

### 3. CARATTERIZZAZIONE CORPI IDRICI SOTTERRANEI

#### Generalità

Il mezzo che contiene acqua gravifica e/o ne permette lo spostamento viene detto **acquifero**. Esso si trova in una posizione topografica e strutturale tale da ricevere alimentazione per infiltrazione diretta o indiretta.

La quantità di acqua che si infiltra nel terreno dipende da come si disperdono le precipitazioni, cioè da quanta acqua scorre via e da quanta ne evapora (come da figura sotto riportata).

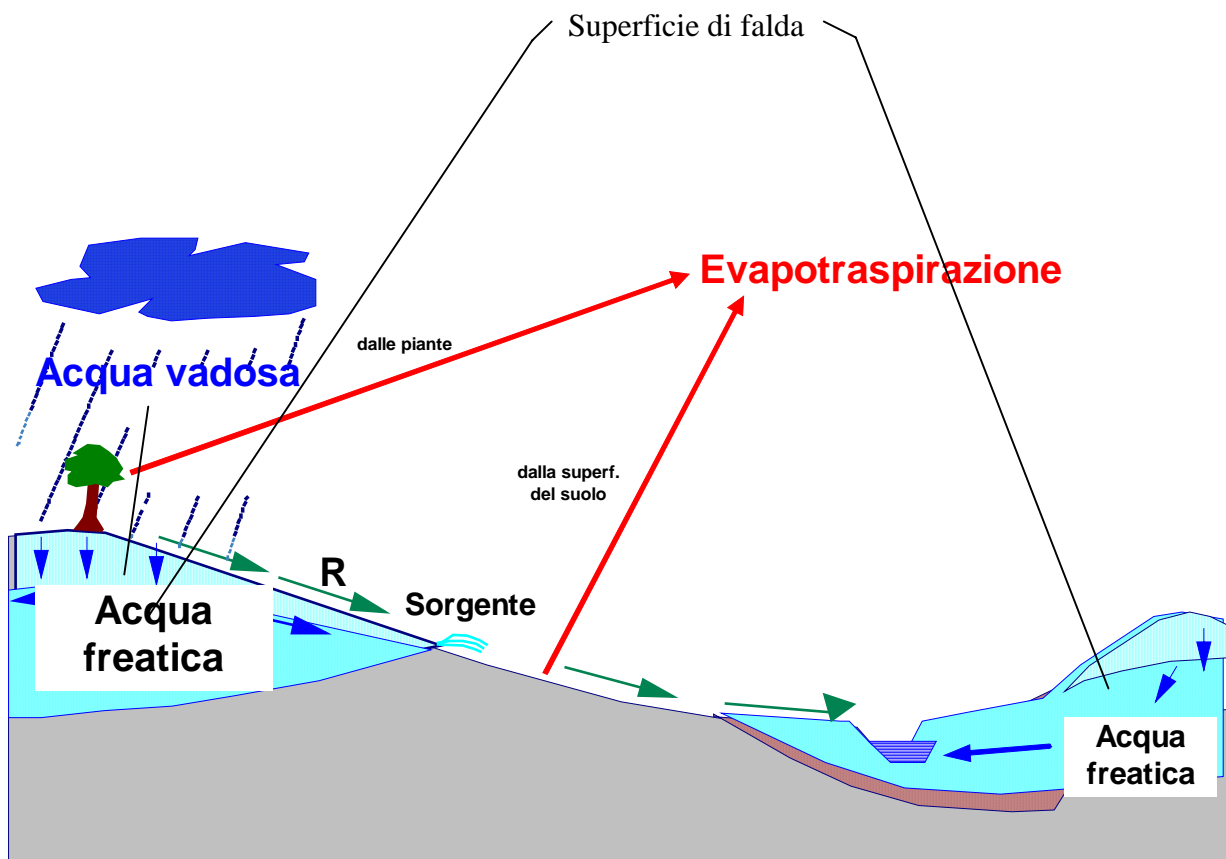


Fig. 3.1 – Schema qualitativo dei flussi idrici sotterranei

Al di sopra della superficie di falda si trova la zona non saturata (acqua vadosa), viceversa al di sotto l'acqua freatica.

Si intende per sorgente un punto o una zona più o meno ristretta della superficie terrestre in corrispondenza di cui si osserva la venuta a giorno di acque sotterranee per cause del tutto naturali connesse con l'assetto idrogeologico regionale.

L'intersezione tra la superficie di falda e la superficie topografica è chiamata linea di sorgente

In fattori più importanti che entrano in gioco in un acquifero sono la porosità, il rendimento specifico e la permeabilità.

- **La porosità** di un mezzo è il rapporto tra il volume dei vuoti e il volume totale come meglio riportato nella tabella sottostante:

### POROSITÀ DEI TERRENI

$$n = \frac{V_v}{V}$$

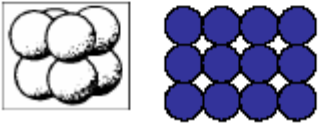
$V_v$ : volume dei vuoti  
 $V$ : volume totale

**Porosità Cinematica o Efficace:**  
l'acqua di adesione, ai fini della circolazione, può essere intesa come parte della matrice solida.

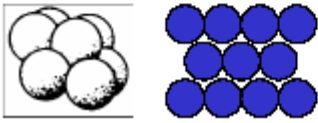
$n_e = (V_v)_e / V$

$(V_v)_e$  è il volume dei pori sostanzialmente disponibile al movimento dell'acqua

Tipo di mezzo	Porosità totale %
Granito e gneiss inalterato	0.02 – 1.80
Arenaria	3.50 – 38
Tufo vulcanico	30 – 40
Sabbia uniforme sciolta	46
Sabbia uniforme densa	34
Limo glaciale	20
Argilla glaciale	37 ÷ 55
Argilla soffice organica	75
Bentonite soffice	84
Ghiaia 2÷20 [mm]	30 – 40
Sabbia 0.06÷2 [mm]	30 – 45
Limo sabbioso	35 – 45
Argilla	40 – 55
Quarziti	0.80



$n = 0.476$



$n = 0.26$

Tabella 3.1 – Porosità e Porosità efficace dei terreni

- **Il rendimento specifico** è la capacità del mezzo di cedere acqua. Dipende dalla distribuzione dimensionale delle particelle e dalla capacità del mezzo di lasciarsi attraversare dall'acqua.

La dimensione delle particelle che costituiscono un terreno possono variare da un ciottolo a quelle di una grossa molecola e costituiscono la c.d. frazione grossa o molto grossa e/o la c.d. frazione fine o molto fine, come viene indicato nella tabella che segue.

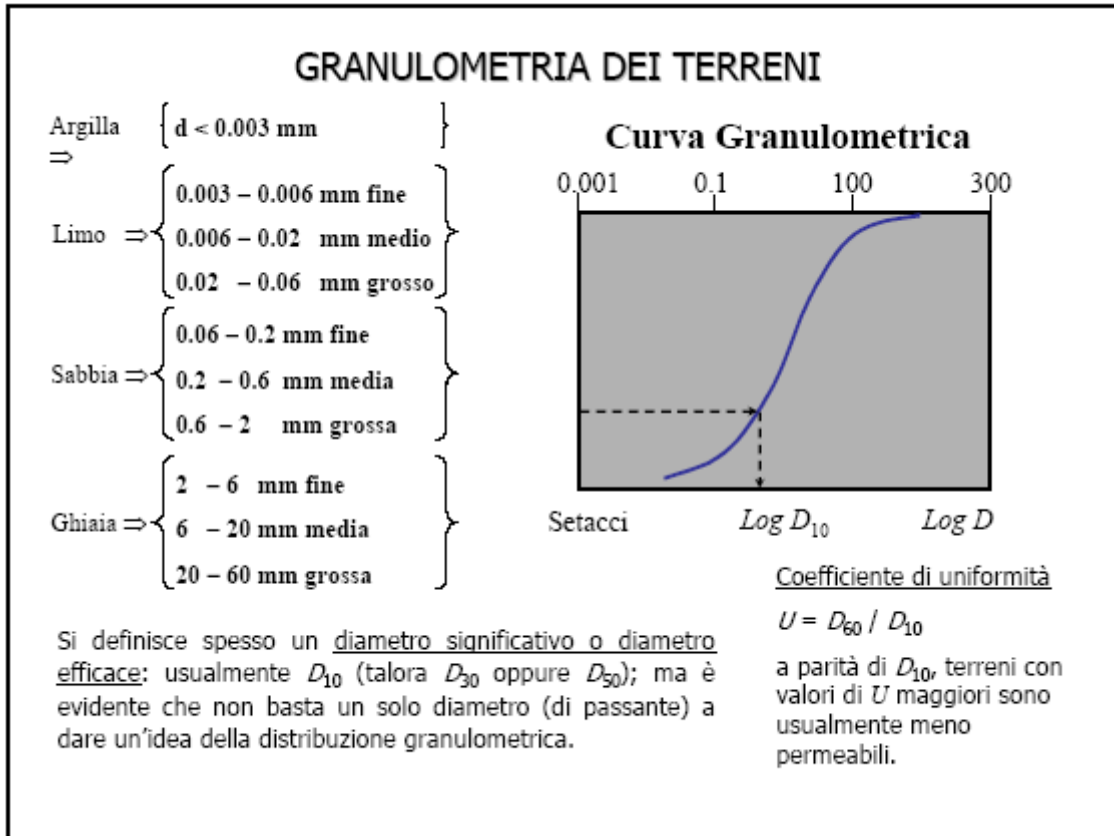


Tabella 3.2 – Analisi granulometrica tipo dei terreni

<i><b>Materiale</b></i>	<i><b>Rendimento specifico (%)</b></i>
<i>Ghiaia</i>	<i>15-30</i>
<i>Sabbia</i>	<i>10-30</i>
<i>Sabbia e ghiaia</i>	<i>5-25</i>
<i>Limò</i>	<i>5-10</i>
<i>Argilla</i>	<i>1-5</i>

Tabella 3.3 – Valori standard del rendimento specifico

- **La permeabilità** è definita come la capacità di un terreno di lasciarsi attraversare dall'acqua senza che la sua struttura venga modificata. La permeabilità di un mezzo è definita dalla sua conduttività idraulica come da tabella sottostante

CONDUTTIVITÀ IDRAULICA	
<b>TIPO DI TERRENO</b>	<b><math>K</math> (cm/s)</b>
Argilla	$\leq 10^{-6}$
Limo	$5 \cdot 10^{-4} \div 10^{-5}$
Sabbia limosa	$2 \cdot 10^{-3} \div 10^{-4}$
Sabbia fine	$5 \cdot 10^{-2} \div 10^{-3}$
Sabbia mista	$10^{-2} \div 5 \cdot 10^{-3}$
Sabbia pulita (media)	$1 \div 10^{-2}$
Ghiaia pulita	$\geq 1$

Dipendenza di  $K$  dalla viscosità  
Esempio: per acqua alla pressione atmosferica, una diminuzione della temperatura da 25 a 5 °C comporta un corrispondente decremento di circa il 40 % della conduttività idraulica (influenza di cambiamenti climatici stagionali)

**TERRENI IMPERMEABILI** Non esistono terreni perfettamente impermeabili. Si usa il termine impermeabile soprattutto in senso relativo e cioè per strati la cui permeabilità è molto bassa rispetto a quella degli strati vicini.

**TERRENI PERMEABILI** Isotropi: il coefficiente di permeabilità in ogni punto è **indipendente** dalla direzione del vettore velocità di filtrazione  
Anisotropi: il coefficiente di permeabilità **dipende** in ogni punto dalla direzione del vettore velocità di filtrazione

In formazioni naturali  $K$  varia in genere da punto a punto (formazione eterogenea) ed in funzione della direzione (conduttività idraulica direzionale in una formazione anisotropa)

Tabella 3.4 – Fattori che influenzano la variabilità della conduttività idraulica dei terreni

### 3.1 Confronto tra metodi di calcolo della portata degli acquiferi

La stima del rendimento di una risorsa idrica sotterranea risulta molto importante e può essere effettuata con metodi indiretti, come metodi geofisici o sondaggi esplorativi. Non sempre tali metodi risultano applicabili, a causa della mancanza di dati o dell'eccessiva soggettività e approssimazione degli stessi. Anche se i metodi di analisi non sono particolarmente precisi è sempre meglio disporre di una stima del rendimento potenziale, anche con un errore del +/- 30%, piuttosto che non disporre di alcuna stima.

L'analisi del bilancio fornisce utili informazioni sia sulla ricarica della falda che sulle caratteristiche dell'acquifero.

I metodi presenti in letteratura per il calcolo della portata degli acquiferi si possono riunire in due gruppi:

<b><u>A) Metodi metereologici/idrologici</u></b>	
<b>Metodo e dati necessari</b>	<b>Commento</b>
<u>Studi sul bilancio idrico</u> Area di ricarica. Precipitazione, evapotraspirazione reale e ruscellamento oppure infiltrazione nell'area di ricarica (vedi nota 1).	Sfrutta dati che sono generalmente disponibili o si ottengono o si stimano con facilità, è un metodo veloce ed economico oltre che facile. Utili per studi preliminari e di fattibilità ma richiede molti dati e può essere poco preciso Valuta la ricarica potenziale della falda non la portata degli acquiferi.
<u>Idrogramma del corso d'acqua</u> Registrazione di dati sul flusso fluviale per diversi anni	Metodo non applicabile per acquiferi che sfociano direttamente in mare
<b><u>B) Metodi idrogeologici</u></b>	
<b>Metodo e dati necessari</b>	<b>Commento</b>
<u>Fluttuazione livello falda</u> Superficie acquifero. Aumento medio stagionale del livello dell'acqua, portata specifica media del mezzo acquifero (vedi nota 1)	Il metodo idrogeologico più semplice ed economico, evita lo scavo di pozzi per ricavare i dati. Sfrutta variazioni dell'immagazzinamento della falda. Tuttavia fornisce la ricarica della falda e non la portata degli acquiferi e pozzi.
<u>Legge di Darcy e deflusso</u> Livelli dell'acqua. Trasmissività almeno in un punto dell'acquifero (vedi nota 2)	Metodo relativamente veloce e non costoso, ma il reticolo di deflusso è poco preciso se l'acquifero è complesso. Presume la disponibilità dei dati sul livello dell'acqua.
<u>Prove di pompaggio e deflusso</u> Abbassamento con andamento costante noto in un certo periodo di tempo intorno allo scarico del pozzo	

<p><u>Modelli</u></p> <p>Livelli idrici, trasmissività, immagazzinamento, condizioni ambientali, conoscenza dei meccanismi di deflusso, dati sulle prove di pompaggio. Dati su ricarica e scarico possibili e su rapporti tra superficie e falda. Hardware e software appropriati per risolvere l'equazione del flusso.</p>	
<p><u>Equazione di Bear J. (1979)</u></p> <p>Necessaria superficie dell'acquifero, il deflusso, l'evapotraspirazione, infiltrazione e/o il coefficiente di immagazzinamento; profondità dell'acquifero, livelli stagionali della falda, perdite artificiali e naturali</p>	

Tabella 3.5 – Metodi per il calcolo della portata degli acquiferi

**Nota 1)** Il livello della falda segue un ciclo annuale che dipende dalle variazioni stagionali di piovosità nella zona di alimentazione. L'aumento del livello dell'acqua si sfrutta per ottenere una stima del volume annuale di ricarica in un acquifero a **falda libera**. Con la realizzazione della carta delle isofreatiche si può evidenziare l'area in cui avviene l'aumento del livello. Una volta calcolato l'aumento medio pesato del livello dell'acqua nell'area lo si moltiplica per la superficie ottenendo la variazione di volume saturato dell'acquifero. Il volume annuale di ricarica  $Q$  è dato dal prodotto tra la superficie dell'area  $A$  dove si osserva la crescita del livello della falda, l'aumento medio pesato del livello della falda  $H$  e la portata specifica del mezzo dell'acquifero o coefficiente di immagazzinamento per una falda libera. Il pregio di questo metodo è che fornisce in modo semplice e veloce una stima del volume di ricarica annuale, però esso è talvolta impreciso in particolare se l'acquifero non è omogeneo, per cui i valori medi delle variabili sono difficili da determinare. Il metodo inoltre non è applicabile in acquiferi confinati.

**Nota 2)** metodo che presuppone la costruzione del reticolo di deflusso, cioè le linee di flusso e le linee equipotenziali

### **3.2 Acquifero del T. Nervia**

Il corpo idrico sotterraneo del T. Nervia è stato individuato come corpo idrico sotterraneo significativo dal Piano Regionale di tutela delle Acque condotto dall'ARPAL.

L'individuazione del corpo idrico sotterraneo del T. Nervia è stato approvato con delibera regionale n.1705 del 18.12.03 (allegato B) ai sensi del D.Lgs 152/99 e s.m.i.

La caratterizzazione dell'acquifero presuppone una prima fase di ricerca dati di tipo geologico, stratigrafico, della presenza di pozzi e di tutte quelle informazioni necessarie a caratterizzare geometricamente e dinamicamente l'acquifero in esame. Per reperire i dati necessari a tale caratterizzazione si è proceduto a contattare i seguenti enti e soggetti:

- **Autostrada dei Fiori S.p.A.** – stratigrafia ed ubicazione sondaggi geognostici nella zona presso il viadotto (Appendice 3, vedere Tavola 5.1 );
- **A.R.P.A.L.** – misure livelli piezometrici di alcuni pozzi (vedere Appendice n°4);
- **Ufficio Risorse idriche della Provincia di Imperia** – Concessione di derivazione d'acqua dal subalveo del torrente Nervia ad uso potabile (Appendice1 e Tav.5.2);
- **Aquedotto di Savona** – ubicazione pozzi, stratigrafie, livelli dinamici e statici e portate emunte. (Appendice n°2)

L'indagine idrogeologica è iniziata con un **censimento** dei punti d'acqua (pozzi) esistenti nella zona in esame e in quelle immediatamente limitrofe; è stata quindi redatta una tabella nella quale è stata annotata per ogni pozzo l'ubicazione e la portata assentita, nonché il proprietario (appendice 1).

Per determinare la geometria dell'acquifero si è proceduto ad un primo confronto tra la perimetrazione presente nel PTA e quella presente nel piano di bacino stralcio per la difesa idraulica ed idrogeologica. Tali indicazioni sono state integrate dalle informazioni rese disponibili dalle campagne di sondaggi sopra riportate nonché da sopralluoghi sul territorio.

#### **3.2.1 Carta dell'acquifero**

La Carta dell'Acquifero è costituita da membri a permeabilità differente. Di seguito si riporta uno schema utilizzato per la realizzazione della Carta dell'Acquifero (Tav. 5).

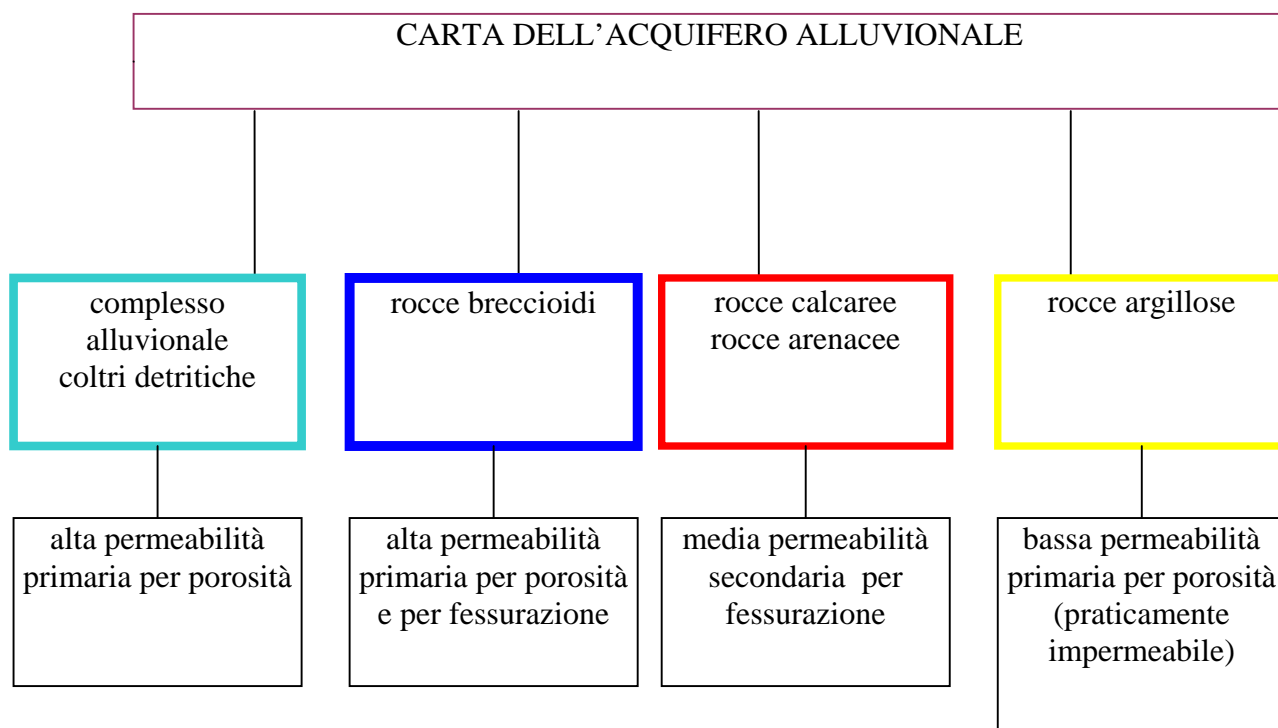


Fig. 3.2 – Schema a blocchi per la definizione della Carta dell'Acquifero alluvionale del T. Nervia

Il limite di permeabilità tra le varie formazioni geologiche è in genere di difficile definizione, soltanto in caso di contatto litologico con le formazioni argillose il limite di permeabilità risulta ben definito.

La permeabilità che si considera è la permeabilità relativa, cioè la permeabilità apparente di un complesso idrogeologico nei confronti dei complessi confinanti. In rapporto alle caratteristiche geolitologiche sono presenti permeabilità per porosità e/o permeabilità per fessurazione.

Per visualizzare più agevolmente la carta dell'acquifero sono state redatte le seguenti tavole:

- Tavola 5 – Carta dell'acquifero con indicate le aree a diversa permeabilità;
- Tav. 5.1 – Carta dell'acquifero alluvionale – ubicazione indagini geognostiche; Sezioni trasversali interpretative e stratigrafie delle indagini geognostiche;
- Tav. 5.2 – Carta delle utilizzazioni in atto.



### **3.3 Caratteristiche morfologiche e geologiche, idrogeologiche e idrauliche della piana alluvionale del Torrente Nervia**

Viene presa in esame la bassa vallata del T. Nervia, compresa tra loc. S.Rocco presso la confluenza con il rio Colmo e lo sbocco del torrente al mare. A monte della loc. S.Rocco l'alveo del Torrente risulta direttamente inciso in roccia. Viceversa a valle della suddetta località l'alveo del torrente è inciso nei depositi alluvionali.

Il torrente scorre con direzione N-S in una vallata abbastanza ampia e avente una modestissima pendenza, in 6 Km infatti il torrente passa da una quota di 37 m., al livello del mare. E' presente una certa sinuosità del corso d'acqua che divaga da un andamento rettilineo orientato N-S, ad andamento N-W e N-E essendo probabilmente influenzato dalle principali direttrici tettoniche.

La piana alluvionale è formata da depositi alluvionali quaternari che poggiano sui lembi pliocenici di Ventimiglia-Bordighera dalla foce a Camporosso, sui livelli calcareo-marnosi del Flysch di Ventimiglia oltre Camporosso.

Dal punto di vista litologico, nei clasti costituenti le alluvioni in esame sono presenti solo i tipi petrografici che costituiscono i terreni affioranti nella valle del T. Nervia.

Nell'ambito dei depositi alluvionali sono riconoscibili sia le alluvioni mobili e recenti, sia alluvioni antiche. In particolare, il ripiano più basso è costituito dalle alluvioni recenti del T. Nervia all'interno delle quali è modellato l'attuale alveo e, lungo la linea di costa, dai depositi marini attuali; le alluvioni terrazzate sono costituite dalle alluvioni depositate dal suddetto corso d'acqua in epoche più antiche.

- **I depositi alluvionali mobili attuali** sono costituiti da ghiaie con ciottoli e talora blocchi con sabbia.
- **I depositi alluvionali terrazzati recenti** risultano in genere costituiti da ghiaie eterometriche grossolane, con prevalenza litologica dei termini calcarei ed arenacei, immersi in una matrice sabbioso limosa talora argillosa; sono talora arealmente mascherati sia da uno strato di terreno vegetale sia da insediamenti sparsi. Generalmente si tratta di sedimenti ben costipati .

In questa sede non vengono studiate le alluvioni terrazzate antiche, non solo per scarsità di dati, ma anche perchè si presuppone non abbiano, al loro interno una falda che possa essere sfruttata; viene quindi indagato soltanto l'acquifero di subalveo.

La successione alluvionale in esame è costituita da depositi caratterizzati da una permeabilità molto varia, da elevata a praticamente nulla, in grado di ospitare al loro interno un tipico acquifero di subalveo.

Complessivamente, i depositi alluvionali recenti occupano una superficie di circa **2.000.000 m<sup>2</sup>**.

E' da notare che i pozzi sfruttati sono ubicati da Camporosso alla foce, dove il substrato appartiene ai depositi pliocenici; viceversa a nord di Camporosso l'esigua profondità dell'acquifero associato ad un substrato flyscioide non garantisce un adeguato sfruttamento.

Per determinare le **caratteristiche idrogeologiche** dell'acquifero è necessario possedere un congruo numero di dati derivanti da indagini in sito: nel Bacino del Torrente Nervia, gli unici dati in nostro possesso sono rappresentati da dati stratigrafici riferiti a sondaggi (Autostrada dei Fiori Spa), nonché da dati forniti dall'Acquedotto di Savona.

Le alluvioni recenti sono costituite da depositi sciolti, formati prevalentemente da ciottoli (anche di diametro pluridecimetrico), ghiaie e sabbie per lo più grossolane. Sono altresì presenti limi, limi argillosi ed argille, sia commisti con i suddetti litotipi, sia costituenti degli orizzonti.

I dati raccolti evidenziano quanto segue:

- il notevole spessore dei sedimenti alluvionali, presso il tracciato dell'autostrada, raggiungono la potenza massima di circa 36 m, mentre presso l'Acquedotto di Bordighera la potenza massima raggiunge 45 m circa;
- livello permeabile generalmente ghiaioso in cui si sviluppa la falda freatica;
- la presenza di un livello impermeabile ad una profondità variabile tra 9.50 e 16 m probabilmente discontinuo.
- livello permeabile intermedio il cui spessore varia da 2 a 6 metri ; non è possibile definire un possibile collegamento con l'acquifero superiore;
- la presenza di un livello fine limo-argilloso ad una profondità variabile dai 18 ai 27 m con spessore variabile da 10 a 3 m procedendo da E verso W. Tale strato essendo presente anche a valle, presso il "campo pozzi" di Camporosso (vedere Appendice n°2) sembrerebbe continuo almeno tra la foce e il viadotto dell'autostrada;
- livello permeabile generalmente ghiaioso sino al substrato roccioso.

L'insieme dei dati raccolti ha permesso di evidenziare che:

- nell'acquifero sono presenti due falde principali una inferiore (confinata e/o semiconfinata) ed una superiore freatica;
- si hanno flussi dal torrente verso la falda freatica e scambi tra la falda superiore e la falda inferiore. Anche se attualmente non quantificabile si prevedono scambi tra la falda inferiore e l'interfaccia acque dolci-acque salate;
- il T. Nervia rappresenta l'unica alimentazione del sistema idrogeologico della Piana; esso ricarica tutti gli orizzonti acquiferi. Con l'inserimento di un idrometro adeguatamente ubicato sarà possibile verificare che le variazioni piezometriche (in particolare per quanto attiene alla falda confinata) sono marcatamente connesse con l'andamento delle portate del suddetto torrente.
- A Est e ad Ovest, i terreni che bordano le alluvioni recenti rappresentano i limiti idrogeologici, in quanto caratterizzati da un grado di permeabilità inferiore a quello delle suddette alluvioni.
- lungo la linea di costa è presente un limite idrogeologico "a carico imposto", fissato dalla presenza del mare, e può essere considerato essenzialmente costante (essendo trascurabili gli effetti indotti dall'escursione di marea); in particolare, assumendo il livello medio marino come quota di riferimento per i carichi piezometrici, il predetto carico imposto risulta essere praticamente nullo. Per tale motivo, la superficie piezometrica di riferimento dell'acquifero di subalveo può essere considerata, nel suo complesso, come un piano inclinato, ad angolazione variabile ed incernierato in corrispondenza della linea di costa
- per determinare le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero è necessario possedere un congruo numero di dati derivanti da indagini in sito che a tutt'oggi non sono presenti.

La permeabilità primaria (per porosità) è molto scarsa nei terreni pliocenici e praticamente nulla in quelli fliscioidi, mentre quella secondaria (per fessurazione), pur essendo sviluppata in entrambi i terreni citati (ed in particolare nei secondi), è, di norma, assai discontinua, con fessurazioni non sempre in connessione tra di loro e comunque poco sviluppate in profondità. Ciò dà origine ad una circolazione delle acque di infiltrazione generalmente molto superficiale, che poco o nulla contribuisce all'alimentazione della falda idrica di subalveo. E' comunque ipotizzabile, vista la profondità del materasso alluvionale, che in corrispondenza dei rilievi pliocenici, per motivi di ordine tettonico, una certa alimentazione alla suddetta falda.

Le proprietà idrogeologiche più rilevanti dei terreni costituenti l'acquifero sono la permeabilità, la trasmissività, la porosità efficace e il coefficiente di immagazzinamento. Non è

possibile effettuare stime dirette dei valori di permeabilità e trasmissività. Vengono di seguito indicati nella seguente tabella i valori più attendibili presenti in letteratura della permeabilità e della porosità efficace.

LITOLOGIA	PERMEABILITA' MEDIA m/sec	POROSITA' EFFICACE (%)
Alluvioni ghiaiose-ciottolose pulite	$10^{-2}$	30-20
Alluvioni ghiaioso-ciottolose a matrice sabbiosa-limosa	$10^{-2}-10^{-4}$	20-10
Limi e argille con ghiaie	$10^{-5}-10^{-7}$	>5
Limi e argille fine	Praticamente impermeabili	

Tabella 3.6 – Valori di permeabilità e porosità efficace delle litologie presenti nelle alluvioni dell'acquifero del Torrente Nervia

Al fine di stimare la superficie infiltrante dell'acquifero, dal momento che i parametri che caratterizzano i sedimenti delle alluvioni, si possono, per quasi tutta l'estensione dell'acquifero, paragonare a quelli del T. Argentina, è stato utilizzato il valore di 700 mm/giorni (determinato a seguito di misure di infiltrazione in situ- Università degli studi di Pavia- Studio delle risorse idriche di subalveo del T.Argentina, 1993) anche per il T. Nervia. La superficie infiltrante è stimata in circa 312.000 mq (lunghezza alveo pari a 6,5 km, larghezza pari a 45 m., per cui la portata massima infiltrabile è di **2,3mc/sec** pari a **72.000.000 mc/anno**.

Per quanto attiene all'assetto idrogeologico della falda di subalveo, di particolare importanza è la presenza nel corpo dei depositi alluvionali recenti dei livelli limo argillosi (impermeabili e/o semipermeabili). Soltanto con studi di dettaglio corredati da indagini dirette è possibile verificare la presenza e l'estensione della falda confinata o semiconfinata, se l'acquifero libero superficiale sia continuo; sarà quindi possibile definire la corretta geometria dell'acquifero per tutta la sua estensione e le sue caratteristiche idrologiche..

### **3.4 - Calcolo delle riserve permanenti**

La valutazione delle riserve idriche permanenti per le considerazioni su esposte viene calcolata in prima approssimazione, considerando l'acquifero omogeneo e anisotropo; le riserve idriche sotterranee sono date quindi dal prodotto dei volumi dei serbatoi saturi con la porosità efficace.

Sulla base dei risultati dei sondaggi e delle stratigrafie dei pozzi, considerando che i depositi alluvionali interessati dal flusso di subalveo, presentano un elevato grado di permeabilità, si ritiene di poter attribuire agli acquiferi una permeabilità medio-alta, ed una porosità efficace media (vedere tabella 1) pari al 30% .

Il deposito alluvionale più profondo, rilevato a seguito dei sondaggi precedentemente riportati, confinato o semiconfinato, con potenza media di **20 m** non avendo dati oltre il viadotto dell'autostrada, si ipotizza, per difetto che abbia una estensione pari a **1.000.000** mq che corrisponde ad un volume di circa **20.000.000 di mc**. Essendo la porosità efficace media delle alluvioni dell'ordine del 30% risulta che tali alluvioni possano contenere un volume d'acqua pari a circa **6.000.000 mc**.

Il deposito alluvionale più superficiale libero si ipotizza possa avere una potenza media di 15 m ed una estensione pari a 2.000.000 mq per cui occupano un volume stimato in circa 30.000.000 mc. Essendo la porosità efficace media delle alluvioni dell'ordine del 30% risulta che tali alluvioni possano contenere un volume d'acqua pari a circa **9.000.000 mc**.

**Il deposito alluvionale può contenere quindi 15.000.000 mc**

### **3.5. Calcolo del bilancio idrico teorico dell'acquifero di subalveo**

Il bilancio, annuale o pluriennale, rappresenta lo strumento fondamentale per pianificare lo sfruttamento e la gestione delle risorse idriche sotterranee.

Per il calcolo del bilancio è stata utilizzata l'equazione proposta da Bear e qui ripresa e leggermente modificata:

**Flusso laterale in ingresso – Flusso laterale in uscita + Ricarica naturale + Flusso di ritorno + Ricarica artificiale + Flusso in ingresso da deflusso superficiale e laghi + Flusso delle sorgenti – Evapotraspirazione – Pompaggio = Variazione di volume dell'acqua immagazzinata nell'acquifero**

Dal punto di vista teorico la somma algebrica dovrebbe essere pari a 0, ma difficilmente si ha tale risultato per possibili errori nella stima dei vari termini.

- Flusso laterale in ingresso: rappresenta i volumi d'acqua provenienti per via sotterranea da domini idrogeologici adiacenti a quello considerato, nell'area in esame tali volumi possono essere rappresentati da quelli provenienti dai litotipi costituenti il substrato dell'acquifero di subalveo ed i rilievi che bordano la piana; tali contributi non appaiono significativi in quanto i depositi flyschoidi sono interessati da una circolazione idrica piuttosto ridotta testimoniata dalla quasi totale assenza di sorgenti, allo stesso modo gli apporti dei livelli pliocenici sono scarsi per la limitata permeabilità. Anche per quanto attiene ai depositi alluvionali antichi il loro apporto è praticamente nullo dato il loro stato di cementazione. Per cui possiamo considerare uguale a 0 questo termine.

- Flusso laterale in uscita: rappresenta il volume d'acqua che fluisce per via sotterranea dal dominio considerato a quelli adiacenti. Trascurando il passaggio di volumi d'acqua dai depositi alluvionali verso il substrato, il volume in esame appare quindi costituito dalle portate defluenti verso il mare. Per quanto attiene a tali portate occorre tenere presente che la loro entità deve essere tale da impedire la risalita del cuneo salino all'interno dell'acquifero. Tale risalita infatti potrebbe non solo ridurre i volumi d'acqua presenti nell'acquifero ma anche portare un insalinamento dei pozzi più prossimi alla linea di costa. Attualmente non è possibile calcolare il volume minimo di acqua dolce defluente a mare necessario per impedire l'avanzamento del cuneo salino in quanto non si hanno i dati necessari per poter derivare una sezione dell'acquifero che potrebbe essere interessata dall'avanzata del cuneo salino. Inoltre poiché si è in presenza di una falda multistrato, confinata, la legge di Darcy prevede la conoscenza dello spessore degli strati permeabili (dati in nostro possesso non sufficienti per definire tali spessori). Viene quindi considerato uguale a zero questo termine.

- Ricarica naturale: è quella frazione delle precipitazioni meteoriche che nel periodo considerato raggiunge la zona satura e che è anche indicata come infiltrazione efficace. Considerando la limitata estensione areale della piana alluvionale l'intensa antropizzazione ed i valori pluviometrici si può concludere che tale fattore presenta una modestissima incidenza nel calcolo del bilancio dell'acquifero in esame.

Si può osservare che nell'anno medio (1951-1989) cade sulla porzione di bacino imbrifero del T. Nervia corrispondente all'area in esame e valutabile in circa 14 kmq, una lama d'acqua di 900mm (vedere Tav. 6), pari ad un volume di circa 14.000.000 mc/anno. Questo volume, che cade

sulla porzione di territorio nella quale sono presenti formazioni da poco a mediamente permeabili, non alimenta in modo sostanziale l'acquifero di subalveo, sia perché in parte l'acqua si infiltra in suddetti terreni, sia perché il rimanente viene per lo più captato da opere di raccolta superficiali e inviato alla rete fognaria. Appare dunque logico limitare l'attenzione alle sole precipitazioni cadute sulle alluvioni recenti, e poiché esse occupano, come detto, una superficie di circa 2.0 kmq, il volume d'acqua che le interessa è di circa 1.800.000 mc. Bisogna, però, tener presente che circa l'80% dell'area in oggetto presenta coperture che impediscono il fenomeno dell'infiltrazione, per cui del suddetto volume rimangono circa 360.000 mc i quali, anche se supponendo che raggiungano l'acquifero, rappresentano una portata di soli 0,011 mc/sec, trascurabile rispetto a quella che mediamente può infiltrarsi nel corso dell'alveo del torrente.

- Flusso di ritorno: rappresenta il volume proveniente da reinfiltrazione d'acqua a seguito di attività irrigue, perdite di tubazioni, ecc.. L'entità di tale fattore è, ovviamente, assai difficile da quantificare. Per quanto attiene al caso in esame, nell'ambito dell'area interessata dalla presenza delle alluvioni recenti, i terreni soggetti ad irrigazione assommano a circa 900.000 mq; nell'ipotesi che, mediamente, nel corso dell'anno vengono utilizzati 0,55 mc d'acqua per mq di terreno, si ha un totale di circa 495.000 mc. Si può ritenere che il 20% del suddetto volume, pari a 100.000 mc, si reinfiltri fino a raggiungere la falda di subalveo.

- Ricarica artificiale: costituisce, come il nome stesso indica, il volume d'acqua che viene apportato alla zona satura del dominio considerato. Non esistono in zona impianti aventi il suddetto scopo. Tale fattore è uguale a 0.

- Flusso in ingresso da deflusso superficiale e laghi: è il volume d'acqua apportato al dominio per infiltrazione da deflusso superficiale. La totalità dell'alimentazione dell'acquifero è fornita dall'infiltrazione delle acque del torrente Nervia per quanto concerne le portate di quest'ultimo vengono trascurati sia i deflussi superficiali legati esclusivamente ad intense precipitazioni, sia le quantità d'acqua dovute a precipitazione diretta. La portata massima infiltrabile come precedentemente scritto, è valutabile intorno a **72.000.000 mc/anno**, pari a **2,3 mc/sec**

- Flusso dalle sorgenti: volume d'acqua fornito da queste ultime. Nell'area in esame tale volume praticamente è 0.

- Evapotraspirazione: nell'area in esame, la perdita dovuta all'evapotraspirazione è valutabile intorno a 360.000 **mc/anno** pari a 0.011 **mc/sec**;

- Pompaggio: è il volume d'acqua in uscita per emungimenti dal dominio. Al febbraio 2006 i prelievi dall'acquifero di subalveo hanno raggiunto i **17.000.000 mc**;

- Variazione del volume d'acqua immagazzinata nell'acquifero. Dalle considerazioni sopra esposte ne consegue che in teoria il bilancio medio annuo può essere così sintetizzato:

- <b>Volume in entrata</b> (flusso proveniente dal T.Nervia + ricarica naturale +flusso di ritorno).....	72.460.000 mc
- <b>Volume in uscita</b> (perdita per evapotraspirazione+ pompaggio.....	17.360.000 mc
- <b>Volume immagazzinato</b> .....	55.100.000 mc

Le valutazioni sopra riportate consentono di valutare che attraverso l'infiltrazione possono giungere all'acquifero di subalveo **2,3mc/s**, che **0,011 mc/s** si perdono per evapotraspirazione; ne consegue che rimangono **2,2 mc/s** disponibili per l'emungimento, a fronte delle esigenze idriche che risultano pari a **0,5 mc/s**.

E' da sottolineare che non sono state valutate le perdite per contrastare il cuneo salino che potrebbe far diminuire la portata che può essere immagazzinata dal momento che non si hanno a disposizione dati stratigrafici relativi alle zone che potrebbero essere interessate da tale fenomeno. Per fornire comunque un'indicazione sull'ordine di grandezza delle portate necessarie per evitare l'avanzamento del cuneo salino, possono essere considerati i dati desunti per altri bacini presenti nella Provincia di Imperia ed in particolare:

- Torrente Argentina 1,1 mc/s;
- Torrente Impero 0,036 mc/s;
- Torrente Prino 0,32 mc/s.

La situazione potrebbe drasticamente cambiare se venisse analizzato l'andamento delle portate medie giornaliere, nel periodo estivo.

A tale proposito sarebbe interessante valutare, statisticamente, quando le portate del Nervia risultano inferiori a 2,5 mc/s valore che rappresenta il deflusso minimo indispensabile per mantenere l'acquifero di subalveo in una situazione di equilibrio. Poiché l'unica stazione idrometrica presente nel bacino è ubicata presso l'abitato di Isolabona, e quindi assai lontana dall'acquifero possiamo solo verificare, usando il modello Hydro\_co in una sezione presso l'inizio



dell'acquifero, che nell'anno idrologico medio si raggiungono portate inferiori nei mesi di giugno luglio agosto settembre.

MESI	PORTATE MC/S
Giugno	0.6
Luglio	0.0000
Agosto	0.018
Settembre	0.2

Tabella 3.7 – Portate del T.Nervia calcolate con Hydro\_co nella sezione presso l'inizio dell'acquifero nell'anno idrologico medio 1951-1970

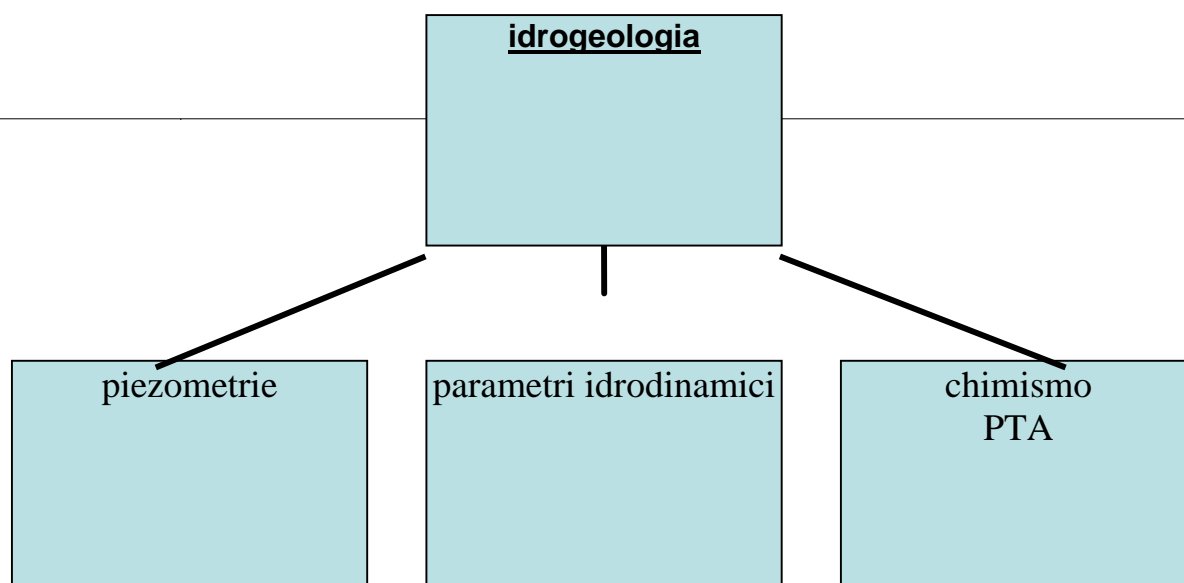
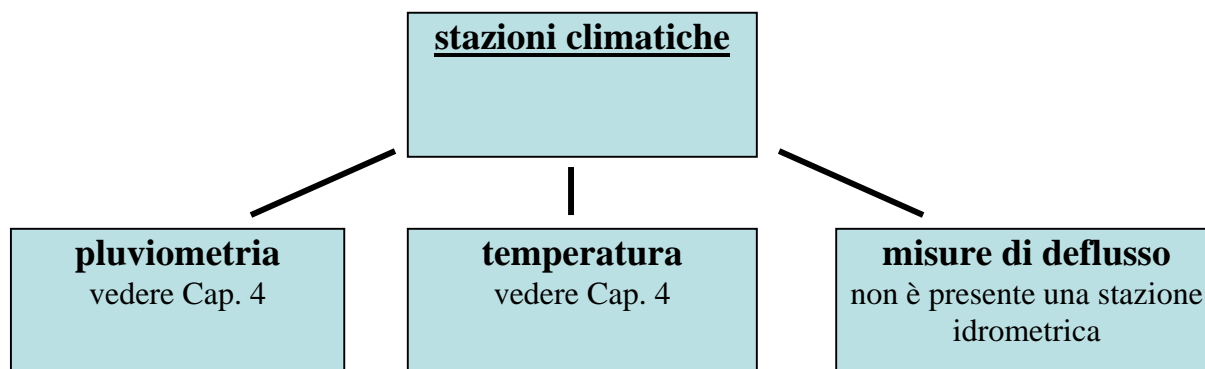
### **3.6 Valutazioni per l'aggiornamento del Bilancio e l'adeguamento al D. Lgs. 152/1999**

*(Allegato 4)*

Per aggiornare i dati sopra riportati, per valutare la reale quantità e la definizione dei metodi per un idoneo sfruttamento delle risorse idriche, è necessario un adeguato numero di informazioni riguardante le stazioni climatiche, l'idrologia e l'idrogeologia, la profondità dei pozzi più significativi, le variazioni del livello piezometrico nel tempo.

Si ricorda che i valori calcolati nel paragrafo precedente sono da ritenersi stimati e o comunque teorici. La modalità operativa idonea per avere dati più reali sono:

- esecuzione di indagini geognostiche (es. sondaggi elettrici verticali);
- esecuzione di prove di permeabilità e di portata;
- monitoraggio di livelli piezometrici;
- calcolo della velocità di infiltrazione;
- ricostruzione dell'andamento spaziale del materasso alluvionale e della morfologia del suo substrato;
- installazione di un idrometro per monitorare la portata del T.Nervia essendo quest'ultimo la principale via di alimentazione dell'acquifero della piana.



Per quanto riguarda i dati piezometrici, i dati reperiti risultano frammentari ed incompleti: ad esempio i dati delle piezometrie forniti dall'Arpal di Imperia riguardano solo alcuni pozzi e non è chiaro se le misure siano riferite alla quota campagna o sia già stata considerata la quota boccapozzo. Sarebbe quindi auspicabile eseguire il monitoraggio su un adeguato numero di pozzi ritenuti più significativi per lo studio dell'acquifero, in accordo con l'ente preposto (ARPAL) per soddisfare quanto enunciato dal D. Lgs. 152/1999 (Allegato 4) . L'Acquedotto di Savona ha fornito per gli anni 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 i livelli statici e dinamici di 4 pozzi ( vedere Appendice 2).

*omissis*

*“I dati desunti dalle attività di monitoraggio dovranno essere opportunamente elaborati dalle Regioni al fine di definire e parametrizzare i seguenti indicatori generali, da utilizzare per la classificazione:*

- morfologia della superficie piezometrica;*
- escursioni piezometriche;*
- variazioni delle direzioni di flusso;*
- entità dei prelievi;*
- variazioni delle portate delle sorgenti o emergenze naturali delle acque sotterranee;*
- variazioni dello stato chimico indotto dai prelievi;*
- movimenti verticali del livello del suolo connesse all'estrazione di acqua dal sottosuolo*

*Per quanto riguarda gli aspetti quantitativi, su un numero ridotto di punti significativi appartenenti alle reti di monitoraggio individuate, le misure dovranno essere eseguite con cadenza mensile e sui pozzi, sui piezometri. Le misure sulle sorgenti dovranno essere anche più ravvicinate in ragione dei tempi di esaurimento della sorgente stessa.”*

Individuare i settori di maggiore idoneità allo sfruttamento tramite pozzi e valutare le problematiche connesse alla delimitazione delle relative aree di salvaguardia sono il fine dello studio idrogeologico dell'acquifero che deve essere comprensivo delle seguenti fasi:

- analisi della dinamica della falda e rapporti falda fiume attraverso il monitoraggio della falda (livelli piezometrici) di pozzi con la valutazione delle caratteristiche idrodinamiche (trasmissività e permeabilità) attraverso prove di emungimento.
- valutazione di risorse e riserve idriche sotterranee dell'acquifero principale attraverso l'analisi dei dati quali: cicli di esaurimento di livelli piezometrici, escursione dei livelli piezometrici, valutazione del deflusso sotterraneo).

APPENDICE 1

**Prelievi stimati al mese di febbraio 2006**

<b>Numero pratica</b>	<b>Ditta</b>	<b>Comune</b>	<b>Tipo di presa</b>	<b>Uso</b>	<b>Portata l/s</b>
108	Bracco Maria Rina ed Altri	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.12
122	Luci Giuseppe ed Altri	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.114
181	Raimondo Angelo	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.17
271	F.lli Aprosio Rinaldo e Umberto ed Altri	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.005
272	Noaro Fernanda e Pitti Anna	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.02
273	Damele Angelo e Giuseppina	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.01
281	Fazio Enzo	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.22
282	Biancheri Marco ed Altri	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.22
283	Fazio Lorenzo	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.22

285	Damele Nicola	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.008
286	Curti Mariano	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.19
290	Pastorino Oviglio e Mario	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.01
291	Musso Giuseppe	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.06
293	Pitto Vittorina	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.03
295	Marchioni Rosanna e Moraglia Marina	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.09
296	Biancheri Davide ora Ballotta Piero	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.13
297	Guglielmi Giuseppe	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.2
299	Rondelli Luigi e Angela	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.07
301	Garzo Eraldo e Laura	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.302
303	Gibelli Renata	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.04
305	Odasso Italo	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	1
307	Arabia Pietro	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.07
308	Azzolini Alberto ora Ruggiero Giuseppina	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.22
309	Maiolani Aldo	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.0333
311	Guglielmi Agostino	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.09
312	Squarciafichi Antonietta	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.08
314	Lorenzi Carlo e Lorenzi Liliana ora Lorenzi Carlo ed Altri	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.1
319	Curti Marisa ed Altri	VALLECROSIA	Pozzo	Irriguo	0.18
321	Calcagno Luciano ed Altri	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.25
332	Giauni Giovanni ed Altri	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.0324
361	Muratore Delia	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.04
417	Biancheri Alberto e Antonio	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.0955
497	Pisano Emilio	VENTIMIGLIA	Pozzo	Irriguo	0.04
501	Guglielmi Carmela ora Fissore Silvana	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.08
519	Lanteri luciano ora Lanteri Fabio	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.15

522	Campero Vincenzo ed Altri	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.07
554	Ferrari Maria Grazia	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.03
583	Farruggio Anna Maria	CAMPOROSSO	Pozzo	Irriguo	0.06

**TOTALE  
PARZIALE 4.8502**

313	Ballestra Dino s.r.l. ora ROTALAT s.r.l.	CAMPOROSSO	Pozzo	Industriale	3.66
417	Biancheri Alberto e Antonio	CAMPOROSSO	Pozzo	Industriale	0.0955
500	Lavaget di Giordano Anna Lucia e C.	CAMPOROSSO	Pozzo	Industriale	0.1

**TOTALE  
PARZIALE 3.8555**

280	Bock Peter e Bock Wolfgang (Immobiliare Andora)	CAMPOROSSO	Sorgente	Irriguo	0.37
-----	--	------------	----------	---------	------

**TOTALE  
PARZIALE 0.37**

**TOTALE  
FINALE 9.0757**

grande derivazione	uso	portata derivata
ACQUEDOTTO DI SAVONA	POTABILE ED IRIGUO	300 l/s
ACQUEDOTTO DI BORDOGHERA	POTABILE	230 l/s

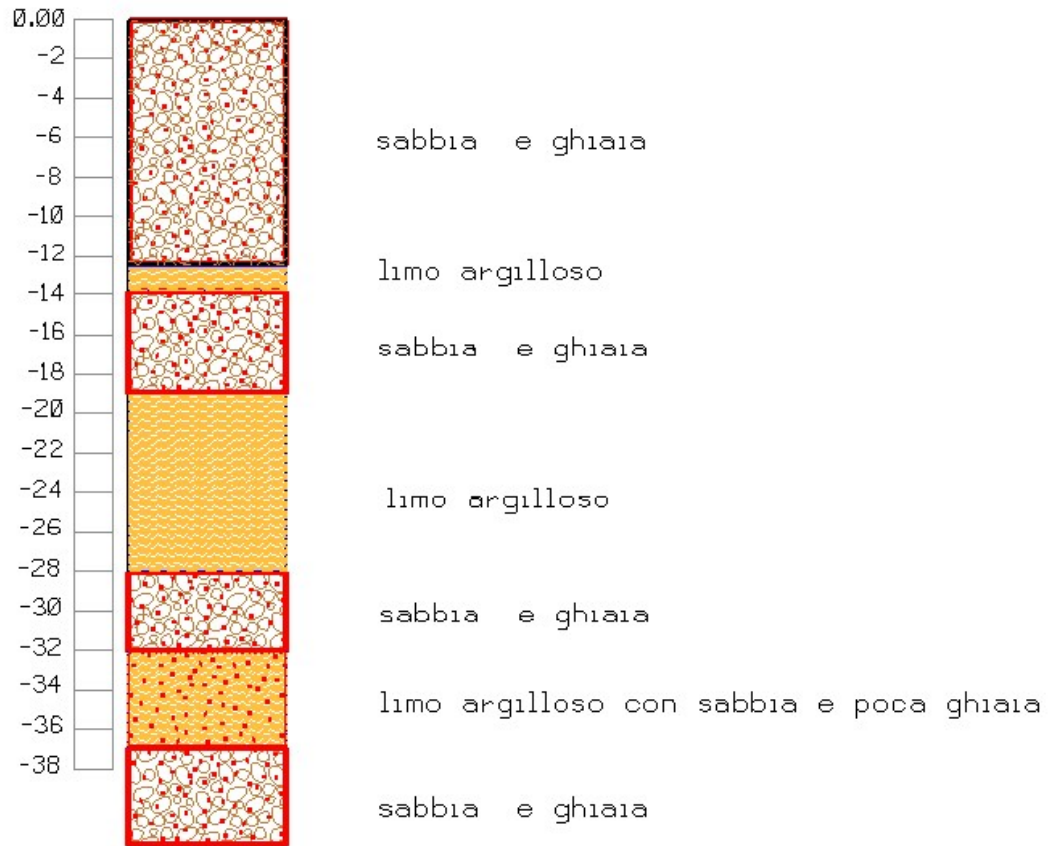
## APPENDICE 2

### Stratigrafie e livelli piezometrici dei pozzi gestiti dall'Acquedotto di Savona Stratigrafie dei pozzi gestiti dall'acquedotto di Bordighera

#### ACQUEDOTTO DI SAVONA

La grande derivazione d'acqua ad uso potabile ed irriguo da un "Campo Pozzi" in località Braie è ubicata nel Comune di Camporosso. Il campo pozzi è composto da 8 pozzi di subalveo che emungono acqua in sponda sinistra del T.Nervia. L'acqua emunta viene raccolta da un serbatoio. I singoli pozzi dispongono di elettropompe sommerse. I consumi procapite vengono stimati intorno a 250 l giornalieri. La derivazione viene ripartita in 200 l/s ad uso potabile e 100 l/s ad uso irriguo.

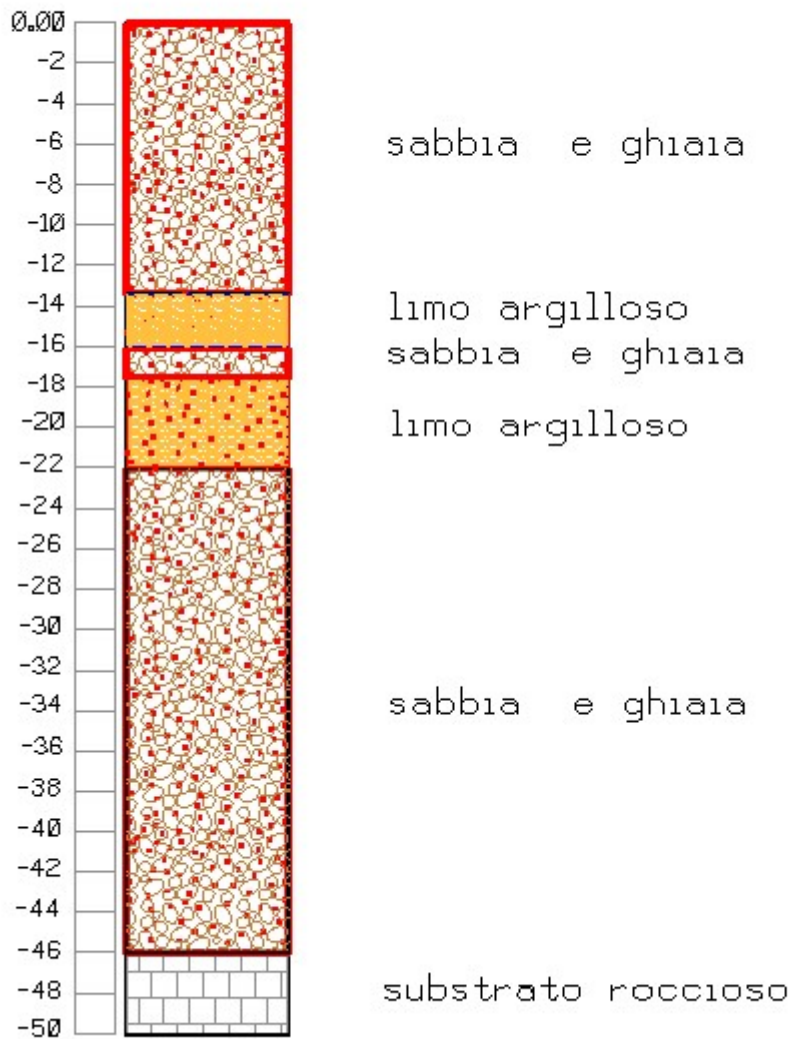
1



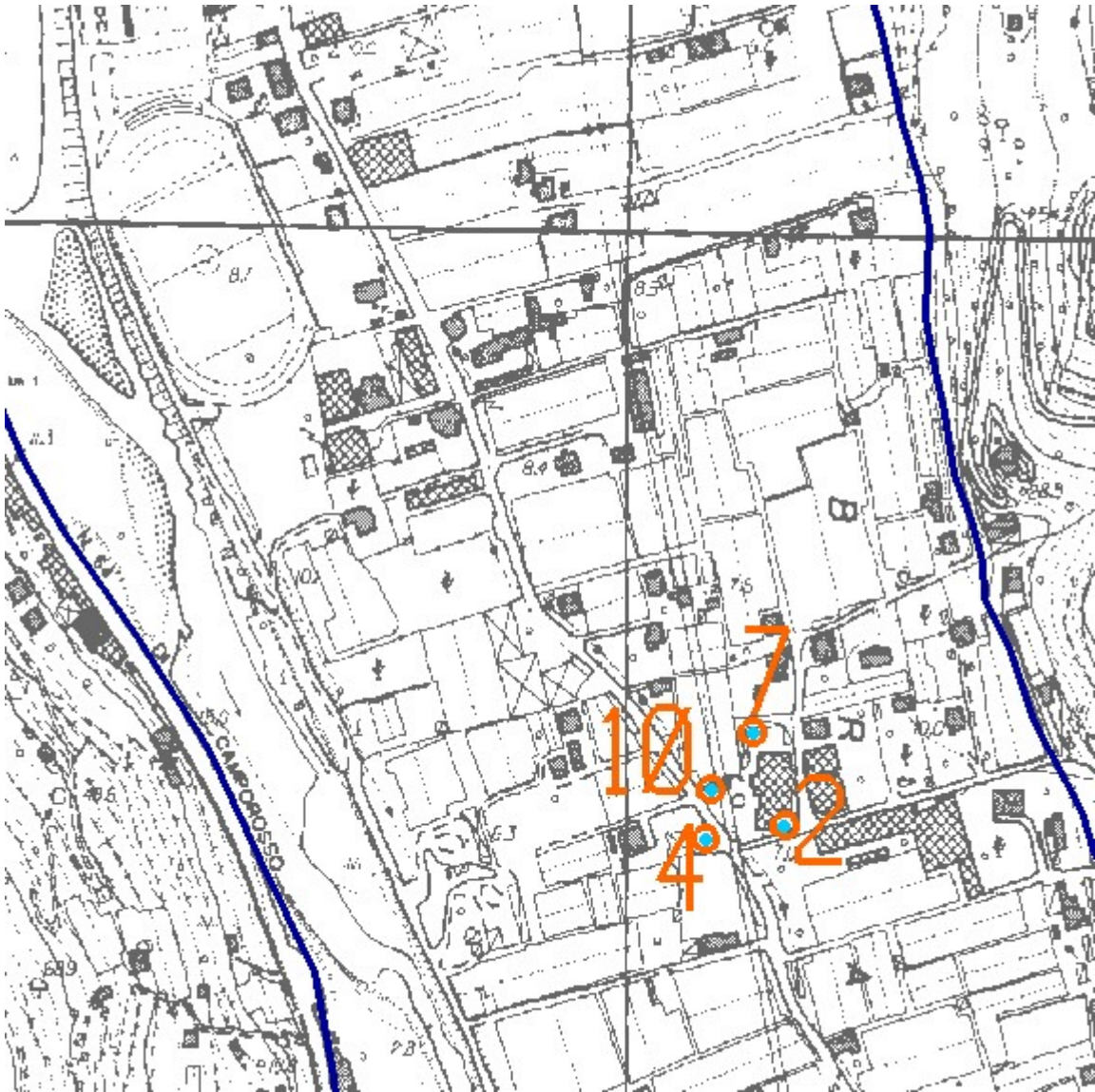
ACQUEDOTTO DI BORDIGHERA



2



Planimetria con ubicazione pozzi Acquedotto di Savona



POZZO N. 4	
Data	Livello statico (m)

marzo 2000	5.00
luglio 2000	5.65
agosto 2000	6.90
settembre 2000	7.30
ottobre 2000	3.00

maggio 2001	2.60
giugno 2001	4.50
agosto 2001	6.80
settembre 2001	6.45

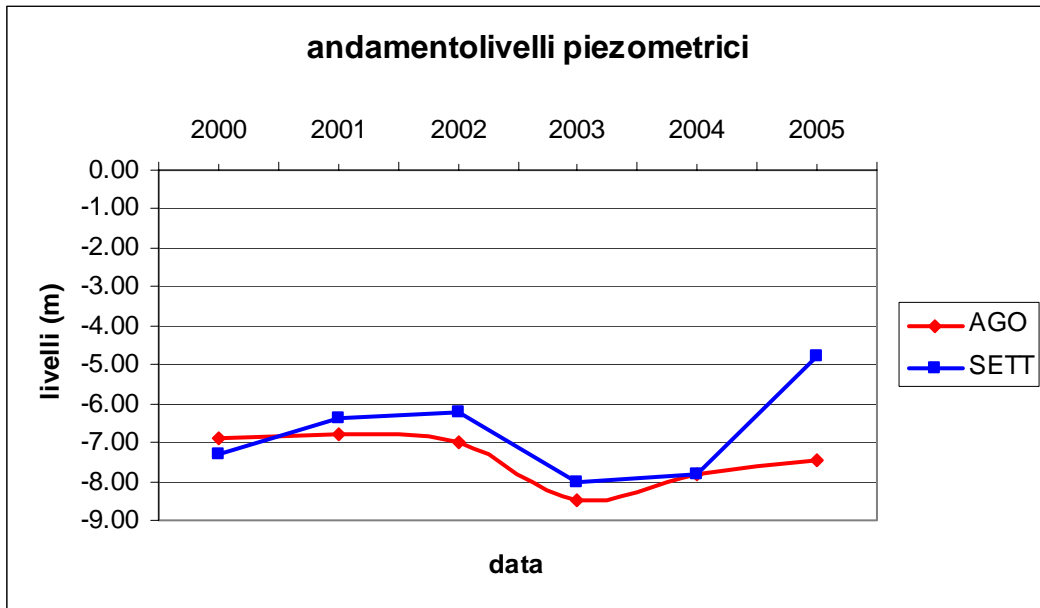
gennaio 2002	7.20
febbraio 2002	5.40
marzo 2002	3.20
maggio 2002	2.90
giugno 2002	5.20
luglio 2002	6.00
agosto 2002	7.00
settembre 2002	6.20
novembre 2002	3.30
dicembre 2002	2.90
gennaio 2003	2.30

febbraio 2003	3.10
marzo 2003	4.50
aprile 2003	3.20
maggio 2003	3.70
giugno 2003	6.30
luglio 2003	7.15
agosto 2003	8.50
settembre 2003	8.15
ottobre 2003	6.30
novembre 2003	3.20

MARZO 2004	3.60
aprile 2004	4.20
giugno 2004	4.40
luglio 2004	6.00
agosto 2004	7.80
settembre 2004	7.80
novembre 2004	4.70

marzo 2005	6.90
aprile 2005	4.10
giugno 2005	5.25
luglio 2005	6.10
agosto 2005	7.45

settembre 2005	4.80
----------------	------



**POZZO N. 2**

<b>Data</b>	<b>Livello statico (m)</b>
marzo 2000	5.00
luglio 2000	6.00
agosto 2000	7.00
settembre 2000	7.50
ottobre 2000	3.10

maggio 2001	3.70
giugno 2001	4.60
agosto 2001	7.00
settembre 2001	7.50

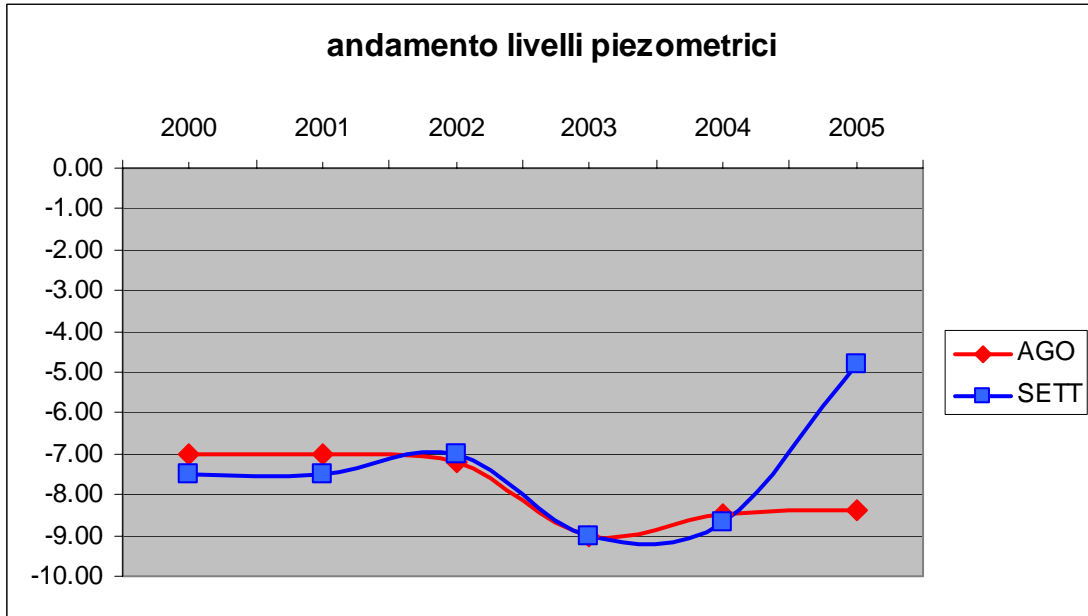
GENNAIO 2002	7.70
febbraio 2002	5.00
marzo 2002	4.00
giugno 2002	5.50
luglio 2002	6.30
agosto 2002	7.20
settembre 2002	7.00
novembre 2002	4.00
dicembre 2002	3.00

gennaio 2003	3.50
febbraio 2003	3.00
marzo 2003	4.00
aprile 2003	3.90
maggio 2003	3.20
giugno 2003	6.80
luglio 2003	7.80
agosto 2003	9.15
settembre 2003	9.00
ottobre 2003	8.40
novembre 2003	6.40

marzo 2004	5.20
aprile 2004	4.50
giugno 2004	4.40
luglio 2004	7.00
agosto 2004	8.50
settembre 2004	8.70
novembre 2004	5.00

marzo 2005	7.30
aprile 2005	5.30

giugno 2005	5.70
luglio 2005	6.40
agosto 2005	8.40
settembre 2005	4.80



**POZZO N. 7**

Data	Livello statico (m)
marzo 2000	5.00
luglio 2000	5.60
agosto 2000	7.75
settembre 2000	7.50
ottobre 2000	3.60

maggio 2001	3.20
giugno 2001	4.80
agosto 2001	7.10
settembre 2001	7.30

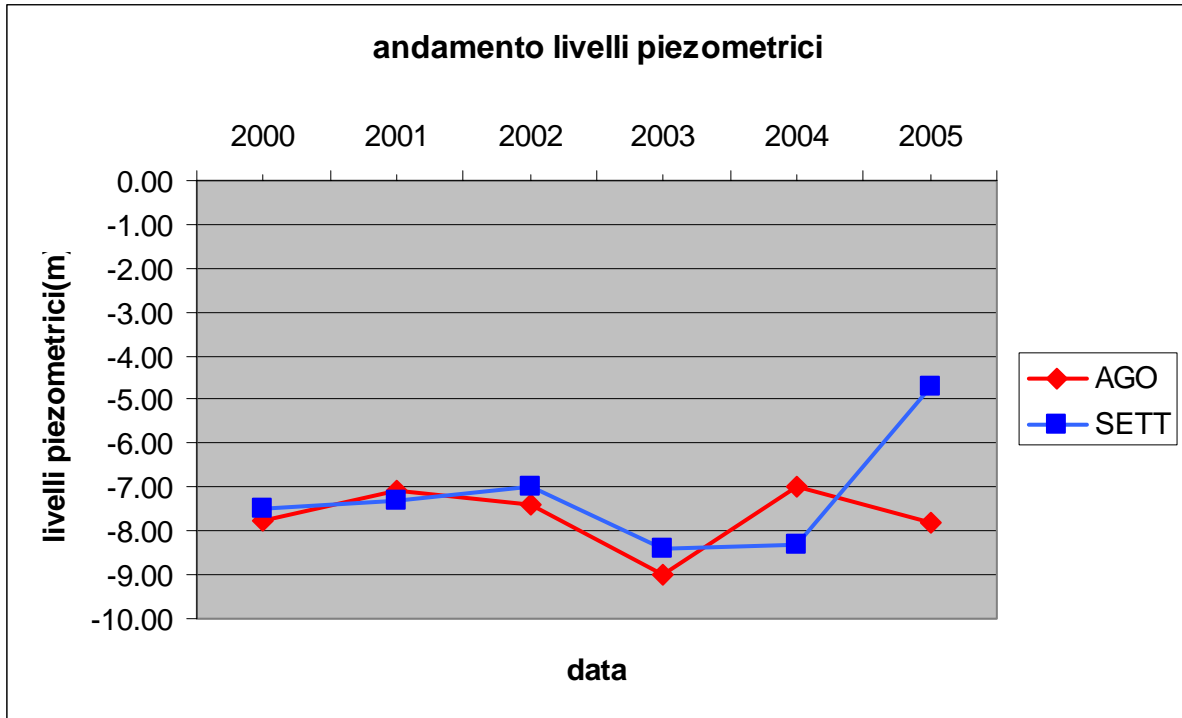
febbraio 2002	5.60
marzo 2002	3.00
maggio 2002	3.20
giugno 2002	4.80
luglio 2002	5.30
agosto 2002	7.40
settembre 2002	7.00
novembre 2002	3.10
dicembre 2002	2.90

gennaio 2003	3.30
febbraio 2003	2.70
marzo 2003	3.90
aprile 2003	3.20
maggio 2003	4.00
giugno 2003	6.30
luglio 2003	7.45
agosto 2003	9.00
settembre 2003	8.40
ottobre 2003	7.15
novembre 2003	3.60

marzo 2004	3.30
aprile 2004	4.30
giugno 2004	3.70
luglio 2004	6.30
agosto 2004	7.00
settembre 2004	8.30
novembre 2004	4.90

marzo 2005	5.95
------------	------

aprile 2005	4.30
giugno 2005	5.60
luglio 2005	6.60
agosto 2005	7.85
settembre 2005	4.70





<b>POZZO N. 10</b>	
<b>Data</b>	<b>Livello statico (m)</b>
marzo 2000	5.00
luglio 2000	6.10
agosto 2000	7.55
settembre 2000	7.60
ottobre 2000	3.55

MAGGIO 2001	3.80
giugno 2001	4.70
agosto 2001	6.40
settembre 2001	7.85

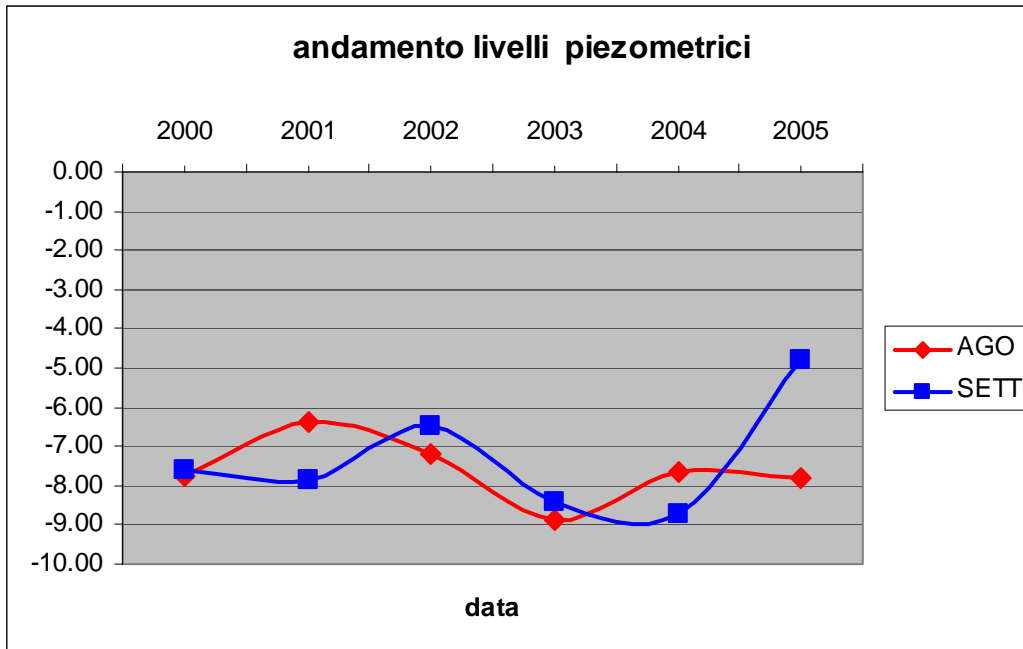
FEBBRAIO 2002	5.35
marzo 2002	3.90
maggio 2002	4.10
giugno 2002	5.10
luglio 2002	5.80
agosto 2002	7.20
settembre 2002	6.50
novembre 2002	3.50
dicembre 2002	3.00

febbraio 2003	3.00
marzo 2003	3.90
aprile 2003	3.40
maggio 2003	3.90
giugno 2003	6.20
luglio 2003	7.55
agosto 2003	8.90
settembre 2003	8.40
ottobre 2003	7.00
novembre 2003	3.10

MARZO 2004	4.00
aprile 2004	5.00
giugno 2004	3.10
luglio 2004	5.70
agosto 2004	7.80
settembre 2004	8.70
novembre 2004	4.50

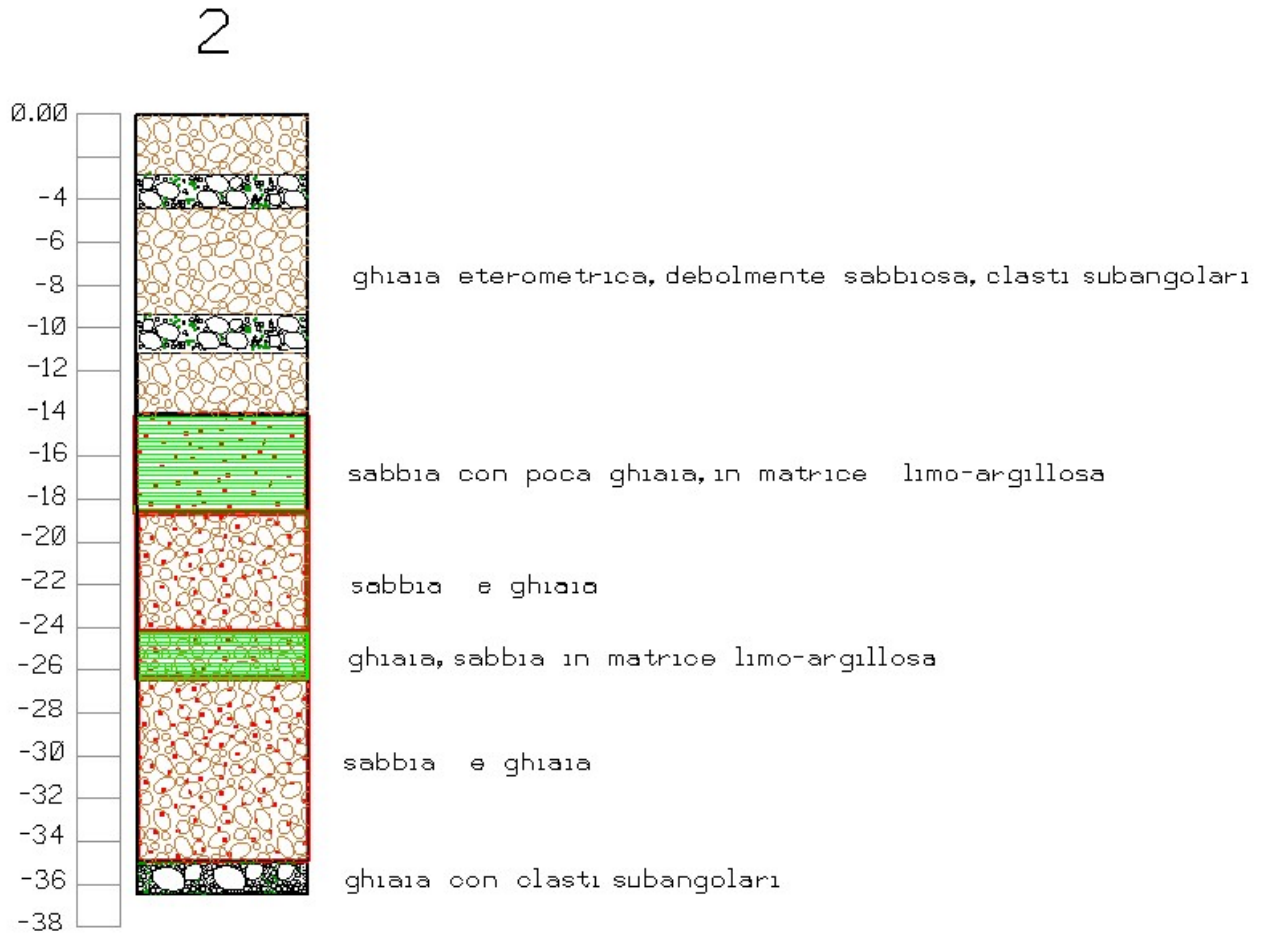
MARZO 2005	4.65
aprile 2005	5.20

giugno 2005	5.55
luglio 2005	6.60
agosto 2005	7.65
settembre 2005	4.80



### APPENDICE 3

#### Stratigrafie sondaggi Autostrada dei Fiori S.p.a



3



4



