



FASE

II BILANCIO DELLE DISPONIBILITA' IDRICHE NATURALI E VALUTAZIONE DELL'INCIDENZA DEI PRELIEVI

ATTIVITA'

II.i Bilancio idrogeologico

ELABORATO

II.i/1 Rapporto tecnico

CODICE DOCUMENTO

1 5 7 0 - 0 2 - 2 0 1 0 1 . D O C

01	MAR.04	N.QUARANTA	M.BUFFO	A.PORCELLANA	
00	MAG.03	N.QUARANTA	M.BUFFO	A.PORCELLANA	
REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE	MODIFICHE

RIPRODUZIONE O CONSEGNA A TERZI SOLO DIETRO SPECIFICA AUTORIZZAZIONE

Associazione temporanea di imprese

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
2. ELEMENTI DI BILANCIO IDROGEOLOGICO DESUMIBILI DALLA LETTERATURA	2
3. ANALISI DELLE COMPONENTI PRINCIPALI DI BILANCIO: LA ZONA NON SATURA	5
3.1 Generalità	5
3.2 Ricarica verticale - componente degli apporti meteorici	7
3.2.1 Discretizzazione idrometeorologica	7
3.2.2 Discretizzazione pedologica	8
3.2.3 Discretizzazione dell'uso del suolo	11
3.3 Ricarica verticale - componente degli apporti irrigui	14
3.3.1 Introduzione	14
3.3.2 Quadro di riferimento conoscitivo	14
3.3.3 Stima degli apporti irrigui	17
3.3.4 Modello di calcolo dell'infiltrazione nelle zone adibite a risicoltura	19
3.3.5 Considerazioni riepilogative	23
4. ANALISI DELLE COMPONENTI PRINCIPALI DI BILANCIO: LA ZONA SATURA	26
4.1 Introduzione	26
4.2 Discretizzazione verticale del sistema acquifero	27
4.2.1 Generalità	27
4.2.2 Sistema acquifero superficiale	28
4.2.3 Sistema degli acquiferi profondi	29
4.2.4 Discretizzazione verticale adottata	30
4.3 Assegnazione delle condizioni al contorno del sistema acquifero	31
4.4 Definizione delle condizioni piezometriche di riferimento iniziali	32
4.5 Parametrizzazione idrodinamica del sistema acquifero	35
4.6 Prelievi dal sistema acquifero	37
4.6.1 Introduzione	37
4.6.2 Prelievi industriali dal sistema acquifero	39
4.6.3 Prelievi irrigui dal sistema acquifero	42
4.7 Il flusso di scambio con il reticolo idrografico	44
5. PROCEDURE DI VALIDAZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO DEL BILANCIO IDROGEOLOGICO	48
6. SCHEMA DI BILANCIO IDROGEOLOGICO	55

- APPENDICE 1 - Tavole sinottiche relative alle principali caratteristiche strutturali dell'irrigazione
- APPENDICE 2 - Tabelle riepilogative dei fabbisogni irrigui per tipologie colturali omogenee su base comunale
- APPENDICE 3 - Schede di metadocumentazione: "Modello geometrico del sottosuolo"
- APPENDICE 4 - Schede di metadocumentazione: "Piezometria dell'acquifero"
- APPENDICE 5 - Schede di metadocumentazione: "Parametri idrodinamici degli acquiferi"
- APPENDICE 6 - Schede di metadocumentazione: "Prelievi da falda"
- APPENDICE 7 - Calibrazione delle componenti di flusso nel modello di simulazione: idrogrammi di portata

1. INTRODUZIONE

Le attività sviluppate per la seconda fase del progetto “INDAGINI E STUDI FINALIZZATI ALLA PREDISPOSIZIONE DEL PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE DI CUI AL DECRETO LEGISLATIVO 152/1999” hanno come finalità la conoscenza, nel sistema idrogeologico della pianura piemontese - soggetto ad importanti sollecitazioni da parte del sistema insediativo e produttivo - delle disponibilità idriche naturali e della loro distribuzione e variabilità nel tempo e nello spazio, pervenendo ad una quantificazione dell'incidenza e degli effetti indotti dai prelievi negli acquiferi.

Pertanto, la seconda fase del progetto è denominata “Bilancio delle disponibilità idriche naturali e valutazione dell'incidenza dei prelievi”.

La presente relazione riguarda il “**Bilancio idrogeologico**” (rif. Fase 2 - i) e descrive le attività svolte per definire il bilancio idrogeologico in risposta alle principali componenti di ricarica (meteorica ed irrigazione, apporti dalla rete idrografica, deflusso sotterraneo in ingresso al contorno del sistema acquifero) e scarica (apporto alla rete idrografica, prelievi da pozzi, deflusso sotterraneo in uscita al contorno del sistema acquifero).

Le criticità sono, in questa fase di bilancio, intese a scala di macro-aree idrogeologiche, cioè ad ampie porzioni di territorio di estensione sub-provinciale situate nel vasto sistema idrogeologico della pianura alluvionale, interferenti con la dinamica idrologica superficiale, sulle quali insiste la più alta concentrazione di fattori di pressione di tipo puntiforme e diffuso (centri abitati, aree commerciali ed industriali, aree agricole).

In base alle valutazioni di bilancio idrogeologico è possibile individuare, attraverso opportuni indicatori, lo stato quantitativo della risorsa, al fine di valutarne nel corso delle successive fasi di lavoro le possibili influenze con le problematiche di tipo qualitativo.

Il quadro analitico ottenuto, che individua le macro-aree idrogeologiche soggette a diversi tassi di prelievo in rapporto alla disponibilità idrica naturale, caratterizzandone il grado e tipo di criticità in termini quali-quantitativi, rappresenta il supporto operativo di base per la formulazione delle ipotesi di intervento, strutturali e non strutturali, da verificare per risolvere o limitare tali criticità.

Nei capitoli seguenti viene presentata dapprima una sintetica rassegna degli elementi di bilancio desumibili dai più importanti studi pregressi nel settore idrogeologico, analizzando successivamente la schematizzazione adottata per la valutazione quantitativa delle macro-componenti di bilancio: ricarica verticale del sistema idrogeologico, flusso nella zona satura, interscambio con la rete idrografica.

Nei capitoli finali vengono illustrati sia i criteri di calibrazione del modello integrato di simulazione, sia l'impostazione dei risultati concernenti il bilancio idrogeologico delle macro-aree nelle quali è suddiviso il dominio di studio corrispondente al sistema acquifero della pianura piemontese.

2. ELEMENTI DI BILANCIO IDROGEOLOGICO DESUMIBILI DALLA LETTERATURA

Lo schema di bilancio idrogeologico proposto negli studi propedeutici alla redazione del Piano di Tutela si inserisce nel contesto di un quadro conoscitivo pregresso che svolge una funzione di confronto e validazione indiretta del medesimo.

Viene presentata una rassegna sintetica degli schemi di bilancio idrogeologico sviluppati nel corso di studi pregressi, inquadrati in rapporto alle loro finalità specifiche e alla tipologia/consistenza degli strumenti conoscitivi di base.

- Ministero dell'Ambiente - A.T.I. Consorzio Italcopo - S.p.S. S.p.A.: "Studi per la pianificazione e il controllo del risanamento del bacino padano (MASTER PLAN), marzo 1992

Nell'ambito del MASTER PLAN del F.Po è stato sviluppato un modello matematico di simulazione del sistema acquifero padano, applicando il codice di calcolo alle differenze finite MODFLOW, con 1479 celle di calcolo attive di dimensioni minime di 25 km² nel primo strato e 1521 celle attive nel secondo, tarato in regime stazionario in riferimento ad una situazione piezometrica media.

Gli elementi di bilancio idrogeologico sono riferiti ad una discretizzazione di larga scala, in quanto riferita all'intero bacino padano, in sottobacini idrografici con sezioni di chiusura che sottendono sia la porzione montana, sia quella di pianura; per ciascuno di questi sottobacini, numerati in accordo a quanto evidenziato nella figura 1, sono forniti gli elementi di bilancio illustrati nella tabella 1.

Bacino			AFFLUSSI (10 ⁶ m ³ /y)				DEFLUSSI (10 ⁶ m ³ /y)	
N°	Denominazione	Sup. (km ²)	Precipitazioni	Precipitazioni efficaci	C.I.P.	Irrigazione, perdite subalveo, ricarica laterale	Drenaggio vs. fiumi	Prelievi da pozzi
06.1	Terdoppio-Agogna	1276	1302	100	8%	500	370	230
07.2	Basso Sesia	1809	2038	240	12%	1140	670	440
07.3	Basso vercellese	432	380	90	24%	290	280	100
07.2	Bassa Dora B.	827	859	90	10%	520	380	170
09.0	Pianura tor.sett.	2340	2340	160	7%	350	250	170
11.0	Pianura tor. mer.	1792	1738	135	8%	280	180	250
12.0	Alta pianura Po	2585	2404	140	6%	250	210	180
13.0	Ricchiardo-Banna	900	666	125	19%	170	140	130
15.1	High Tanaro	3518	3940	125	3%	110	90	115
15.2	Low Tanaro	1887	4045	250	6%	300	200	285
15.3	Bormida	2580	2657	60	2%	300	150	80
16.0	Scivia	1080	1209	50	4%	100	90	60

Tabella 1 - Sintesi degli elementi di bilancio calcolati nel MASTER PLAN del F.Po.

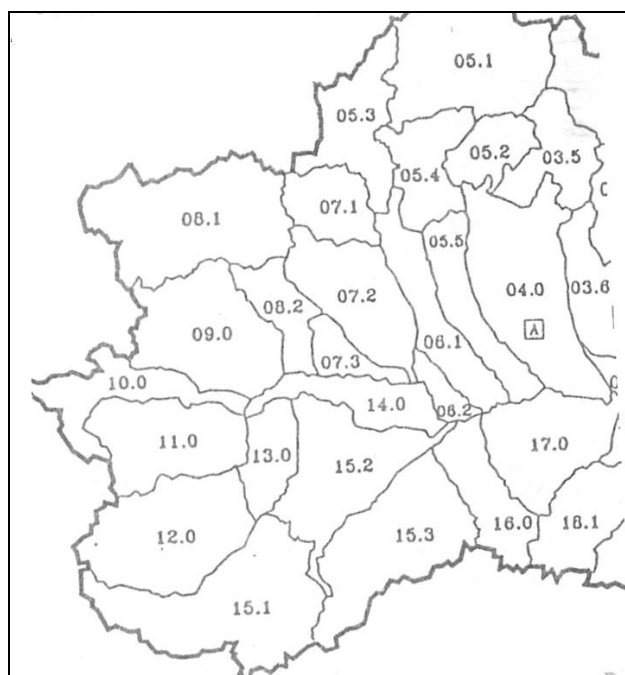


Figura1 - Macro-bacini di riferimento per il calcolo degli elementi di bilancio - MASTER PLAN F.Po.

- Associazione Irrigazione Est Sesia - Novara: “Le Acque Sotterranee della pianura irrigua Novarese-Lomellina (Comprensorio dell’Est-Sesia). Studi e ricerche per la realizzazione di un modello matematico gestionale”. 1984

Supportato da una considerevole campagna di indagini geofisiche per la determinazione delle caratteristiche idrostrutturali del sottosuolo, integrate da dati sismici e stratigrafie dei pozzi AGIP, il modello di simulazione matematica del vasto comprensorio irriguo dell’Est-Sesia compreso tra i F.Sesia, Ticino e Po sino al margine pedemontano del Verbano-Cusio si riferisce ad una discretizzazione in due strati (acquifero superficiale, acquifero profondo), schematizzati mediante una maglia di calcolo regolare di 1.6 km^2 , per un totale di 1584 celle attive.

La taratura del modello, in regime dapprima stazionario e successivamente transitorio, ha consentito di formulare lo schema di bilancio medio annuo per l’area di analisi in tabella 2.

Un’ ulteriore specificazione dello schema di bilancio si riferisce alle sollecitazioni medie annuali del sistema filtrante, espresse con riferimento ad un’ipotesi massima e minima, in accordo a quanto evidenziato nella tabella 3.

Alimentazione dell'acquifero freatico		Drenaggio dell'acquifero freatico	
Irrigazione e afflusso meteorico	52 m ³ /s	Risorgive, reticolo idr. secondario	14 m ³ /s
Rete idrografica principale-second.	15 m ³ /s	Reticolo idrografico principale	27 m ³ /s
Flusso in ingresso al bordo	8.5 m ³ /s	Flusso in uscita al bordo	29 m ³ /s
Leakage dall'acquifero confinato	1.0 m ³ /s	Leakage verso l'acquifero confinato	6.5 m ³ /s
Totale	76.5 m ³ /s	Totale	76.5 m ³ /s

Tabella 2 - Schema di bilancio idrogeologico riferito al primo strato di calcolo del modello di simulazione dell'Est-Sesia.

Componente	MAX - mm/anno	MIN. - mm/anno
Infiltrato da terreno sempre saturo (riso, marcita)	912	792
Infiltrato da terreno non costantemente saturo (irrigazione, precipitazione), con afflusso 860 mm	228	210
Risorgive e drenaggio rete idrografica	950	950
Prelievi idropotabili e industriali	40	40
Approssimazione, flusso disponibile in uscita	150	15

Tabella 3 - Ulteriore definizione dei parametri di bilancio del sistema filtrante simulato nel modello matematico dell'Est-Sesia.

- Ministero dell'Agricoltura - Consorzio per il Canale Emiliano-Romagnolo: "POAcquaAgricolturaAmbiente". Vol.1 - Idrologia e idrogeologia, 1990

Il modello di falda implementato nel corso delle attività di valutazione del bilancio idrico a scala del bacino padano si riferisce ad una suddivisione del sistema idrogeologico di pianura in 47 maglie, 11 delle quali ricadenti nel territorio piemontese, senza suddivisioni verticali dell'acquifero ivi presente.

La tabella seguente presenta il prospetto riepilogativo riferito al sistema acquifero di pianura.

ENTRATE (m ³ /s)		USCITE (m ³ /s)	
Precipitazioni	56	Drenaggio dei fontanili	11
Irrigazioni	58	Drenaggio dei corsi d'acqua	105
Apporti esterni	13	Prelievo da pozzi	28
Perdite da corsi d'acqua	13		
Perdite di rete	4		
Totale	143	Totale	143

Tabella 4 - Schema di bilancio idrogeologico del CER (valori espressi in termini di portata media).

ENTRATE (m ³ /y * 10 ⁹)		USCITE (m ³ /y * 10 ⁹)	
Precipitazioni	1.78	Drenaggio dei fontanili	0.34
Irrigazioni	1.82	Drenaggio dei corsi d'acqua	3.3
Apporti esterni	0.4	Prelievo da pozzi	0.88
Perdite da corsi d'acqua	0.4		
Perdite di rete	0.12		
Totale	4.52	Totale	4.52

Tabella 4 - Schema di bilancio riferito al territorio di pianura piemontese (valori espressi in termini di volume medio annuo).

L'analisi comparata delle componenti di bilancio tratte dalla letteratura specialistica di settore pone in evidenza sostanziali difformità, non tanto nella stima dell'infiltrazione efficace, quanto delle altre voci in ingresso al sistema delle acque sotterranee.

In particolare, il bilancio delle acque sotterranee del MASTER PLAN porta ad una stima degli apporti di origine non meteorica (flusso al bordo, irrigazione, perdite di rete) decisamente più elevata (1.6 volte) rispetto a quella proposta dal CER.

Forti discrepanze si riscontrano altresì in ordine alla valutazione dei prelievi da falda, anch'essi considerati oltre 2.5 volte maggiori nel bilancio proposto dal MASTER PLAN del F.Po rispetto alle stime elaborate dal CER.

Il drenaggio dell'acquifero operato dal reticolo idrografico risulta paragonabile nei due studi citati, attestandosi rispettivamente in 3.0 e 3.3 MDm³/anno, corrispondenti ad una portata media continua di circa 95 m³/s.

Lo schema di bilancio elaborato nel contesto degli studi promossi dall'Est Sesia non risulta direttamente paragonabile alle altre due fonti, in relazione al differente dominio di riferimento considerato.

3. ANALISI DELLE COMPONENTI PRINCIPALI DI BILANCIO: LA ZONA NON SATURA

3.1 Generalità

Nel presente paragrafo viene descritta la metodologia di riferimento adottata per la valutazione degli apporti meteorici ed irrigui, che concorrono a definire la ripartizione spaziale e temporale della ricarica verticale nel sistema acquifero di pianura.

La ripartizione degli apporti meteorici in scorrimento superficiale, perdite per evapotraspirazione, infiltrazione, è stata analizzata ricorrendo a tecniche di modellistica numerica di simulazione, in

particolare riferendosi al codice di calcolo DAISYGis, prodotto da DHI - Danish Hydraulic Institute (DK).

Si tratta di un modello di simulazione agro-ecosistemico unidimensionale, deterministico e dinamico, originariamente sviluppato in Danimarca all'Accademia di Agricoltura e Veterinaria della Reale Università, ed è finalizzato ad analizzare la dinamica di flusso idrico e di nutrienti nel terreno e la produzione agricola in risposta alle pratiche di coltivazione.

Quantunque il codice di calcolo originario sia di tipo unidimensionale, può essere utilizzato in modo distribuito sul territorio, attraverso l'interfaccia con il sistema informativo geografico ArcView, del quale rappresenta un'estensione.

L'applicazione per la stima del bilancio idrico nella zona non satura fornisce il valore delle varie componenti della ricarica verticale nel sistema idrogeologico di pianura della Regione Piemonte, ripartite sulle celle del modello di simulazione del flusso in falda, con maglie quadrate aventi 1 km di lato.

La definizione delle unità di calcolo elementari di DAISYGis è ottenuta dall'intersezione delle subzone omogenee definite previa:

- discretizzazione idrometeorologica del territorio in sottobacini
- discretizzazione pedologica in classi di suolo aventi caratteristiche affini
- discretizzazione dell'uso del suolo in unità omogenee per tipologie insediative e gestione agroforestale;
- discretizzazione delle "condizioni al contorno" inferiori della zona insatura, correlate alla soggiacenza dell'acquifero.

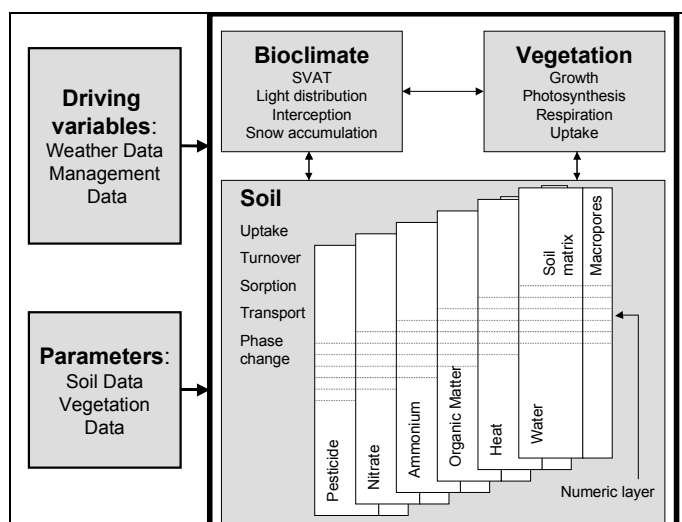


Figura 2 - Presentazione schematica del modello di simulazione di flusso e trasporto nella zona insatura.

Nei paragrafi seguenti vengono descritte le procedure di discretizzazione del dominio geografico di studio in relazione a questi aspetti, riferendosi dapprima all'analisi dei fattori che controllano la ripartizione spaziale e temporale della ricarica verticale del sistema acquifero riconducibile agli apporti meteorici, e successivamente all'irrigazione.

Per una descrizione dettagliata dei riferimenti scientifici del modello di simulazione, delle formule di calcolo e delle caratteristiche prestazionali dell'interfaccia software si rimanda al "Rapporto Tecnico - Software di simulazione idrologica e gestione del sistema idrico complessivo" (elaborato II.j/1 ed allegati consegnati a conclusione delle attività di II Fase).

3.2 Ricarica verticale - componente degli apporti meteorici

3.2.1 Discretizzazione idrometeorologica

La discretizzazione idrometeorologica del dominio areale considerato dalle applicazioni di modellistica numerica funzionali al calcolo dell'infiltrazione è conforme allo schema operativo che costituisce il modello di previsione delle piene in tempo reale della Regione Piemonte, installato presso la Sala Prevenzione Rischi Naturali del CSI-Piemonte.

Questo approccio consente di prefigurare la possibilità di aggiornamento continuo e dinamico del modello di simulazione implementato, in quanto le funzioni di gestione dei dati in ingresso sono interfacciate con la gestione dei dati provenienti dalla rete di monitoraggio idrometeorologica in telecontrollo della Regione Piemonte.

Operativamente, in corrispondenza della porzione di territorio considerata ai fini delle applicazioni modellistiche nel sistema idrogeologico di pianura, per ciascuno dei 75 sottobacini ai quali si riferisce la discretizzazione idrologica vengono forniti in input al modello di calcolo i seguenti dati su base giornaliera:

- altezza di afflusso meteorico;
- temperatura dell'aria;
- radiazione solare incidente.

Tali dati, estratti dal sistema esperto di gestione del modulo idrologico del modello di previsione in tempo reale delle piene, sono riferiti alla quota media di ciascuno dei sottobacini di pianura indicati nella figura seguente (linee rosse).

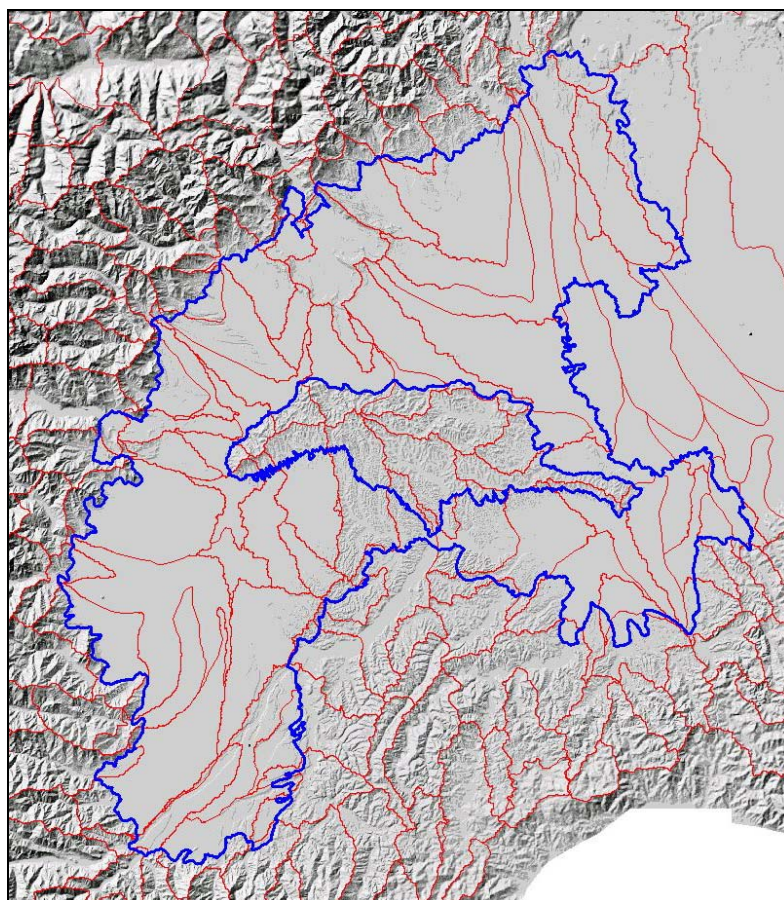


Figura 3 - Discretizzazione del territorio di pianura in sottobacini idrologici.

L'arco di tempo attualmente considerato per il calcolo della ricarica verticale si estende su un intervallo triennale, compreso tra il 1/9/1999 e il 30/08/2002.

3.2.2 Discretizzazione pedologica

La discretizzazione pedologica del territorio di pianura considerato ai fini del calcolo della ricarica verticale di origine meteorica è stata eseguita con riferimento alla copertura numerica denominata "Carta dei Suoli - 1:250.000", settembre 2002.

La cartografia informatizzata suddetta è stata elaborata da IPLA per incarico della Direzione Regionale 12 - Sviluppo dell'Agricoltura della Regione Piemonte nell'ambito del Programma Interregionale cofinanziato "Agricoltura e qualità - misura 5", ed è stata acquisita per le finalità del presente progetto, previa specifica autorizzazione della Direzione Regionale 24 - Pianificazione delle Risorse Idriche.

Il sistema classificativo adottato per la catalogazione dei suoli piemontesi corrisponde con la Soil Taxonomy U.S.D.A. (1999), basato sulle proprietà osservate in campagna e sui dati analitici di laboratorio su campioni significativi.

I poligoni della Carta dei Suoli alla scala 1:250.000 sono organizzati con riferimento ad una classificazione in 31 unità omogenee, le cui caratteristiche salienti sono descritte nel prospetto riportato in appendice al presente rapporto.

Nella figura riportata nella pagina successiva viene presentata in forma sinottica la distribuzione areale delle unità suddette, che per le finalità specifiche del presente progetto sono state accorpate per l'implementazione del modello matematico di calcolo dell'infiltrazione in 15 gruppi, con riferimento allo schema di corrispondenze definito nella tabella seguente.

Ambito	Classi	Caratteristiche salienti
Pianura	A1, A2	Tessitura franca o più fine, molto evoluti, bassa permeabilità
Tutti	A3, A7, A8	Tessitura da franco-fine a sabbiosa, evoluti, con orizzonte di accumulo di argilla
Pianura	A4	Evoluti, idromorfi, a drenaggio rallentato, con orizzonte di accumulo di argilla
Pianura	B1, C1	Tessitura franco-grossolana/fine; profondi, ben drenati, da poco a non evoluti
Pianura	B2, D1, D2	Tessitura variabile (franca/limosa, fine/grossolana), abb.sost.organica (D1-D2)
Pianura	C2	Tessitura franco-grossolana, non evoluti, idromorfi, a drenaggio lento
Pianura	E1	Argillosi, con crepacciature nella stagione secca, bassa permeabilità
Pianura	F1	Suoli organici di ambiente palustre, torbosi
Pianura	A5, B3, C3, D3	Tessitura ghiaiosa, con substrato a prof.< 50 cm
Collina	A6	Tessitura grossolana, in aree a forte erosione
Collina	B4	Tessitura grossolana, poco evoluti, in aree a forte erosione
Collina	C4	Tessitura grossolana, non evoluti, in aree a forte erosione
Collina	B5, C5	Tessitura fine, da poco a non evoluti, in aree a forte erosione
Montagna	B6, B7	Non evoluti, in aree a forte erosione/accumulo, con orizzonti di alterazione
Montagna	C6, C7	Non evoluti, in aree a forte erosione/accumulo, privi di orizzonti di alterazione

Tabella 5 - Caratteristiche salienti dei gruppi di suoli utilizzati per la discretizzazione pedologica

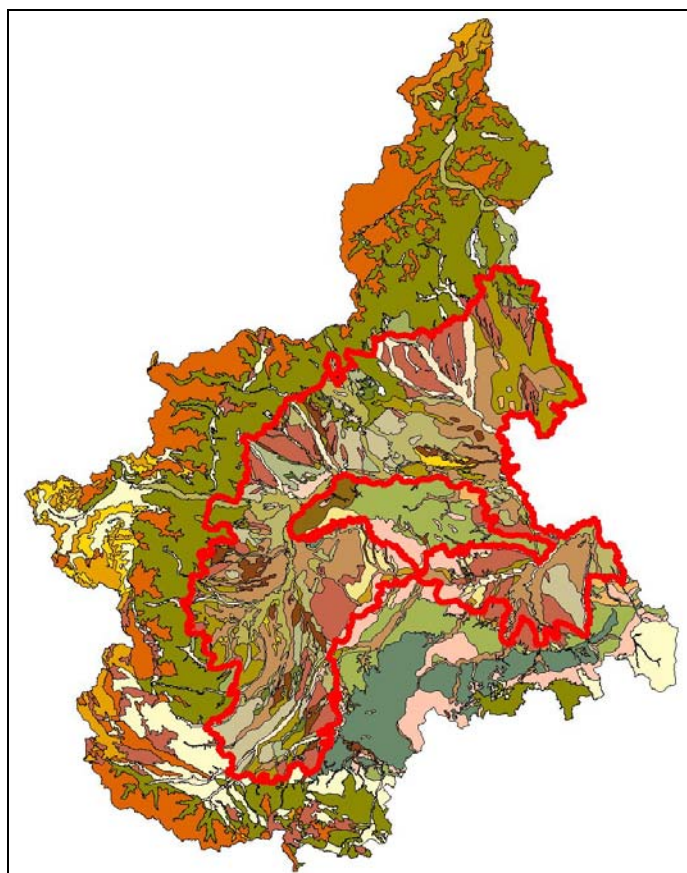


Figura 4 - Suddivisione su base regionale tratta dalla Carta dei Suoli 1:250.000

La parametrizzazione delle proprietà idrauliche dei suoli è stata eseguita a partire dai dati tessiturali contenuti nelle note illustrative annesse alla Carta dei suoli, integrata da una selezione di alcune decine di schede descrittive delle proprietà dei diversi tipi di suoli, reperibili nel sito Internet della Regione Piemonte - Direzione Agricoltura.

La parametrizzazione eseguita tiene conto delle seguenti macro-proprietà tessiturali e chimico-fisiche:

profondità degli orizzonti pedogenetici
reazione acida
percentuale di scheletro
percentuale di sabbia grossolana
percentuale di sabbia fine
percentuale di sabbia molto fine
percentuale di limo grossolano
percentuale di limo fine
percentuale di argilla
contenuto in bicarbonato di calcio

contenuto in carbonio organico
contenuto in azoto
rapporto C/N
contenuto in sostanza organica
capacità di scambio cationico

3.2.3 Discretizzazione dell'uso del suolo

Per le finalità specifiche del calcolo dell'infiltrazione, sono stati presi in considerazione due dataset aventi estensione regionale:

- la copertura numerica redatta secondo le specifiche internazionali del Progetto CORINE Land Cover;
- i dati alfanumerici aggregati a livello comunale, relativi alla Sezione II - Utilizzazione dei Terreni, del 5° Censimento Generale dell'Agricoltura ISTAT (annata agraria 1999-2000), acquisiti previa specifica autorizzazione per il presente studio fornita della Direzione Regionale 12 - Sviluppo dell'Agricoltura.

Questi due dataset sono stati utilizzati per differenti finalità:

- individuare le principali aree urbane, nelle quali l'infiltrazione delle precipitazioni efficaci è fortemente ridotta o impedita per effetto della continuità delle coperture pavimentate;
- ripartire statisticamente le tipologie colturali (e vegetali in genere) note a scala comunale, in funzione dei corrispondenti apporti meteorici efficaci e al grado di permeabilità dei suoli, definito in accordo ai criteri enunciati nello specifico paragrafo.

Le unità di territorio omogenee estratte dalla copertura di uso del suolo CORINE Land Cover sono state definite in accordo alle classi riportate nella tabella seguente, ed assumono la distribuzione territoriale esemplificata nella figura ad essi associata.

Codice classe secondo Corine Land Cover	Descrizione
112, 124, 133	Tessuto urbano discontinuo, Aereoporti, Cantieri
111, 121-123	Tessuto urbano continuo, Aree industriali e commerciali, Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori
213	Risaie
221	Vigneti
222, 324	Frutteti e frutti minori, Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
141,142,231,411	Aree verdi urbane, Aree ricreative, Prati stabili, Paludi interne
211, 241-243	Seminativi in aree non irrigue, Colture annuali associate e colture perenni, Sistemi colturali e particellari complessi, Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali
321-322	Aree a pascolo naturale e praterie di alta quota, Brughiere e cespugliete
311-313, 323	Boschi di latifoglie, Boschi di conifere, Boschi misti
131, 132, 331-334	Aree ad attività estrattiva, Discariche, Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti, Aree con vegetazione rada, Aree percorse da incendi
511-512	Corsi d'acqua, canali e idrovie, Bacini d'acqua

Tabella 6 - Discretizzazione delle classi di uso del suolo secondo la copertura CORINE Land Cover.

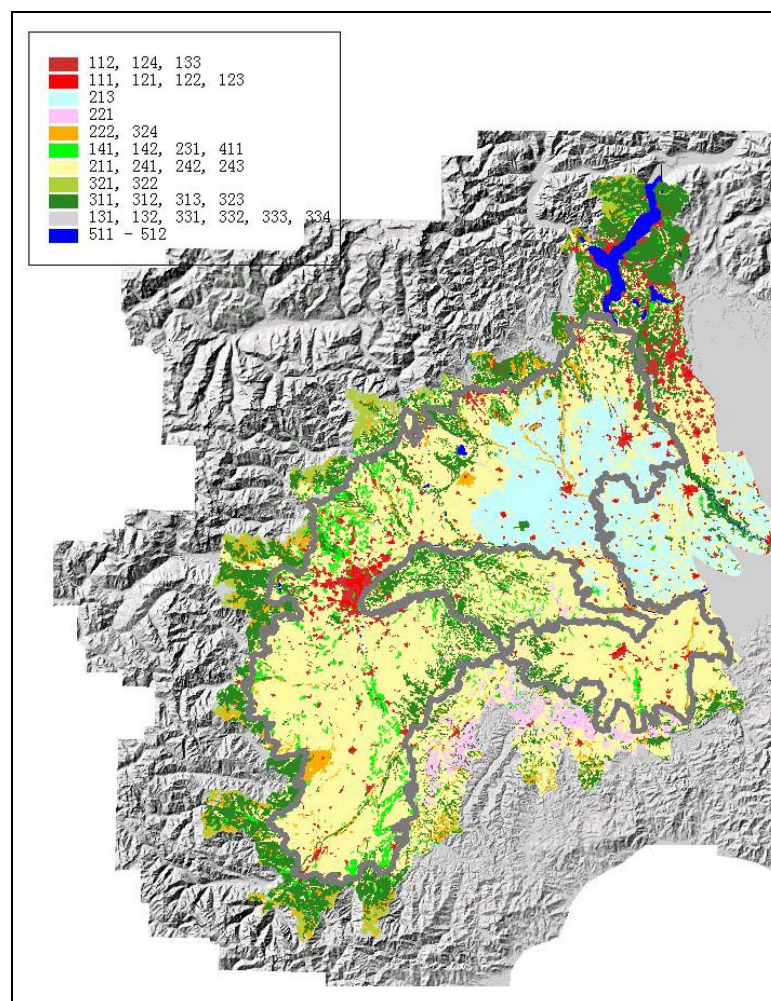


Figura 5 - Discretizzazione delle classi di uso del suolo secondo Corine Land Cover nella zona di applicazione del modello di simulazione

Per le finalità specifiche di implementazione del modello di simulazione dell'infiltrazione nella zona insatura, le aree urbane continue sono state considerate impermeabili, mentre le aree urbane discontinue sono state convenzionalmente considerate al 50% impermeabili, al 50% con caratteristiche affini alle superfici prative.

Un ulteriore livello di dettaglio nella specificazione delle tipologie colturali presenti nel contesto delle aree agricole è stato ottenuto raggruppando le unità classificative distinte nel 5° Censimento Generale dell'Agricoltura ISTAT (annata agraria 1999-2000) - sezione II - Utilizzazione dei terreni.

Nella tabella seguente vengono mostrate le relazioni tra i raggruppamenti eseguiti per le finalità di implementazione del modello di calcolo dell'infiltrazione e le tipologie colturali considerate nel 5° censimento.

Macro-raggruppamento	Codifica	Descrizione	Sup.tot. (km ²)	% SAU
Cereali	080101	Frumento tenero	830.2	7.8
	080102	Frumento duro	43.9	0.4
	080103	Segale	7.7	0.1
	080104	Orzo	237.2	2.2
	080105	Avena	22.5	0.2
	080106	Granoturco	1778.7	16.7
	080107	Riso	1103.0	10.4
	080108	Sorgo	8.3	0.1
	080109	Altri cereali	24.1	0.2
Piante da zucchero	080417	Barbabietola da zucchero	123.1	1.2
Oleo-proteaginose	080624	Piante da semi oleosi-colza e ravizzone	28.2	0.3
	080625	Girasole	105.8	1.0
	080626	Piante da semi oleosi-soia	252.6	2.4
Foraggere	081046	Erbai-granoturco in erba	18.2	0.2
	081047	Erbai-granoturco a maturazione cerosa	212.7	2.0
	081044	Prati avvicendati-erba medica	205.9	1.9
	081045	Prati avvicendati-altri prati avvicendati	265.2	2.5
	081048	Erbai-altri erbai monofiti di cereali	7.0	0.1
	081049	Erbai-altri erbai	58.6	0.6
	110181	Prati permanenti	1352.8	12.7
	110182	Pascoli	2590.1	24.4
Ortive	080731	A pieno campo-pomodoro da industria	7.8	0.1
	080732	A pieno campo-altre ortive	57.1	0.5
	080734	In orti stabili o industriali - altre ortive	12.8	0.1
Terreni a riposo	081251-52	Terreni a riposo	271.5	2.6
Vivai	090575	Piante ornamentali	6.1	0.1
	090576	Altri vivai	5.4	0.1
Orti familiari	100180	Orti familiari	25.3	0.2
Vigneti	090154	Vite	499	4.7
Frutteti	090462	Melo	50.6	0.5%
	090463	Pero	16.8	0.2%
	090464	Pesco	42.8	0.4%
	090465	Nettarina	24.8	0.2%
	090466	Albicocco	11.7	0.1%
	090467	Fruttiferi-Altra frutta	18.3	0.2%
	090468	Frutta fresca origine sub tropicale-actinidia	38.4	0.4%
	090469	Frutta fresca origine sub tropicale-altra	2.0	0.0%
	090470	Mandorlo	0.4	0.0%
	090471	Nocciolo	100.7	0.9%
	090472	Castagno	90.7	0.9%
	090473	Frutta a guscio-Altra frutta	6.3	0.1%

Tabella 7 -Raggruppamenti colturali eseguiti per l'implementazione del modello di calcolo dell'infiltrazione utilizzando i dati del 5° Censimento ISTAT dell'Agricoltura.

3.3 Ricarica verticale - componente degli apporti irrigui

3.3.1 Introduzione

Nel presente paragrafo vengono descritte le differenti metodologie di riferimento adottate per la valutazione degli apporti irrigui che concorrono a definire la ripartizione spaziale e temporale della ricarica verticale del sistema acquifero di pianura.

In relazione alle particolari tecniche irrigue utilizzate nella Regione Piemonte, l'applicazione del codice di calcolo DAISYGis è stata integrata - nei vasti settori adibiti a risicoltura tra la Dora Baltea, il F.Sesia e il F.Ticino - dal modulo di calcolo dell'infiltrazione nella zona insatura di MIKE-SHE, in grado di considerare la presenza del battente idrico persistente nelle camere di risaia durante la stagione irrigua.

In apposito paragrafo vengono specificati i criteri di implementazione di questo modulo di calcolo, i cui risultati sono stati successivamente aggregati - spazialmente e temporalmente - con quelli ottenuti dal codice di calcolo DAISYGis per fornire un'unica serie di dati in ingresso al modello di simulazione del sistema idrogeologico.

3.3.2 Quadro di riferimento conoscitivo

Le basi-dati di riferimento generali sono costituite dai risultati del 5° Censimento Generale dell'Agricoltura ISTAT (annata agraria 1999-2000), aggregati dal CSI Piemonte su base comunale, previa specifica autorizzazione per il presente studio fornita della Direzione Regionale 12 - Sviluppo dell'Agricoltura.

Più in particolare, sono stati valorizzati i contenuti delle sezioni del Questionario di Azienda Agricola:

- Sezione II - Utilizzazione dei Terreni
- Sezione IV - Irrigazione, Abitazioni, Fabbricati Rurali ed Impianti (limitatamente ai dati contenuti nel riquadro 26 - "irrigazione").

Tutte le informazioni ivi contenute sono state organizzate in ambiente GIS sfruttando le potenzialità di calcolo del software ESRI - ArcView, con riferimento alla scala di aggregazione comunale, per supportare le successive analisi di bilancio idrogeologico su scala di area vasta.

Nel riquadro 26 - Irrigazione, sono disponibili gli elementi informativi riportati nella tabella seguente.

ITEM	Descrizione
nazi_0100	Numero di aziende con superficie irrigabile
sup_0100	Superficie irrigabile
<i>Coltivazioni effettivamente irrigate nell'annata agraria 1999 - 2000</i>	
sup_0201	Superficie irrigata: frumento
sup_0202	Superficie irrigata: granoturco da granella
sup_0203	Superficie irrigata: patata
sup_0204	Superficie irrigata: barbabietola da zucchero
sup_0205	Superficie irrigata: girasole
sup_0206	Superficie irrigata: soia
sup_0207	Superficie irrigata: ortive
sup_0208	Superficie irrigata: foraggiere avvicendate
sup_0209	Superficie irrigata: vite
sup_0210	Superficie irrigata: agrumi
sup_0211	Superficie irrigata: fruttiferi
sup_0212	Superficie irrigata: altre coltivazioni
sup_0313	Totale superficie irrigata
<i>Sistema di irrigazione</i>	
sup_0401	Superficie irrigata: scorrimento superficiale ed infiltrazione laterale
sup_0402	Superficie irrigata: sommersione
sup_0403	Superficie irrigata: aspersione (a pioggia)
sup_0404	Superficie irrigata: microirrigazione
sup_0405	Superficie irrigata: goccia
sup_0406	Superficie irrigata: altro sistema
<i>Approvvigionamento dell'acqua irrigua: fonte di approvvigionamento</i>	
nazi_0501	Numero aziende: da corsi d'acqua superficiali
nazi_0502	Numero aziende: da laghi naturali e laghetti superficiali
nazi_0503	Numero aziende: da acquedotto
nazi_0504	Numero aziende: da acque sotterranee
nazi_0505	Numero aziende: diretto da impianto di depurazione
nazi_0506	Numero aziende: raccolta acque pluviali
<i>Gestione dell'acqua irrigua</i>	
nazi_0507	Numero aziende: autonoma
nazi_0508	Numero aziende: da consorzi di irrigazione e bonifica
nazi_0509	Numero aziende: da altre aziende agricole
nazi_0510	Numero aziende: in altra forma
nazi_0600	Numero aziende che praticano la fertirrigazione

Tabella 8 - Contenuti salienti della sezione del 5° Censimento ISTAT Agricoltura dedicata all'irrigazione.

Nella tabella successiva vengono forniti i tratti salienti delle caratteristiche irrigue del dominio di studio.

codice_dbase	descrizione da ISTAT 2000	un.mis.	totale	
NAZI_0100	numero_aziende_irrigue	n°	47276	
SUP_0100	sup_irrigabile	ha	449027	
SUP_0313	sup_irrigata	ha	355804	
Coltivazioni effettivamente irrigate nell'annata agraria 1999 - 2000				% sup.irrigate
SUP_0201	frumento	ha	6129	2%
SUP_0202	granoturco da granella	ha	118663	33%
SUP_0203	patata	ha	745	0%
SUP_0204	barbabietola	ha	6529	2%
SUP_0205	girasole	ha	0	0%
SUP_0206	soia	ha	10481	3%
SUP_0207	ortive	ha	5868	2%
SUP_0208	foraggiere_avvic.	ha	35962	10%
SUP_0209	vite	ha	96	0%
SUP_0210	agrumi	ha	0	0%
SUP_0211	frutteti	ha	15039	4%
SUP_0212	altro	ha	155669	44%
Totale				99.8%
Sistema di irrigazione				% sup.irrigate
SUP_0401	scorrimento_infiltraz_lat	ha	211454	59.4%
SUP_0402	sommersione	ha	111283	31.3%
SUP_0403	aspersione_pioggia	ha	35780	10.1%
SUP_0404	microirrigazione	ha	1117	0.3%
SUP_0405	goccia	ha	4446	1.2%
SUP_0406	altro_sistema	ha	2079	0.6%
Totale				102.9%
Fonti di approvvigionamento				% aziende
NAZI_0501	fiumi	n° az.	26429	56%
NAZI_0502	laghi	n° az.	1460	3%
NAZI_0503	acquedotto	n° az.	2272	5%
NAZI_0504	acque_falda	n° az.	13997	30%
NAZI_0505	depurazione	n° az.	45	0%
NAZI_0506	pluviali	n° az.	1602	3%
Totale				97%
Gestione dell'acqua irrigua				% aziende
NAZI_0507	gest_autonoma	n° az.	12271	26%
NAZI_0508	consorzi	n° az.	23465	50%
NAZI_0509	altre_aziende	n° az.	1921	4%
NAZI_0510	altro	n° az.	5346	11%
NAZI_0600	fertirrigazione	n° az.	933	2%
Totale				93%

Tabella 9 - Sintesi dei dati relativi alla sezione del V° Censimento Agricoltura relativa all'irrigazione

Si noti che nella tabella precedente sono incluse nella tipologia colturale indicata con “altro” le superfici adibite a risicoltura, aventi un’estensione complessiva di circa 110.000 ha.

In appendice 1 al presente rapporto viene riportata una serie di tavole grafiche che consentono di visualizzare le caratteristiche strutturali del sistema irriguo piemontese, con riferimento ai seguenti aspetti specifici:

- diffusione delle tecniche irrigue, per classi di incidenza areale riferite alla scala comunale;
- fonti di approvvigionamento utilizzate dalle aziende.

3.3.3 Stima degli apporti irrigui

La stima degli apporti irrigui alla componente di ricarica verticale del sistema idrogeologico di pianura è stata eseguita mediante un approccio riferito a due concetti distinti:

- la valutazione dei fabbisogni potenziali netti per i principali tipi di colture presenti sul territorio regionale, in accordo alla metodologia indicata nel Quaderno della Collana Ambiente 22 della Regione Piemonte;
- la valutazione dei consumi idrici unitari correntemente utilizzati nella pratica agricola delle aziende piemontesi.

Mentre il primo tipo di valutazione costituisce un elemento di riferimento teorico generale, il secondo è orientato ad una valutazione più direttamente correlabile con i quantitativi idrici immessi in falda per effetto delle pratiche irrigue correnti.

Con specifico riferimento a quanto descritto nella metodologia per la valutazione dei fabbisogni irrigui (Collana Ambiente 22), occorre infatti richiamare che “.....l’acqua irrigua è impiegata con livelli variabili da coltura a coltura e da anno ad anno, in funzione degli obiettivi produttivi impostati dall’imprenditore alla complessa e mutevole serie di norme e regolamentazioni a livello nazionale ed Europeo”.

Di tutto ciò è evidentemente impossibile tenere conto con precisione, e i fabbisogni netti parcellari e lordi comprensoriali calcolati con la metodologia illustrata nella Collana Ambiente 22 vanno “*pertanto intesi come limite superiore*”, piuttosto che “*come valori adeguati alle contingenti situazioni che condizionano, di volta in volta, le scelte degli agricoltori*”.

La valutazione dei fabbisogni potenziali netti si riferisce alle tipologie colturali considerate nel Quaderno della Collana Ambiente 22, riferendosi ai valori con frequenza di superamento del 20%, e precisamente:

- prato (aprile-settembre)
- mais (maggio-agosto)
- frutteto (aprile-settembre)
- riso (F = 1000, aprile-agosto)
- riso (F = 3000, aprile-agosto)

La distribuzione dei fabbisogni potenziali netti nel contesto del territorio regionale, indicati nella cartografia allegata al testo della Collana Ambiente 22 della Regione Piemonte è stata riprodotta in ambiente GIS, per intersezione tra i valori interpolati tra le isolinee di uguale valore di FN e i poligoni corrispondenti alla suddivisione amministrativa di livello comunale.

Nel caso specifico delle aree risicole nei comprensori irrigui Ovest-Sesia Baraggia e Est-Sesia, la valutazione di FN si è basata sulla perimetrazione delle aree con diverso valore complessivo delle perdite per filtrazione medie stagionali (F), distinte secondo i criteri indicati nella citata pubblicazione:

- F = 600 mm (suoli scarsamente permeabili delle superfici terrazzate più antiche);
- F = 1750 mm (suoli mediamente permeabili);
- F = 2700 mm (suoli altamente permeabili).

Il campo di distribuzione di FN per questi valori di riferimento di F sono stati dedotti mediante elaborazioni in ambiente GIS, interpolando linearmente i campi di distribuzione di FN definiti nelle cartografie in allegato al testo della Collana Ambiente 22, relative ai valori F = 1000 e F = 3000.

L'identificazione areale delle tre tipologie di suoli suddetti si è basata sugli elementi deducibili dalla Carta Pedologica - scala 1:250.000, che è stata utilizzata per ripartire percentualmente - in ciascun ambito comunale - le superfici adibite a risicoltura in rapporto all'estensione dei suoli a diverso grado di permeabilità.

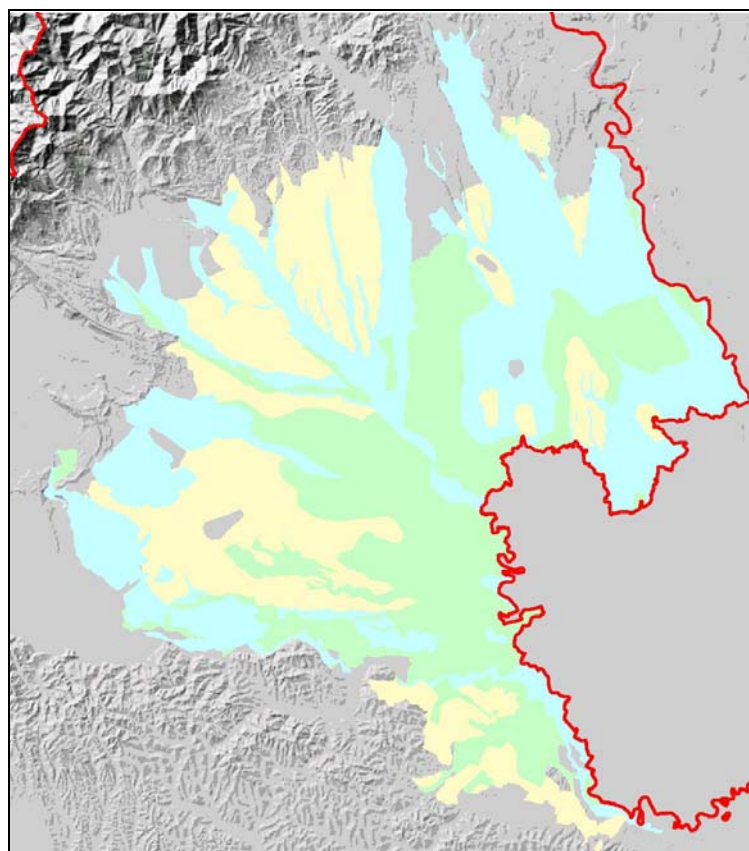


Figura 6 - Ripartizione del grado di permeabilità dei suoli nelle aree irrigue adibite a risicoltura del Piemonte orientale: in giallo suoli prevalentemente argillosi ($F = 600$ mm), in verde sabbiosi ($F = 1750$ mm), in azzurro più grossolani ($F = 2700$ mm).

3.3.4 Modello di calcolo dell'infiltrazione nelle zone adibite a risicoltura

Per la stima della componente di infiltrazione irrigua nelle zone adibite a risicoltura nel vasto comprensorio irriguo a sommersione tra la Dora Baltea, il F.Sesia e il F.Ticino, è stato utilizzato il modulo di calcolo del flusso nella zona insatura del modello di simulazione MIKE-SHE, basato sull'equazione di Richards, che tiene conto (a differenza del DAISY - non applicabile in questo contesto) del battente idrico superficiale persistente nelle camere di risaia durante il periodo irriguo.

In questo contesto, un elemento di notevole importanza ai fini dell'individuazione delle unità rappresentative sotto il profilo pedoclimatico è costituito dalle condizioni al contorno sotto il profilo idrogeologico, esemplificate dalla soggiacenza media della superficie piezometrica dell'acquifero superficiale.

Le classi di soggiacenza, definite per sottrazione al modello digitale del terreno (DTM) delle quote piezometriche dell'acquifero superficiale (ottenute per interpolazione areale dei punti di misura nella rete piezometrica della Regione Piemonte), sono state fissate con limite inferiore corrispondente a 1.25 m, 1.75 m, 2.25 m, 2.75 m rispetto al piano-campagna (oltre ad una 5° classe - definita a drenaggio inferiore "libero" - corrispondente alle zone con falda superficiale più profonda).

Un certo margine di approssimazione nella riproduzione del fenomeno, introdotto dal modello, è determinato dall'assunzione che le classi di soggiacenza sopra definite sono di tipo "statico", cioè non tempo-dipendenti.

Le unità rappresentative sotto il profilo pedoclimatico alle quali sono state applicate le funzioni di calcolo dell'infiltrazione nel mezzo insaturo sono state definite per intersezione in ambiente GIS tra:

- i tipi pedologici omogenei, tratti dalla Carta dei Suoli (7 classi omogenee);
- i sottobacini idrometeorologici omogenei (36 zone);
- le classi di soggiacenza dell'acquifero freatico (5 classi);

ottenendo 139 unità elementari di riferimento per l'applicazione del codice di calcolo dell'infiltrazione nelle aree adibite a risicoltura.

Da un punto di vista concettuale, il dominio spaziale di calcolo del modello è costituito per ciascuna delle 139 elementari di riferimento da una cella di 100 * 100 metri, con elevazione 0 metri, ed estensione verticale rapportata alla profondità della colonna di suolo e della condizione al contorno inferiore, esemplificata dalla posizione della superficie piezometrica.

Il dominio temporale di calcolo corrisponde con il periodo di riferimento 1/9/99-30/8/02; il passo di calcolo iniziale del modello è di 6 minuti, crescente fino ad un valore massimo di 2 ore, che si riduce in caso di eventi idrometeorologici intensi per favorire adeguate condizioni di stabilità numerica.

I parametri meteoclimatici associati a ciascuna zona omogenea nel dominio temporale di calcolo:

- altezza di afflusso meteorico giornaliero (mm);
- temperatura media giornaliera (°C);
- radiazione globale (W/m²);

sono stati utilizzati per il calcolo dell'evapotraspirazione secondo la formula di Makkink (cfr. manuale DAISY).

La parametrizzazione idraulica dei suoli, differenziati in profondità mediante almeno due orizzonti per ciascun gruppo omogeneo, è stata ottenuta applicando le cosiddette "pedotransfer functions" di Van Genuchten alle caratteristiche tessiturali dei differenti gruppi pedogenetici (cfr. manuale DAISY per riferimenti teorici).

Sono state pertanto valutate per ciascun gruppo omogeneo di suoli:

- la curva di ritenzione dell'umidità del terreno θ_s
- la funzione di conducibilità idraulica K_s
- il valore delle costanti empiriche α , N , m

Oltre a questi parametri, nelle simulazioni sono stati considerati con distribuzione uniforme i seguenti parametri:

- l'umidità residua, $\theta_r = 0.01$
- pressione capillare alla capacità di campo, $pF_{fc} = 2$
- pressione capillare al punto di appassimento, $pF_w = 4.2$

Ciascuna colonna verticale di suolo è ripartita - in termini di calcolo numerico del modello - in 100 elementi di altezza pari a 5 cm, per una profondità totale della colonna di calcolo di 5.50 metri rispetto al piano-campagna.

Nella descrizione del profilo di ciascun gruppo di suoli è considerato un orizzonte superficiale con bassa conducibilità idraulica avente uno spessore di 10 cm, corrispondente allo strato meccanicamente costipato dagli interventi di lavorazione del terreno finalizzati alla riduzione delle perdite per filtrazione durante la fase di adacquamento.

In fase di calibrazione del modello, la conducibilità idraulica di tale strato si rivela un parametro molto importante, con valori dell'ordine di 50 volte inferiori rispetto all'orizzonte superiore "naturale" compreso sino a profondità di 30-40 cm dalla superficie topografica.

Gruppo di suoli	Profondità da p.c. (cm)	θ_s (-)	K_s (10^{-6} m/s)	α (cm^{-1})	N (-)	m (-)
Argillosi - A	0-40	0.4377	2.51	0.030	1.206	0.171
Argillosi - B	40-200	0.3879	1.60	0.031	1.140	0.123
Arg. Fragipan - A	0-40	0.5094	2.29	0.025	1.235	0.190
Arg. Fragipan -B	40-60	0.4644	1.91	0.023	1.165	0.142
Arg. Fragipan	60-80	0.6258	1.11	0.014	1.132	0.117
Arg. Fragipan - BC	80-200	0.4644	1.91	0.023	1.165	0.142
Franchi - A	0-40	0.6363	1.70	0.018	1.301	0.231
Franchi - BC	40-200	0.4005	4.02	0.047	1.309	0.236
Sabbiosi - A	0-40	0.4923	3.36	0.029	1.293	0.227
Sabbiosi - BC	40-200	0.4005	4.02	0.047	1.309	0.236
Grossolani - A	0-40	0.4842	2.40	0.026	1.238	0.192
Grossolani-BC	40-200	0.3898	3.41	0.044	1.297	0.229
Grossolani, cem. - A	0-30	0.6101	1.40	0.016	1.258	0.205
Grossolani, cem. -BC	30-200	0.3801	2.03	0.031	1.248	0.199
Vertisuoli arg. - A	0-40	0.5954	0.800	0.015	1.118	0.105
Vertisuoli arg.- BC	40-200	0.2264	0.0262	0.064	1.060	0.056

Tabella10 - Parametrizzazione idraulica della zona insatura, riferita ai principali gruppi di suoli.

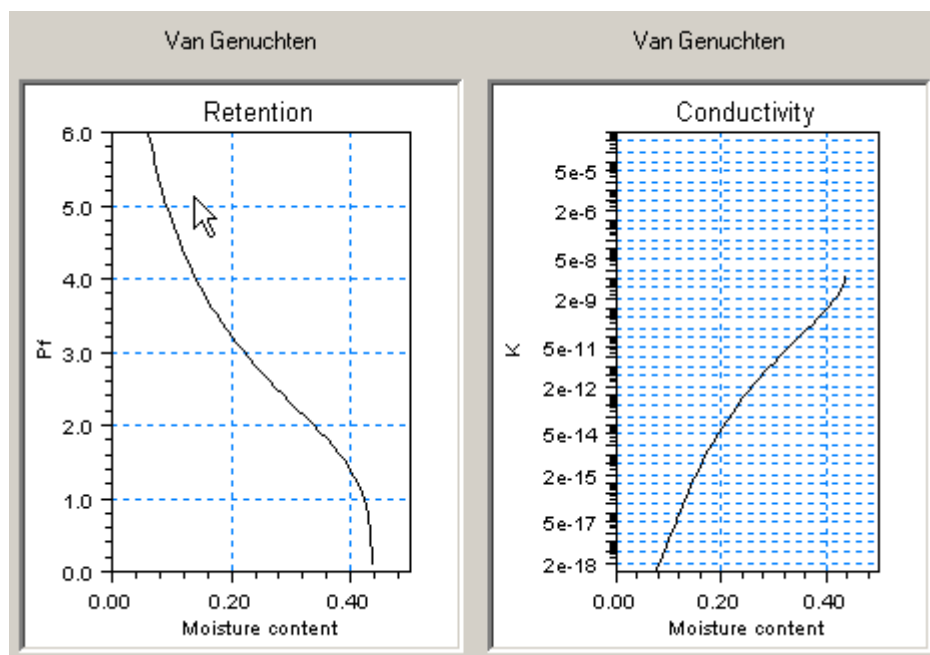


Figura 7 - Esempio di curve di ritenzione e di conducibilità idraulica in funzione del contenuto naturale d'acqua, relative all'orizzonte A del gruppo di suoli argillosi.

La parametrizzazione culturale delle varietà di riso diffuse nella zona in esame si riferisce a indicazioni tratte dalla letteratura specialistica di settore.

L'irrigazione viene considerata nel modello come proveniente da una risorsa idrica esterna, indipendentemente dalla fonte di approvvigionamento reale, fissandone un valore massimo illimitato, puramente teorico ($10 \text{ m}^3/\text{s}/\text{ha}$).

Il volume irriguo richiesto è tale da mantenere la persistenza di un battente idrico di 10 cm dal 1° aprile al 31 agosto, nullo nel restante periodo dell'anno; per evitare instabilità numeriche del modello, le fluttuazioni di livello nelle camere di risaia sono ripartite su un ciclo bisettimanale.

Per le finalità di calcolo dello scorrimento superficiale, viene fissato un valore molto basso del numero di Manning ($M = 0.1 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$), al fine di agevolare la persistenza del battente idrico. L'altezza di ritenuta massima delle camere di risaia è fissata in 12 cm, e lo scorrimento superficiale inizia quando, per effetto di precipitazioni di elevata intensità, il battente idrico supera tale valore.

I risultati delle simulazioni consentono di archiviare in apposite tabelle le serie calcolate di:

- altezza di precipitazione;
- velocità di infiltrazione;
- scorrimento superficiale;

- profondità del battente idrico nelle camere di risaia;
- evapotraspirazione reale.

Le serie cronologiche dei parametri suddetti sono distribuite spazialmente nelle aree adibite a risicoltura, con riferimento alla distribuzione di suoli e zone idrometeorologiche omogenee prefissate, mediante opportune elaborazioni nel sistema informativo geografico ArcView, per integrarle con le elaborazioni analoghe riferite alle altre colture, eseguite con DAISYGis.

3.3.5 Considerazioni riepilogative

In appendice alla presente relazione vengono fornite le tabelle riepilogative con i volumi irrigui netti su base comunale, ripartiti per le principali tipologie colturali considerate, specificando per ognuna di esse il valore medio del fabbisogno di riferimento teorico, calcolato secondo la metodologia proposta nel testo della Collana Ambiente 22 della Regione Piemonte.

La figura successiva sintetizza tali elementi, riportando il fabbisogno complessivo medio della stagione irrigua per le principali colture presenti su ciascun territorio comunale, ottenuto come media ponderale dei fabbisogni delle singole colture moltiplicati per le rispettive superfici irrigate.

Dalla lettura della tavola grafica sono evidenti le profonde differenze strutturali che connotano le diverse zone irrigue della pianura piemontese, riferibili sia alle tipologie colturali e alle tecniche di irrigazione utilizzate, sia alle sostanziali eterogeneità nella distribuzione di risorsa in rapporto alle caratteristiche idrometeorologiche dei sottobacini idrografici.

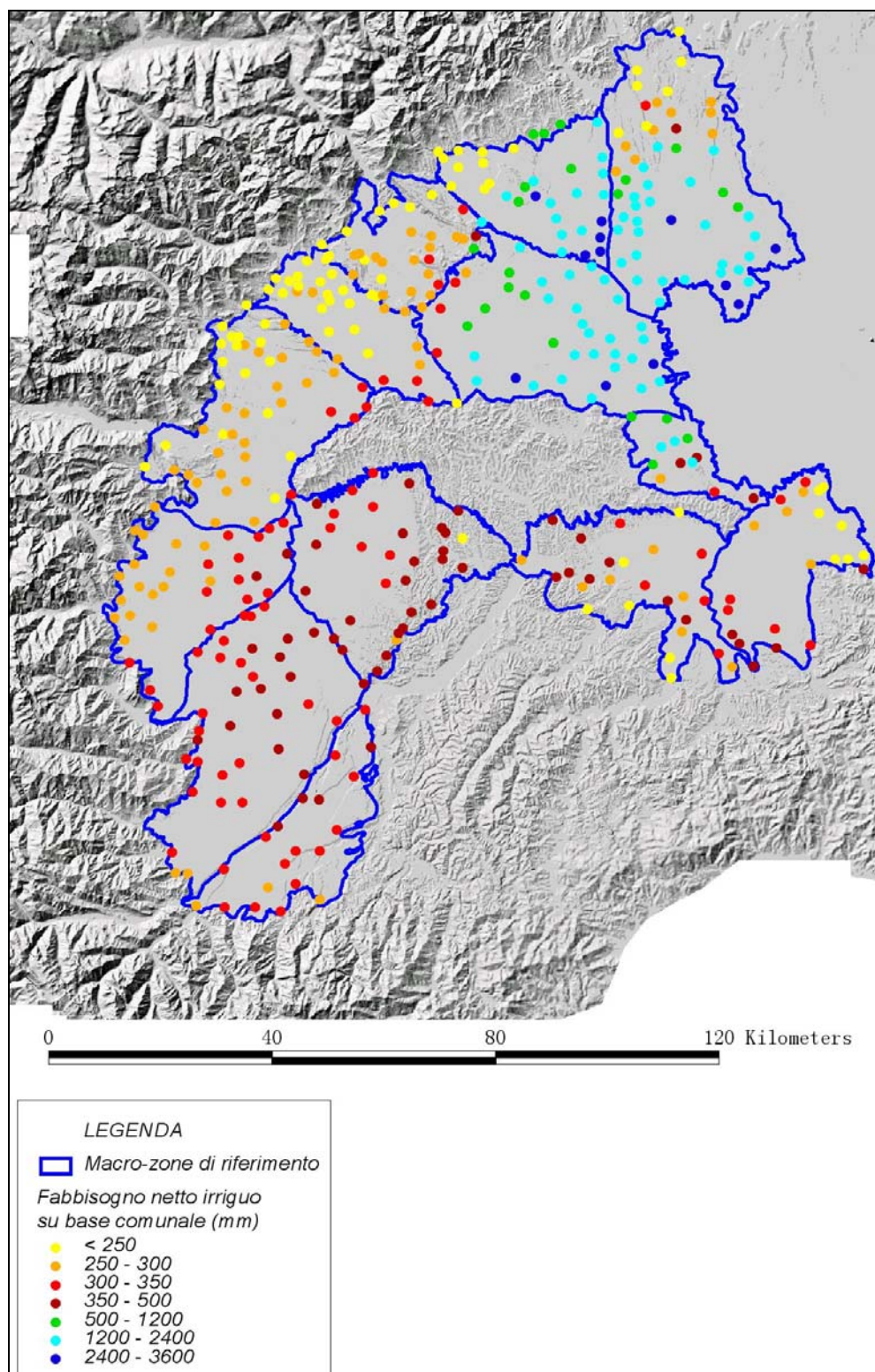


Figura 8 - Distribuzione su base comunale dei valori di fabbisogno irriguo netto, ottenuto per le principali colture nel settore di pianura piemontese.

In relazione ai criteri descritti nei paragrafi precedenti, nella tabella seguente sono riportate le regole operative ipotizzate per le principali colture non risicole diffuse nelle aree irrigue della pianura piemontese, alle quali si riferiscono i parametri di input del modello di calcolo dell'infiltrazione.

Tali regole operative definiscono un quadro orientativo volutamente semplificato rispetto alla metodologia di analisi dei fabbisogni netti particellari suggerita nel testo della Collana Ambiente 22, nell'ottica di individuare il campo di variazione degli apporti irrigui effettivi e delle relative modalità gestionali sulla base delle prassi maggiormente consolidate nelle aziende agricole presenti sul territorio.

Coltura	Apporti irrigui medi (mm/anno)	Metodo irriguo	N° medio interventi irrigui	Epoca media interventi irrigui
Frumento tenero	Non irriguo			
Orzo	Non irriguo			
Mais (da granella o da trinciato integrale)	120-150	Scorrimento/infiltrazione da solchi/aspersione	1-3	giugno-luglio
Soia	50-150	Scorrimento	0-1	luglio-agosto
Prato stabile	400-600	Scorrimento	3-5	giugno-agosto
Erba medica	50-100 (*)	Scorrimento	(*)	giugno-agosto
Granoturco in erba	35-50	Scorrimento	1	giugno-agosto
Granoturco a maturazione cerosa	120-150	Scorrimento	1-3	giugno-luglio
Altri prati avvicendati	400-600	Scorrimento	3-5	giugno-agosto
Barbabietola	50-100	Scorrimento/infiltrazione da solchi/aspersione	0-2	giugno-luglio
Vite	Non irriguo			
Melo	100-500	Microirrigazione/aspersione sotto chioma (antibrina)	0-3	aprile (antibrina) giugno-agosto
Pero	100-400	Microirrigazione/aspersione sotto chioma (antibrina)	0-3	aprile (antibrina) giugno-agosto
Pesco	100-500	Microirrigazione/aspersione sotto chioma (antibrina)	0-3	aprile (antibrina) giugno-agosto
Actinidia	100-200	Microirrigazione/aspersione sotto chioma (antibrina)	0-3	aprile (antibrina) giugno-agosto
Pioppo	100-150	Scorrimento	0-2	giugno-agosto

(*) = intervento irriguo nel 1°anno, di norma non ripetuto nei 3 anni successivi di durata del medicaio.

Tabella12 - Sintesi relativa alle pratiche irrigue maggiormente consolidate nelle aziende agricole piemontesi.

4. ANALISI DELLE COMPONENTI PRINCIPALI DI BILANCIO: LA ZONA SATURA

4.1 Introduzione

L'analisi delle componenti principali di bilancio si riferisce ad un approccio di tipo quantitativo, basato sull'applicazione di strumenti modellistici integrati, per tenere conto della complessa interazione tra il sistema idrogeologico, descritto nel suo sviluppo tridimensionale nel sottosuolo, e il sistema delle acque superficiali ad esso idraulicamente correlato.

In quest'ottica, è stato utilizzato il codice di calcolo MIKE-SHE del Danish Hydraulic Institute, predisposto per la simulazione del flusso nel sistema idrogeologico, accoppiato al modello idrodinamico MIKE11 per la simulazione del flusso nel reticolo idrografico principale; l'accoppiamento tra i deflussi sotterranei di MIKE SHE e quelli superficiali di MIKE 11 risulta completo e dinamico, previa definizione dei tratti di reticolo direttamente connessi con l'acquifero e i corrispondenti coefficienti di conduttanza.

MIKE SHE è un modello deterministico, a parametri distribuiti, fisicamente basato, sviluppato inizialmente con uno sforzo congiunto dell'Institute of Hydrology (Gran Bretagna), di SOGREAH (Francia) e del Danish Hydraulic Institute Water & Environment (Danimarca), successivamente potenziato, reso "user-friendly" e commercializzato da quest'ultimo ente.

MIKE SHE è fisicamente basato, in quanto è stato sviluppato a partire dalle equazioni differenziali che descrivono i processi di scorrimento superficiale, di deflusso nella rete di drenaggio e di deflusso nei mezzi porosi saturi e insaturi; tutte le equazioni sono risolte mediante il metodo delle differenze finite. Il modulo idrologico include, oltre ai processi di deflusso, i fenomeni di scioglimento delle nevi, intercettazione ed evapotraspirazione.

MIKE SHE considera il flusso verticale nella zona insatura come monodimensionale e di collegamento tra le componenti bidimensionale superficiale e bi-tridimensionale sotterranea.

Nel rapporto tecnico costituente elaborato a parte della presente fase di consegna (Il.j "Software di simulazione idrologica e gestione del sistema idrico complessivo") e nei relativi allegati vengono descritte analiticamente le funzioni di calcolo e la struttura dell'interfaccia grafica di pre-post processing del modello.

Il dominio temporale del modello si riferisce all'intervallo di tempo compreso tra il 1 settembre 1999 e il 30 agosto 2002, in corrispondenza del quale risulta massima la densità di dati meteorologici per la valutazione degli apporti, idrometrici per la calibrazione del flusso nel reticolo idrografico e piezometrici per la calibrazione del flusso nella zona satura.

Il dominio spaziale di riferimento corrisponde con il territorio di pianura piemontese, definito nella precedente fase di lavoro del progetto, avente un'estensione complessiva di 9239 km², suddiviso da una griglia di calcolo regolare alle differenze finite, aventi lato di 1 km, disposta su 160 righe e 180 colonne, avente origine nel punto di coordinate UTM Fuso 32 Est = 350.000, Nord = 4.900.000, orientato verso Nord.

Organizzato secondo due strati di calcolo verticali, in accordo ai criteri descritti nei paragrafi seguenti, il modello comprende 9448 celle di calcolo attive e 816 celle che ne definiscono puntualmente le condizioni al contorno.

Nei paragrafi seguenti vengono analiticamente illustrati i criteri di impostazione del modello di flusso nella zona satura, con specifico riguardo ai seguenti elementi:

- discretizzazione verticale del sistema acquifero;
- assegnazione delle condizioni al contorno;
- definizione delle condizioni piezometriche iniziali;
- parametrizzazione idrodinamica;
- prelievi dal sistema acquifero;
- flusso di scambio con il reticolo idrografico.

Ciascuna sezione è corredata di cartogrammi sinottici per illustrare la spazializzazione delle informazioni inserite nel modello, che sono gestite attraverso il sistema informativo geografico ArcView - ESRI, attraverso specifiche estensioni che consentono la visualizzazione dei dati in ingresso e in uscita dal modello di simulazione.

Una visualizzazione più ampia delle principali informazioni strutturali del modello è altresì contenuta nell'elaborato cartografico in scala 1:250.000 Il.i/2 "Cartografia del sistema idrogeologico-schema modellistico".

Tutti i dati gestiti dal modello di simulazione sono pertanto georiferiti in accordo al SITAD - Sistema Informativo Territoriale Ambientale Diffuso della Regione Piemonte.

4.2 Discretizzazione verticale del sistema acquifero

4.2.1 Generalità

Nel presente paragrafo vengono descritti i criteri fissati per la discretizzazione verticale del sistema acquifero della pianura piemontese, alla luce del quadro conoscitivo delineatosi nella precedente attività ricognitiva di I fase e nell'ottica di pervenire alla formulazione degli schemi di bilancio funzionali allo stato quantitativo degli acquiferi.

Il quadro conoscitivo pregresso si connota per un livello di conoscenze consolidate relativamente alla porzione più superficiale del sistema idrogeologico, mentre l'assetto stratigrafico, strutturale e idrodinamico delle porzioni più profonde del sistema idrogeologico regionale presenta ad oggi un livello conoscitivo nel quale risiedono maggiori lacune.

I criteri di base per l'esplicitazione del modello idrogeologico concettuale a scala regionale sono stati enunciati negli elaborati tecnici e nelle relative cartografie tematiche, prodotte nelle Convenzioni tra il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino e la Regione Piemonte - Direzione Regionale Pianificazione delle Risorse Idriche per l'esecuzione di un programma di ricerca dal titolo: "Identificazione del modello idrogeologico concettuale degli acquiferi di pianura e loro caratterizzazione".

Allo stato attuale delle conoscenze, è accettata una suddivisione verticale dei grandi complessi acquiferi nel settore di pianura tra "sistema acquifero superficiale", ospitante una falda a superficie libera, alimentata per infiltrazione delle precipitazioni efficaci, dalle irrigazioni e dalle perdite in subalveo dei corsi d'acqua, e il "sistema degli acquiferi profondi", soggiacente al precedente, costituito da una successione di falde in pressione con vario grado di confinamento, in funzione della potenza e della continuità laterale degli orizzonti a bassa permeabilità ad esse intercalati.

4.2.2 Sistema acquifero superficiale

Il sistema acquifero superficiale di maggiore estensione, produttività e potenza, si sviluppa nelle successioni di depositi fluviali e fluvioglaciali, corrispondenti alle superfici terrazzate di età rissiana e wurmiana.

Nei depositi fluviali e fluvioglaciali che costituiscono le superfici terrazzate più antiche e gli altopiani pedemontani sono ospitate falde acquifere sospese, drenate dal livello di base dei corsi d'acqua, con infiltrazione verticale drasticamente ridotta per effetto della presenza di potenti coltri superficiali argillificate.

Nei depositi glaciali dei grandi anfiteatri morenici situati agli sbocchi vallivi modellati dai maggiori apparati glaciali alpini (Dora Riparia, Dora Baltea, Cusio-Verbano) sono ospitati acquiferi discontinui, di modesta produttività; la maggiore disponibilità di risorse idriche sotterranee in queste zone è concentrata nelle piane intramoreniche, nelle quali tuttavia sono anche presenti importanti depressioni di colmamento lacustre con depositi fini improduttivi da un punto di vista idrico.

Gli anfiteatri morenici e le piane intramoreniche costituiscono a tutti gli effetti circuiti idrici sotterranei distinti rispetto al sistema acquifero regionale di pianura adiacente, con il quale non sono ad oggi adeguatamente compresi gli scambi a livello della rete di flusso profonda

All'interno delle aree di pianura P, è nota la distribuzione delle:

SottoAree PA: laddove è possibile individuare la base dell'acquifero superficiale.

SottoAree PZ: con dati insufficienti per individuare la base dell'acquifero superficiale.

Le zone nelle quali non può essere introdotta una differenziazione verticale dell'acquifero, in relazione alla limitata estensione o all'assenza degli interlivelli a granulometria fine nelle sequenze ghiaioso-sabbiose, sono note con la dizione di "aree con acquifero indifferenziabile".

La superficie basale del sistema di acquiferi superficiali è nota su scala dell'intero dominio acquifero di pianura, essendo stata definita previa apposita Convenzione tra la Direzione Pianificazione Risorse Idriche e il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino.

4.2.3 Sistema degli acquiferi profondi

Il sistema degli acquiferi profondi viene convenzionalmente suddiviso in un "complesso delle alternanze" riferibile ai depositi di transizione Villafranchiani, e in un "Complesso pliocenico", riferibile ai depositi sabbiosi marini in facies Astiana.

La suddivisione stratigrafica tra le due serie deposizionali è resa problematica dal carattere transizionale dei depositi in facies "Villafranchiana", e soltanto in alcuni settori circoscritti gli studi specialistici di settore sono pervenuti alla differenziazione delle superfici basali dei depositi in facies "Villafranchiana".

I criteri adottati per l'individuazione della superficie basale del sistema idrogeologico di acquiferi profondi in pressione comprendono:

- l'individuazione del tetto della serie stratigrafica ascrivibile alla Formazione delle "Argille di Lugagnano", soprattutto in prossimità delle zone marginali dei grandi bacini deposizionali Pliocenici (astigiano-alessandrino, cuneese-torinese meridionale, piemontese settentrionale);
- la comparsa di potenti orizzonti limoso-argillosi di spessore pluridecamentrico, sterili da un punto di vista idrico, con buone caratteristiche di conduttività elettrica, nei sondaggi elettrici verticali nelle stratigrafie dei pozzi realizzati per ricerca idrica o nelle campagne di ricerca di idrocarburi.

Nel modello idrogeologico concettuale del sistema acquifero regionale viene inoltre evidenziata la presenza di "SottoAree PB", laddove risulta conclamata per motivi strutturali l'assenza di sistemi acquiferi profondi significativi.

L'analisi integrata dei dati stratigrafici desumibili dalle perforazioni AGIP eseguite nelle campagne di ricerca per idrocarburi con il "Structural model of Italy - CNR, scale 1:500.000" mette in evidenza, in corrispondenza dei settori di massima subsidenza dei bacini deposizionali Pliocenici, di spessori della serie Pleistocenico-Pliocenica produttiva da un punto di vista idrico talora superiori a 1000 metri, sovente di svariate centinaia di metri.

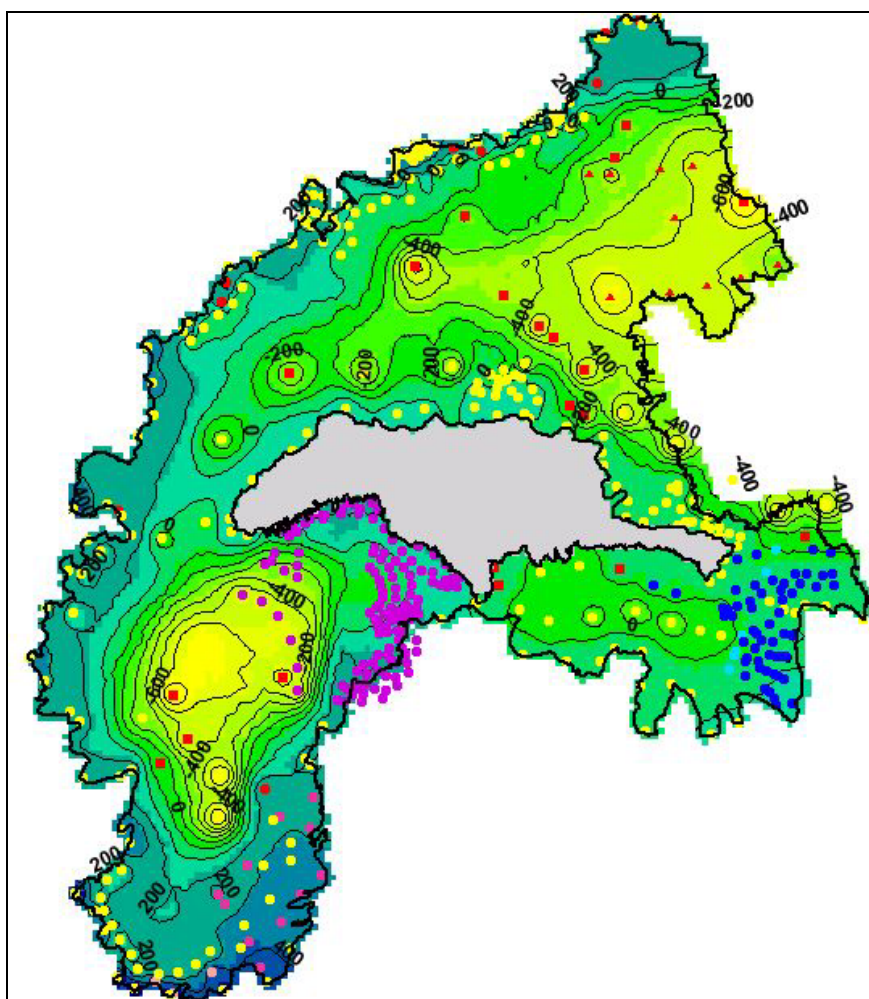


Figura 9 - Ricostruzione della superficie basale del sistema acquifero regionale (linee isobate in m s.m.) Gli elementi puntiformi individuano i siti con dati stratigrafici utilizzati.

4.2.4 Discretizzazione verticale adottata

Se si prende in considerazione il modello idrogeologico concettuale regionale, risulta evidente che *lo schema di bilancio degli acquiferi non può essere riferito ad un sistema filtrante omogeneo e indifferenziato su larga scala.*

Allo stesso tempo, la geometria nel sottosuolo degli orizzonti litologici ascrivibili alle sequenze eterogranulari di depositi in facies “Villafranchiana” e alle sabbie in facies “Astiana” non può essere ricostruita ubiquitariamente nel contesto del dominio geografico oggetto dello studio.

In ragione di ciò, la discretizzazione verticale adottata nel modello di simulazione viene illustrata nella seguente tabella.

Modello idrogeologico concettuale	Modello matematico di simulazione
Complesso degli acquiferi superficiali	Primo strato di calcolo
Complesso degli acquiferi profondi (in pressione)	Secondo strato di calcolo

Tabella 13 - Relazioni tra il modello idrogeologico concettuale e il modello matematico di simulazione.

In relazione agli elementi di incertezza legati alla bassa densità complessiva di punti di indagine diretta (stratigrafie di pozzi per ricerca idrica profonda o petrolifera) e indiretta (indagini geofisiche), e soprattutto in relazione al grandissimo spessore della serie idrogeologica produttiva in rapporto alle profondità massime attualmente raggiunte dalle captazioni idriche, si è ritenuto corretto circoscrivere le simulazioni modellistiche finalizzate alla quantificazione del bilancio idrogeologico entro valori di profondità convenzionalmente non superiori a 300 metri dalla superficie topografica.

Nelle schede di metadocumentazione dedicate al “Modello geometrico del sottosuolo” riportate in appendice 3, viene descritta analiticamente l’organizzazione dei dati introdotti nel sistema modellistico integrato.

In particolare, vengono forniti tutti gli elementi concernenti l’individuazione delle due superfici di riferimento basali del primo e del secondo strato di calcolo del modello di simulazione delle acque sotterranee.

4.3 Assegnazione delle condizioni al contorno del sistema acquifero

Nel presente paragrafo vengono definiti i criteri di assegnazione delle condizioni al contorno del sistema acquifero di pianura, in rapporto all’assetto idrogeologico lungo il bordo pedemontano e pedecollinare e ai confini amministrativi regionali nel settore di pianura.

In corrispondenza delle celle di calcolo del modello situate lungo gli sbocchi vallivi principali, alpini ed appenninici, sono state fissate condizioni al contorno esterne a carico costante, uguale al livello piezometrico iniziale di riferimento (celle indicate in colore blu nella figura seguente).

Alle celle di calcolo situate lungo i margini alpini ed appenninici costituiti da formazioni del substrato metamorfico, sedimentario e igneo sono state assegnate condizioni al contorno esterne di flusso nullo (limite impermeabile, celle indicate in colore rosso nella figura seguente).

Lungo il margine dei rilievi del Monferrato settentrionale e della collina di Torino, sono state assegnate condizioni al contorno interne di flusso nullo (limite impermeabile, celle indicate in colore rosa nella figura seguente).

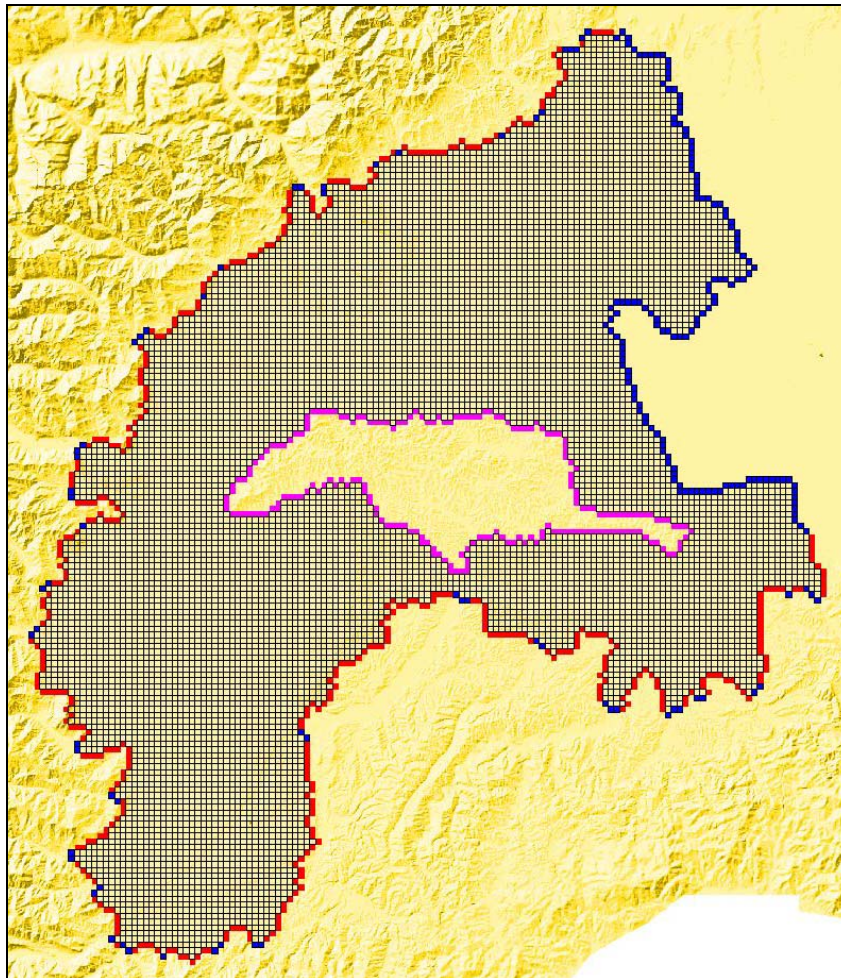


Figura10 - Condizioni al contorno esterne ed interne al dominio spaziale considerato dal modello di simulazione idrogeologica.

Infine, lungo i limiti amministrativi con la Regione Lombardia, che intersecano la rete di deflusso idrico sotterraneo corrispondente ai complessi acquiferi superficiali e profondi, sono state assegnate condizioni esterne al contorno a carico costante, pari al livello piezometrico iniziale.

4.4 Definizione delle condizioni piezometriche di riferimento iniziali

L'assegnazione delle condizioni piezometriche di riferimento iniziali rappresenta un elemento basilare per l'implementazione del modello di simulazione matematica del flusso nel sistema acquifero, finalizzato alla definizione dello schema di bilancio idrogeologico.

Da un punto di vista concettuale, per ciascuno strato di calcolo occorre definire una condizione piezometrica iniziale, tuttavia nel contesto regionale piemontese l'attuale configurazione della rete di monitoraggio si riferisce sostanzialmente al complesso degli acquiferi superficiali.

In particolari settori del dominio di studio la rete di flusso degli acquiferi superficiali risulta sostanzialmente indipendente dalla rete di flusso degli acquiferi in pressione ad essi sottiacenti: in corrispondenza di queste zone, la più importante delle quali è costituita dal settore orientale dell'Altopiano di Poirino e del bacino astigiano occidentale, è possibile identificare la superficie piezometrica dell'acquifero confinato, ricorrendo all'utilizzo di dati tratti da studi specialistici di settore (Convenzione tra la Provincia di Asti e l'Università degli Studi di Torino - Dipartimento di Scienze della Terra: "Indagine sulla razionalizzazione dei prelievi di acque sotterranee nel settore occidentale della Provincia di Asti", settembre 1996).

La ricostruzione della superficie piezometrica di riferimento iniziale per il complesso degli acquiferi superficiali è stata eseguita valorizzando i risultati acquisiti dalla rete di monitoraggio allestita nei progetti PRISMAS I, II e Tanaro, riferendosi sia alle quote piezometriche medie acquisite nei siti di registrazione automatica (70 serie), sia alla posizione delle linee isopiezometriche medie, ricostruite per interpolazione dei valori di soggiacenza misurati nei pozzi a misurazione manuale, ed integrate in alcune aree prossime ai margini pedemontani, per le quali risultano disponibili adeguate cartografie del campo di moto della falda freatica.

Ad integrazione di questi punti, sono stati altresì utilizzati i valori medi delle serie piezometriche pluriennali acquisite nei siti di registrazione automatica attrezzati dalla Provincia di Torino in corrispondenza di 12 discariche controllate.

Specifica attenzione è stata dedicata all'integrazione della base-dati dei livelli di falda misurati con le quote idrometriche dei principali corsi d'acqua: a tal fine sono state applicate procedure di verifica automatizzata della congruenza tra le quote di fondo delle sezioni trasversali del reticolo idrografico e le corrispondenti quote del modello digitale del terreno, per tenere conto - nella definizione del campo di moto della falda a superficie libera - dell'effetto drenante o alimentante connesso con la posizione altimetrica degli alvei naturali.

Il quadro di riferimento che si delinea dall'integrazione delle differenti basi-dati utilizzate è sintetizzato nella rappresentazione cartografica della figura seguente, nella quale sono indicati con differenti simboli i punti estratti dai diversi dataset, distinguendo quelli provenienti dalle stazioni di misura automatiche (in rosso: Regione Piemonte, in rosa: Provincia di Torino) da quelli dedotti dalle linee isopieze riferite ai punti a controllo manuale (azzurro chiaro); in azzurro sono contrassegnati i settori pedemontani, per i quali si è ricorso all'integrazione del quadro conoscitivo sia con carte delle isopieze tratte da studi specialistici sia con mappe riferite al complesso acquifero profondo in pressione del bacino astigiano occidentale, in blu scuro sono contrassegnate le quote minime dei thalweg.

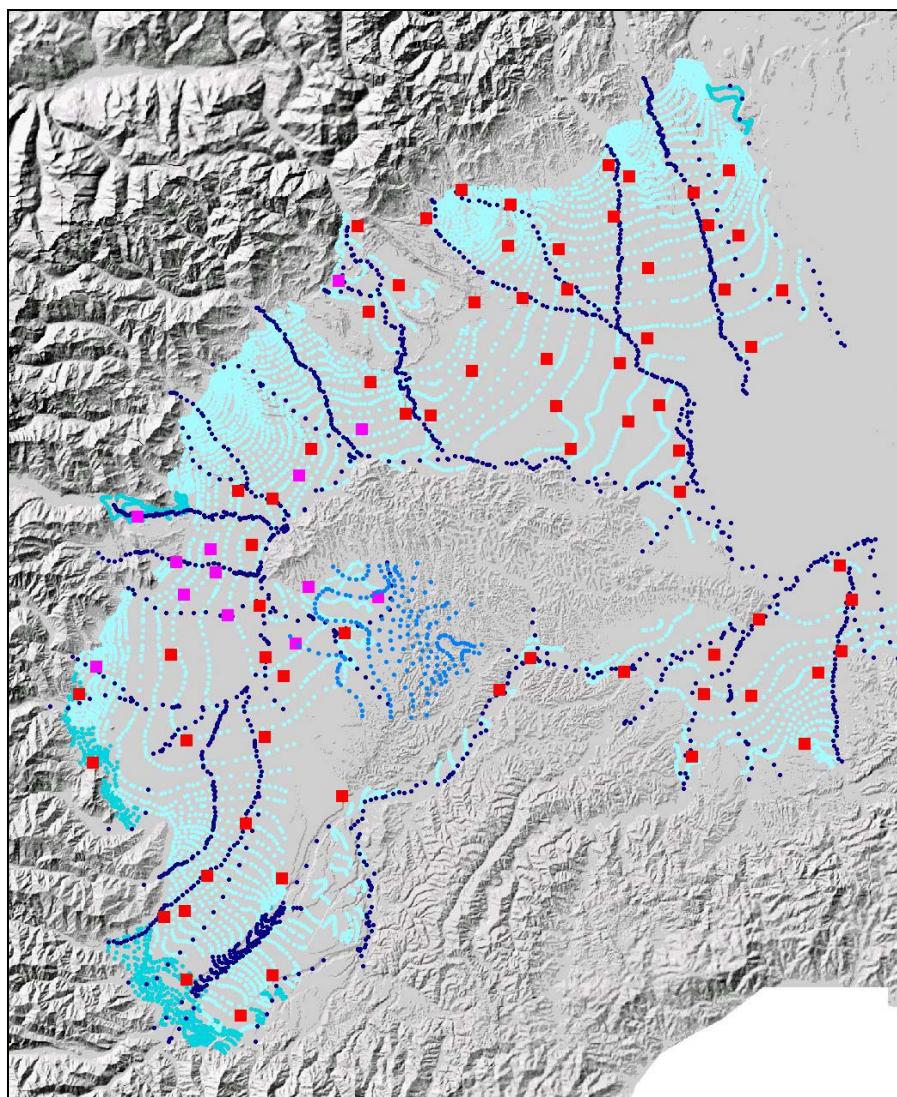


Figura 11 - Distribuzione e tipologia dei punti di controllo utilizzati per la ricostruzione della superficie piezometrica iniziale di riferimento del modello di simulazione matematica dell'acquifero.

Nelle schede di metadocumentazione dedicate alla “Piezometria dell'acquifero”, riportate in appendice 4 alla presente relazione, viene descritta analiticamente l'organizzazione dei dati introdotti nel sistema modellistico integrato.

In particolare, vengono forniti tutti gli elementi concernenti le fonti di provenienza dei dati utilizzati, le procedure di controllo incrociato adottate, i formati di restituzione delle informazioni elaborate.

4.5 Parametrizzazione idrodinamica del sistema acquifero

La parametrizzazione idrodinamica del sistema acquifero è rivolta sia alla descrizione delle funzioni di tipo “conduttrice” e “capacitiva” dei serbatoi di acque sotterranee, sia alla stima della produttività locale dei pozzi, in stretto rapporto con le due funzioni menzionate.

Nell’ambito delle applicazioni di modellistica numerica finalizzate alla quantificazione dei bilanci idrogeologici per macro-aree, occorre assumere una distribuzione iniziale dei seguenti parametri idrodinamici, successivamente oggetto di affinamenti iterativi in fase di calibrazione:

- conducibilità idraulica orizzontale (K_h , m/s);
- conducibilità idraulica verticale (K_v , m/s);
- porosità efficace (specific yield - adim.);
- coefficiente di immagazzinamento (storage coefficient - adim.).

La distribuzione iniziale dei parametri suddetti per ciascuno strato di calcolo, corrispondenti nel caso specifico ai due complessi degli acquiferi superficiali e degli acquiferi profondi, è dedotta per interpolazione areale dei valori ricavati in pozzi e campi-pozzi oggetto di specifiche determinazioni sperimentali.

Tenuto conto delle vaste dimensioni dell’area in esame, tali punti sono selezionati dalle basi-dati di riferimento con i seguenti criteri:

- pozzi per i quali sono state interpretate le prove di pompaggio in regime transitorio, finalizzate alla determinazione sperimentale dei parametri idrodinamici degli acquiferi;
- pozzi per i quali sono disponibili valutazioni della portata specifica in condizioni di esercizio caratteristiche.

Il primo insieme, avente una consistenza superiore a 200 unità, fornisce una stima sistematica della conducibilità idraulica, dedotta a partire dalla trasmissività riferita allo spessore di acquifero filtrato; in alcuni di questi punti è altresì disponibile una valutazione del coefficiente di immagazzinamento.

Il secondo insieme, numericamente molto più consistente (oltre 1400 pozzi) è stato utilizzato per estrapolare le variazioni areali della trasmissività e quindi della conducibilità idraulica in funzione dello spessore di acquifero captato, sfruttando relazioni empiriche consolidate in letteratura.

La conducibilità idraulica verticale è stata fissata - in fase di calibrazione - entro un’ordine di grandezza inferiore al corrispondente valore orizzontale, in assenza di specifiche determinazioni sperimentali a scala regionale, riferendosi alla caratteristica distribuzione di valori di questo parametro riportata in letteratura per i terreni sciolti.

Nelle figure seguenti viene riportata un'indicazione dei punti per i quali è noto il valore iniziale della conducibilità idraulica orizzontale nel primo e nel secondo strato di calcolo del modello di simulazione.

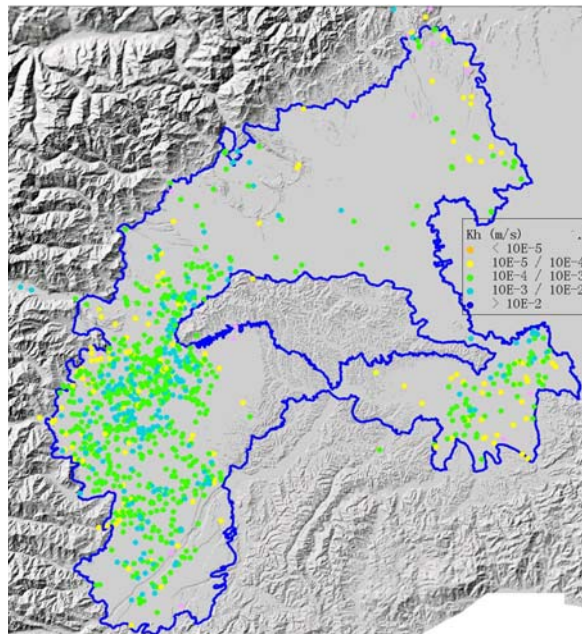


Figura 12 - Distribuzione iniziale dei valori di conducibilità idraulica orizzontale nel primo strato di calcolo del modello.

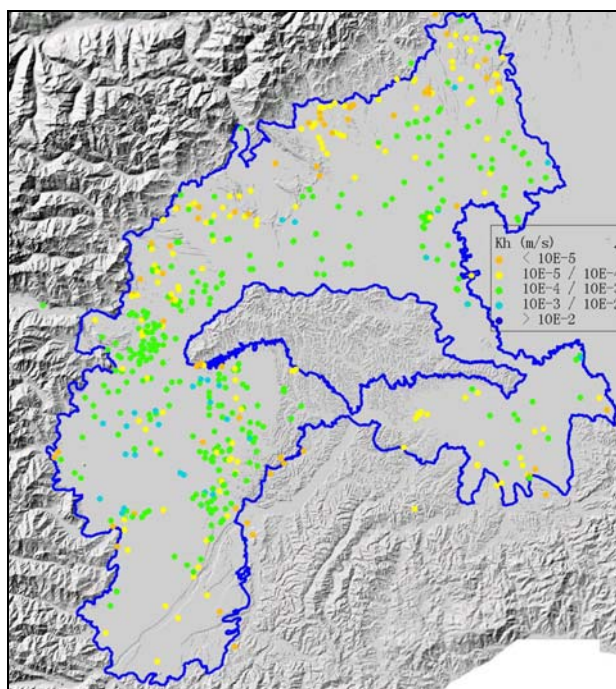


Figura 13 - Distribuzione iniziale dei valori di conducibilità idraulica orizzontale nel secondo strato di calcolo del modello.

Nelle schede di metadocumentazione dedicate ai “Parametri idrodinamici degli acquiferi”, riportate in appendice 5 al presente rapporto, viene descritta analiticamente l’organizzazione dei dati introdotti nel sistema modellistico integrato.

In particolare, vengono forniti tutti gli elementi concernenti la ripartizione areale e verticale dei parametri di produttività idrica e di caratterizzazione idrodinamica, selezionati a partire dalle basi-dati acquisite di supporto alla redazione del presente studio, riportando altresì le formule di correlazione utilizzate e i riferimenti teorici ad esse associati.

4.6 Prelievi dal sistema acquifero

4.6.1 Introduzione

La valutazione della componente di alterazione dei bilanci idrogeologici per effetto dei prelievi da acque sotterranee rappresenta uno degli elementi maggiormente problematici, soprattutto in relazione alla tipologia e consistenza dei dati disponibili in ordine ai volumi effettivamente emunti dalle utenze.

Un secondo aspetto che richiede l’introduzione di alcuni margini di approssimazione è legato alle modalità di georeferenziazione dei prelievi nelle celle di calcolo del modello numerico di simulazione: a fronte di alcune decine di migliaia di pozzi non georiferiti segnalati “attivi” nei catasti regionali, nella schematizzazione dei dati di ingresso al codice di calcolo le portate di prelievo devono essere inserite puntualmente.

Non è pertanto possibile riferirsi, all’interno dell’ambiente modellistico, ad una densità di prelievo media su base comunale.

Tenuto conto di questi fattori di limitazione, la discretizzazione operata per tenere conto dei volumi di prelievo da pozzi si è basata sui criteri evidenziati nella tabella seguente.

Tipologia utenza	Georeferenziazione	Volume di prelievo	Numero di punti inseriti nel modello	% del prelievo totale inserita nel modello
Idropotabile	Dato puntuale	Dichiarato dall’utenza	923	100 %
Industriale	Semplificata (baricentro zone industriali)	Stimato a partire dalla portata estraibile	79	73%
Irrigua	Semplificata (baricentro del concentrico comunale)	Stimato a partire dalla portata estraibile	59	79 %
Totale			1061	

Tabella 14 -Criteri di introduzione dei dati relativi ai principali prelievi da acque sotterranee nel modello di simulazione del sistema idrogeologico.

Nel seguito viene chiarito il significato del dato riportato nell'ultima colonna della tabella, corrispondente alla percentuale del volume di prelievo totale che viene inserita nel modello di simulazione, riferita alla stima del volume di prelievo complessivo per ciascuna tipologia di utenza.

Il criterio-guida che sottende alla determinazione di questa percentuale è riferito al livello di attendibilità delle informazioni conoscitive disponibili, in rapporto al grado di specializzazione ed affinamento che si intende raggiungere attraverso l'implementazione del modello di simulazione: laddove il livello di attendibilità del dato di base è elevato, è opportuno raggiungere il massimo grado di dettaglio nella specificazione dei parametri di ingresso. Al decrescere dell'affidabilità dell'informazione di base, possono essere accettati margini di approssimazione più bassi.

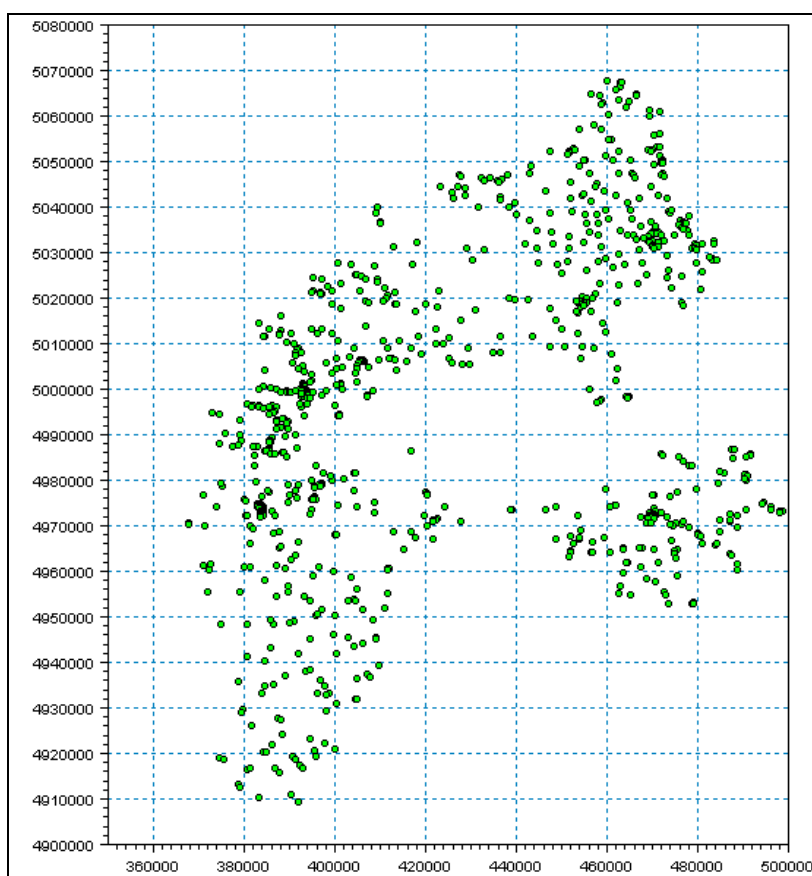


Figura 14 - Distribuzione dei prelievi di acque sotterranee nel modello numerico di simulazione.

4.6.2 Prelievi industriali dal sistema acquifero

La base-dati utilizzata per la stima orientativa iniziale dei prelievi industriali corrisponde con l'Archivio informatizzato delle autodenunce pervenute alla Regione Piemonte - Direzione Pianificazione Risorse Idriche - compilate dai proprietari di pozzi, ai sensi del D. Lgs. 267/93.

Riferendosi ad una selezione di 2817 pozzi industriali attivi ivi elencati ed ipotizzando un periodo medio di attività degli stessi di 250 giorni/anno, con pompe in funzione mediamente per 10 ore al giorno, si ottiene un volume di prelievo medio annuo nell'area oggetto delle simulazioni di circa 350 Mm³, a fronte di un prelievo complessivo totale da acque sotterranee nell'intera Regione Piemonte prossimo a 430 Mm³/anno.

Si tratta di un dato confrontabile con i risultati ai quali si perviene applicando differenti metodologie di analisi, tra le quali si citano:

- a) l'analisi dei consumi unitari specifici calcolati in base al numero di addetti su base comunale nel settore industriale, distinti per 23 tipologie di attività economica secondo la classificazione ATECO 2002 (Gruppo D - Attività Manifatturiere); a fronte di un'idroesigenza industriale totale di 530 Mm³/anno, l'aliquota proveniente da utenze idriche superficiali è infatti valutabile - sulla base dei dati di concessione riportati nel catasto - in circa 100 Mm³/anno, ottenendo un'aliquota proveniente da acque sotterranee di 430 Mm³/anno;
- b) l'analisi dei consumi e delle relative fonti di approvvigionamento dichiarati dalle attività industriali in provincia di Cuneo, con riferimento al decennio 1991-2000 (Archivio approvvigionamento idrico a scopo industriale della Provincia di Cuneo con informazioni amministrative e tecniche, Ufficio Tutela Ambiente); in questo contesto provinciale, le utenze industriali con approvvigionamento da pozzi ammontano mediamente a 74 Mm³/anno, contro i 72 Mm³/anno deducibili mediante l'applicazione del metodo precedente (a);
- c) gli approfondimenti di studio eseguiti nel contesto di 23 comuni dell'Area Metropolitana Torinese (Convenzione tra Regione Piemonte e Politecnico di Torino: "Attività ricognitiva finalizzata al contenimento dei prelievi di acque sotterranee") portano ad una stima di potenzialità di prelievo per usi industriali da acque sotterranee di 12.7 m³/s, contro i 12.4 m³/s ai quali si perviene nella medesima area utilizzando la base-dati dell'Archivio informatizzato delle autodenunce pervenute alla Regione Piemonte ai sensi del D. Lgs. 267/93.

In rapporto alle finalità specifiche del modello di analisi del bilancio idrogeologico, si ritiene che i volumi stimati con le metodologie sopra indicate siano "internamente congruenti", e come tali possano essere presi come riferimento per la valutazione delle pressioni indotte dai prelievi da falda.

Nella figura riportata alla pagina seguente viene evidenziata la distribuzione del tasso di prelievo dagli acquiferi per usi industriali, riferito all'ambito amministrativo comunale, espresso come portata

massima teorica estraibile dai pozzi industriali ivi presenti; nella stessa figura sono altresì indicati i poli di emungimento da falda ricadenti nei comuni a maggiore potenzialità di prelievo, individuati adottando come valore-soglia la portata massima teorica estraibile su base comunale superiore a 200 l/s.

La localizzazione di questi poli di emungimento da falda è convenzionalmente tratta dalla copertura di uso del suolo CORINE Land Cover, riferendosi alla classe 121 - “Aree industriali e commerciali”; l’insieme dei poli di emungimento da falda in questi comuni definisce il volume di prelievo del quale si è tenuto conto nell’applicazione modellistica (256 Mm³/anno), corrispondente complessivamente al 73% del volume totale estraibile per uso industriale nel contesto del dominio di analisi del modello di simulazione (350 Mm³/anno). A titolo di confronto, il prelievo industriale da falda su scala regionale indicato nello schema di bilancio del CER - PoAcquaAgricolturaAmbiente (1990) ammonta 259.8 Mm³/anno (base-dati del 1978-79).

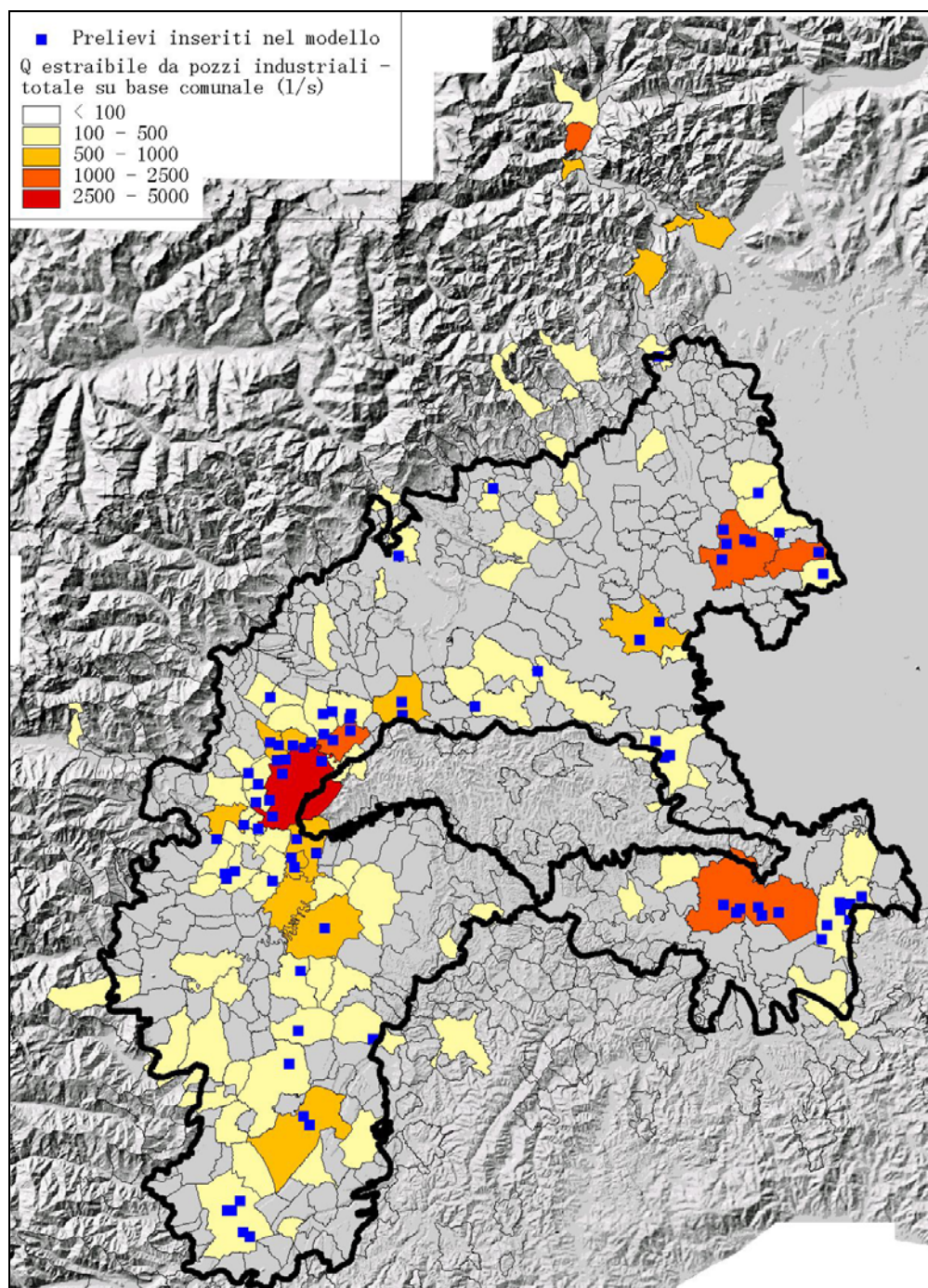


Figura 15 - Ripartizione dei prelievi industriali su base comunale e poli di estrazione inseriti nel modello di simulazione numerica del sistema acquifero

Occorre sottolineare che il 31% del volume di prelievo non introdotto direttamente nel modello si concentra nei poli industriali situati nel fondovalle del F.Toce, mentre la frazione residua (relativamente modesta, soprattutto in termini di densità areale) può essere considerata - in fase di

definizione del bilancio idrogeologico - nei termini di una portata sottratta al deflusso idrico sotterraneo teorico naturale.

4.6.3 Prelievi irrigui dal sistema acquifero

Analogamente ai prelievi industriali, la base-dati iniziale considerata per la stima della potenzialità di prelievo da falda ad usi irrigui si riferisce all'Archivio informatizzato delle autodenunce pervenute alla Regione Piemonte - Direzione Pianificazione Risorse Idriche - compilate dai proprietari di pozzi, ai sensi del D. Lgs. 267/93.

Riferendosi alla selezione dei 15817 pozzi irrigui attivi ivi elencati ed ipotizzando un periodo medio di attività degli stessi di 250 ore/anno, si ottiene un volume di prelievo medio annuo nell'area oggetto delle simulazioni di circa 363 Mm³, a fronte di un prelievo complessivo totale da acque sotterranee nell'intera Regione Piemonte prossimo a 377 Mm³/anno.

A titolo di confronto, il prelievo irriguo da pozzi su scala regionale indicato nello schema di bilancio del CER - PoAcquaAgricolturaAmbiente (1990) ammonta 373 Mm³/anno.

La concentrazione dei prelievi ad uso irriguo risulta massima nella provincia di Cuneo, dove la potenzialità di emungimento (200 Mm³/anno) rappresenta il 54% del volume totale estraibile su base regionale; questo dato risulta in buon accordo con quanto indicato negli studi di G.Tournon ("Irrigazione in Provincia di Cuneo - Situazione, esigenze, prospettive", Atti del Convegno del 12.02.1983, Cuneo) sulla base degli studi di G.Ansaldi e B.Maffeo ("Inventario delle Risorse Idriche della Provincia di Cuneo" - Amministrazione Provinciale di Cuneo).

Nella figura riportata nella pagina seguente viene evidenziata la distribuzione del tasso di prelievo dagli acquiferi per uso irriguo, riferito all'ambito amministrativo comunale, espresso come portata massima teorica estraibile dai pozzi irrigui ivi presenti, rapportata alla superficie agricola utilizzabile (SAU).

Nella stessa figura sono altresì indicati "punti virtuali" di emungimento da falda inseriti nel modello di simulazione, ricadenti nei comuni a maggiore potenzialità di prelievo, individuati adottando come valore-soglia la portata massima teorica estraibile su base comunale superiore a 2 m³/s.

Questi punti sono localizzati nelle coordinate baricentriche dei comuni interessati, similmente a pozzi "virtuali" ai quali è associata una portata di esercizio media teorica continua, riferita al periodo irriguo compreso tra metà marzo e metà settembre.

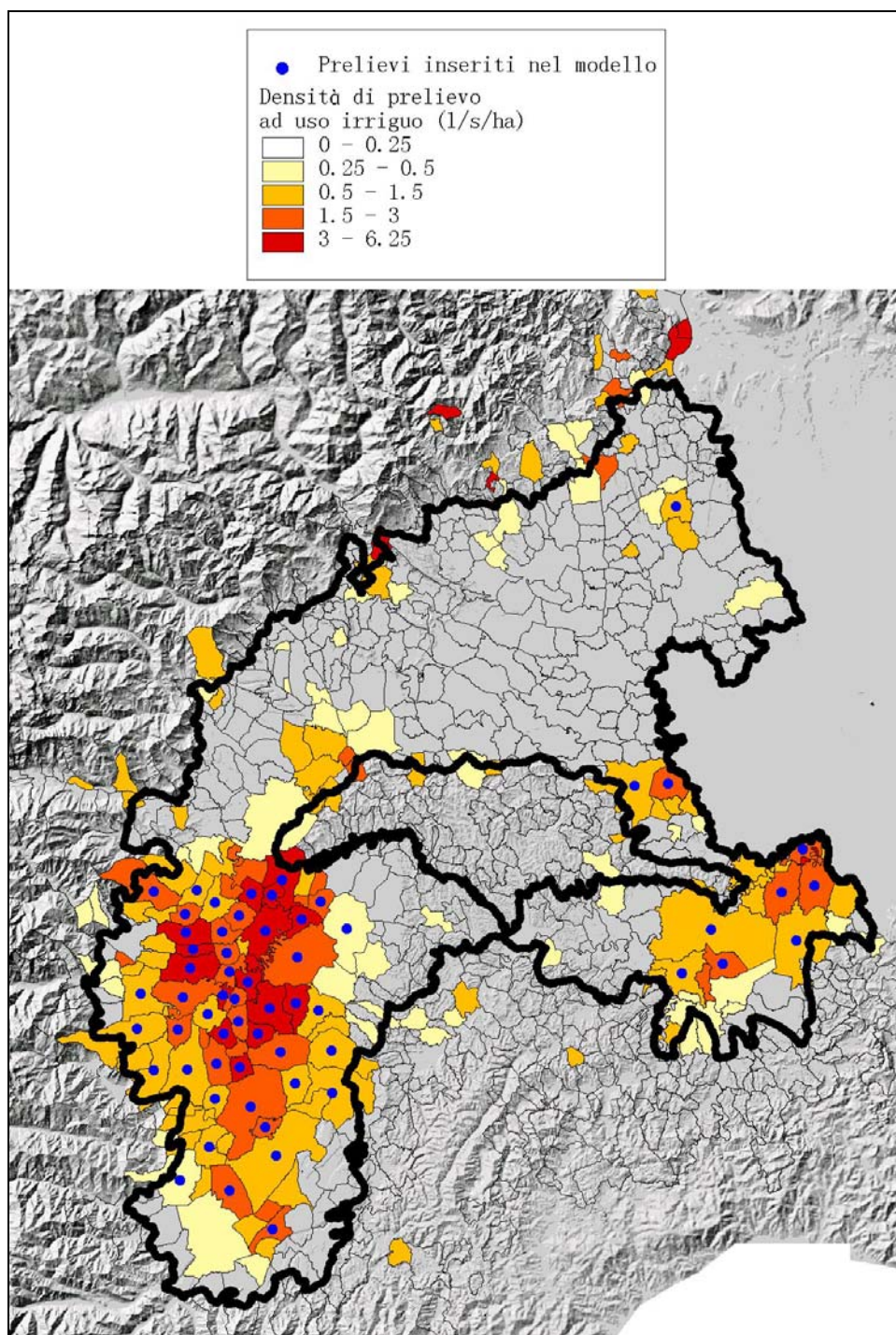


Figura 16 - Ripartizione dei prelievi irrigui su base comunale e punti fittizi teorici di estrazione inseriti nel modello di simulazione numerica del sistema acquifero.

L'insieme dei "punti virtuali" di emungimento da falda in questi comuni definisce il volume di prelievo del quale si è tenuto conto nell'applicazione modellistica (292 Mm³/anno), corrispondente

complessivamente al 79% del volume totale estraibile per uso irriguo nel contesto del dominio di analisi del modello di simulazione (363 Mm³/anno).

I dati relativi ai prelievi idropotabili da acque sotterranee nel dominio di studio sono stati inseriti riferendosi alla localizzazione dei pozzi e ai volumi di prelievo indicati nel Censimento delle Infrastrutture Acquedottistiche, Fognarie e Depurative della Regione Piemonte.

A fronte di un volume di prelievo idropotabile tramite pozzi valutato in circa 333 Mm³/anno nell'ambito dell'intero territorio regionale piemontese, nel dominio di studio considerato dal modello di simulazione, corrispondente al sistema idrogeologico di pianura, si rileva un volume di prelievo di 291 Mm³/anno, pari all'87% del volume totale.

Nelle schede di metadocumentazione dedicate ai "Prelievi da falda", riportate in appendice 6 al presente studio, viene descritta analiticamente l'organizzazione dei dati introdotti nel sistema modellistico integrato.

In particolare, vengono forniti tutti gli elementi concernenti la ripartizione areale e verticale dei prelievi di tipo industriale ed irriguo nel sottosuolo, introdotti nel modello di simulazione in seguito ad una serie di elaborazioni preliminari finalizzate a verificarne la consistenza quantitativa in rapporto ai fabbisogni specifici di settore e l'impatto volumetrico sul bilancio idrogeologico.

4.7 Il flusso di scambio con il reticolo idrografico

Il flusso di scambio con il reticolo idrografico rappresenta una componente di considerevole importanza nella ripartizione dei deflussi sotterranei, in quanto esercita un sistematico controllo sulle quote piezometriche, soprattutto nel caso del complesso acquifero superficiale.

In ragione di ciò, il modello di simulazione finalizzato alla valutazione del bilancio idrogeologico deriva dall'accoppiamento, in fase di calcolo, di due modelli reciprocamente interfacciati:

- il modello di simulazione del flusso nella zona satura (MIKE-SHE)
- il modello di simulazione del flusso nel reticolo idrografico (MIKE 11).

L'accoppiamento tra il codice di calcolo del flusso in falda e nel reticolo idrografico avviene attraverso i cosiddetti "river links", costituiti da segmenti fluviali interposti tra due nodi adiacenti della griglia di discretizzazione del MIKE SHE.

Nel corso della simulazione (che richiede l'avvio simultaneo dei due codici di calcolo) i livelli idrometrici e le portate computate dal MIKE11 vengono trasferite per interpolazione dai punti di calcolo di questo programma ai "river links" del MIKE SHE.

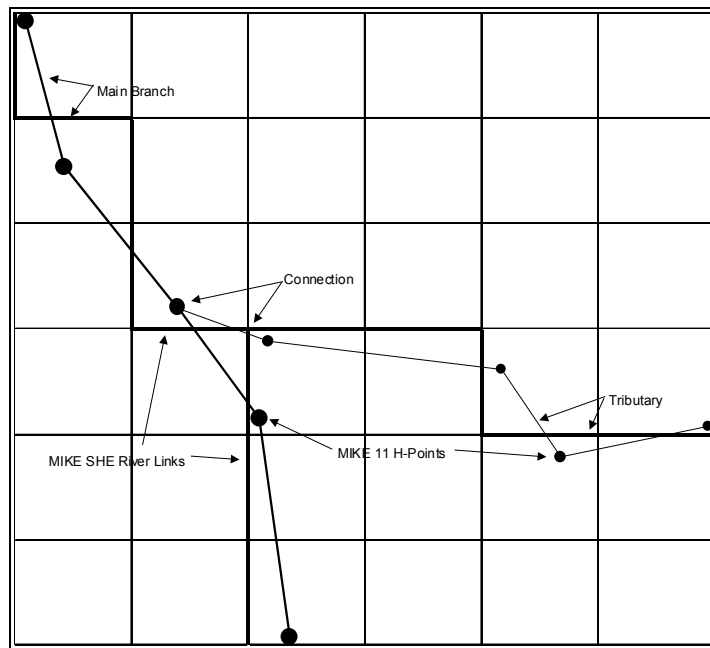


Figura 17 - Esempificazione del concetto di “River Links” nel sistema accoppiato tra la griglia di calcolo del MIKE SHE e il reticolo idrografico schematizzato da MIKE11.

Il MIKE SHE avvia quindi la procedura computazionale relativa alle altre componenti:

- deflusso superficiale diffuso (overland flow) afferente a ciascun “river link” da due punti adiacenti della griglia di discretizzazione territoriale;
- flusso di scambio tra corso d’acqua e falda;
- eventuali aree di esondazione in piena dei corsi d’acqua e associati processi di infiltrazione delle acque esondate (se la componente di calcolo specifica è attivata).

Lo scambio idrico tra il fiume e la falda viene computato come il prodotto tra la conduttanza e la differenza di carico:

$$Q = \Delta h * C$$

Nel caso in esame, la conduttanza C è stata calcolata con riferimento allo schema denominato “Reduced contact - exchange type B”, che presuppone una resistenza al flusso sia nella zona satura, sia sul fondo alveo.

Il termine Δh esprime la differenza tra il carico piezometrico nell’acquifero e il livello idrometrico nella sezione fluviale corrispondente (nei tratti d’alveo che drenano la falda), oppure la differenza tra la quota di fondo alveo e la quota piezometrica dell’acquifero sottostante (nel caso di corsi d’acqua sospesi rispetto alla superficie piezometrica).

Nella fase di calibrazione del modello vengono pertanto assegnati con procedura iterativa valori di “leakage coefficient”, che esprimono il valore della componente di resistenza al flusso associata alla tipologia di fondo alveo, tali per cui si ottiene la maggiore corrispondenza tra le portate simulate e i corrispondenti valori dedotti tramite misure differenziali di portata per tronchi fluviali omogenei.

Questa operazione può essere eseguita sia per l'intera asta fluviale in questione, sia suddividendola in tronchi omogenei, ai quali sono associati diversi valori del “river leakage coefficient” in funzione delle caratteristiche morfologiche locali, delle sistemazioni idrauliche, della distribuzione granulometrica etc.

Nella figura seguente viene illustrata la discretizzazione del reticolo idrografico nel modello di simulazione integrato, con riferimento ai “river links” nella griglia di calcolo del flusso nella zona satura.

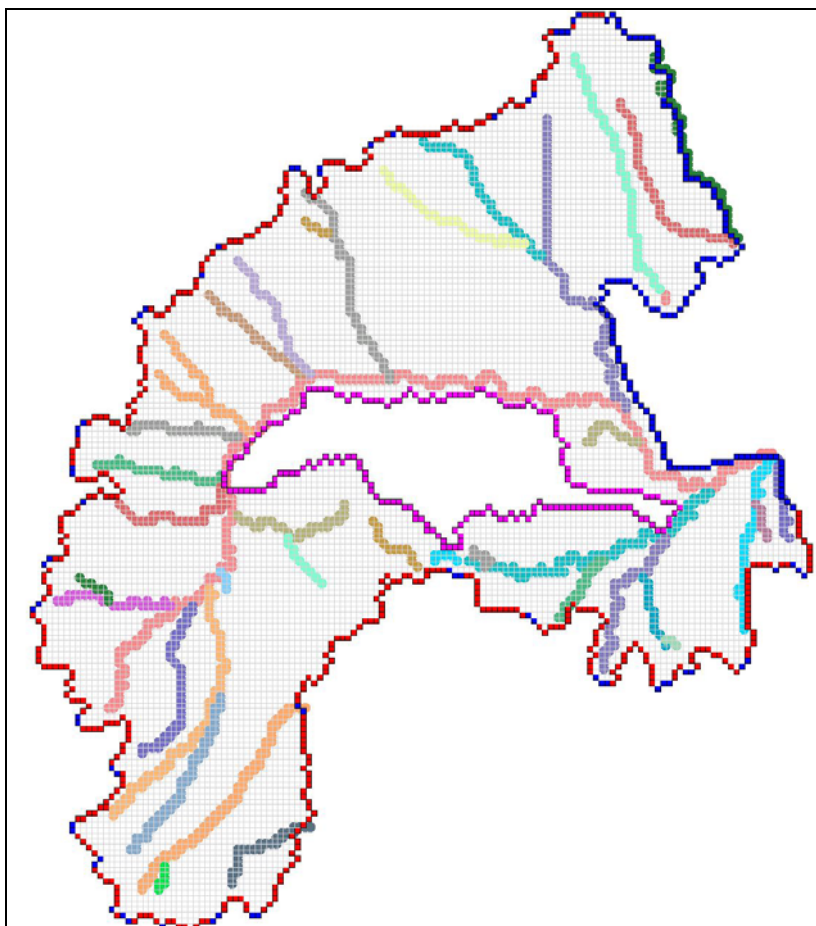


Figura18 - Schematizzazione del reticolo idrografico nel modello di simulazione del sistema idrogeologico.

Le serie di dati idrologici al contorno in ingresso al modello sono state introdotte con scansione cronologica giornaliera, e sono conformi a quelle del modulo idrologico di trasformazione afflussi-deflussi del modello gestionale MIKE BASIN, già messo a punto nel sistema di generazione e propagazione dei deflussi nei bacini regionali, descritto nella relazione II.h/1 “Bilancio delle disponibilità idriche naturali e valutazione dell’incidenza dei prelievi”.

La gestione dei dati relativi alle sezioni trasversali dei corsi d’acqua è resa possibile da un database interfacciato con finestre di visualizzazione delle caratteristiche topografiche:

- localizzazione lungo l’asse del fiume, espressa mediante una progressiva chilometrica;
- numero identificativo di ciascun punto, distanza progressiva dall’origine e quota assoluta;
- parametri di resistenza idraulica.

Nel tentativo di definire lo schema di bilancio idrogeologico con riferimento ad una condizione di deflussi in alveo di tipo “artificiale-regolato”, piuttosto che “naturale”, sono state introdotte nel modello di simulazione del flusso nel reticolo idrografico le principali utenze da acque superficiali, conformemente alle regole operative prefissate nel citato modello gestionale.

Tali utenze corrispondono a condizioni al contorno di portata sottratta al reticolo idrografico.

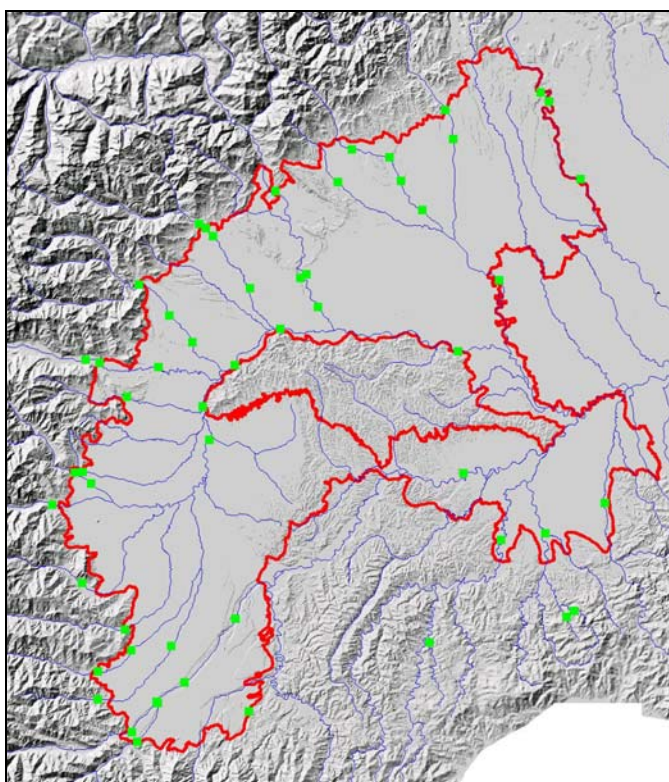


Figura 19 - Ubicazione dei punti di prelievo da acque superficiali, introdotti nel modello di simulazione del flusso nel reticolo idrografico

Questo assetto operativo consente di riferire la fase di calibrazione del modello di flusso delle acque sotterranee a condizioni idrometriche nelle sezioni trasversali di calcolo sicuramente più realistiche di quelle che si otterrebbero rispetto alla persistenza in alveo di condizioni di deflusso di tipo naturale.

Ne consegue che anche le componenti di bilancio relative all'espressione dello scambio idrico netto tra complessi acquiferi e reticolo idrografico sono condizionate da regimi di deflusso in alveo non di tipo teorico-naturale, bensì risultanti dalle regole operative prefissate per le principali utenze idriche superficiali.

5. PROCEDURE DI VALIDAZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO DEL BILANCIO IDROGEOLOGICO

Le procedure di calibrazione del modello di simulazione del flusso in falda, accoppiato con il modello di simulazione nel reticolo idrografico, comprendono un quadro articolato di azioni finalizzate alla valutazione del grado di rappresentatività e di sensitività dei vari set di parametri statici che descrivono il sistema idrologico considerato:

- conducibilità idraulica orizzontale e verticale dei vari complessi idrogeologici;
- coefficienti di immagazzinamento e porosità efficace;
- coefficienti di scambio tra fiumi e corsi d'acqua ("river leakage coefficient").

Lo scopo delle procedure di calibrazione è quello di determinare l'influenza che le variazioni introdotte in un set di parametri inducono nella ripartizione cronologica e spaziale dei flussi in falda e nel reticolo idrografico.

Una consistente serie di simulazioni preliminari si è resa necessaria ai fini della ricerca del set di parametri in grado di offrire un compromesso accettabile tra i tempi computazionali e la stabilità numerica dell'accoppiamento dei codici di calcolo del flusso nel reticolo idrografico e in falda.

Il passo di calcolo temporale del modello della zona satura assume un valore massimo di 2 giorni, mentre il passo di calcolo massimo del modello di simulazione del flusso nella rete idrografica assume un valore massimo di 10 minuti.

La funzione di risoluzione delle equazioni di flusso adottata è del tipo PCG (Preconditioned Coniugate Gradient); nelle iterazioni si accetta un errore residuo non superiore a 0.001 m/d, con 100 iterazioni per passo di calcolo.

Con questi parametri computazionali, ciascuna simulazione del triennio idrologico utilizzato per la calibrazione viene eseguita da un PC con processore da 1.7 GHz e 256 MB di memoria RAM in un tempo di circa 4 ore.

In questo senso un ruolo-chiave risiede nella determinazione dei river leakage coefficient, ovvero dei coefficienti di conduttanza che regolano lo scambio di portata tra i fiumi e l'acquifero adiacente.

Gli strumenti di controllo del grado di corrispondenza tra i dati simulati e i dati osservati si riferiscono sostanzialmente:

- alle variazioni del campo di moto della falda;
- alle variazioni del regime di portata in alveo.

Per quanto concerne la calibrazione delle quote piezometriche, il confronto tra le quote calcolate dal modello di simulazione e quelle misurate viene eseguito con riferimento ad 81 siti di monitoraggio freaticometrico automatico, con frequenza giornaliera: 68 appartengono alla rete di monitoraggio piezometrica regionale, 13 alla rete gestita dalla Provincia di Torino (siti di discarica controllata).

Tale confronto viene eseguito attraverso una specifica procedura automatizzata di estrazione dei dati calcolati e dei dati misurati, implementata nel modello di simulazione, che fornisce anche una stima del grado di correlazione statistica tra le due grandezze.

La procedura di calibrazione prende distintamente in considerazione:

- la ricostruzione delle quote piezometriche medie, relative al centroide della cella di calcolo avente la superficie di 1 km²;
- la ricostruzione della forma della curva di escursione freaticometrica del modello, in risposta alle sollecitazioni di tipo positivo (ricarica meteorica, irrigua) e negativa (prelievi, fasi di esaurimento) dell'acquifero nell'intorno del sito di monitoraggio.

Relativamente al primo aspetto, il grado di calibrazione raggiunto deve confrontarsi con le semplificazioni introdotte dall'adozione di una discretizzazione del dominio di riferimento spaziale in maglie da 1 km di lato.

Le differenze tra quote piezometriche osservate e calcolate devono pertanto essere confrontate con la "rugosità" della superficie topografica nella cella in cui ricade il piezometro di taratura.

Ricorrendo alle potenzialità di analisi delle superfici tridimensionali insite nel sistema informativo geografico di supporto all'implementazione del modello, è possibile associare a ciascuna cella di calcolo avente lato di 1 km la variazione di quota altimetrica al suo interno, desumibile dal confronto con il DTM (modello digitale del terreno) con passo di 50 metri della Regione Piemonte.

Selezionando successivamente le 81 celle corrispondenti alla localizzazione dei piezometri di controllo, è possibile confrontare le differenze medie tra valori simulati nel centro delle celle di calcolo con la variazione altimetrica all'interno delle medesime celle.

A fronte di una variazione topografica media di 16.44 metri nelle 81 celle di calcolo, lo scarto medio tra piezometria osservata e calcolata risulta di 1.19 metri, con valori dello scarto medio assoluto (riferito ai valori assoluti delle differenze suddette) pari a 4.37 metri e della deviazione standard di 7.96 metri.

Esprimendo percentualmente il rapporto tra la differenza tra piezometria osservata e calcolata e la variazione di quota topografica in ciascuna cella, si osserva inoltre che tale rapporto assume un valore medio per la serie di 81 siti di controllo pari al 48.1%.

In particolare, nel 71% dei siti di controllo la differenza tra quote piezometriche osservate e calcolate risulta inferiore al 50 % della variabilità delle quote topografiche in ciascuna cella di calcolo.

Nel diagramma seguente viene evidenziata la correlazione tra quote piezometriche calcolate ed osservate, con riferimento all'estrazione dei risultati in un periodo intermedio delle simulazioni, collocato nel mese di luglio 2001.

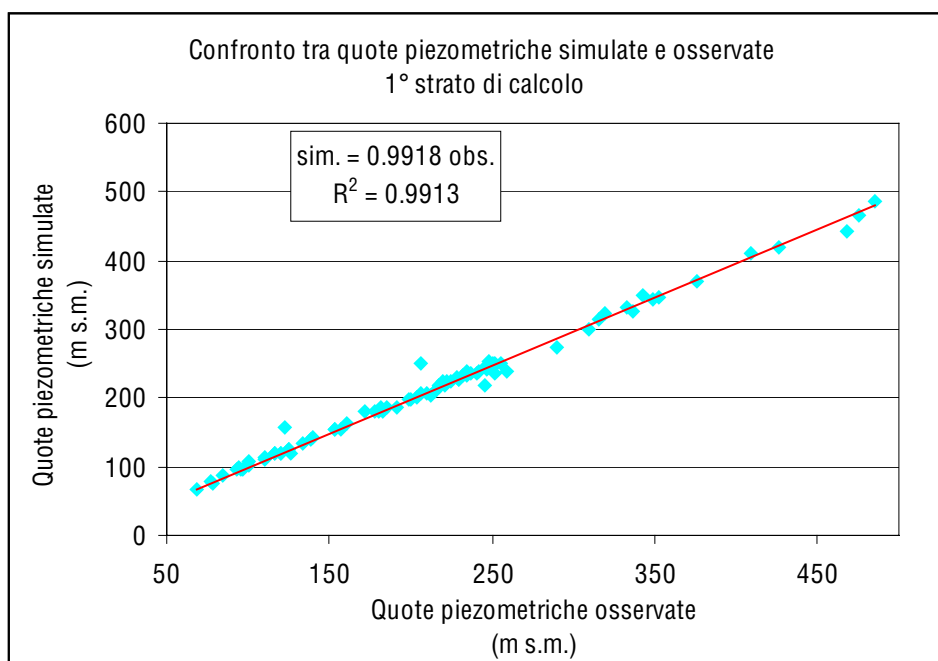
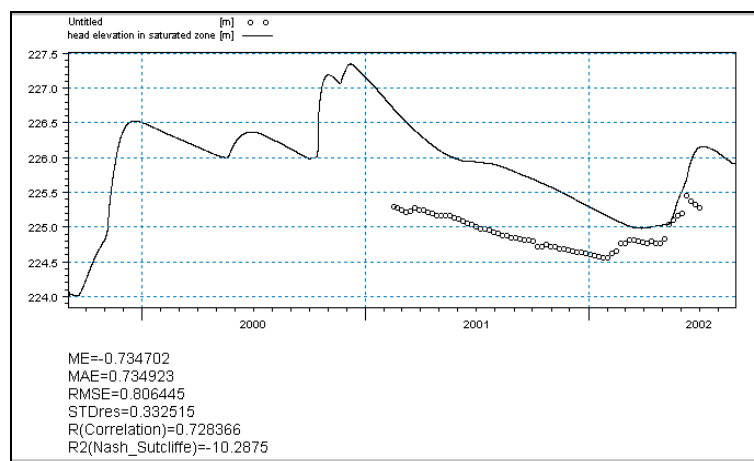


Figura 20 - Regressione lineare tra le quote piezometriche misurate in 83 piezometri registratori di controllo e calcolate nelle corrispondenti celle del primo strato di calcolo. Periodo di riferimento: luglio 2001.

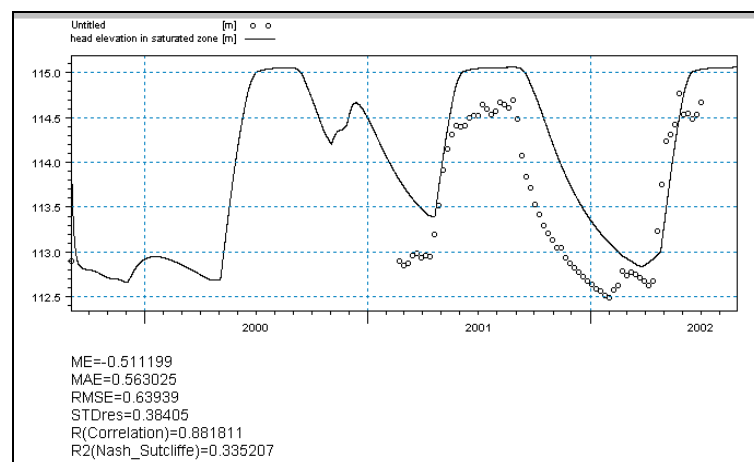
I risultati ottenuti mediante i procedimenti iterativi di attribuzione di varie serie di valori ai “river leakage coefficient”, sino ad ottenere gli scarti suddetti, possono essere considerati del tutto soddisfacenti se si considerano le dimensioni delle celle di calcolo, la scala regionale del modello di

simulazione, le semplificazioni introdotte in termini di discretizzazione verticale della serie idrogeologica, il grado di indeterminazione associato alle pratiche di irrigazione e ai prelievi dagli acquiferi.

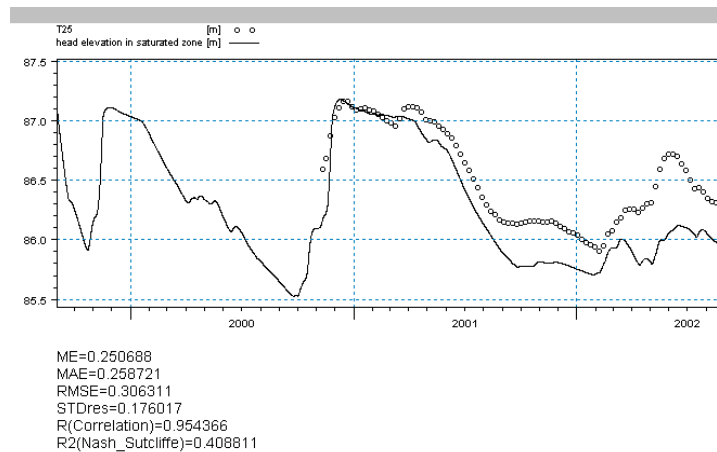
A titolo esemplificativo vengono riportati nelle pagine seguenti alcuni diagrammi di confronto tra quote calcolate ed osservate in alcuni piezometri di controllo ubicati in siti rappresentativi delle varie realtà provinciali in cui ricade il dominio di riferimento spaziale del modello. Nella scala orizzontale sono riportate le date, nella scala verticale le quote (in metri sul livello medio del mare).



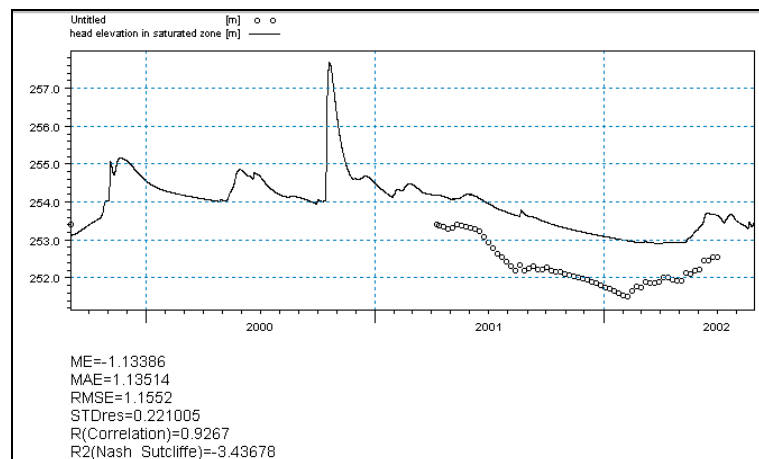
Piezometro registratore “P43 - Albiano d’Ivrea” (TO).



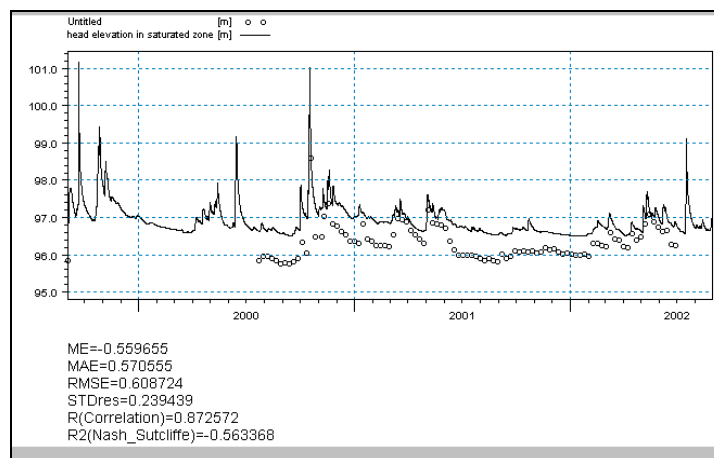
Piezometro registratore “PII46 - Pezzana” (VC).



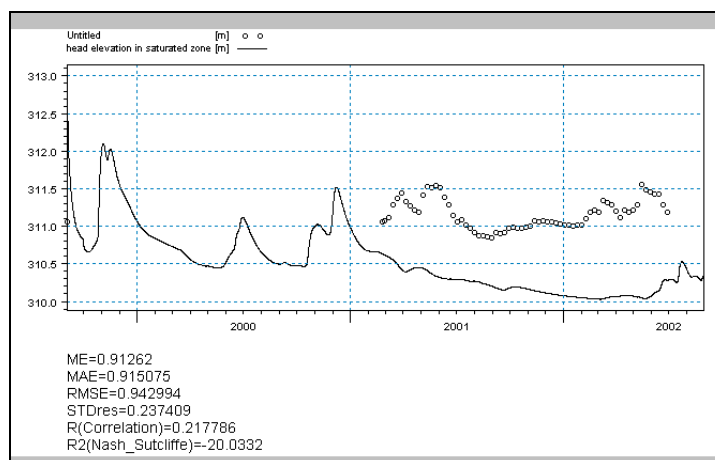
Piezometro registratore “T25 - Alessandria” (AL).



Piezometro registratore “Volvera” (TO).



Piezometro registratore “Masio” (AT).



Piezometro registratore “P6-Savigliano” (CN)

Un quadro riepilogativo di carattere più generale viene prospettato nella figura riportata nel seguito, anch'essa riferita ad un'estrazione dei dati del modello nel mese di luglio 2001, con la sovrapposizione delle linee isopiezometriche del primo strato di calcolo (acquifero superficiale) simulate e dedotte per interpolazione areale di quelle osservate.

L'analisi della mappa di confronto pone in evidenza la buona concordanza in termini di forma e posizione delle due serie di linee, rivelando alcune zone per le quali la calibrazione del modello si presenta più critica:

- il settore di alta pianura cuneese, in particolare in destra idrografica del F.Stura di Demonte, laddove la presenza di superfici terrazzate fortemente reincise conferisce gradienti topografici molto forti tra gli alvei fluviali e le adiacenti scarpate di terrazzo;
- il settore di alta pianura cuneese, situato in corrispondenza degli sbocchi vallivi tra la Stura di Demonte e il T.Maira, nel quale l'elevatissima soggiacenza della falda nel settore pedemontano determina una certa carenza di dati di osservazione, correlata alla minore quantità di pozzi idrici ivi presenti;
- in generale, le zone di raccordo tra gli anfiteatri morenici principali e le adiacenti pianure alluvionali (anfiteatro di Ivrea, Verbano), laddove i forti gradienti topografici e il grado di indeterminazione delle reali condizioni di deflusso sotterraneo non permettono un'ottimale riproduzione del contesto idrogeologico locale.

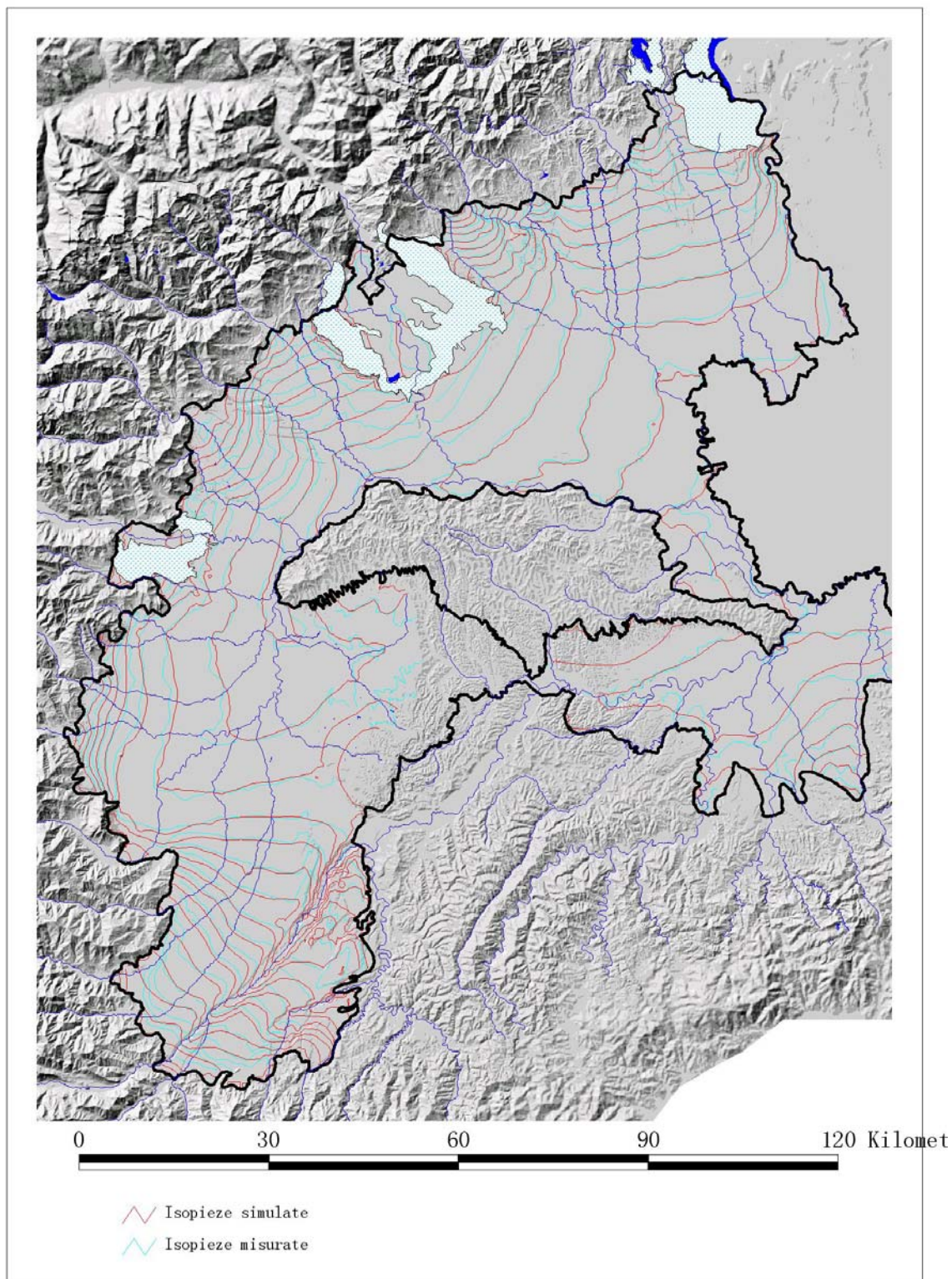


Figura 21 - Confronto tra le linee isopiezometriche misurate e calcolate dal modello di simulazione, nella configurazione caratteristica del periodo estivo (luglio 2001).

Per quanto concerne la calibrazione del regime di portata dei corsi d'acqua, in appendice n° 7 al presente rapporto vengono riportati i grafici relativi alle portate simulate ed osservate nelle seguenti stazioni idrometriche di controllo, rappresentative delle differenti condizioni idrologiche del territorio di pianura piemontese:

- Stura di Lanzo a Torino;
- Stura di Demonte a Fossano;
- T.Elvo a Carisio;
- T.Bormida ad Alessandria;
- T.Malone a Brandizzo;
- F.Po a Torino;
- T.Scrivia a Guazzora;
- F.Sesia a Palestro;
- F.Tanaro a Montecastello;
- T.Varaita a Polonghera.

In corrispondenza di queste sezioni di controllo, il coefficiente di regressione lineare tra portate osservate e simulate (tenendo conto delle regole operative delle derivazioni, ricostruite) assume sempre valori superiori a $R^2 > 0.7$, frequentemente anche $R^2 > 0.8$.

Si tratta di valori più che soddisfacenti per il modello accoppiato di simulazione falda-fiumi.

6. SCHEMA DI BILANCIO IDROGEOLOGICO

Lo schema di bilancio idrogeologico viene ricavato direttamente mediante l'estrazione dei risultati delle simulazioni numeriche riferite ad assegnati intervalli di tempo e domini spaziali.

Lo schema di bilancio idrogeologico viene riferito al complesso degli acquiferi superficiali, relativamente al quale l'elevata densità di piezometri di controllo conferisce un buon grado di affidabilità delle simulazioni modellistiche; le componenti di flusso vengono evidenziate in termini di valore medio nel triennio settembre '99 - settembre '02.

ENTRATE	m³/s	10⁶m³/anno
Infiltraz.efficace	126	3970
Perdite in subalveo	7	219
Flusso da 2° strato	129	4056
Flusso in ingresso al bordo	5	148
Totale entrate	267	8393

USCITE	m³/s	
Prelievi da falda	10	330
Flusso di base corsi d'acqua	63	1989
Drenaggio fontanili e reticolo secondario	95	2981
Flusso verso 2° strato	100	3144
Flusso in uscita al bordo	3	96
Totale uscite	271	8540
Variazione di immagazzinamento	-5	-147

Tabella 15 - Schema di bilancio del sistema acquifero superficiale della pianura piemontese, valori medi riferiti al triennio di simulazione sett.1999-set..2002.

A commento dello schema di bilancio descritto nelle tabelle sopra riportate, si riscontra una discreta affinità dei risultati con le valutazioni precedentemente eseguite in letteratura (riportate nel cap.2 del presente rapporto), con specifico riguardo ai seguenti aspetti:

- la valutazione della componente di ricarica deducibile dalla somma degli apporti dell'infiltrazione efficace (piogge, irrigazioni), delle perdite in subalveo dei corsi d'acqua e del flusso in ingresso al bordo - pari a circa $4.3 \cdot 10^9$ m³/y, risulta inferiore rispetto la stima eseguita nel MASTER PLAN del F.Po ($5.9 \cdot 10^9$ m³/y);
- il "baseflow", ovvero il deflusso di base verso i corsi d'acqua, fornito dal sistema idrogeologico, corrisponde complessivamente a 63 m³/s, valore confrontabile con il DMV del F.Po alla sezione di Isola S.Antonio (chiusura del bacino piemontese);
- in termini di volume, l'entità del "baseflow" risulta inferiore alle stime del MASTER PLAN del F.Po ($3.0 \cdot 10^9$ m³/y ivi indicati, a fronte di una stima nel presente schema di bilancio pari a $2.0 \cdot 10^9$ m³/y);
- il confronto tra il presente schema di bilancio e quello formulato nello studio del CER citato al cap.2, porta a individuare marcate analogie nella stima della ricarica verticale (114 m³/s ivi indicati, a fronte di 126 m³/s nel presente schema di bilancio); in termini di entrate-uscite totali, i valori non sono riscontrabili, in relazione alle radicali differenze nella discretizzazione verticale del dominio di studio.

La componente di bilancio costituita dal deflusso diffuso in uscita dal primo strato (verso fontanili, colatori e reticolo idrografico secondario da essi derivato) è difficilmente oggettivabile in carenza di sistematici riscontri diretti provenienti da campagne o reti di monitoraggio.

Si ritiene comunque che l'ordine di grandezza ottenuto sia confrontabile con le indicazioni degli studi in materia eseguiti dall'Associazione Irrigua Est Sesia, che valutano in circa 57 m³/s il deflusso complessivo da fontanili nel comprensorio irriguo compreso tra i F.Sesia, Ticino e Po (nei quali tuttavia è inclusa anche la Lomellina).

Lo schema di bilancio sopra riportato può essere replicato per le macro-aree idrogeologiche di riferimento ai fini della definizione dello stato quantitativo degli acquiferi, per supportare la valutazione

dello stato di qualità ambientale dei corpi idrici sotterranei e la definizione puntuale delle strategie del Piano di Tutela delle Acque, previste nel contesto delle attività di IV fase degli Studi Preliminari.

APPENDICE 1

**Tavole sinottiche relative alle principali
caratteristiche strutturali dell'irrigazione**

APPENDICE 2

**Tabelle riepilogative dei fabbisogni irrigui per
tipologie colturali omogenee su base comunale**

Tabella 1 - Fabbisogni netti per gruppo colturale (mm)

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato perm.	Riso	Soia	Totale
001001	Aglie		305		248			100	244
001002	Airasca		337		290			100	296
001004	Albiano d'Ivrea		277	314	250				252
001008	Alpignano		300		265			100	233
001009	Andezeno				347				347
001013	Avigliana				242				242
001014	Azeglio			308	251				254
001015	Bairo				246			100	233
001016	Balangero			294	231				234
001017	Baldissero Canavese				241				241
001023	Barone Canavese				283			100	222
001024	Beinasco				299				299
001025	Bibiana		301	309	259			100	299
001027	Bollengo			302	226	248		100	188
001028	Borgaro Torinese		347		278			100	269
001031	Borgomasino			335	283				286
001033	Bosconero				284			100	250
001034	Brandizzo		368		305			100	310
001035	Bricherasio		301	311	255	301		100	280
001038	Bruino		310		273				280
001039	Brusasco		399		349			100	230
001041	Buriasco	75	308		284	308		100	293
001043	Busano				245				245
001046	Cafasse				232				232
001047	Caluso		333	352	286			100	252
001048	Cambiano				349				349
001049	Campiglione Fenile		306	322	268			100	284
001050	Candia Canavese				286			100	271
001051	Candiolo		356		304			100	267
001053	Cantalupa			296	257				262
001058	Carignano		398		334			100	352
001059	Carmagnola	75	402		348	402		100	357
001061	Cascinette d'Ivrea				227				227
001062	Caselette		288		255				274
001063	Caselle Torinese		336		272			100	290
001065	Castagnole Piemonte		365		311	365		100	338
001066	Castellamonte		285	245	248			100	244
001070	Cavour		320	343	285			100	289
001071	Cercenasco		346		301			100	300
001078	Chieri	75	394		344	394		100	343
001082	Chivasso		378	384	311			100	302
001083	Ciconio				254			100	245
001086	Cirie'		301	317	254	301		100	255
001090	Collegno		311	336	277			100	275

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato perm.	Riso	Soia	Totale
001092	Colleretto Giacosa				238			100	201
001095	Cossano Canavese			320					320
001096	Cuceglio				261				261
001097	Cumiana		283	301	250			100	254
001099	Druento	75	313		261			100	259
001101	Favria				248	293		100	276
001102	Feletto			337	265	307		100	230
001104	Fiano				245			100	145
001106	Fogizzzo		332		283			100	250
001109	Front		299		260	299		100	256
001110	Frossasco		275	303	257			100	262
001111	Garzigliana		301	337	281				292
001112	Gassino Torinese				324				324
001115	Giaveno		275	255	239				250
001119	Grosso				242				242
001120	Grugliasco		321		286			100	262
001123	Isolabella				369	437		100	338
001125	Ivrea				233	264			240
001126	La Cassa		278		250			100	176
001127	La Loggia		373		323				327
001129	Lauriano				339				339
001130	Leini'		341		294			100	291
001135	Lombardore				293				293
001136	Lombriasco		388		346			100	346
001141	Lusiglie'				263	316		100	250
001142	Macello		304	341	287			100	293
001143	Maglione			347	285			100	321
001146	Mathi				237				237
001148	Mazze'		332	368	291			100	280
001150	Mercenasco				287			100	240
001156	Moncalieri		365	403	320	365		100	330
001161	Montanaro				296			100	245
001164	Nichelino	75			309			100	250
001166	Nole		296		246				271
001168	None	75	354	370	302			100	316
001170	Oglianico				248				248
001171	Orbassano	75	344		296			100	263
001172	Orio Canavese		337		279			100	234
001173	Osasco		300	323	269			100	287
001174	Osasio		386		335	386			353
001176	Ozegna		297		250			100	241
001178	Pancalieri		374		334			100	335
001185	Perosa Canavese		318		254				255
001187	Pertusio				243				243
001189	Pianezza		302	319	267			100	275
001191	Pinerolo	75	296	312	265			100	277

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato perm.	Riso	Soia	Totale
001193	Piobesi Torinese		372		314	372		100	335
001195	Piscina	75	310	315	270			100	279
001197	Poirino	75	432		357	432		100	350
001203	Pralormo		443		379			100	345
001214	Rivalta di Torino				289			100	272
001215	Riva presso Chieri	75	403		348			100	344
001216	Rivara		274		241			100	250
001217	Rivarolo Canavese		301	334	251	301		100	268
001218	Rivarossa				287			100	268
001219	Rivoli		302		276	302		100	282
001220	Robassomero	75			252			100	165
001221	Rocca Canavese				236				236
001223	Romano Canavese				265				265
001225	Rondissone		365	379	302			100	294
001231	Salassa				249			100	239
001236	San Benigno Canavese		333		298	333		100	285
001237	San Carlo Canavese		300		251			100	243
001240	San Francesco al Campo		308		273	308		100	267
001241	Sangano		302	321	263				282
001243	San Gillio		290		253				285
001244	San Giorgio Canavese		318		257			100	246
001246	San Giusto Canavese		325	336	274			100	228
001247	San Martino Canavese				251				251
001248	San Maurizio Canavese				262	308		100	245
001251	San Ponso				248				248
001252	San Raffaele Cimena				321				321
001254	San Secondo di Pinerolo		294	308	257			100	263
001257	Santena				350			100	342
001260	Scalenghe		342	352	298			100	311
001261	Scarmagno				261			100	180
001264	Settimo Rottaro				263				263
001265	Settimo Torinese		362	397	305	362		100	315
001269	Strambino				275				275
001272	TORINO		360	295	302			100	236
001273	Torrazza Piemonte		384		324			100	299
001274	Torre Canavese				245				245
001276	Trana		295		256				257
001280	Trofarello				343	386			353
001290	Vauda Canavese				247				247
001292	Venaria		337	332	274			100	241
001293	Verolengo		398		328			100	307
001295	Vestigne'				283				283
001299	Vigone		347	362	302			100	312
001300	Villafranca Piemonte		351	350	305	351		100	319
001301	Villanova Canavese				241				241
001304	Villareggia		326	378	291			100	284

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato perm.	Riso	Soia	Totale
001308	Villastellone		399		346				369
001309	Vinovo		371		317	371		100	335
001310	Virle Piemonte		372		321				327
001311	Vische				296				296
001314	Volpiano		340		299			100	293
001315	Volvera		342		289	342		100	297
002003	Albano Verellese				297	332	2991	100	2594
002004	Alice Castello		312	341	275			100	274
002006	Arborio				280	302	2316	100	2040
002007	Asigliano Verellese				344	398	2176	100	2141
002009	Balocco				277		1977	100	1867
002011	Bianze'		351	375	299	351	1586	100	1118
002015	Borgo d'Ale		313	351	282			100	305
002017	Borgo Vercelli	75	378		338	378	2484	100	1956
002021	Buronzo				259	281	1547	100	1456
002030	Caresana	75			357	414	2588	100	2469
002031	Caresanablot				317		2559	100	2363
002032	Carisio		327		291		1429	100	1266
002033	Casanova Elvo					323	1940		1913
002035	San Giacomo Verellese						1739	100	1704
002042	Cigliano		331	300	296	331	2674	100	318
002045	Collobiano						2734	100	2676
002047	Costanzana					401	1966	100	1831
002049	Crescentino		389		348	389	2591	100	1661
002052	Crova				298	348	983	100	900
002054	Desana				341		1629		1617
002058	Fontaneto Po		397		344	397	2710		2624
002059	Formigliana				287	313	1543	100	1495
002061	Gattinara				235	249	1979	100	1718
002062	Ghislarengo				262	297	2135	100	1694
002065	Greggio				298	326	2934		2806
002067	Lamporo				335		1601	100	1225
002068	Lenta				253	277	2092	100	1250
002070	Lignana						1659	100	1608
002071	Livorno Ferraris		361		309	361	1282	100	908
002079	Moncrivello		321	375	289	321		100	284
002082	Motta dei Conti				363	428	2560		2269
002088	Olcenengo			361	300		2335		2321
002089	Oldenico				297		3066		3055
002090	Palazzolo Verellese				347	405	2622		2263
002091	Pertengo	75			347	403	2382	100	2313
002093	Pezzana				348	400	2397	100	2343
002104	Prarolo				346	400	2394	100	2318
002108	Quinto Verellese					345	2092		2090
002115	Rive				349		2056		2033
002116	Roasio						850		850

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato perm.	Riso	Soia	Totale
002118	Ronsecco					395	1171	100	1143
002122	Rovasenda				250		1059	100	912
002126	Salasco				312		2483	100	2388
002127	Sali Vercellese				326		2371	100	2323
002128	Saluggia		378		322				326
002131	San Germano Vercellese			348	299	349	2354	100	2283
002133	Santhia'		350	344	299	350	2122	100	1162
002142	Stroppiana				351		2384		2356
002147	Tricerro						1395	100	1301
002148	Trino				349	403	1756	100	1661
002150	Tronzano Vercellese		344	361	296	344	1037	100	576
002158	VERCELLI			388	335	384	2515	100	2277
002163	Villarboit						2209	100	2151
002164	Villata		347		311	347	2367		1455
003008	Arona			250					250
003012	Barengo				286	281	2274		1285
003016	Bellinzago Novarese		303	323	290	303	2572	100	1586
003018	Biandrate				299	347	2768		2203
003021	Bogogno				250				250
003023	Borgolavezzaro	75		404	340	396	3205	100	2761
003024	Borgomanero				235	224			229
003027	Briona		294		286		2475	100	1840
003030	Caltignaga		316		299	316	3215	100	2032
003032	Cameri		331	332	314	331	3215	100	983
003036	Carpignano Sesia		296		270				272
003037	Casalbeltrame				303		2779	100	2227
003039	Casaleggio Novara				295		2116		1992
003040	Casalino	75	380		342	380	2612	100	2301
003041	Casalvolone				316	351	2664		2122
003042	Castellazzo Novarese				291	311	1969	100	1689
003044	Cavaglietto				268				268
003045	Cavaglio d'Agogna				260			100	240
003049	Gerano		376		338	376	3268	100	2583
003052	Comignago				243				243
003055	Cressa		255		250				252
003058	Cureggio		236		243				242
003065	Fara Novarese				277				277
003066	Fontaneto d'Agogna		252		249	252	3167		327
003068	Galliate	75	345		323	345	2787	100	994
003069	Garbagna Novarese		397		341		2475	100	2136
003073	Ghemme		253		249				249
003077	Granozzo con Monticello	75	383		338		2354	100	2148
003083	Landiona			336	280	310	2516	100	869
003090	Mandello Vitta				285		2329		1929
003091	Marano Ticino		288		269				283
003100	Momo		296		296	296	3136	100	771

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato perm.	Riso	Soia	Totale
003104	Nibbiola			387	340	399	1725	100	1681
003106	NOVARA	75	350	349	343	350	2356	100	1654
003108	Oleggio		299	307	282			100	278
003121	Pombia				264				264
003129	Recetto				294		2506	100	1307
003131	Romentino			325	325	350	2712	100	1645
003134	San Nazzaro Sesia				295	346	2381		1511
003135	San Pietro Mosezzo				317		3091	100	2997
003138	Sillavengo	75	301	333	278	301	2356	100	1069
003139	Sizzano			298	260				260
003141	Sozzago		380	374	337		2875	100	2341
003143	Suno		278		257	278	1800	100	288
003144	Terdobbiate				340	393	2609	100	2244
003146	Tornaco				340		2857	100	2387
003149	Trecate				333	364	2866	100	2370
003153	Vaprio d'Agogna				275		3167	100	377
003158	Vespolate		399		339	399	3070		2813
003159	Vicolungo		333		292	333	2473	100	1761
003164	Vinzaglio				348	389	2370	100	2288
004009	Bagnolo Piemonte		308	303	271			100	293
004012	Barge					316			316
004016	Beinette		335	364	303			100	279
004019	Bene Vagienna		443		356			100	330
004022	Bernezzo		330	336	268			100	289
004025	Borgo San Dalmazzo		332	338	283				299
004028	Boves		321	347	290				311
004029	Bra	75	425	491	389	425		100	387
004034	Busca		335	351	291			100	322
004040	Caraglio		318	338	267			100	302
004041	Caramagna Piemonte		415		363			100	368
004042	Carde'		352		305			100	329
004045	Casalgrasso		383		347				348
004049	Castelletto Stura		362	377	306				335
004058	Cavallerleone		414	441	348			100	369
004059	Cavallermaggiore	75	438		353			100	353
004061	Centallo		364	380	303			100	318
004062	Ceresole d'Alba	75	423		380			100	354
004064	Cervasca		330	318	264			100	292
004065	Cervere		421	449	373			100	350
004067	Cherasco	75	422	466	390			100	342
004068	Chiusa di Pesio		324	367	306				323
004075	Costigliole Saluzzo		347	360	299			100	345
004078	CUNEO		336	316	275			100	301
004085	Envie		322	338	287	322		100	316
004087	Faule				335			100	333
004089	Fossano		394	426	344	394		100	364

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato perm.	Riso	Soia	Totale
004096	Genola		390	415	335			100	352
004104	Lagnasco		371	398	321			100	390
004114	Magliano Alpi		391	335	336			100	321
004116	Manta		350	305	301			100	302
004117	Marene	75	429	453	359			100	350
004118	Margarita		351	379	301			100	306
004128	Monasterolo di Savigliano		399	418	347			100	357
004133	Monta'				389				389
004135	Montaldo Roero				390			100	293
004136	Montanera		374	399	317				357
004140	Monteu Roero			385	386				386
004143	Moretta		364	384	317			100	330
004144	Morozzo		357	393	306			100	325
004146	Murello		391	415	336			100	352
004147	Narzole		432		387			100	361
004163	Peveragno		302	357	299	302		100	301
004165	Pianfei		350	377	307	350		100	333
004166	Piasco		342	352	293				339
004170	Pocapaglia		428	474	391				395
004171	Polonghera		377		340				343
004179	Racconigi		408	430	350			100	360
004180	Revello		320	359	290	320		100	325
004189	Rocca de' Baldi		368	403	319			100	340
004198	Ruffia		400		341			100	344
004202	Salmour				359			100	320
004203	Saluzzo		358	389	302	358		100	343
004208	Sanfre'		424		394			100	352
004211	Sant'Albano Stura		391	422	348			100	360
004214	Santo Stefano Roero				388	434			411
004215	Savigliano	75	403	411	344	403		100	355
004217	Scarnafigi		393	400	335			100	356
004222	Sommariva del Bosco		419	462	380	419		100	391
004223	Sommariva Perno			472	391				448
004225	Tarantasca		346	354	298			100	330
004228	Torre San Giorgio		371		315	371		100	328
004232	Trinita'		398	445	344			100	357
004240	Verzuolo		347	371	300			100	368
004244	Villafalletto	75	351	365	302			100	330
004245	Villanova Mondovi'		357	371	312			100	287
004246	Villanova Solaro		395	409	332				346
004250	Vottignasco		363	381	310				325
005005	ASTI	75	466	490	394				292
005012	Buttigliera d'Asti		407		351				361
005018	Cantarana				394				394
005028	Castello di Annone			490	394				470
005033	Cellarengo			481	388			100	366

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato perm.	Riso	Soia	Totale
005036	Cerro Tanaro				394				394
005040	Cisterna d'Asti			492	396				440
005047	Cortazzone			475					475
005048	Cortiglione	75							75
005062	Maretto		435						435
005067	Monale	75							75
005089	Refrancore			490	394				459
005091	Roatto				378				378
005093	Rocca d'Arazzo				394				394
005096	Rocchetta Tanaro	75	498		394			100	272
005103	Scurzolengo			496					496
005108	Tigliole				394	444			398
005112	Valfenera				387				387
005117	Villafranca d'Asti				388	436			410
005118	Villanova d'Asti		425		370				377
006003	ALESSANDRIA	75	483	477	391				314
006006	Alluvioni Cambio'	75			393				345
006008	Alzano Scrivia	75							75
006011	Balzola				355	422	2864		2749
006012	Basaluzzo	75	447		393				428
006013	Bassignana				394				394
006015	Bergamasco	75			393				166
006019	Borgoratto Alessandrino				392				392
006020	Borgo San Martino	75			393	464	2167		1423
006021	Bosco Marengo	75	466		397	466		100	335
006023	Bozzole				392				392
006029	Capriata d'Orba	75	448		385				299
006037	Casal Cermelli	75	485		393	485			302
006039	Casale Monferrato	75	445	469	380	445	1793	100	1019
006040	Casalnoceto	75		441					87
006042	Cassano Spinola	75	411		355				343
006046	Castellar Guidobono	75		439	368				105
006047	Castellazzo Bormida	75	496		392	496			300
006051	Castelletto Monferrato	75							75
006052	Castelnuovo Bormida	75	461	459	398				230
006053	Castelnuovo Scrivia	75	451		385			100	174
006054	Castelspina	75			392				368
006068	Felizzano	75			394			100	236
006070	Francavilla Bisio				380				380
006073	Frassineto Po	75			380	447	2383	100	662
006074	Fresonara	75			397	453			377
006075	Frugarolo	75	471	495	395				306
006076	Fubine	75	480		393				323
006082	Giarole	75			392	476	2105	100	489
006086	Guazzora	75			389				254
006087	Isola Sant'Antonio	75			386	452			301

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato perm.	Riso	Soia	Totale
006091	Masio	75			394				261
006094	Mirabello Monferrato	75	484		395			100	291
006096	Molino dei Torti	75			382				209
006109	Morano sul Po				360	431	2680	100	2364
006114	Novi Ligure	75	418		376				372
006115	Occimiano	75	472		395	472	1325	100	891
006122	Oviglio	75		480	393				342
006130	Piovera	75	481		397			100	269
006131	Pomaro Monferrato	75	469	482	392		2280		1569
006132	Pontecurone	75	447	447	374	447		100	191
006138	Pozzolo Formigaro	75	436	450	386	436			322
006140	Predosa	75	450		391				347
006142	Quattordio	75	489		394				431
006144	Rivalta Bormida	75			399				221
006151	Sale	75	459		393				265
006161	Sezzadio	75		395	393				282
006163	Solero	75	486		392				261
006173	Ticineto	75			390	462	2404	100	1656
006174	Tortona	75	449	448	383				253
006177	Valenza	75			394	478	1500		323
006178	Valmacca				387	457	2940		872
006181	Viguzzolo	75	442	440	374				227
006185	Villanova Monferrato	75	430		364	430	2407		2148
006188	Volpedo		421	430	361				427
096003	Benna		251		229				242
096004	BIELLA		217	233	192				197
096006	Borriana				226				226
096007	Brusnengo					216	761		757
096012	Candelo				205			100	200
096015	Castelletto Cervo				235	252	1531	100	1408
096016	Cavaglia'		298	335	266	298	2382	100	800
096018	Cerrione				249	282	2950	100	308
096020	Cossato		213		201	213	1656	100	217
096025	Dorzano		297		256	297	828	100	454
096027	Giffenga				249		3181	100	2627
096031	Massazza				236		1398	100	1204
096032	Masserano					205	854		852
096037	Mottalciata				236	260	1798	100	834
096040	Occhieppo Inferiore				200				200
096041	Occhieppo Superiore				197				197
096047	Ponderano							100	100
096054	Roppolo		293	316	257			100	262
096058	Salussola		298	311	251	298	1594	100	1382
096076	Verrone				238				238
096077	Vigliano Biellese		219	225	194				210
096079	Villanova Biellese				241	269	975	100	920

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato perm.	Riso	Soia	Totale
096080	Viverone		288	311	253	288		100	268
096082	Zubiena				225				225

Tabella 2- Volumi di fabbisogno irriguo stagionale su base comunale (Mm³) per gruppi colturali

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato	Riso	Soia	Totale
001001	Aglie		0.01		0.48			0.01	0.504
001002	Airasca		0.14		0.76			0.00	0.900
001004	Albiano d'Ivrea		0.01	0.00	0.22				0.224
001008	Alpignano		0.03		0.09			0.01	0.133
001009	Andezeno				0.03				0.028
001013	Avigliana				0.16				0.155
001014	Azeglio			0.00	0.05				0.056
001015	Bairo				0.13			0.01	0.135
001016	Balangero			0.00	0.04				0.045
001017	Baldissero Canavese				0.07				0.065
001023	Barone Canavese				0.05			0.01	0.053
001024	Beinasco				0.16				0.158
001025	Bibiana		0.02	0.97	0.14			0.01	1.136
001027	Bollengo			0.00	0.22	0.00		0.04	0.268
001028	Borgaro Torinese		0.20		0.44			0.04	0.677
001031	Borgomasino			0.02	0.28				0.297
001033	Bosconero				1.08			0.09	1.166
001034	Brandizzo		0.06		0.27			0.00	0.338
001035	Bricherasio		0.12	0.26	0.53	0.48		0.01	1.400
001038	Bruino		0.03		0.10				0.121
001039	Brusasco		0.01		0.02			0.01	0.041
001041	Buriasco	0.002	1.52		1.56	0.65		0.03	3.754
001043	Busano				0.02				0.017
001046	Cafasse				0.06				0.063
001047	Caluso		0.47	0.01	3.07			0.32	3.877
001048	Cambiano				0.35				0.346
001049	Campiglione Fenile		0.24	0.74	0.19			0.05	1.215
001050	Candia Canavese				0.03			0.00	0.032
001051	Candiolo		0.16		0.94			0.09	1.186
001053	Cantalupa			0.01	0.04				0.042
001058	Carignano		4.07		6.51			0.05	10.624
001059	Carmagnola	0.003	3.55		11.29	2.03		0.13	17.008
001061	Cascinette d'Ivrea				0.00				0.002
001062	Caselle		0.05		0.03				0.074
001063	Caselle Torinese		0.71		0.93			0.02	1.657
001065	Castagnole Piemonte		0.91		1.59	1.24		0.01	3.750
001066	Castellamonte		0.01	0.01	0.36			0.01	0.382
001070	Cavour		0.64	1.27	4.05			0.11	6.060
001071	Cercenasco		0.32		1.68			0.02	2.023
001078	Chieri	0.009	0.15		1.54	0.23		0.01	1.932
001082	Chivasso		0.47	0.04	4.33			0.11	4.945

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato	Riso	Soia	Totale
001083	Ciconio				0.31			0.01	0.317
001086	Cirie'		0.10	0.00	0.21	0.06		0.02	0.393
001090	Collegno		0.18	0.02	0.44			0.02	0.653
001092	Colleretto Giacosa				0.05			0.01	0.060
001095	Cossano Canavese			0.21					0.208
001096	Cuceglio				0.01				0.005
001097	Cumiana		0.04	0.11	0.99			0.00	1.146
001099	Druento	0.008	0.19		0.20			0.01	0.405
001101	Favria				0.42	0.84		0.00	1.267
001102	Feletto			0.00	0.31	0.01		0.03	0.356
001104	Fiano				0.05			0.04	0.089
001106	Fogizzo		0.08		0.77			0.07	0.928
001109	Front		0.02		0.02	0.01		0.00	0.054
001110	Frossasco		0.27	0.00	0.50			0.00	0.778
001111	Garzigliana		0.00	0.10	0.33				0.438
001112	Gassino Torinese				0.00				0.003
001115	Giaveno		0.04	0.01	0.08				0.130
001119	Grosso				0.07				0.068
001120	Grugliasco		0.06		0.13			0.01	0.207
001123	Isolabella				0.57	0.05		0.03	0.642
001125	Ivrea				0.05	0.02			0.063
001126	La Cassa		0.03		0.01			0.02	0.059
001127	La Loggia		0.05		0.50				0.542
001129	Lauriano				0.04				0.044
001130	Leini'		0.12		1.50			0.02	1.633
001135	Lombardore				0.04				0.038
001136	Lombriasco		0.03		0.87			0.00	0.900
001141	Lusiglie'				0.22	0.01		0.01	0.237
001142	Macello		0.86	0.02	1.79			0.00	2.679
001143	Maglione			0.41	0.10			0.01	0.517
001146	Mathi				0.08				0.083
001148	Mazze'		0.07	0.03	1.74			0.05	1.881
001150	Mercenasco				0.03			0.00	0.038
001156	Moncalieri		0.06	0.02	0.92	0.31		0.00	1.311
001161	Montanaro				0.76			0.09	0.847
001164	Nichelino	0.019			0.59			0.05	0.657
001166	Nole		0.08		0.07				0.149
001168	None	0.003	1.18	0.00	2.37			0.00	3.568
001170	Oglianico				0.06				0.057
001171	Orbassano	0.020	0.03		1.21			0.06	1.325
001172	Orio Canavese		0.02		0.11			0.02	0.143
001173	Osasco		0.17	0.15	0.33			0.00	0.645
001174	Osasio		0.11		0.86	0.41			1.378

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato	Riso	Soia	Totale
001176	Ozegna		0.00		0.37			0.01	0.379
001178	Pancalieri		0.14		2.26			0.00	2.405
001185	Perosa Canavese		0.00		0.13				0.133
001187	Pertusio				0.04				0.039
001189	Pianezza		0.32	0.01	0.26			0.01	0.600
001191	Pinerolo	0.003	0.77	0.31	1.52			0.01	2.611
001193	Piobesi Torinese		0.93		1.95	0.59		0.01	3.483
001195	Piscina	0.003	0.66	0.00	1.07			0.01	1.742
001197	Poirino	0.053	0.67		4.44	0.66		0.06	5.876
001203	Pralormo		0.20		0.97			0.05	1.223
001214	Rivalta di Torino				0.25			0.01	0.256
001215	Riva presso Chieri	0.005	0.19		1.24			0.01	1.443
001216	Rivara		0.03		0.02			0.00	0.045
001217	Rivarolo Canavese		0.04	0.00	1.72	1.35		0.02	3.133
001218	Rivarossa				0.17			0.01	0.179
001219	Rivoli		0.23		0.29	0.62		0.03	1.158
001220	Robassomero	0.014			0.14			0.05	0.200
001221	Rocca Canavese				0.02				0.021
001223	Romano Canavese				0.04				0.037
001225	Rondissone		0.04	0.01	1.05			0.02	1.121
001231	Salassa				0.04			0.00	0.036
001236	San Benigno Canavese		0.02		1.08	0.72		0.08	1.897
001237	San Carlo Canavese		0.01		0.18			0.01	0.192
001240	San Francesco al Campo		0.05		0.24	0.02		0.01	0.304
001241	Sangano		0.01	0.01	0.03				0.054
001243	San Gillio		0.56		0.08				0.637
001244	San Giorgio Canavese		0.07		0.49			0.03	0.590
001246	San Giusto Canavese		0.00	0.01	0.71			0.10	0.822
001247	San Martino Canavese				0.12				0.121
001248	San Maurizio Canavese				0.65	0.01		0.03	0.694
001251	San Ponso				0.05				0.045
001252	San Raffaele Cimena				0.03				0.029
001254	San Secondo di Pinerolo		0.07	0.03	0.27			0.00	0.368
001257	Santena				0.56			0.01	0.561
001260	Scalenghe		2.16	0.04	2.88			0.03	5.111
001261	Scarmagno				0.00			0.00	0.004
001264	Settimo Rottaro				0.02				0.018
001265	Settimo Torinese		0.11	0.00	1.37	1.23		0.06	2.768
001269	Strambino				0.07				0.074
001272	TORINO		0.03	0.04	0.28			0.06	0.401
001273	Torrazza Piemonte		0.03		0.51			0.02	0.559
001274	Torre Canavese				0.01				0.005
001276	Trana		0.00		0.07				0.075

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato	Riso	Soia	Totale
001280	Trofarello				0.29	0.10			0.392
001290	Vauda Canavese				0.03				0.027
001292	Venaria		0.10	0.00	0.15			0.04	0.293
001293	Verolengo		0.68		2.80			0.16	3.647
001295	Vestigne'				0.35				0.348
001299	Vigone		2.33	0.01	6.01			0.03	8.377
001300	Villafranca Piemonte		2.22	0.01	6.14	2.32		0.05	10.737
001301	Villanova Canavese				0.04				0.036
001304	Villareggia		0.10	0.03	0.78			0.02	0.936
001308	Villastellone		0.92		1.07				1.996
001309	Vinovo		0.24		1.14	0.56		0.01	1.951
001310	Virle Piemonte		0.31		1.91				2.225
001311	Vische				0.08				0.083
001314	Volpiano		0.01		1.38			0.02	1.400
001315	Volvera		0.45		1.89	0.03		0.00	2.368
002003	Albano Vercellese				0.02	0.03	6.52	0.02	6.589
002004	Alice Castello		0.10	0.11	1.48			0.02	1.709
002006	Arborio				0.54	0.31	45.11	0.01	45.971
002007	Asigliano Vercellese				0.14	0.01	51.93	0.00	52.082
002009	Balocco				0.09		15.86	0.02	15.965
002011	Bianze'		0.12	0.05	3.32	0.08	35.74	0.09	39.394
002015	Borgo d'Ale		0.06	1.93	2.40			0.03	4.411
002017	Borgo Vercelli	0.005	0.02		1.11	0.09	28.65	0.01	29.883
002021	Buronzo				0.06	0.08	26.10	0.07	26.303
002030	Caresana	0.003			0.06	0.30	42.03	0.00	42.385
002031	Caresanablot				0.07		17.42	0.04	17.531
002032	Carisio		0.03		0.36		26.99	0.15	27.531
002033	Casanova Elvo					0.07	25.83		25.900
002035	San Giacomo Vercellese						21.79	0.03	21.817
002042	Cigliano		0.36	0.27	4.66	0.83	0.51	0.05	6.684
002045	Collobiano						26.77	0.02	26.789
002047	Costanzana					0.08	23.47	0.08	23.632
002049	Crescentino		0.04		3.79	0.65	47.62	0.03	52.141
002052	Crova				0.24	0.23	12.24	0.03	12.724
002054	Desana				0.05		23.04		23.087
002058	Fontaneto Po		0.01		0.11	0.16	51.47		51.745
002059	Formigliana				0.06	0.05	15.93	0.00	16.043
002061	Gattinara				0.01	0.12	5.58	0.00	5.705
002062	Ghislarengo				0.13	0.21	9.99	0.02	10.352
002065	Greggio				0.08	0.00	14.93		15.012
002067	Lamporo				0.75		8.95	0.01	9.713
002068	Lenta				0.90	0.10	10.69	0.04	11.724
002070	Lignana						27.91	0.06	27.967

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato	Riso	Soia	Totale
002071	Livorno Ferraris		0.03		4.54	0.13	37.38	0.23	42.313
002079	Moncrivello		0.26	0.11	1.79	0.13		0.05	2.334
002082	Motta dei Conti				0.30	0.07	16.49		16.857
002088	Olcenengo			0.01	0.02		41.01		41.043
002089	Oldenico				0.01		21.31		21.321
002090	Palazzolo Vercellese				0.24	0.45	25.01		25.707
002091	Pertengo	0.001			0.05	0.00	19.36	0.01	19.431
002093	Pezzana				0.04	0.11	34.62	0.00	34.768
002104	Prarolo				0.05	0.05	25.62	0.01	25.725
002108	Quinto Vercellese					0.00	14.54		14.542
002115	Rive				0.04		14.97		15.001
002116	Roasio						0.05		0.051
002118	Ronsecco					0.01	32.70	0.07	32.778
002122	Rovasenda				0.07		18.89	0.30	19.254
002126	Salasco				0.03		23.59	0.03	23.645
002127	Sali Vercellese				0.03		18.71	0.01	18.744
002128	Saluggia		0.36		3.74				4.097
002131	San Germano Vercellese			0.00	0.26	0.00	62.45	0.01	62.721
002133	Santhia'		0.20	0.02	3.75	0.01	32.62	0.32	36.921
002142	Stroppiana				0.07		34.12		34.187
002147	Tricerro						9.64	0.05	9.693
002148	Trino				0.56	0.11	79.97	0.12	80.759
002150	Tronzano Vercellese		0.17	0.01	4.31	0.05	11.21	0.16	15.899
002158	VERCELLI			0.03	1.21	0.36	113.46	0.08	115.136
002163	Villarboit						29.93	0.04	29.965
002164	Villata		0.03		1.34	0.09	13.73		15.177
003008	Arona			0.00					0.003
003012	Barengo				0.29	0.00	2.32		2.608
003016	Bellinzago Novarese		0.05	0.01	0.60	0.07	10.60	0.06	11.387
003018	Biandrate				0.60	0.01	18.94		19.544
003021	Bogogno				0.01				0.010
003023	Borgolavezzaro	0.029		0.01	0.28	0.23	36.02	0.02	36.585
003024	Borgomanero				0.00	0.00			0.004
003027	Briona		0.29		0.52		20.57	0.06	21.421
003030	Caltignaga		0.35		1.11	0.17	27.23	0.04	28.899
003032	Cameri		0.23	0.01	1.94	0.51	11.78	0.29	14.755
003036	Carpignano Sesia		0.01		0.16				0.174
003037	Casalbeltrame				1.07		36.35	0.02	37.442
003039	Casaleggio Novara				0.18		17.64		17.824
003040	Casalino	0.032	0.02		0.79	0.01	75.33	0.15	76.341
003041	Casalvolone				0.99	0.00	27.82		28.808
003042	Castellazzo Novarese				0.33	0.02	12.95	0.01	13.311
003044	Cavaglietto				0.13				0.134

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato	Riso	Soia	Totale
003045	Cavaglio d'Agogna				0.13			0.01	0.134
003049	Cerano		0.05		0.34	1.01	44.19	0.03	45.619
003052	Comignago				0.06				0.061
003055	Cressa		0.06		0.07				0.126
003058	Cureggio		0.00		0.02				0.021
003065	Fara Novarese				0.36				0.355
003066	Fontaneto d'Agogna		0.01		0.12	0.16	0.10		0.376
003068	Galliate	0.006	0.05		2.44	0.11	8.72	0.02	11.353
003069	Garbagna Novarese		0.03		0.29		20.27	0.05	20.652
003073	Ghemme		0.05		0.31				0.354
003077	Granozzo con Monticello	0.008	0.06		0.08		26.32	0.07	26.532
003083	Landiona			0.01	0.52	0.11	2.01	0.00	2.650
003090	Mandello Vitta				0.13		4.22		4.340
003091	Marano Ticino		0.01		0.01				0.019
003100	Momo		0.06		1.94	0.21	4.83	0.02	7.051
003104	Nibbiola			0.01	0.05	0.00	12.85	0.01	12.914
003106	NOVARA	0.022	0.34	0.00	4.55	0.38	91.14	0.43	96.850
003108	Oleggio		0.16	0.01	0.82			0.01	1.005
003121	Pombia				0.03				0.026
003129	Recetto				0.53		4.06	0.01	4.599
003131	Romentino			0.01	1.15	0.40	18.74	0.08	20.380
003134	San Nazzaro Sesia				0.93	0.09	11.31		12.327
003135	San Pietro Mosezzo				0.18		81.56	0.03	81.769
003138	Sillavengo	0.003	0.04	0.01	0.80	0.32	6.24	0.02	7.423
003139	Sizzano			0.00	0.34				0.344
003141	Sozzago		0.02	0.13	0.32		24.64	0.09	25.190
003143	Suno		0.03		0.36	0.00	0.09	0.02	0.503
003144	Terdobbiate				0.20	0.17	16.51	0.02	16.894
003146	Tornaco				0.55		26.69	0.05	27.289
003149	Trecate				0.82	0.23	50.38	0.11	51.537
003153	Vaprio d'Agogna				0.17		0.10	0.01	0.268
003158	Vespolate		0.14		0.04	0.40	42.21		42.781
003159	Vicolungo		0.02		0.74	0.12	17.71	0.05	18.627
003164	Vinzaglio				0.17	0.03	32.45	0.00	32.644
004009	Bagnolo Piemonte		0.29	0.54	0.23			0.01	1.061
004012	Barge					2.11			2.111
004016	Beinette		0.96	0.01	0.37			0.11	1.445
004019	Bene Vagienna		0.02		1.61			0.06	1.684
004022	Bernezzo		0.33	0.02	0.52			0.00	0.865
004025	Borgo San Dalmazzo		0.05	0.06	0.22				0.332
004028	Boves		1.10	0.32	0.90				2.325
004029	Bra	0.002	1.82	0.03	4.00	1.91		0.12	7.882
004034	Busca		3.10	2.24	2.86			0.01	8.201

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato	Riso	Soia	Totale
004040	Caraglio		2.33	0.76	1.39			0.01	4.492
004041	Caramagna Piemonte		0.50		3.07			0.00	3.573
004042	Carde'		1.73		1.20			0.01	2.938
004045	Casalgrasso		0.10		2.86				2.952
004049	Castelletto Stura		1.38	0.04	1.11				2.526
004058	Cavallerleone		1.30	0.00	2.31			0.00	3.616
004059	Cavallermaggiore	0.133	3.62		7.58			0.08	11.408
004061	Centallo		1.35	0.64	3.71			0.04	5.733
004062	Ceresole d'Alba	0.008	0.89		1.58			0.09	2.559
004064	Cervasca		0.80	0.06	0.77			0.01	1.632
004065	Cervere		0.48	0.18	1.39			0.08	2.134
004067	Cherasco	0.006	1.79	0.06	3.68			0.33	5.859
004068	Chiusa di Pesio		1.15	0.25	0.58				1.972
004075	Costigliole Saluzzo		0.28	1.52	0.24			0.01	2.052
004078	CUNEO		4.89	1.86	5.77			0.04	12.554
004085	Envie		1.47	0.93	0.31	0.45		0.03	3.184
004087	Faule				0.50			0.00	0.500
004089	Fossano		8.58	2.19	11.13	3.36		0.22	25.483
004096	Genola		1.79	0.00	1.04			0.05	2.883
004104	Lagnasco		0.01	6.04	0.26			0.02	6.329
004114	Magliano Alpi		0.24	0.02	0.29			0.03	0.575
004116	Manta		0.01	1.19	0.05			0.01	1.248
004117	Marene	0.003	0.43	0.04	3.32			0.06	3.850
004118	Margarita		0.64	0.02	1.40			0.03	2.087
004128	Monasterolo di Savigliano		1.05	0.01	2.30			0.02	3.367
004133	Monta'				0.10				0.097
004135	Montaldo Roero				0.01			0.00	0.009
004136	Montanera		1.58	0.05	0.63				2.265
004140	Monteu Roero			0.06	0.27				0.325
004143	Moretta		1.43	0.00	3.18			0.00	4.611
004144	Morozzo		1.84	0.01	2.31			0.01	4.178
004146	Murello		1.83	0.01	2.61			0.02	4.475
004147	Narzole		0.92		0.74			0.08	1.737
004163	Peveragno		0.69	0.16	1.75	0.59		0.01	3.207
004165	Pianfei		0.08	0.00	0.55	1.01		0.00	1.637
004166	Piasco		0.03	0.75	0.17				0.950
004170	Pocapaglia		0.01	0.01	0.15				0.163
004171	Polonghera		0.18		1.79				1.967
004179	Racconigi		2.89	0.01	8.35			0.04	11.286
004180	Revello		1.56	4.43	1.55	2.43		0.08	10.047
004189	Rocca de' Baldi		2.29	0.01	2.19			0.01	4.491
004198	Ruffia		0.21		0.69			0.01	0.906
004202	Salmour				0.24			0.01	0.256

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato	Riso	Soia	Totale
004203	Saluzzo		2.38	3.78	3.35	5.87		0.14	15.514
004208	Sanfre'		0.25		0.56			0.04	0.846
004211	Sant' Albano Stura		2.30	0.02	2.86			0.03	5.216
004214	Santo Stefano Roero				0.02	0.02			0.033
004215	Savigliano	0.017	8.85	1.89	10.23	1.15		0.41	22.538
004217	Scarnafigi		1.31	1.10	2.50			0.04	4.950
004222	Sommariva del Bosco		1.62	0.01	1.92	0.47		0.03	4.055
004223	Sommariva Perno			0.09	0.03				0.121
004225	Tarantasca		1.19	0.80	0.94			0.00	2.931
004228	Torre San Giorgio		0.09		0.62	0.45		0.02	1.170
004232	Trinita'		1.66	0.02	1.96			0.04	3.673
004240	Verzuolo		0.10	5.31	0.11			0.00	5.520
004244	Villafalletto	0.002	2.28	1.03	2.34			0.00	5.654
004245	Villanova Mondovi'		0.09	0.10	0.18			0.03	0.402
004246	Villanova Solaro		0.85	0.10	2.90				3.850
004250	Vottignasco		0.44	0.01	0.98				1.435
005005	ASTI	0.079	0.01	0.09	0.73				0.909
005012	Buttiglieria d'Asti		0.08		0.33				0.404
005018	Cantarana				0.19				0.193
005028	Castello di Annone			0.02	0.00				0.024
005033	Cellarengo			0.01	0.82			0.02	0.841
005036	Cerro Tanaro				0.00				0.004
005040	Cisterna d'Asti			0.03	0.03				0.058
005047	Cortazzone			0.01					0.014
005048	Cortiglione	0.005							0.005
005062	Maretto		0.00						0.004
005067	Monale	0.019							0.019
005089	Refrancore			0.08	0.03				0.115
005091	Roatto				0.03				0.026
005093	Rocca d'Arazzo				0.01				0.008
005096	Rocchetta Tanaro	0.008	0.02		0.16			0.02	0.212
005103	Scurzolengo			0.02					0.015
005108	Tigliole				0.09	0.01			0.100
005112	Valfenera				0.41				0.414
005117	Villafranca d'Asti				0.13	0.13			0.258
005118	Villanova d'Asti		0.12		0.73				0.840
006003	ALESSANDRIA	0.758	1.08	0.31	9.87				12.015
006006	Alluvioni Cambio'	0.053			1.59				1.643
006008	Alzano Scrivia	0.011							0.011
006011	Balzola				0.20	0.05	38.96		39.198
006012	Basaluzzo	0.002	0.41		0.08				0.492
006013	Bassignana				0.02				0.016
006015	Bergamasco	0.008			0.02				0.024

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato	Riso	Soia	Totale
006019	Borgoratto Alessandrino				0.11				0.114
006020	Borgo San Martino	0.023			1.19	0.01	10.30		11.513
006021	Bosco Marengo	0.135	0.04		2.21	0.49		0.01	2.880
006023	Bozzole				0.07				0.067
006029	Capriata d'Orba	0.020	0.06		0.18				0.260
006037	Casal Cermelli	0.070	0.04		0.71	0.08			0.903
006039	Casale Monferrato	0.045	0.10	0.05	5.70	1.45	29.24	0.04	36.631
006040	Casalnoceto	0.044		0.01					0.053
006042	Cassano Spinola	0.006	0.08		0.24				0.329
006046	Castellar Guidobono	0.023		0.01	0.00				0.036
006047	Castellazzo Bormida	0.135	0.29		1.07	0.09			1.592
006051	Castelletto Monferrato	0.018							0.018
006052	Castelnuovo Bormida	0.024	0.03	0.05	0.02				0.127
006053	Castelnuovo Scrivia	0.586	0.04		1.37			0.00	1.995
006054	Castelspina	0.001			0.05				0.048
006068	Felizzano	0.012			0.13			0.02	0.156
006070	Francavilla Bisio				0.07				0.068
006073	Frassineto Po	0.026			3.11	0.96	4.17	0.01	8.267
006074	Fresonara	0.025			0.55	0.43			1.003
006075	Frugarolo	0.151	0.25	0.01	1.66				2.075
006076	Fubine	0.007	0.04		0.06				0.100
006082	Giarole	0.023			0.70	0.11	0.42	0.01	1.252
006086	Guazzora	0.005			0.03				0.036
006087	Isola Sant'Antonio	0.069			0.93	0.01			1.004
006091	Masio	0.025			0.18				0.206
006094	Mirabello Monferrato	0.034	0.03		0.33			0.00	0.397
006096	Molino dei Torti	0.007			0.03				0.034
006109	Morano sul Po				0.15	0.57	35.18	0.03	35.939
006114	Novi Ligure	0.005	0.11		0.85				0.964
006115	Occimiano	0.011	0.08		0.66	0.42	4.23	0.00	5.392
006122	Oviglio	0.027		0.02	0.68				0.731
006130	Piovera	0.178	0.21		1.28			0.03	1.693
006131	Pomaro Monferrato	0.008	0.21	0.01	0.49		6.86		7.577
006132	Pontecurone	0.306	0.14	0.31	0.27	0.15		0.00	1.182
006138	Pozzolo Formigaro	0.052	0.08	0.00	0.78	0.06			0.981
006140	Predosa	0.017	0.14		0.27				0.427
006142	Quattordio	0.011	0.46		0.06				0.526
006144	Rivalta Bormida	0.013			0.06				0.069
006151	Sale	0.359	0.20		2.55				3.105
006161	Sezzadio	0.035		0.00	0.34				0.381
006163	Solero	0.142	0.14		0.86				1.137
006173	Ticineto	0.001			0.44	0.01	4.83	0.00	5.282
006174	Tortona	0.455	0.28	0.03	2.80				3.568

ISTAT	Comune	Barbabietola	Foraggiere avv.	Frutteti	Mais	Prato	Riso	Soia	Totale
006177	Valenza	0.042			0.41	0.13	0.03		0.607
006178	Valmacca				0.05	0.95	1.32		2.327
006181	Viguzzolo	0.041	0.02	0.04	0.13				0.234
006185	Villanova Monferrato	0.004	0.00		0.43	0.10	24.65		25.193
006188	Volpedo		0.03	0.38	0.01				0.418
096003	Benna		0.02		0.01				0.029
096004	BIELLA		0.03	0.00	0.10				0.126
096006	Borriana				0.03				0.025
096007	Brusnengo					0.00	1.16		1.166
096012	Candelo				0.04			0.00	0.040
096015	Castelletto Cervo				0.01	0.01	5.07	0.02	5.110
096016	Cavaglia'		0.26	0.10	0.63	0.33	3.76	0.02	5.090
096018	Cerrione				0.34	0.06	0.12	0.01	0.527
096020	Cossato		0.01		0.44	0.09	0.15	0.08	0.763
096025	Dorzano		0.00		0.04	0.00	0.32	0.03	0.399
096027	Giffenga				0.08		5.41	0.01	5.491
096031	Massazza				0.07		4.55	0.03	4.648
096032	Masserano					0.00	2.72		2.717
096037	Mottalciata				0.19	0.09	1.47	0.02	1.767
096040	Occhieppo Inferiore				0.02				0.018
096041	Occhieppo Superiore				0.02				0.020
096047	Ponderano							0.00	0.001
096054	Roppolo		0.00	0.01	0.05			0.00	0.066
096058	Salussola		0.04	0.00	0.40	0.14	24.10	0.06	24.738
096076	Verrone				0.12				0.121
096077	Vigliano Biellese		0.02	0.01	0.02				0.052
096079	Villanova Biellese				0.02	0.07	7.51	0.02	7.620
096080	Viverone		0.01	0.08	0.04	0.03		0.01	0.172
096082	Zubiena				0.00				0.004

APPENDICE 3

**Schede di metadocumentazione:
“Modello geometrico del sottosuolo”**

TIPOLOGIA DATASET: MODELLO GEOMETRICO DEL SOTTOSUOLO

Informazioni generali

Descrizione generale

Sono incluse in questa tipologia di dataset le descrizioni concernenti l'assetto stratigrafico del sottosuolo nel settore di pianura piemontese, finalizzate all'individuazione delle superfici di discontinuità dei complessi idrogeologici considerate dal modello numerico di simulazione del flusso nelle acque sotterranee.

Obiettivi di produzione:

Calibrazione del modello di simulazione integrata del sistema acquifero, valutazione delle riserve e delle risorse idriche sotterranee.

Uso

Ente: Regione Piemonte - Direzione Pianificazione delle Risorse Idriche

Uso: dato tematico di analisi

Data: dal 2003

Caratteristiche geometriche

Dati vettoriali

Primitive presenti: punti, linee

Documentazione aggiuntiva

Non disponibile

Dataset relazionati

1. Carta della base dell'acquifero superficiale (Regione Piemonte - Università degli Studi di Torino - 2002)
2. Punti di valutazione della base dei complessi acquiferi profondi in pressione (dataset di produzione originale)

Qualità

Dataset relazionato n° 1

Fonte: Regione Piemonte, Direzione Pianificazione Risorse Idriche, Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra; Convenzione “Identificazione del modello idrogeologico concettuale degli acquiferi di pianura e loro caratterizzazione”, Giugno 2002. Carta della base dell’acquifero superficiale.

Metodi di produzione: digitalizzazione dei punti stratigrafici con indicazione della quota dell’orizzonte basale delle falde superficiali

Data di rilevamento: 2002

Scala di rilevamento: 1:50.000

Ambito geografico: Settore di pianura alluvionale della Regione Piemonte

Organizzazione spaziale: isolinee con indicazione della quota assoluta dell’orizzonte basale del complesso delle falde superficiali; copertura numerica lineare, suddivisa su base provinciale.

Supporto: CD-Rom con basi dati

Qualità del supporto: ottima

Dataset relazionato n° 2

Fonte: Regione Piemonte, Direzione Pianificazione Risorse Idriche. Punti di valutazione della base dei complessi acquiferi profondi in pressione.

Metodi di produzione: digitalizzazione dei punti stratigrafici con indicazione della quota dell’orizzonte basale del complesso di falde profonde, mediante georeferenziazione di elaborati cartografici prodotti nel contesto di studi pregressi.

Data di rilevamento: 2002

Scala di rilevamento: 1:200.000

Ambito geografico: Settore di pianura alluvionale della Regione Piemonte

Organizzazione spaziale: punti di ubicazione dei sondaggi profondi con indicazione delle quote basali del complesso di falde profonde.

Supporto: CD-Rom con basi dati

Qualità del supporto: ottima

Estensione

Estensione spaziale

Min-max: 362829, 4908094 - 499599, 5068089

Estensione temporale

I dati sono acquisiti in un intervallo cronologico non precisabile, quantunque antecedente alla compilazione dei singoli dataset.

Descrizione dati

Per gli obiettivi di utilizzo nel contesto del modello numerico di simulazione idrogeologica i dataset originali sono organizzati in due distinte classi di coperture numeriche, in ambiente GIS basato sull'utilizzo di software ESRI ArcView 3.1.

Classe “base_falde_superficiali”

- distribuzione delle quote basali del complesso acquifero superficiale.

Classe “base_falde_profonde”:

- distribuzione delle quote dell' impermeabile di base del complesso di acquiferi profondi in pressione.

Classe “base_falde_superficiali”

Descrizione:

La copertura esprime il campo di distribuzione delle quote basali dell'acquifero superficiale, definite in seguito ad una specifica Convenzione attivata dalla Regione Piemonte - Direzione Pianificazione Risorse Idriche, a favore dell'Università degli Studi di Torino - Dipartimento di Scienze della Terra (giugno 2002).

In accordo a quanto riportato nella relazione a conclusione della Convenzione suddetta, si definisce come “falda superficiale” il complesso acquifero più prossimo alla superficie topografica che presenta le seguenti caratteristiche:

- è generalmente di tipo libero, anche se può presentare condizioni di confinamento locale;
- può essere raggiunto direttamente dalle acque di infiltrazione provenienti dalla superficie del suolo;
- è in diretta connessione con i corsi d'acqua.

Il criterio utilizzato per l'individuazione della superficie basale del complesso di acquiferi superficiali è di tipo misto litostratigrafico - idrogeologico, integrandolo ove possibile, con un criterio multiparametrico, ciò anche a causa della mancanza di sufficienti dati estesi a tutto il territorio di tipo chimico (a diverse profondità) e sul grado di confinamento delle falde e sulle reti di flusso”.

Si intende per “criterio litostratigrafico” la ricostruzione dell’assetto del sottosuolo mediante le stratigrafie di pozzi e sondaggi; esso si concretizza nell’individuazione di depositi fini (limoso-argillosi) sufficientemente spessi e continui dal punto di vista areale da separare idraulicamente l’acquifero superficiale da quelli profondi.

Si intende per “criterio idrogeologico” la modalità di differenziazione tra del complesso degli acquiferi superficiali in base:

- a) al grado di confinamento o meno delle falde sotterranee, valutabile attraverso rigorose prove di pompaggio in regime transitorio di fidato riscontro, in grado di definire in modo univoco la tipologia della falda sottoposta alla prova;
- b) alla definizione dei circuiti di flusso mediante una ricostruzione piezometrica tridimensionale delle reti di flusso.

Primitive geometriche: dati vettoriali lineari, esportati in un data-base di dati puntuali, necessario per la gestione dell’informazione nel modello numerico di simulazione del flusso in falda.

Attributi:

ITEM	Descrizione
Tipo	Tipologia di punto inserito nella copertura (cfr. campo “Fonte”)
Fonte	Fonte di provenienza del dato
UTM_Est	Coordinata metrica di georeferenziazione del pozzo
UTM_Nord	Coordinata metrica di georeferenziazione del pozzo
Elevation	Quota assoluta (m s.m.) della base del complesso acquifero superficiale

Classe “base_falde_profonde”

Descrizione:

La copertura esprime il campo di distribuzione delle quote basali del complesso di acquiferi profondi, definiti sulla base dei dati disponibili, relativi a stratigrafie di pozzi per ricerca di idrocarburi, indagini geofisiche ad elevata profondità, sezioni idrogeologiche regionali e carte strutturali reperite nel contesto di alcuni studi pregressi.

Si intende con la dizione di “complesso di acquiferi profondi” l’insieme dei circuiti di flusso in pressione, altimetricamente soggiacenti al complesso degli acquiferi superficiali nella zona di pianura piemontese.

Gli acquiferi profondi possono presentare condizioni di confinamento e di interconnessione variabili in funzione dello spessore e della continuità dei livelli impermeabili (in genere costituiti da limi e argille) che li separano.

In relazione alla moderata densità complessiva di punti di informazione stratigrafica relativa alla base degli acquiferi profondi in pressione, la copertura prodotta riveste un carattere orientativo, di affidabilità correlata alla densità locale dei medesimi.

La superficie basale degli acquiferi profondi regionali coincide, in dipendenza dalle condizioni litostrutturali locali:

- con il tetto dell’unità stratigrafica delle “Argille di Lugagnano” (Pliocene), laddove riconoscibili in base alle caratteristiche fossilifere (stratigrafie di pozzi per idrocarburi) o alle caratteristiche geofisiche (bassa resistività geoelettrica);
- con il substrato roccioso pre-pliocenico (sedimentario, metamorfo o igneo), laddove riconoscibile nelle perforazioni per ricerca idrica o in seguito alle indagini geofisiche eseguite in prossimità delle zone di affioramento pedemontano.

Per le finalità di sviluppo del modello numerico di simulazione del flusso in falda, in relazione alla disomogenea densità dei punti con dati significativi, sono stati introdotti una serie di punti fittizi aventi funzione di descrivere, seppure con largo margine di incertezza (ordine di grandezza pluridecimetico), la morfologia attesa del substrato impermeabile degli acquiferi regionali.

Tra i punti fittizi sono presenti le seguenti tipologie (cfr. ITEM “descrizione” nella tabella di attributi):

- punti riferiti alla quota di affioramento del substrato impermeabile regionale (soprattutto lungo le scarpate di terrazzo antico situate in destra idrografica del T.Stura di Demonte);

- punti riferiti alla quota presumibile del substrato impermeabile in settori di fondovalle alluvionale, in prossimità degli sbocchi vallivi nella pianura;
- punti riferiti a settori pedemontani o pedecollinari interposti tra gli sbocchi vallivi principali, prossimi alla zona di affioramento del substrato impermeabile;
- punti riferiti a linee di massimo approfondimento assiale delle principali strutture deposizionali profonde di età prequaternaria, riconosciute nella letteratura specialistica di settore e nella cartografia geologica ufficiale (Fogli 1:100.000 della Carta Geologica d'Italia, Modello Strutturale d'Italia - CNR);
- punti riferiti a settori identificati con la sigla "PB" nella Convenzione "Identificazione del modello idrogeologico concettuale degli acquiferi di pianura e loro caratterizzazione" (Giugno 2002) - Regione Piemonte, Direzione Pianificazione Risorse Idriche, Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra; le aree "PB" sono aree di pianura alluvionale con assenza di sistemi acquiferi profondi significativi, per effetto della presenza nel sottosuolo del substrato impermeabile a modeste profondità, in relazione a motivi tettonici di significato locale (platee erosionali sepolte);
- ulteriori punti fittizi, inseriti con la finalità di consentire, in fase di interpolazione areale, la corretta posizione altimetrica relativa della base del complesso acquifero superficiale rispetto alla base dei complessi acquiferi profondi (soprattutto in prossimità dei margini del bacino deposizionale di pianura).

Primitive geometriche: dati vettoriali puntuali

Attributi:

ITEM	Descrizione
Fonte	Fonte di provenienza del dato
Descrizione_punto	Specificazione delle caratteristiche del singolo punto di riferimento
UTM_Est	Coordinata metrica di georeferenziazione del pozzo
UTM_Nord	Coordinata metrica di georeferenziazione del pozzo
Elevation	Quota assoluta (m s.m.) della base del complesso acquifero profondo

APPENDICE 4

**Schede di metadocumentazione:
“Piezometria dell’acquifero”**

TIPOLOGIA DATASET: PIEZOMETRIA DEGLI ACQUIFERI

Informazioni generali

Descrizione generale

Sono inclusi in questa tipologia di dataset i dati funzionali alla definizione del campo di moto della falda superficiale e, laddove disponibili, degli acquiferi profondi, acquisiti dai piezometri con registrazione automatica e mediante misure periodiche di livello nei pozzi di controllo.

Obiettivi di produzione:

Calibrazione del modello di simulazione integrata del sistema acquifero, analisi delle direzioni di deflusso sotterraneo a livello regionale, stima della vulnerabilità dell'acquifero superficiale.

Uso

Ente: Regione Piemonte - Direzione Pianificazione delle Risorse Idriche

Uso: dato tematico di analisi

Data: dal 2003

Caratteristiche geometriche

Dati vettoriali

Primitive presenti: punti

Documentazione aggiuntiva

Dataset relazionati

3. Progetti PRISMAS I, II, Tanaro - Piezometria di riferimento dell'acquifero freatico regionale (Regione Piemonte, Università di Torino)

Qualità

Dataset relazionato n° 1

Fonte: Regione Piemonte, Direzione Pianificazione Risorse Idriche, Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra.

Metodi di produzione: sintesi dei dati relativi alle linee isopiezometriche definite nei progetti PRISMASI, PRISMASII, TANARO, previa interpolazione dei dati di livello freatico acquisiti nei punti della rete di monitoraggio.

Data di rilevamento: 1999-2001

Scala di rilevamento: 1:10.000

Ambito geografico: settore di pianura piemontese

Organizzazione spaziale: copertura di dati lineari

Supporto: CD-ROM

Qualità del supporto: ottima

Estensione

Estensione spaziale

Min-max: 347368, 4909431 - 498052, 5109653

I dati coprono in massima parte la zona di pianura, in qualche caso estendendosi nelle maggiori vallate alpine e nel settore di anfiteatro morenico lungo la sponda piemontese del Lago Maggiore.

Estensione temporale

I dati di livello freatico sono acquisiti nell'intervallo cronologico corrispondente all'attivazione dei progetti PRISMASI, PRISMASII, TANARO (1999-2001).

Descrizione dati

Per gli obiettivi di utilizzo nel contesto del modello numerico di simulazione idrogeologica i dataset originali sono stati riorganizzati in due distinte classi di coperture numeriche, in ambiente GIS basato sull'utilizzo di software ESRI ArcView 3.1.

Classe “piezometria_acq_superficiale”

- distribuzione delle quote piezometriche nell'acquifero freatico regionale di pianura.

Classe “piezometria_acq_profondo_at”:

- distribuzione delle quote piezometriche nell'acquifero in pressione compreso tra l'Altopiano di Poirino e il bacino Astigiano Occidentale.

Classe “piezometria_acq_superficiale”

Descrizione:

La copertura esprime il campo di distribuzione delle quote isopiezometriche dell’acquifero a superficie libera regionale. Gli elementi di base per definire il campo di moto sono dedotti dall’integrazione di differenti basi-dati:

- il dataset relazionato n°1, prodotto dalla Regione Piemonte sulla base dell’unione delle linee isopiezometriche, a loro volta derivanti dall’interpolazione delle misure freaticmetriche nella rete di controllo dei pozzi identificati nel progetto PRISMAS (429 punti), integrate dalla stima delle quote d’alveo (348 punti) e da 22 punti virtuali;
- le quote di fondo degli alvei, introdotte nelle sezioni trasversali del modello di simulazione idraulica MIKE11, sottoposte a procedura di analisi comparativa con le quote del DTM della Regione Piemonte con maglia a 50 metri, per verificare la congruenza altimetrica reciproca dei due dataset;
- i valori medi delle serie freaticmetriche acquisite nelle stazioni della rete piezometrica automatica della Regione Piemonte;
- i valori medi delle serie freaticmetriche acquisite nelle stazioni della rete piezometrica automatica gestita dalla Provincia di Torino, relativa ai principali siti di scarica;
- l’integrazione del dataset relazionato n°1, eseguita digitalizzando (previa opportuna georeferenziazione) le carte piezometriche reperite in alcuni studi pregressi, concernenti porzioni marginali dell’acquifero regionale nei settori pedemontani del cuneese, torinese e Verbano.

Rispetto ai dataset precedenti, si sottolinea il considerevole grado di congruenza della base-dati così organizzata con gli elementi di base del SITAD (Sistema Informativo Territoriale Ambientale Diffuso) della Regione Piemonte, nonché con altre applicazioni idroinformatiche operative presso la Sala Situazione Rischi Naturali del CSI (modello di previsione della propagazione delle piene, descrizione geometrica del reticolo idrografico).

Primitive geometriche: dati vettoriali puntuali

Attributi:

ITEM	Descrizione
Fonte	Fonte di provenienza del dato
Codice	Codifica del punto nella fonte di provenienza
UTM_Est	Coordinata metrica di georeferenziazione del pozzo
UTM_Nord	Coordinata metrica di georeferenziazione del pozzo
Piezo_head	Altezza piezometrica dell’acquifero a superficie libera (m s.m.)

Classe “piezometria_acq_profondo_at”

Descrizione:

La copertura esprime il campo di distribuzione delle quote isopiezometriche dell'acquifero in pressione, ospitato nei depositi della serie marina e di transizione Pliocenico-Villafranchiana del bacino compreso tra il settore dell'Altopiano di Poirino e l'Astigiano Occidentale.

Le quote isopiezometriche dell'acquifero in pressione, marcatamente differenziate da quelle del sovrastante acquifero a superficie libera (presente soltanto localmente in questo settore), sono state digitalizzate previa georeferenziazione della “Carta Piezometrica della Falda Profonda” riportata nella Figura 9.4 - scala 1:200.000 di cui all’ “Indagine sulla razionalizzazione dei prelievi di acque sotterranee nel settore occidentale della Provincia di Asti (località Valle Maggiore)” (Convenzione Provincia di Asti - Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra, 1996).

Sono state utilizzate per la ricostruzione piezometrica di questo settore di acquifero in pressione alcune decine di punti.

Primitive geometriche: dati vettoriali puntuali

Attributi:

ITEM	Descrizione
Fonte	Fonte di provenienza del dato
UTM_Est	Coordinata metrica di georeferenziazione del pozzo
UTM_Nord	Coordinata metrica di georeferenziazione del pozzo
Piezo_head	Altezza piezometrica dell'acquifero a superficie libera (m s.m.)

APPENDICE 5

**Schede di metadocumentazione:
“Parametri idrodinamici degli acquiferi”**

TIPOLOGIA DATASET: PARAMETRI IDRODINAMICI DEGLI ACQUIFERI

Informazioni generali

Descrizione generale

Sono inclusi in questa tipologia di dataset i risultati delle elaborazioni di prove di pompaggio e di pozzo, finalizzate a rappresentare la variazione spaziale (in senso orizzontale e verticale) dei parametri idrodinamici e di produttività idrica delle captazioni di acque sotterranee nei macro-complessi idrogeologici riferibili al complesso delle falde superficiali e al complesso delle falde profonde (in pressione).

Obiettivi di produzione:

Calibrazione del modello di simulazione integrata del sistema acquifero, stima della produttività idrica dei complessi idrogeologici.

Uso

Ente: Regione Piemonte - Direzione Pianificazione delle Risorse Idriche

Uso: dato tematico di analisi

Data: dal 2003

Caratteristiche geometriche

Dati vettoriali

Primitive presenti: punti

Documentazione aggiuntiva

--

Dataset relazionati

4. Catasto delle Utenze Idriche - Prelievi da acque sotterranee (Autorità di Bacino del F.Po - 1995)
5. Progetti PRISMAS I, II, Tanaro - Archivio dei parametri idrodinamici degli acquiferi (Regione Piemonte, Università di Torino)
6. Archivio informatizzato dei risultati delle prove di pompaggio realizzate negli studi per la determinazione delle zone di rispetto dei pozzi idropotabili (dataset di produzione originale).

Qualità

Dataset relazionato n° 1

Fonte: Autorità di Bacino del F.Po

Metodi di produzione: digitalizzazione dei pozzi con autorizzazione alla ricerca, a partire da stralci tavolette IGM; compilazione di database con dati amministrativi e tecnici

Data di rilevamento: 1996

Scala di rilevamento: 1:25.000

Ambito geografico: settore di pianura piemontese

Organizzazione spaziale: copertura di dati puntuali

Supporto: CD-ROM

Qualità del supporto: ottima

Dataset relazionato n° 2

Fonte: Regione Piemonte

Metodi di produzione: acquisizione di dati provenienti da prove di pompaggio e costituzione di tabelle descrittive dei parametri idrodinamici, relativi a pozzi georeferenziati

Data di rilevamento: 2000-2002

Scala di rilevamento: 1:50.000

Ambito geografico: territorio regionale di pianura

Organizzazione spaziale: suddivisione per aree di competenza dei progetti PRISMASI, PRISMASII, Tanaro.

Supporto: CD-ROM con basi-dati

Qualità del supporto: ottima

Dataset relazionato n°3

Fonte: Regione Piemonte, Direzione Pianificazione delle Risorse Idriche, Disciplina dei Servizi Idrici - Opere Fognarie, di Depurazione ed Acquedottistiche

Metodi di produzione: consultazione documentazione tecnica annessa alle pratiche di definizione delle zone di rispetto dei pozzi idropotabili.

Data di rilevamento: 2002

Scala di rilevamento: 1:10.000

Ambito geografico: Regione Piemonte, territorio di pianura e principali ambiti vallivi

Organizzazione spaziale: estratti delle sezioni della C.T.R.

Supporto: dati originali archiviati in relazioni tecniche su supporto cartaceo

Qualità del supporto: buona

Estensione

Estensione spaziale

Min-max: 347368, 4909431 - 498052, 5109653

I dati coprono in massima parte la zona di pianura, in qualche caso estendendosi nelle maggiori vallate alpine e lungo la sponda piemontese del Lago Maggiore.

Estensione temporale

I dati sono acquisiti in un intervallo cronologico non precisabile, quantunque antecedente alla compilazione dei singoli dataset.

Descrizione dati

Per gli obiettivi di utilizzo nel contesto del modello numerico di simulazione idrogeologica i dataset originali sono stati riorganizzati in due distinte classi di coperture numeriche, in ambiente GIS basato sull'utilizzo di software ESRI ArcView 3.1.

Classe “par_idro_welltest”

- distribuzione dei parametri idrodinamici degli acquiferi e di produttività idrica, dedotti in base ai dati di portata specifica dei pozzi.

Classe “par_idro_aquifertest”:

- distribuzione dei parametri idrodinamici degli acquiferi e di produttività idrica, dedotti in base ai risultati di prove di pompaggio.

Classe “par_idro_welltest”**Descrizione:**

La copertura esprime il campo di distribuzione dei parametri idrodinamici atti a definire la funzione conduttrice¹ dell'acquifero (trasmissività, conducibilità idraulica), dedotti in base ai dati di portata specifica dei pozzi, riportati nelle basi-dati di provenienza.

I parametri fondamentali atti a definire la capacità trasmissiva dell'acquifero sono tra loro legati dalla relazione

$$K = T/H$$

in cui:

K = conducibilità idraulica dell'acquifero (m/s)

T = trasmissività dell'acquifero (m²/s)

H = spessore dell'acquifero (m)

La trasmissività dell'acquifero è stata dedotta in base alla correlazione tra portata specifica dei pozzi (Qsp) e trasmissività dell'acquifero², derivata dall'equazione di Thiem, che nel caso degli acquiferi confinati e semiconfinati assume l'espressione

$$T = 1.2 * Q_{sp}$$

corrispondente negli acquiferi a superficie libera alla

$$T = Q'_{sp}$$

dove con Q'sp ci si riferisce alla portata specifica calcolata introducendo l'abbassamento dinamico in asse pozzo (s') corretto secondo la relazione di Jacob:

¹ G.Castany: “Idrogeologia. Principi e Metodi”. Libreria D.Flaccovio Editrice, 1982.

² A.Di Molfetta: “Determinazione della trasmissività degli acquiferi mediante correlazione con la portata specifica”. IGEA - Ingegneria e Geologia degli Acquiferi n°1-1992. pp81-86

$$s' = s - s^2/2H$$

La distinzione tra i pozzi filtrati in falda superficiale da quelli filtrati in falde in pressione è stata operata confrontando la profondità di ciascun pozzo con le classi di profondità della superficie basale dell'acquifero superficiale, definite in seguito ad una specifica Convenzione attivata dalla Regione Piemonte - Direzione Pianificazione Risorse Idriche, a favore dell'Università degli Studi di Torino - Dipartimento di Scienze della Terra (giugno 2002).

In assenza di una sistematica disponibilità di dati in ordine all'effettiva lunghezza degli orizzonti acquiferi dalle captazioni identificate nei dataset originali, per la stima della grandezza H - spessore dell'acquifero - è stato convenzionalmente adottato un coefficiente moltiplicativo della profondità totale del pozzo pari a 0.3 per i pozzi approfonditi nel complesso acquifero superficiale e pari a 0.2 per i pozzi nel complesso acquifero in pressione e di tipo misto.

Il valore di questo coefficiente, al quale viene associato un significato medio statistico, è stato ottenuto previa analisi statistica di 125 pozzi per i quali si dispone di una completa ed accurata conoscenza delle caratteristiche tecniche di completamento.

La portata specifica dei pozzi, parametro correlato con la produttività idrica delle captazioni di acque sotterranee, varia in funzione sia delle caratteristiche dell'acquifero sfruttato, sia del grado di efficienza dei pozzi stessi, a sua volta correlato alla tecnica di completamento e ai materiali utilizzati nella colonna filtrante e nel dreno.

La portata specifica è infatti espressa dalla relazione:

$$Q_{sp} = Q / s$$

in cui

Q_{sp} = portata specifica (l/s*m)

Q = portata di riferimento del pozzo (l/s)

s = abbassamento in asse pozzo (m) determinato dall'emungimento della portata Q .

In linea teorica, per applicare la correlazione tra portata specifica e trasmissività, occorre riferirsi alle curve portate/abbassamenti che sintetizzano i risultati delle prove a gradini di portata normalmente eseguite in fase di collaudo dei pozzi di nuova realizzazione, selezionando le coppie di valori portate-abbassamenti per le quali risultano minime le perdite di carico legate alla componente non laminare del deflusso.

Nel caso specifico, utilizzando dataset riferiti al contesto regionale, relativi a svariate centinaia di pozzi, si è fatto riferimento a valori di portata specifica dedotti da una generica coppia di valori portata-abbassamento dinamico, ottenendo un valore di portata specifica indicativo, utilizzando il quale normalmente si ottiene un valore di trasmissività sottostimato rispetto a quello reale.

Tale valore assume un significato di primo orientamento, valido ai fini di una caratterizzazione su scala regionale, per una prima stima dell'ordine di grandezza della trasmissività e della conducibilità idraulica degli acquiferi.

Primitive geometriche: dati vettoriali puntuali

Attributi:

ITEM	Descrizione
Comune	Ambito di pertinenza amministrativa del pozzo
Codice_old	Eventuale codifica del pozzo nel dataset di provenienza
UTM_Est	Coordinata metrica di georeferenziazione del pozzo
UTM_Nord	Coordinata metrica di georeferenziazione del pozzo
Profondità pozzo (m)	Profondità del pozzo dichiarata nel dataset di provenienza (m da p.c.)
Base_l_acquifero (m)	Classe di profondità della base dell'acquifero superficiale (m da p.c.)
Complesso_acquifero	Complesso acquifero regionale, in accordo alla differenziazione corrente
Spessore (m)	Spessore indicativo della serie acquifera sfruttata dal pozzo (m)
Qsp (l/s/m)	Portata specifica del pozzo, indicata nel dataset di provenienza (l/s/m)
T (mq/s)	Trasmissività stimata per correlazione con il valore di portata specifica
K (m/s)	Conducibilità idraulica, calcolata dal rapporto tra trasmissività e spessore dell'acquifero
Fonte	Fonte di provenienza del dato

Classe “par_idro_aquifertest”

Descrizione:

La copertura esprime il campo di distribuzione dei parametri idrodinamici atti a definire la funzione conduttrice dei complessi acquiferi (trasmissività, conducibilità idraulica), e la funzione capacitiva³ (porosità efficace, coefficiente di immagazzinamento), dedotti in base ai risultati di prove di pompaggio sui pozzi idropotabili, nella fase di studi finalizzati alla definizione delle zone di rispetto ai sensi della L.R. 22/96.

Primitive geometriche: dati vettoriali puntuali

³ G.Castany: “Idrogeologia. Principi e Metodi”. Libreria D.Flaccovio Editrice, 1982.

Attributi:

ITEM	Descrizione
Comune	Ambito di pertinenza amministrativa del pozzo
Codice	Eventuale codifica del pozzo nel dataset di provenienza
UTM_Est	Coordinata metrica di georeferenziazione del pozzo
UTM_Nord	Coordinata metrica di georeferenziazione del pozzo
Nome_pozzo	Denominazione del punto di prelievo nel dataset di provenienza
Localita	Località di posizione del pozzo
Profondita	Profondità del pozzo desumibile da stratigrafie o relazioni tecniche (m da p.c.)
Lunghezza filtri (m)	Lunghezza totale dei tratti filtrati (m)
Complesso acquifero	Complesso acquifero regionale, in accordo alla differenziazione corrente
Qsp (l/s/m)	Portata specifica del pozzo, indicata nelle relazioni tecniche (l/s/m)
T (mq/s)	Trammissività stimata per correlazione con il valore di portata specifica
K (m/s)	Conducibilità idraulica, calcolata dal rapporto tra trammissività e spessore dell'acquifero
Sy	Coefficiente di immagazzinamento (-)
Ne	Porosità efficace (-)
Fonte	Fonte di provenienza del dato
Tipologia acquifero	Ulteriore specificazione della tipologia di acquifero (idraulica o idrogeologica)

APPENDICE 6

**Schede di metadocumentazione:
“Prelievi da falda”**

TIPOLOGIA DATASET: PRELIEVI DA FALDA

Informazioni generali

Descrizione generale

Sono inclusi in questa tipologia di dataset i dati relativi ai prelievi dagli acquiferi tramite pozzi, valutati a partire dai catasti delle utenze da acque sotterranee disponibili presso la Regione Piemonte.

Obiettivi di produzione:

Analisi degli impatti del prelievo da pozzi sul regime del sistema idrogeologico.

Uso

Ente: Regione Piemonte - Direzione Pianificazione delle Risorse Idriche

Uso: dato tematico di analisi

Data: dal 2003

Caratteristiche geometriche

Dati vettoriali

Primitive presenti: punti, poligoni

Documentazione aggiuntiva

--

Dataset relazionati

7. Archivio informatizzato delle autodenunce pervenute alla Regione Piemonte - Direzione Pianificazione Risorse Idriche - compilate dai proprietari di pozzi, ai sensi del D. Lgs. 267/93.

Qualità

Dataset relazionato n° 1

Fonte: Regione Piemonte, Direzione Pianificazione Risorse Idriche.

Metodi di produzione: informatizzazione delle autodenunce compilate in forma cartacea dagli utenti di acque sotterranee.

Data di rilevamento: 2002

Scala di rilevamento: dato non georiferito

Ambito geografico: territorio regionale piemontese

Organizzazione spaziale: dati riferiti all'ambito amministrativo comunale

Supporto: CD-ROM

Qualità del supporto: ottima

Estensione

Estensione spaziale

I dati sono riferiti all'intero territorio piemontese.

Estensione temporale

I dati relativi alle autodenunce sono relativi alle pratiche pervenute presso le Amministrazioni Provinciali e Regionali successivamente all'entrata in vigore del D. Lgs. 267/93.

Descrizione dati

Per gli obiettivi di utilizzo nel contesto del modello numerico di simulazione idrogeologica e per le valutazioni di bilancio i dataset originali sono stati riorganizzati in due distinte classi di coperture numeriche, in ambiente GIS basato sull'utilizzo di software ESRI ArcView 3.1.

Classe "prelievi industriali"

- distribuzione dei volumi di prelievo su base comunale riferiti agli usi industriali.

Classe "piezometria_acq_profondo_at":

- distribuzione dei volumi di prelievo su base comunale riferiti agli usi irrigui.

Classe "prelievi industriali"

Descrizione:

La copertura esprime la distribuzione areale dei prelievi industriali, riferiti ad un ambito di aggregazione su scala comunale. La stima dei volumi di prelievo per usi industriali da acque sotterranee su base annua deriva da un'analisi riferita separatamente a differenti basi-dati conoscitive, nell'ottica di pervenire ad una quantificazione di riferimento orientativo, in assenza di una procedura consolidata di periodica acquisizione dei dati rilevati dai contatori installati sulle singole captazioni.

Sono considerati a tal fine i seguenti elementi informativi di base:

- Archivio informatizzato delle autodenunce dei pozzi, ai sensi del D. Lgs. 267/93.
- Addetti nel settore industriale, distinti per tipologia di attività economica per Comune (imprese registrate alla CCIAA).
- Consumi idrici specifici delle industrie idroesigenti (ISTAT).
- Archivio informatizzato dei pozzi censiti nella Convenzione tra Regione Piemonte e Politecnico di Torino "Attività ricognitiva finalizzata al contenimento dei prelievi di acque sotterranee" nell'area metropolitana torinese (2000).

L'analisi dell'archivio informatizzato delle autodenunce dei pozzi, eseguita contestualmente alle attività di fase I del presente progetto, fornisce un elemento di valutazione della consistenza - a livello di ordine di grandezza - del numero di punti di prelievo da acque sotterranee, attestato intorno a circa 193.000 unità, relativamente ai quali è disponibile il seguente profilo conoscitivo:

- numero progressivo del titolare
- numero progressivo della captazione
- comune di localizzazione della captazione
- località di localizzazione della captazione
- stato di attività/inattività del pozzo
- portata massima dichiarata
- profondità del pozzo
- tipo di profondità del pozzo (misurata, stimata)
- idoneità del pozzo ai fini dell'esecuzione di misure piezometriche
- presenza di strumenti di misurazione della portata
- descrizione delle modalità di emungimento
- disponibilità della stratigrafia
- utilizzo domestico
- utilizzo irriguo
- utilizzo idropotabile
- utilizzo zootecnico
- utilizzo industriale
- utilizzo igienico-sanitario
- utilizzo antincendio
- utilizzo piscicolo
- utilizzo alimentare

- altri tipi di utilizzo
- utilizzo non identificato.

Per le finalità di stima del bilancio idrogeologico degli acquiferi, si è ritenuto particolarmente significativo estrarre dal dataset suddetto i pozzi adibiti ad utilizzo industriale, per i quali risultassero soddisfatti i seguenti requisiti minimali nell'Archivio Informatizzato:

- condizione di attività
- condizioni di esercizio con sollevamento dell'acqua non manuale
- disponibilità del dato relativo alla portata di esercizio.

Adottando tali criteri di filtraggio dei dati originali, si è proceduto all'aggregazione dei records su base comunale, ottenendo una consistenza complessiva di 2817 punti di prelievo, ripartiti nelle 8 provincie della Regione Piemonte.

La portata complessiva deducibile dal dataset, risultante dalla sommatoria dei valori di portata massima dichiarati nelle autodenunce, ammonta complessivamente a 47,220 m³/s; non sono disponibili informazioni relative al numero di ore annue di funzionamento dei pozzi, né ai volumi effettivamente emunti su base annua.

Il dato complessivo ottenuto su scala regionale è stato verificato - su scala locale - con le indicazioni di maggiore dettaglio acquisite nello studio relativo all'area metropolitana torinese (Regione Piemonte e Politecnico di Torino: "Attività ricognitiva finalizzata al contenimento dei prelievi di acque sotterranee"), relativo a 23 comuni, per i quali risulta una potenzialità di prelievo complessiva da pozzi adibiti ad uso esclusivamente industriale pari a 12,7 m³/s.

Per i 23 comuni ricadenti nell'area metropolitana, ai quali è associata una potenzialità di prelievo da pozzi industriali pari al 26% del valore totale regionale, il dataset delle autodenunce dei pozzi industriali indica una portata complessiva estraibile di 12,3 m³/s: si tratta di un valore in ottimo accordo con quello fornito nello studio di dettaglio suddetto, che indica la sostanziale validità della base-dati di riferimento regionale utilizzata per le valutazioni in questione.

Dalla moltiplicazione dei valori di consumo idrico specifico delle industrie idroesigenti per il numero di addetti su base comunale nel settore industriale, distinti per 23 tipologie di attività economica secondo la classificazione ATECO 2002 (Gruppo D - Attività Manifatturiere), si sono ottenuti i corrispondenti volumi di consumo medio annuo.

L'aggregazione dei volumi suddetti su base provinciale e regionale fornisce un indice di consumo globale pari a 530 Milioni di metri cubi annui.

In relazione al computo di un volume di derivazione da acque superficiali ipotizzato - sulla base dei dati forniti dal Catasto delle Utenze Idriche da Acque Superficiali della Regione Piemonte - di circa

100 Milioni di metri cubi annui Mm^3 /anno, si ottiene una stima complessiva di prelievo ad usi industriali da acque sotterranee di circa 430 Mm^3 /anno.

Il dato è coerente con l'indicazione fornita dal Piano - Direttore delle Risorse Idriche, nel quale è riportata una stima di "oltre 400 Mm^3 /anno" emunti da pozzi per uso industriale.

La calibrazione reciproca dei dati di prelievo da acque sotterranee per uso industriale stimati

- a) a partire dai consumi idrici specifici delle industrie idroesigenti
- b) a partire dalle portate indicate nel catasto delle autodenunce dei pozzi

consente di individuare un tempo di utilizzo medio dei pozzi alle portate di cui in (b) pari a circa 10 ore/giorno per 250 giorni/anno.

Dal prodotto di questo tempo medio di utilizzo per la portata massima complessiva estraibile istantaneamente dai pozzi si ottiene infatti un valore di 425 Mm^3 /anno, del tutto affine al dato dedotto con il metodo dei consumi idrici specifici per addetti nelle industrie idroesigenti di cui al punto a) - 430 Mm^3 /anno.

Ad ulteriore riprova della validità delle assunzioni compiute nella stima dei prelievi industriali, sono stati analizzati i dati di autodenuncia dei volumi di approvvigionamento idrico autonomo delle attività manifatturiere della Provincia di Cuneo, censiti dall'Ufficio Tutela Ambiente e riferiti al decennio 1991-2000.

Riferendosi ai soli volumi estratti da acque sotterranee, si ottiene un valore medio su base provinciale per tale decennio di circa 74 Mm^3 /anno, a fronte dei 72 Mm^3 /anno ottenuti con le stime basate sui consumi idrici unitari.

Primitive geometriche: dati vettoriali poligonali

Attributi:

ITEM	Descrizione
Istat	Codice amministrativo ISTAT del comune
First_topo	Nome del comune
Unknown	Portata in l/s estraibile da pozzi di profondità non specificata
Z_25	Portata in l/s estraibile da pozzi con profondità inferiore o uguale a 25 m
Z_50	Portata in l/s estraibile da pozzi con profondità da 25 a 50 m
Z_100	Portata in l/s estraibile da pozzi con profondità da 50 a 100 m
Z100	Portata in l/s estraibile da pozzi con profondità superiore a 100 m
Totale_com	Portata complessivamente estraibile su base comunale (l/s)
Vol_annuo_Mmc	Volume annuo complessivamente estraibile su base comunale (Mmc/anno)

Classe “prelievi irrigui”

Descrizione:

La copertura esprime la distribuzione areale dei prelievi irrigui da falda, riferiti ad un ambito di aggregazione su scala comunale.

E' stato elaborato a tal fine l'Archivio informatizzato delle autodenunce dei pozzi, ai sensi del D. Lgs. 267/93.

Per le finalità di stima del bilancio idrogeologico degli acquiferi, si è ritenuto particolarmente significativo estrarre dal dataset suddetto i pozzi adibiti ad utilizzo irriguo, per i quali risultassero soddisfatti i seguenti requisiti minimali nell'Archivio informatizzato:

- condizione di attività
- condizioni di esercizio con sollevamento dell'acqua non manuale
- disponibilità del dato relativo alla portata di esercizio.

Adottando tali criteri di filtraggio dei dati originali, si è proceduto all'aggregazione dei records su base comunale, ottenendo una consistenza complessiva di 15817 punti di prelievo, ripartiti nelle 8 provincie della Regione Piemonte.

La portata complessiva deducibile dal dataset, risultante dalla sommatoria dei valori di portata massima dichiarati nelle autodenunce, ammonta complessivamente a 419.21 m³/s; non sono disponibili nell'Archivio Informatizzato informazioni relative al numero di ore annue di funzionamento dei pozzi, né ai volumi effettivamente emunti su base annua.

Questi elementi sono stati pertanto fissati sulla base delle indagini eseguite nel corso di studi precedenti di letteratura, riferiti alle zone nelle quali il prelievo di acque irrigue da falda risulta più consistente, in particolare nella pianura cuneese.

I volumi stagionali di prelievo sono stati identificati moltiplicando la portata massima totale su base comunale, espressa come sommatoria dei singoli pozzi, per un numero medio orientativo di ore di funzionamento annuale di 250 ore.

Per fornire un'ulteriore indicazione dell'effettiva potenzialità di prelievo su base comunale, la portata complessivamente estraibile da pozzi irrigui è stata riferita alla superficie agricola utile, ottenendo quindi una densità di prelievo potenziale espressa in litri al secondo per ettaro, che consente un'agevole visualizzazione dell'incidenza del prelievo da acque sotterranee per scopi agricoli.

Primitive geometriche: dati vettoriali poligonali

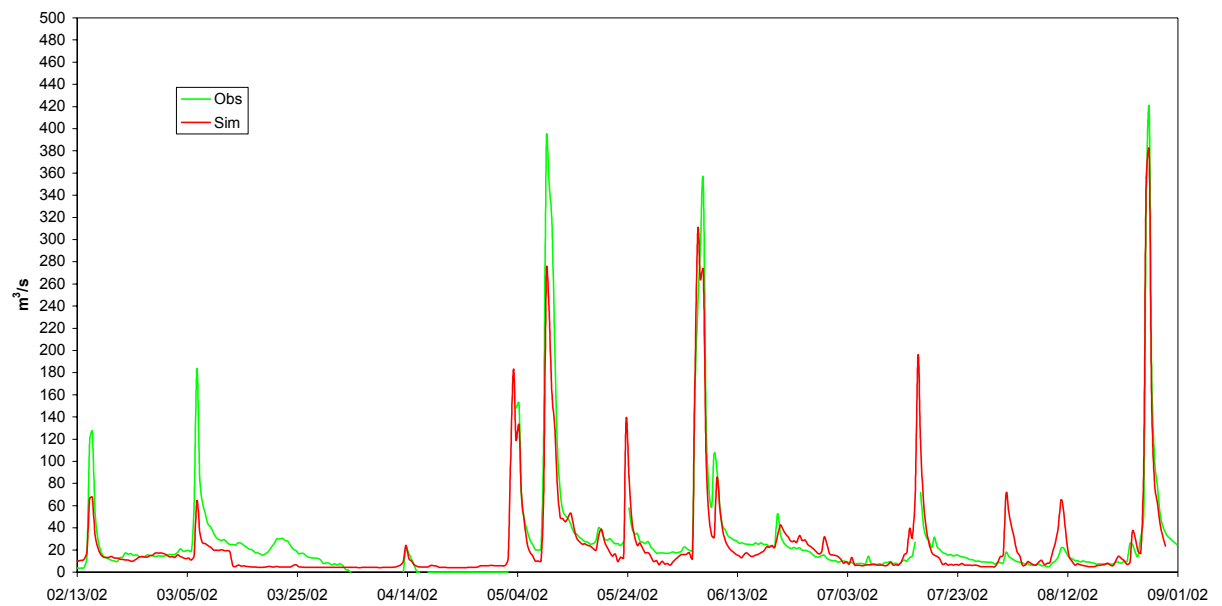
Attributi:

ITEM	Descrizione
Istat	Codice amministrativo ISTAT del comune
First_topo	Nome del comune
Unknown	Portata in l/s estraibile da pozzi di profondità non specificata
Z_25	Portata in l/s estraibile da pozzi con profondità inferiore o uguale a 25 m
Z_50	Portata in l/s estraibile da pozzi con profondità da 25 a 50 m
Z_100	Portata in l/s estraibile da pozzi con profondità da 50 a 100 m
Z100	Portata in l/s estraibile da pozzi con profondità superiore a 100 m
Totale_com	Portata complessivamente estraibile su base comunale (l/s)
Sup_agr_ut	Superficie agricola utilizzabile, su base comunale (ha)
Dens_prel	Densità di prelievo da pozzi irrigui (portata totale/sup.agr.ut.), l/s/ha
Vol_annuo_Mmc	Volume annuo complessivamente estraibile su base comunale (Mmc/anno)

APPENDICE 7

**Calibrazione delle componenti di flusso nel
modello di simulazione: idrogrammi di portata.**

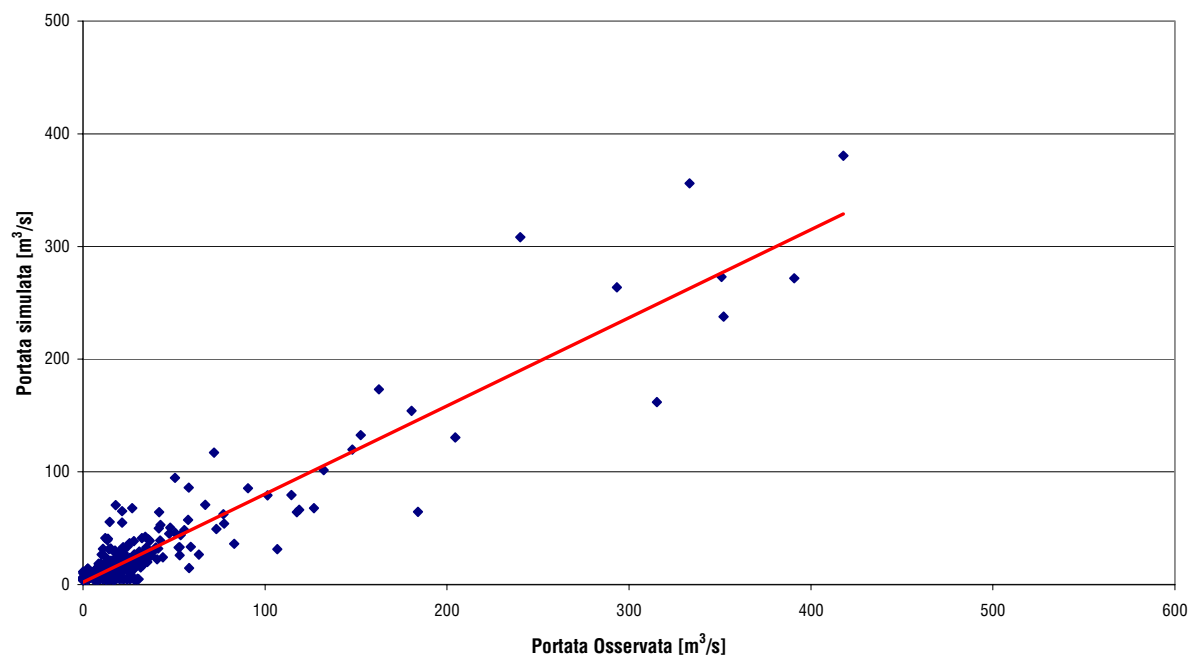
Stura Di Lanzo - chainage 60,337.5 m

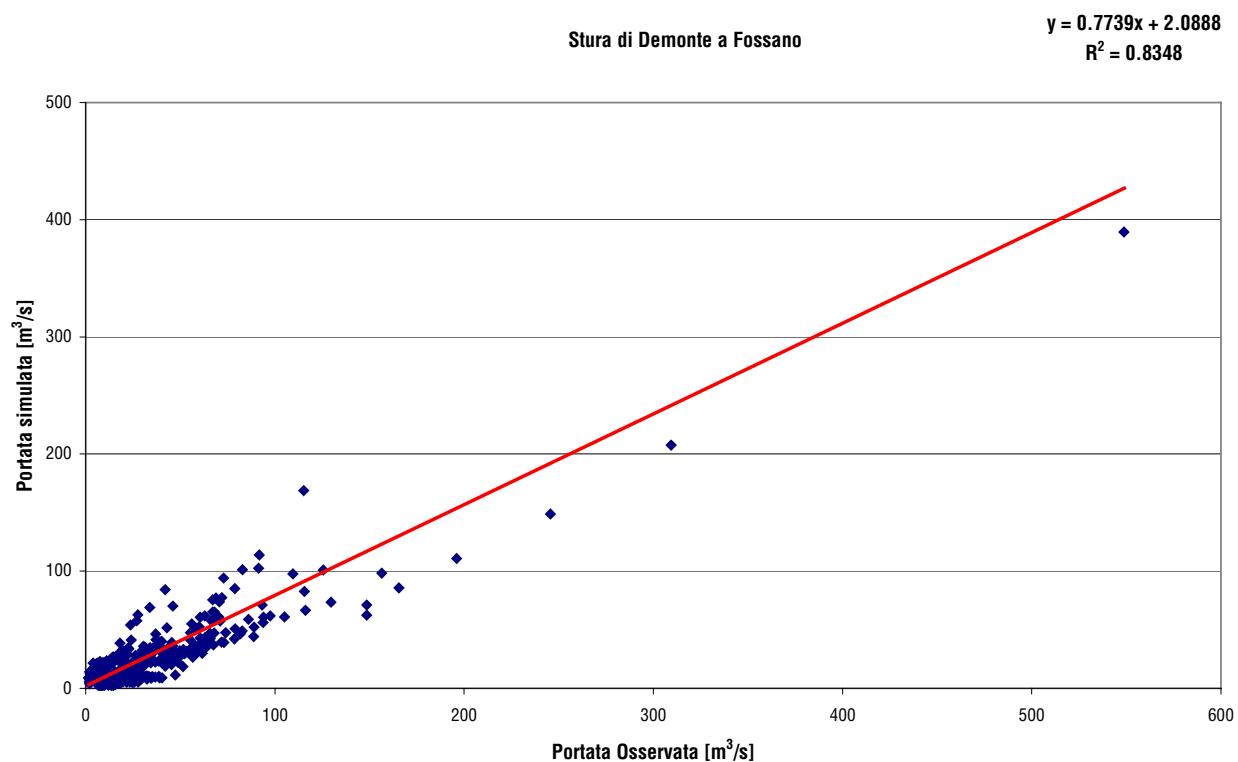
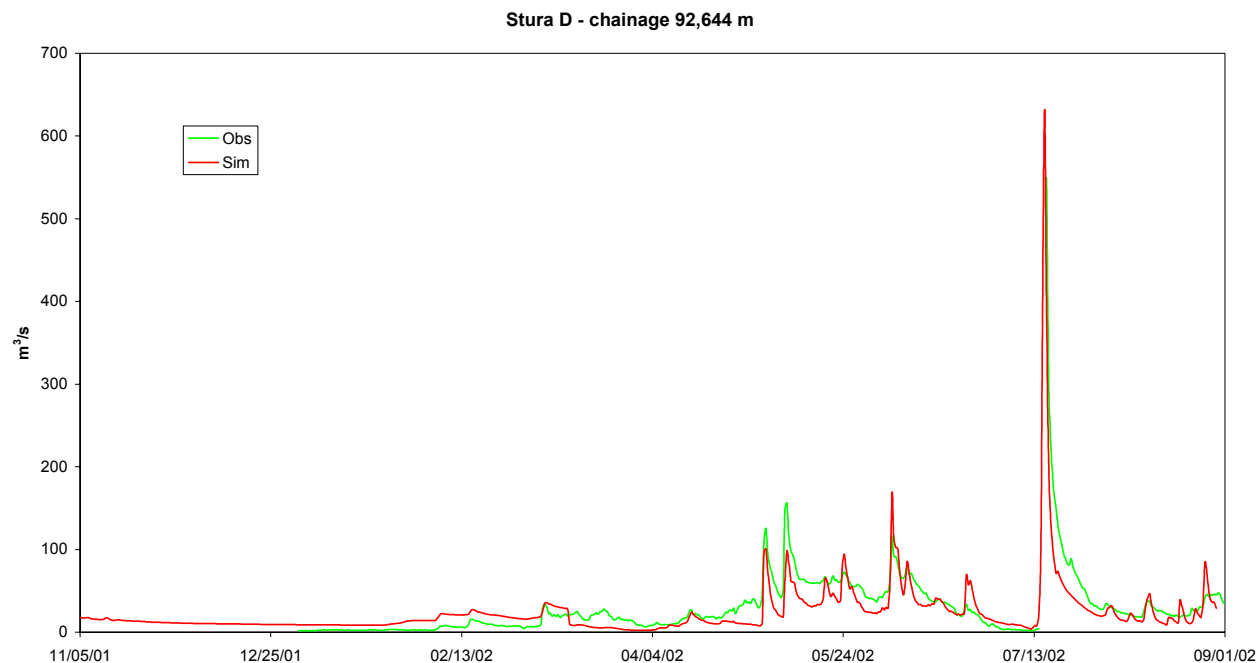


Stura di Lanzo a Torino

$$y = 0.7816x + 2.2362$$

$$R^2 = 0.8773$$

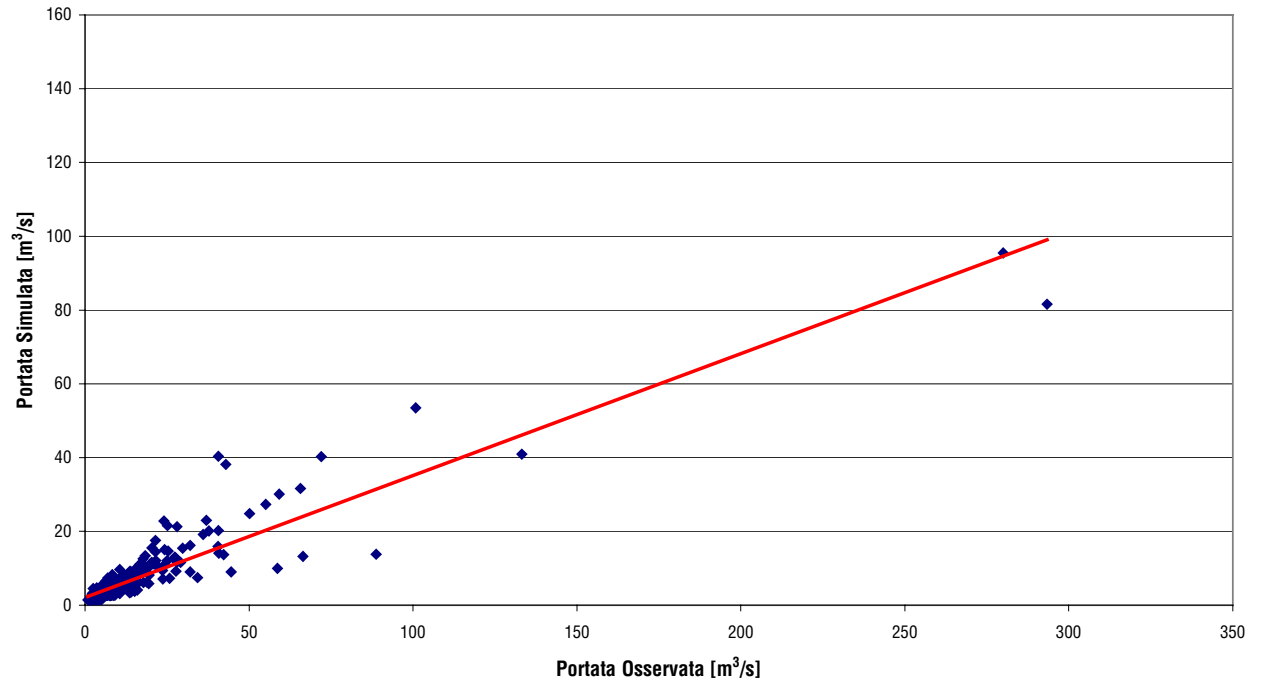




T.Elvo a Carisio

$$y = 0.3306x + 2.0786$$

$$R^2 = 0.8511$$



Elvo - chainage 32,385.5 m

