

L'acquifero alluvionale della piana costiera del Fiume Roja a Ventimiglia: definizione del modello concettuale

Fausto Capacci, Jenny Migliorini, Piero Barazzuoli, Roberto Rigati

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Siena

Centro Interdipartimentale di Ricerca sull'Acqua (C.R.A.)

capacci10@unisi.it; migliorini5@unisi.it; barazzuoli@unisi.it; rigati@unisi.it

Autore corrispondente: Fausto Capacci Via Laterina, 8 cap. 53100 Siena. Fax: 0577-233938.

The alluvial aquifer of the costal plain of the river Roja, in Ventimiglia: definition of the conceptual model

ABSTRACT: The area studied is situated slightly upriver from the city of Ventimiglia and stretches for approximately 1.5 km to the north and south of the confluence of the rivers Roja and Bevera. The geometrical reconstruction of the aquifer was based on data obtained from geognostic drilling and on geophysical surveys carried out in the ambit of the Eurobasin and Risknat projects. From this information 9 hydrogeological cross-sections were developed, showing the presence of a single unconfined aquifer composed of sandy gravel with pebbles of a silty-clayey matrix. In order to define the hydrodynamic characterization of the aquifer, a survey of the piezometric surface was carried out, with 21 points of measurement. The flows of water between the river Roja and the aquifer hydraulically linked to it were also evaluated. As a result a conceptual model was developed, schematically illustrating and quantifying the inflows and outflows, from which it was seen that the water balance is always positive.

Key Terms: Hydrogeology, Roja, Aquifer, Conceptual model

Termini chiave: Idrogeologia, Roja, Acquifero, Modello concettuale

Riassunto

La zona oggetto di studio è collocata poco a monte dell'abitato di Ventimiglia e si estende per circa 1,5 km a nord e a sud della confluenza tra il F. Roja ed il suo principale affluente, il T. Bevera. L'acquifero si trova all'interno di una fascia di larghezza variabile da circa 450 m a 600 m lungo il fiume Roja all'interno di formazioni alluvionali e detritiche del Quaternario.

Per quanto riguarda la ricostruzione della geometria dell'acquifero, essa si è basata sulle perforazioni geognostiche e sulle prospezioni geofisiche realizzate nell'ambito del progetto Eurobasin e Risknat. Con queste informazioni sono state elaborate 9 sezioni idrogeologiche dell'area (2 longitudinali e 7 trasversali alla valle) dalle quali emerge la presenza di un unico acquifero a falda libera in prevalenza costituito da ghiaie sabbiose con ciottoli in gran parte con matrice limoso-argillosa. Lo spessore medio del materasso alluvionale è di circa 32 m e il substrato che delimita l'acquifero alla sua base e lateralmente è costituito prevalentemente dal Flysch di Ventimiglia.

Per la caratterizzazione della idrodinamica dell'acquifero, è stata effettuata una campagna di rilevamento della superficie piezometrica (ancora in corso) con misurazioni in 21 punti; questo ha permesso la realizzazione di carte isopiezometriche che rappresentano

l'andamento idrodinamico della falda durante il periodo di osservazione (Giugno 2010 – Giugno 2011). Sono stati inoltre valutati gli interscambi idrici tra il fiume Roja e la falda ad esso idraulicamente collegata. Il metodo di calcolo utilizzato è stato di tipo indiretto, ovvero mediante misure delle portate fluviali del Roja fatte con l'impiego di un mulinello idrometrico su più sezioni e analizzando le variazioni di queste lungo il corso d'acqua.

A conclusione dello studio è stato realizzato il modello concettuale dell'acquifero, dove sono state schematizzate e quantificate le relative entrate ed uscite per i vari scenari, dal quale è risultato un bilancio idrico nel complesso sempre attivo.

Introduzione

Questo studio trova collocazione nell'ambito del Progetto della comunità europea "Risknat". L'Acquifero alluvionale del Fiume Roja, oggetto di studio (Figura 1), occupa la porzione più ad Ovest della Regione Liguria, nel territorio della Provincia di Imperia, a Nord dell'abitato di Ventimiglia, per una superficie complessiva di circa 1,9 km². L'acquifero si trova all'interno di una fascia di oltre 3 km di lunghezza e larghezza variabile da circa 450 m a 600 m del fiume Roja all'interno di depositi alluvionali e detritici.

Il fiume Roja ed il suo principale affluente, il Torrente Bevera (anch'esso presente nell'area di studio), nascono nel massiccio Mercantour, entrambi scavano il loro corso nel massiccio montagnoso per congiungersi successivamente in territorio italiano e sfociare nel Mediterraneo, in Comune di Ventimiglia. La superficie totale del bacino imbrifero misura circa 672 Km².



Figura 1: Ubicazione dell'area di studio
Figure 1: Map of the area under study

Inquadramento geologico - strutturale

Il bacino idrografico del fiume Roja ricade interamente nel Dominio Delfinese-Provenzale che caratterizza l'estremità più occidentale della Liguria.

Le litologie affioranti appartengono, nella parte Nord occidentale, alla copertura cretaceo-eocenica, che comprende una serie di terreni calcarei e calcareo-marnosi. L'alto corso del Roja, e buona parte di quello del Bevera, risulta impostato su calcari più o meno marnosi e marne con intercalati livelli arenacei del Cretaceo superiore. A questi seguono calcari arenaceo-marnosi a nummuliti del Luteziano che costituiscono una fascia di modesta estensione areale che affiora con direzione N-S da Capo Mortola a testa d'Alpe.

Nella parte centrale e finale del bacino, a partire da una zona a Nord dell'abitato di Trucco, affiorano i Flysch di Ventimiglia, costituiti da torbiditi arenaceo-pelitiche.

Infine nel tratto terminale del Fiume Roja, all'interno dell'area in studio (Figura 2) compaiono i depositi pliocenici, comprendenti le Argille di Ortovero, costituite da depositi marnosi ed argillosi di mare aperto, ed i Conglomerati di Monte Villa, costituiti da facies arenacee e conglomeratiche assimilabili a resti di apparati deltizi di discrete dimensioni.

L'assetto tettonico (Figura 2) ricopre un ruolo fondamentale per il corso d'acqua principale e per i suoi affluenti, determinandone le principali direzioni di deflusso e regolandone, insieme al controllo operato dalla litologia, il tipo di gerarchizzazione del reticolo idrografico (Carobene L. e Cevasco A., 2008).

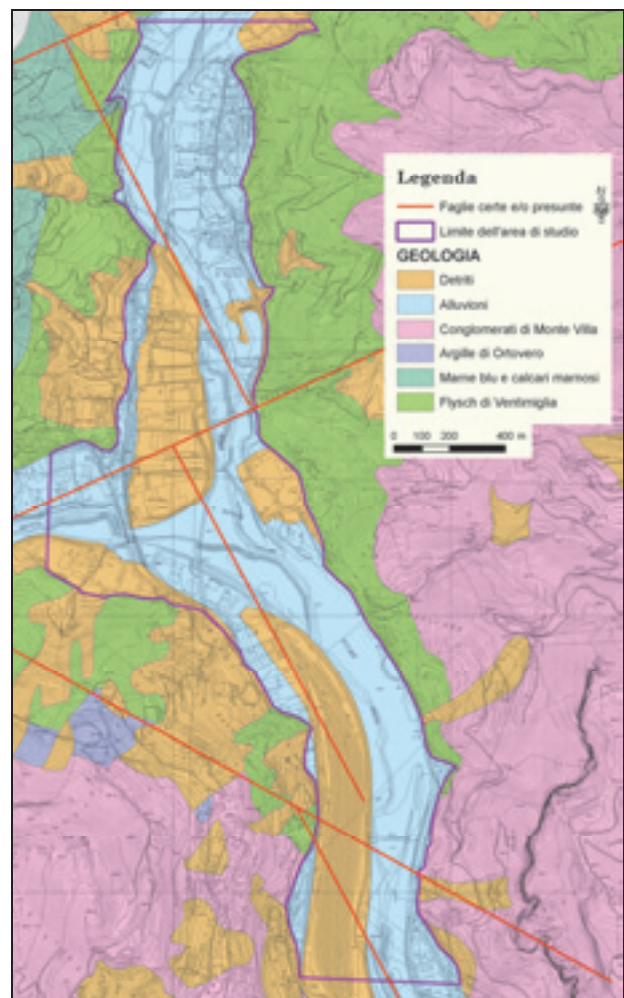


Figura 2: Carta Geologica dell'area di studio
Figure 2: Geologic map of the area under study

La valle del F. Roja e del T. Bevera è caratterizzata, in affioramento, da depositi alluvionali e detritici costituiti prevalentemente da ghiaie sabbiose con ciottoli

e sabbie limose e da ghiaia con sabbia limosa. All'interno del materasso alluvionale è stata riscontrata (stratigrafie dei sondaggi) anche la presenza di alcuni livelli decimetrici, presumibilmente di carattere lenticolare, di materiale limoso-sabbioso e limoso-argilloso.

Data-base idrogeologico

In questo studio idrogeologico è stata realizzata una banca dati che fa riferimento ad un Geodatabase in ambiente Gis. Dopo la prima fase di raccolta dati generale (Eurobassin 2006 e Risknat 2009-2012) e della successiva informatizzazione, si è passati alla struttura del database. Questo è stato suddiviso in 4 *feature dataset* principali: Geologia, Indagini, Geometria e Monitoraggio. All'interno di ognuno di questi contenitori principali si trovano suddivise per le varie tematiche sottoforma di *feature class* tutte le informazioni e i dati a partire dai quali sono state fatte le elaborazioni del progetto Risknat.

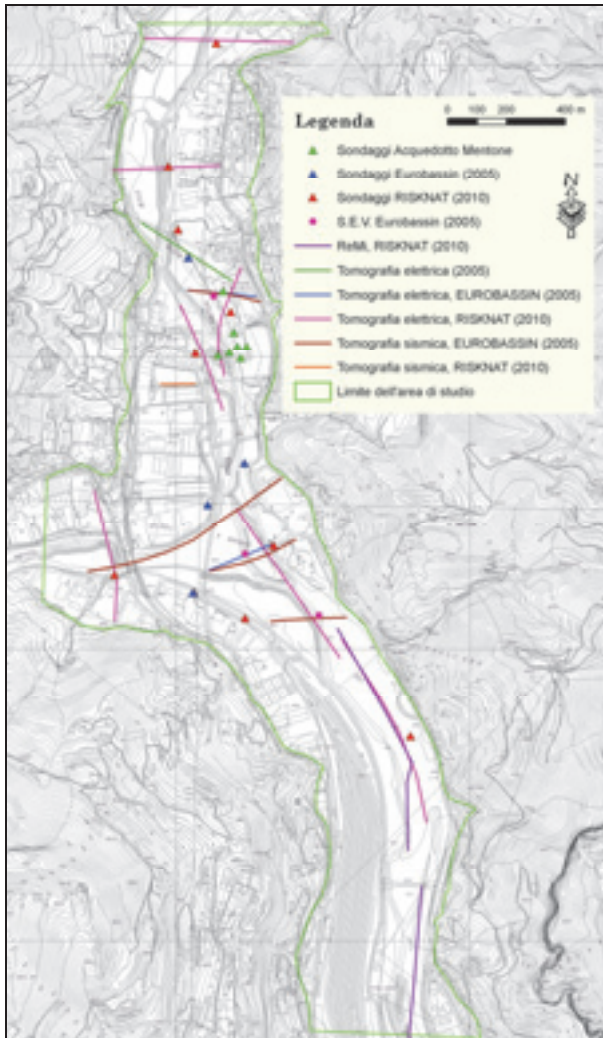


Figura 3: Ubicazione delle indagini raccolte
Figure 3: Location of the collected surveys

Ricostruzione geometrica dell'acquifero

Per la definizione della geometria del corpo idrico in studio sono necessarie alcune conoscenze di base, ovvero informazioni sia sugli spessori dell'acquifero, sia sulle caratteristiche idrogeologiche dei litotipi che lo costituiscono e lo delimitano, e sia sulla presenza di elementi strutturali (faglie).

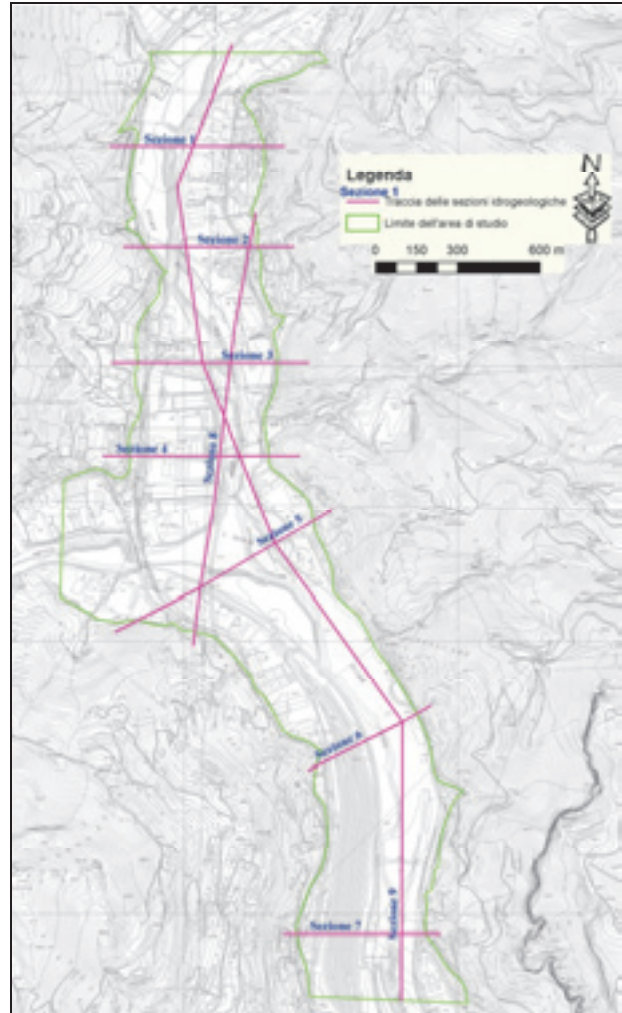


Figura 4: Traccia delle Sezioni Idrogeologiche
Figure 4: Hydrogeological sections of the track

Per far questo, oltre che a ricorrere all'utilizzo della Carta Geologica (Progetto Eurobassin, 2006), sono state impiegate le stratigrafie dei sondaggi e le indagini geofisiche effettuate all'interno del Progetto Eurobassin 2006 e del Progetto Risknat 2013 (Figura 3) in particolare:

- 10 Sondaggi Geognostici (2010);
- 4 Sondaggi Geognostici (2005);
- 7 Tomografie Elettriche (2010);
- 1 Tomografia Sismica (2010);
- 4 Refractor Microtremor Re.Mi. (2010);

- 1 Tomografia Elettrica (2005);
- 3 S.E.V. (2005);
- 6 Tomografie sismiche (2005);
- 24 Prove di permeabilità Lefranc (2010).

Le prospezioni condotte hanno avuto come obiettivo primario la definizione dello spessore e dell'andamento delle formazioni alluvionali che, in alcuni punti, raggiungono altezze pari a circa 65 m.

Dai dati ricavati emerge una certa variabilità dello spessore delle alluvioni costituenti l'acquifero, direttamente condizionata dalla topografia del substrato. La conseguenza principale di questa irregolarità è lo spessore del livello saturo che varia in funzione della quota del substrato.

Le indagini effettuate in questo studio ed in quelli precedenti forniscono un quadro abbastanza esaustivo dell'assetto geometrico-strutturale dell'acquifero nella parte immediatamente a nord e a sud della confluenza con il T. Bevera. Nella parte più meridionale dell'area di studio le indagini sono presenti solo sulla sponda sinistra del Fiume Roja, limitando così la conoscenza dell'andamento del substrato dell'intera valle e rendendo più incerta la definizione del suo assetto in profondità, a

causa della distribuzione non omogenea dei dati.

Per una visione globale più dettagliata ed esaustiva sono state realizzate 9 sezioni idrogeologiche interpretative (Figura 4), 2 longitudinali al corso del Fiume Roja e 7 trasversali, delle quali si riportano in Figura 5 le più rappresentative. Si precisa che nelle sezioni il substrato impermeabile viene rappresentato con un unico simbolo senza effettuare distinzione di tipo geologico.

All'interno dell'acquifero, invece, è stato possibile individuare 4 differenti granulometrie che sono state distinte in colori differenti (ghiaie con ciottoli e sabbie limose, ghiaie con sabbie limose, limi sabbiosi argillosi e coperture detritiche).

Le indagini effettuate hanno permesso di ampliare le conoscenze della geometria dell'acquifero, in particolare riguardo la stima della profondità del substrato impermeabile e di conseguenza la stima degli spessori.

Utilizzando tutti i dati a disposizione è stato possibile realizzare la carta della superficie del substrato (Figura 6), misurando la quota alla quale si trova la base del materasso alluvionale ghiaioso (acquifero) al contatto con il Flysch (substrato).

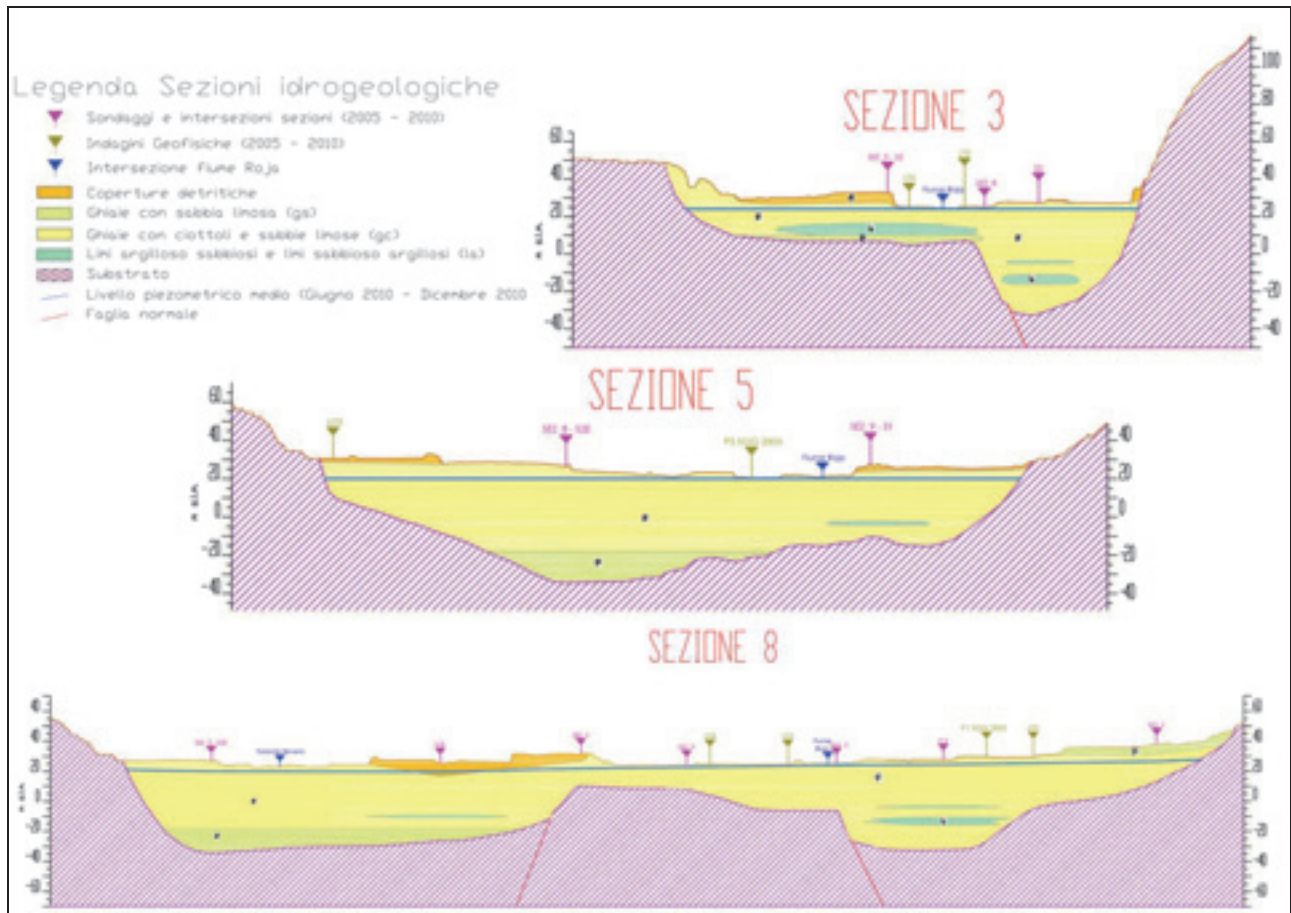


Figura 5: Sezioni Idrogeologiche
Figure 5: Hydrogeological Sections

L'andamento delle isobate del substrato, ossia della base dell'acquifero, presenta una definizione di qualità del dato abbastanza variabile; è infatti meno accurata nella parte a sud della zona di studio a causa della densità piuttosto bassa delle indagini sulla sponda destra del Fiume Roja. Il substrato dell'acquifero, a causa della presenza di faglie e di un paleoalveo (Figura 7) che lo ribassa, presenta quote molto variabili da un massimo di circa 40 m s.l.m. a nord dell'area in studio ad un minimo di circa -48 m s.l.m. nella zona sud. Nell'analisi della morfologia della base dell'acquifero si nota un alto strutturale nell'area subito a nord della confluenza tra il Roja e il Torrente Bevera e una depressione presente nell'area di confluenza dei due corsi d'acqua.

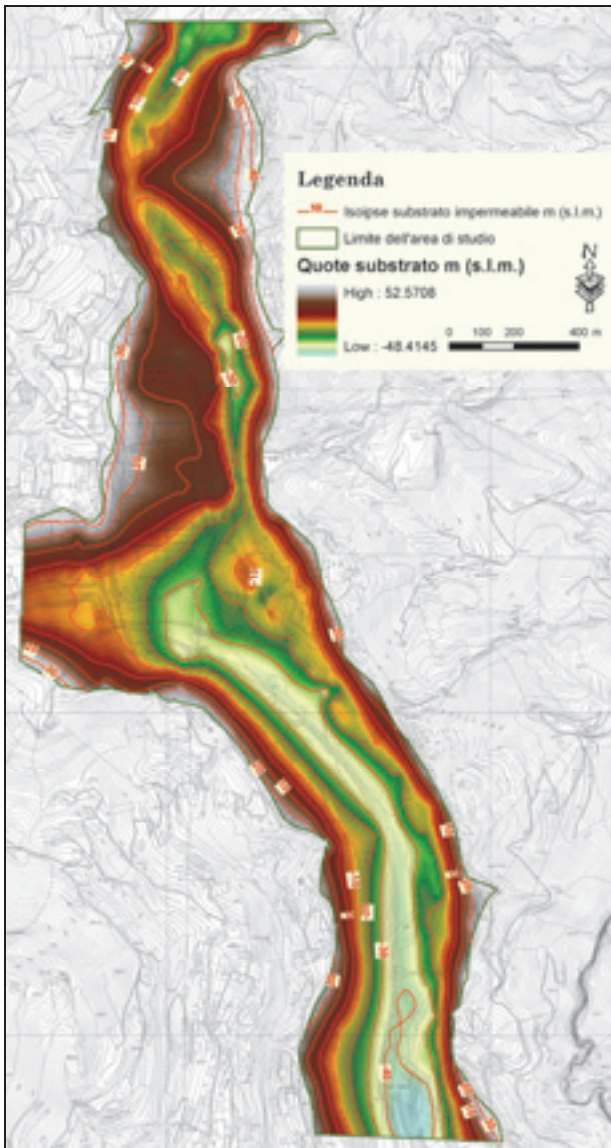


Figura 6: Carta delle isobate della base dell'acquifero (celle 10x10 m)
 Figure 6: Map of the isobaths of the base of the aquifer (10x10 m cells)

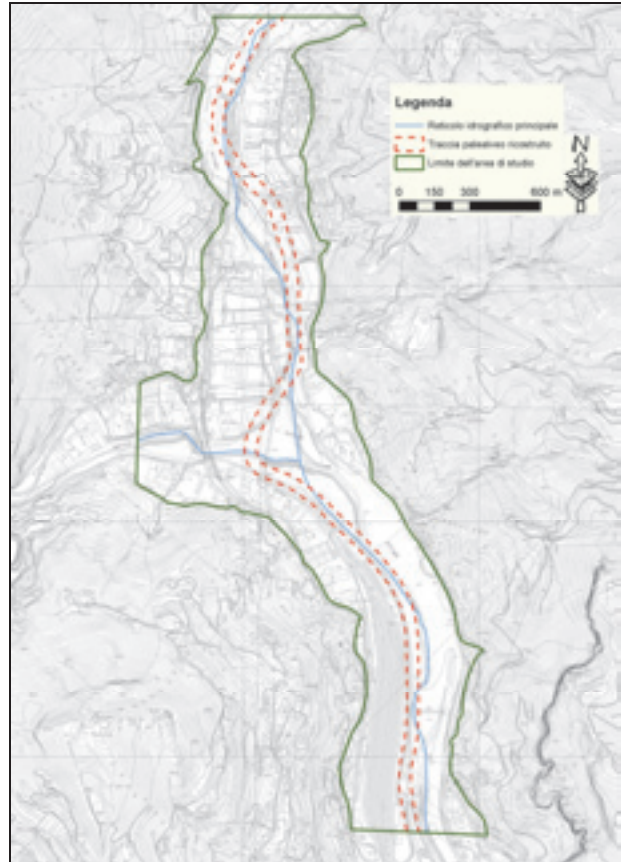


Figura 7: Traccia della ricostruzione del paleoalveo del fiume Roja
 Figure 7: Track reconstruction of the riverbed of the river Roja

La quota media del substrato dell'acquifero è risultata pari a circa - 6 m s.l.m.

Una volta ottenuta la carta della base dell'acquifero siamo passati alla realizzazione della carta delle isopache, ovvero dello spessore delle formazioni alluvionali che lo costituiscono. L'operazione è così formalizzata:

$$Q_t - Q_s = H_a$$

dove Q_t è la quota del tetto (in questo caso coincide con la superficie topografica), Q_s la quota del substrato, H_a lo spessore calcolato dell'acquifero. La risultante di questa operazione è la carta delle isopache dell'acquifero (Figura 8). La Q_t corrisponde alla superficie topografica e fa riferimento al DTM (cella 1m per 1m).

L'intero materasso alluvionale, risulta avere uno spessore medio di circa 32,5 m; i maggiori spessori fino ad un massimo di circa 64 m, si riscontrano nella parte centrale in corrispondenza del paleoalveo.

Il calcolo del volume totale dell'acquifero, risultante dal prodotto dell'area di studio, pari a circa 1,9 Km², per lo spessore medio, risulta circa 62*10⁶ m³.

E' possibile calcolare anche il volume idrico potenzialmente immagazzinabile nell'acquifero (V_{H_2O}) stimandolo tramite il prodotto tra il volume totale (VA) e la porosità efficace (Pe):

$$V_{H_2O} = VA * Pe$$

La valutazione di questo parametro è stata basata su analisi granulometriche che fanno riferimento a dati bibliografici di Tabella 1 (Celico, 1988).

Tabella 1: Valori di porosità media per i principali serbatoi (CELICO, 1998)

Table 1: Average porosity values for the main tanks (CELICO, 1998)

Tipo di serbatoio	Porosità efficace Pe (%)
Ghiaia grossa	30
Ghiaia media	25
Ghiaia fine	20
Ghiaia e sabbia	15-20
Alluvioni	8-10
Sabbia grossa	20
Sabbia media	15
Sabbia fine	10
Sabbia molto fine	5
Sabbia grossa e silt	5
Silt	2
Fanghi	0.1
Calcceo fessurato	2-10
Craie	2-5
Arenaria fessurata	2-15
Granito fessurato	0.1-2
Basalto fessurato	8-10
Scisti	0.1-2

Per un acquifero costituito prevalentemente da ghiaie, ciottoli e sabbie con la presenza anche di una frazione limosa, il valore della porosità efficace varia in letteratura dal 20% al 30%. Il valore qui utilizzato è $Pe = 25\%$ (è stato scelto il valore medio).

Il volume idrico potenzialmente immagazzinabile risulta quindi essere:

$$V_{H_2O} = 32,5 * 1,9 * 10^6 \text{ m}^3 * (25/100) = 15,4 * 10^6 \text{ m}^3$$

Caratterizzazione idrodinamica del sistema acquifero

La determinazione delle caratteristiche idrodinamiche di un acquifero rappresenta il mezzo che ci permette di capire il movimento (direzione e velocità) delle acque al suo interno. Questa operazione è possibile solo grazie al rilevamento continuo della superficie per più volte in un certo periodo di tempo (almeno sei mesi e comunque che comprenda il periodo più secco e quello più umido).

La campagna piezometrica, eseguita da parte della Provincia di Imperia e dall'ARPA, riguarda il monitoraggio di 21 punti di misura (pozzi e sondaggi), la cui distribuzione è visibile in Figura 9.

La prima campagna di misurazione è stata effettuata a partire dal mese di Giugno 2010 e successivamente si è proceduto con cadenza mensile. In Tabella 2 è riportato l'elenco dei punti monitorati.

Grazie a queste misurazioni (Tabella 3) è possibile

individuare la superficie piezometrica della falda ottenuta tramite procedure di gridding e contouring.

Tramite l'utilizzo di queste interpolazioni è stato possibile rappresentare in carta l'andamento idrodinamico dell'acquifero durante il periodo monitorato. In Figura 10 è riportato l'andamento della piezometria media nel periodo di misurazione.

Tutti i livelli misurati ogni mese nei diversi punti di osservazione costituiscono, come detto, la superficie piezometrica della falda e in qualsiasi punto ne mostrano il gradiente idraulico, ovvero il rapporto tra la variazione del livello piezometrico tra due punti considerati (Δh) e la distanza tra questi (Δl) lungo una stessa direzione di flusso; tali curve sono fondamentali per determinare le direzioni del flusso idrico sotterraneo.

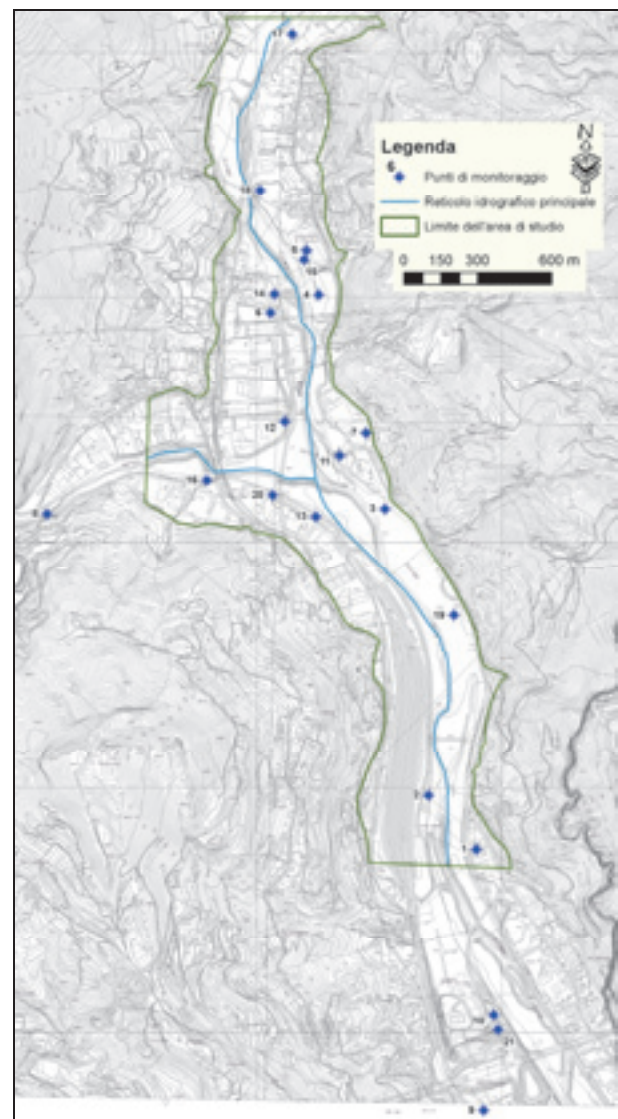


Figura 9: Distribuzione dei punti di monitoraggio della piezometria della falda

Figure 9: Distribution of monitoring points of the ground water table

Tabella 2: Elenco dei pozzi monitorati durante il periodo 2010-2011

Table 2: List of wells monitored during the period 2010-2011

Codice Uni	Coord. Est Gauss Boaga	Coord. Nord Gauss Boaga	PROPRIETA'	QUOTA m (s.l.m.)
1	1386835.47	4851567.64	AAMAIE 1	17.8
2	1386641.00	4851788.00	AAMAIE 2	20.36
3	1386463.09	4852956.83	AAMAIE 3	22.35
4	1386194.08	4853828.36	AIGA/GDU, Porra 1	28.78
5	1386144.52	4854009.69	AIGA/GDU, Porra 2	29.9
6	1385996.88	4853755.29	Privato	28.5
7	1386386.12	4853266.57	Privato	25.48
8	1385087.71	4852936.68	Privato	32.5
9	1386865.27	4850500.49	PEDAIGO	6.31
10	1386906.73	4850891.11	Privato	18.71
11	1386279.17	4853174.16	Sondaggio 1 (2010)	27.82
12	1386055.40	4853313.69	Sondaggio 1, Eurobassin	27.28
13	1386182.46	4852925.60	Sondaggio 10 (2010)	22.3
14	1386013.51	4853831.87	Sondaggio 2 (2010)	32.41
15	1386133.53	4853972.84	Sondaggio 3 (2010)	27.64
16	1385737.87	4853073.37	Sondaggio 4 (2010)	27.37
17	1386085.41	4854893.28	Sondaggio 5 (2010)	34.63
18	1385954.52	4854252.70	Sondaggio 7 (2010)	33.94
19	1386744.95	4852522.24	Sondaggio 8 (2010)	18.44
20	1386005.92	4853014.30	Sondaggio 9 (2010)	27.04
21	1386923.00	4850832.00	Privato	12.44

Tabella 3: Elenco dei pozzi e dei valori piezometrici misurati (Giugno 2010-Gennaio 2011)

Table 3: List of wells and measured piezometric values (June 2010-January 2011)

Codice Uni	Misurazioni effettuate m (s.l.m.)									Piezometria media m (s.l.m.)
	09/06/2010	28/06/2010	20/07/2010	26/08/2010	28/09/2010	26/10/2010	22/11/2010	14/12/2010	18/01/2011	
1	~	10.43	9.39	9.2	8.91	7.1	11	9.4	~	9.3
2	~	10.46	11.01	10.24	10.26	9.76	12.25	11.26	~	10.7
3	~	18.27	17.47	17.07	17.07	17.5	17.64	18.27	~	17.8
4	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
5	~	24.75	24.57	24.36	24.12	24.37	24.76	24.86	~	24.5
6	~	23.8	23.75	23.33	23.23	23.22	23.75	23.72	~	23.5
7	~	19.88	19.68	19.39	19.14	19.73	19.68	19.72	~	19.6
8	31.22	31.13	31.12	30.94	30.22	30.83	30.42	30.42	~	30.8
9	-2.29	-2.14	-2.55	-2.24	-2.51	-2.64	-1.99	-2.49	-2.31	-2.3
10	~	-2.99	-3.05	-3.04	-2.76	-2.95	-2.63	-2.89	~	-2.9
11	20.17	20.07	19.93	19.62	19.34	19.92	20.22	20	19.93	19.9
12	21.23	21.05	20.88	20.60	20.26	20.83	21.33	21.03	21.00	20.9
13	19.65	19.53	19.4	19.1	18.89	19.35	19.66	19.36	19.34	19.4
14	24.26	24.05	24.03	23.66	23.49	23.61	24.17	24.01	23.96	23.9
15	24.84	24.71	24.56	24.3	24.19	24.39	24.99	~	~	24.6
16	20.42	20.37	20.08	19.72	19.38	19.85	20.48	20.08	20.03	20.0
17	31.78	31.98	31.95	31.7	31.63	31.83	32.08	32.03	31.79	31.9
18	26.99	26.97	26.92	26.81	26.74	26.77	27.24	27.09	~	26.9
19	16.24	16.08	16.04	15.84	15.73	15.72	16.39	16.29	16.29	16.1
20	20.39	20.3	20.11	19.76	19.47	20.05	20.54	20.24	20.14	20.1
21	~	4.08	3.97	3.79	3.14	3.73	3.88	3.97	~	3.8

Analizzando i valori piezometrici relativi ai mesi di misurazioni effettuate, la superficie piezometrica rimane piuttosto costante per tutto il periodo monitorato.

La superficie piezometrica ricostruita presenta un range di variazione da circa 32 m s.l.m. a circa 9 m s.l.m.. Dalla carta di Figura 10 si possono identificare i principali rapporti che intercorrono tra la falda e il fiume. Il rilevamento piezometrico ha infatti evidenziato un generale movimento del flusso idrico dal fiume verso la falda per tutto il periodo di osservazione fino alla zona di

confluenza con il Bevera.

Sono stati inoltre valutati gli interscambi idrici tra il fiume Roja e la falda ad esso idraulicamente collegata. Il metodo di calcolo utilizzato è stato di tipo indiretto, ovvero mediante misure delle portate fluviali del Roja fatte con l'impiego di un mulinello idrometrico su più sezioni e analizzando le variazioni di tali portate lungo il corso d'acqua.

Dal confronto tra i risultati delle misure di portata fluviale del fiume Roja, emerge che nel 2005 tra la

misura di monte e quella di valle vi era una differenza di portata dell'ordine di circa $7 \text{ m}^3/\text{s}$. Questa era giustificata dall'intervento antropico e in particolare dal rilascio, nel tratto di fiume compreso tra le due sezioni, di acqua da parte delle condotte della Centrale Idroelettrica della Tirreno Power che, come risulta dalla documentazione fornita dalla stessa società, può arrivare fino ad un massimo di $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (in media circa $7 \text{ m}^3/\text{s}$). Per quanto riguarda le misure effettuate nel 2010, invece, tale differenza non è stata rilevata in quanto, nel periodo di svolgimento della campagna di misurazione, la centrale idroelettrica risultava non funzionante e quindi non effettuava prelievi/rilasci di acqua, permettendo al corso d'acqua di avere il suo naturale deflusso ed alla falda di essere in equilibrio idrodinamico con il fiume stesso.

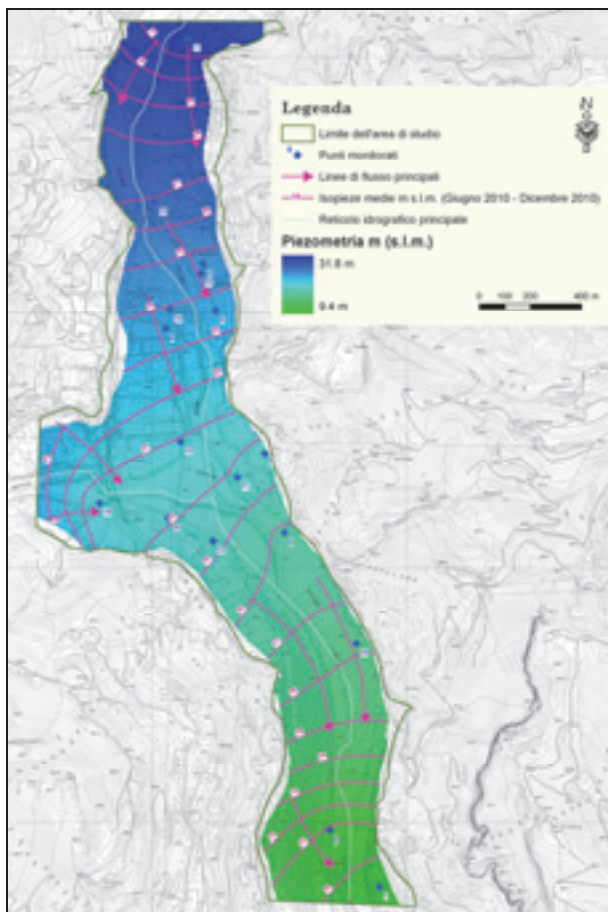


Figura 10: Prime valutazioni dell'andamento della superficie piezometrica della falda del Fiume Roja
 Figure 10: First evaluation of the trend of the piezometric surface of the water of the river Roja

Valutazione della risorsa idrica rinnovabile e delle riserve dell'acquifero

La risorsa idrica è la quantità di acqua che può essere estratta da un dominio circoscritto durante un dato perio-

do, tenuto conto dell'insieme dei cosiddetti vincoli di pianificazione; in altre parole, senza che ciò possa provocare eccessivi squilibri al ciclo idrologico naturale. La sua valutazione si basa sui comportamenti idrodinamico, idrochimico ed idrobiologico dell'acquifero ed è usualmente espressa in unità di portata media.

La riserva idrica è intesa come la quantità di acqua gravifica, contenuta ad una certa data o immagazzinata nel corso di un periodo medio annuale, in un sistema idrogeologico: essa, generalmente espressa in unità di volume, è associata al concetto di risorsa idrica non rinnovabile e risulta dalla funzione capacitiva del serbatoio degli acquiferi.

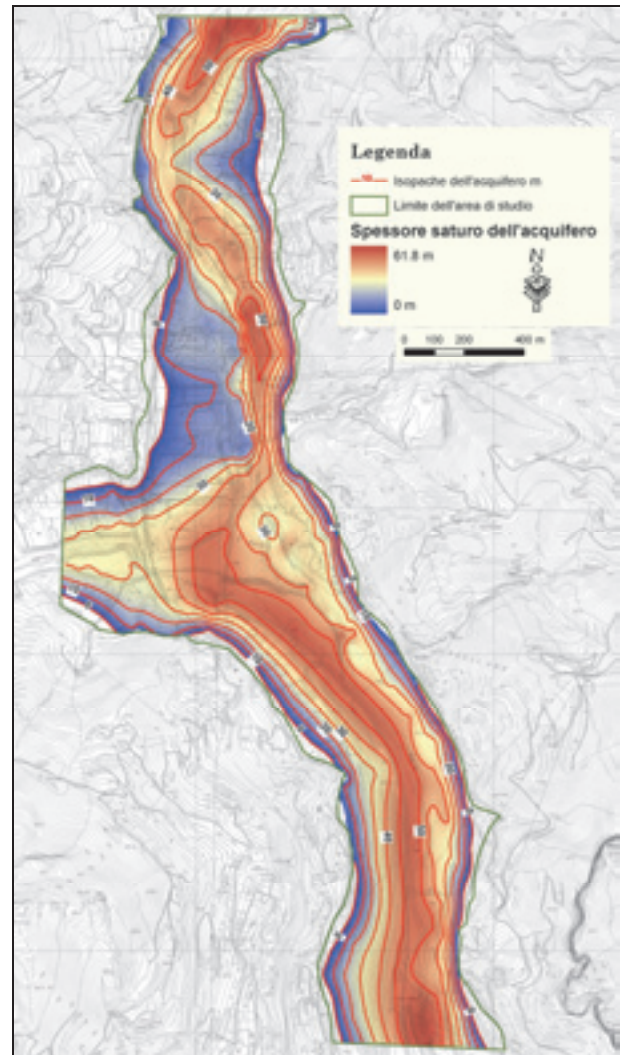


Figura 11: Carta delle isopache dell'acquifero saturo (celle 5x5 m)
 Figure 11: Map of the saturated aquifer isopachs (5x5 m cells)

Le risorse e le riserve idriche sotterranee possono essere valutate attraverso lo studio della geometria dell'acquifero, se sono note anche la porosità efficace e la

morfologia della superficie piezometrica nel periodo investigato. Non avendo a disposizione un valore adeguato di porosità efficace, derivante da valutazioni dirette o indirette, si è fatto riferimento a valori di letteratura (Tabella 1), prendendo in considerazione valori di porosità efficace di litologie simili (ghiaia media), vale a dire una Pe pari a circa il 25%.

Calcolo delle risorse medie nel periodo monitorato

Avendo come riferimento i livelli piezometrici, è stata stimata l'entità della risorsa media dell'acquifero durante il periodo monitorato.

Attraverso operazioni di map algebra è stato possibile ottenere le isopache medie (linee di uguale spessore) dell'acquifero saturo (Giugno 2010 - Gennaio 2011).

La relativa carta è rappresentata in Figura 11; lo spessore medio saturo dell'acquifero risulta essere di circa 30,5 m.

Di conseguenza è stato possibile calcolare, sulla base della Pe supposta pari al 25%, il volume idrico medio immagazzinato (V_{H_2O}):

$$V_{H_2O} = 30,5 * 1,7 * 10^6 \text{ m}^3 * (25/100) = 13 * 10^6 \text{ m}^3$$

Valutazione dei quantitativi di acqua prelevati dall'acquifero

L'acquifero in esame, per quantità e qualità, è uno dei più

importanti serbatoi naturali della Liguria. Per quanto riguarda lo sfruttamento della risorsa, le sue acque soddisfano i fabbisogni idrici sia del territorio francese (Mentone, Nizza, Montecarlo, ecc.) sia del territorio italiano (Ventimiglia, Bordighera, Imperia, Sanremo, ecc.).

In particolare, per quanto riguarda i volumi attualmente estratti dalla porzione di acquifero studiato, si può desumere quanto segue:

consumo idropotabile (grandi derivazioni: AIGA, GDU, AMAIE) circa 1,8 m³/s;

altri consumi (industriale e privato) circa 0,2 m³/s.

Quindi l'uscita dal sistema in studio dovuta ai prelievi antropici risulta pari a circa 2 m³/s.

Modello concettuale dell'acquifero

A conclusione della prima fase dello studio è stato realizzato il modello concettuale dell'acquifero (Figura 12), base fondamentale per la futura modellazione numerica, dove sono state schematizzate e quantificate le entrate e le uscite della porzione di acquifero in studio ospitante una falda libera. L'acquifero in questione, come abbiamo detto, è costituito essenzialmente da ghiaie sabbiose con ciottoli e con intercalazioni lenticolari limoso argillose; tutto ciò poggia su un substrato flyschoido.

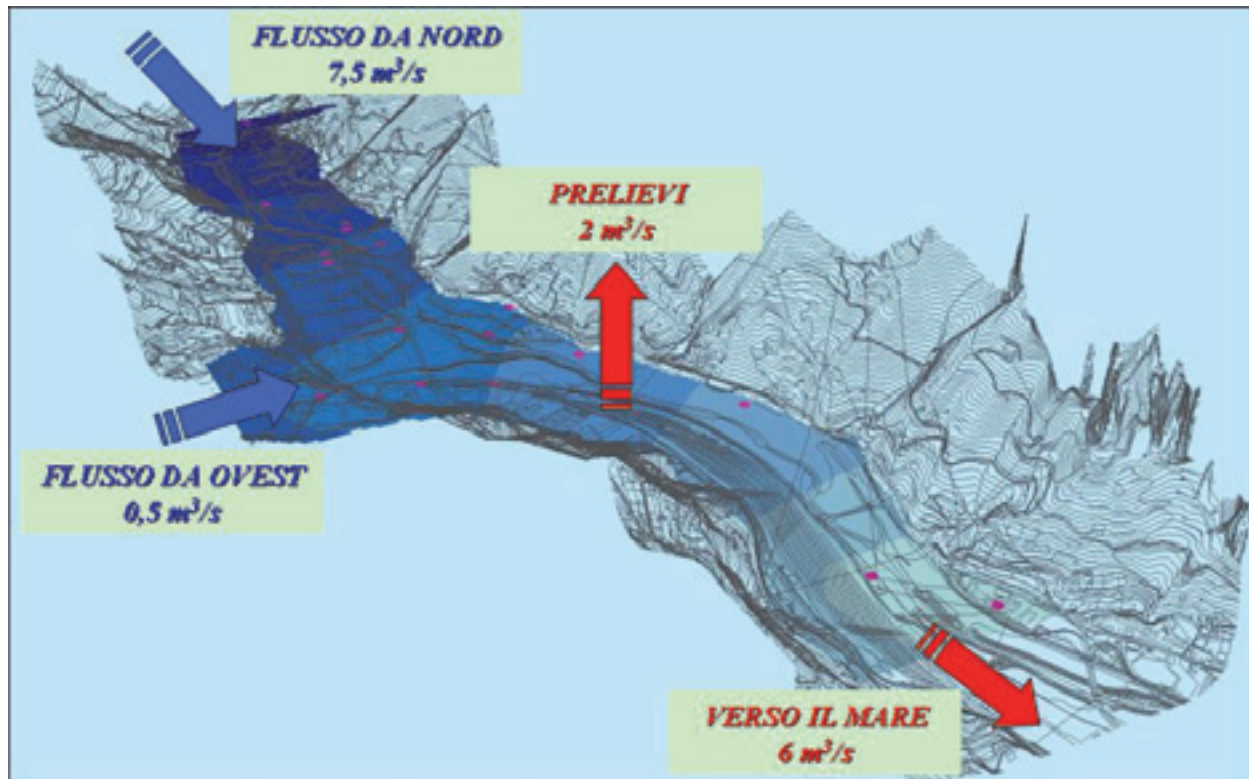


Figura 12: Modello concettuale dell'acquifero
 Figure 12: Conceptual model of the aquifer

La raccolta, organizzazione ed interpretazione dei dati ha portato a concludere che la ricarica del sistema proviene prevalentemente da nord ($7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ dal F. Roja), da ovest ($0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ dal T. Bevera) e in minima parte da infiltrazione meteorica (Barazzuoli *et alii*, 2011, in stampa). Le uscite dell'acquifero di tipo artificiale sono da attribuire principalmente ai prelievi legati all'uso idropotabile (pozzi AIGA, GDU e AAMAIE) e solo in minima parte all'attività industriale e a privati. Questi quantitativi sono stati stimati in base ai rilievi diretti e ai dati forniti dalla Provincia di Imperia e sono stati valutati, complessivamente, pari a circa $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Gli elementi che giocano un ruolo importante in questo sistema acquifero sono i due corsi d'acqua. Il F. Roja e il F. Bevera, come risulta dall'analisi della superficie piezometrica nel tratto analizzato, alimentano e drenano la tavola d'acqua. Il saldo stimato all'uscita dell'area di studio, verso sud e quindi verso il mare, risulta pari a circa $6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il bilancio idrico annuale del sistema, che descrive le quantità di acqua sotterranea scambiata attraverso i suoi limiti, ha reso possibile quantificare la risorsa idrica disponibile (Figura 12); infatti come si può vedere nel

complesso il bilancio è sempre in attivo.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano vivamente la Provincia di Imperia ed in particolare il Dr. Ennio Rossi e il dott. Francesco D'Adamo. Si ringrazia inoltre il dott. Enrico Capezoli del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Siena per i suoi consigli e le sue valutazioni in merito agli aspetti stratigrafico-deposizionali per la redazione delle sezioni idrogeologiche.

Bibliografia

- Barazzuoli P., Capacci F., Migliorini J. & Rigati R., 2011 (in stampa) - Studio per la definizione del Bilancio Idrico del Bacino Transfrontaliero del Fiume Roja. *Giornale di Geologia Applicata* 2011, 14.
- Carobene L., Cevasco A. (2008) – “Ricostruzione dell'evoluzione della complessa deformazione di versante presso Ventimiglia - Liguria di Ponente” *Giornale di Geologia Applicata* 2008, 10, 31-50.
- Celico P. (1988) – *Prospezioni idrogeologiche*. Voll. I e II, Liguori editore, Napoli.
- Progetto della Comunità Europea Interreg IIIA Alcotra “Eurobassin - Piano di bacino transfrontaliero del Fiume Roja” - Documenti vari.