ALLEGATO 10

Prove di Pompaggio – Report tecnico

SviluppoGenova

Società per lo sviluppo e la promozione di Genova e provincia

C 129 - VALORIZZAZIONE AREA CAMPI - IKEA

TEREBRAZIONE NUOVO POZZO N. 4

E SUO COLLETTAMENTO

NELL'AREA "EX ILVA LAMINATI PIANI" A GENOVA CAMPI

OGGETTO:

PROVE DI PORTATA

TITOLO:

REPORT TECNICO

N. DOC.

C128/CAN/128.3.1/DLV/R001

TIMBRO E FIRMA DEL PROFESSIONISTA:	**TIMBRO E FIRMA SVILUPPO GENOVA:**

Rev.	Data	Redatto	Verificato	Validato	Descrizione
1	23/12/2014	SGI	FR	SG	Emissione

INDICE

1 PREMESSA 2
2 NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO 4
2.1 NORMATIVA 4
2.2 ALTRI DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 4
2.3 BIBLIOGRAFIA 5
3 SINTESI DELLA CAMPAGNA GEOGNOSTICA EFFETTUATA 6
3.1 INDAGINI ESEGUITE 6
3.2 ANALISI CHIMICHE 8
3.3 ULTERIORI ATTIVITÀ 9
4 DESCRIZIONE DELLO SCHEMA REALIZZATIVO DEL NUOVO POZZO 4 13
5 PROVE DI EMUNGIMENTO 19
5.1 GENERALITÀ 19
5.2 PROVA A PORTATA VARIABILE – CURVA CARATTERISTICA 20
5.3 PROVA A PORTATA COSTANTE 23
5.3.1 Livelli piezometrici nei punti di controllo 24
5.3.2 Interpretazione della prova di lunga durata del nuovo Pozzo 4 25
6 CONCLUSIONI 37

ALLEGATI

ALLEGATO 1. Certificati Analisi chimiche dei campioni prelevati dai piezometri Pc1, PC2, e dai piezometri SPZ1 e SPZ2.

ALLEGATO 2. Certificati di analisi chimiche dei campioni prelevati dalle taniche di raccolta delle acque di spurgo dei piezometri, dalla vasca di sedimentazione e dai terreni di risulta.

ALLEGATO 3. Stratigrafie dei nuovi sondaggi PC1 e PC2 attrezzati a piezometro e cassette catalogatrici.

ALLEGATO 4. Stratigrafie dei sondaggi esistenti SPZ1 ed SPZ2

ALLEGATO 5. Schede materiali

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la Relazione Tecnica di commento ai risultati delle prove di pompaggio eseguite nel mese di settembre 2014 presso l'area di proprietà di Sviluppo Genova in località Genova-Campi, Corso Maria Perrone n. 15, nell'area " Ex Ilva Laminati Piani", più precisamente, nel comprensorio denominato "Area di Campi Nord".

Nell'ambito dello spostamento del Pozzo 4 esistente sono stati realizzati due sondaggi geognostici a carotaggio continuo attrezzati a piezometro (PC1 e PC2) aventi lo scopo di confermare le stratigrafie di progetto e verificare l'effettiva separazione (o meno) tra la porzione superiore ed inferiore dell'acquifero (cfr. Docc. 4 e 6).

Come previsto a progetto (cfr. Doc. 13, Appalto 1) dopo la realizzazione del nuovo pozzo 4 e del relativo spurgo, si è proceduto all'esecuzione delle prove di pompaggio. Tali prove sono state eseguite il giorno 12 settembre 2014 (prova a gradini di portata) e dal 15 al 18 Settembre (prova di lunga durata).

L'esecuzione delle prove di pompaggio ha avuto molteplici finalità:

- determinare le caratteristiche di funzionamento del nuovo pozzo 4;
- determinare le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero freatico quali: trasmissività media, coefficiente d'immagazzinamento specifico, rapporto tra la permeabilità verticale e orizzontale;
- determinare l'interazione tra il nuovo pozzo 4 ed il pozzo 7 esistente (a tale scopo, dopo 46h dall'inizio della prova di lunga durata del nuovo pozzo 4, si è proceduto all'accensione del pozzo 7).

Le prove hanno riguardato una prima fase di indagine attraverso l'esecuzione di gradini di portata crescenti per la valutazione della portata critica e della portata emungibile dai pozzi nell'arco delle 74 ore previste per la prova a carico costante.

Successivamente, in relazione a quanto determinato e in relazione alle caratteristiche idrogeologiche riscontrate, si è condotta la prova di portata a carico costante finalizzata alla definizione dei parametri idrogeologici secondo quanto sopra riportato.

Preventivamente all'esecuzione delle due prove, in ottemperanza a quanto richiesto dalla Regione Liguria (cfr. Doc. 4) si è proceduto ad una verifica dello stato qualitativo delle acque costituenti la falda con la finalità di verificare l'esistenza, o meno, di differenze di chimismo tra le due porzioni (superiore ed inferiore) dell'acquifero e determinare l'eventuale separazione tra le due porzioni superiore ed inferiore. In particolare sono stati prelevati quattro campioni (due dai nuovi piezometri di controllo PC1 e PC2 e due dai piezometri SPZ1 ed SPZ2, già esistenti nell'area).

I campioni prelevati sono stati sottoposti ad analisi per la determinazione dei parametri chimici previsti dal tabella 2, allegato 5 alla parte IV del D.Lgs. 152/2006

Le acque emunte durante le prove di pompaggio a gradini e a carico costante sono state sottoposte a trattamento di sedimentazione in vasca e successivamente scaricate presso il cavo interrato presente in sito.

Il presente documento si compone delle seguenti sezioni:

- Documentazione di riferimento
- Sintesi della campagna geognostica effettuata ed inquadramento stratigrafico ed idro-geochimico del sito, desunto dalle nuove indagini;
- Descrizione dello schema realizzativo del nuovo Pozzo 4;
- Prove a gradini di portata variabile e relativa interpretazione;
- Prove a carico costante avente durata 72 ore e relative interpretazione.

2 NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA

1. D.Lgs. 3 aprile 2006, N. 152: "Norme in materia ambientale".
2. D.Lgs. 16 gennaio 2008, N. 4: "Ulteriori disposizioni correttive e integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n.152, recante norme in materia ambientale".
3. D.M. 27/09/2010: "Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, in sostituzione di quelli contenuti nel decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio 3 agosto 2005".

2.2 ALTRI DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

4. Decreto N. 4544 del 7/12/2012 del Dirigente del Settore Valutazione Impatto Ambientale Arie e Clima – Dipartimento Ambiente – Regione Liguria – Prot. N. PG/2012/182688.
5. "Progetto di ampliamento dello Store IKEA di Genova – Riposizionamento di due pozzi della società ILVA siti nel subalveo del Polcevera in località Campi – Studio preliminare ambientale per verifica di assoggettamento alla procedura di V.I.A." – ILVA.
6. "Progetto di ampliamento dello Store IKEA di Genova - Riposizionamento di due pozzi della società ILVA siti nel subalveo del Polcevera in località Campi – Relazione idrogeologica e tecnica". Documenti di accompagnamento alla Richiesta di autorizzazione alla ricerca idrica presentata alla Provincia di Genova
7. Autorizzazione alla ricerca di due nuovi pozzi industriali – Provvedimento Dirigenziale N. 2042 del 10 maggio 2013 emesso dalla Direzione Ambiente, Ambiti Naturali e Trasporti - Servizio Acqua e Rifiuti della Provincia di Genova.
8. Proroga dell'autorizzazione alla ricerca di due nuovi pozzi industriali – Provvedimento Dirigenziale N. 3811 del 29 Agosto 2013 emesso dalla Direzione Ambiente, Ambiti Naturali e Trasporti - Servizio Acqua e Rifiuti della Provincia di Genova.
9. Autorizzazione allo spostamento del canale interrato esistente – Provvedimento Dirigenziale N. 1041 del 07 Gennaio 2013 della Direzione Pianificazione Generale e di Bacino – Servizio di Controllo e Gestione del Territorio.
10. "Richiesta di autorizzazione temporanea allo scarico di acque reflue industriali in corpo idrico superficiale ai sensi del D. Lgs. 152/06, Parte III, Sez. II" – Domanda presentata allo sportello unica Attività Produttive del Comune di Genova.
11. Autorizzazione Unica Ambientale (A.U.A.) ai sensi del D.P.R. 13 marzo 2013 n.59 rilasciata alla ditta Sviluppo Genova S.p.A. per l'insediamento sito in Comune di Genova, Area Campi - Corso F. M. Perrone civ. 15, relativamente al titolo abilitativo :

- autorizzazione allo scarico di cui al Capo II del Titolo IV della Sezione II della Parte III del D. Lgs. 3 aprile 2006 n. 152 ss.mm.ii. – Provvedimento Dirigenziale N. 2178 del 23 maggio 2014 emesso dalla Direzione Ambiente, Ambiti Naturali e Trasporti della Provincia di Genova - Prot. Generale N. 0051916 / 2014

12. "GroundBorne vibration caused by mechanised construction works" – Hiller D. M., Crabb G. I.– TRL, 2000.

13. Sviluppo Genova - Valorizzazione area Campi – Ikea - Terebrazione nuovo pozzo n. 4 e suo collettamento nell'area "ex Ilva laminati piani" a Genova Campi - C129/PES/129.3.1 – rev 1 – Elaborati del Progetto Esecutivo – 14/02/2014.

2.3 BIBLIOGRAFIA

14. G.P. Beretta 1997 – Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee

15. G.P. Kruseman and N.A. Ridder. Analysis and Evaluation of Pumping Test Data (second edition) – Institute of Applied Geoscience of the University the Amsterdam.

16. Waterloo Hydrogeologic developed by Thomas Röhrich - Software Aquifer Test - User's Manual

17. Massimo Civita – Idrogeologia applicata e ambientale

18. G. Chiesa – Pozzi per acqua – Progettazione – Gestione - Manutenzione – A.N.I.P.A.

3 SINTESI DELLA CAMPAGNA GEOGNOSTICA EFFETTUATA

3.1 INDAGINI ESEGUITE

Nei giorni dal 23 al 25 giugno 2014 sono stati eseguiti i due nuovi piezometri di controllo PC1 e PC2.

Le attrezzature per la perforazione sono state posizionate dopo aver realizzato i pre-fori manuali per la verifica dei sotto-servizi nei punti di progetto.



Figura 3.1 – Posizionamento della macchiana operatirce in corrispondenza del punto PC1.

I due sondaggi sono stati eseguiti a rotazione e, ove necessario per consentire l'avanzamento della perforazione, solo con l'ausilio di acqua pulita. Per l'esecuzione dei fori si è fatto uso di un rivestimento da 152 mm e di un carotiere da 130 mm. La perforazione è avvenuta facendo

avanzare il carotiere e successivamente alesando il foro con il rivestimento. La perforazione si è arrestata a 45m da piano campagna per il sondaggio PC1 e a 20m da piano campagna per il PC2.

I sondaggi sono stati successivamente attrezzati con piezometri a tubo aperto da 3" in PVC. I piezometri sono stati posati all'interno del rivestimento e l'intercapedine, in corrispondenza dei tratti filtranti, è stata riempita con ghiaino selezionato (2-4 mm min) per realizzare il filtro.



Figura 3.2 – Tubi piezometrici da 3" in PVC utilizzati per la reralizzazione dei nuovi piezometri PC1 e PC2.

Il piezometro PC1 è stato fenestrato nella porzione più profonda dell'acquifero (da 28 m a 44 m da piano campagna) ed il tratto drenante è stato tenuto separato dalla parte superiore dell'acquifero mediante sigillatura con bentonite in pellet.

Il piezometro PC2 è stato fenestrato nella porzione più superficiale dell'acquifero (da 4 m a 18 m da piano campagna). Si confrontino le stratigrafie riportate in ALLEGATO 3.

Entrambi i piezometri sono stati completati con la posa di un pozzetto carrabile e di un chiusino dotato di lucchetto.

Al termine delle operazioni di posa dei piezometri (25 giugno) si è proceduto al rilievo della soggiacenza. In particolare si è rilevata una soggiacenza di 4.99m da bocca piezometro per il PC1 e 5.02m da bocca piezometro per il PC2.

Successivamente si è proceduto con le operazioni di spurgo e sviluppo dei piezometri. Le acque di risulta sono state stoccate in cisterne da $1m^3$ cadauna.

Le stratigrafie dei due nuovi sondaggi confermano la presenza, tra 18m e 28m da piano

campagna, di uno strato di limi argillosi di colore grigio scuro (cfr. ALLEGATO 3 ed ALLEGATO 4). Tali limi presentano alcune intercalazioni sabbiose e ghiaiose tra i 22m ed i 25m da piano campagna. Gli strati sovrastanti e sottostanti lo strato di limi, costituiti da livelli di ghiaie e sabbie, costituiscono l'acquifero che ospita la falda freatica. Lo strato inferiore poggia direttamente sulla formazione rocciosa (bed-rock-argilliti) presente in tutta l'area.

Le stratigrafie dei nuovi sondaggi, ed in particolare quella del sondaggio profondo PC1, hanno rivelato uno spessore della porzione inferiore dell'acquifero maggiore di quello atteso. La quota di fondo foro, prevista pari a 42 m da piano campagna in fase progettuale, è stata infatti spinta fino a 45 m da piano campagna e cioè fino al raggiungimento dello strato di alterazione delle argilliti che costituiscono la base dell'acquifero.

A conferma del fatto che lo strato di limi suddetto non svolge una funzione di acquiclude tra due acquiferi distinti ma rappresenta una lente con caratteristiche di continuità laterale esclusivamente locale, ed in risposta alle prescrizioni della regione (cfr. Doc. 4) che chiedeva di verificare la presenza di sostanziali differenze di chimismo tra le due porzioni dell'acquifero, sono stati prelevati alcuni campioni di acque sotterranee.

Il giorno 26 giugno si è proceduto al campionamento dei due nuovi piezometri, previo spurgo fino a stabilizzazione dei parametri chimico fisici (misurati in continuo mediante sonda multiparametrica) e fino a completa chiarificazione delle acque.

Lo stesso giorno, e con le stesse modalità, è stato effettuato anche il campionamento delle acque prelevate dai piezometri SPZ1 (ubicato in area parcheggio Ikea e fenestrato nella parte bassa dell'acquifero) ed SPZ2 (ubicato in area Sviluppo Genova a circa 35/40m dai nuovi piezometri e fenestrato nella parte alta dell'acquifero).

3.2 ANALISI CHIMICHE

I campioni prelevati secondo le modalità indicate nel paragrafo precedente sono stati inviati subito al laboratorio chimico Eurochem di Genova e sono stati analizzati ai sensi del D.Lgs. 152/06 (cfr. ALLEGATO 1). In particolare sono stati analizzati i seguenti parametri:

- **Sostanze inorganiche** (Cianuri liberi, fluoruri, solfati, nitriti);
- **Metalli** (Alluminio, Antimonio, Argento, Arsenico, Berillio, Boro, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cromo Esavalente, Ferro, Manganese, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Selenio, Tallio, Zinco);
- **BTEXS** (Benzene, Toluene, Stirene, Etilbenzene, p-Xilene);
- **Ammine aromatiche** (Anilina, Difenilammina, P-toluidina);
- **IPA** (Benzo (a) antracene, Benzo (a) pirene, Benzo (b) fluorantene, Benzo (k) fluorantene, Benzo (g,h,i) perilene, Crisene, Dibenzo (a,h) antracene, Indeno (1,2,3-cd) pirene, Pirene, Ipa totali);
- **Composti alifatici clorurati cancerogeni** (Clorometano, Cloroformio, Cloruro di vinile, 1,2-dicloroetano, 1,1-dicloroetilene, Tricloroetilene, Tetracloroetilene,

Esaclorobutadiene, Composti alifatici clorurati cancerogeni totali);

- **Composti alifatici clorurati non cancerogeni** (1,1-dicloroetano 1,2-dicloroetilene 1,2-dicloropropano 1,1,2-tricloroetano 1,2,3-tricloropropano 1,1,2,2-tetracloroetano);
- **Composti alifatici alogenati cancerogeni** (Bromoformio, 1,2-dibromoetano, Dibromoclorometano, Bromodiclometano)
- **PCB**
- **Fenoli volatili** (2-clorofenolo, 2,4-diclorofenolo, 2,4,5-triclorofenolo, 2,4,6-Triclorofenolo, Pentaclorofenolo)
- **Idrocarburi totali** (come n-esano)

Sono state effettuate, inoltre, analisi e misure per cloruri, solfati, composti inorganici, durezza, pH e conducibilità elettrica (questi ultimi due parametri misurati in campo mediante sonda multiparametrica).

Con riferimento ai risultati analitici riportati nei certificati dell'ALLEGATO 1 è possibile affermare che non vi sono sostanziali differenze di chimismo tra i campioni prelevati nella porzione superficiale e quelli prelevati nella porzione inferiore.

Con riferimento a tutti e quattro i campioni prelevati, infatti, ben 57 parametri dei 73 indagati sono risultati non rilevabili. Per i parametri che, invece, hanno presentato concentrazione superiore ai limiti di rilevabilità, le differenze tra i quattro campioni risultano, per la maggior parte dei casi, limitate e le concentrazioni comprese nello stesso ordine di grandezza.

Si può concludere che lo strato a bassa permeabilità presente nell'area considerata non ha caratteristiche di continuità tali da segregare le due porzioni individuate che, dunque, sono parte del medesimo acquifero.

A conferma di tale affermazione si veda quanto riportato nel Paragrafo 5.3.1 relativamente alla Figura 5.3. Di fatto le alterazioni mostrate dai trasduttori di pressione nei punti di controllo sono visibili in entrambe le porzioni dell'acquifero senza discrepanze temporali tra la parte superiore e quella inferiore dell'acquifero, ciò a dimostrazione dell'assenza di segregazione idraulica tra le due porzioni.

Per tutti i campioni prelevati e per tutti gli analiti indagati, infine, non si rilevano superamenti delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione per acque sotterranee (cfr.ALLEGATO 1). Da ciò è stato possibile desumere anche la conformità ai limiti sullo scarico in acque superficiali (cfr. Paragrafo successivo).

3.3 ULTERIORI ATTIVITÀ

Le acque provenienti dalle attività di spurgo dei piezometri sono state raccolte in taniche e sono state sottoposte a campionamento ed analisi (prelevato un campione medio con aliquote da tutte le taniche riempite) per determinarne il corretto codice CER prima dell'avvio a smaltimento.

Tali acque sono state avviate a smaltimento con il codice CER 16.10.02 (soluzioni acquose di scarto differenti da quelle di cui alla voce 16.10.01, cfr. ALLEGATO 2)

Durante l'esecuzione delle prove di portata le acque emunte dal nuovo Pozzo 4 sono state sottoposte a sedimentazione in vasca prima di essere recapitate nel canale interrato presente in sito ed individuato come recapito (cfr. Doc. 10 e 11).

Durante le suddette attività, nei giorni 04/08/2014 e 16/09/2014, sono stati prelevati due campioni di acque all'interno del pozzetto allestito allo scopo nella parte terminale della vasca. Tali campioni sono stati analizzati per verificare la conformità ai limiti di legge per lo scarico in acque superficiali (cfr. Doc. 1). I certificati analitici relativi a tali analisi sono riportati in ALLEGATO 2. Le acque scaricate risultano conformi ai limiti di legge e ottimamente chiarificate.



Figura 3.3 – Le caratteristiche litologiche dell'acquifero testato (strati acquiferi poveri di materiali fini) hanno determinato, fin da subito, l'estrazione di acque molto chiare.

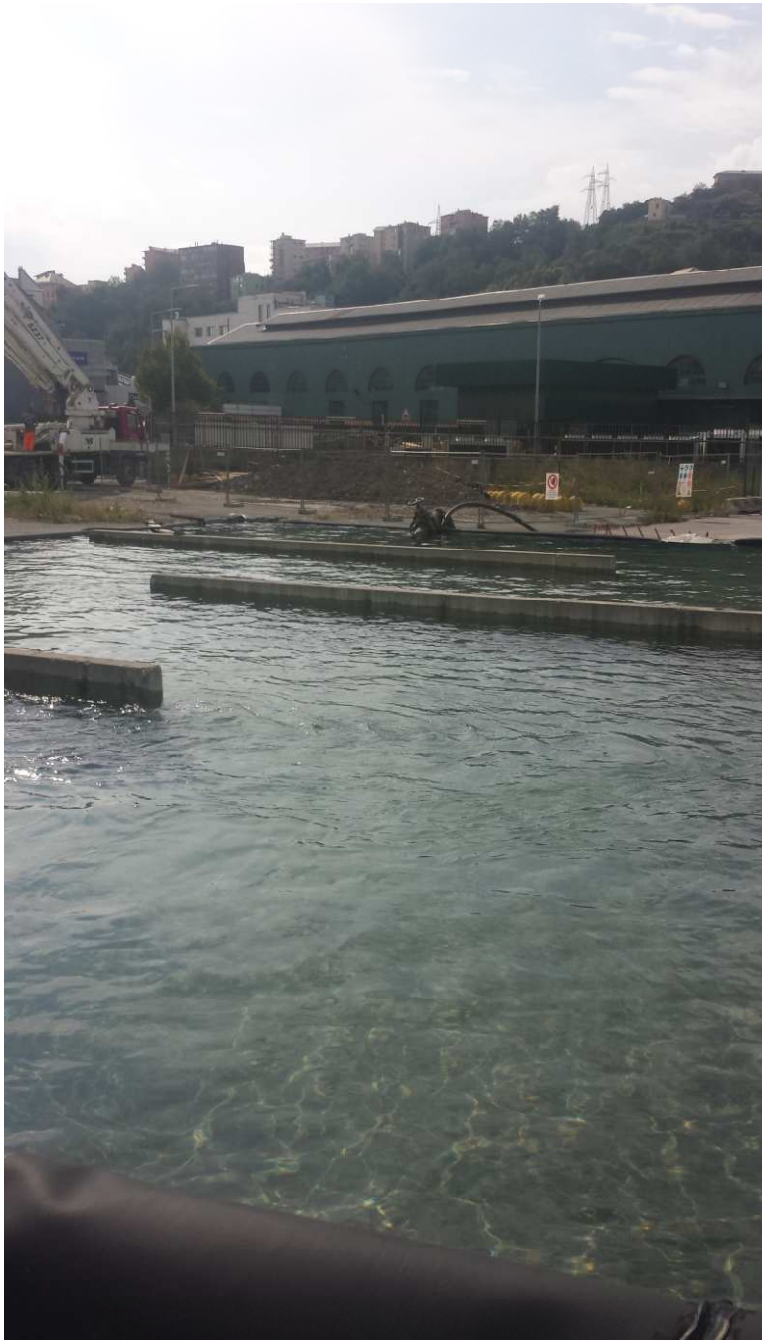


Figura 3.4 – Fotografia del fondo vasca nella parte iniziale della vasca eseguita durante le attività di scarico delle acque emunte nell'ambito delle prove di portata. L'acqua si presenta totalmente limpida.

Anche i terreni di risulta dalle attività di perforazione dei piezometri e del pozzo sono stati raccolti in big bag o cassoni scarrabili, campionati ed avviati smaltimento (cfr. ALLEGATO 2).

4 DESCRIZIONE DELLO SCHEMA REALIZZATIVO DEL NUOVO POZZO 4

Sulla base delle evidenze stratigrafiche emerse dall'esecuzione dei nuovi piezometri di controllo, PC1 e PC2, e con l'ausilio delle informazioni stratigrafiche provenienti dai sondaggi già eseguiti nell'area (SPZ1 ed SPZ2) è stato definito lo schema esecutivo per il nuovo Pozzo 4.

Tale schema è riportato nella seguente Figura 4.1 assieme alla stratigrafia del vicino sondaggio PC1 (posto a circa 6-7 m dal centro del nuovo pozzo 4), che consente di apprezzare quali siano gli strati produttivi ed i relativi tratti filtranti adottati.

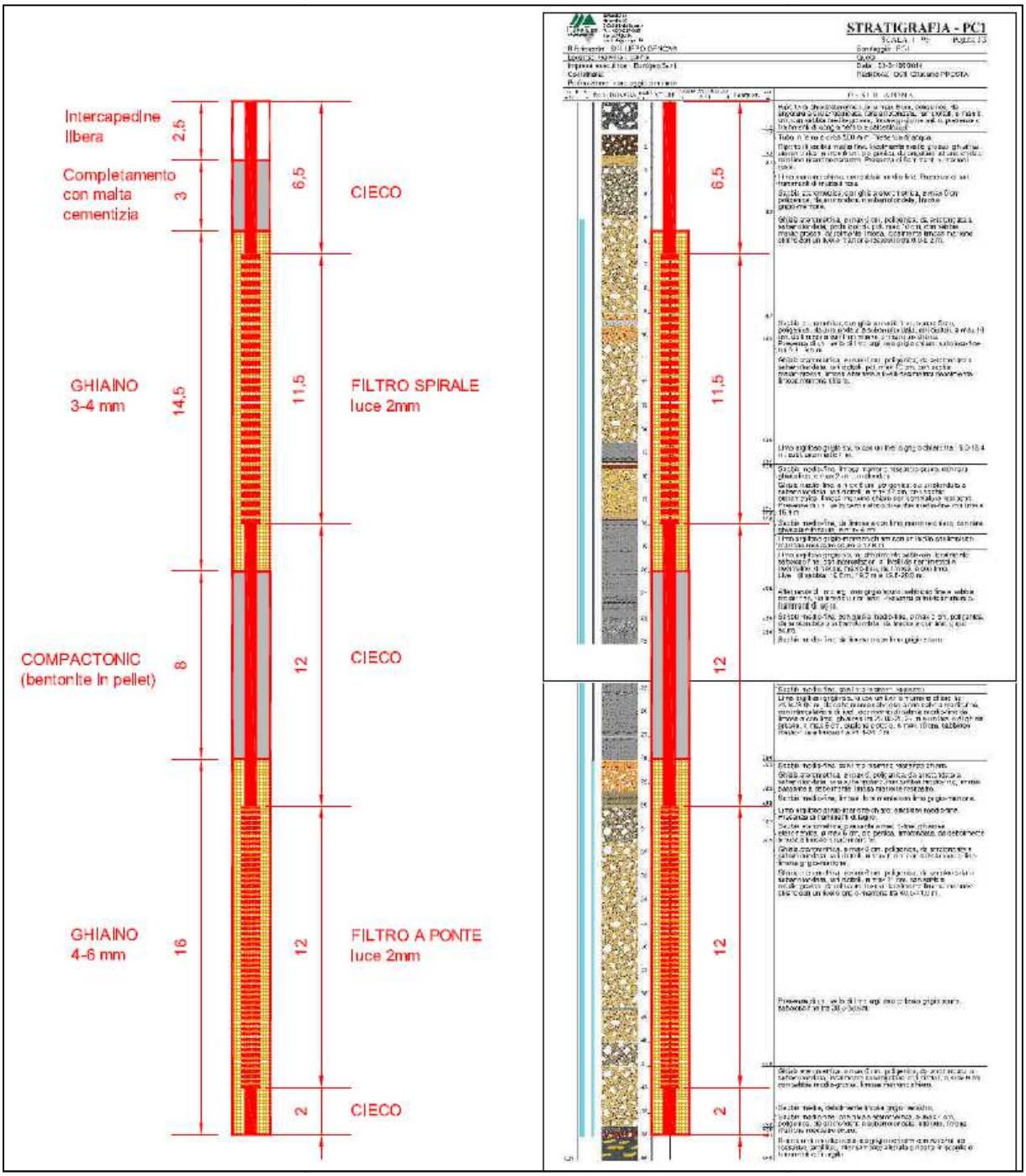


Figura 4.1 – Confronto tra la stratigrafia del sondaggio PC1 e lo schema esecutivo del nuovo Pozzo 4

L'effettiva stratigrafia locale ha consentito, diversamente da quanto previsto in progetto (cfr. Doc. 13), di prolungare il tratto cieco di 2 metri senza che il tratto filtrante a ponte venisse accorciato. Ciò consentirà, in futuro, il posizionamento definitivo della pompa nel tratto cieco

ad una profondità maggiore rispetto a quella possibile con lo schema di progetto, garantendo maggiormente la presenza di un adeguato battente sulla pompa stessa in fase di emungimento.

La perforazione del pozzo è stata eseguita con il metodo a percussione, tradizionalmente adottato per la realizzazione di pozzi per acqua.

Tale metodo, oltre a non produrre materiali di risulta differenti dai terreni naturali attraversati (fanghi, eventualmente additivati), consente di avanzare in strati duri e compatti, con grandi diametri (1200mm per i primi 20 m di profondità nel caso in esame) e permette un'ottima osservazione della stratigrafia.

La percussione, infine, grazie alle manovre di salita e discesa della sonda, garantisce una profonda azione di sviluppo degli strati di materiali grossolani liberandoli da eventuali materiali fini.

Una volta terminata la perforazione si è proceduto all'inserimento della tubazione, alla posa del dreno ed alle cementazioni secondo quanto indicato nello schema esecutivo di Figura 4.1.

A queste operazioni sono seguite quelle di sviluppo e spurgo del nuovo pozzo.

Di seguito alcune immagini che evidenziano la perforazione e l'allestimento del pozzo.



Figura 4.2 – Cantierizzazione



Figura 4.3 – Sistema di accumulo dei materiali estratti durante la perforazione del pozzo



Figura 4.4 – Durante la perforazioni sono emersi strati caratterizzati da una elevata granulometria



Figura 4.5 – Tubazioni filtranti posate al termine della perforazione del pozzo



Figura 4.6 – Saldatura del acciaio inox posato



Figura 4.7 – Posa del dreno siliceo



Figura 4.8 – Estrazione della tubazione di rivestimento provvisoria

5 PROVE DI EMUNGIMENTO

5.1 GENERALITÀ

Le prove di portata per il nuovo Pozzo 4 sono state eseguite utilizzando come punti di controllo i due nuovi piezometri PC1 e PC2 che sono stati attrezzati con misuratori di livello automatici diver dotati di datalogger interno (con intervallo di registrazione programmabile). Oltre ai due piezometri suddetti sono stati attrezzati con diver, benché distanti, anche il piezometro SPZ2 ed il pozzo N.4 esistente.

Le distanze dei punti di controllo dal nuovo pozzo sono riportate nella seguente Tabella 5-1:

Punto di controllo	Distanza dal nuovo pozzo (m)
PC1	6.5 ca
PC2	9.5 ca
Pozzo N.4 esistente	21 ca.
SPZ2	39 ca.

Tabella 5-1 – Tabella delle distanze dei punti di controllo dal centro del nuovo pozzo (coordinate desunte da cartografia di progetto).

Oltre a tali attrezzature sono stati installati, direttamente nel nuovo Pozzo 4, un trasduttore di pressione con centralina datalogger esterna (con intervallo di registrazione programmabile) ed un freatimetro manuale per le misure speditive in corso d'opera.

Sono state condotte due prove: la prima, a carico variabile, ha permesso di determinare la portata critica del nuovo pozzo. La prova a gradini è stata condotta in data 12/09/2014.

La seconda prova, a carico costante, ha consentito di stimare i parametri idrogeologici dell'acquifero testato, ossia la trasmissività ed il coefficiente di immagazzinamento. La prova a carico costante è stata condotta nei giorni dal 15 al 17 settembre 2014.

Entrambe le prove sono state condotte concordando preventivamente con Ilva S.p.A. lo stato di funzionamento dei pozzi N.4 e N.7 esistenti. Il pozzo N.4 è stato tenuto sempre spento durante entrambe le prove mentre il pozzo N.7 è stato messo in funzione a circa 48 ore dall'inizio della prova di lunga durata.

Di seguito vengono richiamati alcuni concetti e definizioni utili per la comprensione di quanto esposto nei paragrafi successivi:

- la portata critica è quella oltre la quale iniziano le perdite dovute a moto turbolento;
- la trasmissività stabilisce la quantità di acqua che passa, nell'unità di tempo, attraverso una sezione di larghezza unitaria di una falda quando il gradiente idraulico è unitario. E' il

prodotto del coefficiente di permeabilità (di Darcy) K per lo spessore della falda (b), in un mezzo isotropo, oppure la componente di un tensore di permeabilità parallelo alla direzione del flusso per lo spessore della falda (ortogonale a quella direzione) in un mezzo anisotropo (Gélis, 1956);

- il coefficiente di immagazzinamento è definito come il rapporto tra il volume di acqua tolta o aggiunta per superficie unitaria e per variazione unitaria del carico idrostatico corrispondente senza riferimento al tempo (o in un tempo illimitato). In un acquifero artesiano questo parametro è legato alla compressibilità e alla espandibilità dell'acqua e del mezzo acquifero così come la potenza della falda. In un acquifero freatico questo parametro equivale in pratica alla porosità efficace (Gélis, 1956).

Le attrezzature utilizzate per la realizzazione delle due prove sono state:

- due pompe aventi una prevalenza e una portata adeguata per permettere l'esecuzione della prova e lo scarico delle acque nella vasca di sedimentazione ubicata ad una distanza di circa 35-40 m dal pozzo. (prima pompa avente un minimo di 90 l/sec ad un massimo di 145 l/sec e con prevalenza di 65m - seconda pompa con un minimo di 70 l/sec ad un massimo di 130 l/sec e con prevalenza di 60 m);
- valvola di regolazione della portata, con possibilità di controllare le portate per ottenere quelle volute;
- contalitri di tipo WOLTMAN, collocato alla sommità del pozzo per consentire una lettura istantanea;
- trasduttori e freatimetri per il rilievo del livello dell'acqua nei pozzi e nei piezometri;
- contasecondi.

5.2 PROVA A PORTATA VARIABILE – CURVA CARATTERISTICA

La prova di pompaggio a portata variabile è consistita nel misurare gli abbassamenti del livello piezometrico all'interno del pozzo in corrispondenza di 5 gradini, ognuno a portata costante, di durata variabile fino allo stabilizzarsi del livello piezometrico nel pozzo stesso.

I 5 gradini costituenti la prova di portata sono stati scelti prevedendo un emungimento di varia durata con portate crescenti, a partire da una portata minima di 85 l/s fino ad una massima 125 l/s.

Alla stabilizzazione di ogni gradino di portata si è passati al successivo aumentando la portata sino al valore desiderato e continuando a monitorare gli abbassamenti all'interno del pozzo sino al raggiungimento dell'equilibrio piezometrico.

Il livello piezometrico nel pozzo è stato misurato ogni 1 minuto per tutta la durata della prova. Dopo 3 letture consecutive in cui non sono state registrate variazioni apprezzabili del livello si è ritenuto di poter considerare il pozzo in condizioni stabili.

Raggiunta la stabilizzazione, si è continuato con la prova alla successiva portata programmata per la quale è stata ripetuta la procedura precedentemente descritta, sino all'esaurimento del

numero di gradini programmati.

La durata di ogni gradino di portata è risultata variabile, in quanto dipendente dalle caratteristiche del sistema pozzo/acquifero, dall'apertura del dreno artificiale predisposto all'interno del pozzo ed, ovviamente, dalla portata.

Nella Tabella 5-2 di seguito riportata si presentano i risultati della prova suddivisi per gradini di portata (gli abbassamenti sono riferiti al piano campagna):

Gradino di Prova	**Portata (l/s)**	**Abbassamento a stabilizzazione (m da p.c.)**
1°	85	7,61
2°	95	8,75
3°	105	10,1
4°	115	11,5
5°	125	14,5

Tabella 5-2-- Risultati della prova a gradini

Le coppie di valori abbassamenti/portate ottenute alla fine di ogni gradino, riportati nel grafico seguente, hanno permesso di ottenere la curva caratteristica del nuovo pozzo.

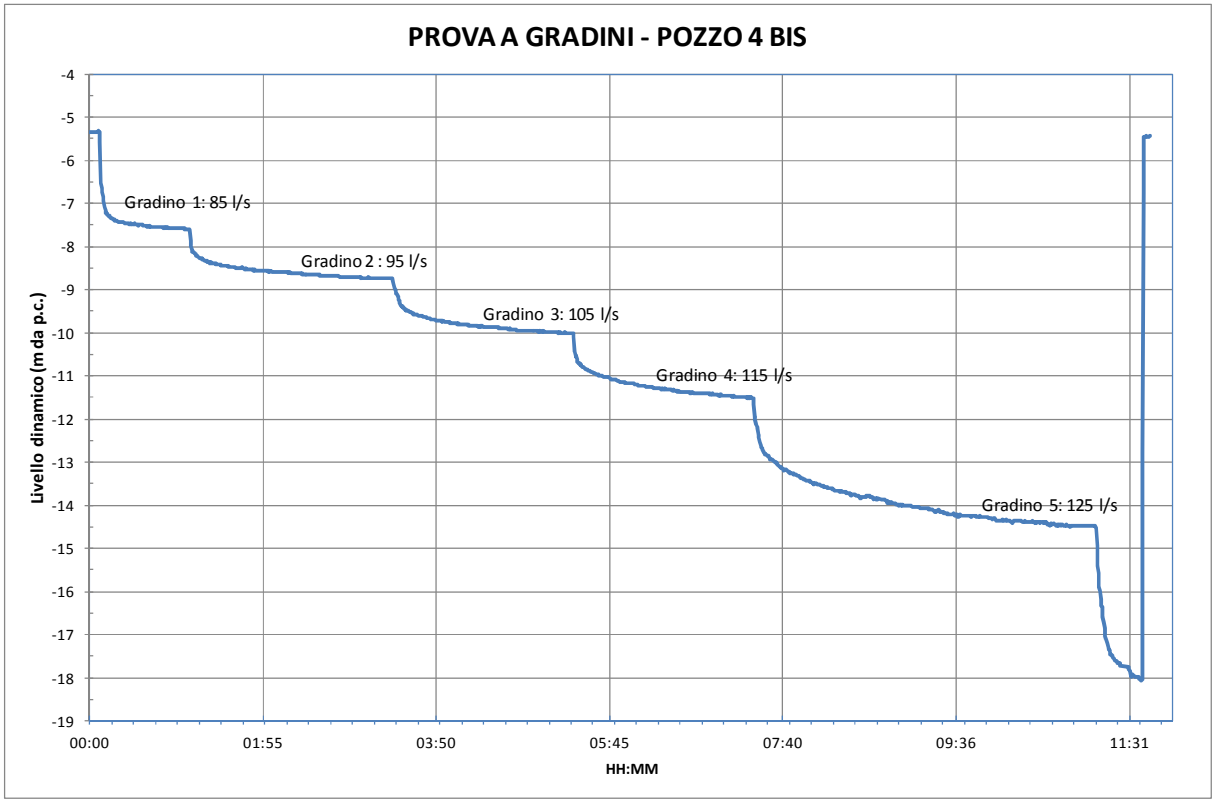


Figura 5.1 – Curva caratteristica portata abbassamenti relativa all'esecuzione della prova a gradini

La portata critica, Qc, indicativa della portata a cui iniziano le perdite dovute alla turbolenza (rispetto alla quale la portata di esercizio dovrà risultare adeguatamente inferiore) è stata individuata attorno ai 115 l/s corrispondente al punto di cambi della pendenza della curva portata-abbassamento riportata in figura

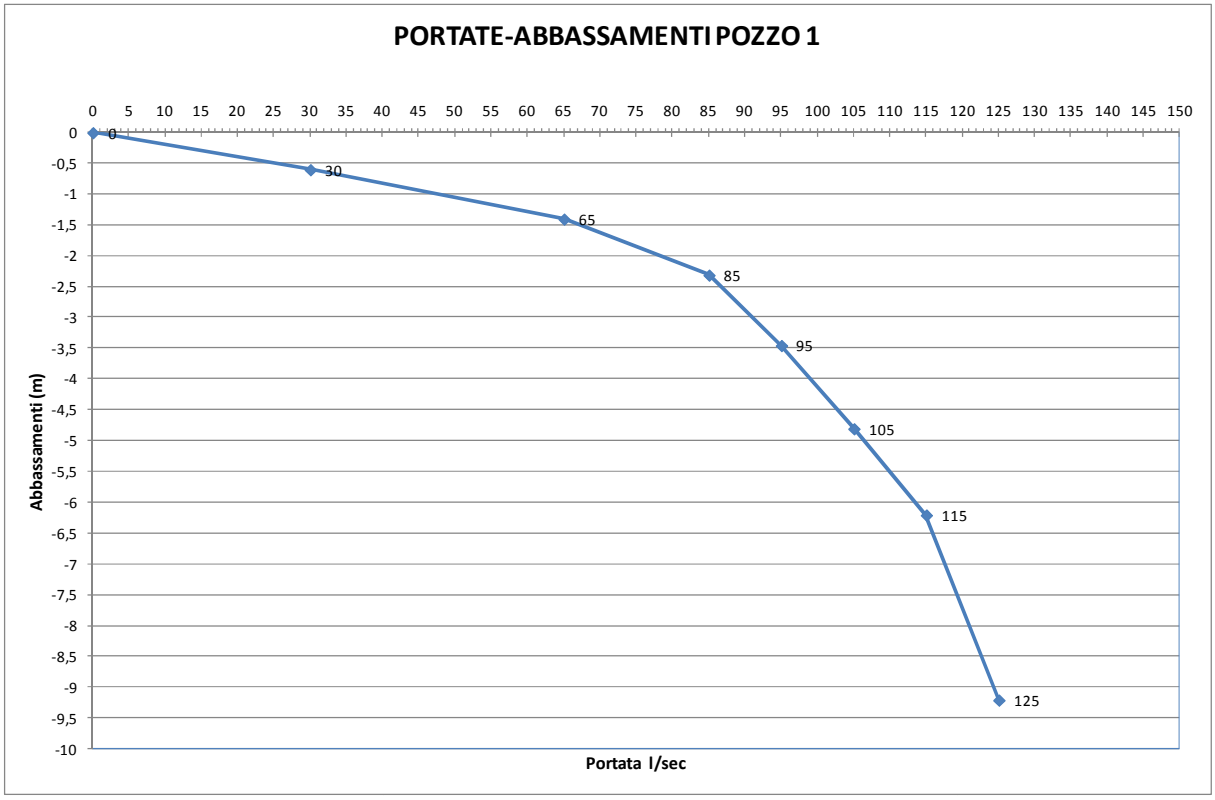


Figura 5.2 – Curva portata abbassamento del pozzo durante la prova a gradini

Come è possibile osservare dalla curva riportata in Figura 5.1, alla fine della prova a gradini si è assistito ad una risalita quasi istantanea.

Tale comportamento denota, in acquifero libero, il fatto che il filtro è stato ben dimensionato in relazione alla granulometria dell'acquifero e non costituisce un elemento di dissipazione del carico idraulico e freno alla ricarica del volume del pozzo. D'altro canto la fuoriuscita di acque chiarificate fin da subito durante l'arco di tutta la prova denota il fatto che il dreno assolve bene alla funzione di filtro impedendo l'ingresso di materiali fini.

5.3 PROVA A PORTATA COSTANTE

In base a quanto emerso da una prima analisi dei dati provenienti dalla prova a gradini si è deciso di eseguire la prova di lunga durata alla portata di 103-105 l/s, pari a circa il 90% della portata critica.

La soggiacenza della falda, misurata ad inizio prova, è risultata maggiore rispetto a quella misurata all'inizio della prova a gradini. In particolare si è misurata una soggiacenza (con riferimento alla quota di testa del tubo piezometrico di controllo allestito all'interno del pozzo) una soggiacenza di 5,6m (contro i 5,35m misurati prima della prova a gradini). Di conseguenza gli abbassamenti registrati nel pozzo, durante la prova di lunga durata alla portata di 103-105 l/s, sono risultati, in termini di soggiacenza, maggiori rispetto a quelli

registrati in occasione del gradino di portata omologo durante la prova a gradini.

La prova ha avuto inizio in data 15/09/2014 alle ore 10:20 circa ed ha avuto fine in data 17/09/2014 alle ore 11:25 circa. La durata complessiva della prova è stata di 73 ore circa.

Come anticipato nelle Generalità, per la registrazione degli abbassamenti della tavola d'acqua nei punti di controllo PC1, PC2, SPZ2 e Pozzo N.4 esistente sono stati utilizzati trasduttori di pressione dotati di datalogger interno con intervallo di acquisizione di 60 s. Tali attrezzature sono caratterizzate dalla possibilità di eseguire la compensazione barometrica all'atto del disarmo e del download dei dati raccolti.

5.3.1 Livelli piezometrici nei punti di controllo

Di seguito si riportano i grafici degli abbassamenti (riferiti alla quota di falda rilevata prima dell'inizio della prova) rilevati in continuo nei quattro punti di controllo PC1, PC2, SPZ3 e Pozzo N.4 esistente.

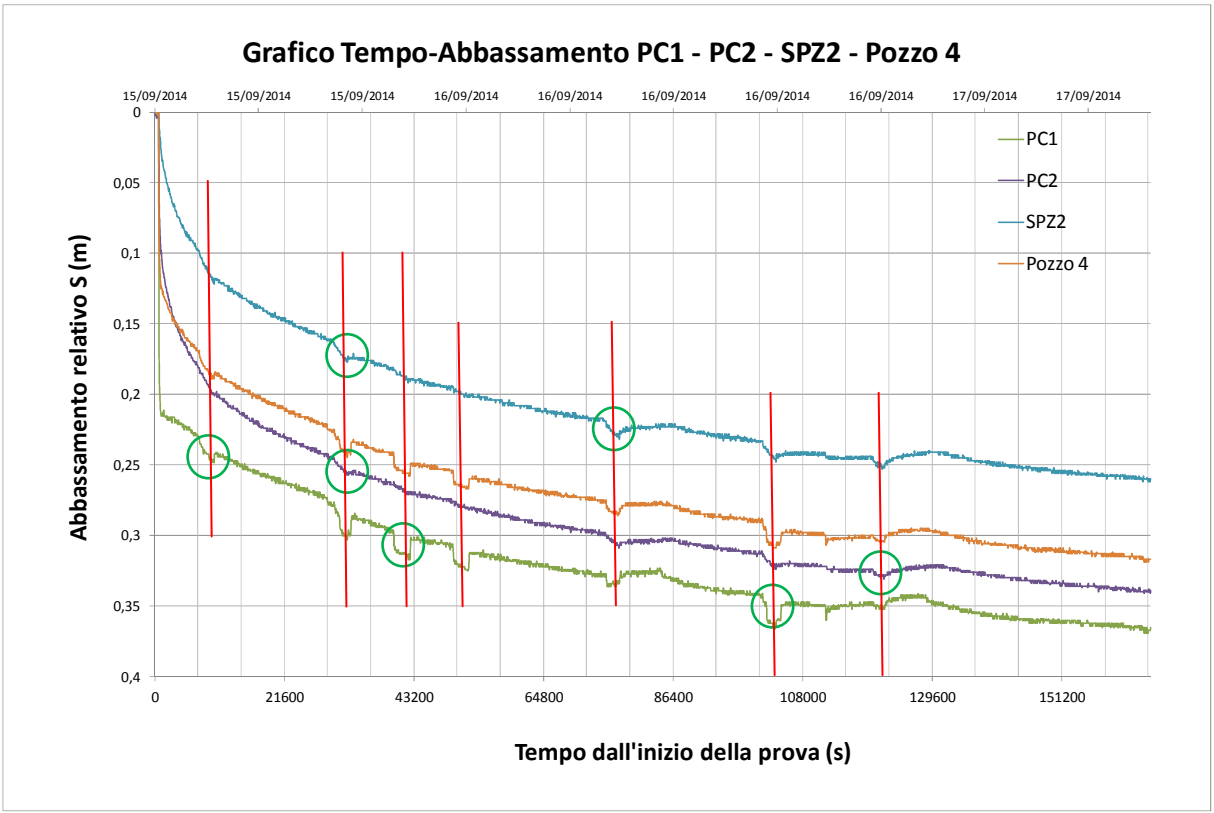


Figura 5.3 - Grafico dei valori di abbassamento misurati nei punti di controllo PC1, PC2, Pozzo 4 ed SPZ2 durante la prova di lunga durata. Il grafico è relativo alle prime 46 ore di prova, periodo antecedente all'entrata in funzione del pozzo N.7 esistente. Le linee rosse verticali evidenziano la contemporaneità dei disturbi in tutti i punti di controllo.

Come è possibile osservare dai dati grezzi riportati nella Figura 5.3, durante la prova tutti i punti di controllo hanno mostrato, in maniera sincrona, bruschi abbassamenti e risalite

(evidenziati in verde).

Tali variazioni dei livelli piezometrici si presentano, in alcuni casi, con intervalli regolari e, in ogni caso, con durate praticamente sempre uguali (e pari a circa 45 minuti/1 ora).

Ciascuna variazione è stata rilevata in tutti i punti di controllo, sia che fossero fenestrati nella parte superiore dell'acquifero che in quella inferiore, esse risultano meno accentuate nei piezometri superficiali ma ugualmente visibili.

La presenza di tali variazioni consente alcune considerazioni, di seguito riportate.

In primis confermano la connessione idraulica tra le due porzioni superiore ed inferiore dell'acquifero che, dunque, risulta essere costituito da un unico corpo. Il fatto che tutti i piezometri mostrino contemporaneamente le suddette variazioni dimostra che non vi è ritardo nella propagazione di interferenze tra una porzione e l'altra.

Il fatto che le interferenze risultino meno accentuate nei punti di monitoraggio fenestrati nella parte alta dell'acquifero (punti PC2 e SPZ2) sta, probabilmente, ad indicare che le interferenze sono state generate nella porzione inferiore dell'acquifero (dove sono chiaramente rilevate dal piezometro profondo PC1 ma anche dal Pozzo n.4 esistente, quest'ultimo fenestrato su entrambe le porzioni dell'acquifero) ma hanno influenzato istantaneamente anche la sua porzione superiore.

Le interferenze, infine, anche in forza delle periodicità e delle durate mostrate, possono essere associate all'entrata in funzione di una o più opere di captazione presenti ad una distanza sufficiente ad indurre variazioni piezometriche nei punti di controllo. Tali opere possono essere il pozzo Ilva P1bis (distante circa 120 m dal nuovo pozzo) oppure il pozzo Erzelli (distante circa 100 m dal nuovo pozzo) oppure altre derivazioni più vicine, non note agli scriventi.

5.3.2 Interpretazione della prova di lunga durata del nuovo Pozzo 4

Tutti i metodi per l'interpretazione delle prove di questo tipo derivano dall'equazione fondamentale di Theis che descrive, nel regime transitorio, il flusso della falda verso un pozzo completamente penetrante in un acquifero confinato omogeneo e isotropo.

Disponendo i dati in un grafico logaritmico (t,s) con gli abbassamenti in ordinata ed i tempi di pompaggio in ascissa, è possibile identificare il tipo di acquifero in esame e quindi i metodi di interpretazione più adatti.

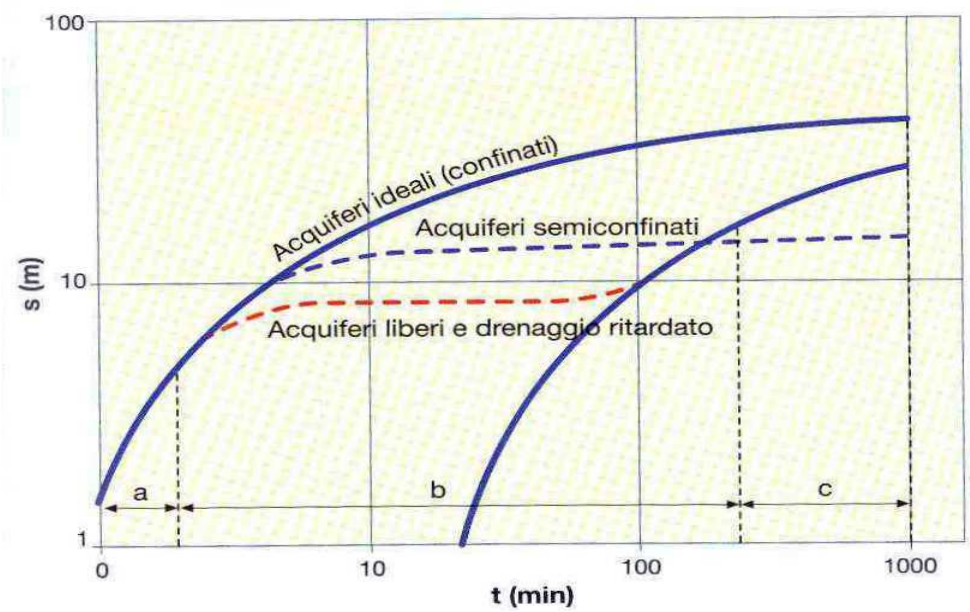


Figura 5.4 - Diagramma diagnostico per l'identificazione del tipo di acquifero (Weltman & Head, 1983)

Infatti, con riferimento alla Figura 5.4, quanto più la curva assume l'andamento di quella tipo di Theis tanto più l'acquifero ha caratteristiche assimilabili alle ideali; invece la presenza di un asintoto indica un acquifero semiconfinato, mentre se la curva torna a crescere dopo un tratto parallelo all'asse delle ascisse ci si avvicina all'andamento degli acquiferi freatici a drenaggio ritardato.

Nella Figura 5.5 seguente sono riportate le curve abbassamento-tempo relative ai piezometri PC1, PC2 e SPZ2 ed al Pozzo 4 esistente, rilevate durante la prova di pompaggio alla portata costante di 105 l/s.

Per il punto PC1 è possibile osservare un andamento assimilabile al grafico relativo ad acquifero libero con drenaggio ritardato di Figura 5.4 (cioè dopo un iniziale assestamento degli abbassamenti se ne osserva la successiva ripresa). Lo stesso andamento della curva abbassamenti-tempo può essere osservato, anche se non in modo evidente come per il punto PC1, per il Pozzo N.4 esistente.

L'andamento delle curve abbassamento-tempo dei restanti punti (PC2 ed SPZ2) mostra una tendenza lineare crescente degli abbassamenti.

Nel caso in esame, le curve sperimentali tracciate utilizzando gli abbassamenti misurati nei piezometri PC1, PC2 e SPZ2 e nel Pozzo 4 esistente durante il pompaggio alla portata costante di 105 l/s, presentano un andamento assimilabile a quello di un acquifero libero (si vedano Figura 5.6, Figura 5.7, Figura 5.8 e Figura 5.9 seguenti elaborate mediante il software Aquifer Test V.4). Da tali figure si può osservare, confrontando la curva teorica e quella sperimentale, che quest'ultima, dopo una iniziale e breve stabilizzazione torna a crescere (aumentano gli abbassamenti) in quanto il cono di emungimento indotto dal pozzo si è

allargato ed ha interessato aree via-via maggiori.

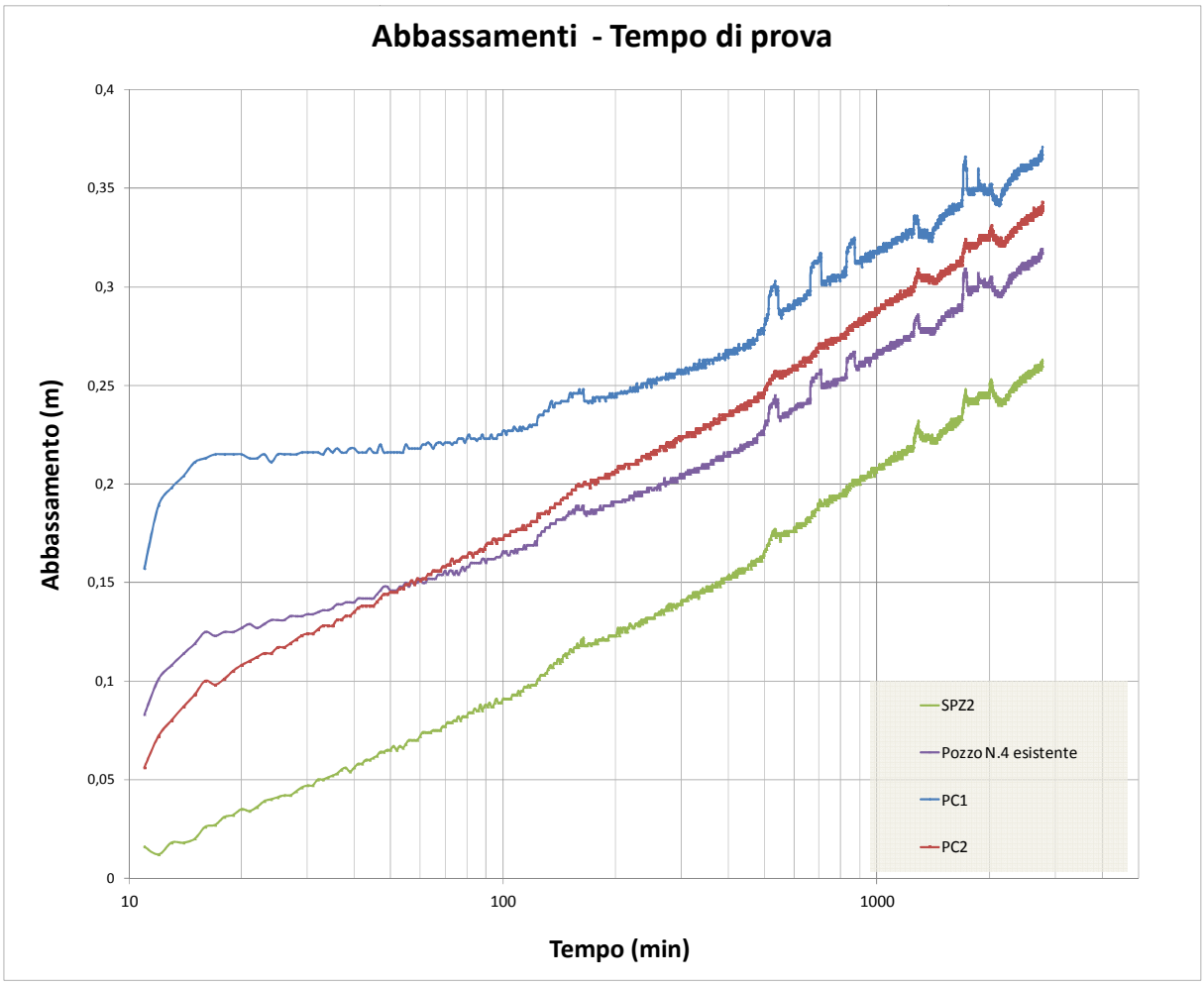


Figura 5.5 - Grafico logaritmico degli abbassamenti riscontrati nei quattro punti di controllo in relazione al tempo di pompaggio

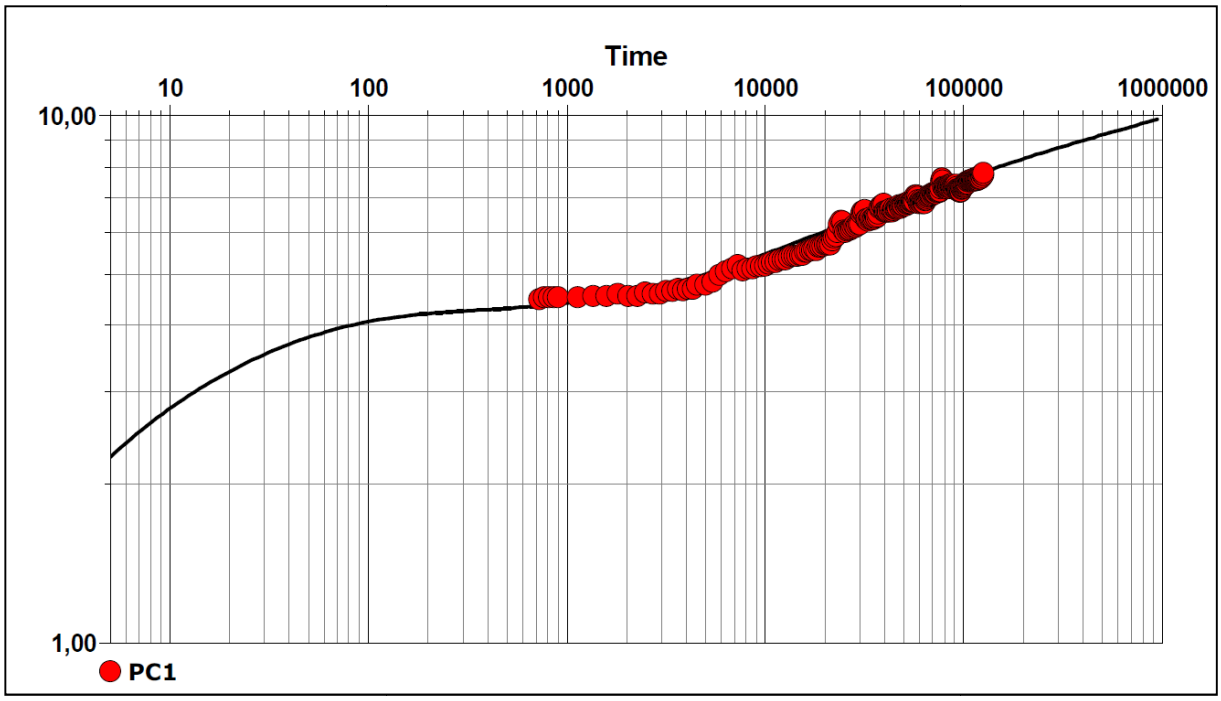


Figura 5.6 - Grafico log-log abbassamenti riscontrati nel piezometro PC1 in relazione al tempo di pompaggio

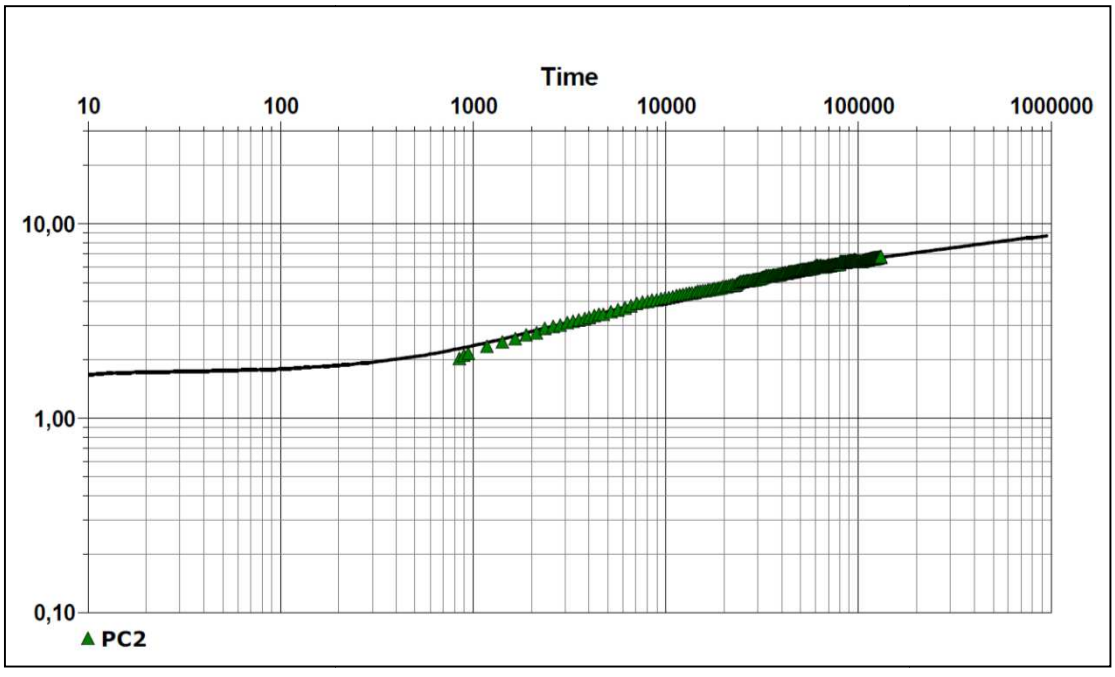


Figura 5.7 - Grafico log-log abbassamenti riscontrati nel piezometro PC2 in relazione al tempo di pompaggio

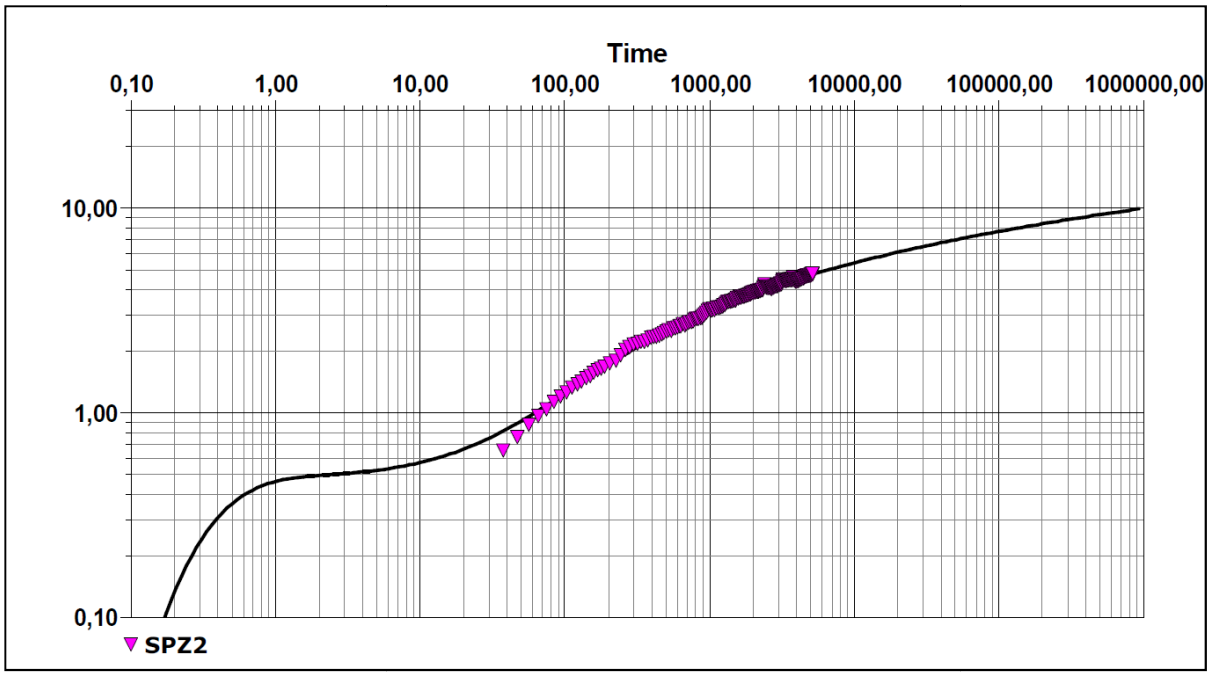


Figura 5.8 - Grafico log-log abbassamenti riscontrati nel piezometro SPZ2 in relazione al tempo di pompaggio

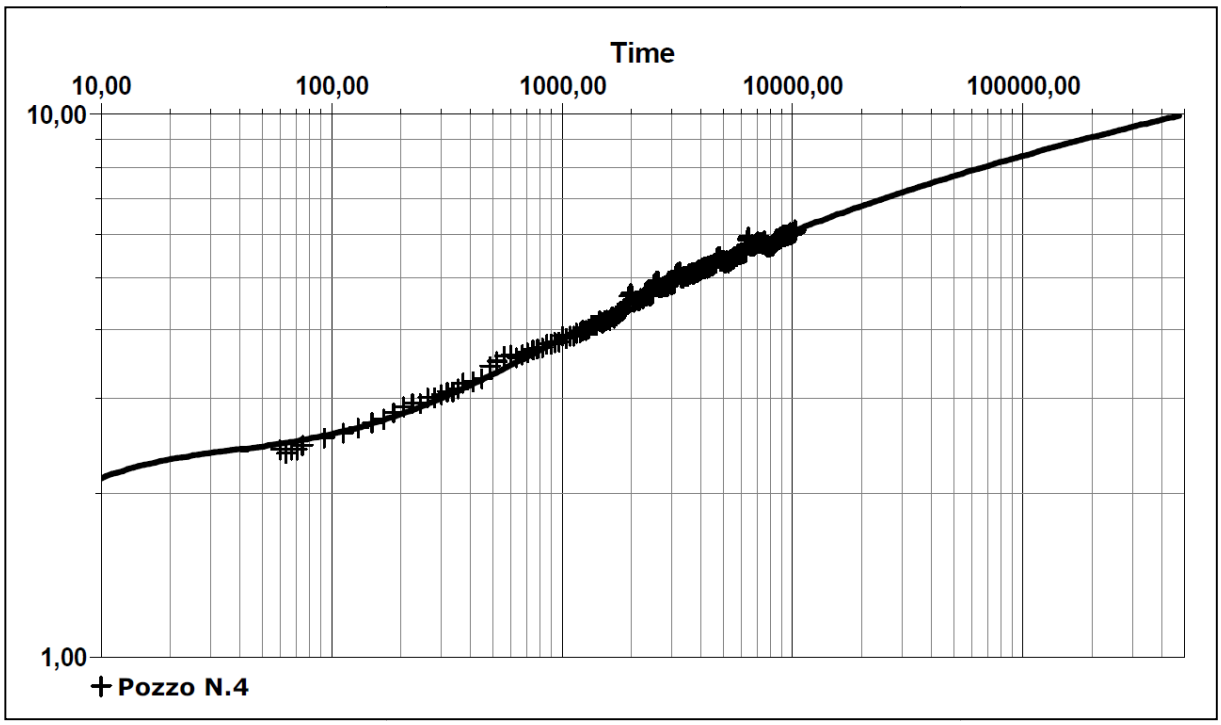


Figura 5.9 - Grafico log-log abbassamenti riscontrati nel piezometro P4 in relazione al tempo di pompaggio

Un acquifero libero è, come tale, privo di confinamento verso l'alto (si veda la Figura 5.10) e risulta per la maggior parte dei casi eterogeneo e anisotropo, evidenziando marcate differenze tra la conducibilità idraulica verticale (Kv) e orizzontale (Kh).

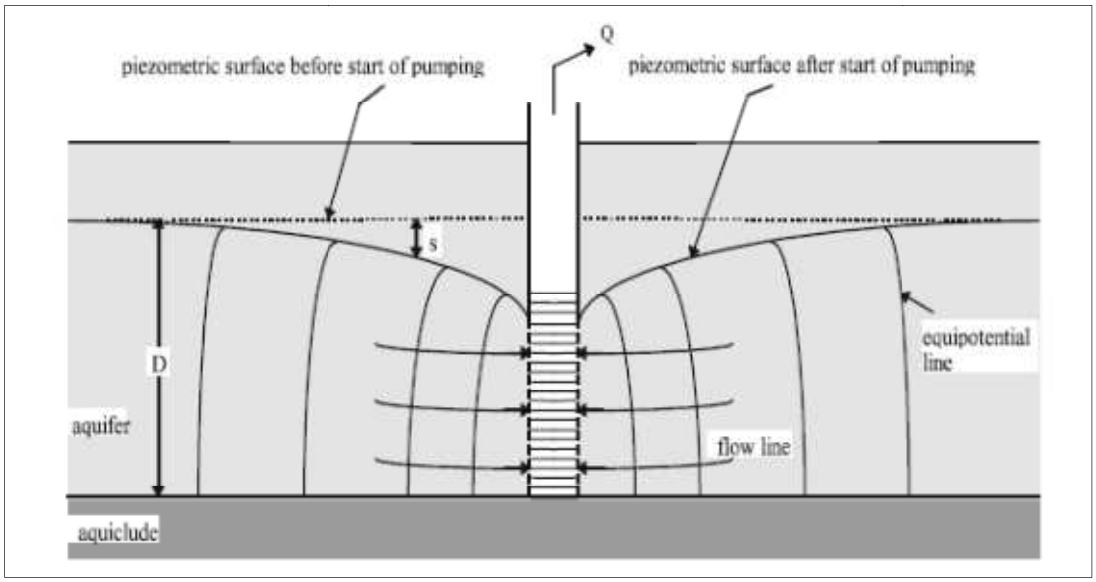


Figura 5.10 - Esempio di acquifero libero in cui il pozzo intercetta interamente l'acquifero

Per il calcolo dei parametri idrogeologici caratteristici degli acquiferi è stato utilizzato il metodo di Neuman (1972, 1975) riproposto e modificato, che riprende il metodo di Boulton (1963).

Con entrambi i modelli viene interpretato il fenomeno del drenaggio ritardato, tipico degli acquiferi liberi sensibilmente eterogenei e anisotropi.

Di seguito si riporta in breve la teoria che permette l'interpretazione delle curve di abbassamento ricavate durante il pompaggio.

All'avvio dell'estrazione, il pozzo viene inizialmente alimentato dall'acqua che si trova all'interno del pozzo stesso che si svuota, mentre, a causa dell'eterogeneità dell'acquifero, l'acqua interna al cono di depressione rimane sospesa nelle parti alte della zona satura e solo successivamente si aggiunge al flusso emunto dal pompaggio.

La curva s=f(t), misurata e riportata in campo log-log, mostra poi che a tempi di pompaggio abbastanza lunghi si ha un'inflessione graduale verso l'alto (si vedano la Figura 5.4 e la Figura 5.5).

La famiglia di curve proposta da Neuman (1975 e 1976) per descrivere la funzione s=f(t) si compone di due parti: la prima parte detta A, per il calcolo della funzione del pozzo W(u), e la seconda parte detta B, che corrisponde a quella più utilizzata per l'interpretazione delle prove di pompaggio in acquiferi liberi, per la definizione della Potenzialità Specifica Sy (o porosità efficace secondo Neuman). Infatti, in una falda libera, il drenaggio delle acque sotterranee avviene per svuotamento meccanico degli spazi da esse occupate e pertanto il coefficiente

d'immagazzinamento corrisponde alla porosità efficace.

Nelle falde libere poi, al posto del coefficiente d'immagazzinamento, si preferisce utilizzare il termine di potenzialità specifica Sy (adimensionale). Sy è definito come il volume di acqua della falda rapportato alla sezione unitaria interessata dall'emungimento per la variazione di carico.

La procedura di interpretazione della prova consiste, come già anticipato, nel riportare la curva s(t) in un diagramma log-log delle stesse dimensione in cui sono tracciate le curve-tipo e nel cercare la sovrapposizione possibile dei dati sperimentali ad una delle curve. Identificando sulla curva sperimentale e sulla curva s = f(t) un punto di coincidenza, chiamato macht-point, si procede al calcolo dei parametri idrogeologici utilizzando le relazioni seguenti:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u_a, u_b, \beta)$$

nella quale:

$W : u_{A,} u_B, \beta$ conosciuta come la funzione del pozzo

$u_A = \frac{r^2 S}{4Tt}$ delineata dalla curva di tipo A

$$\beta = \frac{r^2 K_v}{b^2 K_h}$$

$u_A = \frac{r^2 S_y}{4Tt}$ delineata dalla curva di tipo B

Dalle quali si ricava:

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u_a, u_b, \beta)$$

$$Sy = \frac{4Tt}{r^2} u_B \qquad K_h = \frac{T}{b} \qquad K_v = \frac{K_h b^2 \beta}{r^2}$$

Dove:

s = abbassamento in metri;

b = spessore dell'acquifero (in metri)

r = raggio della tubazione filtrante (in metri)

T = trasmissività (m2/s)

K_h e K_v sono rispettivamente la permeabilità orizzontale e verticale dell'acquifero e il rapporto dei valori ottenuti permette una valutazione dell'eterogeneità dell'acquifero stesso.

Il grado di anisotropia è pari al seguente rapporto:

$$\frac{K_v}{K_h} = \frac{b^2 \beta}{r^2}$$

Quanto sopra indicato è stato integrato attraverso l'utilizzo del metodo di Stallman (1962) che propone l'effetto ricarica generato durante il pompaggio da una corso d'acqua superficiale.

Per simulare l'effetto ricarica durante una prova di pompaggio in un acquifero libero alimentato da un effetto di ricarica, si utilizzano due pozzi: nel primo pozzo (reale) avviene l'emungimento e in un secondo pozzo immaginario avviene la ricarica. Il pozzo immaginario ricarica l'acquifero con una portata costante Q, uguale alla portata estratta dal pozzo reale. Questa relazione è valida se il pozzo reale e il pozzo immaginario si trovano equidistanti dal corso d'acqua (Recharge Boundary) e sono disposti perpendicolarmente all'asse del corso d'acqua (Kruseman and the Ridder, 1990) come visibile nella Figura 5.11 di seguito riportata.

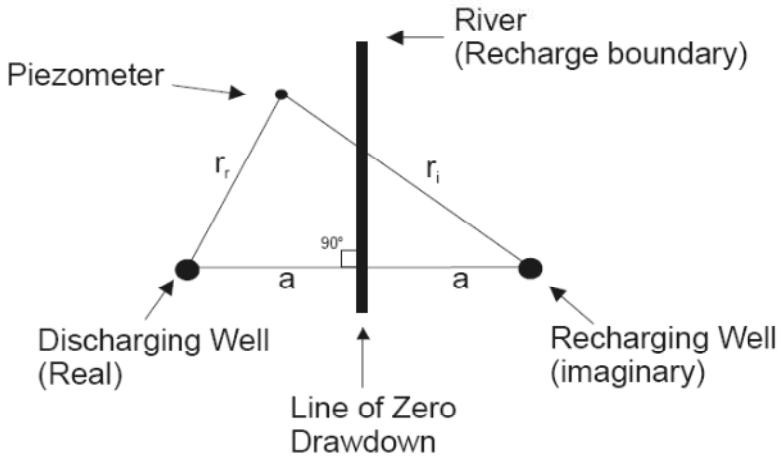


Figura 5.11 Recharge boundary distance, distanza, dal pozzo

dove:

a= distanza tra il pozzo di pompaggio e il corso d'acqua

r_r = distanza tra il piezometro ed il pozzo

r_i = distanza tra il piezometro e il pozzo immaginario

La linea più scura rappresenta il confine (recharge boundary) in cui l'abbassamento è nullo.

Nella Figura 5.12 sottostante è visibile la condizione di ricarica secondo Stallman .

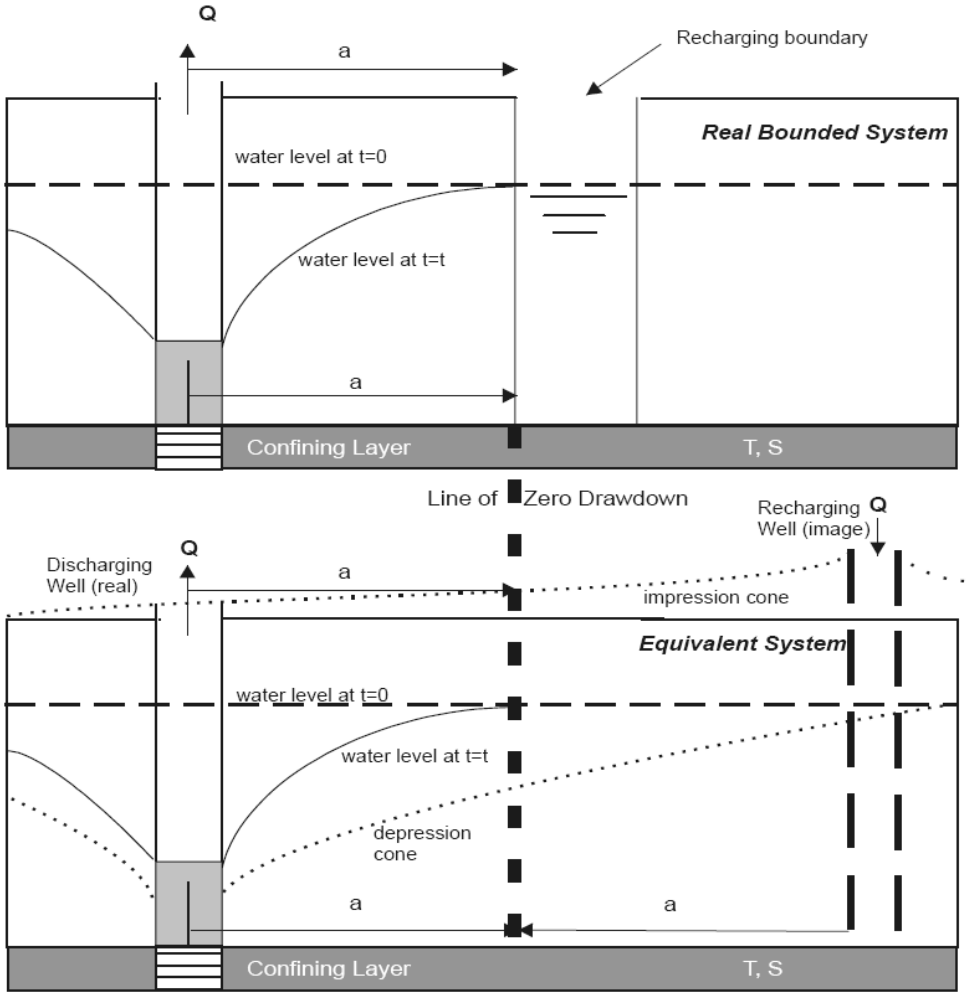


Figura 5.12 : Effetto ricarica prodotto da un pozzo immaginario

All'interno dell'equazione che descrive l'abbassamento nel pozzo oltre alla funzione del pozzo viene preso in considerazione l'effetto confine di ricarica generato dal corso d'acqua utilizzando la funzione di Theis modificata e cosi definita:

$$s(r,t)=\frac{Q}{4\pi T}\left(\int_{u_r}^{\infty}\frac{e^{-u}}{\mu}du \pm \int_{ui}^{\infty}\frac{e^{-u}}{u}du\right)$$

Dove:

$$u_r = \frac{r_i^2 S}{4\pi T}$$

$$u_i = \frac{r_i^2 S}{4\pi T}$$

Le condizione definibili dall'effetto ricarica sono stati dimostrati per acquiferi confinati ma secondo Stallman e Ferris set al., 1962 possono essere utilizzati anche in acquiferi liberi e semiconfinati.

Secondo Stallman l'abbassamento totale è determinato da:

$s = s_r \pm s_i$

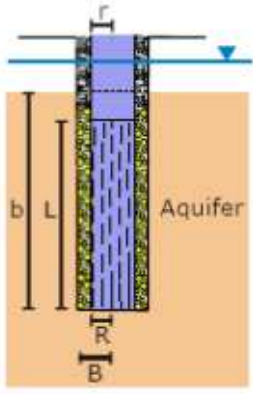
dove:

s: rappresenta l'abbassamento totale

$+s_r$: rappresenta l'abbassamento generato dal pozzo in pompaggio

$- s_i$: è l'innalzamento generato dal pozzo immaginario

Nello schema seguente e nella Tabella 5-3 si riportano i parametri caratteristici del pozzo e dei piezometri che sono stati inseriti nelle formule sopra elencate.



R= raggio della tubazione filtrante

r= raggio del casing

B= raggio del sistema drenante

L= lunghezza della tubazione filtro

b= spessore di acquifero saturo intercettato

Id Punto	X	Y	R (m)	L (m)	b (m)	r (m)	B (m)
Nuovo Pozzo	4965	5092	0,275	23,5	43,6	0,275	0,5
PC1	4969	5087	0,0381	16	43,6	0,0381	0,076
PC2	4960	5100	0,0381	14	18	0,0381	0,076
SPZ2	4930	5075	0,0381	15	21	0,0381	0,076
Pozzo N.4	4953	5076	0,25	15,32	38,5	0,25	0,6

Tabella 5-3 - Parametri caratteristici del pozzo e del piezometri

Nel grafico di Figura 6 19 si riportano le curve proposte da Neuman per il calcolo delle curve di tipo B:

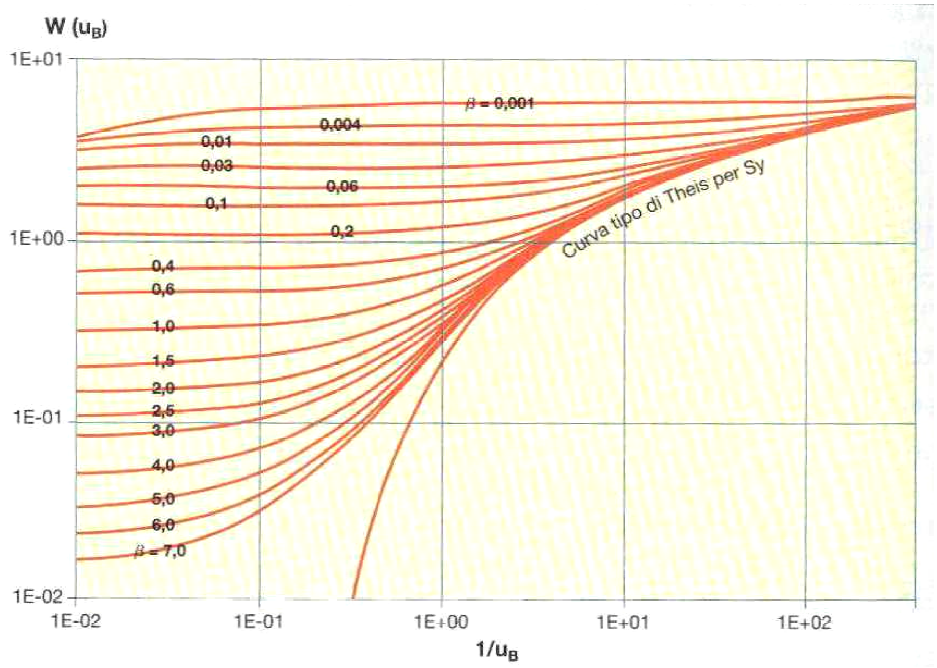


Figura 6 19: Curve di tipo B per l'identificazione nel caso del flusso radiale, in regime di non equilibrio, di un acquifero libero (Neuman, 1975 modificato

Nella Tabella 5-4 si riportano i risultati ottenuti dalla elaborazione delle prova tra cui i valori di permeabilità e trasmissività media del sistema acquifero nonché il valore dello Specific Yeld:

PUNTO DI CONTROLLO	T	k	Sy
Pc1	*1,86E-01*	*7,05E-03*	*5,00E-01*
Pc2	*1,66E-01*	*6,29E-03*	*4,76E-01*
SPZ2	*1,52E-01*	*5,76E-03*	*3,22E-01*
P4	*1,60E-01*	*6,07E-03*	*3,22E-01*
MEDIA	**1,66E-01**	**6,29E-03**	**4,05E-01**

Tabella 5-4 Valori dei parametri idrologici desunti dall'analisi dei dati relativi ai quattro punti di controllo testati, In ultimo è riportato il valore medio tra quelli ottenuti

Il valore P fornito al Software Acquifer Test utilizzato per l'elaborazione dei dati rappresenta il rapporto tra la distanza tra il piezometro ed il pozzo (rr) e la distanza tra il piezometro e il pozzo immaginario (ri).

Dai valori ottenuti e presentati si può notare come la trasmissività e il coefficiente Specific Yield risultino elevati e quindi caratteristici di un acquifero che, se pur di (relativamente) ridotto spessore, se alimentato continuamente (nel caso in esame da corsi d'acqua) può essere sfruttato attraverso un pompaggio più consistente rispetto alla portata critica rilevata nel corso delle prova a gradini.

Nella Tabella 5-5 si presentano gli abbassamenti massimi registrati durante le prime 46 ore della prova nei piezometri e pozzi monitorati:

Piezometro	Soggiacenza. da t.p. statica [m]	Soggiacenza. da t.p. dinamica [m]	Abbassamento [m]
PC1	4,754	5,125	0,37 ca
PC2	4,747	5,09	0,343 ca
Pozzo N.4 esistente	2,038 (*)	2,357	0,319 ca
SPZ2	4,692	4,955	0,263 ca

Tabella 5-5 : Abbassamenti rilevati nei punti monitorati

6 CONCLUSIONI

Il presente documento costituisce il report tecnico di interpretazione della prova di portata eseguita sul nuovo pozzo n. 4 eseguito.

Sono state descritte le attività di realizzazione del pozzo e dei piezometri di controllo, quelle di esecuzione delle prove di pompaggio ed altre attività contestuali in ottemperanza alle prescrizioni degli Enti di Controllo.

Sulla base delle analisi chimiche effettuate sulle acque di falda prelevate dalla due porzioni superiore ed inferiore dell'acquifero ed in base alle evidenze nei livelli di falda misurati durante la prova di lunga durata, si è verificato che gli strati di materiali fini che separano le due porzioni del'acquifero non costituiscono un acquicludo e pertanto l'acquifero freatico è unico.

Dalla prova di portata a carico variabile è stata valutata una portata critica pari a circa 115 l/s per il nuovo pozzo. La curva di risalita evidenzia, inoltre, tempi di riempimento del volume del pozzo molto brevi, indice di un corretto dimensionamento dello strato drenante del nuovo pozzo.

La prova a carico costante ha evidenziato dei valori elevati dei parametri idrogeologici dell'acquifero dovuti alle caratteristiche granulometriche degli strati di ghiaie e, sicuramente, alla vicinanza del corso d'acqua (Torrente Polcevera). Il comportamento dell'acquifero è assimilabile a quello teorico di acquiferi freatici a drenaggio ritardato.

Tutti questi elementi evidenziano come l'area in cui ricade il nuovo pozzo (come anche i limitrofi pozzi Ilva) sia caratterizzata da una grande produttività su cui il pozzo risulta avere una minima influenza.

Nel complesso il nuovo pozzo realizzato presenta prestazioni tali da poter sostituire adeguatamente il pozzo 4 esistente.