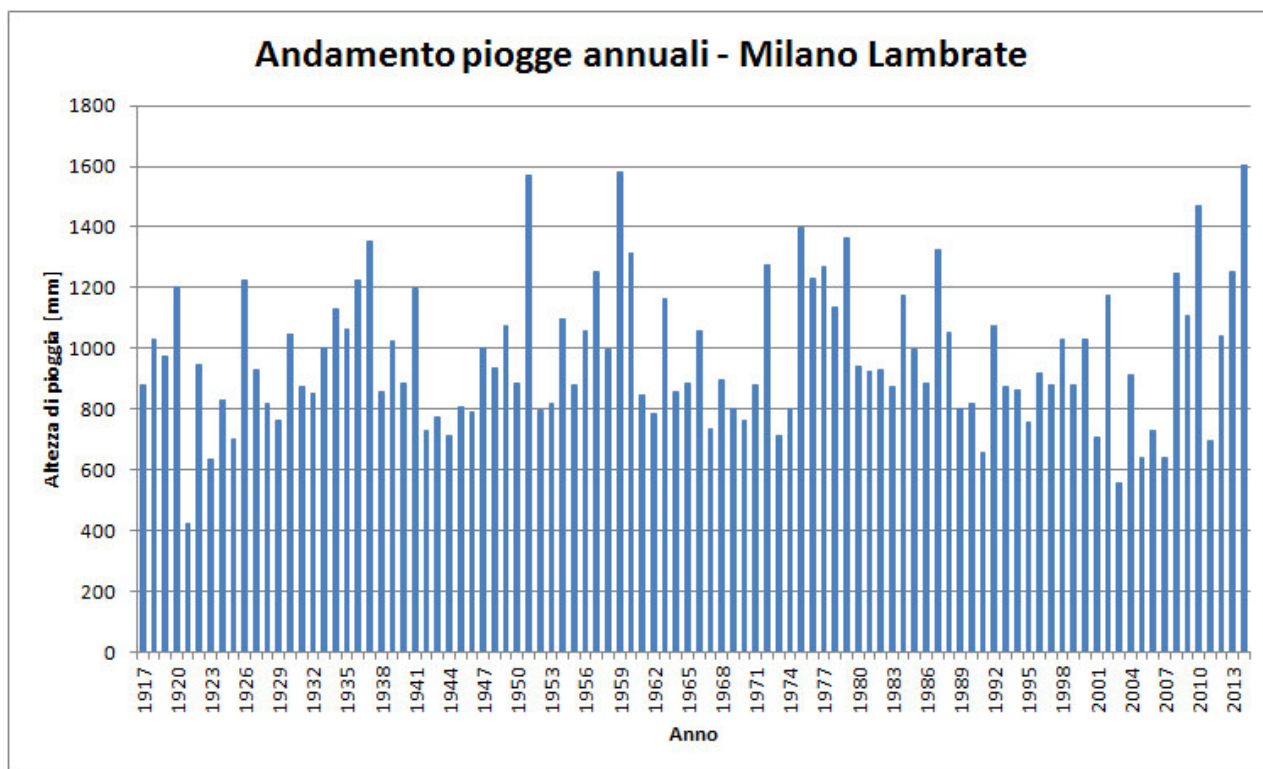


Figura 21 – Istogramma delle precipitazioni annue nel periodo 1917 – 2014 (dicembre), registrate nella stazione di Milano Lambrate.

Al fine di valutare le modalità migliori per rappresentare la ricarica meteorica nell'ambito delle simulazione degli scenari di lungo periodo, sono state svolte delle valutazioni riguardo alla ricorrenza dei periodi (a cadenza annuale e quadrimestrale) di elevata precipitazione. I risultati mostrano come, a scala annua, non sia possibile riconoscere una periodicità specifica nella successione di anni consecutivi piovosi e secchi. A scala temporale inferiore, si nota come il quadrimestre mediamente più piovoso sia costituito da quello compreso tra agosto e novembre, seguito da quello tra gennaio ed aprile. Valutazioni più specifiche, anche in merito a previsioni di sviluppo futuro delle variabili meteo-climatiche, sono riportate in Paragrafo 5.2 e nel documento allegato.



3.4.3 Ricarica da irrigazione

Le irrigazioni rappresentano un importante fattore di ricarica della falda poiché le acque utilizzate per irrigare i campi agricoli, in buona parte, si infiltrano nel sottosuolo generando un apporto positivo alla falda e un conseguente innalzamento dei livelli. Le irrigazioni sono anche connotate da una forte stagionalità, dovuta essenzialmente alle esigenze delle diverse colture, pertanto rappresentano un fattore che incide sulla variazione dei livelli di falda solo in alcuni periodi dell'anno, tipicamente dalla tarda primavera all'estate. Le irrigazioni possono essere effettuate impiegando le acque superficiali, che occasionalmente vengono derivate dai corsi d'acqua (fiumi, canali, navigli) e canalizzate nel reticolo idraulico secondario costituito da rogge e canalette, oppure prelevando acqua dalla falda attraverso pozzi o fontanili. Questo secondo caso in termini di bilancio assume un ruolo differente poiché l'acqua che si infiltra rappresenta una restituzione, peraltro solo parziale, di quella in precedenza prelevata dalla stessa falda.

La ricarica derivante dall'irrigazione costituisce, nell'area vasta in cui sarà realizzata l'opera, il termine di ingresso principale nel bilancio idrogeologico; Il suo contributo, durante la stagione primaverile ed estiva è più rilevante rispetto alla sola componente di ricarica da precipitazione meteorica e determina incrementi del livello di falda superiori al metro. Pertanto è di fondamentale importanza riconoscere e quantificare modalità ed entità dei contributi in funzione delle sorgenti idriche utilizzate (naviglio Martesana e canale Villoresi) e delle differenti colture. A tale fine, sono state individuate le portate derivate da ciascuna diramazione del reticolo irriguo ed è stato delimitato il territorio ad uso agricolo ad esso pertinente (subcomprensori irrigui). I valori di portata concessi in fase di pieno regime dei canali principali sono stati quindi scalati in base ai diversi periodi dell'anno, a partire dalla stima percentuale delle portate della Martesana transitanti nei rispettivi periodi (Tabella 2) fornita dai tecnici del Consorzio Villoresi.



Tabella 2 – Stima delle percentuali, rispetto alla portata massima (32 m³/s), che transitano nella Martesana durante il periodo irriguo.

Periodo	Percentuale della portata massima
15 aprile - 30 aprile	47%
1 maggio - 31 maggio	72%
1 giugno - 30 giugno	88%
1 luglio - 16 agosto	100%
17 agosto - 15 settembre	69%

Oltre alla ricarica derivante dalla irrigazione e dalle perdite dei canali secondari, sono state stimate anche le perdite dalla Martesana e dal Villorosi. A tal fine, le informazioni disponibili circa il rivestimento degli alvei dei canali sono state utilizzate per stimare dei coefficienti di perdita da applicare alle portate transitanti. L'alveo della Martesana è prevalentemente in terreno, con tratti a tessitura più fine (limi) e tratti più grossolani (sabbie e ghiaie); l'alveo del Villorosi invece, di più recente costruzione, è di norma rivestito con lastre cementate affiancate, in grado di limitare le perdite verso il sottosuolo. Le perdite dai canali, soprattutto del Villorosi, dovrebbero diminuire a seguito dei lavori di ristrutturazione del fondo alveo attualmente in corso ad opera del Consorzio.

3.4.4 Perdite da reti sotterranee

Le perdite dalle reti di distribuzione sono un fattore di ricarica della falda che risulta difficilmente stimabile, difatti è pressoché impossibile individuare i punti in cui le perdite hanno luogo e in cui quindi si risente localmente di un importante effetto di ricarica della falda. Esistono tuttavia delle stime piuttosto precise dei quantitativi delle acque disperse dalle reti di distribuzione acquedottistiche, la media a livello nazionale si attesta a valori superiori al 30% mentre ad esempio per la città di Milano le perdite sono attualmente stimate pari al 10,4% (Fonte: Metropolitana Milanese S.p.A.).



3.5 Evoluzione dei livelli piezometrici

L'insieme dei fattori antropici e naturali che influenzano la variazione dei livelli di falda comporta una sovrapposizione di effetti positivi e negativi che, a seconda delle variazioni istantanee e sul breve-medio periodo di ciascun parametro, contribuisce a determinare il trend evolutivo della piezometria nel tempo. In particolare si può osservare che alcuni fattori hanno una influenza maggiore in periodi definiti dell'anno, come ad esempio la ricarica dovuta alle irrigazioni che comporta un contributo positivo alla falda solo nei mesi in cui le coltivazioni necessitano di essere irrigate, tipicamente i mesi tardo-primaverili ed estivi. Altri, pur non avendo una ricorrenza definita, mostrano una variabilità oscillatoria a seconda delle stagioni, come ad esempio le piogge, che risultano più abbondanti in determinati mesi dell'anno, o le temperature che variano sensibilmente nel corso delle stagioni. Entrambi questi fattori hanno anche la peculiarità determinata dal verificarsi di eventi cosiddetti "eccezionali", ossia quelle manifestazioni di valori molto superiori o di gran lunga inferiori alle medie, che si verificano con scarsa o scarsissima frequenza. Accade quindi che, ad esempio, in un dato periodo le piogge risultino copiose e prolungate, molto al di sopra dei valori medi attesi; tale fenomeno comporta una ricarica rilevante della falda, che potrebbe subire un innalzamento anomalo dei livelli attesi per un determinato periodo. Se, come accade, si verifica un periodo prolungato in cui un determinato parametro, o più di uno, assumono valori superiori o inferiori a quelli attesi, ciò può comportare il verificarsi di un trend nei livelli destinato a durare nel tempo e che può mutare significativamente le condizioni della falda. Vi sono poi dei fattori che possono subire modifiche di carattere "strutturale" che ne determinano una drastica riduzione, prossima al totale annullamento. È questo il caso ad esempio dei pompaggi ad uso industriale, dove congiunture economiche particolari e/o l'evoluzione e il progresso tecnologico possono comportare la chiusura o il radicale mutamento delle attività produttive che insistono in determinato territorio, causando l'interruzione dei pompaggi delle acque di falda e la dismissione dei pozzi. Di seguito si riporta un'analisi dell'andamento dei livelli di falda nell'area oggetto di studio.



3.5.1 Dettaglio nell'area di studio

L'analisi dell'evoluzione dei livelli di falda è stata condotta sulla base dei dati storici delle misurazioni dei livelli piezometrici. La ricerca dei dati è stata quindi focalizzata verso il reperimento delle serie storiche più complete, così da ottenere il maggior numero di informazioni circa l'andamento nel tempo delle oscillazioni della falda. Per quanto riguarda l'area di Milano, sono state individuate diverse fonti di dati; le registrazioni storiche più complete reperite coprono all'incirca l'arco temporale degli ultimi cento anni con frequenze di monitoraggio elevate (misure mensili) e costanti nel tempo. Dall'analisi della letteratura emergono diverse pubblicazioni che riguardano l'evoluzione dei livelli piezometrici nell'area di Milano (Pozzi-Francani 1977, Airoidi et al. 1990, Bonomi 1997, Beretta 1998, IRSA-CNR 2005), ciò si deve con ogni probabilità al fatto che l'escursione temporale della falda presenta particolari profili di interesse sia di tipo funzionale, ad esempio al fine di valutare l'interazione tra la falda e le opere civili, sia scientifico, la comprensione dei fenomeni che influenzano la variazione dei livelli piezometrici e che hanno caratterizzato l'andamento della falda nel corso dell'ultimo secolo. Gli studi condotti hanno evidenziato come agli inizi del '900 la falda superficiale a Milano fosse quasi affiorante con soggiacenze medie di 1 o 2 metri rispetto al piano campagna. Verso la metà del secolo i livelli si ridussero sensibilmente raggiungendo i 5-6 metri dal p.c. tra gli anni '50 e '60. Le cause di tale decremento sono state attribuite principalmente a due fattori: la riduzione delle aree destinate alle attività agricole, quindi una diminuzione delle irrigazioni; l'aumento dei prelievi di acqua di falda sia a scopo potabile che industriale. L'aumento dei prelievi dalla falda crebbe esponenzialmente, sia per soddisfare le necessità di una popolazione in forte crescita, da circa 500.000 abitanti dei primi anni del XX secolo ai circa 1,5 milioni del 1960 (vedi Figura 22 e Figura 23), sia per servire le numerose realtà artigianali e industriali in forte sviluppo all'epoca. Nei primi anni '70 si contavano circa 10.000 pozzi nell'area di Milano, la maggior parte dei quali privati ed eserciti senza controllo alcuno. L'insieme di questi fattori ha determinato un forte squilibrio del bilancio delle acque comportando un depauperamento della risorsa idrica sotterranea, culminato con un abbassamento della tavola d'acqua sino a quasi 40 metri dal piano campagna nel 1976 (vedi Figura 24).

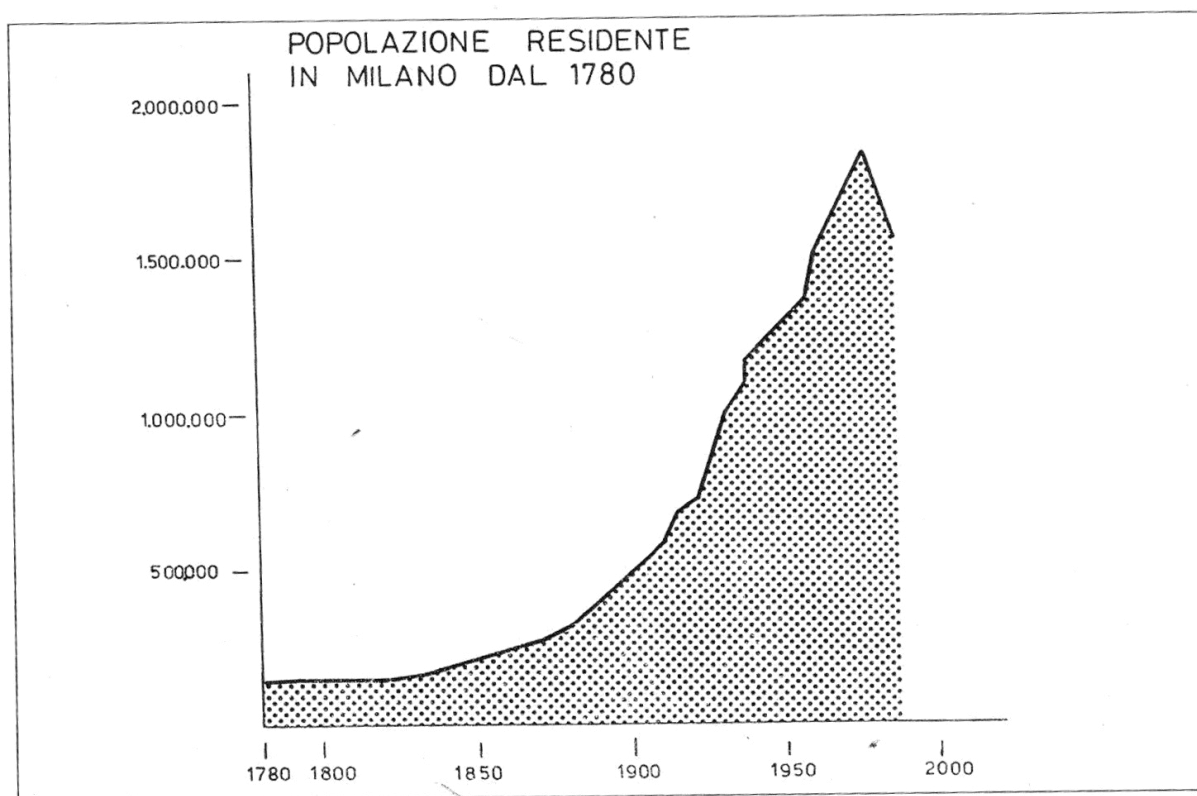


Figura 22 – Andamento della popolazione residente a Milano (Fonte: Airolidi 1970)

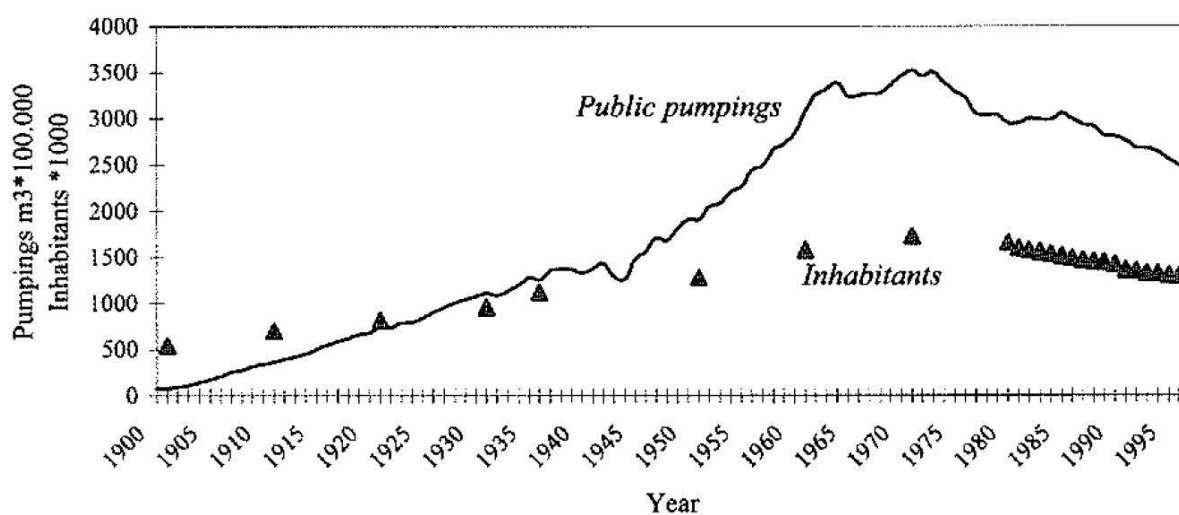


Figura 23 – Variazione dei pompaggi dei pozzi dell'acquedotto di Milano e del numero degli abitanti della città (Fonte: Bonomi, 1997)

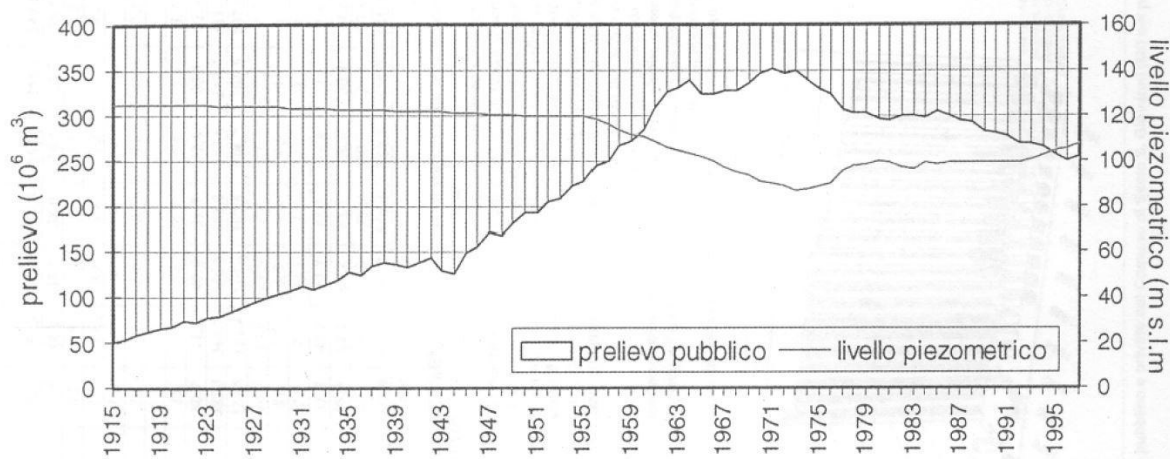


Figura 24 – Andamento dei livelli della falda superficiale a Milano e dei prelievi dai pozzi dell’acquedotto di Milano (Fonte: Beretta, 1998)

Tra il 1975 e il 1980 l’abbassamento dei livelli di falda si è arrestato e si è instaurata una condizione di stabilità in cui con ogni probabilità si è stabilito un equilibrio tra i prelievi e la ricarica del serbatoio idrico dell’acquifero, con piccole variazioni ascrivibili alle variazioni delle precipitazioni annue. Tra la fine degli anni ’70 e l’inizio degli anni ’80 del secolo scorso è iniziata la riduzione dei prelievi, sia quelli pubblici sia quelli privati (vedi Figura 24 e Figura 25). Di conseguenza il bilancio tra ricarica e prelievi della falda è tornato ad essere positivo ed i livelli piezometrici sono tornati a crescere. La riduzione dei prelievi è dovuta a diverse ragioni: la crisi economica occorsa alla fine degli anni ’70 ha colpito diverse attività produttive che hanno ridotto i propri volumi di produzione o hanno cessato le attività; i prelievi dell’acquedotto sono stati ridotti a causa della diminuzione della popolazione residente e della variazione tariffaria introdotta a metà degli anni ’70 (crescente al crescere dei consumi). Sono stati anche regolamentati i prelievi dei pozzi privati a partire dal 1976 ed allo stesso tempo le grosse realtà industriali ubicate a nord dell’abitato milanese (Breda, Pirelli, ecc.) hanno attuato il riciclo delle acque industriali. Al tempo stesso, gli anni a cavallo tra la fine degli anni ’70 e l’inizio degli anni ’80 hanno registrato precipitazioni annue superiori alle medie, garantendo all’acquifero una ricarica addizionale di un surplus rispetto alla media. In epoca recente la riduzione dei prelievi è divenuta ancor più significativa a causa della chiusura di importanti realtà industriali ed alla gestione dei prelievi dai pozzi pubblici divenuta più efficiente. Per

questa ragione i livelli piezometrici della falda superficiale nell'area di Milano sono in costante risalita e la soggiacenza si è fortemente ridotta sino ad attestarsi a valori inferiori a i 10 metri dal piano campagna e che, a seconda della zona e della stagione, possono variare di qualche metro.

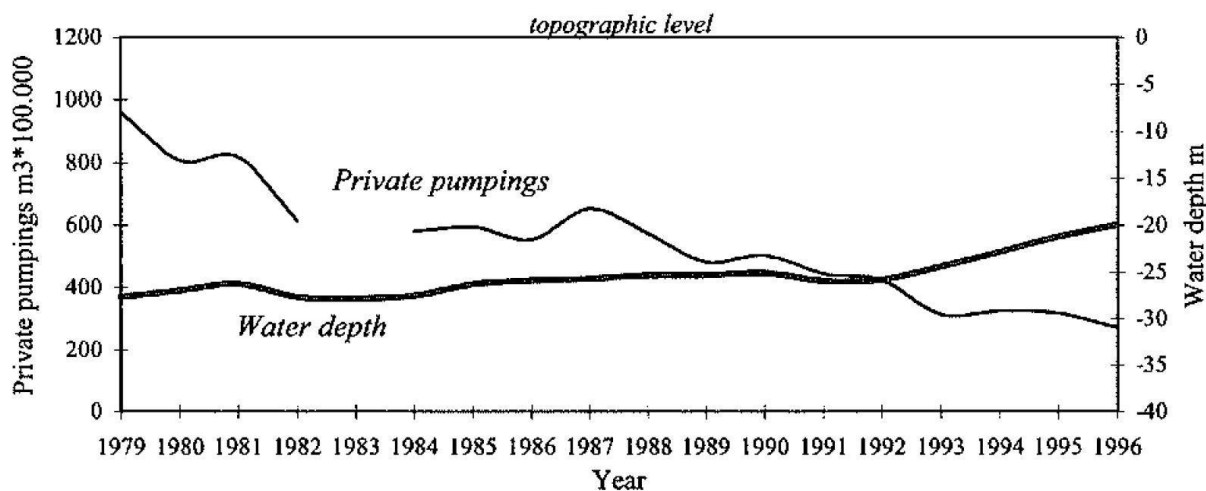


Figura 25 – Andamento dei pompaggi da pozzi privati e dei livelli di falda nel periodo 1979–1996 (Fonte: Bonomi, 1997)



Figura 26 – Andamento della soggiacenza della falda superficiale nel pozzo 0151461313 di Milano nel periodo 1982–2007 (Fonte: CNR-IRSA, 2005)

L'area in cui è in previsione la realizzazione della "Strada Nuova Cassanese", oggetto del presente studio, è situata al confine orientale con la città di Milano; tale vicinanza comporta, in particolare per il comune di Segrate, il manifestarsi degli effetti che caratterizzano la variazione dei livelli nell'area metropolitana discussi in precedenza (vedi Figura 27). Gli altri fattori che influenzano maggiormente i livelli di falda nell'area di studio sono: le attività agricole, le attività industriali, i corsi d'acqua superficiali e le precipitazioni.

ANDAMENTO DELLE QUOTE PIEZOMETRICHE

Segrate (MI) - pozzo CAP 005 q.ta rif. 121.94 m s.l.m. - pozzo CAP 007 q.ta rif 121.76 m s.l.m.
 pozzo Cap 140 q.ta rif. 111.00 m s.l.m. - piezometri Cava Binella cod. 219 q.ta rif. 118.27 m s.l.m., Cod. 220 q.ta rif. 116.51 m s.l.m.

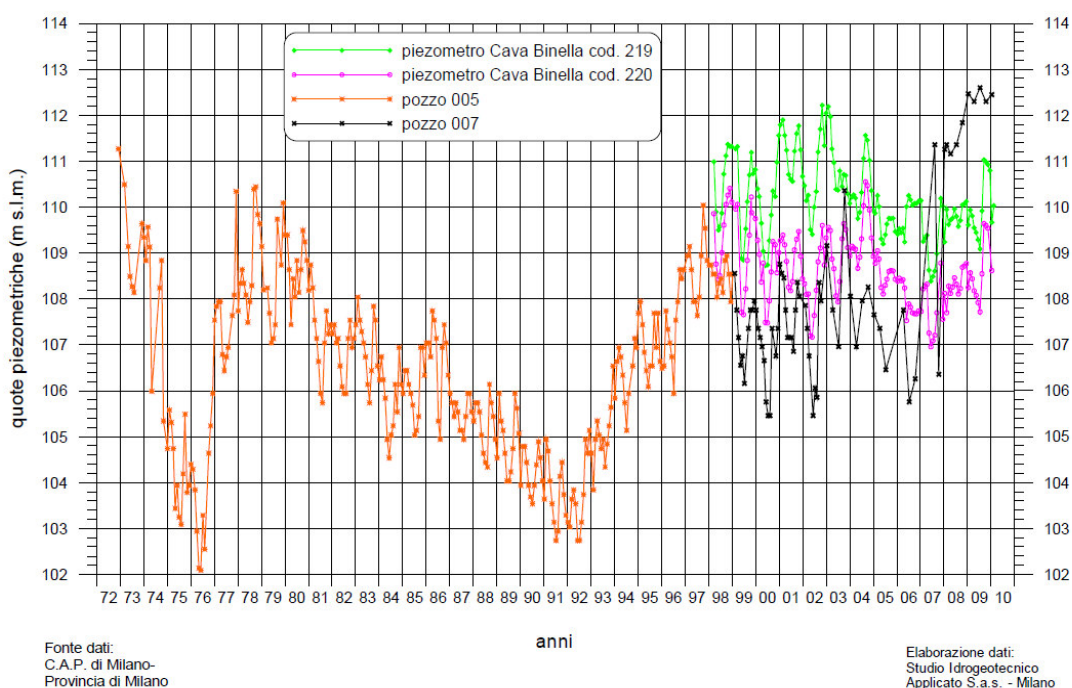


Figura 27- Andamento dei livelli di falda rilevati nel comune di Segrate (Fonte: Relazione Tecnica Geologica allegata al P.G.T. del Comune di Segrate).

Al fine di effettuare una stima previsionale dell'evoluzione dei livelli di falda in un intervallo temporale medio-lungo, compatibile con l'importanza e la vita utile dell'opera oggetto dello



studio, è necessario esaminare separatamente due aspetti che determinano le variazioni della falda:

- le forzanti che possono influenzare il trend dei livelli di falda nel lungo periodo (variazioni dei prelievi dei pozzi, modifica della ricarica dovuta alle piogge in funzione dei cambiamenti climatici, variabilità della ricarica dovuta alle irrigazioni in base al previsto sviluppo futuro dell'uso del suolo, descritte nelle pagine precedenti);
- i fattori che modificano periodicamente i livelli di falda conferendo all'andamento dei livelli la tipica oscillazione stagionale (ricarica da precipitazioni, ricarica dovuta alle irrigazioni e ai corsi d'acqua superficiali).

La differenza tra le due tipologie di contributi alla variazione dei livelli di falda è data essenzialmente dall'arco temporale in cui essi si manifestano; nel primo caso si riscontrano modifiche che impiegano diversi anni a compiersi e determinano un trend che può portare a modifiche notevoli del regime della falda, nel secondo caso si tratta di variazioni cicliche che si ripetono annualmente. Nel grafico seguente è rappresentata in maniera esemplificativa l'entità dei due differenti contributi (Figura 28).

Sulla base dei dati reperiti relativi ai livelli di falda è stata effettuata una valutazione del contributo ascrivibile alle oscillazioni cosiddette "stagionali" (segmento rosso in Figura 28), storicamente registrato nei punti di monitoraggio ubicati nell'area di studio.

I dati dell'andamento dei livelli piezometrici sono stati ricercati per i punti di monitoraggio ubicati nei comuni di Segrate, Pioltello e Cernusco sul Naviglio, ritenuti i più rappresentativi e significativi ai fini dell'analisi. Il database consultato è stato quello reso disponibile dal SIA della Provincia di Milano, i cui punti di monitoraggio esaminati sono riportati in Figura 29.

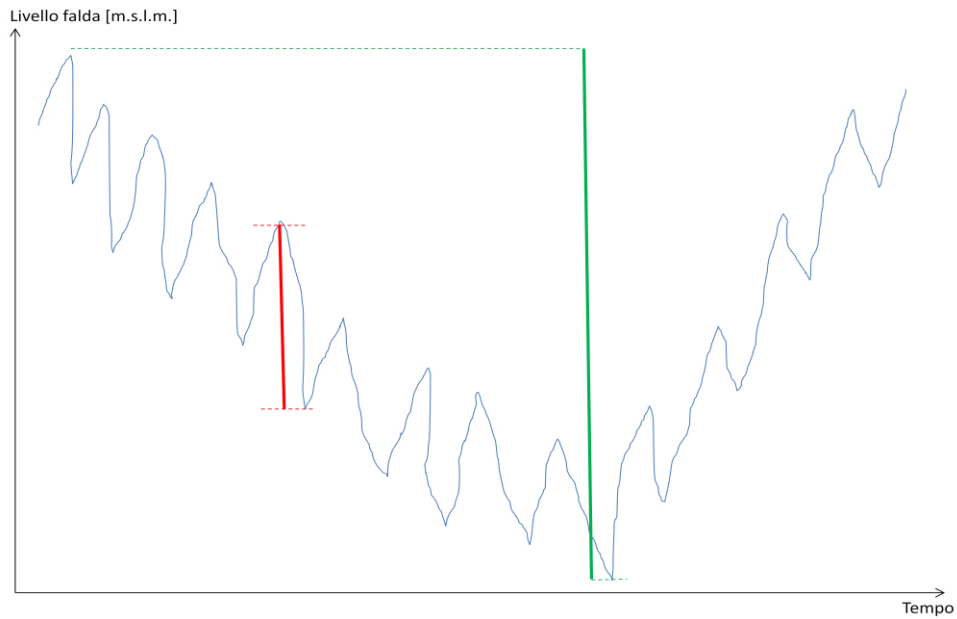


Figura 28 – indicazione delle differenti variazioni dei livelli di falda: il segmento rosso rappresenta la massima escursione stagionale mentre il segmento verde segnala la massima escursione di lungo periodo.

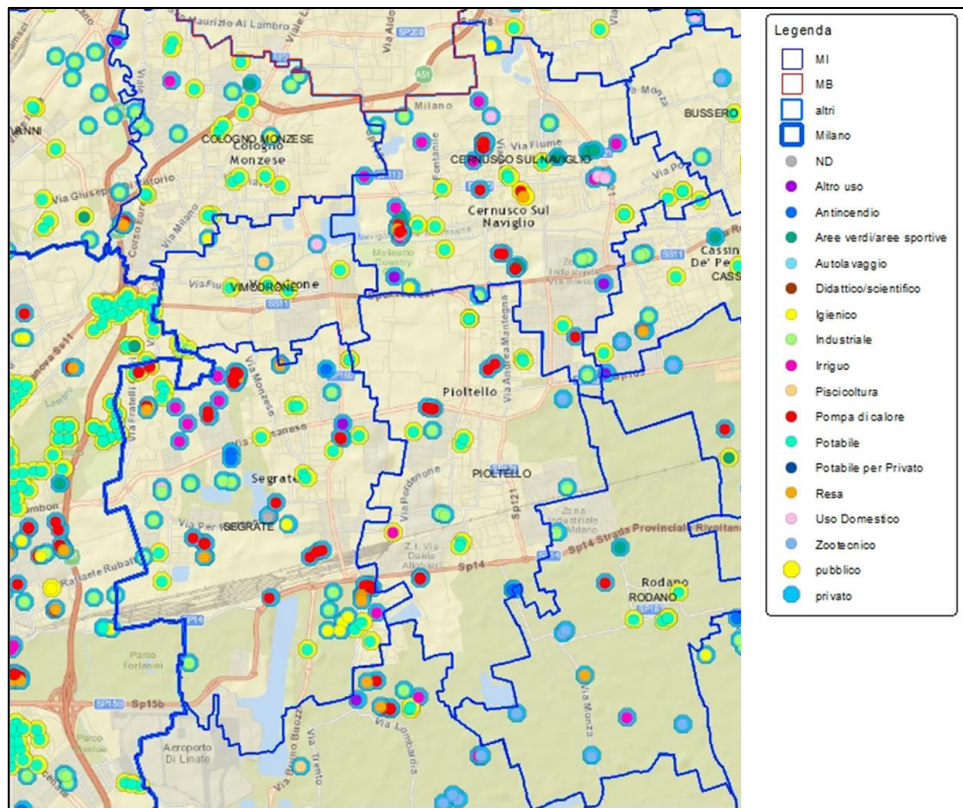


Figura 29 – ubicazione dei punti di monitoraggio ubicati nell'area di interesse (Fonte: SIA Provincia di Milano)

Sulla base dei dati acquisiti dal SIA, sono state selezionate le serie storiche relative a n. 25 tra pozzi e piezometri ubicati nell'area dei tre comuni considerati. Per ciascun punto sono state considerate le serie storiche ritenute significative ai fini della stima del "delta" annuo dell'escursione dei livelli piezometrici, ossia quelle serie che contenessero una misura mensile di livello per almeno otto mesi dell'anno solare. Dall'analisi condotta è emerso che i livelli minimi di falda si riscontrano tipicamente nei mesi primaverili, mentre i livelli più elevati si manifestano nei mesi autunnali (in genere tra ottobre e novembre). Per ciascuna serie annuale dei livelli misurati in ognuno dei punti di monitoraggio è stato prima calcolato il valore medio dei livelli piezometrici, in seguito è stata valutata l'escursione piezometrica riscontrata tra il valore massimo e quello medio riferiti a ciascun anno. Di seguito si riportano i grafici dei valori ottenuti per i punti di monitoraggio suddivisi per comune (Figura 30, Figura 31, Figura 32).

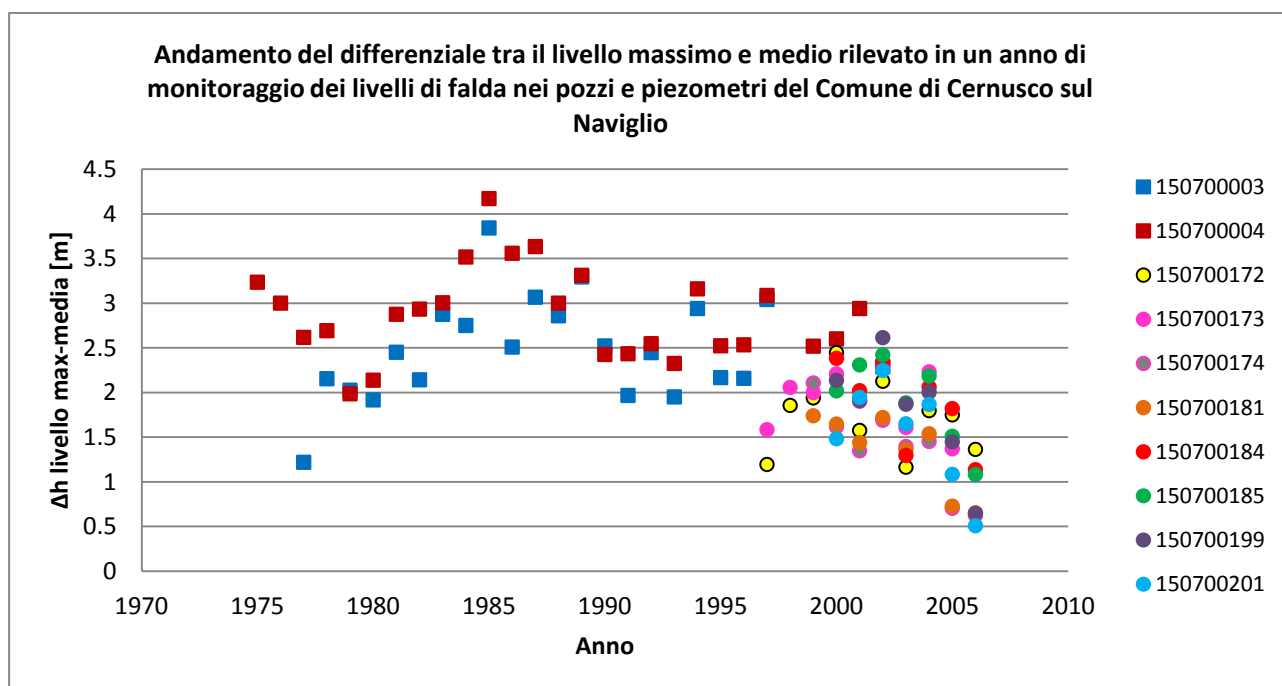


Figura 30 – Grafico dell'andamento del delta tra il livello massimo e quello medio dei livelli piezometrici annui rilevati nei piezometri (cerchi) e pozzi (quadrati) ubicati nell'area del comune di Cernusco sul Naviglio.

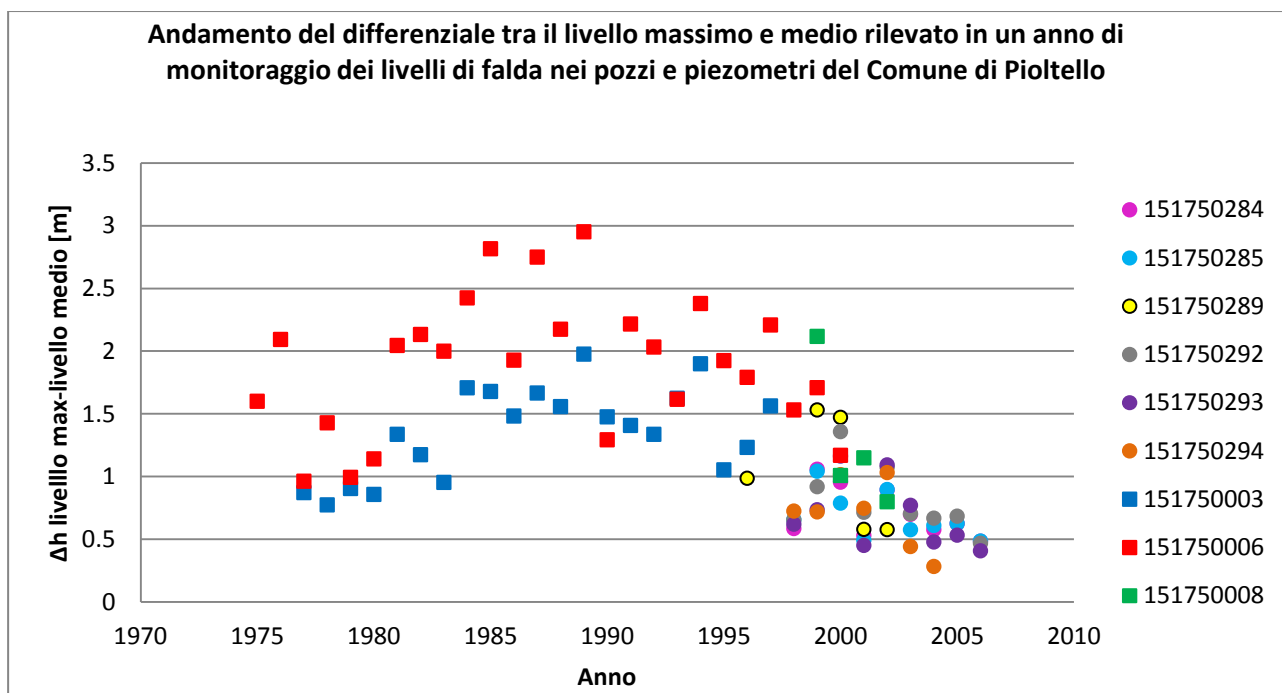


Figura 31 – Grafico dell'andamento del delta tra il livello massimo e quello medio dei livelli piezometrici annui rilevati nei piezometri (cerchi) e pozzi (quadrati) ubicati nell'area del comune di Pioltello.

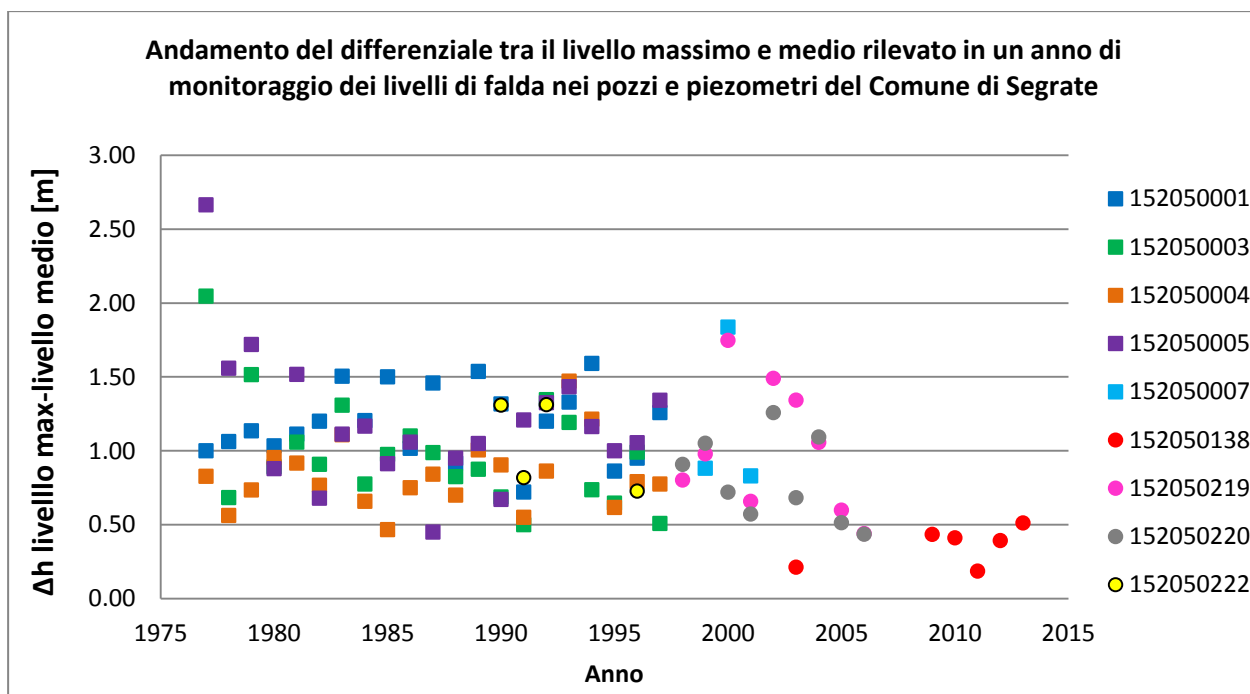


Figura 32 – Grafico dell'andamento del delta tra il livello massimo e quello medio dei livelli piezometrici annui rilevati nei piezometri (cerchi) e pozzi (quadrati) ubicati nell'area del comune di Segrate.



Dall'analisi dei grafici si percepisce un andamento tendenzialmente decrescente nel tempo; tale aspetto è definito in particolare dalle registrazioni riferite agli anni più recenti, dove le variazioni risultano più contenute rispetto al passato. Il fenomeno potrebbe in realtà derivare dal fatto che, a partire dagli anni immediatamente prima del 2000, i pozzi osservati precedentemente non siano più disponibili e, per gli anni seguenti, si hanno preferibilmente osservazioni nei piezometri, opere meno o per nulla influenzate da altri disturbi quali il pompaggio.

I valori ottenuti per i tre comuni sono stati raggruppati in un unico grafico per effettuare una valutazione globale dell'andamento della variazione interannuale del delta tra i livelli massimo e medio (vedi Figura 33). Dall'analisi comparativa emerge chiaramente come, in termini generali, la variazione riscontrata sia superiore nell'area di Cernusco sul Naviglio, inferiore in quella di Pioltello e ancora minore a Segrate. Dall'insieme di valori di delta ottenuti per i punti di monitoraggio afferenti a ciascun comune, sono stati in seguito calcolati i valori massimo, medio e minimo; dai valori di tali parametri si ottiene la conferma di quanto affermato poc'anzi (vedi Figura 34).

I grafici di Figura 33 e Figura 34 forniscono la chiara visione del fatto che le variazioni stagionali dei livelli di falda risultano più significative nella porzione settentrionale del dominio spaziale considerato (area di Cernusco sul Naviglio), mentre sono più contenute nella porzione centro-meridionale (Pioltello e Segrate). Una ulteriore conferma è data dal confronto di due carte piezometriche elaborate dal SIA della Provincia di Milano in due periodi differenti dell'anno, uno rappresentativo di una condizione di alta soggiacenza della falda (marzo 2013) e uno di minima soggiacenza (settembre 2013). Sovrapponendo le isopieze rilevate in ciascuna delle due campagne piezometriche, si può notare che le differenze più significative risultano proprio nell'area di Cernusco sul Naviglio e Cologno Monzese, mentre tendono a ridursi spostandosi verso sud, sino a quasi annullarsi in corrispondenza dei comuni di Rodano e Peschiera Borromeo (vedi Figura 35).

L'analisi della variazione interannuale dei livelli piezometrici condotta sulla base delle serie storiche disponibili ha quindi messo in evidenza come si registrino, nel corso delle stagioni di

uno stesso anno, delle oscillazioni assai significative. Le variazioni evidenziano delle differenze non trascurabili sia nel tempo che nello spazio. Si è riscontrata in particolare una diminuzione dell'entità delle variazioni a partire dagli anni '70 sino ai giorni nostri. Una differenziazione nell'entità delle oscillazioni stagionali si rileva anche spostandosi da nord-est verso sud-ovest del dominio spaziale considerato, a Cernusco sul Naviglio le variazioni risultano infatti più consistenti rispetto a Pioltello, mentre a Segrate si rilevano, in particolare nel periodo compreso tra la fine degli anni '70 e la fine degli anni '90, i valori più contenuti. Si ritiene che tale peculiarità possa essere legata all'importante ruolo dei canali e delle rogge, in specie il Naviglio della Martesana, le cui oscillazioni idrometriche influenzano, almeno localmente, i livelli della falda. L'importanza dell'effetto svolto dai corsi d'acqua superficiali sembra difatti proporzionale alla distanza dei punti di monitoraggio dalle fonti di alimentazione.

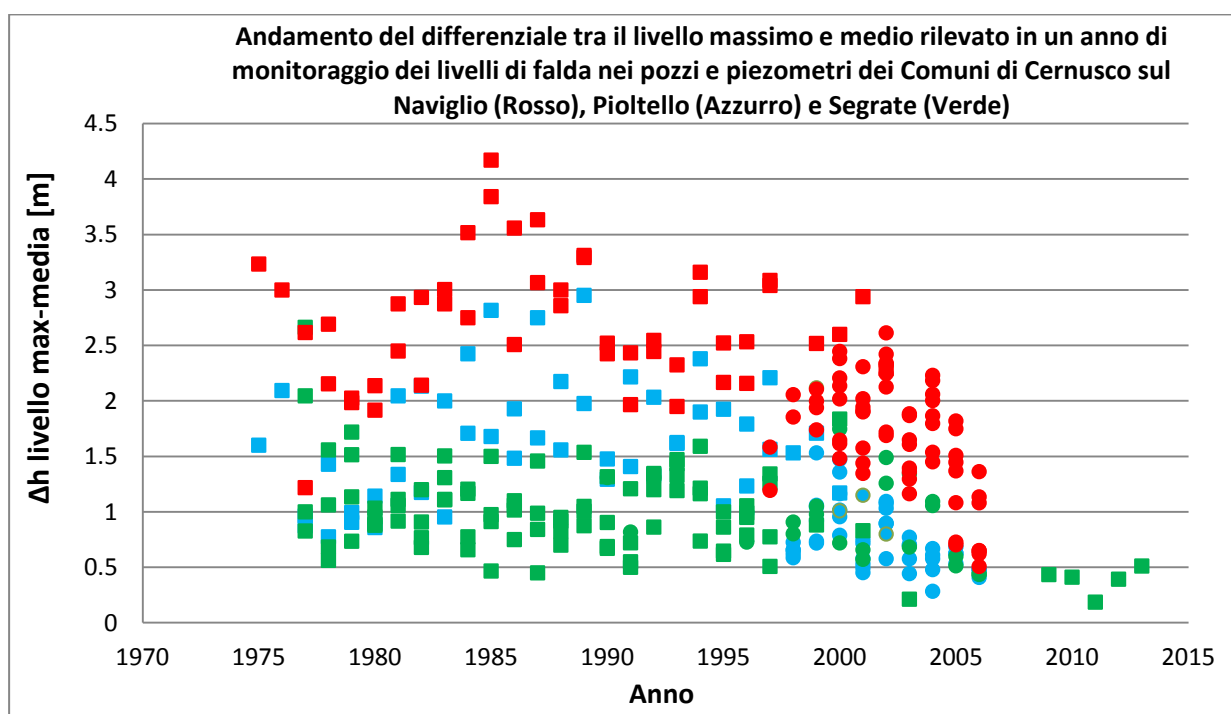


Figura 33 – Grafico dell'andamento del delta tra il livello massimo e quello medio dei livelli piezometrici annui rilevati nei piezometri (cerchi) e pozzi (quadrati) ubicati nei comuni di Cernusco sul Naviglio, Pioltello e Segrate.

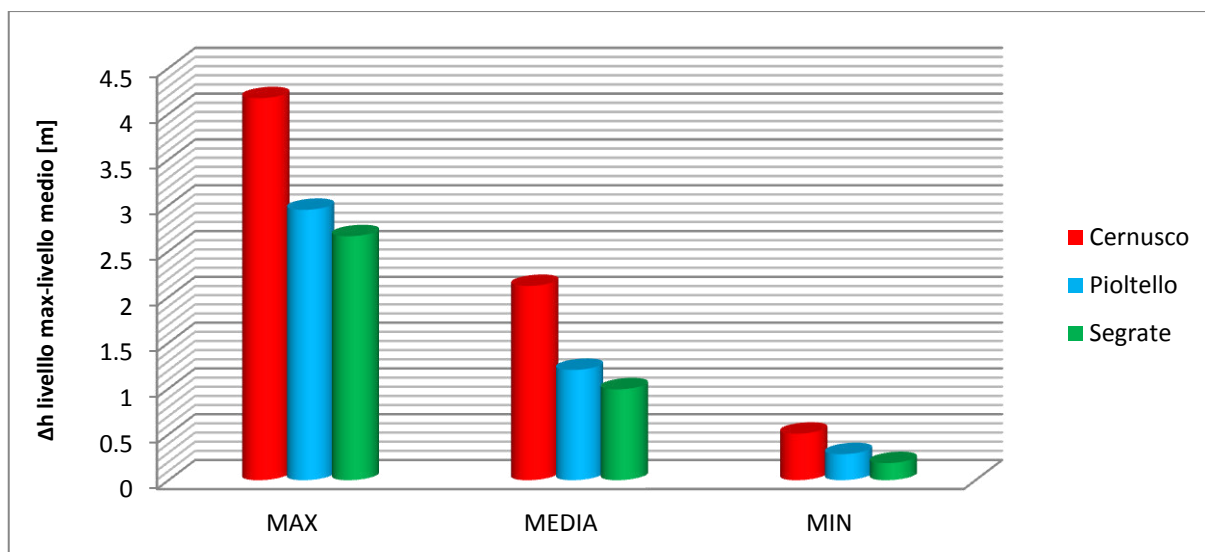


Figura 34 – Grafico dei valori massimo, medio e minimo calcolati sull'insieme dei valori di "Delta" tra livello piezometrico massimo e medio riferiti ai piezometri ubicati in ciascuno dei tre comuni esaminati.

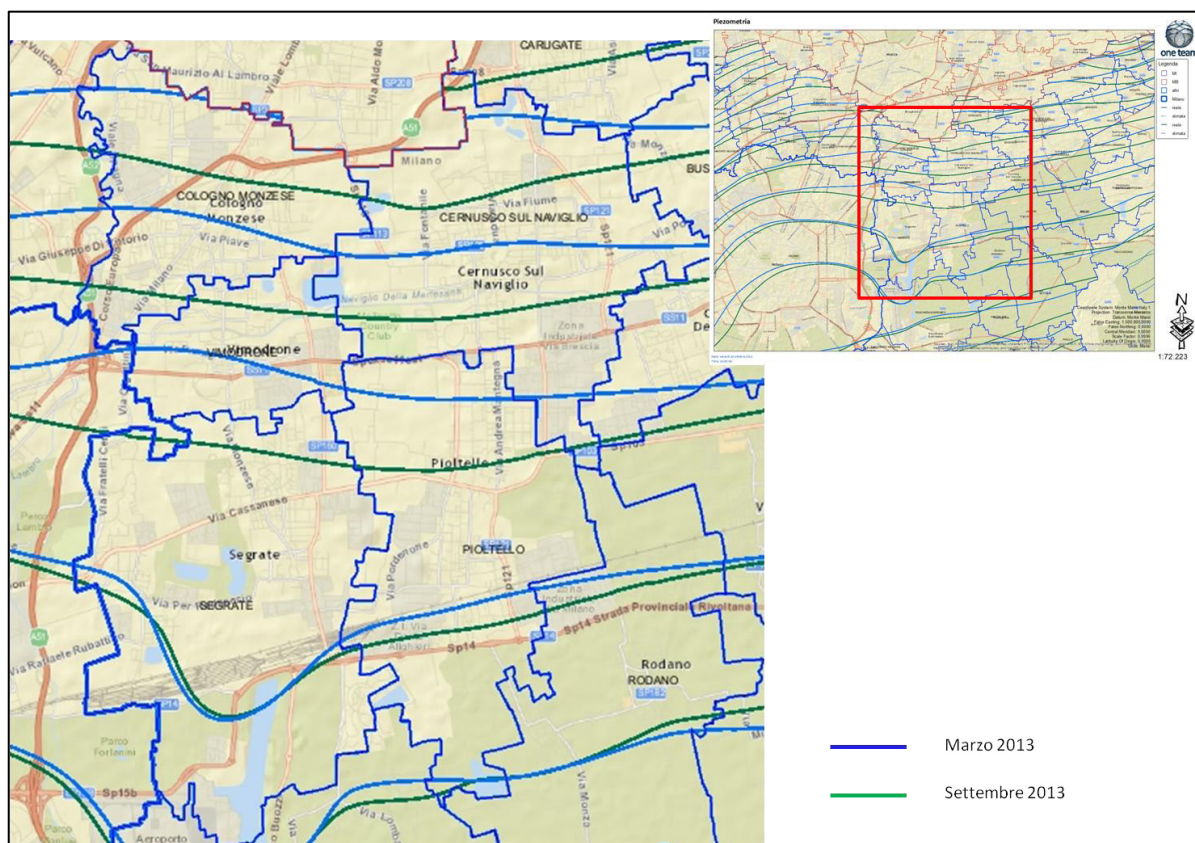


Figura 35 – Carte piezometriche della falda superficiale relative ai rilievi piezometrici effettuati a Marzo e Settembre 2013 (Fonte SIA Provincia di Milano)



4 MODELLO MATEMATICO DI FLUSSO

Al fine di rappresentare il sistema idrogeologico di interesse e di simulare le evoluzioni delle variabili di interesse e le risultanze sui livelli di falda nel lungo periodo, è stato costruito un modello matematico del flusso sotterraneo. Il modello è stato costruito utilizzando il codice di calcolo Modflow 2000 (McDonald, Harbaugh, 2000), sviluppato dall'U.S.G.S., che si basa sulla risoluzione tramite discretizzazione alle differenze finite delle equazioni di Darcy e della conservazione della massa.

Come interfaccia grafica è stato utilizzato il programma Groundwater Vistas v. 6 prodotto da ESI – Environmental Simulations Incorporated.

4.1 Costruzione

4.1.1 Griglia e discretizzazione verticale

Il dominio di simulazione occupa una superficie di 250 km², pari ad un rettangolo avente estensione da nord a sud di 15,7 km e da est a ovest di 16 km. La scelta di estendere l'area rappresentata ben oltre i limiti di occupazione dell'opera in progetto è necessaria al fine di diminuire l'influenza delle condizioni al contorno ai limiti del modello sulla dinamica di flusso nelle aree interessate dalla presenza del tracciato stradale.

L'area del dominio è centrata nei comuni di Pioltello e Segrate e comprende, nella sua estensione completa, i comuni (interamente o in parte) di Milano, Vimodrone, Cernusco sul Naviglio, Rodano, Peschiera Borromeo, Pantigliate, Settala, Vignate, Liscate, Cassina De Pecchi, Sesto San Giovanni, Cinisello Balsamo, Cologno Monzese, Brugherio, Carugate, Bussero, Gorgonzola, Pessano con Bornago.

La griglia è orientata in conformità alle direzioni cardinali, corrispondenti alla direzione di deflusso della falda. Ai fini della calibrazione del modello e della rappresentazione delle condizioni attuali (intese come prive dell'eventuale interazione della stessa con le opere accessorie al tracciato stradale), la rappresentazione dell'intero dominio modellistico è avvenuta



adottando una griglia uniforme, con celle quadrate di lato pari a 100 m (Figura 36). Una discretizzazione più fitta all'altezza del tracciato stradale è avvenuta in una fase successiva, al fine di rappresentare il deflusso idrico sotterraneo più dettagliatamente in corrispondenza dei diaframmi sotterranei e della vasca antifalda previsti dal progetto.

Lungo la direzione verticale il modello è stato suddiviso in quattro layer, identificati sulla base del modello idrogeologico ricostruito a partire dalle informazioni stratigrafiche allegate ai pozzi e piezometri insistenti nell'area, e adattati alle necessità modellistiche.

Il primo e il secondo layer rappresentano l'acquifero superficiale (acquifero tradizionale TrA); si è scelto di suddividere tale orizzonte acquifero in due layer, così da poter rappresentare correttamente l'estensione verticale dei bacini e dei laghi di cava presenti nel territorio, tipicamente caratterizzati da modeste profondità (ad esclusione della cava Binella, la cui profondità risulta essere pari a circa 30 metri).

Il terzo layer identifica il livello di aquitard, rinvenuto a profondità variabili a partire da 30 metri. Nella porzione più a nord del modello, dove tale livello nella realtà appare assente, tutte le proprietà associate a questo layer sono state le medesime di quelle definite per l'acquifero tradizionale TrA.

Il quarto layer rappresenta l'acquifero TrB e si estende fino a profondità pari a circa 100 m da p.c.

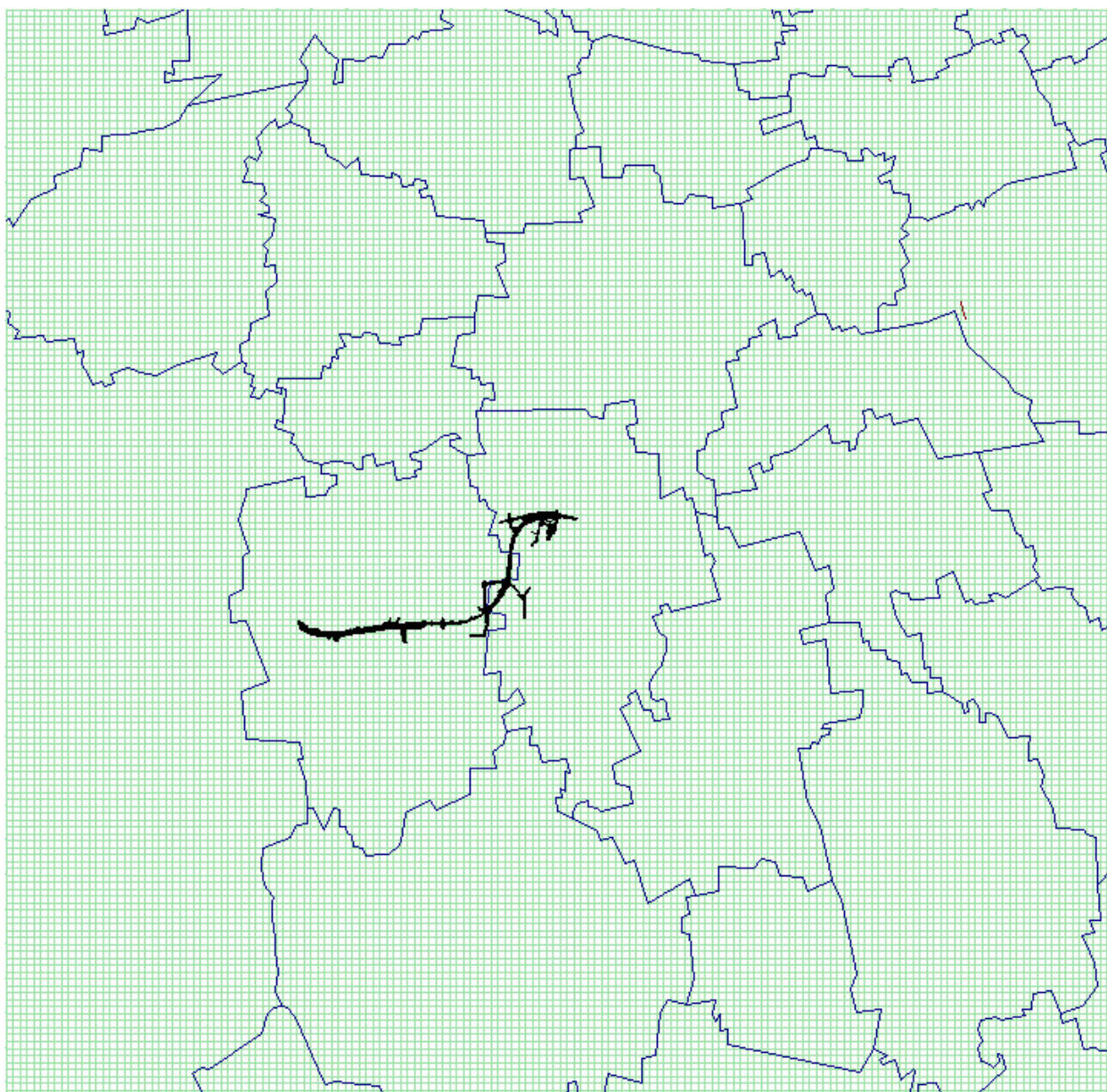


Figura 36 – Dominio del modello matematico di flusso e griglia di discretizzazione orizzontale (celle quadrate di lato pari a 100 m).

La superficie del modello rappresenta l'andamento della topografia del piano campagna, ricostruita tramite interpolazione dei punti quotati ricavati dalla CTR 1000. Le basi delle unità stratigrafiche sono state ricostruite attraverso l'interpolazione dei punti ricavati dall'interpretazione geologica, basata sulle informazioni stratigrafiche disponibili per l'area in esame. La base del 1° layer è stata definita imponendo uno spessore pari ad 8 metri a partire dal piano campagna.

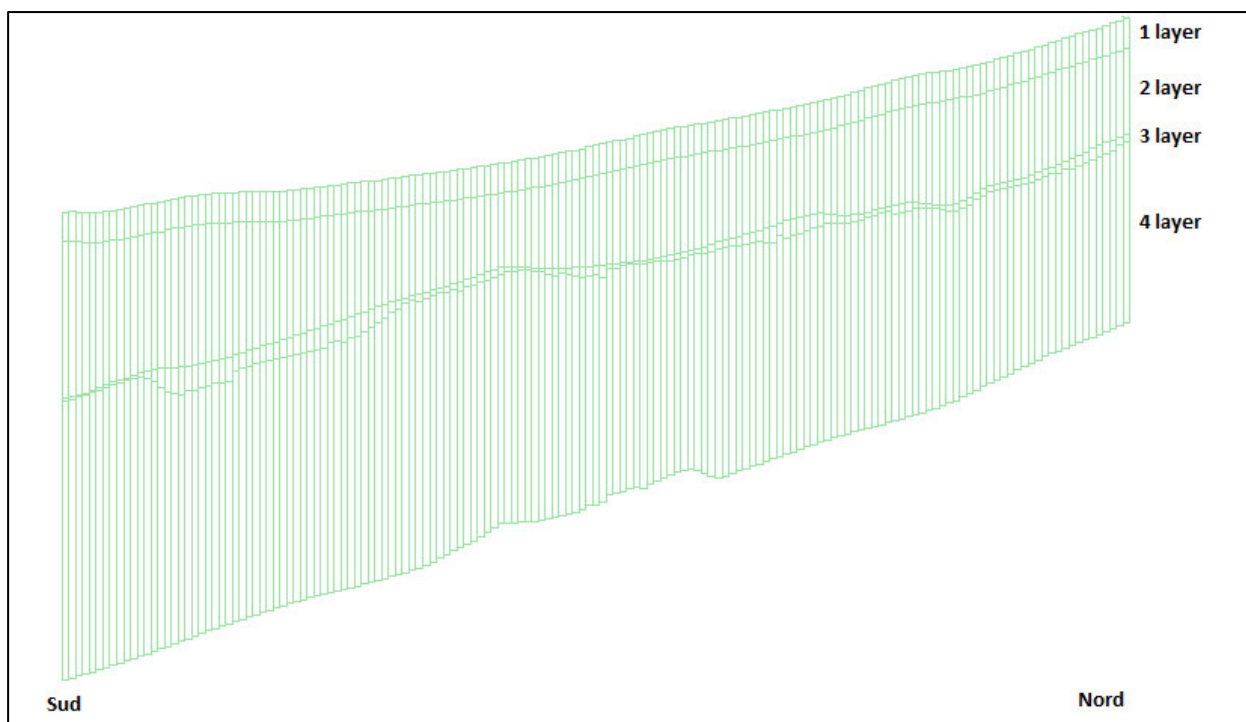


Figura 37 – Discretizzazione verticale del modello lungo una sezione N-S.

4.1.2 Condizioni ai limiti del modello

La ricostruzione piezometrica effettuata a partire dai dati misurati nella campagna svolta a giugno 2014, delinea un andamento regolare della falda, con deflusso principale in direzione nord-sud. Sulla base di questi risultati, sono state definite le condizioni al contorno della falda in ingresso ed in uscita dal modello, assegnando i livelli misurati ai margini del modello come condizioni di carico costante (condizione di Dirichlet)

Per quanto riguarda le porzioni acquifere più profonde, lungo il limite di a nord, dove l'acquifero tradizionale è indiviso, sono stati utilizzati come condizione al contorno i medesimi livelli utilizzati sui layer più superficiali. La presenza dell'aquitard determina una differenza di carico tra TrA e TrB che aumentano procedendo verso sud; tale differenza è stata stimata, sulla base dei dati piezometrici misurati in alcuni cluster e da dati di letteratura, pari ad un valore massimo di 2 metri in corrispondenza del limite meridionale del modello.



Lungo il margine est ed il tratto meridionale del margine ovest del dominio sono state inserite, in corrispondenza dell'acquifero TrA, condizioni di carico costante basate sulla piezometria ricostruita. Lungo i tratti rimanenti dei limiti laterali del modello sono state impostate condizioni di flusso impedito, poiché la isopieze ricostruite risultano ad essi ortogonali.

4.1.3 Canali irrigui e fiume Lambro

All'interno del dominio di modellazione sono presenti due canali irrigui principali, il canale Villoresi ed il naviglio Martesana, che, in virtù delle perdite distribuite lungo il proprio percorso, determinano un'alimentazione alla falda. In base alla natura dei rivestimenti dell'alveo e delle sponde dei due canali, è stata stimata una portata di alimentazione in falda unica per il Villoresi, il cui fondo risulta omogeneo nel tratto che interessa il modello; per il Naviglio Martesana, il cui fondo è caratterizzato da materiali differenti lungo il tratto rappresentato, sono state stimate delle portate di alimentazione differenziate.

Per simulare le portate di alimentazione, i canali sono stati rappresentati tramite condizioni di tipo "well" (condizioni di Neumann) assegnando una portata costante in ingresso per ciascuna cella attraversata dai canali. I valori inseriti sono stati in seguito verificati durante il processo di calibrazione.

Il contributo in alimentazione dei canali di distribuzione che dipartono dal Villoresi e dalla Martesana è stato incluso nella stima delle ricariche superficiali nelle diverse aree irrigue.

Un ulteriore elemento rappresentato nel modello è il fiume Lambro, che scorre nei comuni di Monza, Sesto San Giovanni, Milano e Peschiera Borromeo. Il Lambro è stato rappresentato tramite condizioni di flusso dipendente da carico (condizioni di Cauchy) utilizzando il pacchetto "river" ed assegnando valori di livello e di conduttanza basati sulle informazioni disponibili e verificati in sede di calibrazione. Altri elementi del reticolo idrografico presenti all'interno dell'area di studio sono il torrente Molgora, il canale della Muzza ed il cavo Redefossi. Poiché lo scambio idrico con la falda è ritenuto marginale, tali elementi non sono stati rappresentati nel modello matematico.

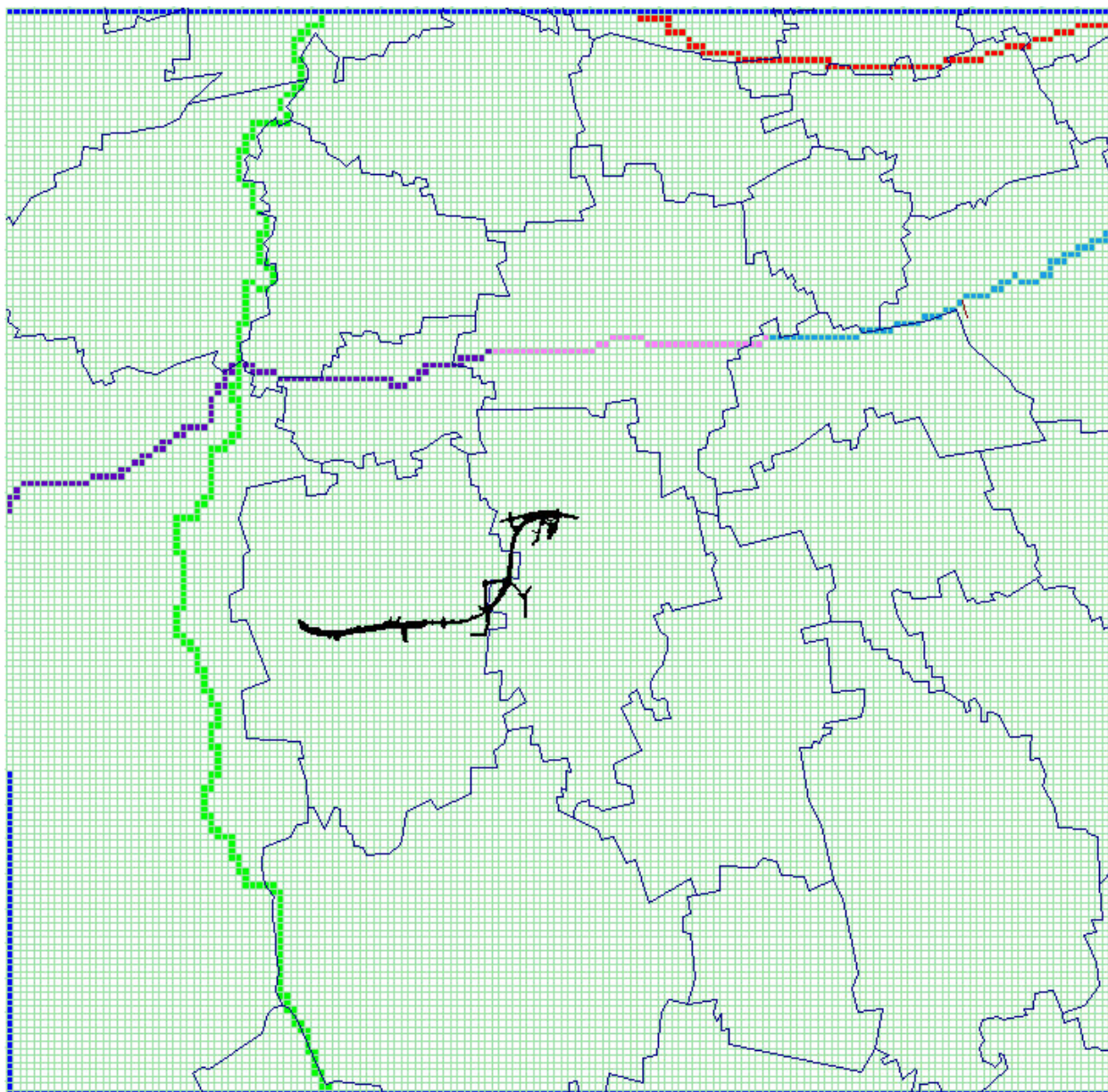


Figura 38 – Condizioni al contorno (2° layer): in rosso il Canale Villoresi (a nord); a sud i tre differenti tratti della Martesana distinti in base alla differente natura del fondo alveo. In verde il fiume Lambro, in blu le condizioni di carico costante.

4.1.4 Ricarica

La ricarica inserita nel modello rappresenta la portata per unità di superficie che si infila nel sottosuolo per azione delle piogge e di attività antropiche (irrigazione, perdite da reti di distribuzione), depurata della quota che evapotraspira.



I valori di ricarica sono stati differenziati sulla base dell'utilizzo del suolo, distinto tra aree verdi, aree agricole, aree edificate ed aree miste (Figura 39). La suddivisione è stata operata partendo dalla classificazione di copertura del suolo riportata nel Geoportale della Regione Lombardia.

Il criterio utilizzato per distinguere le aree edificate dalle aree miste si basa sulle differenti caratteristiche di permeabilità della superficie:

- le aree edificate identificano quelle porzioni di territorio la cui superficie può ritenersi, in via approssimativa, completamente impermeabile, quali ad esempio le aree occupate da insediamenti industriali o residenziali;
- le aree miste rappresentano porzioni di territorio, indistinte nella suddivisione DUSAF, in cui coesistono aree edificate e aree verdi, tali per cui è impossibile effettuare una distinzione precisa al proprio interno (cascine, impianti sportivi, aeroporti, reti ferroviarie, reti stradali, aree residenziali discontinue).

Per quanto riguarda le aree verdi è stato attribuito un valore unico, ricavato a partire dai dati pluviometrici della stazione di Lambrate, depurati di una quota-parte (stimata in sede di calibrazione pari al 50%) dell'evapotraspirazione potenziale calcolata tramite il modello di Penman – Monteith¹

La ricarica in corrispondenza delle aree agricole è stata stimata calcolando, per ciascun subcomprensorio, il contributo della parte di reticolo idrografico corrispondente (le aree di competenza del naviglio Martesana sono state considerate tutte appartenenti ad un unico subcomprensorio) come portata derivata suddivisa per l'area irrigata. Tale contributo è stato quindi depurato del 30%, percentuale di assorbimento da parte delle colture, la cui stima è stata fornita dal personale del Consorzio Villoresi.

¹ Il calcolo, svolto utilizzando la formulazione FAO-56 di Penman-Monteith, esprime i valori di evapotraspirazione potenziale per coperture ad erba (ET_0) sulla base del bilancio energeticostimato utilizzando i dati climatologici di temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, radiazione solare e velocità del vento.

A questi valori è stato aggiunto il contributo da ricarica meteorica. In fase di calibrazione, l'evapotraspirazione reale è stata considerata come coincidente con quella potenziale, poiché il periodo irriguo determina la presenza costante di acqua nel terreno superficiale.

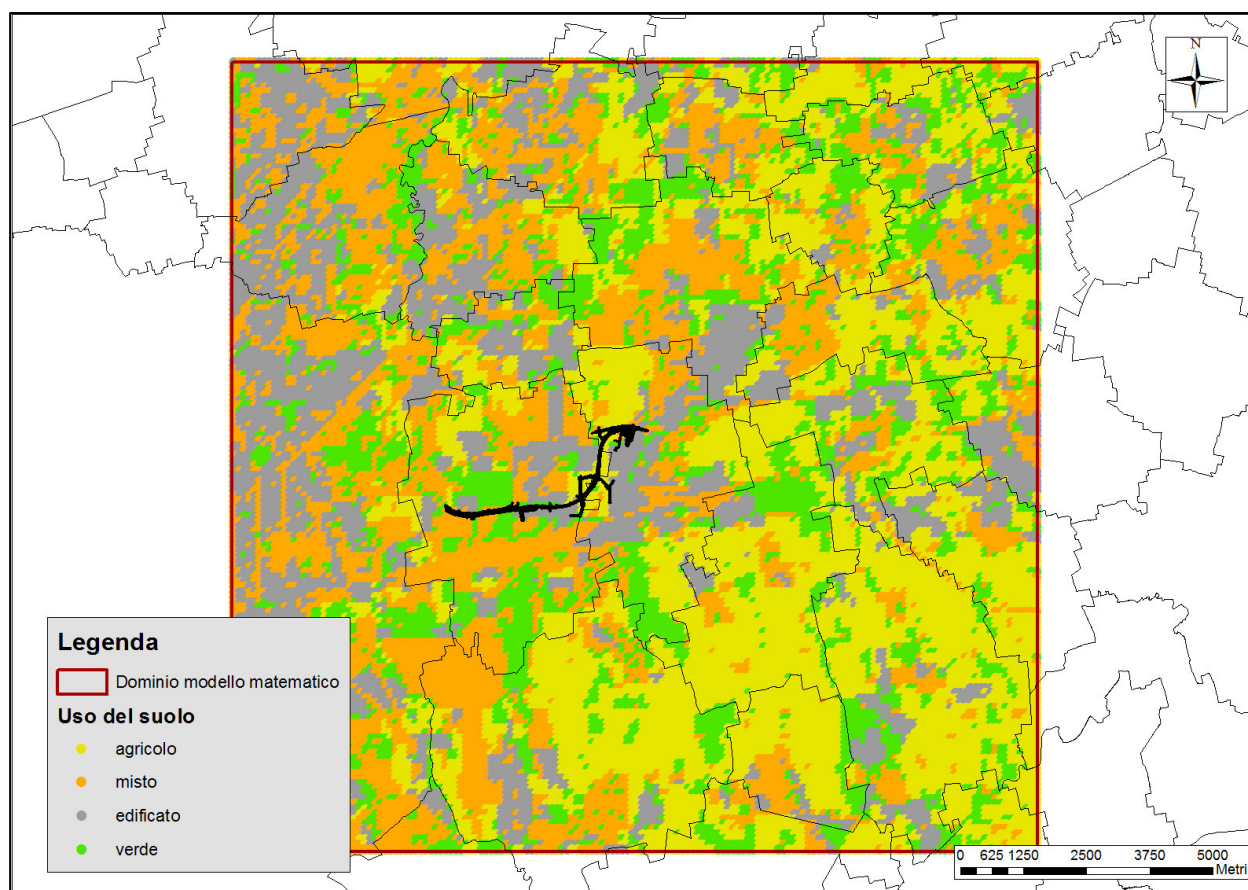


Figura 39 – Classificazione aree per uso del suolo

Alla base del calcolo della ricarica per le aree edificate vi è l'assunzione che queste risultino fondamentalmente impermeabili e quindi non risentano di contributi di origine meteorica; l'unico contributo è quindi quello derivante dalle perdite delle reti acquedottistiche. Il valore di ricarica è stato valutato pari a una percentuale del 15% delle portate transitanti nelle reti di distribuzione degli acquedotti, identificativa delle perdite da condurre: per ciascun comune è



stato calcolato il prelievo idrico complessivo da parte dei pozzi pubblici² e le perdite sono state distribuite sulla superficie corrispondente.

Per quanto riguarda infine le aree miste, alla percentuale di perdita da acquedotto è stata aggiunta la quota-parte della ricarica meteorica corrispondente, in prima istanza, al 50% dell'alimentazione distribuita sulle aree verdi.

I valori di ricarica superficiale stimati per ogni tipologia di copertura del suolo sono stati poi verificati in sede di calibrazione.

4.1.5 Pozzi

All'interno del modello sono stati inseriti n. 626 pozzi pubblici e privati, le cui ubicazioni sono state ricavate dal database SIA della Provincia di Milano. I pozzi sono stati distribuiti nei diversi layer sulla base della posizione dei filtri, così come dedotto dalle informazioni stratigrafiche a disposizione; per quanto riguarda i pozzi fenestrati in diversi acquiferi, le portate complessive sono state frazionate sulla base delle diverse trasmissività.

Qualora i pozzi siano risultati filtrati anche a profondità maggiori rispetto alla base del modello, è stata inserita solamente la quota-parte estratta nei corpi acquiferi rappresentati.

² Fonte: Piano d'ambito 2013 – ATO – Sollevato generale di tutti i punti di prelievo nella rete acquedottistica della provincia di Milano (1 gen 2012 – 31 dic 2012).

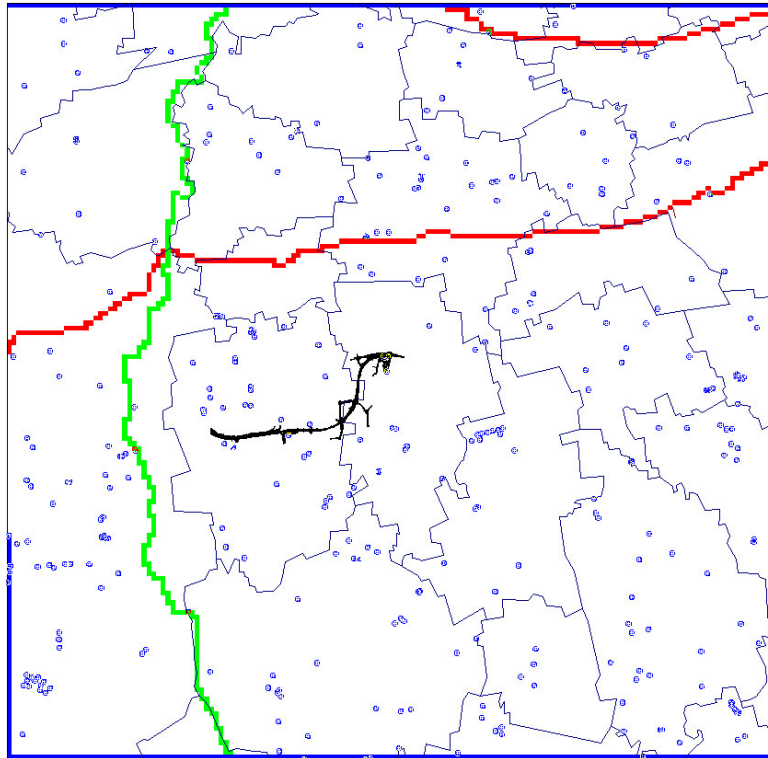


Figura 40 – Pozzi presenti nel 2° layer

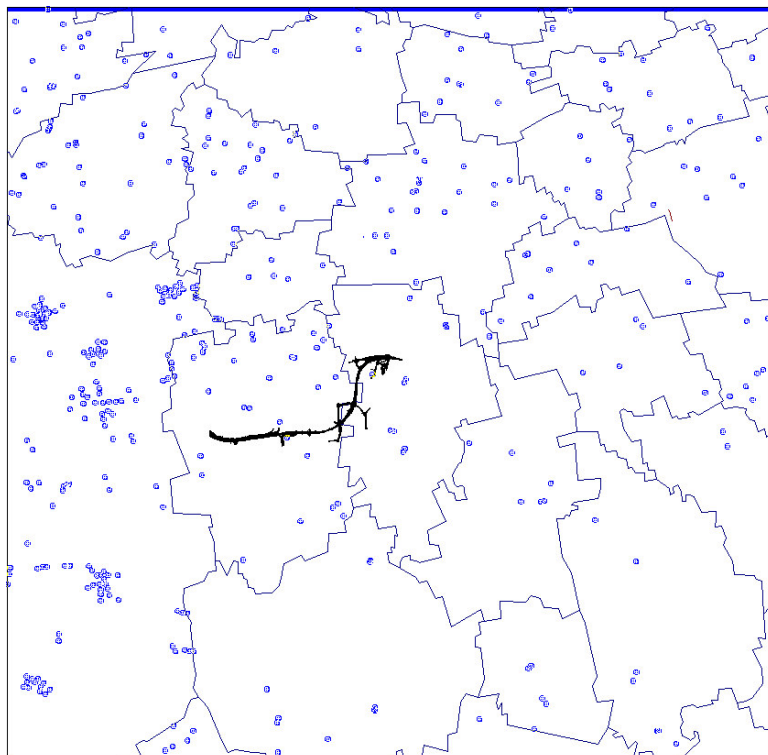


Figura 41 – Pozzi presenti nel 4° layer



4.1.6 Conducibilità idraulica

La conducibilità idraulica per tutti gli orizzonti idrogeologici del modello (acquiferi TrA e TrB ed aquitard di separazione) è stata inserita sulla base delle informazioni raccolte (stratigrafie e test idraulici) e sottoposta successivamente a calibrazione.

Per quanto riguarda gli orizzonti acquiferi (rappresentati tramite i layer 1, 2 e 4), i valori puntuali di conducibilità desunti sulla base delle litologie descritte nelle stratigrafie sono stati interpolati tramite kriging.

L'aquitard è stato delimitato, all'interno del terzo layer, verificandone la presenza nelle stratigrafie. I valori di conducibilità sono stati ricavati in sede di calibrazione. Nella porzione settentrionale del modello, in cui l'acquifero Tradizionale è indiviso, sono stati assegnati valori di conducibilità pari a quelli interpolati nel TrB. La distribuzione planimetrica dell'aquitard è rappresentata in Figura 42).

L'Idroscalo ed i laghi di cava sono stati rappresentati come zone ad elevata permeabilità, soluzione ampiamente utilizzata (Merrit, Konikow, 2000) ed idonea in particolare nel caso in esame, nel quale i laghi sono costituiti da affioramenti di falda. Tutti i valori di permeabilità sono stati assunti come isotropi nel piano orizzontale ed anisotropi lungo la direzione verticale con rapporto tra conducibilità orizzontale e verticale pari a 10.

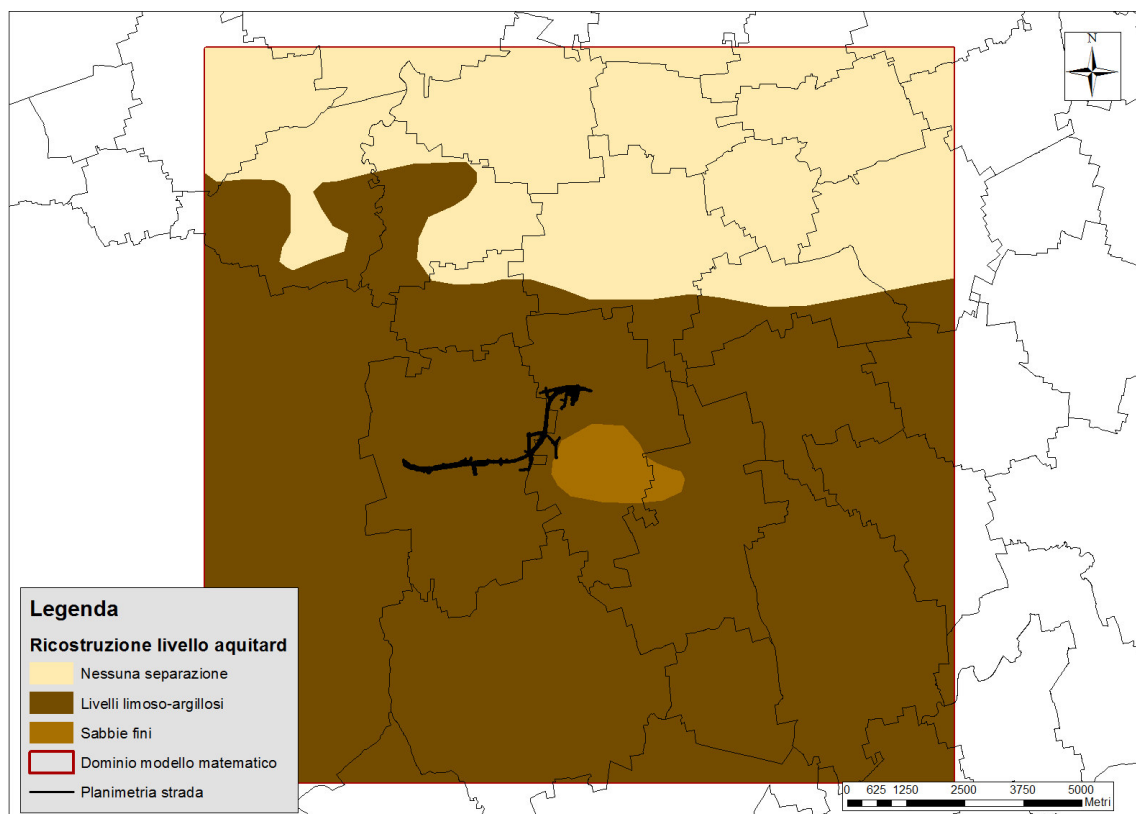


Figura 42 – Ricostruzione livello aquitard

4.2 Calibrazione del modello

4.2.1 Procedura di calibrazione utilizzata

La calibrazione del modello ha lo scopo di definire il valore di parametri e condizioni al contorno che rappresenta al meglio i valori delle variabili di output osservati.

Le osservazioni sono costituite dai livelli di falda misurati in n. 86 pozzi e piezometri ubicati nell'area di studio nei mesi di maggio e giugno 2014. N. 3 pozzi sono fenestrati nell'acquifero TrB, i rimanenti nell'acquifero TrA o nell'acquifero indistinto. I valori misurati in n. 13 punti sono risultati anomali rispetto ai valori di livello circostanti ed ingiustificabili rispetto alle informazioni disponibili. Tali valori sono stati quindi esclusi dal set delle osservazioni.

I parametri sottoposti a calibrazione sono:

- conducibilità idraulica in tutti i layer



- perdite dai canali Villoresi e Martesana
- ricariche superficiali

La calibrazione è stata svolta utilizzando il programma PEST (Doherty, 2004).

Le distribuzioni di conducibilità idraulica nei diversi layer sono state interpolate a partire dai valori stimati in griglie di “pilot point”. A tali griglie regolari sono stati aggiunti i pilot point in corrispondenza di valori di conducibilità idraulica noti poiché ricavati da test idraulici. A tali pilot point sono stati imposti dei limiti minimo e massimo di conducibilità dipendenti dall’affidabilità della misura.

In totale sono stati stimati ed interpolati n. 129 valori di conducibilità nell’acquifero TrA, n. 26 nell’aquitard, n. 67 nell’acquifero TrB. La risoluzione spaziale dei punti nel 2 layer è visibile in Figura 43. È stata inoltre applicata la regolarizzazione di Tikhonov (vedi Doherty, 2004) al fine di incrementare il numero di osservazioni e, impostando condizioni di “preferred homogeneity”, ricercare distribuzioni di conducibilità preferibilmente uniformi all’interno di ogni layer.

Le perdite dai canali Villoresi e Martesana sono state calibrate entro intervalli prestabiliti, tali da rappresentare dei coefficienti di perdita variabili tra il 5% ed il 20% delle portate defluenti.

Le ricariche superficiali sono state calibrate applicando fattori moltiplicativi unici per ogni tipologia di area (secondo la classificazione in aree verdi, miste, agricole ed edificate) e variabili entro valori consistenti con le modalità di alimentazione di ciascuna.

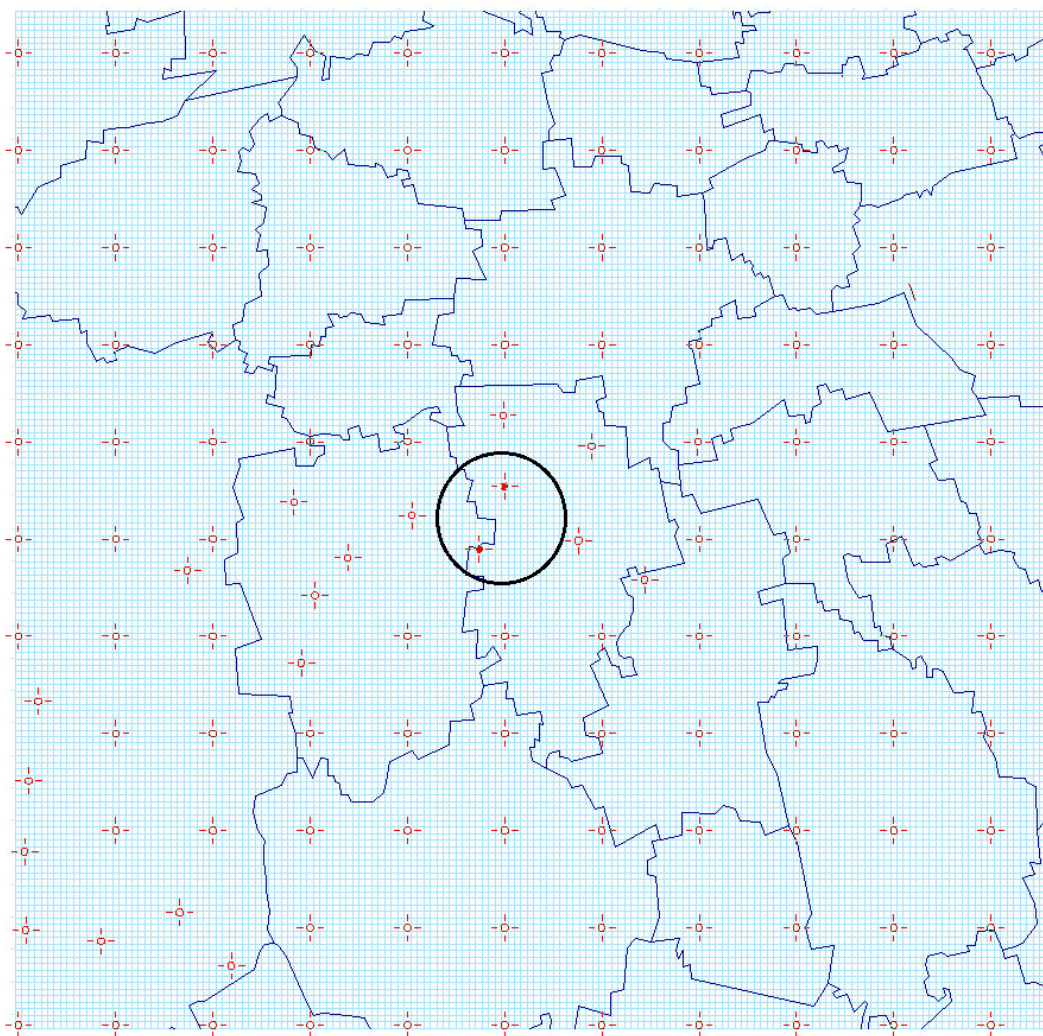


Figura 43 – Pilot points inseriti in layer 2 (acquifero TrA) per la stima della conducibilità idraulica. I due punti nell'ovale costituiscono i valori ricavati dalle prove di portata.

4.2.2 Risultato della calibrazione

Il risultato della calibrazione è stato valutato in termini di:

- scostamento tra i valori di livello misurati ed osservati
- distribuzioni di conducibilità stimate
- valori attribuiti alle perdite dai canali ed ai coefficienti di ricarica superficiale.



La media del modulo degli scarti (differenze tra livelli misurati ed osservati) è pari a 0,25 metri. Lo scarto quadratico medio è pari a 0,32 m. L'errore quadratico medio è pari a 0,10 m². Le statistiche di calibrazione sono mostrate in Tabella 3.

Il bilancio di massa per l'intero modello è mostrato in Tabella 4.

Tabella 3 – Statistiche di calibrazione.

N. di osservazioni N. of observations	73	
Valore minimo osservato Minimum observed value	98.85	m s.l.m. m a.s.l.
Valore massimo osservato Maximum observed value	131.86	m s.l.m. m a.s.l.
Estensione delle osservazioni Range in observations	33.01	m
Media dei residui Residual mean	0.055	m
Scarto quadratico medio dei residui Residual standard deviation	0.32	m
Media del modulo degli scarti Absolute residual mean	0.25	m
Errore quadratico medio Mean squared error	0.10	m ²
sqm dei residui / estensione Residual st.dev / obs range	1.0%	

Tabella 4 – Bilancio di massa del modello calibrato (valori in mc/s).

	INGRESSI / INFLOWS	USCITE / OUTFLOWS
CANALI / CANALS	1.78318500309251	
POZZI / WELLS		4.75267038099705
CONSTANT HEAD	2.55135648158557	4.2982377080607
LAMBRO	0.229259891215406	0.0328202772070654
RICARICA / RECHARGE	4.51659145623307	0
TOTALE / SUM	9.08039283212656	9.08372836626481

La piezometria simulata nell'acquifero superficiale e gli scarti residui rispetto ai valori osservati, è rappresentata in Figura 44.

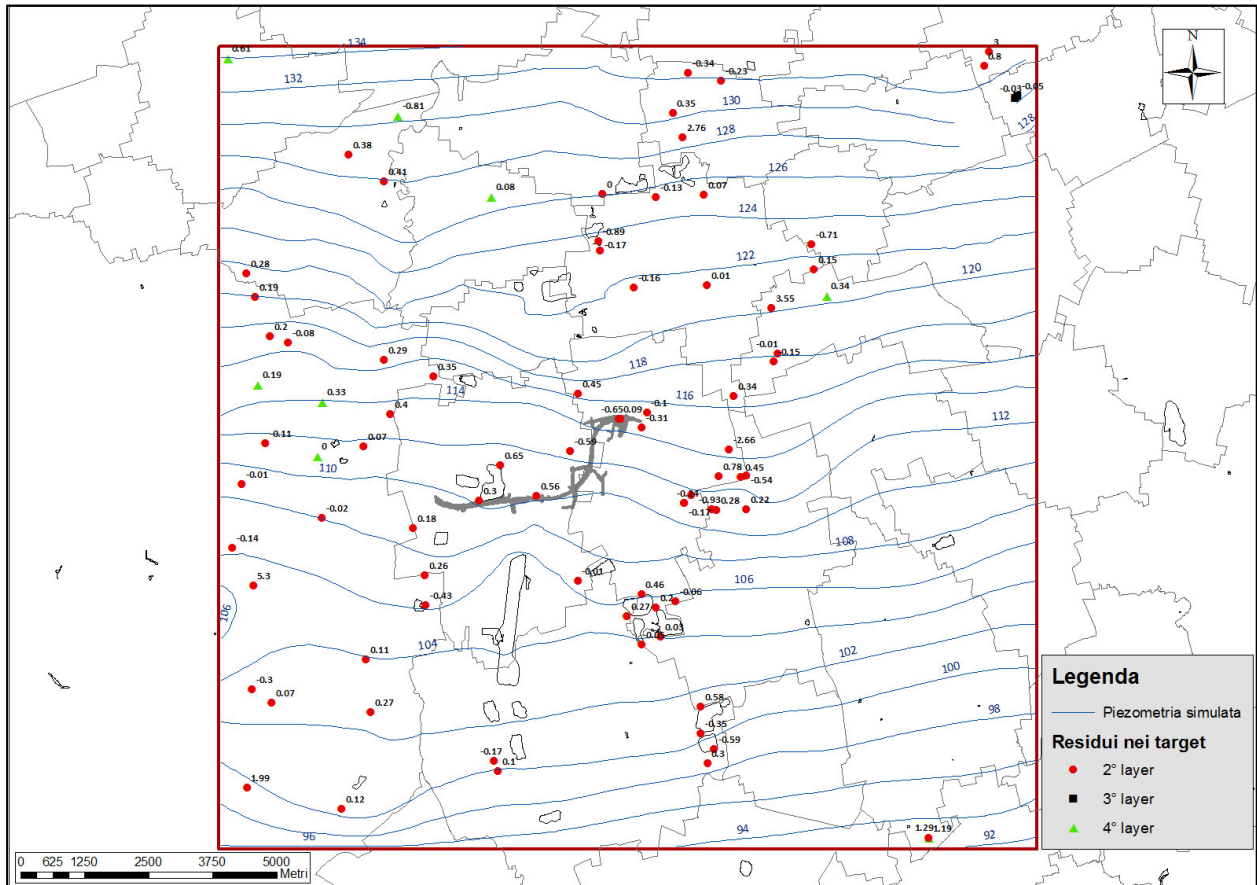


Figura 44 – Piezometria simulata nell'acquifero TrA e scarti residui nei target del modello.



5 METODOLOGIA DI LAVORO ED IMPOSTAZIONE DEGLI SCENARI

Le attività descritte nei capitoli precedenti sono state propedeutiche alla formulazione della migliore modalità di stima dell'evoluzione futura dei livelli piezometrici. Le valutazioni formulate dagli enti preposti circa il futuro sviluppo delle aree di interesse e delle attività ivi svolte sono state integrate al fine di stabilire le forzanti e le variabili di maggiore interesse e sono state incluse nelle simulazioni svolte utilizzando il modello matematico.

Sono stati ricostruiti n. 2 scenari di partenza ("Scenario 1" e "Scenario 2") ai quali sono state poi applicate, utilizzando un approccio basato sul metodo Monte Carlo, le forzanti ritenute più importanti nella definizione futura dei livelli piezometrici: si tratta della ricarica meteorica, dei prelievi e delle oscillazioni stagionali.

Scenario 1 è impostato sulla base dello scenario di calibrazione e rappresenta, per quanto riguarda i prelievi, la situazione attuale.

In Scenario 2 i prelievi industriali in un intorno di 3 km della strada a progetto sono stati annullati, sulla base del presupposto che il polo chimico di Pioltello-Rodano e le altre attività industriali nella zona possano subire un arresto definitivo delle attività.

Le forzanti sono state applicate sulla base di un approccio stocastico, dopo averle descritte in termini di distribuzioni di probabilità.

Alcuni scenari deterministici ("Scenario 3") sono stati poi sviluppati e descritti in Paragrafo 6.2.4 al fine di rappresentare la possibile evoluzione della falda sulla base di variazioni specifiche nei prelievi.

Vengono di seguito descritte le impostazioni di base del metodo utilizzato in Scenario 1 e Scenario 2 e le assunzioni preliminari necessarie alla descrizione probabilistica delle forzanti.

5.1 Applicazione del metodo Monte Carlo

Il metodo utilizzato per la valutazione probabilistica dell'evoluzione dei livelli prende il nome dalla località monegasca sede del famoso casinò. Si tratta di una classe di metodi basati sul



campionamento ripetuto di variabili di ingresso al fine di ottenere la distribuzione di frequenza di uno o più risultati.

I vantaggi del metodo Monte Carlo risiedono nella semplicità di formulazione e di applicazione (Peck et al., 1988); il maggiore svantaggio consiste nella necessità di svolgere parecchie iterazioni – e quindi parecchi *run* del modello matematico di flusso – al fine di ottenere un risultato accurato. Tale svantaggio viene ridotto dalla possibilità di impostare le simulazioni in parallelo su diverse macchine: nel caso in esame, sono stati utilizzati 10 diversi processori.

Nell'applicazione svolta nel presente studio, alcune variabili di input sono state descritte mediante distribuzioni di probabilità e sono state campionate per 600 volte. Il numero di simulazioni è stato scelto, dopo alcuni tentativi, in modo da consentire di raggiungere un risultato stabile con curve di frequenza rappresentative.

Ogni campionamento, definito “realizzazione”, avviene sulla base di un generatore di numeri casuali ed è seguito dall'applicazione dei valori campionati al modello matematico realizzato con Modflow. L'insieme di tutti i risultati derivanti dalle realizzazioni (nel caso in esame, i livelli piezometrici nei punti di controllo ubicati lungo il tracciato stradale e nell'intorno, rappresentati in Figura 63) può essere rappresentato come una distribuzione di frequenza, assegnata ad ognuno dei punti di controllo. Le distribuzioni di frequenza forniscono la probabilità che i livelli piezometrici vengano raggiunti o superati entro l'intervallo di tempo considerato.

Più in dettaglio, le variabili sottoposte a campionamento sono costituite da:

- ricarica superficiale media annua (si veda il Paragrafo 5.2);
- prelievi da pozzi (tramite un fattore moltiplicativo dei prelievi attuali, si veda il Paragrafo 5.2.2);
- incrementi di livello piezometrico stagionali (Paragrafo 5.2.3).

La scelta delle variabili di ingresso è avvenuta sulla base:

- dell'influenza sulla definizione dei livelli piezometrici
- della possibile evoluzione nel lungo periodo.



Una volta stabilita la possibile evoluzione futura delle variabili selezionate, sono state scelte le rispettive distribuzioni di probabilità adatte a descrivere l'incertezza circa la possibile evoluzione futura. La scelta è ricaduta, per tutte, sulla distribuzione normale: per ogni variabile è stata definito il valore medio e lo scarto quadratico medio.

Terminata la selezione e definizione delle variabili di ingresso, sono stati selezionati i due scenari (Scenario 1 e Scenario 2) ed è stato applicato lo schema di lavoro rappresentato in Figura 45, le cui fasi sono le seguenti:

- campionamento casuale della ricarica media annua e del fattore di prelievo;
- inserimento dei valori campionati in Modflow;
- *run* del modello e generazione di valori di livello piezometrico in ognuno dei punti di monitoraggio;
- campionamento casuale di valori di incremento di livello piezometrico (i valori di “ Δh ” descritti in Paragrafo 5.2.3) da sommare ad ognuno dei punti di monitoraggio;
- ripetendo le fasi precedenti per il numero totale di 600 volte, sono state generate le curve di frequenza per i livelli piezometrici nei punti di monitoraggio.

Le variabili di ingresso utilizzate corrispondono sia a variabili ad andamento periodico annuale (la ricarica superficiale e gli incrementi di livello stagionale, per i quali si ipotizza, in base a quanto descritto nel seguito, che la distribuzione di probabilità sia identica a quella ricavata dalle misure storiche) sia una variabile, costituita dai prelievi, ad andamento strutturale, per la quale si ipotizza cioè che il valore campionato possa essere mantenuto per diversi anni. Per tale motivo, le curve di frequenza ottenute come risultato delle simulazioni, sono da interpretare come la probabilità che i livelli piezometrici vengano superati, indicativamente durante la stagione autunnale in corrispondenza dei massimi livelli piezometrici, per un numero di anni indefinito in funzione del regime di prelievo campionato a partire dalla distribuzione stocastica in ingresso.

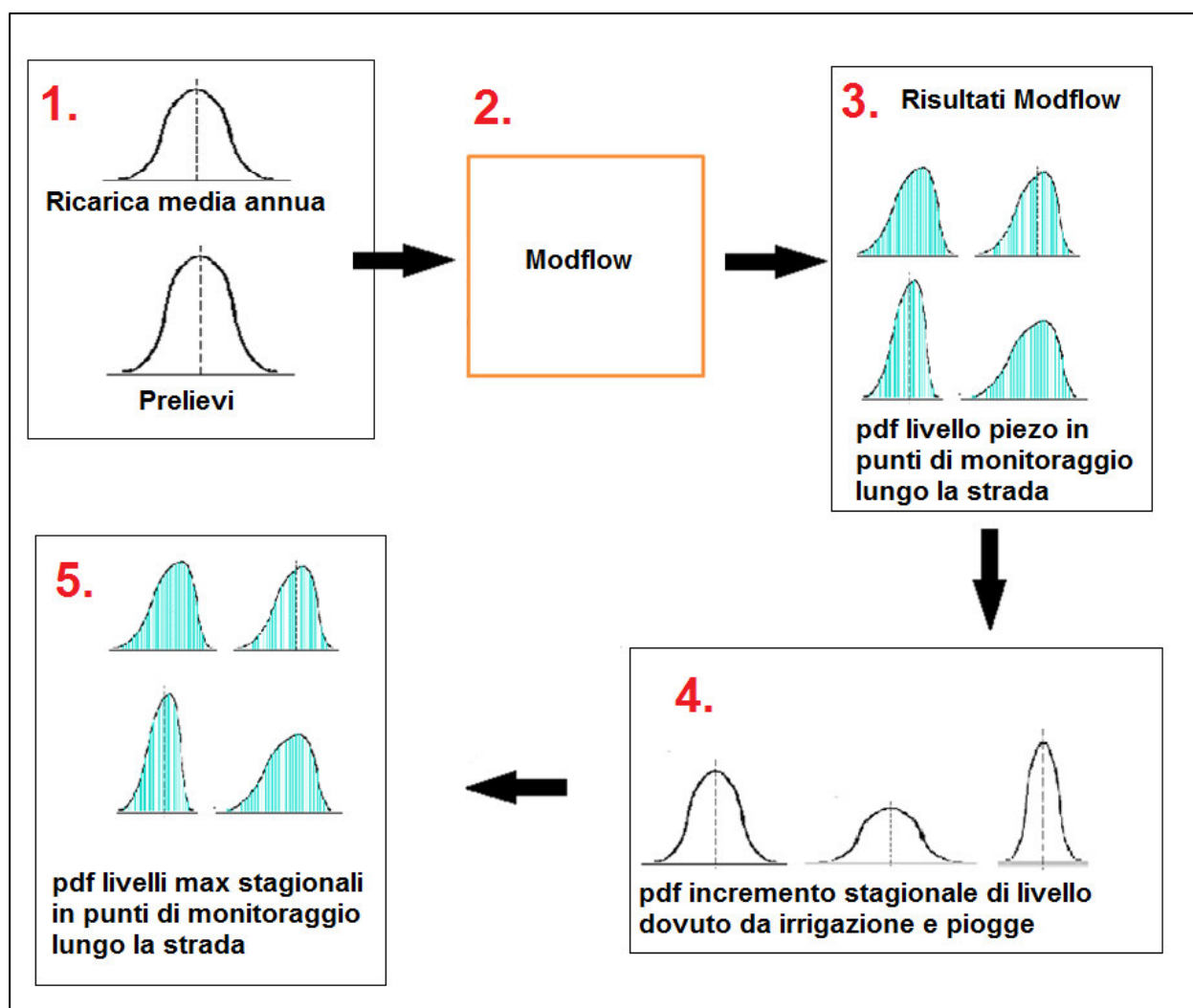


Figura 45 – Schema di lavoro adottato.

5.2 Assunzioni di base sulle variabili di ingresso

5.2.1 Definizione probabilistica della ricarica superficiale

Stante l'importanza, già ampiamente descritta, della ricarica meteorica, si è reso indispensabile valutarne la possibile evoluzione nel lungo periodo. A tale scopo, sono stati analizzati gli studi disponibili circa gli effetti dei cambiamenti climatici per l'area in esame. L'analisi è basata sul quarto e quinto rapporto pubblicati dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) rispettivamente nel 2007 e 2013. Le proiezioni in essi contenute delineano, in un contesto ampiamente incerto anche poiché incerto è l'andamento futuro delle emissioni di anidride



carbonica, una tendenza all'aumento delle temperature di pochi gradi centigradi ed un mantenimento o lieve riduzione delle precipitazioni su base media annua. L'aumento di temperatura determinerebbe un incremento dell'evapotraspirazione potenziale, andando quindi a ridurre ulteriormente la ricarica in falda.

La riduzione delle precipitazioni annue si potrà accompagnare, secondo alcune proiezioni, ad un aumento della frequenza di precipitazioni molto abbondanti, in particolare in occasione dei trimestri di settembre–novembre e dicembre–febbraio. La concomitanza di entrambe queste variazioni (descritte in dettaglio nel rapporto allegato) insieme all'elevata incertezza circa i risultati delle proiezioni portano a stabilire, a fini cautelativi, che la ricarica media annua da precipitazioni non subisca variazioni rispetto a quella osservata nei decenni passati e fino al giorno d'oggi.

La descrizione probabilistica della ricarica è stata differenziata, concordemente a quanto fatto in sede di calibrazione (Paragrafo 4.2), sulla base delle classi di utilizzo del suolo identificate. La ricarica sulle aree verdi, agricole e a copertura mista è stata variata mediante campionamento di una distribuzione normale con media e scarto quadratico medio derivati dai valori di pioggia ed evapotraspirazione calcolati su serie storica. La serie deriva dall'analisi delle osservazioni ottenute presso la stazione meteorologica dell'aeroporto di Milano–Linate durante il periodo dal 1951 al 2012.

La componente di ricarica da perdite di acquedotto è stata mantenuta inalterata e applicata secondo il medesimo approccio utilizzato in calibrazione. La ricarica da irrigazioni non è stata aggiunta ai termini sopra descritti, poiché il suo contributo è stato incluso direttamente sulla base dell'influenza sul livello di falda, descritta nel Paragrafo 5.2.3.

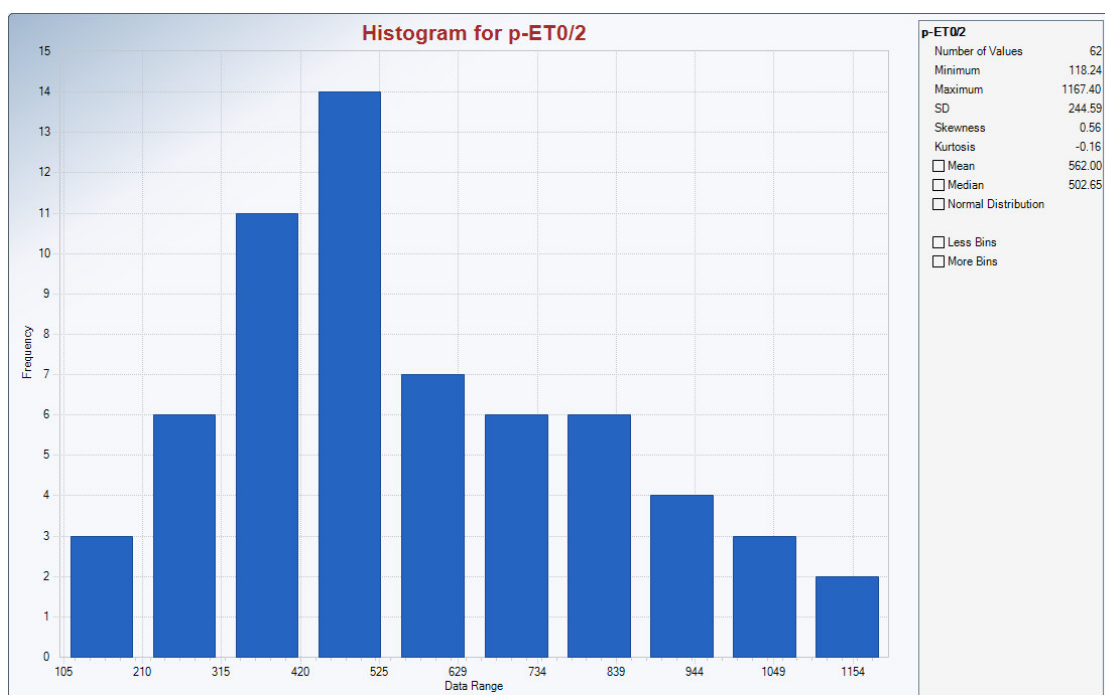


Figura 46 – Distribuzione di frequenza della ricarica meteorica stimata.

5.2.2 Assunzioni circa l'evoluzione dei prelievi

I prelievi nell'area oggetto di studio sono riconducibili prevalentemente ai pozzi di servizio all'acquedotto pubblico. Per la stima dell'evoluzione futura dei prelievi da falda è stato quindi considerato, come parametro di riferimento, il numero di persone residenti nei comuni di interesse, a cui la portata prelevata è direttamente proporzionale secondo un fattore dato dal consumo pro capite.

Assunzioni di base di tale approccio sono considerare separatamente i consumi industriali e quelli di altra natura (il numero di abitanti non tiene conto degli "abitanti equivalenti" costituiti dalle altre tipologie di consumo) ed ipotizzare che il consumo pro capite non subisca variazioni.

Tra le fonti consultate, è stato estratto uno studio di ISTAT riguardo la previsione cinquantennale dell'evoluzione della popolazione residente in Lombardia (Portale ISTAT, consultazione novembre 2014). Lo studio è stato sviluppato, secondo standard metodologici riconosciuti in campo internazionale, con la finalità di prevedere come si sarebbe evoluta la popolazione nel periodo 2014–2065.



Lo studio ha adottato il cosiddetto modello per componenti (*cohort component model*), secondo il quale la popolazione, tenuto conto del naturale processo di avanzamento dell'età, si modifica da un anno al successivo sulla base del saldo naturale (differenza tra nascite e decessi) e del saldo migratorio (differenza tra movimenti migratori in entrata e in uscita).

Le previsioni sono articolate secondo tre distinti scenari. Con il primo di essi, lo scenario centrale, viene fornito un set di stime puntuali ritenute “verosimili” che, costruite in base alle recenti tendenze demografiche, rappresentano quelle di maggiore interesse per gli utilizzatori. Accanto allo scenario considerato più “probabile” sono stati costruiti due scenari alternativi che hanno il ruolo di disegnare il campo dell'incertezza futura. Tali due scenari, denominati rispettivamente basso e alto, sono impostati definendo una diversa evoluzione per ciascuna componente demografica rispetto allo scenario centrale. Le due varianti tracciano idealmente un percorso alternativo, dove ciascuna componente apporterà maggiore (scenario alto) o minore (scenario basso) consistenza alla popolazione. Per lo scenario alto ciò significa fecondità, sopravvivenza e flussi migratori (interni e con l'estero) più sostenuti, mentre vale esattamente l'opposto nello scenario basso. Entrambi sono da intendersi esclusivamente come alternative “plausibili”: nessuno dei due, infatti, può vedersi attribuito il significato di limite potenziale (superiore o inferiore) allo sviluppo della popolazione.

La popolazione base delle previsioni è quella rilevata dalla fonte “Popolazione residente comunale per sesso, anno di nascita e stato civile (Posas)” al 1° gennaio 2011. La rappresentazione della previsione “centrale” effettuata da ISTAT è data dal grafico seguente (Figura 47).

Dall'analisi del grafico si può apprezzare come, in base alla previsione di ISTAT, la popolazione dovrebbe aumentare nella misura limitata pari a circa il 10,5% nel corso del prossimo cinquantennio. Ad ogni modo la previsione di ISTAT riguarda la popolazione dell'intera Regione Lombardia, pertanto è necessario verificare se la stima possa considerarsi valida anche per i singoli comuni dell'area di interesse. Per fare ciò sono stati esaminati i trend evolutivi delle popolazioni dei comuni di interesse e dell'intera popolazione della Lombardia nel periodo storico compreso tra il 1982 e il 2011: i risultati sono riportati nei grafici seguenti.

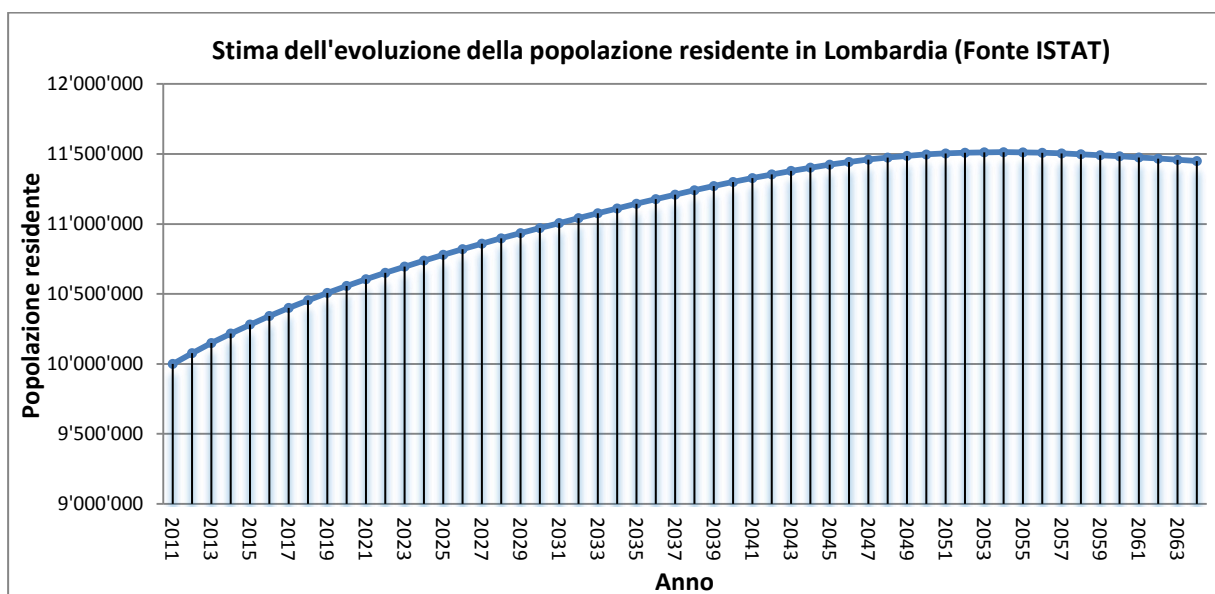


Figura 47 – Elaborazione grafica dei dati previsionali forniti da ISTAT circa l'incremento atteso della popolazione della Regione Lombardia.

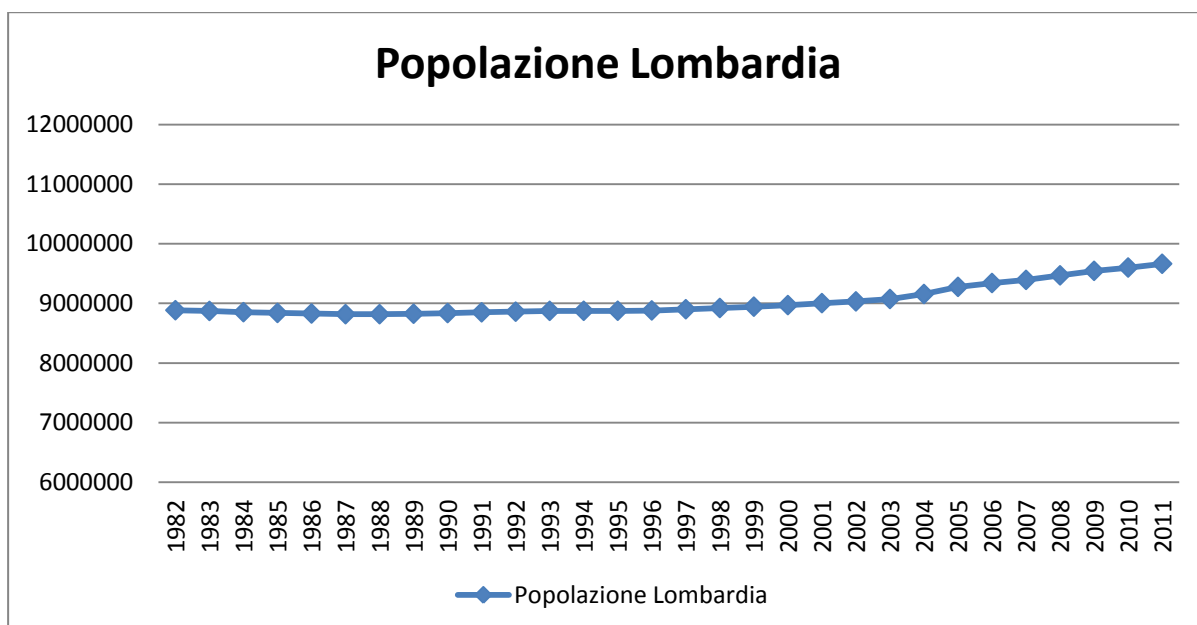


Figura 48 – Evoluzione della popolazione residente in Lombardia nel periodo 1982-2011 (dati ISTAT).

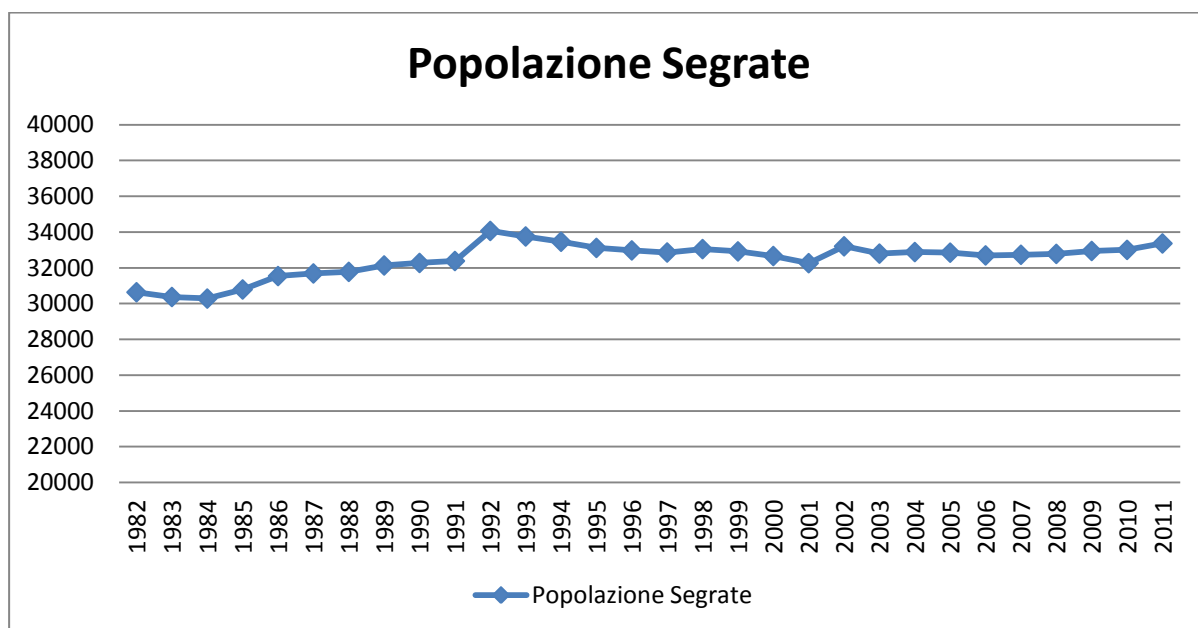


Figura 49 – Evoluzione della popolazione residente nel comune di Segrate nel periodo 1982–2011 (dati ISTAT).

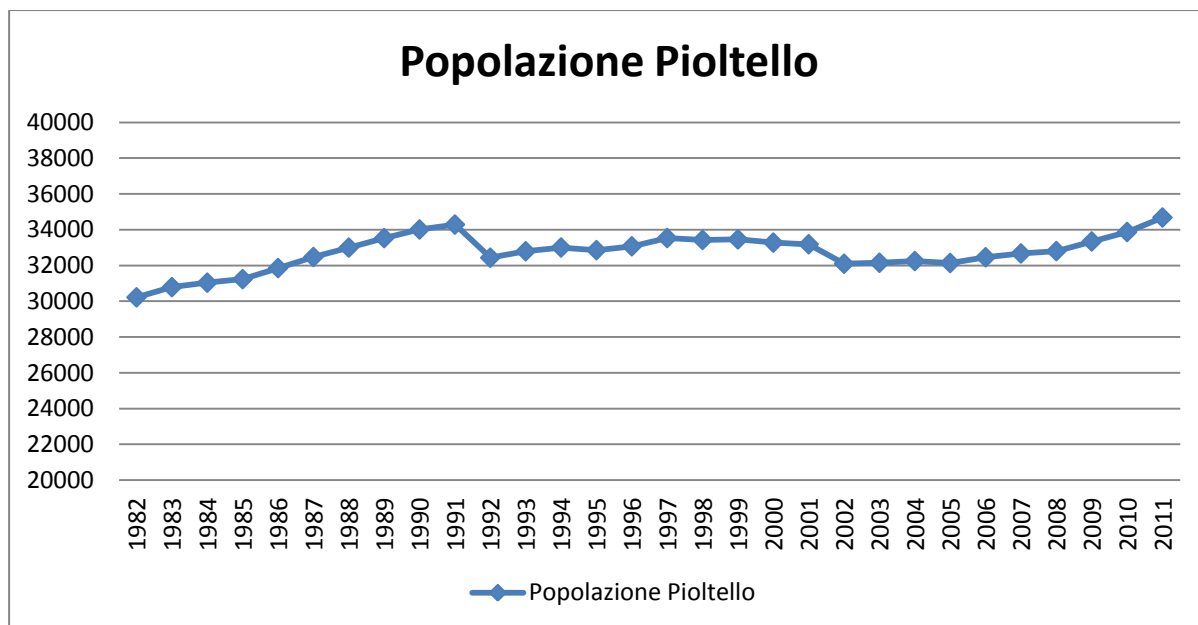


Figura 50 – Evoluzione della popolazione residente nel comune di Pioltello nel periodo 1982–2011 (dati ISTAT).

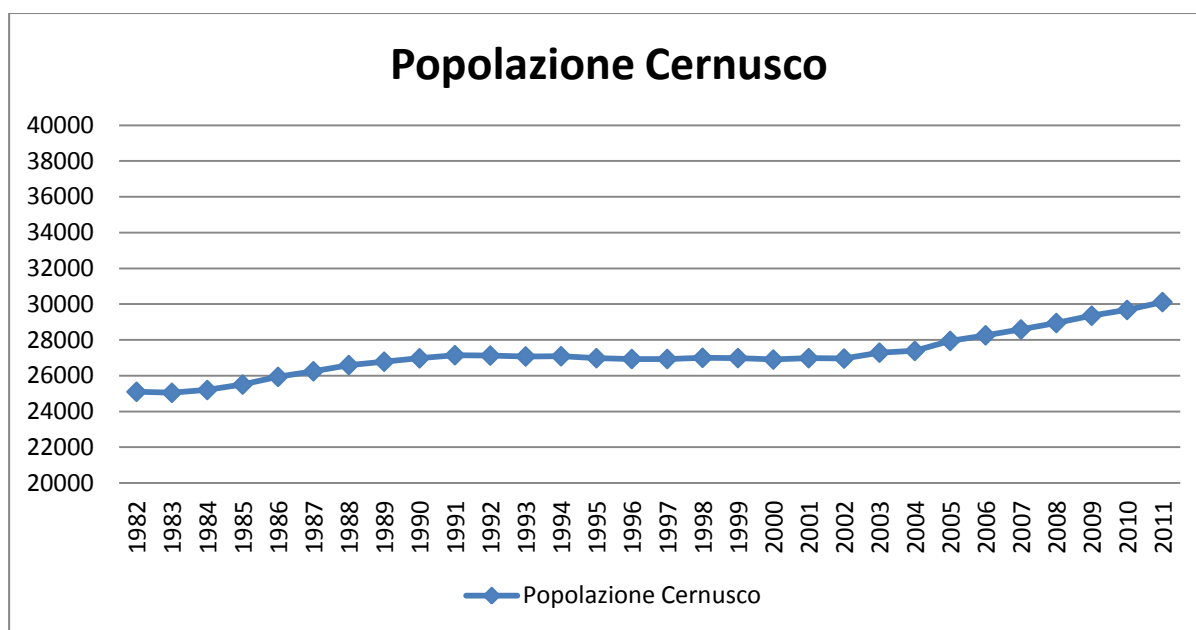


Figura 51 - Evoluzione della popolazione residente nel comune di Cernusco sul Naviglio nel periodo 1982-2011 (dati ISTAT).

Il confronto dell'andamento delle popolazioni dei singoli comuni con quello registrato per l'intera popolazione della Lombardia mostra come le popolazioni nel periodo esaminato siano tutte cresciute. L'analisi dell'incremento tra il dato iniziale e quello finale fornisce i seguenti valori: incremento dell'8,8 % in Lombardia, del 14,8 % nel comune di Pioltello, del 8,9% a Segrate e del 20% a Cernusco sul Naviglio. Si può quindi affermare che la tendenza generale riscontrata nei comuni ha avuto luogo anche a scala regionale. L'incremento nei comuni risulta superiore poiché riflette la tendenza allo spostamento di una parte della popolazione dalle metropoli verso i centri minori situati nelle immediate vicinanze, quali ad esempio nel caso di Milano i comuni di Segrate, Pioltello e Cernusco sul Naviglio.

L'evoluzione della popolazione non è l'unico fattore da tenere in considerazione per la stima previsionale dell'andamento dei prelievi dalla falda; difatti è in atto una tendenza alla riduzione dei pompaggi (si vedano, per il comune di Milano, Figura 52 e Figura 53) verosimilmente dovuta sia ad una crescente consapevolezza dell'importanza della risorsa (e quindi ad un utilizzo più consapevole della stessa limitando gli sprechi), sia alla riduzione delle perdite delle reti di distribuzione (Figura 52 e Figura 53). Il contenimento dei consumi in futuro potrebbe

essere inoltre agevolato anche dall'aumento dei costi della risorsa. In ultimo luogo è da considerare che una parte minoritaria dei prelievi è data dai pozzi legati alle attività produttive, quindi anche questa variabile è stata valutata al fine di definire la distribuzione di probabilità dei prelievi dalla falda.

Stanti le previsioni di un'evoluzione molto contenuta della popolazione, cui si può accompagnare una riduzione del consumo pro capite, il prelievo dai pozzi è stato campionato sulla base di una distribuzione normale rappresentante un fattore moltiplicativo applicato a tutti i pozzi simulati nel modello. Tale fattore ha media pari a 1 poiché è basato sull'ipotesi, che il prelievo totale nell'area rappresentata dal modello matematico non subisca tendenzialmente variazioni rispetto alla situazione attuale. Lo scarto quadratico medio è stato impostato pari a 0,15: in tal modo, si assume che il mantenimento dei prelievi entro il 15% in più o in meno rispetto all'attuale ha una probabilità di accadimento pari a 0,68 mentre la riduzione o l'aumento di oltre il 30% dell'attuale hanno ciascuno una probabilità di accadimento pari a circa 0,02.

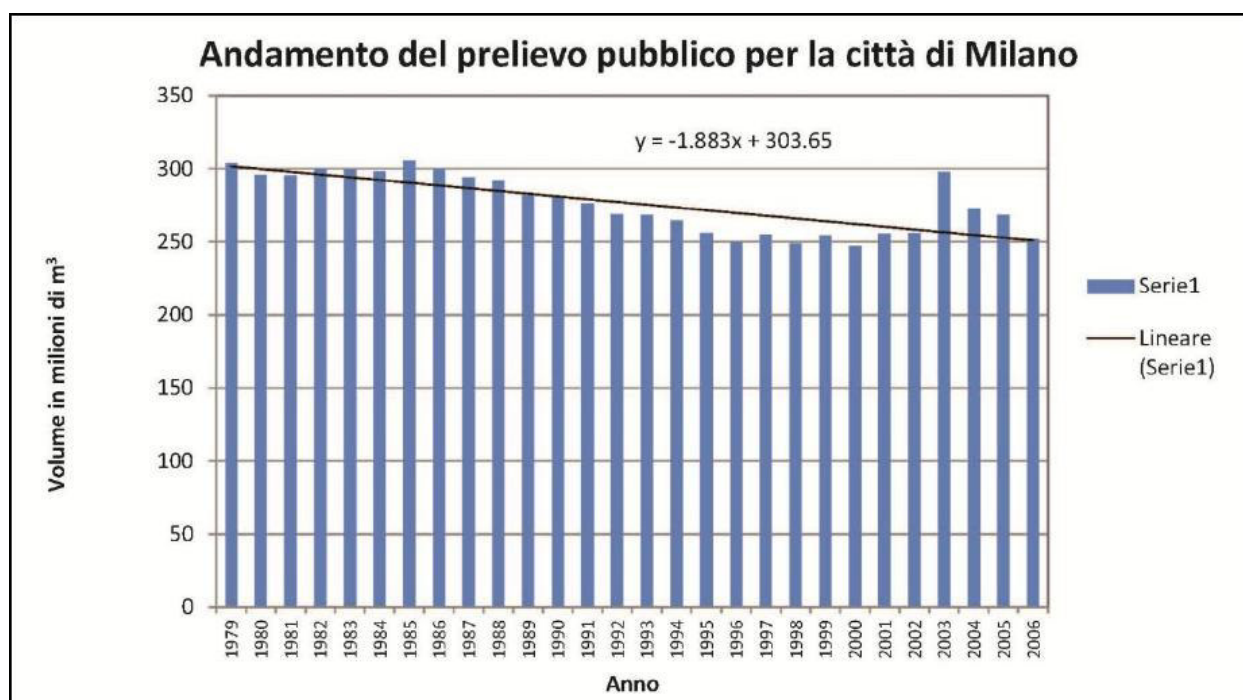


Figura 52 - Prelievi pubblici nel Comune di Milano (1976 - 2006). Valori comprensivi delle portate di spurgo.

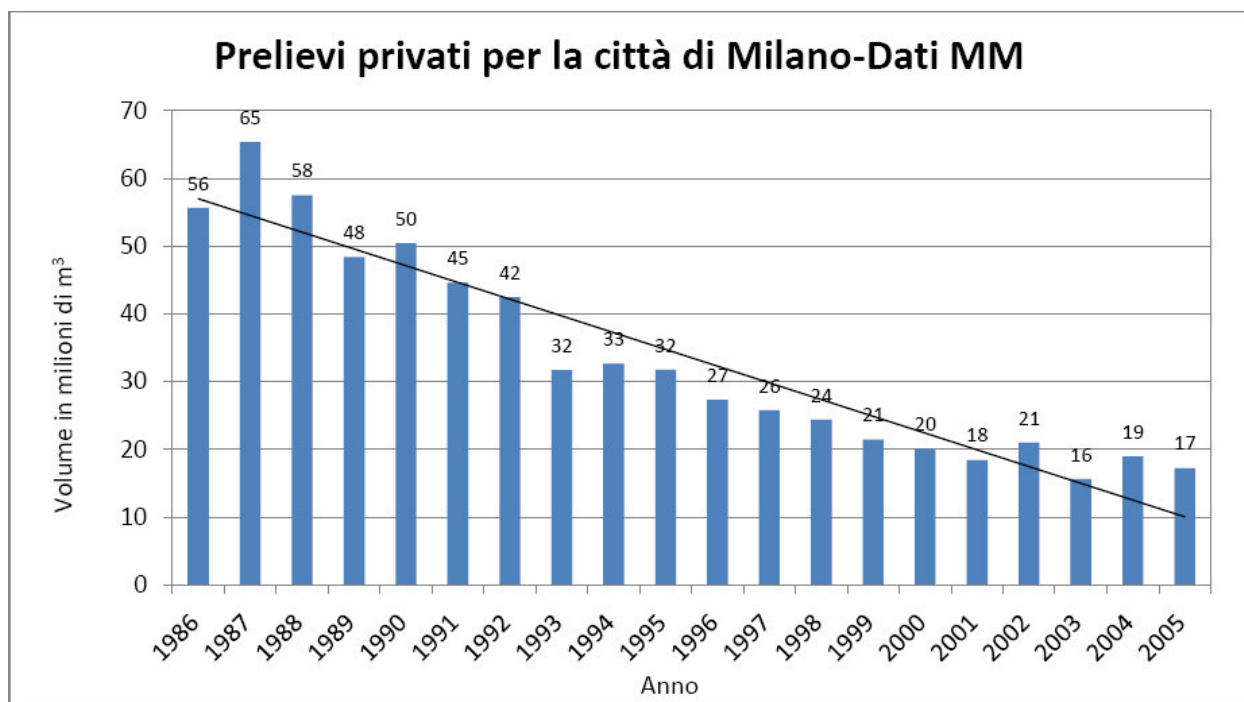


Figura 53 – Prelievi privati nel Comune di Milano (1986 – 2006).

5.2.3 Escursione annuale dei livelli di falda

La quota di escursione piezometria annua ascrivibile – in buona parte – all’influenza dell’irrigazione durante il periodo tra agosto–settembre ed ottobre–novembre è stata considerata campionando distribuzioni normali differenti per ogni punto di osservazione. I valori di media e varianza sono stati ottenuti mediante interpolazione dei rispettivi valori calcolati sulla base delle osservazioni esistenti nei pozzi e piezometri distribuiti nell’area di interesse, rappresentati nei grafici mostrati in Paragrafo 3.5.

In particolare, per riprodurre al meglio la variabilità riscontrata nella distribuzione spaziale delle oscillazioni stagionali, è stata effettuata un’interpolazione spaziale dei valori medi delle oscillazioni stagionali rilevate in ciascun punto di monitoraggio, calcolati sulla base delle variazioni interannuali, stimate come differenza tra valore massimo e medio dei livelli (“ ΔH ”), per ciascuna serie di registrazioni annuali. L’interpolazione è stata effettuata mediante strumenti di analisi geostatistica ed il risultato è stato rappresentato attraverso G.I.S. (Geographic Information System) su carta georeferenziata (vedi Figura 54).



Le serie di valori di ΔH temporalmente più numerose sono distribuite secondo una distribuzione normale, come è visibile ad esempio per il caso del pozzo n. 6 di Pioltello di cui in Figura 55 è mostrato l'istogramma di frequenza ed in Figura 56 il risultato del test di normalità. Poiché anche lo scarto quadratico medio delle diverse serie appare dotato di una correlazione spaziale (Figura 57), la media e lo scarto sono stati regionalizzati ed attribuiti ai punti di osservazione scelti per la valutazione dei livelli risultanti dalle simulazioni (rappresentati in Figura 63).

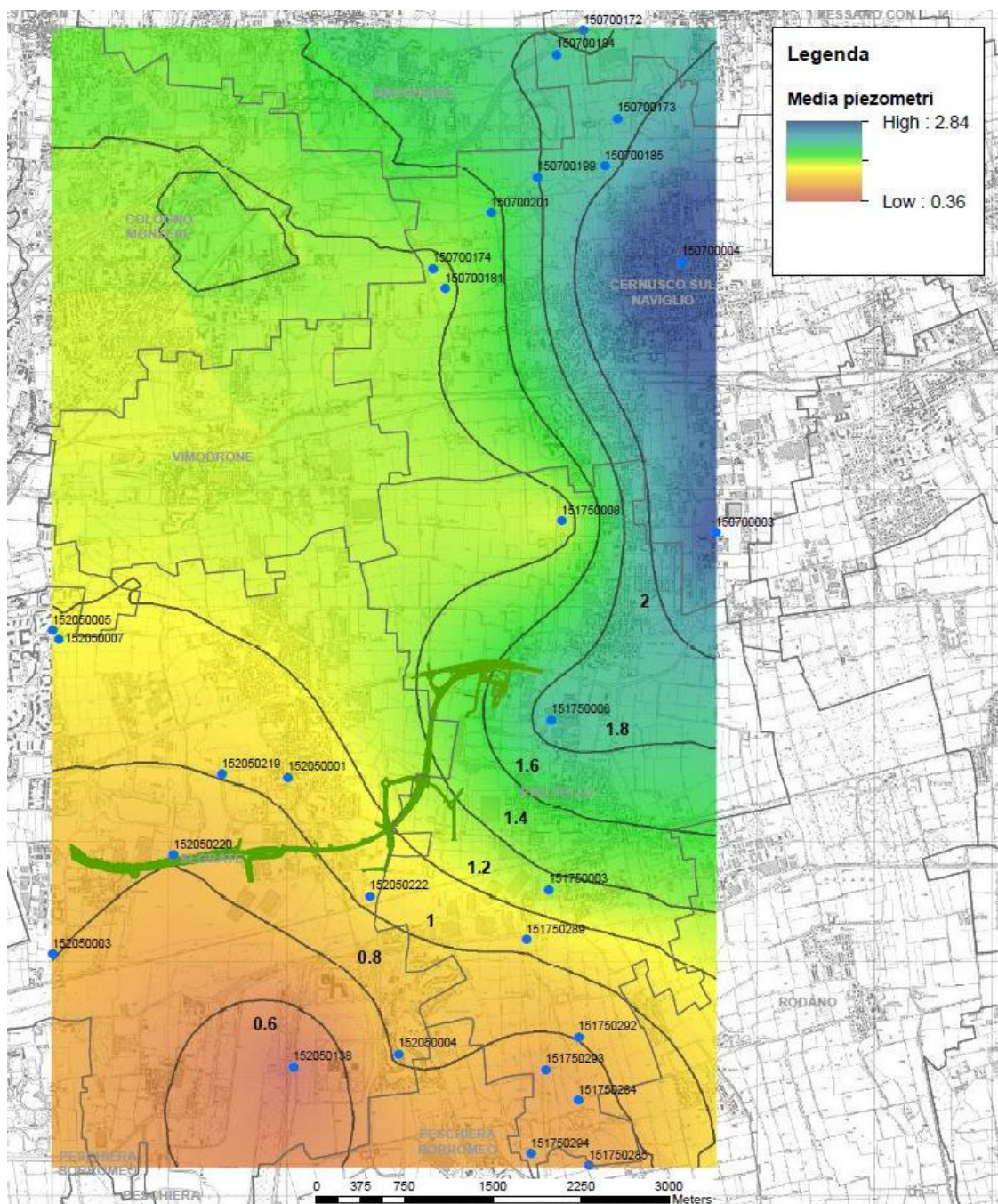


Figura 54 – Rappresentazione spaziale dell'interpolazione dei valori medi delle oscillazioni stagionali dei livelli acquiferi calcolati per ciascun punto di monitoraggio (i valori sono espressi in metri).

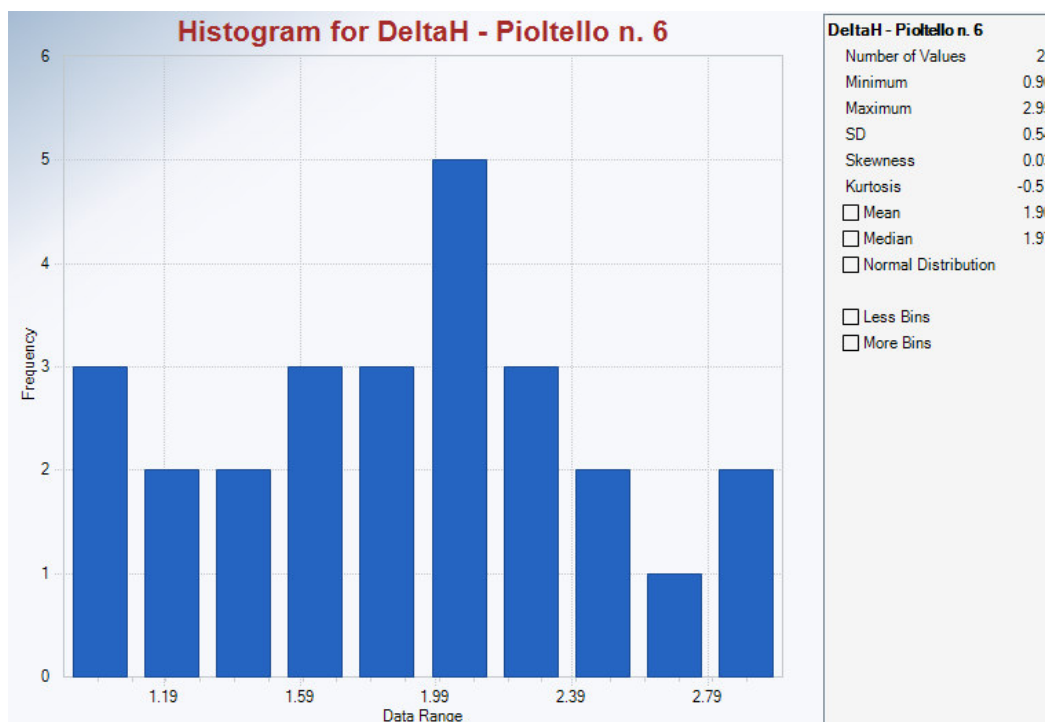


Figura 55 – Istogramma di frequenza dei valori storici di ΔH misurati nel pozzo n. 6 di Pioltello.

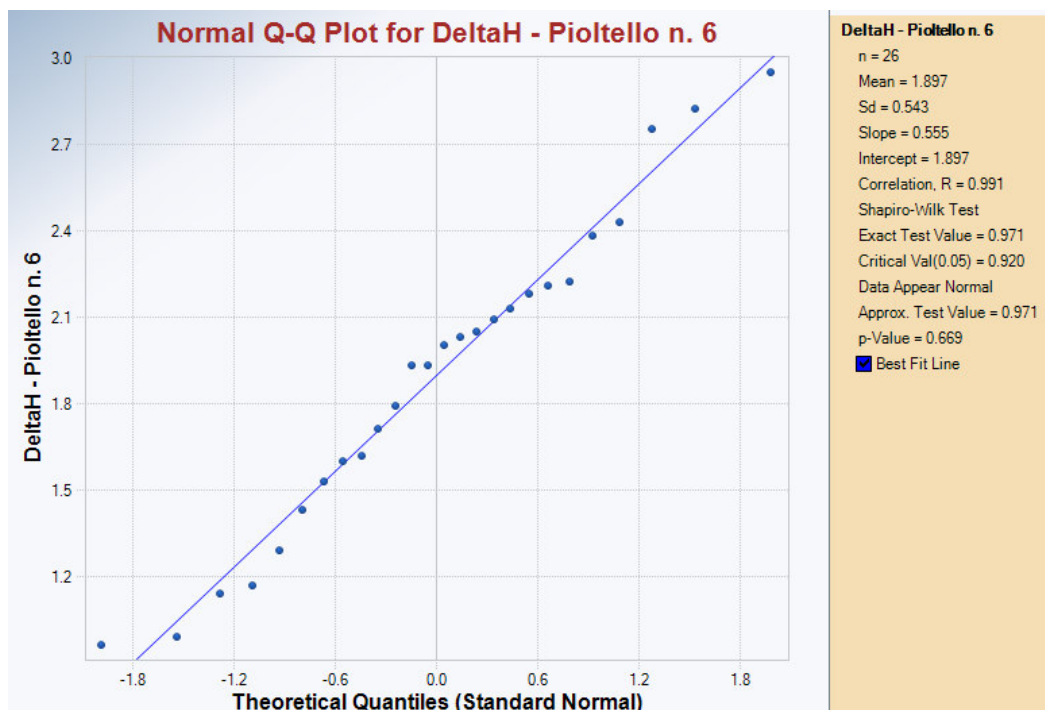


Figura 56 – Test di normalità per i valori storici di ΔH misurati nel pozzo n. 6 di Pioltello.

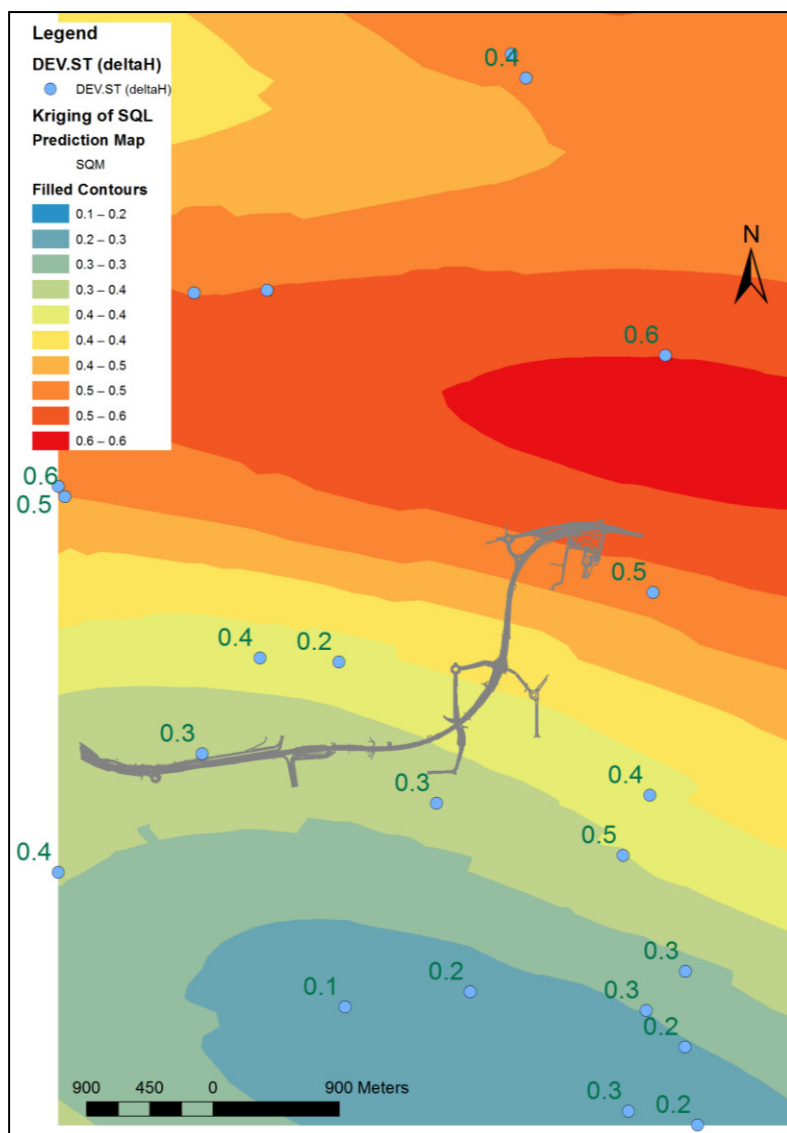


Figura 57 – Interpolazione dei valori di deviazione standard dei ΔH storici misurati in pozzi e piezometri nell'area di studio (valori in metri).



6 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

6.1 Interferenza delle opere sotterranee

Il modello matematico alla base degli scenari descritti corrisponde a quello ottenuto al termine della calibrazione con misure di livello del giugno 2014.

La griglia di calcolo è stata raffittita in pianta fino ad una dimensione delle celle pari a 10 X 10 metri in corrispondenza dei tratti di opere sotterranee previste dal progetto. Le posizioni piano–altimetriche delle opere (diaframmi e tamponi di fondo) sono state fornite da Errevia.

Lungo la verticale, la dimensione delle celle è diminuita mediante l’inserimento di alcuni layer aggiuntivi entro i primi metri di profondità da p.c. Tali layer sono funzionali alla rappresentazione geometricamente coerente (entro una precisione di alcuni decimetri) della profondità delle strutture.

In Figura 58 è rappresentata la griglia di calcolo in corrispondenza della strada.

I diaframmi sono stati simulati mediante la condizione “Horizontal Flow Barrier” (HFB) di Modflow. I tamponi di fondo mediante la condizione “No Flow”. L’approccio è valido per le strutture geologiche evidenziate dalle prospezioni geognostiche effettuate e dagli studi citati in bibliografia. I risultati descritti in seguito sono quindi da riferirsi ai tratti per i quali erano disponibili i dati in sito.

L’influenza che le strutture sotterranee – diaframmi e tamponi – previste a supporto della strada hanno sul deflusso idrico sotterraneo risulta molto modesta. Le strutture determinano un incremento di livello massimo di 8 cm in corrispondenza del punto Monte_2. Le sezioni riportate in Figura 60, Figura 61 e Figura 62 mostrano l’andamento del livello piezometrico in corrispondenza dell’opera sia in presenza che in assenza dell’opera. La differenza di livello è trascurabile.

Si ritiene che la scarsa influenza della struttura sia determinata dalla limitata profondità dei diaframmi – non intestati, per quanto risulta dai dati disponibili, in livelli di bassa permeabilità

- e dall'elevata trasmissività dell'acquifero Tradizionale A nell'area esaminata, la cui riduzione ad opera della struttura, pur non trascurabile in termini relativi (la riduzione locale dello spessore dell'acquifero determina una riduzione della trasmissività di circa il 15%), è tuttavia poco influente in termini assoluti.

Inoltre, la permeabilità dell'aquitard che separa i livelli Tradizionale A e Tradizionale B in prossimità dell'area della strada risulta superiore rispetto a quella media del livello: tale circostanza può agevolare un effetto di drenanza dal corpo acquifero superficiale a quello sottostante.

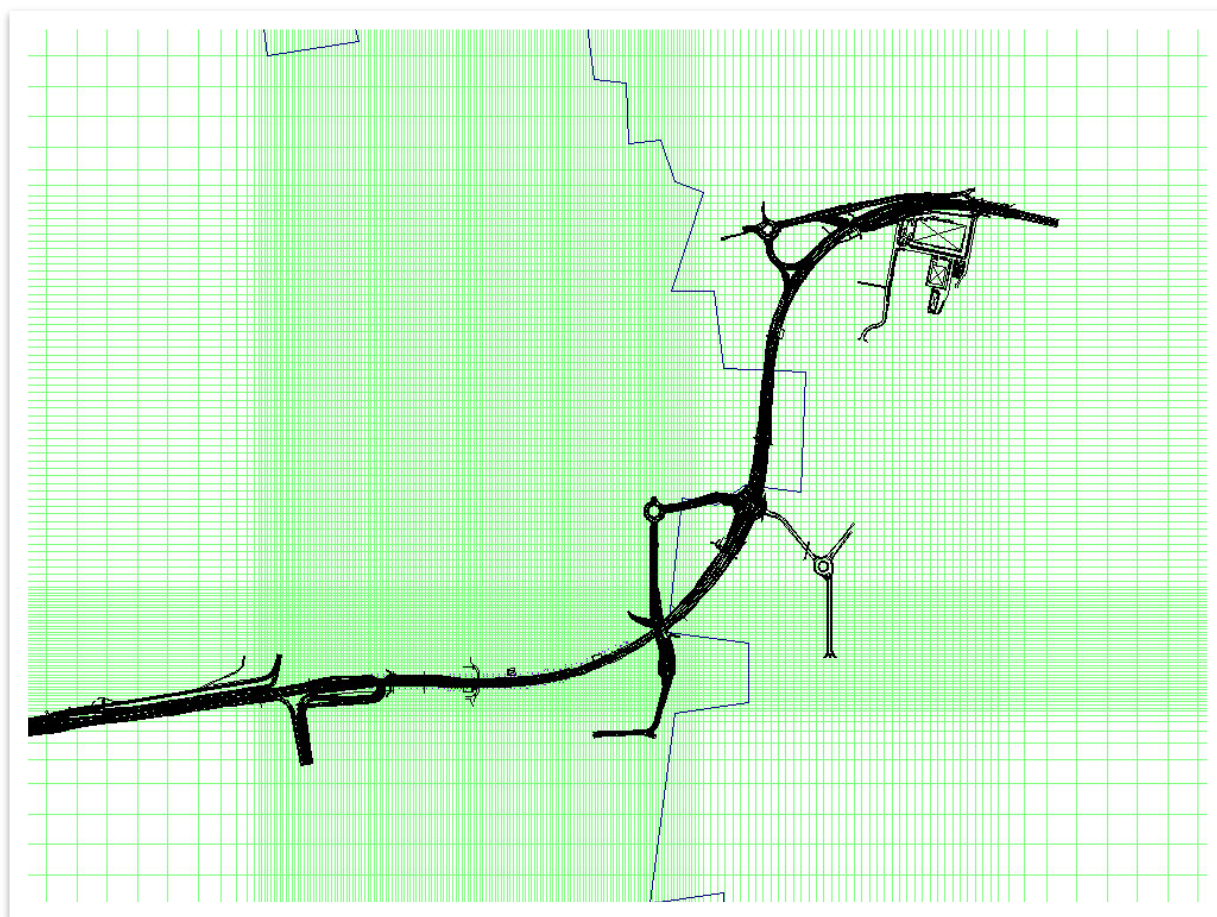


Figura 58 – Raffittimento della maglia di calcolo in pianta. Le dimensioni delle celle variano tra 100X100 metri e 10X10 metri.

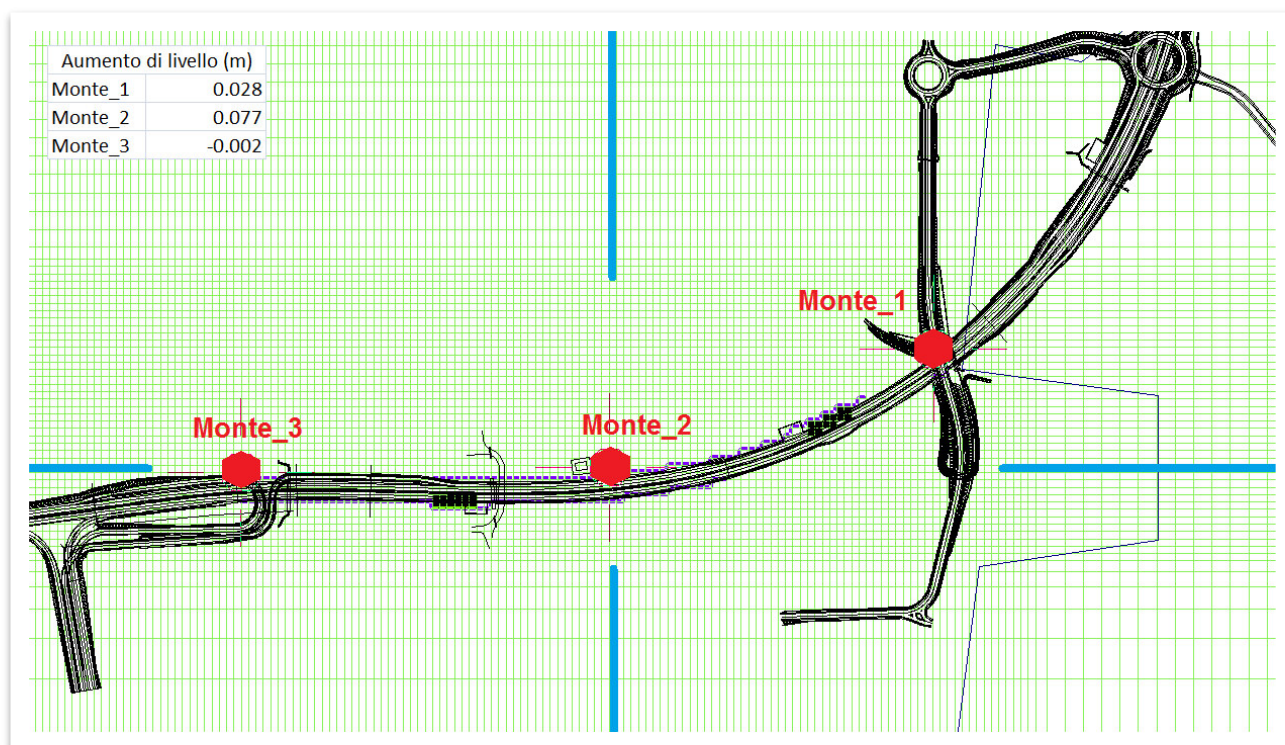


Figura 59 – Ubicazione dei punti di osservazione per la valutazione dell'interferenza delle opere sotterranee. Le linee blu indicano riga 155 e colonna 147 del modello raffittito.

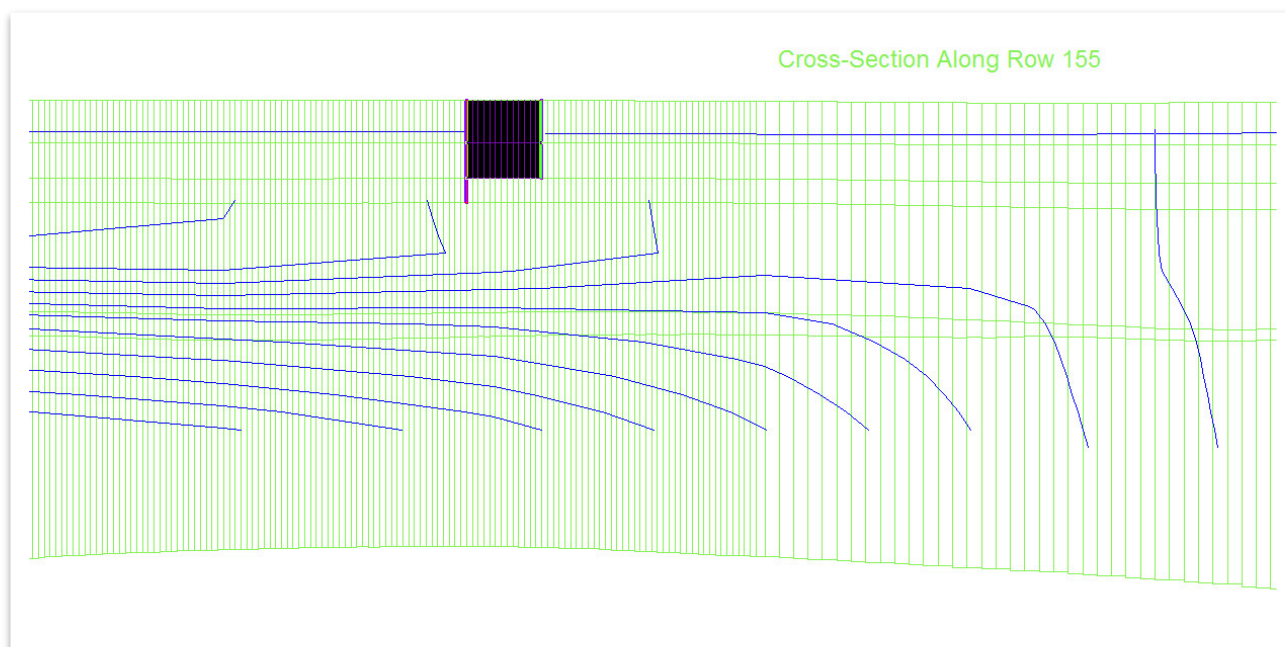


Figura 60 – Sezione ovest-est (riga 155 del modello raffittito) rappresentativa dell'influenza delle opere sotterranee sul livello di falda.

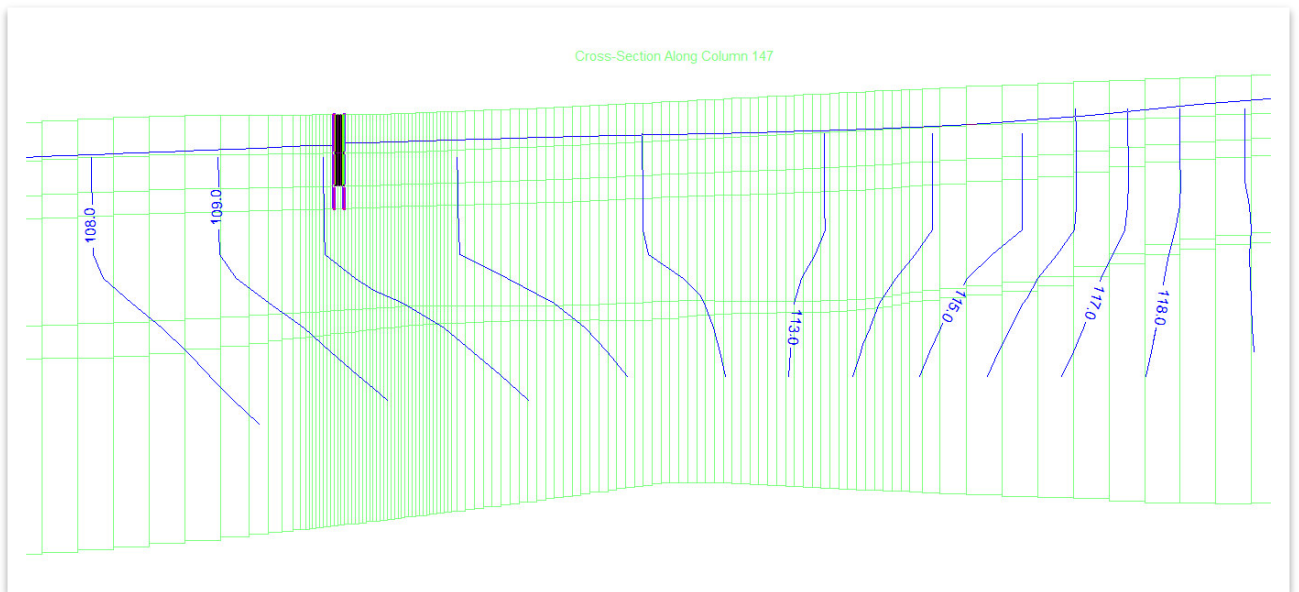


Figura 61 – Sezione nord-sud (colonna 147 del modello raffittito) rappresentativa dell'influenza delle opere sotterranee sul livello di falda.

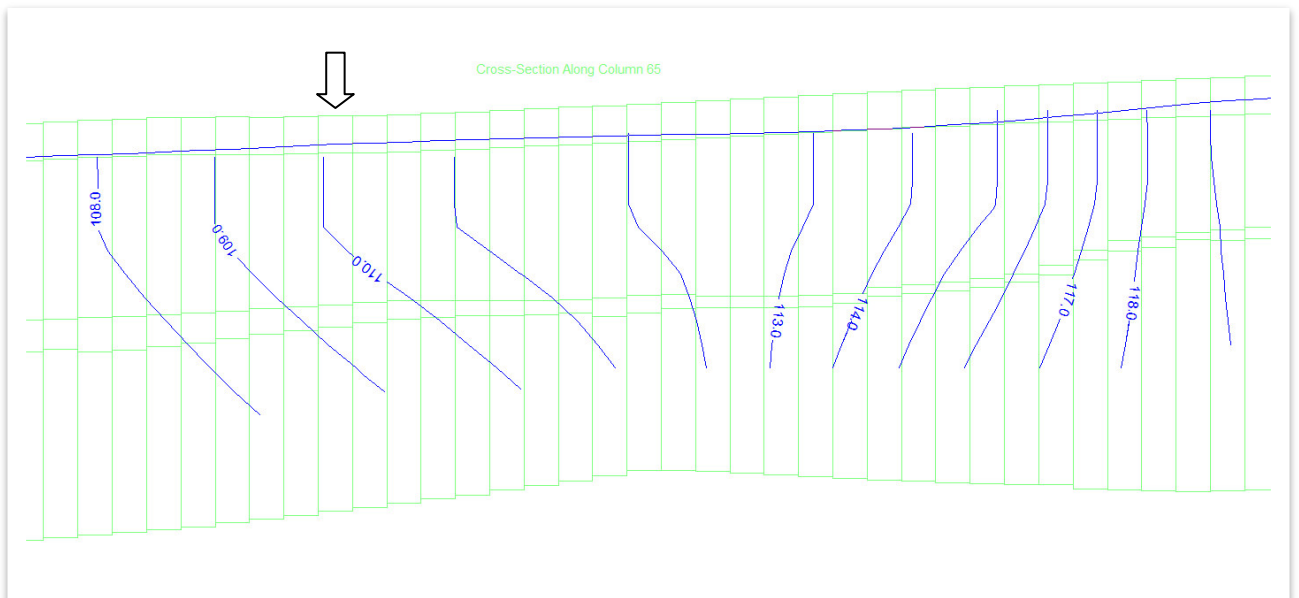


Figura 62 – Sezione nord-sud (in corrispondenza della medesima posizione in cui è ubicata colonna 147 del modello raffittito) rappresentativa del livello di falda indisturbato. Le opere sotterranee sono state simulate, nel modello raffittito, in corrispondenza della freccia (riga 89).



6.2 Scenari di evoluzione nel lungo periodo

6.2.1 Impostazioni di base degli scenari

Sono stati realizzati, in totale, n. 2 scenari di valutazione probabilistica tramite il metodo Monte Carlo (Scenario 1 e Scenario 2) ed ulteriori simulazioni ad impostazione deterministica – raggruppati sotto il nome di Scenario 3 – in ciascuno dei quali i parametri e le condizioni al contorno sono stati impostati a valori definiti (scenari “*what if*”).

In Scenario 1 non sono state apportate variazioni rispetto alla distribuzione attuale dei pozzi di prelievo delle acque di falda (descritta in Paragrafo 3.4.1), fatta salva l’applicazione del fattore probabilistico moltiplicativo descritto in Paragrafo 5.2.2. Anche la ricarica superficiale è stata applicata sulla base della distribuzione di probabilità descritta in Paragrafo 5.2. Le altre condizioni al contorno presenti nel modello sono state mantenute inalterate rispetto allo scenario di calibrazione. Per quanto riguarda le condizioni di carico costante assegnate ai limiti del dominio, tale impostazione pare corretta poiché i limiti sono posti ad una distanza tale rispetto all’area di interesse, da non influenzare sensibilmente i livelli piezometrici.

I risultati sono stati valutati tramite estrazione dei livelli di falda simulati in alcuni punti di controllo inseriti nel modello come rappresentato in Figura 63. I punti o1 – o6 sono ubicati lungo l’asse della strada. I punti rimanenti sono stati inseriti al fine di ricostruire la piezometria nell’area di interesse per diversi valori di probabilità. Si è inoltre tenuto conto dei risultati delle previsioni in corrispondenza di alcuni pozzi e piezometri esistenti ubicati nell’area di interesse.

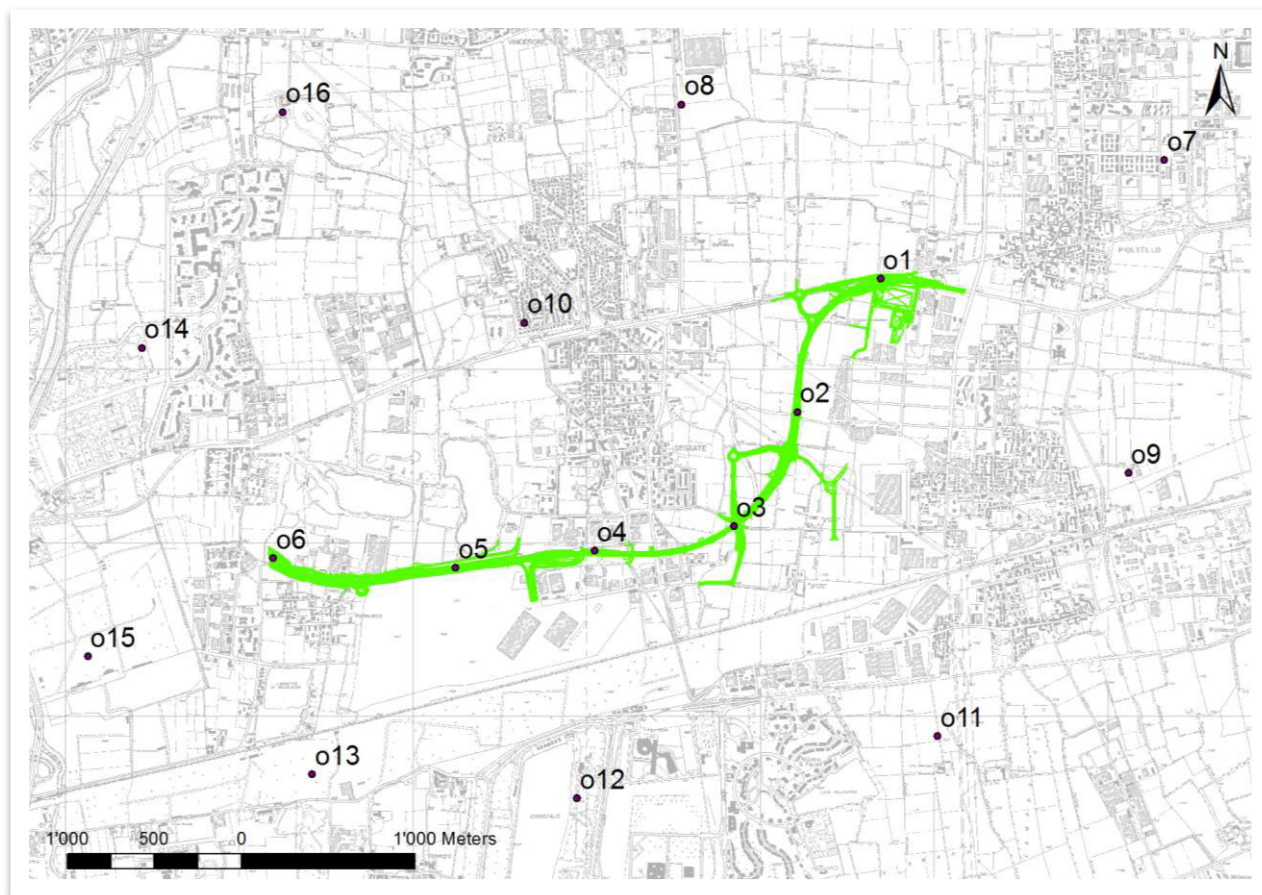


Figura 63 – Posizione dei punti di osservazione in corrispondenza dei quali sono state valutate le probabilità di eccedenza dei livelli piezometrici.

6.2.2 Scenario 1

I grafici in Figura 64 e Figura 65 rappresentano le curve di frequenza cumulata ricostruite, per i punti di osservazione ubicati lungo il tracciato della strada, al termine dell'applicazione del metodo Monte Carlo. I valori per tutte le osservazioni assumono una distribuzione normale, come evidente dalla sovrapposizione tra il grafico di frequenza e quello di probabilità mostrato per il punto di osservazione o1. È pertanto possibile leggere i grafici come curve di probabilità cumulata.

Le curve forniscono, in ordinata, la probabilità di non superamento dei livelli piezometrici riportati, in metri s.l.m., in ascissa. Nel caso del punto di osservazione o1 (Figura 64), il livello piezometrico pari a 113 m s.l.m. ha una probabilità di non superamento pari a 0,4. Il complemento a 1 di tale valore corrisponde alla probabilità che il livello venga superato.

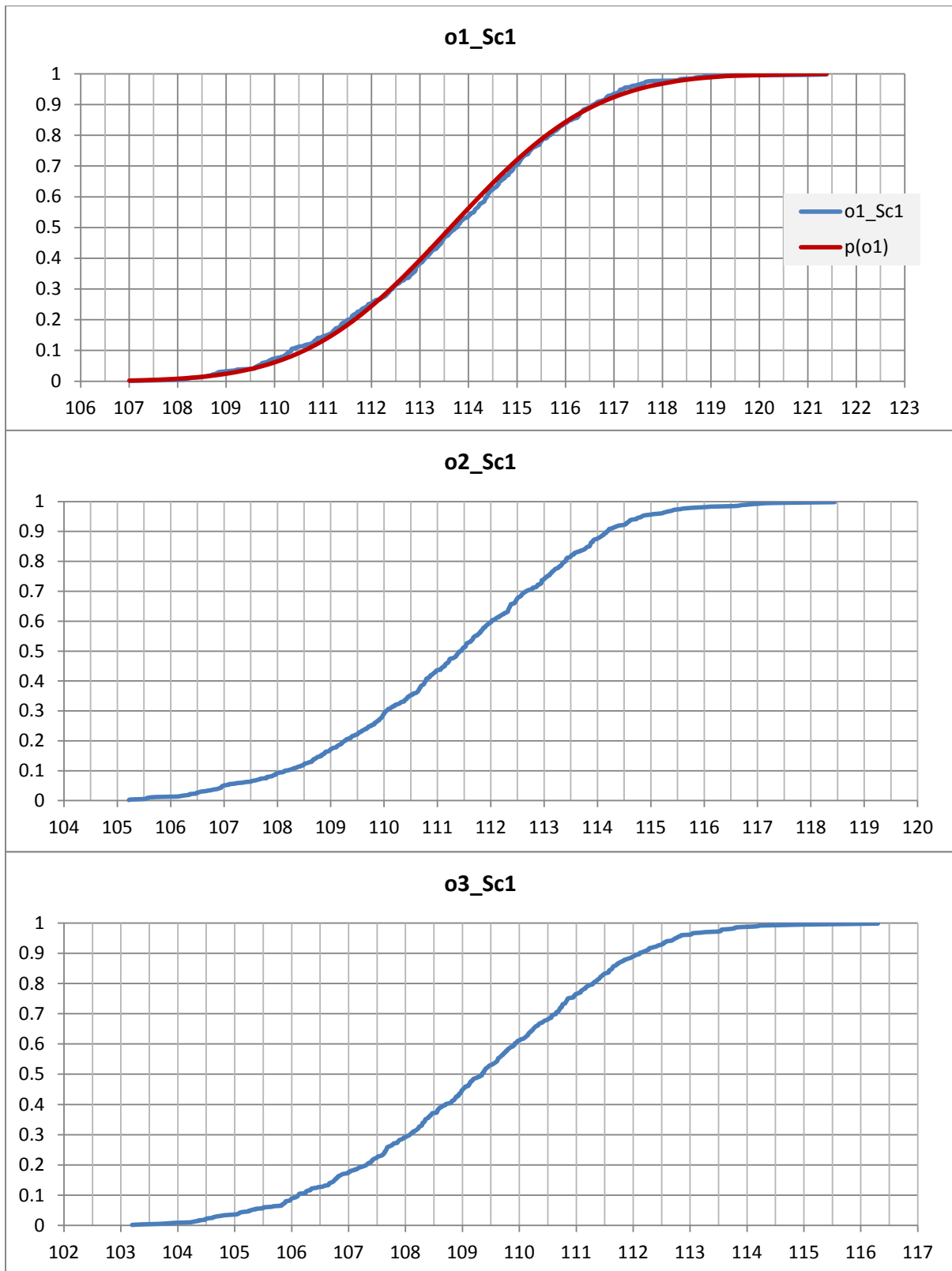


Figura 64 – Scenario 1 – Curve di frequenza cumulata per i punti di osservazione o1, o2, o3. Per o1 viene mostrata anche la curva di probabilità cumulata corrispondente alla distribuzione normale.

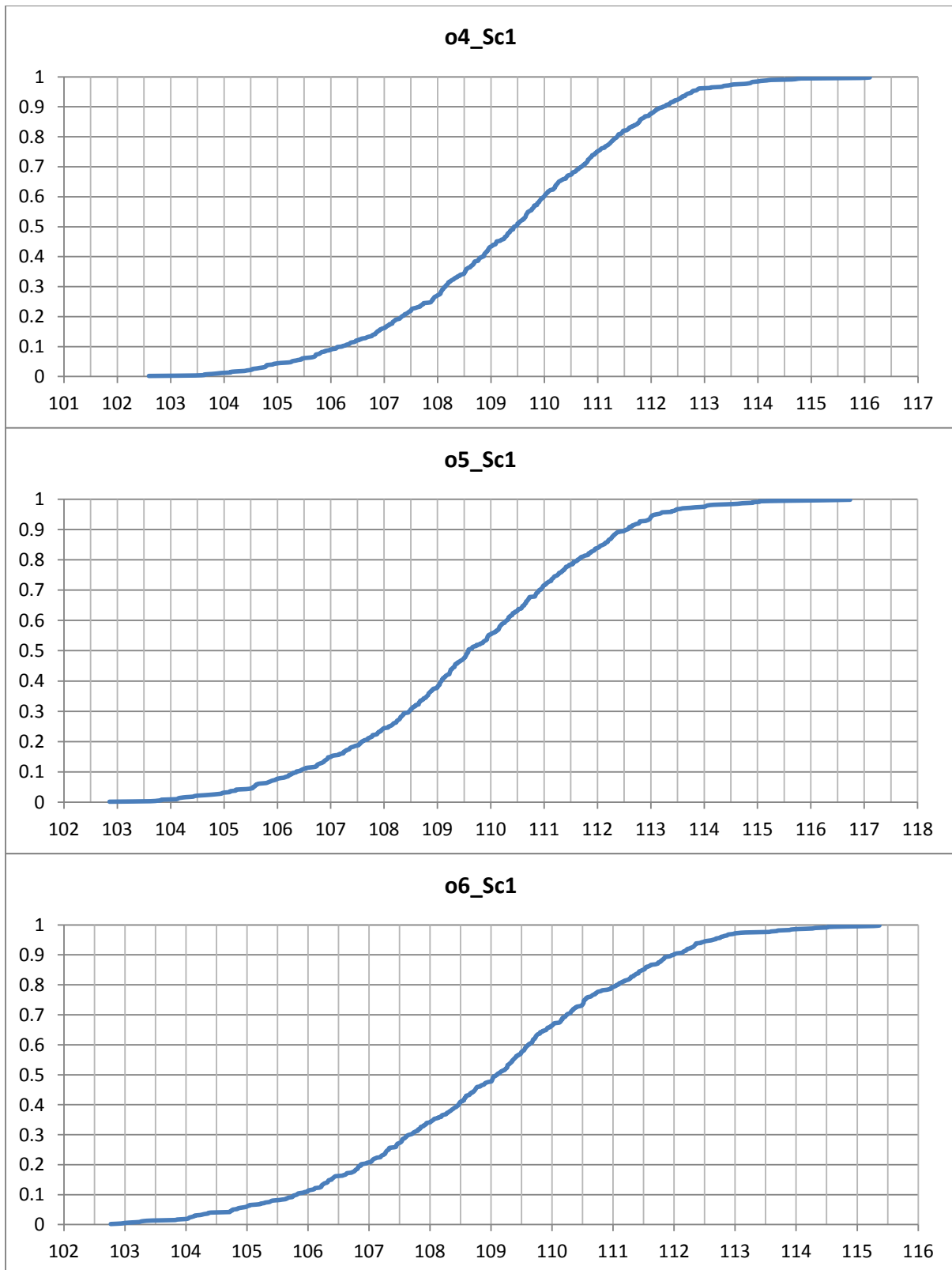


Figura 65 – Scenario 1 – Curve di frequenza cumulata per i punti di osservazione o4, o5, o6.

Interpolando i valori di livelli corrispondenti a probabilità definite, calcolati per ciascun punto di osservazione e per i pozzi e piezometri presenti nell'area in esame, sono state ricostruite le rispettive piezometrie.

In Figura 66 è riportata la piezometria ricostruita in corrispondenza di una probabilità di non eccedenza pari a 0,9.

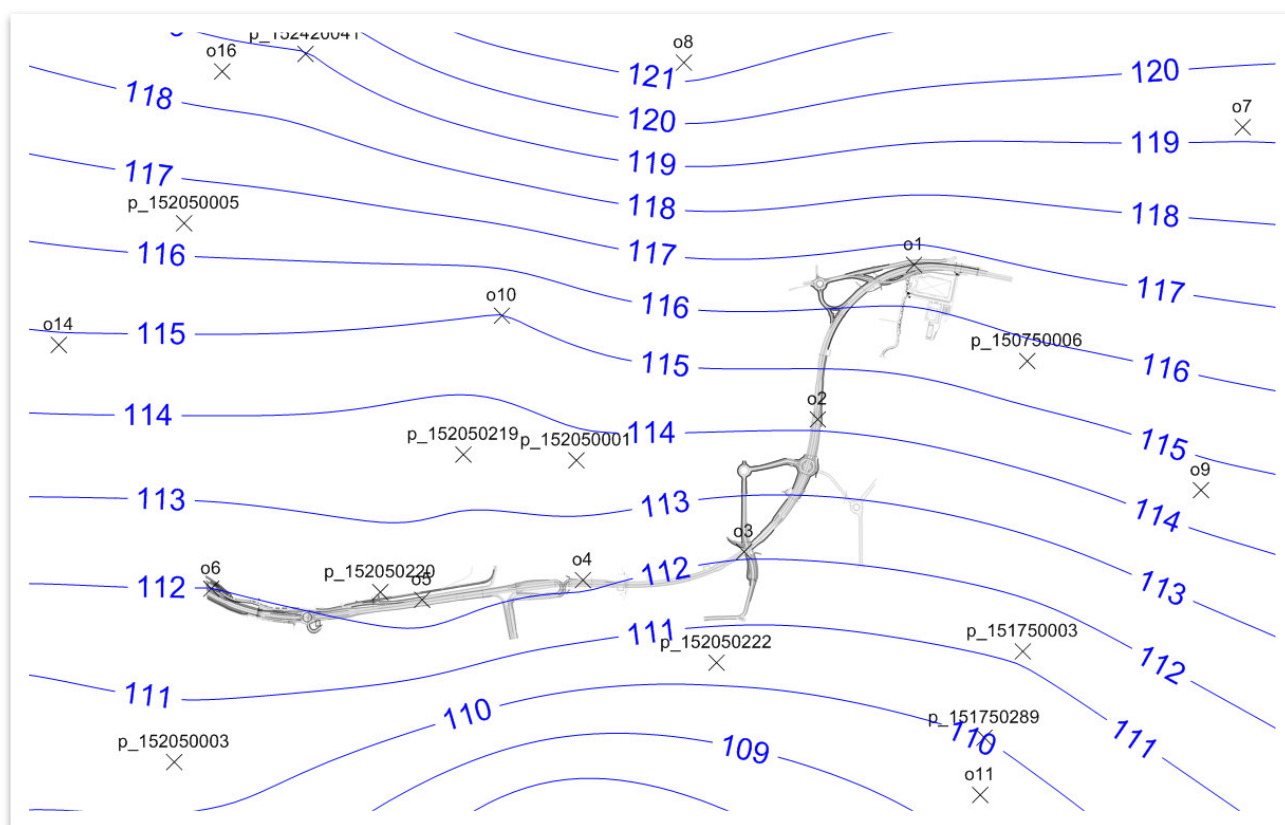


Figura 66 – Scenario 1 – Interpolazione dei livelli piezometrici corrispondenti ad una probabilità di non eccedenza pari a 0,9.

In Figura 67 viene mostrata la soggiacenza in metri da piano campagna corrispondente alla piezometria di Figura 66.

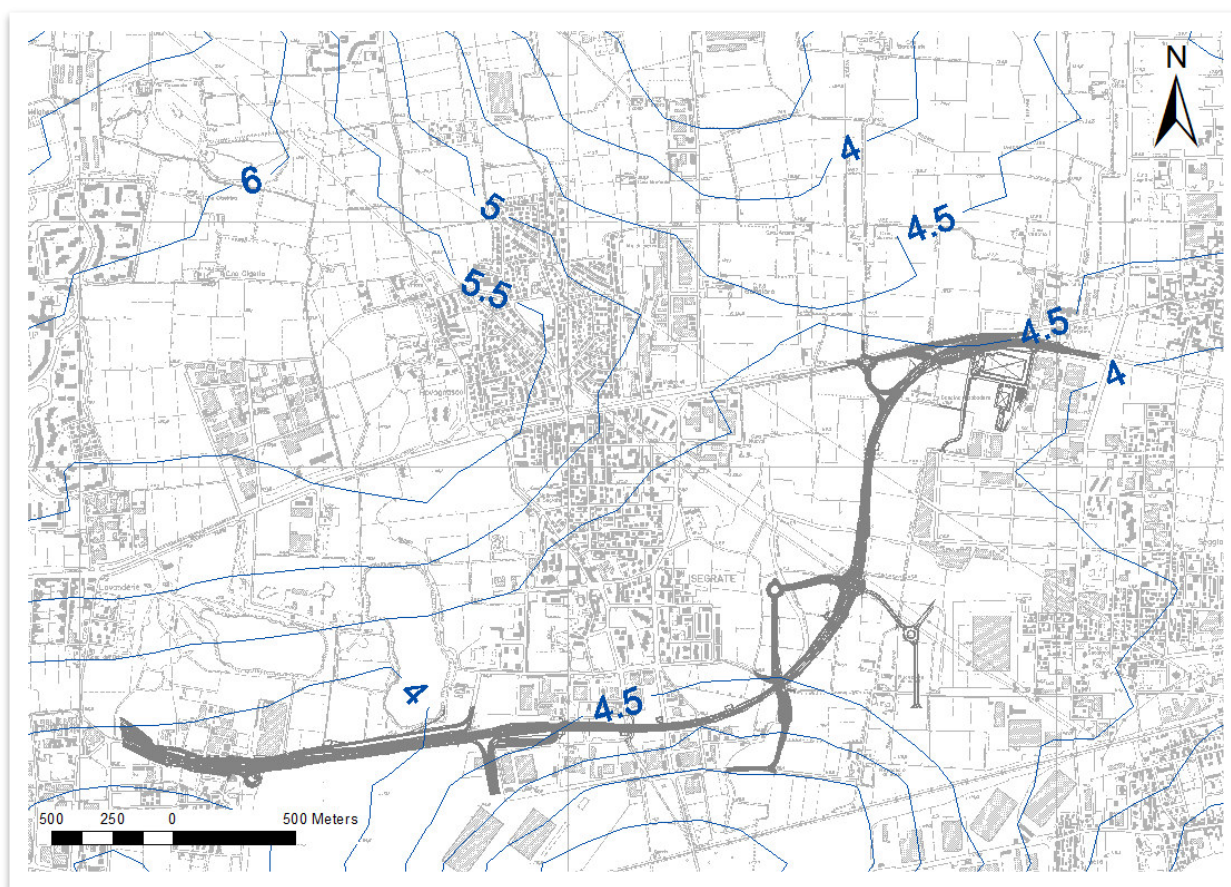


Figura 67 – Scenario 1 – Soggiacenza (in m da p.c.) corrispondente ad una probabilità di non eccedenza pari a 0,1 (corrisponde alla probabilità che il corrispondente livello della falda sia superiore a quello mostrato).

6.2.3 Scenario 2

Scenario 2 è impostato similmente a Scenario 1. L'unica differenza consiste nella cessazione del prelievo dai pozzi ad uso industriale ubicati entro un raggio di 3 km dalla strada. I pozzi il cui prelievo è stato interrotto includono quelli ubicati nel polo chimico di Pioltello-Rodano. I grafici rappresentati in Figura 68 e Figura 69 rappresentano la curva di frequenza cumulata. I valori per tutte le osservazioni assumono una distribuzione normale, come evidente dalla sovrapposizione tra il grafico di frequenza e quello di probabilità mostrato per il punto di osservazione o1.

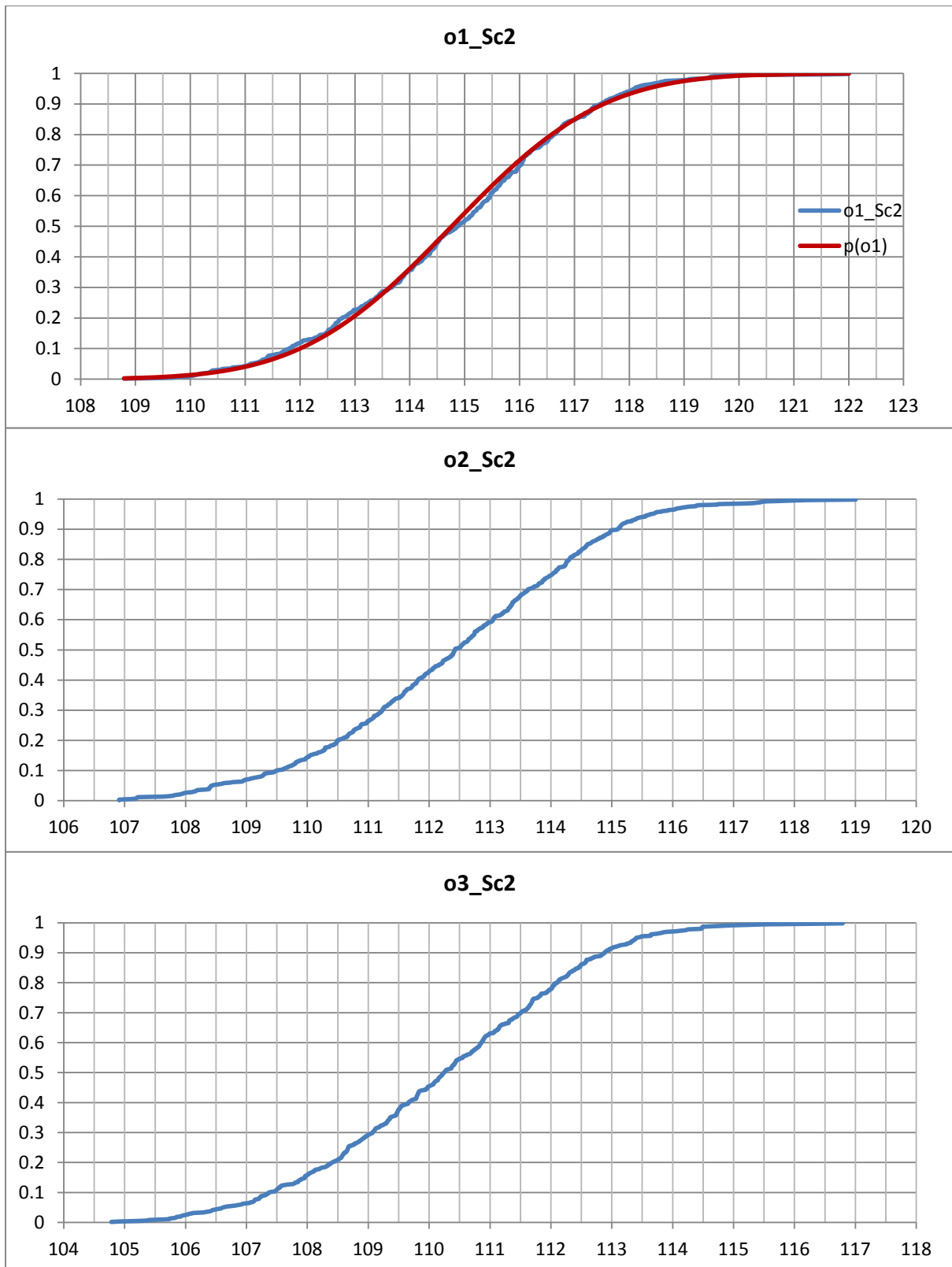


Figura 68 – Scenario 2 – Curve di frequenza cumulata per i punti di osservazione o1, o2, o3. Per o1 viene mostrata anche la curva di probabilità cumulata corrispondente alla distribuzione normale.

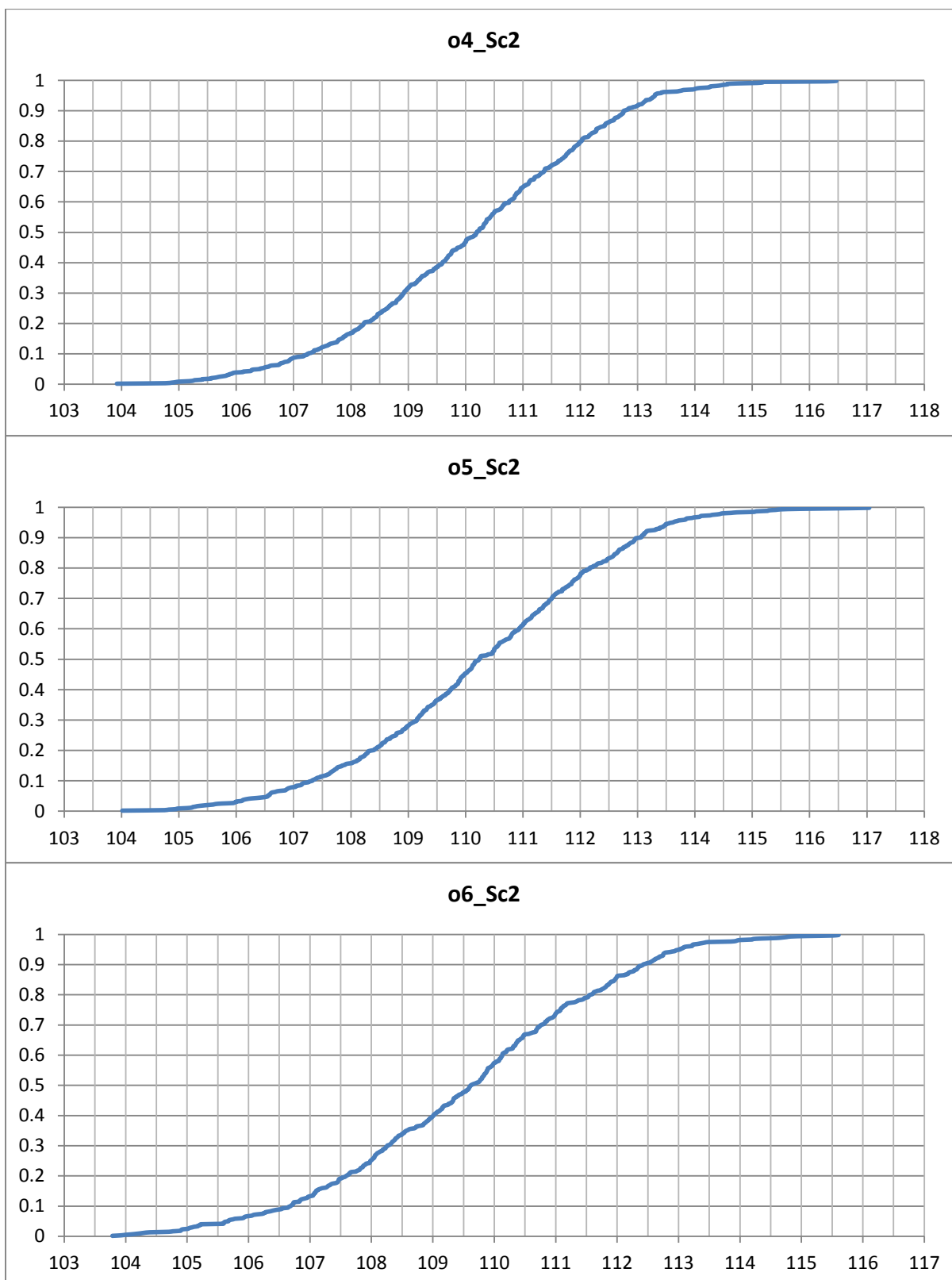


Figura 69 – Scenario 2 – Curve di frequenza cumulata per i punti di osservazione o4, o5, o6.

6.2.3.1 Piezometrie ricostruite a probabilità definita

Interpolando i valori di livelli corrispondenti a probabilità definite, calcolati per ciascun punto di osservazione e per i pozzi e piezometri presenti nell'area in esame, sono state ricostruite le rispettive piezometrie.

In Figura 70 è riportata la piezometria ricostruita in corrispondenza di una probabilità di non eccedenza pari a 0,9.

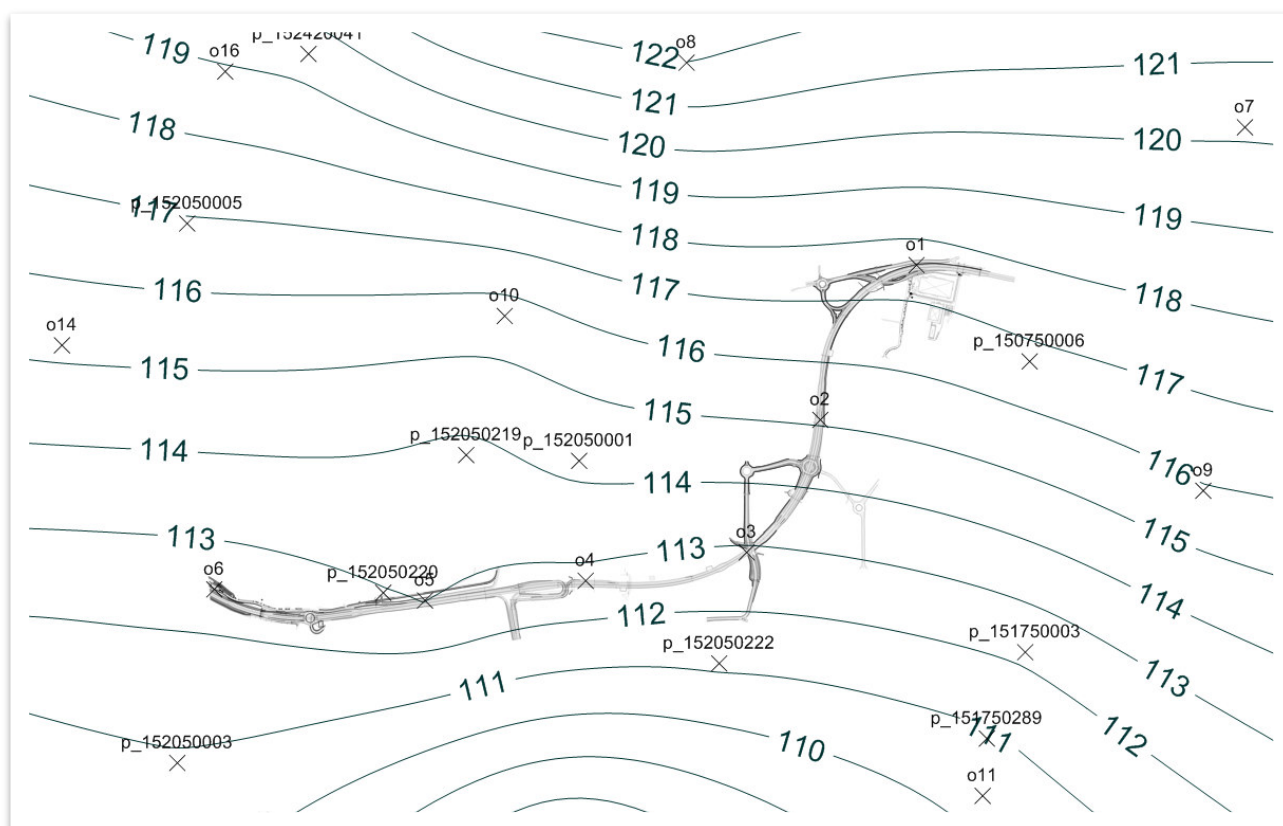


Figura 70 – Scenario 2 – Interpolazione dei livelli piezometrici corrispondenti ad una probabilità di non eccedenza pari a 0,9.

In Figura 71 viene mostrata la soggiacenza da piano campagna corrispondente alla piezometria di Figura 70.

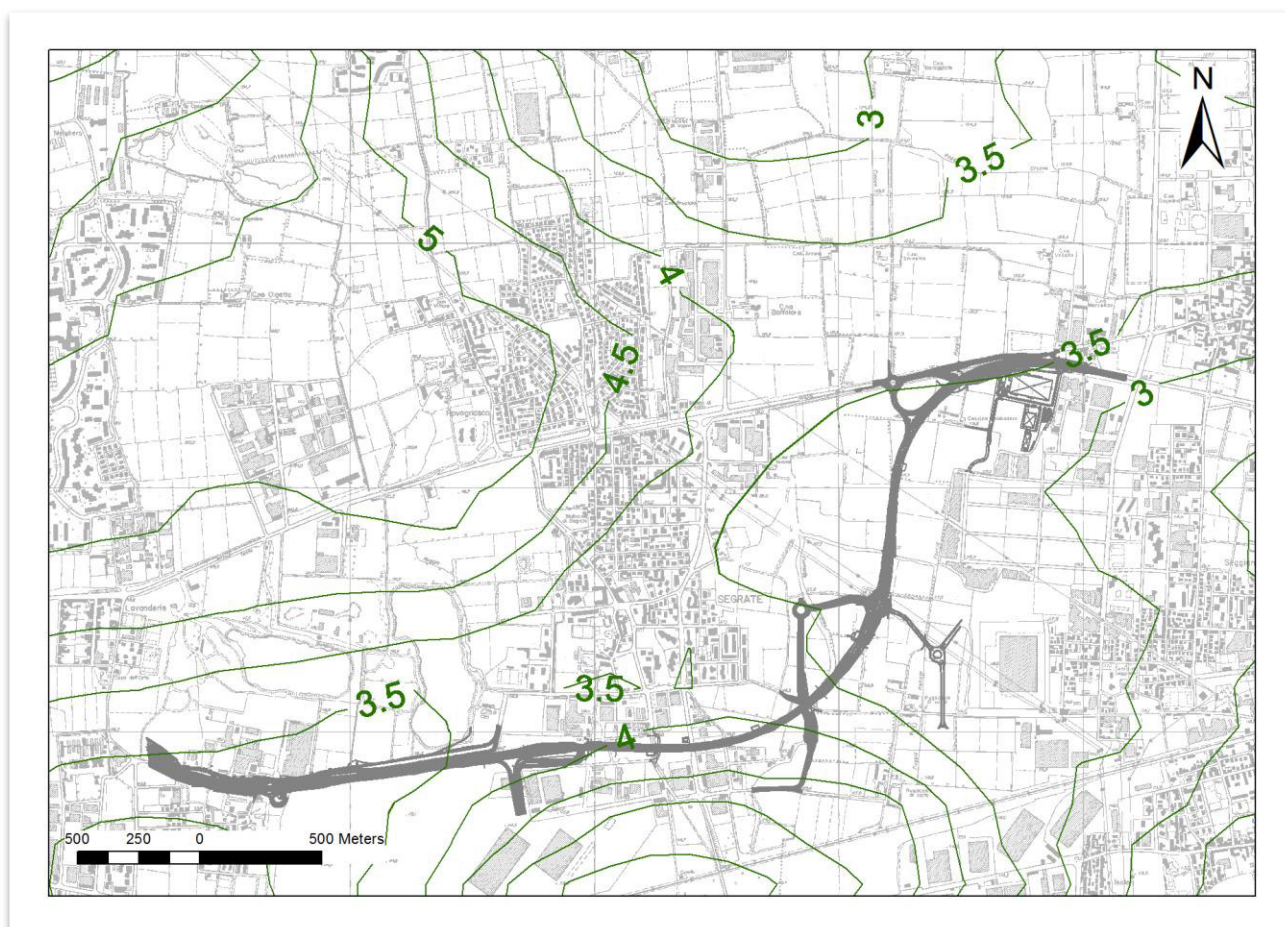


Figura 71 – Scenario 2 – Soggiacenza (in m da p.c.) corrispondente ad una probabilità di non eccedenza pari a 0,1 (corrisponde alla probabilità che il corrispondente livello della falda sia superiore a quello mostrato).

6.2.4 Ulteriori scenari di valutazione

È stata valutata l'influenza dei soli prelievi da pozzi nell'area del modello rispetto alla configurazione di calibrazione, corrispondente al periodo di giugno 2014.

Le portate sono state variate uniformemente in tutto il modello, senza distinguere il corpo acquifero interessato.

Non sono state operate variazioni rispetto alle altre condizioni al contorno; in particolare, la ricarica è stata mantenuta pari a quella stimata in sede di calibrazione e contiene pertanto sia la componente di precipitazione che quella stimata per l'irrigazione durante il periodo precedente il rilievo piezometrico di giugno 2014.



Gli scenari aggiuntivi simulati sono:

- Scenario 3-A: portata nulla per tutti i pozzi ad uso industriale presenti nel modello;
- Scenario 3-B: portata ridotta del 10% per tutti i pozzi con destinazione d'uso diversa da quella industriale;
- Scenario 3-C: portata ridotta del 10% per tutti i pozzi con destinazione d'uso diversa da quella industriale, e nulla per i pozzi ad uso industriale;
- Scenario 3-D: portata ridotta del 20% per tutti i pozzi con destinazione d'uso diversa da quella industriale;
- Scenario 3-E: portata ridotta del 20% per tutti i pozzi con destinazione d'uso diversa da quella industriale, e nulla per i pozzi ad uso industriale.

I livelli sono stati calcolati in corrispondenza di alcuni punti di osservazione (rappresentati in Figura 63).

I valori di livello piezometrico risultanti dai diversi scenari simulati sono mostrati in Tabella 6.

Le differenze di livello rispetto alla situazione di calibrazione sono mostrati in Tabella 7.

Tabella 5 – Livelli piezometrici nei punti di osservazione per lo scenario di calibrazione e per gli scenari 3-A - 3-E.

m s.l.m.	calibrazione	3-A	3-B	3-C	3-D	3-E
o1	114.93	116.20	115.54	116.81	116.15	117.40
o2	113.67	114.86	114.33	115.50	114.97	116.12
o3	110.99	112.14	111.62	112.77	112.26	113.39
o4	110.26	111.28	111.01	111.98	111.71	112.67



Tabella 6 –Variazione di livello piezometrico rispetto al livello di calibrazione per gli scenari 3-A – 3-E. nei punti di osservazione.

valori in m	3-A	3-B	3-C	3-D	3-E
o1	1.27	0.61	1.88	1.22	2.47
o2	1.18	0.65	1.82	1.30	2.45
o3	1.15	0.63	1.78	1.27	2.40
o4	1.01	0.74	1.72	1.45	2.41

I livelli piezometrici aumentano in tutti i punti di osservazione monitorati. L'aumento è funzione della riduzione del prelievo. Nella situazione di massima riduzione, corrispondente allo scenario 3-E, il livello piezometrico aumenta di almeno 2,40 metri rispetto al livello di giugno 2014.

I livelli piezometrici risultanti dalle simulazioni devono essere interpretati come dei livelli prossimi, per ogni punto, al livello medio annuo. In altre parole, non tengono conto delle possibili escursioni stagionali ed in particolare degli incrementi osservati al termine del periodo irriguo, indicativamente nei mesi tra agosto-settembre ed ottobre-novembre.

Si riporta in Figura 72 la piezometria risultante dalla simulazione di Scenario 3-E, da cui si evince come il livello di falda si attesta, nell'area interessata dalla strada, tra i 112 m s.l.m. ed i 117,7 m s.l.m.

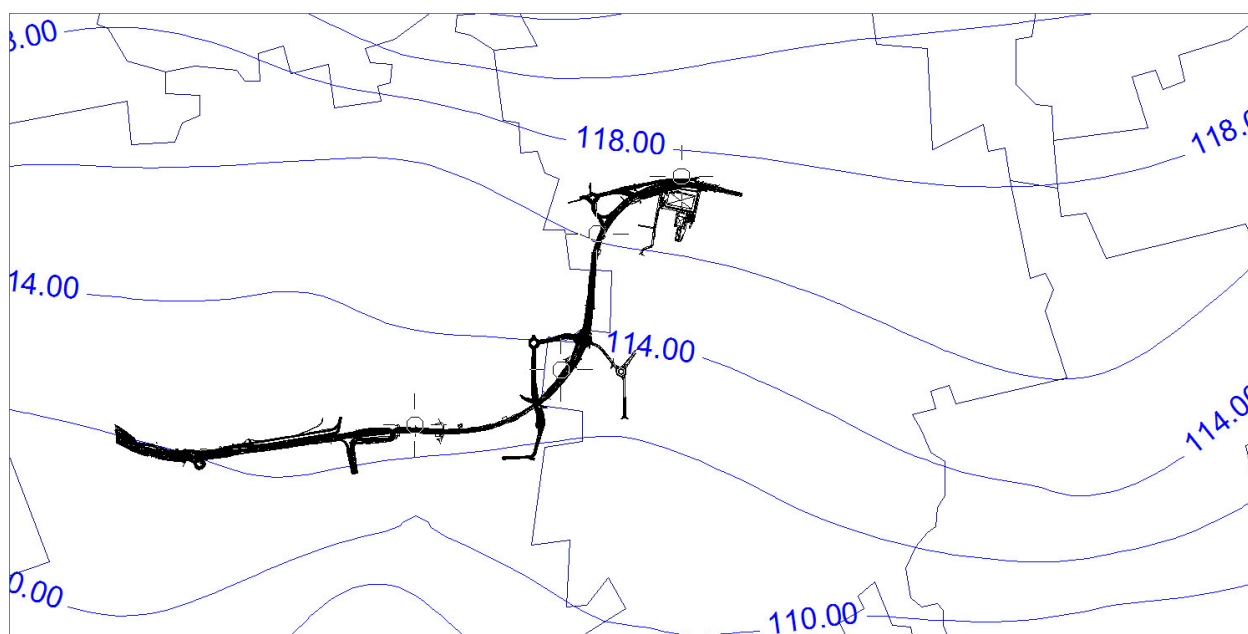


Figura 72 – Scenario 3-E – Piezometria simulata – isopiez ad equidistanze di 2 metri – valori in m s.l.m.

6.2.5 Confronto tra i risultati degli scenari

È stato analizzato il risultato delle simulazioni probabilistiche a confronto con i valori di livello misurati (con frequenza circa mensile) nel pozzo n. 6 in Pioltello.

La curva corrispondente a Scenario 1 (Figura 73) si discosta, rispetto a quella costruita sulla base dei livelli misurati, di valori compresi tra alcune decine di centimetri ed un metro a partire circa da una probabilità cumulata di 0,4. Tale scostamento è ascrivibile al fatto che le simulazioni di Scenario 1 e Scenario 2, diversamente ai valori misurati, riportano una condizione media di falda alta rispetto al livello medio annuo.

A parità di probabilità di non eccedenza, la curva di Scenario 2 si discosta da quella di Scenario 1 di un valore poco superiore al metro. Il livello non superato con probabilità pari a 0,9 è pari a 115,6 m s.l.m. in Scenario 1 e 116,7 m s.l.m. in Scenario 2.

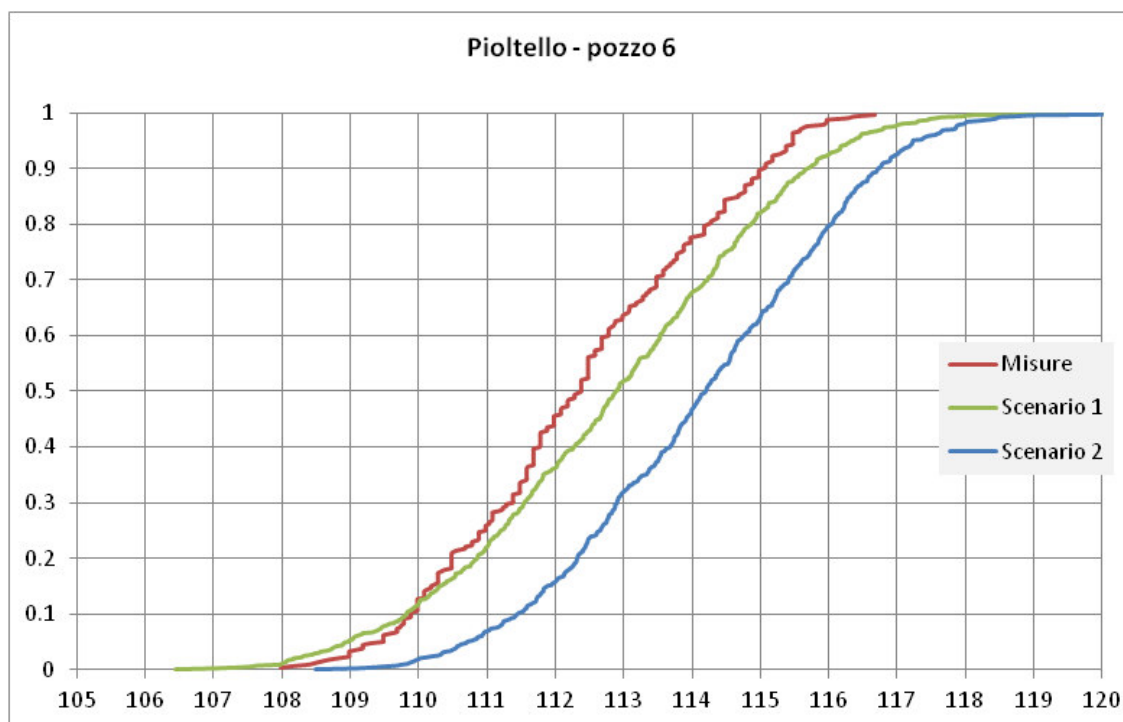


Figura 73 – Curve di frequenza cumulata per i livelli piezometrici misurati e simulati in corrispondenza del pozzo n. 6 in Pioltello.

Lo scostamento tra i due scenari è più evidente dalla rappresentazione della distribuzione dei livelli nell’area di interesse (Figura 74). Nella porzione settentrionale della strada, tale differenza in corrispondenza di una probabilità di non eccedenza di 0,9 è pari a circa un metro. Il valore decresce in direzione sud-ovest, probabilmente a causa della ridotta influenza dei pozzi industriali ubicati nella porzione orientale dell’area di studio. La differenza minima tra i livelli di Scenario 2 e di Scenario 1, all’estremità occidentale della strada, è pari a circa 0,5 metri.

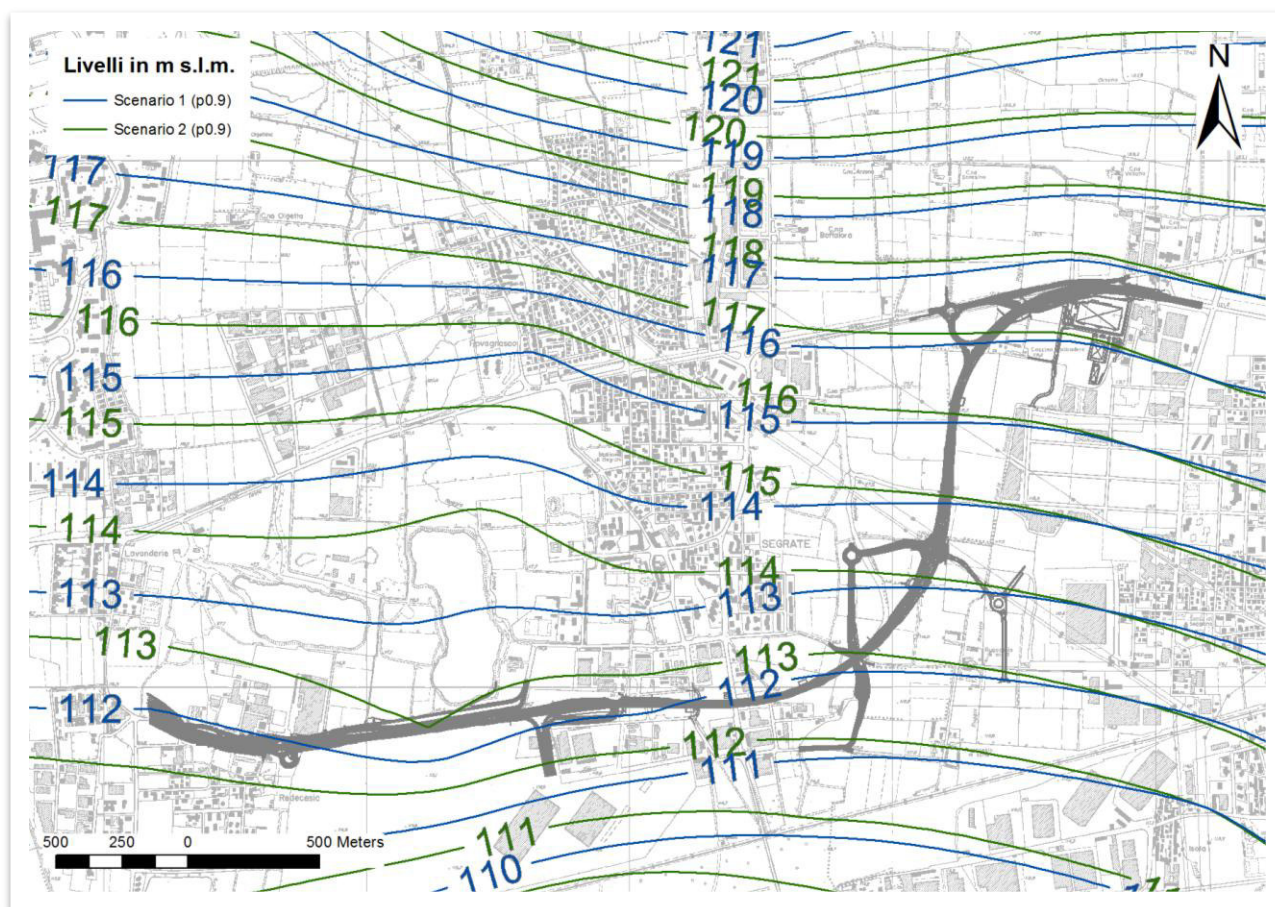


Figura 74 – Piezometrie ricostruite sulla base di una probabilità di non eccedenza pari a 0,9 – Confronto tra Scenario 1 e Scenario 2.

I livelli massimi raggiunti durante le simulazioni svolte sono riportati in Tabella 7. Tali valori eccedono, in alcuni punti, la quota di piano campagna. La probabilità che livelli come questi vengano regolarmente raggiunti e mantenuti per periodi di tempo superiori al mese è, nel contesto degli scenari simulati, molto limitata. Sicuramente superiore è la probabilità che i livelli vengano raggiunti qualora vi sia la concomitanza, entro lo stesso intervallo temporale, di una ricarica elevata da irrigazione e di precipitazioni abbondanti.

Infine, la rappresentazione di scenari di evoluzione delle variabili di interesse sul lungo periodo non esclude la possibilità che tali variabili assumano valori differenti rispetto a quelle ipotizzate, valori che ad oggi sono considerati improbabili tanto da risultare appartenenti alle code delle distribuzioni di probabilità utilizzate per descriverle.



Vi è pure la possibilità che fenomeni ad oggi non preventivati - o non preventivabili - determinino variazioni strutturali nell'utilizzo del suolo o delle acque sotterranee. La possibilità di una riduzione nell'utilizzo delle acque di falda descritta nelle simulazioni di Scenario 3, determinerebbe un innalzamento generale e costante del livello piezometrico.

Tabella 7 - Livelli massimi (in m s.l.m.) raggiunti in Scenario 1 e Scenario 2 in corrispondenza dei punti di osservazione.

	o1	o2	o3	o4	o5	o6
Scenario 1	121.4	118.4	116.3	116.1	116.7	115.4
Scenario 2	122	119	116.8	116.5	117	115.6



7 CONCLUSIONI

È stato svolto uno studio finalizzato a definire l'andamento di lungo periodo dei livelli di falda in corrispondenza del tracciato del "Potenziamento della S.P. 103".

Il deflusso delle acque sotterranee è governato dalla struttura idrogeologica e da alcuni fattori forzanti sia naturali che antropici, dipendenti del clima e delle attività svolte nell'area. L'evoluzione futura dei livelli piezometrici è pertanto intrinsecamente legata all'evoluzione futura di quei fattori.

La struttura idrogeologica dell'area vasta è stata ricostruita raccogliendo tutte le informazioni disponibili: stratigrafie, sezioni idrogeologiche, risultati di test idraulici. Due prove di portata sono state svolte appositamente lungo il tracciato della strada al fine di raccogliere informazioni sito-specifiche sulla successione litografia e sulla conducibilità idraulica. I dati raccolti hanno consentito di costruire un modello matematico alle differenze finite sottoposto a calibrazione ed utilizzato come base per l'applicazione delle forzanti, le quali sono state parallelamente analizzate per stabilirne l'importanza attuale e futura.

A questo scopo, si è resa necessaria una campagna propedeutica di raccolta ed analisi di tutte le fonti documentali in grado di descrivere e prevedere lo stato passato e l'evoluzione del territorio esaminato. Si tratta dei Piani di Governo del Territorio, del Programma di Tutela ed Uso delle Acque, delle statistiche elaborate da ISTAT per lo sviluppo demografico.

Anche il clima ha un'influenza diretta e rilevante sui livelli di falda, essendo le precipitazioni la principale fonte di alimentazione. A tale fine, è stata svolta un'analisi degli scenari di cambiamento climatico descritti nei rapporti dell'IPCC, focalizzata specificamente sulla zona in esame.

Per quanto riguarda la situazione attuale, la dinamica evolutiva della falda milanese risente in modo particolare dei prelievi della città di Milano e dei centri industriali dei comuni dell'hinterland, dell'evoluzione demografica locale e degli apporti delle precipitazioni e della estesa rete di canali, compresa la Martesana, che presentano ampie variazioni. Una minore incidenza sembra avere, per quanto riguarda i corpi idrici, la presenza dell'Idroscalo e quella



del fiume Lambro. L'evoluzione dei prelievi e dell'irrigazione è particolarmente evidente verificando come i fontanili fossero ubicati, negli anni precedenti lo sviluppo demografico ed industriale dell'area, lungo una linea a sviluppo est-ovest passante nel territorio del comune di Cernusco S/N, cioè alcuni chilometri più a settentrione rispetto alla posizione attuale.

Partendo dall'analisi di questa corposa raccolta di dati e dall'impostazione del modello concettuale della circolazione e del modello matematico di flusso, sono stati impostati due scenari predittivi basati su di un approccio Monte Carlo: le forzanti in ingresso sono state descritte in termini di distribuzione di probabilità, campionate un elevato numero di volte ed utilizzate come condizioni al contorno nel modello matematico. Agli output del modello sono state sommate le variazioni stagionali di livello, anche queste campionate sulla base di distribuzioni stocastiche.

Risultato di tale procedura sono le curve di probabilità di non eccedenza dei livelli piezometrici in corrispondenza del tracciato stradale. L'analisi dei livelli e delle corrispondenti probabilità da parte dei progettisti è funzionale alla definizione dei dettagli progettuali che governano l'interferenza con la falda.

Nei calcoli non si sono inserite le pur sempre possibili modifiche dell'assetto territoriale, quali ad esempio apertura di nuove cave, interventi pubblici sui prelievi da falda correttivi della soggiacenza, azioni di drenaggio della falda per interventi di bonifica idraulica o sanitaria, riduzione del prelievo potabile dall'acquifero superficiale per motivi sanitari, apertura di nuovi canali/vasche di laminazione, e di ogni eventuale opera che si in grado di modificare l'assetto piezometrico che non è al momento oggetto di pianificazione o di progettazione.

È pertanto da ritenere opportuna una doverosa cautela nel considerare i dati forniti come comprensivi di tutti i fattori che possano avere un'incidenza tangibile sulla piezometria.



8 BIBLIOGRAFIA

Airoldi R. (1990) – Andamento dei livelli della falda idrica nel sottosuolo di Milano dal 1973 al 1987, Istituto poligrafico e Zecca dello Stato, Libreria dello Stato

Alberti L., Francani V. (2001): Studio idrogeologico sulle cause del sollevamento della falda nell'area milanese. GEAM 104, 4, pp. 257–264. – ISSN 1121–9041

Alberti L., Besani L., Francani V., Trefiletti P. (2004) – “Metodologia per la valutazione dell'uso sostenibile delle risorse idriche ” Atti del Convegno de “I piani di Tutela delle Acque: gestione della qualità delle risorse idriche” A cura di L. Bonomo, R. Vismara. Milano, Marzo 2004, pagg. 379–397, CIPA Editore S.r.l., Milano.

Alberti L., Francani V., Trefiletti P. Neri E. (2005) – “Approccio modellistico e criteri di utilizzo della risorsa idrica sotterranea nell'ambito di un sistema di supporto per le decisioni” 4° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee, 21–23 Settembre, 2005. Colorno (Parma).

Avanzini M., Beretta G., Francani V., Nespoli M.,(1998) –“ Indagine preliminare sull' uso sostenibile delle falde profonde nella provincia di Milano” . C.A.P.Milano

Avanzini M., G.P. Beretta , V.Francani (1999) – “Il controllo della falda”. Costruzioni, Milano.

Beretta G.P., Avanzini M. (1998) – “La gestione sostenibile del sollevamento della falda a Milano ed hinterland”. L'ACQUA, Rivista bimestrale dell'Associazione Idrotecnica Italiana, n. 1–2, Roma

Bonomi T. (1997) – “Groundwater level evolution in the Milan area: natural and human issues, Impact of Urban Growth on Surface Water and Groundwater Quality” (Proceedings of IUGG 99 Symposium HS5, Birmingham, July 1999) IAHS Publ. no. 259, 1999

Braga G., Ragni U. (1969). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 44 –Novara e 58 – Mortara. Servizio Geologico d'Italia, Roma.

Comizzoli G., Gelati R., Passeri L.D., Desio A. (1969) – Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Fogli 45 – Milano e 46– Treviglio. Servizio Geologico d'Italia, Roma.



Doherty J. (2004). PEST – Model-Independent Parameter Estimation. User Manual: 5th Edition. Watermark Numerical Computing.

IRSA-CNR (2007) – Lo stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei in Provincia di Milano: Rapporto Finale – Progetto Qualfalda II, Milano

McDonald M., Harbaugh A., Banta E., Hill M.(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

Merrit M.L., Konokow L.F. (2000). Documentation of a Computer Program to Simulate Lake-Aquifer Interaction Using the MODFLOW Ground-Water Flow Model and the MOC3D Solute-Transport Model. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00-4167

Orombelli G. (1979) – Il Ceppo d'Adda: revisione stratigrafica. – Riv. It. Paleont. Strat., Vol. 85, Milano.

Peck, A., Gorelick, S., deMarsily, G., Foster, S., and V. Kovalevsky. 1988. Consequences of Spatial Variability in Aquifer Properties and Data Limitations for Groundwater Modelling Practice, IAHS Publication No. 175, Washington, DC.

Pozzi R., Francani V. (1977) – I problemi idrogeologici della gestione delle risorse di Milano e del suo hinterland, La rivista della Strada, Anno IVL n. 426

Regione Lombardia – ENI (2002) – Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia. A cura di C. Carcano & A. Piccin, Ed. S.e.l.c.a. (Firenze).

Riva A. (1957) – Gli anfiteatri morenici a Sud del Lario e le pianure diluviali tra Adda e Olona. Atti dell'Istituto Geologico dell'Università di Pavia, vol. VII.

Salerno F., Guzzella L., Ravelli S., Carraro E. – IRSA-CNR (2005), Lo stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei in Provincia di Milano: Rapporto Finale, Atto n. 232190/1856/05

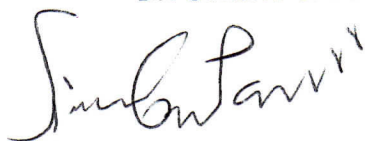
http://www.metropolitanamilanese.it/pub/page/it/MM/acquedotto_distribuzione

IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE RISORSE IDRICHE NELL'AREA TRA PIOLTELLO E SEGRATE

Relazione tecnica

Relazione preparata da:

Dr. Simone G. Parisi



Dr. Simone Sala



Scopo del presente studio è determinare i possibili impatti del cambio climatico sulle risorse idriche nell'area tra Pioltello e Segrate Milanese secondo i più recenti studi scientifici e report istituzionali internazionali. A tale scopo sono dunque state realizzate tre diverse analisi:

- I. analisi delle proiezioni relative agli andamenti delle principali variabili meteorologiche nel periodo 2071-2100 pubblicate dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) rispettivamente nel quarto (2007) e quinto (2013) rapporto;
- II. analisi delle proiezioni di incidenza di eventi estremi nel territorio in esame, secondo i più recenti studi da letteratura scientifica e la serie termo-pluviometrica (1981-2013) relativa a alla stazione meteorologica aeroportuale di Linate (Milano);
- III. studio delle frequenze di accadimento di mesi / anni consecutivi con precipitazioni superiori alla norma durante il periodo 1951 -2013, sulla base della serie meteorologica giornaliera di di Linate (Milano).

I. Analisi delle proiezioni sviluppate dall'IPCC

Analisi IPCC Fourth Assessment Report (AR4)

Sono state prese in esame le proiezioni relative alle variazioni delle principali variabili meteorologiche previste per il periodo compreso tra 2071 e 2100 rispetto alla climatologia di riferimento calcolata sul periodo: 1961-1990 (IPCC, 2007). Tali proiezioni sono basate sullo scenario SRES A2 e sviluppate secondo il medesimo modello di circolazione regionale (Rossby Centre regional Atmosphere-Ocean model, RCAO). Lo scenario SRES A2 è tra i più alti per quanto concerne le emissioni (anche se non il più alto), ed è opportuno utilizzarlo considerata l'attuale traiettoria di emissioni, che dal 1990 ad oggi corrisponde a uno scenario di emissioni relativamente alto. I dati di contorno sono provenienti da due modelli globali: ECHAM4/OPYC3 e HadAM3H (rispettivamente per il livello superiore e inferiore).

In primis vengono analizzate le proiezioni relative alle variazioni rispetto alla pressione media annuale sul livello del mare (Δ SLP), precipitazioni (Δ Prec) e velocità del vento media a livello di 10 metri sul mare (Δ Wind). Le proiezioni non mostrano significative differenze per quanto riguarda la pressione atmosferica sull'area in esame, che appare stabile o in aumento di 1hPa (si consideri che 1hPa è pari alla variazione giornaliera media). Per quanto concerne le precipitazioni, le proiezioni mostrano un trend di diminuzione del 20% nell'area di interesse. Infine le proiezioni relative i venti suggeriscono una diminuzione del 5% nell'area di interesse.

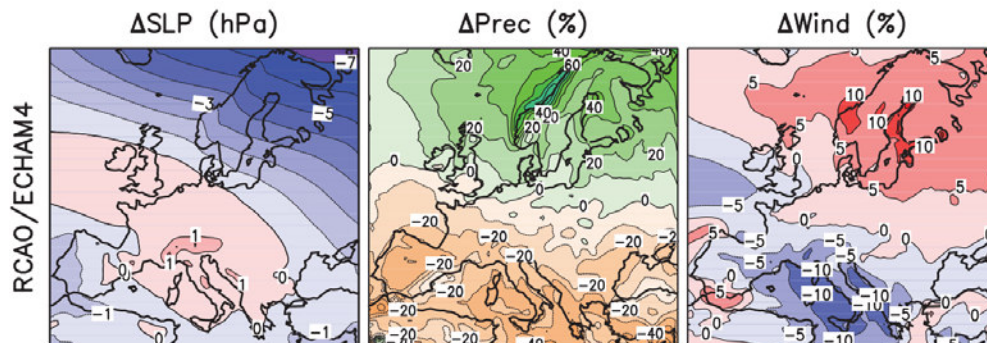


Figura 1. Proiezioni IPCC per variazione di pressione, precipitazioni e vento (2071-2100)

In seconda battuta sono analizzate le proiezioni dell'IPCC relative alle variazioni della temperatura atmosferica annuale e stagionale (invernale ed estiva) previste per il periodo 2071-2100. Le proiezioni mostrano un aumento medio della temperatura di 3°C; un aumento invernale (dicembre-febbraio) di 3°C e un aumento estivo (giugno-agosto) di 4°C .

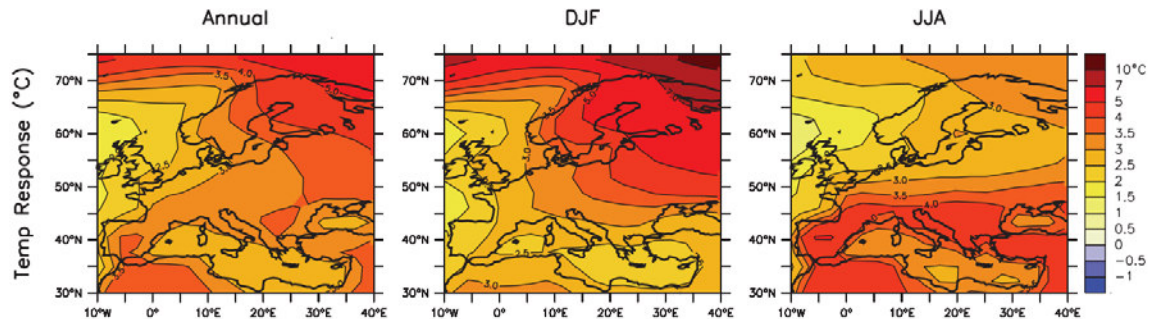


Figura 2. Proiezioni IPCC per temperatura: valori annuale e per le stagioni invernale ed estiva (2071-2100)

Si può dunque concludere che allo stato attuale non sussistono elementi che portano a prevedere un possibile incremento della ricarica in falda a causa dei “cambiamenti climatici”: al contrario, a causa della prevista diminuzione di precipitazioni e dell'aumento di temperatura (da cui l'aumento di evapotraspirazione), si può ipotizzare che secondo le proiezioni dell'IPCC nell'area in esame sia molto probabile che avvenga l'effetto opposto.

Analisi IPCC Fifth Assessment Report (AR5)

Nel quinto e ultimo rapporto di IPCC, pubblicato nel 2013, non vengono più utilizzati gli scenari cosiddetti SRES, in favore dei cosiddetti *Representative Concentration Pathways* (RCPs) o “percorsi rappresentativi della concentrazione.” A differenza degli scenari SRES utilizzati quale riferimento fino al quarto rapporto dell'IPCC, gli RCPs non prendono in esame scenari socio-economici ma assumono diversi andamenti di concentrazione della CO₂.

L'esame dell'IPCC AR5 consente di trarre conclusioni analoghe a quelle esposte nella precedente sezione di commento all'IPCC AR4 del 2007. A livello continentale, l'AR5 conferma un aumento generalizzato di temperatura in Europa, con maggiori aumenti nei mesi invernali in Europa settentrionale e in estate in Europa meridionale (Goodess et al., 2009; Kjellström et al., 2011), dove è presente l'area di interesse (si veda la figura 3). Questa dicotomia tra Europa settentrionale e meridionale è confermata anche in presenza di un aumento globale della temperatura inferiore ai 2°C (Van der Linden and Mitchell, 2009; Jacob and Podzun, 2010). Per quanto riguarda le precipitazioni l'AR5 ne prevede un aumento in Europa Settentrionale e una diminuzione in Europa meridionale a partire dai trend climatici osservati (Kjellström et al., 2011). I trend non sono chiari invece per quanto concerne l'Europa continentale.

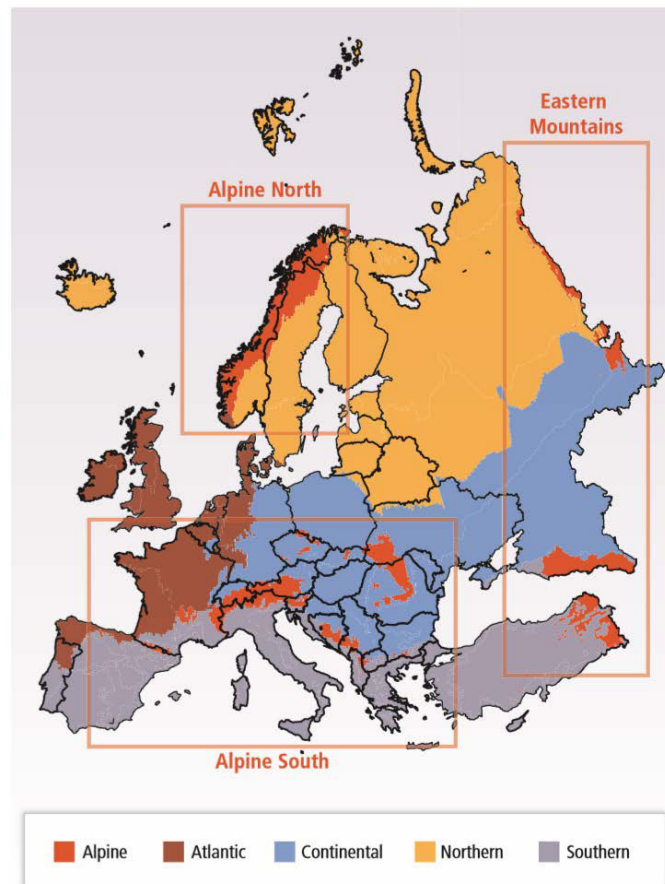


Figura 3. Classificazione sub-regionale delle fasce climatiche in Europa da parte di IPCC (basato su Metzger et al., 2005)

In particolare, per quanto concerne l'area di interesse, viene confermato un trend marcatamente positivo relativamente all'aumento di temperatura (figura 4, grafici: b, d) – aumento compreso tra 2°C e 4°C utilizzando due diversi scenari¹. Per quanto concerne il trend relativo alle precipitazioni annuali (figura 4, grafici: a, c) è possibile osservare una sostanziale stabilità secondo i due diversi RCPs. Medesimi risultati si ottengono utilizzando lo scenario A1 (utilizzato fino al rapporto AR3).

¹ Gli scenari qui citati, RCP4.5 e RCP8.5, prevedono un aumento di temperatura rispettivamente tra 1.7°C-3.3°C e 3.2°C-5.4°C da qui al 2100.

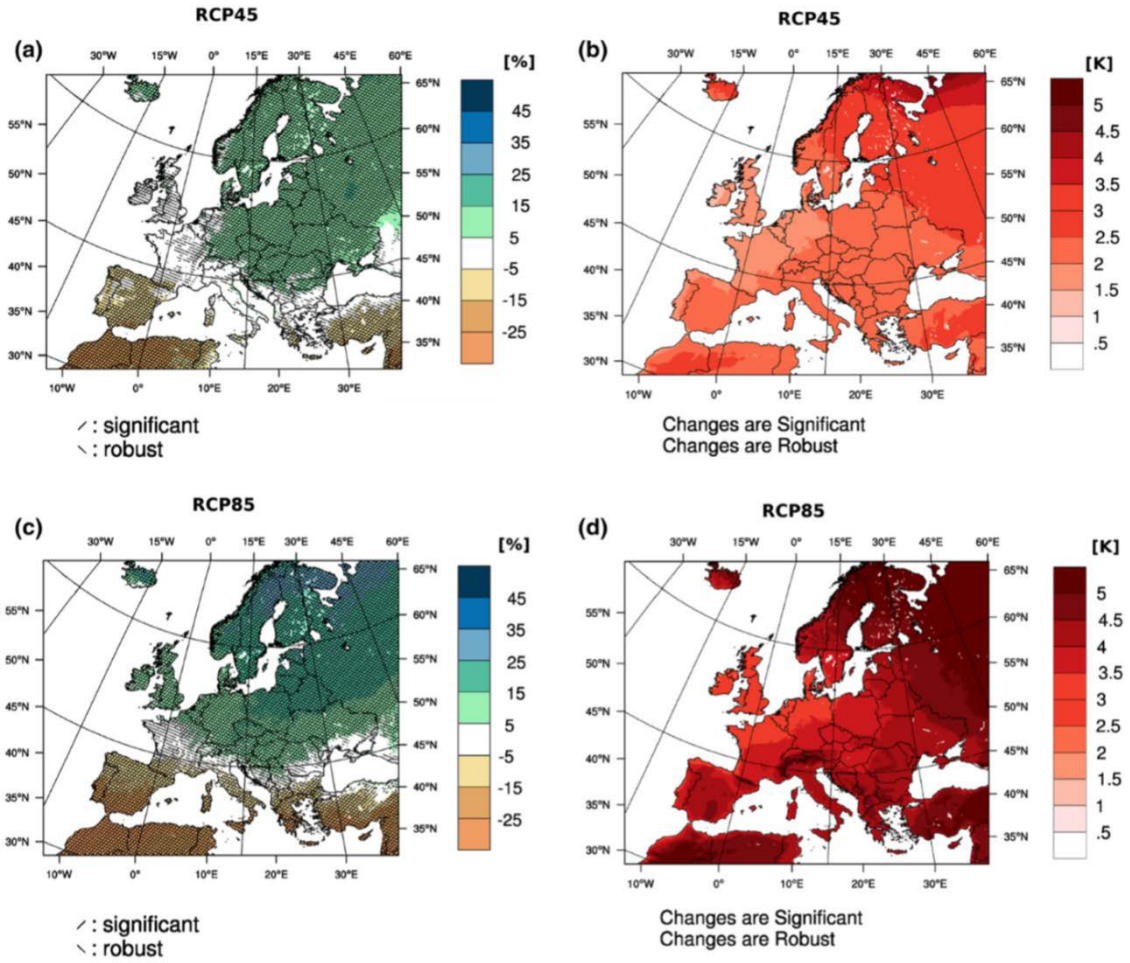


Figura 4. Proiezioni IPCC (AR5) per temperatura (media annuale) e precipitazioni (totali annuali) (2071-2100) secondo RCPs 4.5 e 8.5 (adattate da Jacob et al. 2014)

II. Analisi dell'incidenza di eventi estremi nell'area di interesse

L'IPCC AR5 ha mostrato un aumento del 5% nei fenomeni di precipitazioni molto abbondanti (cosiddette "heavy rains"), rispetto al periodo di baseline, nell'area in esame. Secondo le simulazioni basate su due diversi scenari (RCP 4.5 e 8.5) si prevede per il periodo 2071-2100 (rispetto al periodo 1971-2000) un aumento di frequenza di tali eventi, con eccezione del periodo tra giugno e agosto che secondo lo scenario RCP 8.5 mostra invece un comportamento stabile. Tale aumento sarà compreso tra 5 e 15% secondo lo scenario RCP 4.5 e tra 5 e 25% secondo lo scenario RCP 8.5: in modo particolare tra il 15-25% nei due trimestri settembre-novembre e dicembre-febbraio. Ciò significa che nel caso peggiore è possibile un aumento del 25% della frequenza di eventi superiori al 95° percentile nei due trimestri sopracitati.

Dall'esame delle precipitazioni osservate localmente nell'area di Linate (Milano) relativamente alla serie meteorologica 1981-2013², si può affermare che, nel caso del trimestre tra settembre e novembre, il 95° percentile è pari a 78,1mm/giorno; nel caso del trimestre tra dicembre e febbraio, il 95° percentile è pari a 72,89 mm/giorno.

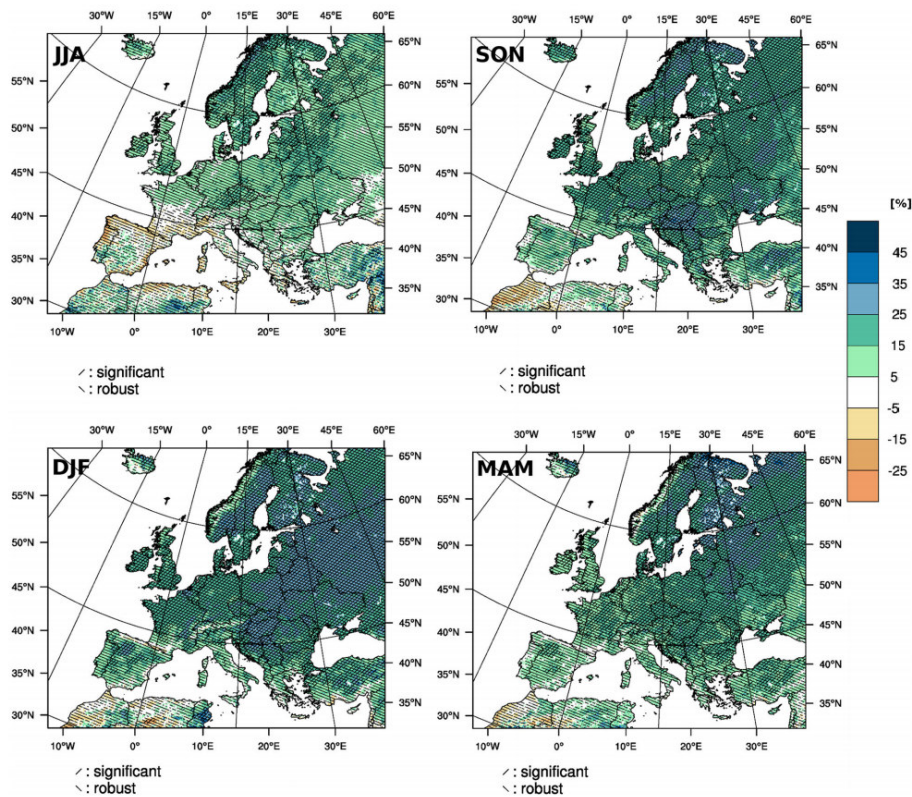


Figura 3. Proiezioni IPCC per aumento di frequenza di piogge abbondanti secondo lo scenario RCP8.5 (periodo 2071-2100; comparato a 1971-2000)

² I periodi 1970-2000 e 1981-2013 possono essere considerati analoghi dal punto di vista climatico locale ai fini della determinazione del 95° percentile.

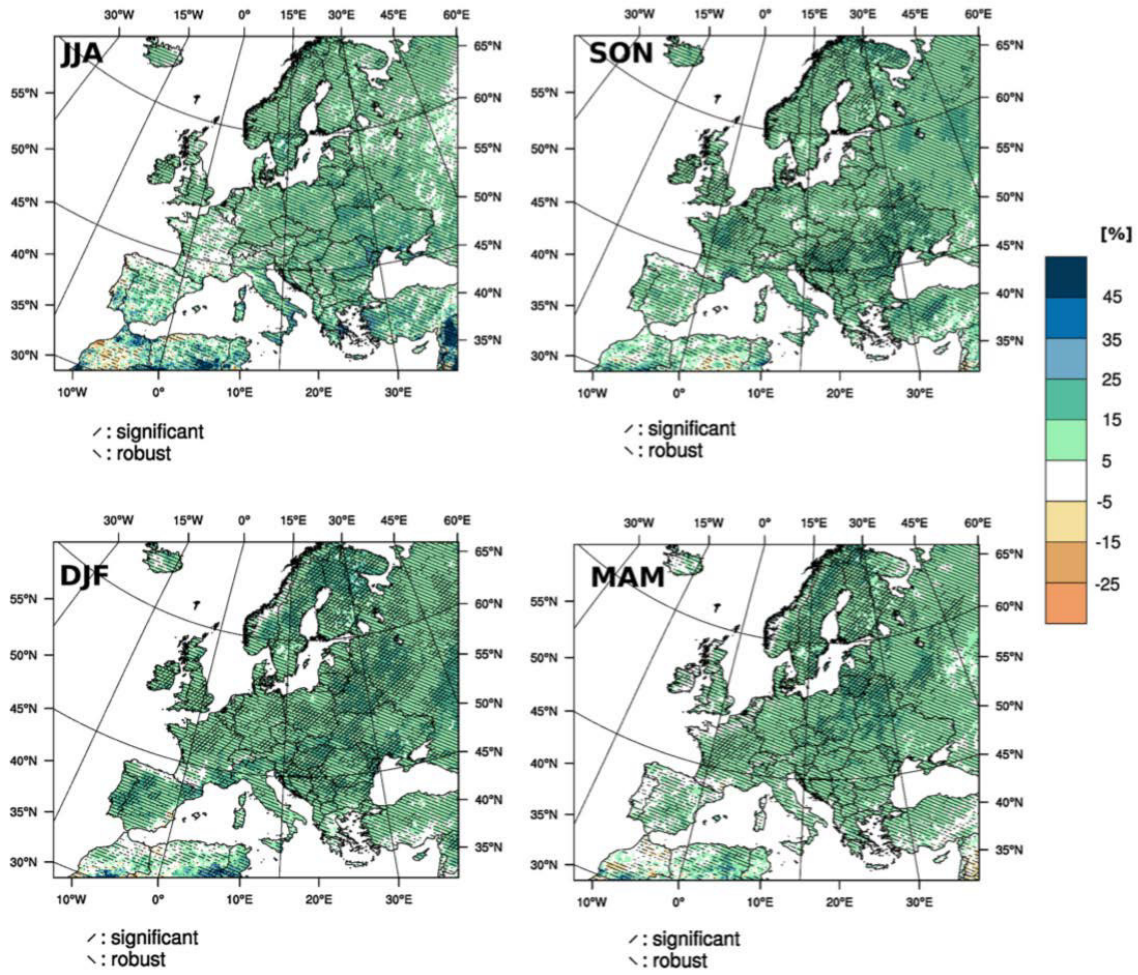


Figura 4. Proiezioni IPCC per aumento di frequenza di piogge abbondanti secondo lo scenario RCP4.5 (periodo 2071-2100; comparato a 1971-2000)

III. Analisi della serie climatica nell'area in esame

Infine vanno citati i più recenti studi effettuati sul sistema climatico della Lombardia (Parisi et al., 2014) e del Mediterraneo (Mariani & Parisi, 2013), che hanno investigato la presenza di trend significativi nella frequenza degli eventi estremi sul territorio lombardo e italiano. Entrambi gli studi non hanno messo in luce trend significativi in tal senso, benché vada evidenziato come nella pianura padana si è registrato un trend significativamente positivo per gli eventi compresi tra 50 e 100 millimetri e al contempo una diminuzione per gli eventi sotto i 20 millimetri (periodo di riferimento: 1981-2013).

In tal senso va sottolineato come l'analisi di eventi estremi nell'area in esame mostri frequenze molto basse: i mesi in cui si verificano più frequentemente eventi estremi³ sono settembre e ottobre, con una frequenza del 4,9% dei casi nel periodo 1981-2013.

Mese	Frequenza di eventi atmosferici estremi
Gennaio	0,80%
Febbraio	0,90%
Marzo	0,50%
Aprile	1%
Maggio	2,20%
Giugno	1,10%
Luglio	1,80%
Agosto	2,90%
Settembre	4,70%
Ottobre	4,70%
Novembre	1,70%
Dicembre	1,10%

E' stata poi analizzata la serie termo-pluviometrica (1951-2013) di Linate (Milano), al fine di individuare i trend climatici osservati e verificare l'esistenza di comportamenti significativi relativamente alla ripetizione di eventi piovosi anomali.

Si è verificato il ripetersi di annate anomale positive in 6 diversi casi (si veda la tabella seguente).

Sequenza anomala	Occorrenze
Biennio	3 volte: 1959-60; 1999-2000; 2012-2013
Triennio	2 volte: 1992-1994; 2008-2010
Quadriennio	0 volte
Quinquennio	1 volta: 1975-1979

³ Precipitazioni superiori o uguali a 50mm/giorno.

La figura 5 riporta l'andamento delle precipitazioni annuali cumulate nel periodo 1951-2013.

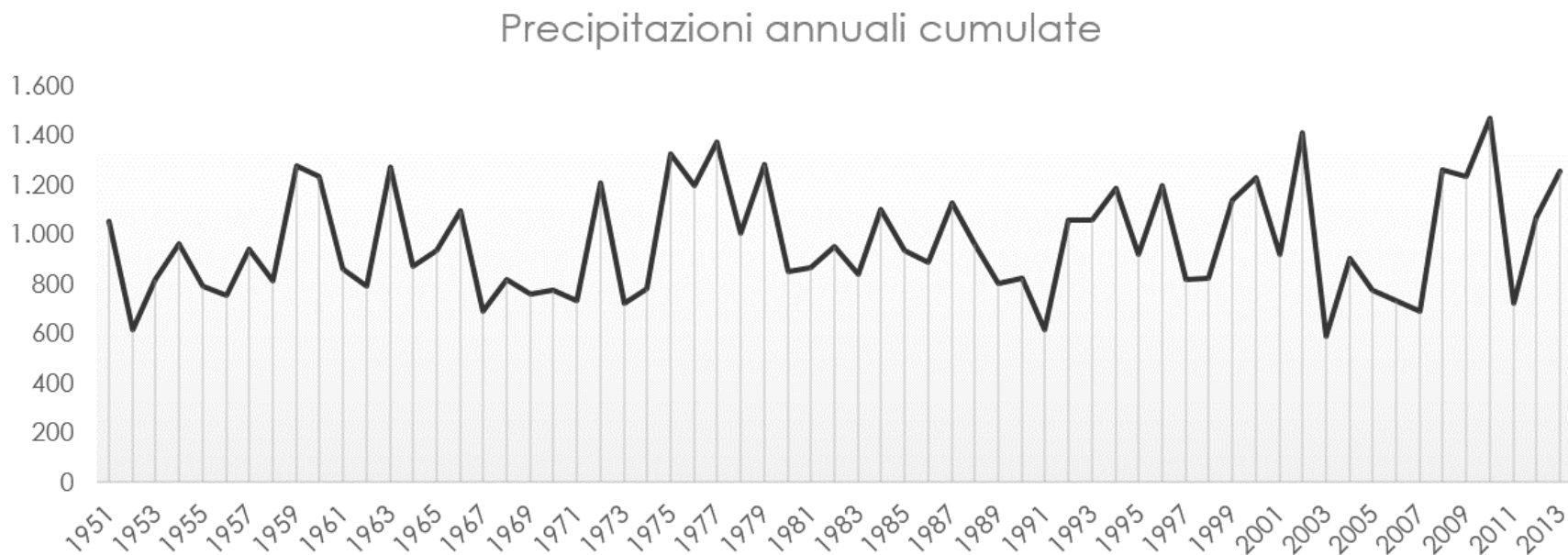


Figura 5. Precipitazioni annuali (valori cumulati) nell'area di Linate (periodo 1951-2013)

Sulla base degli eventi osservati non è possibile determinare regolarità nella distribuzione del fenomeno, né quindi è possibile formulare previsioni circa la frequenza con cui eventi anomali si ripetano in sequenza. Si può tuttavia stimare il tempo di ritorno di eventi anomali in sequenze triennale, quadriennale e quinquennale: i risultati sono disponibili nella seguente tabella.

Sequenza anomala	Tempo di ritorno
Triennio	Inferiore a 30 anni
Quadriennio	Compreso tra 30 e 50 anni
Quinquennio	Inferiore a 50 anni

È stata anche osservata la frequenza di anomalie positive a livello mensile rispetto alla media mensile calcolata nel periodo 1951-2013, al fine di individuare i periodi più critici nell'arco di una stagione.

Da tale esame è stata verificata la presenza di quadrimestri in cui ogni mese presenta precipitazioni superiori alla media mensile: questo evento si ripete 44 volte, per una frequenza del 5,8%. La stagione autunno-invernale si conferma come la stagione critica per quanto concerne l'anomalia di precipitazioni (si veda figura 6). Si è inoltre verificato che il quadrimestre comprendente quattro mesi consecutivi che superano la media mensile di precipitazioni è risultato essere quello compreso tra agosto e novembre, verificatosi con una frequenza dell'11,2% dei casi nell'arco di 60 anni).

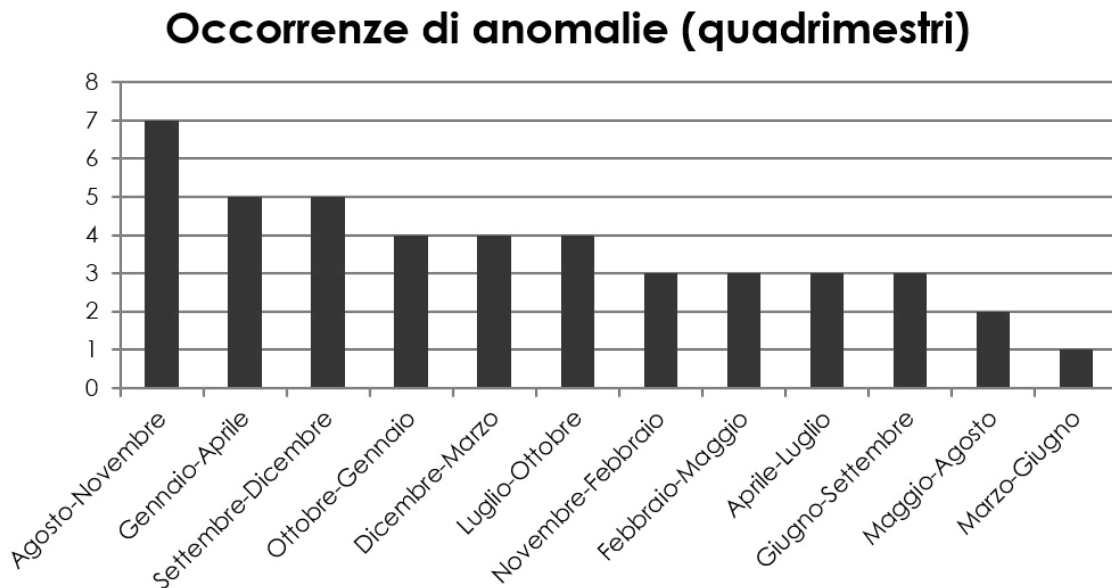


Figura 6. Occorrenze di quadrimestri composti da mesi che superano consecutivamente la media di precipitazioni mensile (calcolate sul periodo 1951-2013) nell'area di Linate

Bibliografia

- Goodess, C., D. Jacob, M. Déqué, J. Gutiérrez, R. Huth, E. Kendon, G. Leckebusch, P. Lorenz, and V. Pavan, 2009: Downscaling methods, data and tools for input to impacts assessments. In: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of Research and Results from the ENSEMBLES Project [van der Linden, P. and J.F.B. Mitchell (eds.)]. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, pp. 59-78.
- IPCC, 2007. Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). Disponibile all'indirizzo: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter11.pdf>
- IPCC, 2013. Fifth Assessment Report: Climate Change 2013 (AR5). Disponibile all'indirizzo: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Jacob, D. and R. Podzun, 2010: Global warming below 2°C relative to pre-industrial level: how might climate look like in Europe. *Nova Acta Leopoldina*, 384, 71- 76.
- Jacob, D., J. Petersen, B. Eggert, A. Alias, O. Bøssing Christensen, L.M. Bouwer, A. Braun, A. Colette, M. Déqué, G. Georgievski, E. Georgopoulou, A. Gobiet, L. Menut, G. Nikulin, A. Haensler, N. Hempelmann, C. Jones, K. Keuler, S. Kovats, N. Kröner, S. Kotlarski, A. Kriegsmann, E. Martin, E. van Meijgaard, C. Moseley, S. Pfeifer, S. Preuschmann, C. Radermacher, K. Radtke, D. Rechid, M. Rounsevell, P. Samuelsson, S. Somot, J.-F. Soussana, C. Teichmann, R. Valentini, R. Vautard, B. Weber, and P. Yiou, 2013: EURO-CORDEX: New high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change* (in press), doi:10.1007/s10113-013-0499-2
- Kjellström, E., G. Nikulin, U. Hansson, G. Strandberg, and A. Ullerstig, 2011: 21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations. *Tellus A, Series A*, 63A(1), 24- 40, doi: 10.1111/j.1600-0870.2010.00475.x.
- Mariani & Parisi, 2013. "Extreme rainfalls in the Mediterranean Area" in Diodato & Bellocchi (eds.) *Storminess and environmental change*.
- Metzger, M.J., R.G.H. Bunce, R.H.G. Jongman, C.A. Mücher, and J.W. Watkins, 2005: A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology and Biogeography*, 14(6), 549-563.
- Parisi et al., 2014. Extreme rainfall in the Lombardy region
- Van der Linden, P. and J.F.B. Mitchell, 2009: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of Research and Results from The ENSEMBLES Project. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 160 pp.



Westfield Milan S.p.A.
Potenziamento della S.P. 103

Risposte alle osservazioni al documento “Valutazione dell’evoluzione piezometrica nel lungo periodo”, Tethys, dicembre 2014

aprile 2016

AMB-MI5/14/3

Redatto da ing. Giovanni Formentin

Approvato da prof. Vincenzo Francani



INDICE

Introduzione	3
1 Osservazione #1	4
2 Osservazione #2.....	5
3 Osservazione #4.....	7

Introduzione

La presente nota risponde alle osservazioni formulate nell'ambito dell'audit di validazione redatto da Conteco sul PE della strada Cassanese. In particolare, oggetto della nota sono le osservazioni al documento "Valutazione dell'evoluzione piezometrica nel lungo periodo" redatto da TETHYS SRL nel dicembre 2014.

Si riportano in Tabella 1 le osservazioni (numerate per convenienza da #1 a #4) con le risposte preliminari fornite. Seguono, nei paragrafi successivi, le informazioni ed elaborazioni necessarie a meglio definire le risposte alle osservazioni #1, #2 e #4.

Tabella 1 - Osservazioni al documento "Valutazione dell'evoluzione piezometrica nel lungo periodo"

26	B.01.04_Studio evoluzione livelli di falda Rev.A di Settembre 2015	
#1	pag. 33: " <i>Le prove di portata sono state interpretate sia analiticamente (tramite il metodo di Theis) che tramite il modello matematico</i> ". Per completezza espositiva, sarebbe opportuno riportare gli elaborati interpretativi delle prove, e non solamente i risultati ottenuti.	Forniremo gli elaborati interpretativi
#2	figg. 17 e 18 (pag. 34): Non è chiaro il motivo per cui, in entrambe le prove, dopo l'iniziale abbassamento si sia osservata nei piezometri una progressiva risalita della falda, della durata di alcune ore. Ciò potrebbe essere dovuto ad un'escursione naturale della falda nel corso della prova, o anche al ricircolo in falda delle acque scaricate durante la prova di pompaggio " <i>a breve distanza dai campi prova</i> ". Entrambi i fenomeni potrebbero aver falsato i risultati delle prove. Si chiede di chiarire tali aspetti.	Il fenomeno, di entità limitata rispetto all'abbassamento totale osservato, è ascrivibile ad escursione regionale della falda, quindi non dipendente da fattori locali. Il punto di recapito delle acque prelevate si trovava a diverse decine di metri di distanza dai punti di prelievo, non a monte idrogeologico. È possibile fornire una planimetria con le ubicazioni dei punti di prelievo e scarico.
#3	figg. 60 (pag. 93): Le curve di livello sul profilo non sono quotate. Se, come sembrerebbe per raffronto con le figure successive, esse rappresentano le quote piezometriche rilevate punto per punto nel modello, non si capisce come mai esse abbiano un andamento suborizzontale, come se la falda fosse caratterizzata da un flusso in direzione verticale. Si chiede di chiarire.	Le isopieze rappresentate lungo la riga 147 del modello hanno equidistanza 20 cm. In effetti viene rappresentato un flusso dal primo al secondo acquifero, prodotto dalla loro leggera differenza di livello piezometrico.
#4	figg. 60 (pag. 93): Per valutare l'effetto del diaframma sul comportamento della falda, sarebbe opportuno il raffronto con la situazione indisturbata, in analogia con quanto viene fatto alla pagina seguente per la sezione nord - sud.	La rappresentazione della situazione indisturbata in corrispondenza della riga 155 del modello può essere fornita.

1 Osservazione #1

L'interpretazione delle prove di portata è avvenuta principalmente tramite ricostruzione della conducibilità idraulica e del coefficiente di immagazzinamento in grado di fornire, come risultato simulato, gli stessi livelli piezometrici osservati durante lo svolgimento delle prove.

Per la calibrazione del modello, è stato utilizzato il codice di autocalibrazione PEST (www.pesthomepage.org).

In Figura 1 e Figura 2 vengono mostrati i grafici delle curve di abbassamento osservate e simulate.

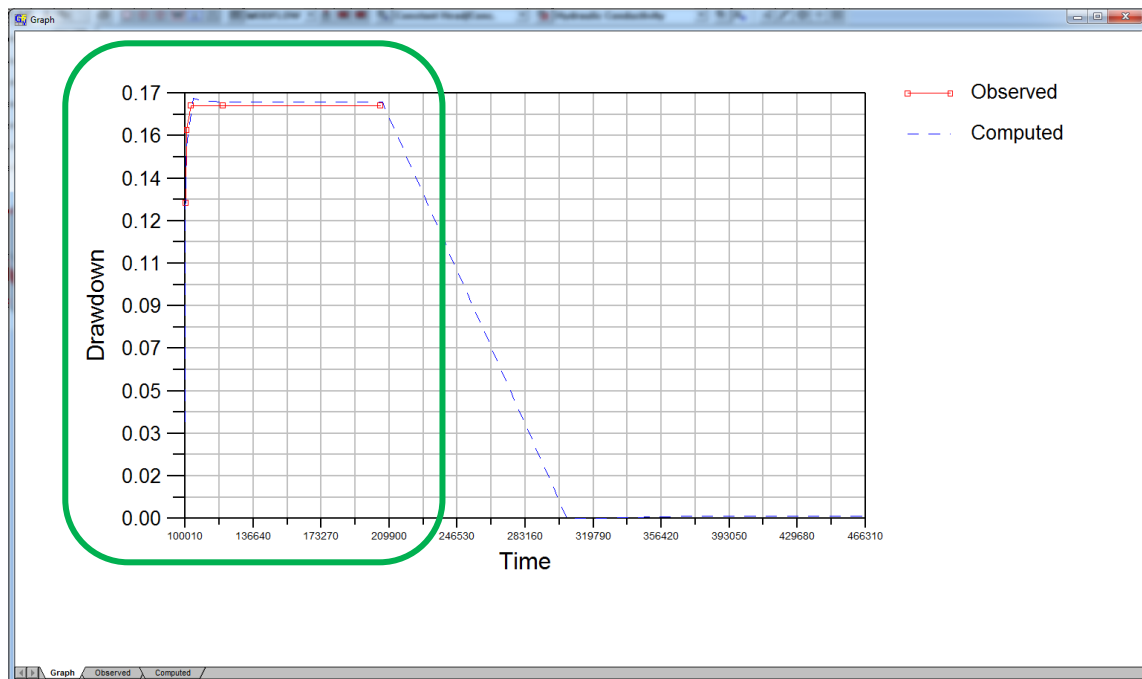


Figura 1 – Campo nord – prova di portata – livelli osservati e simulati in corrispondenza del piezometro MW14.2.

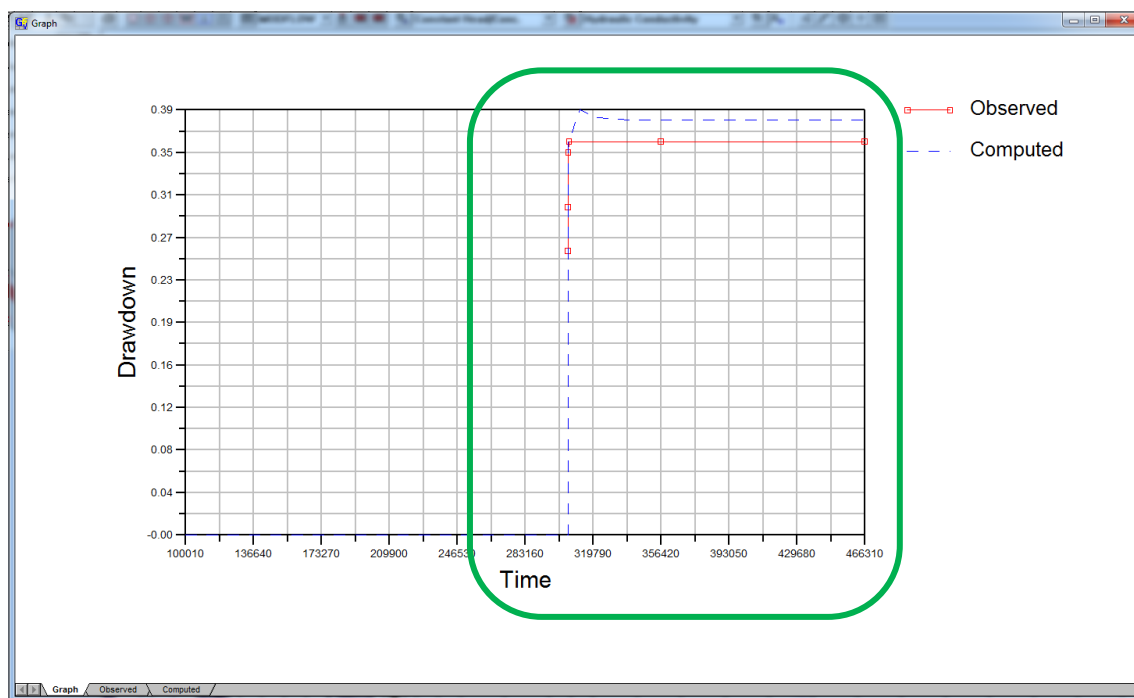


Figura 2 – Campo sud – prova di portata – livelli osservati e simulati in corrispondenza del piezometro MW14.1.

2 Osservazione #2

Si riporta, in Figura 3, la posizione delle opere su cui è stata eseguita la prova di portata in area nord. La distanza tra le opere di prelievo e monitoraggio ed il punto di scarico delle acque è pari a circa 40 metri (in linea d'aria). Le acque scaricate defluiscono per alcune decine di metri verso valle, infiltrandosi gradualmente nel terreno a valle idrogeologico rispetto al punto di monitoraggio. Sulla base di tali evidenze, si esclude qualsiasi interferenza con la prova di portata (sia per cortocircuito, sia per innalzamento del livello).

Si riporta, in Figura 4, la posizione delle opere su cui è stata eseguita la prova di portata in area sud. La distanza tra le opere di prelievo e monitoraggio ed il punto di scarico delle acque è pari a circa 45 metri (in linea d'aria). Lo scarico è avvenuto in posizione perpendicolare rispetto alla direzione di deflusso della falda, ad una distanza tale da escludere qualsiasi interferenza con la prova di portata.

La direzione di deflusso della falda è rappresentata concordemente con quelle riportate in Figura 35 del documento in oggetto (piezometrie ricostruite da SIA – Provincia di Milano sulla base di misure prese in marzo e settembre 2013).

Le limitate escursioni di livello osservate durante l'esecuzione delle prove, pari a meno di 5 cm come estensione massima nell'arco di alcune decine di ore, sono ascrivibili ad oscillazioni naturali e non sono tali da condizionare l'interpretazione delle stesse.



Figura 3 – Campo nord – Posizione del punto di prelievo WW14.2, del piezometro di osservazione MW14.2 e del punto di scarico delle acque (freccia nera). In blu è rappresentata la direzione prevalente di flusso della falda.

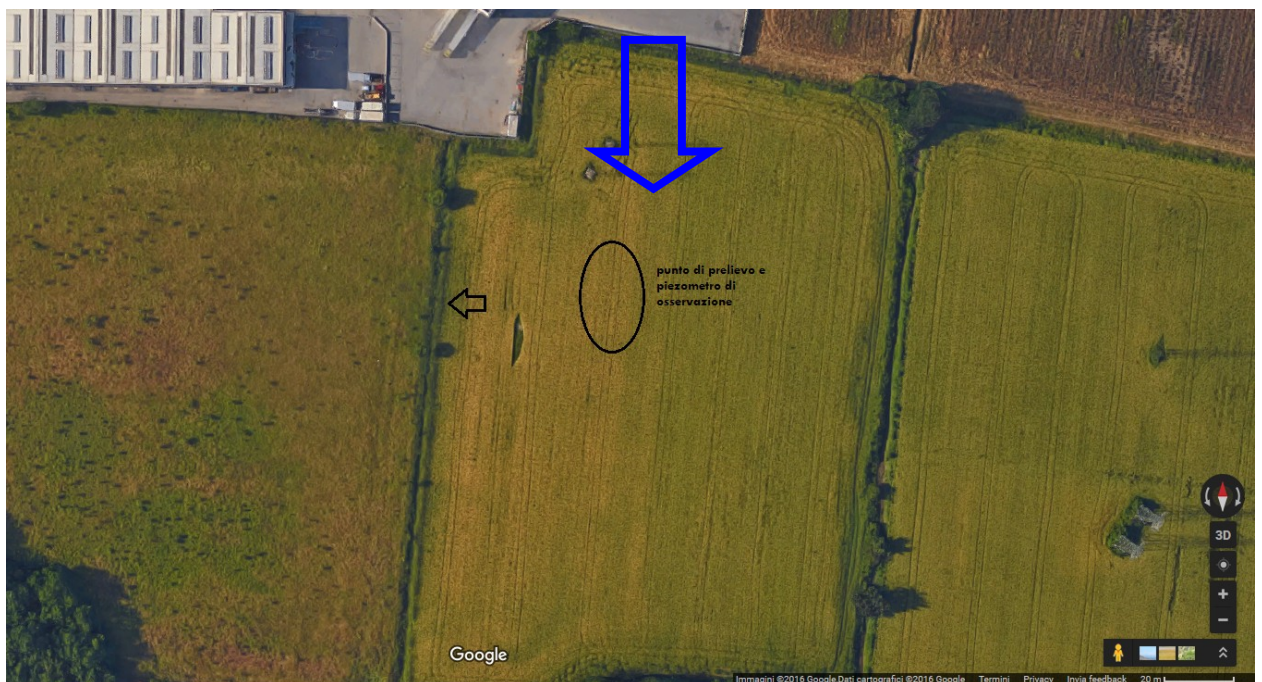


Figura 4 – Campo sud – Posizione del punto di prelievo WW14.1, del piezometro di osservazione MW14.1 e del punto di scarico delle acque (freccia nera). In blu è rappresentata la direzione prevalente di flusso della falda.

3 Osservazione #4

Vengono presentate di seguito le sezioni del modello matematico che mostrano il livello di falda raggiunto in condizioni indisturbate.

La prima sezione (Figura 5) è riferita al modello con griglia raffittita sia in pianta, sia in verticale (n. totale di 6 layer).

La seconda sezione (Figura 6) è riferita al modello "originale", con una maglia regolare di 100 X 100 metri ed una suddivisione in 4 layer.

L'occupazione della trincea che accoglierà la strada è stata disegnata in aggiunta alle sezioni elaborate nell'interfaccia grafica (Groundwater Vistas 6) del modello matematico.

Per quanto di interesse ai fini del confronto con l'effetto dell'aggiunta della trincea, si conferma, nelle simulazioni svolte, la limitata differenza di livello piezometrico (la linea blu orizzontale) derivante dalla presenza della struttura (Figura 60 a pag. 94 della relazione Tethys) rispetto alla situazione indisturbata mostrata in Figura 5 ed in Figura 6. Si conferma inoltre, in relazione alla configurazione con la presenza della struttura, l'assenza di perturbazioni anche lungo la direzione est-ovest.

Le linee isopiezometriche rappresentate al di sotto della linea della superficie piezometrica evidenziano potenziali percorsi di deflusso in direzione sub-verticale. Si tratta di fenomeni locali derivanti dalle eterogeneità litologiche rappresentate nel modello matematico.

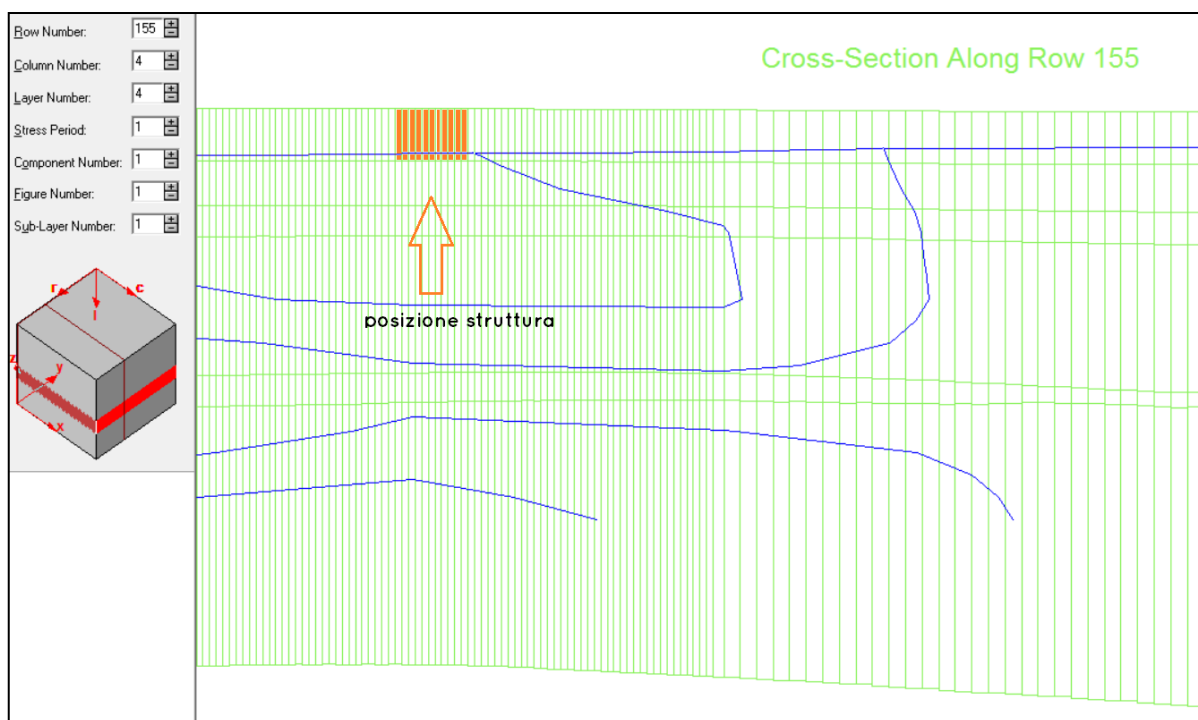


Figura 5 – Sezione lungo la riga 155.

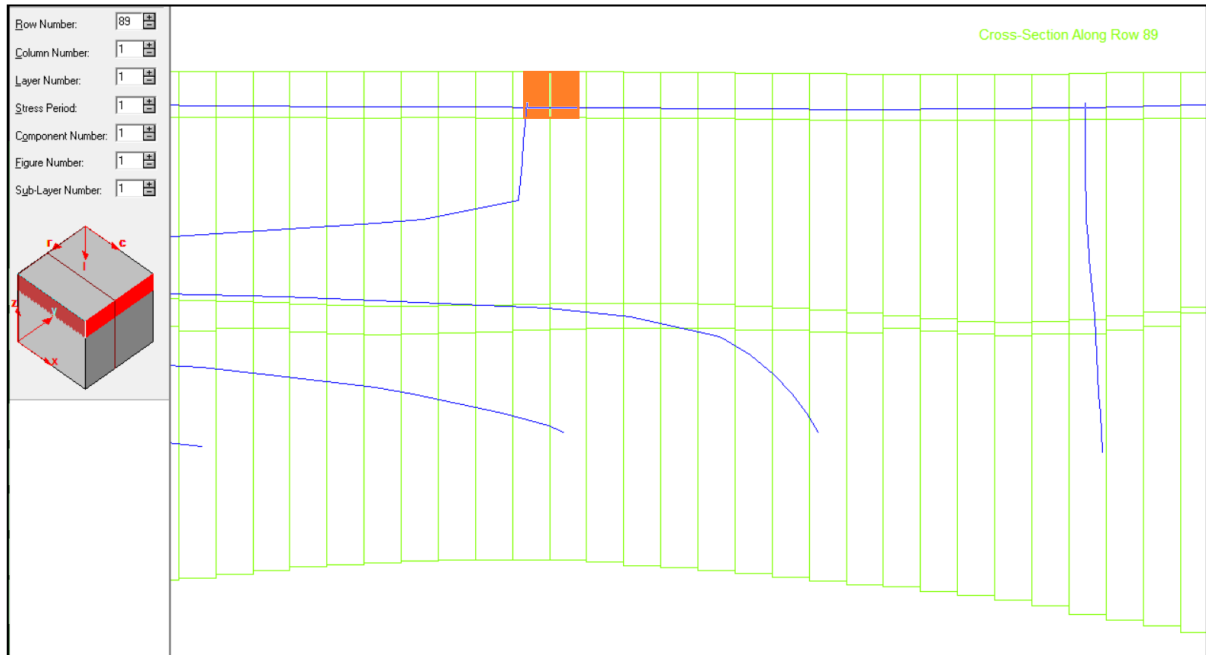


Figura 6 – Sezione lungo la riga 89.