

COMUNE DI INVORIO
PROVINCIA DI NOVARA
REGIONE PIEMONTE

LEGGE REGIONALE 30 APRILE 1996, N° 22

“RICERCA, USO E TUTELA DELLE ACQUE SOTTERRANEE”

D.P.G.R. 11.12.2006 N° 15/R

“DISCIPLINA DELLE AREE DI SALVAGUARDIA DELLE ACQUE DESTINATE AL CONSUMO UMANO”

DECRETO LEGISLATIVO 03 APRILE 2006, N° 152 e s.m.i.

“NORME IN MATERIA AMBIENTALE”

D.G.R. 26 APRILE 1995, N° 102-45 194

DETERMINAZIONE FASCE DI RISPETTO
POZZO IDROPOTABILE P
SITO IN VIA CONCILIAZIONE

RELAZIONE IDROGEOLOGICA

ARONA, SETTEMBRE 2008

STUDIO GEOLOGICO EPIFANI

Via XX Settembre 73 - 28041 Arona (NO)

TEL 0322 241531 FAX 0322 48422

E-MAIL: fulvio.epifani@tin.it

DOTT. GEOL. F. EPIFANI



SOMMARIO

1	<i>PREMESSA</i>	3
1.1	NORMATIVA GEOLOGICA DI RIFERIMENTO	4
2	<i>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO</i>	5
2.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
2.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	5
2.3	RILIEVO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	7
3	<i>IDROGRAFIA SUPERFICIALE E FREATIMETRIA</i>	12
3.1	IDROGRAFIA SUPERFICIALE	12
3.2	CARTA FREATIMETRICA	12
3.3	SEZIONE IDROGEOLOGICA	13
4	<i>PROVE DI POMPAGGIO E CARATTERIZZAZIONE TECNICO-STRATIGRAFICA</i>	14
4.1	STRATIGRAFIA POZZO	14
4.2	PROVE DI POMPAGGIO	16
4.2.1	Prova di pompaggio a portata variabile (a gradini)	17
4.2.1.1	Commento dei dati ottenuti	18
4.2.2	Prova di pompaggio a portata costante	21
4.2.2.1	Commento dei dati ottenuti	22
4.2.3	Prova di pompaggio a portata nulla (di risalita)	22
4.2.3.1	Commento dei dati ottenuti	23
5	<i>VALUTAZIONE DEL GRADO DI VULNERABILITÀ</i>	24
5.1	VULNERABILITÀ COMPLESSIVA – CENNI GENERALI	24
5.2	CALCOLO DELLA VULNERABILITÀ COMPLESSIVA	25
6	<i>DETERMINAZIONE FASCE DI RISPETTO</i>	29
6.1	METODO DI CALCOLO CON PERSONAL COMPUTER	30
6.1.1	Commento dei dati ottenuti	34
7	<i>UBICAZIONE CENTRI DI POTENZIALE PERICOLO</i>	37
7.1	CARTA DEI CENTRI DI POTENZIALE PERICOLO – R=1 KM	37
7.2	CARTA DEI CENTRI DI POTENZIALE PERICOLO DI PERTINENZA DELLE FASCE DI RISPETTO	38
8	<i>PUFF – PIANO UTILIZZO FERTILIZZANTI E PRODOTTI FITOSANITARI</i>	39
9	<i>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</i>	40

1 PREMESSA

L'Amministrazione Comunale di Invorio, a causa dell'aumento di richiesta di approvvigionamento idrico all'interno del territorio comunale in concomitanza all'espansione urbanistica, ha avuto la necessità di predisporre un'indagine idrogeologica finalizzata all'individuazione di nuove aree favorevoli al reperimento di acque sotterranee da utilizzare per scopi idropotabili, al fine di incrementarne le potenzialità idriche.

La campagna geofisica condotta nell'Ottobre 2004 individuava l'area nei pressi di C.^{na} Colombera, come quella più idonea alla perforazione di piezometri esplorativi: motivo per cui l'Amministrazione Comunale dava l'incarico allo scrivente di seguire i lavori di terebrazione di due piezometri:

- P1 è ubicato nei pressi di C.^{na} Colombera e censito al Mappale n. 347 - Fg. 8. La perforazione è iniziata nel mese di Giugno 2005 e terminata a Luglio. Le prove di portata sono state eseguite a Settembre '05 e hanno indicato valori di portata estraibili ridotti (dell'ordine dei 3 l/sec);
- Il secondo piezometro P2 si trova anch'esso nelle vicinanze di località C.^{na} Colombera lungo la Via Conciliazione, censito al Mappale n. 114 - Fg. 20. Esso è stato perforato tra fine Novembre e inizio Dicembre 2005; le prove di pompaggio sono state eseguite subito dopo verso metà Dicembre e hanno fornito una portata utilizzabile dell'ordine dei 7 l/sec.

Nel Dicembre 2006 è stata redatta la pratica per la trasformazione dei piezometri in pozzi: l'Amministrazione Provinciale ha autorizzato il piezometro P1 come pozzo ad uso civile, mentre il piezometro P2 come pozzo da sfruttare a scopo idropotabile.

Con la presente indagine si vuole procedere con la definizione delle fasce di rispetto del pozzo di Via Circonvallazione denominato **P**: la sua esatta ubicazione è evidenziata nella Tavola 1 "COROGRAFIA", redatta in scala 1: 10.000, estratto dalle Carte Tecniche Regionali del Piemonte.

L'indagine è stata così articolata:

- sono state raccolte tutte le informazioni di natura geologica, geomorfologica e idrologica in possesso, derivate da studi pregressi svolti dallo scrivente per le fasi precedenti e integrate con nuovi sopralluoghi e verifiche. Per quanto concerne gli altri elaborati o sono stati aggiornati (per il rilievo freaticometrico sono state riviste le misure di soggiacenza) o sono state prodotte *ex-novo* in occasione della presente indagine (carta della soggiacenza). È stata quindi analizzata la stratigrafia del pozzo e le caratteristiche tecnico-costruttive:

utilizzando la sequenza stratigrafica incontrata durante la perforazione è stato possibile stimare il grado di vulnerabilità della falda captata, operazione di rilevante importanza per procedere alla definizione delle *“zone di rispetto”*;

- sono state considerate le prove di pompaggio effettuate al termine della perforazione del pozzo: l'elaborazione dei dati acquisiti durante le prove effettuate ha permesso di definire le caratteristiche e i parametri idrogeologici dell'acquifero captato. È stata così determinata la Zona di Tutela Assoluta e le fasce di Rispetto Primaria (Ristretta) e Secondaria (Allargata) del pozzo, in relazione alle caratteristiche idrogeologiche puntuali dell'area;
- da ultimo sono stati individuati tutti i possibili centri di pericolo nel raggio di 1 km dal pozzo e le varie infrastrutture primarie, interne alle zone di rispetto definite, completando così il quadro relativo alla valutazione dell'effettivo stato di pericolo presente nelle zone di pertinenza della captazione.

Di seguito vengono riportati i risultati delle indagini, mentre in allegato *“DOCUMENTAZIONE TECNICA”* sono forniti oltre alla stratigrafia dei piezometri, i tabulati e i rispettivi grafici delle prove di portata effettuate.

1.1 NORMATIVA GEOLOGICA DI RIFERIMENTO

Il presente studio viene svolto in ottemperanza a quanto previsto dalla normativa vigente:

- Decreto Legislativo 3 Aprile 2006, n° 152, testo aggiornato *“Norme in materia ambientale”*;
- Legge Regionale n° 22 del 30.04.1996 *“Ricerca, uso e tutela delle acque sotterranee”*;
- D.G.R. n° 102-45194 del 26.04.1995.

L'articolo 94 comma 6 del suddetto D.L. indica come estensione minima della zona di rispetto delle risorse idriche *“un raggio non inferiore ai 200 metri dal punto di captazione”*; lo stesso articolo, comma 4, tuttavia, cita anche: *“Tale estensione può essere suddivisa in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata in relazione alla tipologia dell'opera di presa o captazione e alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa”*.

Il ridimensionamento, in funzione della situazione attuale, deve tuttavia seguire obbligatoriamente le indicazioni della L.R. 22/96, secondo la quale la definizione della zona di rispetto è strettamente dipendente *“dalla vulnerabilità complessiva dell'acquifero captato e dalla presenza di limiti idrogeologici”*.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La zona di C.^{na} Colombera nel Comune di Invorio, dove è stato realizzato il pozzo P, si trova nella porzione settentrionale del comune ai piedi della porzione caratterizzata dai rilievi. L'area è cartografata nell'ambito delle Carte Tecniche Regionali del Piemonte alla Sezione n° 094020 "INVORIO" in scala 1:10.000. È inquadrabile nel foglio n° 31 III N.O. "ARONA" delle tavolette I.G.M. della Carta d'Italia in scala 1: 25.000.

2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Dal punto di vista della cartografia geologica, il territorio in esame ricade nel Foglio n° 31 "VARESE" (scala 1: 100.000) della Carta Geologica d'Italia.

L'area occupata dal territorio comunale di Invorio si trova a Sud del Lineamento Insubrico, e pertanto dal punto di vista geologico, si colloca nel Sistema Sudalpino, il cui basamento è composto di un'unità chiamata "Massiccio del Laghi", suddivisa in due unità strutturali e litostratigrafiche diverse giustapposte lateralmente a causa di eventi tettonici per-alpini e alpini: la Zona Ivrea-Verbanò e la Serie del Laghi. La linea di demarcazione tra queste due unità è rappresentata dalle linee Cossato-Mergozzo-Brissago e del Pogallo che testimoniano la caratteristica complessità strutturale dell'area. La distinzione di queste due unità consente di attribuire alla zona Ivrea-Verbanò il significato di crosta continentale inferiore e alla serie dei Laghi quello di crosta intermedia e superiore.

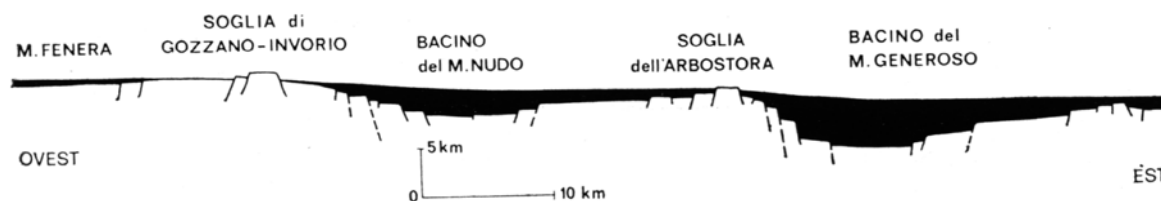
La Zona Ivrea-Verbanò comprende due unità litologiche di età diverse, la più recente e profonda è costituita dal corpo fabbrico stratificato di età permiana, la seconda (complesso kinzigitico costituisce il tetto (attualmente ruotato e deformato) dei plutoni gabbrici).

La Serie dei Laghi è anch'essa suddivisa in due subunità litostratigrafiche separate da un orizzonte continuo di anfiboliti e ultramafiti ad andamento E-O: a Nord la Zona Strona-Ceneri e a Sud gli Scisti dei Laghi.

La Serie dei laghi è inoltre il sito dell'attività ignea postmetamorfica rappresentata da stocks e dicchi da mafici a intermedi e da intrusioni granitiche epiplutoniche note come Graniti dei laghi di età permiana. In particolare i porfidi permiani sono i testimoni dell'intensa attività magmatica ed eruttiva dell'epoca. Le unità porfiriche corrispondono ad un imponente complesso ignimbrico originatosi in seguito ad un'intensa attività vulcanica di tipo esplosivo. Sono diffuse in depressioni tettoniche della fascia pedemontana e sono delimitate a Nord dalla Linea della Cremosina (trascorrente destra neoalpina) orientata SO-NE. Gli originari edifici vulcanici

sono stati cancellati dai processi erosivi, ma le rocce eruttive presenti conservano ancora indizi che consentono di risalire al tipo di eruzione: si tratta in generale di manifestazioni a carattere sia effusivo sia fortemente esplosivo.

In tutto il Piemonte orientale le coperture sedimentarie mesozoiche del Subalpino sono ridotte ad esigui lembi frammentari spesso delimitati da faglie orientate N-S: nel Triassico questa zona si trovava in condizioni di alto strutturale soglia di Gozzano-Invorio) e delimitava i grandi bacini che ora costituiscono le successioni sedimentarie del Subalpino Lombardo.



"Soglie" e "bacini" nella Lombardia centro-occidentale e nel Piemonte orientale nel Lias inferiore e medio (in nero i sedimenti di bacino di tali epoche) - Kälin e Trümpy, 1977; Casati 1978.

Le testimonianze relative al Mesozoico sono infatti rappresentate da calcari dolomitici, espressione di una situazione di alto strutturale che delimitava verso Ovest i bacini lombardi. In particolare sono presenti limitati affioramenti di brecce nel territorio comunale di Invorio, denominati appunto Brecce di Invorio.

Nel Pliocene si assiste a una fase di ingressione del mare con relativa deposizione di sedimenti marini, in gran parte ricoperti da depositi quaternari, che si estendono su tutta la Pianura Padana fino ai primi rilievi alpini, costituiti da sedimenti argilloso-sabbiosi debolmente cementati, che affiorano in prossimità di Cavallirio, in corrispondenza dei rilievi posti a Ovest di Borgomanero e nei dintorni di Maggiore.

La zona è situata nel settore prealpino del novarese caratterizzato da rilievi collinari di modesta entità. Il substrato roccioso profondo è rappresentato dai complessi metamorfici del Sudalpino su cui poggiano in discordanza stratigrafica le formazioni del Pliocene, del Villafranchiano e del Quaternario. Il Pliocene non affiora nella zona in questione; per contro vi affiorano, con importanza molto rilevante per estensione e potenza, i depositi del quaternario che poggiano sui sedimenti del Villafranchiano.

Il paesaggio alpino è contraddistinto da un'elevata "energia di rilievo", cioè accentuati dislivelli tra fondovalle e cime: è stato profondamente e quasi totalmente inciso dall'azione dei ghiacciai. Durante l'ultima grande espansione glaciale, avvenuta tra i 20.000 e i 15.000 anni fa, il settore alpino era quasi interamente sepolto sotto una coltre glaciale che, nelle valli principali

poteva raggiungere i 2 km di spessore. Tra i 15.000 e i 10.000 anni fa la coltre glaciale è arretrata progressivamente, sia pure con momentanee fasi di riavanzata, sino a ridursi all'attuale situazione con piccoli ghiacciai residui limitati ai gruppi montuosi più elevati.

In particolare, con il Pleistocene medio, il fenomeno glaciale, che aveva già prodotto esigui depositi, raggiunge il suo apice nella zona alpina, impostandosi sul fondo delle valli originatesi durante il periodo erosivo Plio-Villafranchiano, depositando due tipi fondamentali di materiali:

- depositi glaciali di fondo, abbandonati alla base della massa di ghiaccio;
- depositi glaciali di ablazione, franati dal fronte del ghiacciaio e dei fianchi vallivi, la cui espressione più vistosa sono i cordoni morenici.

Nel Piemonte orientale si estendeva il grande Ghiacciaio dell'Ossola, la cui lingua maggiore scendeva in corrispondenza del Verbano, mentre una lingua secondaria scendeva a Sud del Lago d'Orta.

L'attività dei ghiacciai porta inoltre all'accumulo di depositi fluvioglaciali, rielaborati dalle acque di fusione che defluiscono lungo il sistema di depressioni allungate (scaricatori glaciali), esistenti tra i vari cordoni dell'edificio morenico.

L'attività erosiva di un ghiacciaio, infatti, provoca la messa in posto di depositi di fondo, abbandonati alla base della massa di ghiaccio, e di depositi di ablazione franati dal fronte del ghiacciaio e dai fianchi vallivi. L'espressione più vistosa dei depositi di ablazione sono i cordoni morenici. Le acque di fusione che defluiscono lungo il sistema di depressioni allungate (scaricatori glaciali) esistenti tra i vari cordoni dell'apparato morenico rielaborano i depositi glaciali dando appunto origine ai depositi fluvioglaciali.

L'ultima fase dell'evoluzione del territorio in esame è rappresentata dall'erosione e dal conseguente accumulo di sedimenti alluvionali, operata da corsi d'acqua con decorso prevalente Nord-Sud, dei quali, localmente, il maggiore è il T. Agogna. In corrispondenza degli stessi si trovano i depositi più recenti (attuali e recenti) costituiti da sedimenti incoerenti o poco coerenti che vanno a formare i greti dei torrenti e le relative piane alluvionali: si tratta di depositi fluviali composti da ghiaie, sabbie e limi.

2.3 RILIEVO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

È stata realizzata una carta "*RILIEVO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO*" (Tavola 2) in scala 1:10.000 estratto dal rilievo esteso su tutto il territorio comunale realizzato in occasione della stesura del Piano Regolatore vigente e dalle numerose indagini svolte nella porzione di

territorio comunale in esame. Il rilievo era stato realizzato mediante l'utilizzo preliminare di foto aeree seguito dai successivi sopralluoghi di campagna.

Di seguito verranno prese in considerazione le varie unità geolitologiche riscontrate sulla porzione di territorio analizzato, distinguendole in due gruppi principali:

- substrato roccioso;
- copertura quaternaria.

SUBSTRATO ROCCIOSO

Nell'ambito di questo gruppo si intendono sia la roccia affiorante sia quella subaffiorante, con copertura detritico-colluviale inferiore al metro di spessore; è stato scorporato un estratto dalle tavole redatte in occasione della stesura del vigente Piano Regolatore Generale Comunale, e sono stati distinti:

- *MICASCISTI DELLA SERIE DEI LAGHI (PRE-CAMBRIANO)*

Rappresentano il litotipo arealmente più diffuso e costituiscono gran parte dei rilievi presenti a Nord in Invorio.

Si tratta di micascisti e paragneiss in facies anfibolitica, localmente riequilibrati in facies scisti verdi, derivanti dal metamorfismo di sedimenti pelitico-arenacei più antichi.

L'unità presenta una giacitura (scistosità) nel settore Sud-occidentale variabile tra $315^{\circ}\div 340^{\circ}$ (inclinazione $30^{\circ}\div 50^{\circ}$), mentre nel settore Nord-orientale risulta compresa tra $120^{\circ}\div 150^{\circ}$ (inclinazione $25^{\circ}\div 55^{\circ}$).

In affioramento questo litotipo si presenta spesso molto fratturato e alterato (alterazione in illite e minerali argillosi).

- *VULCANITI (PERMIANO)*

Dal rilievo geologico allegato sono chiaramente distinguibili tre zone di pertinenza porfirica: in generale si tratta di tufi porfitici a grana molto fine, con clorite e feldspati, senza quarzo che risalendo verso le quote più alte lasciano il posto ai porfidi quarziferi veri e propri. Subordinatamente è possibile rilevare del pietrisco porfirico, costituito da una roccia a grana grossolana, composta da granuli di feldspato, clorite e augite; si trovano inoltre porfiriti, breccie porfiritiche e tufi porfirici. Infine si rilevano i porfidi in senso stretto.

Nei vari affioramenti riconosciuti sono state osservate caratteristiche "geomeccaniche" decisamente variabili, passanti da litotipi piuttosto compatti e poco alterati a zone in cui l'alterazione, la fratturazione e l'azione delle acque meteoriche hanno agito in modo molto intenso.

DEPOSITI QUATERNARI

Sono stati classificati due *Complessi* ciascuno dei quali poi suddiviso in svariate unità:

- *COMPLESSO DEL TORRENTE AGOGNA (OLOCENE)*

A questo complesso appartengono 6 unità: 5 di facies fluviale e 1 unità di facies detritica la cui distinzione è stata effettuata soprattutto su base morfologica. Nella porzione di territorio analizzata ne compaiono:

- ↳ *Unità del Torrente Agogna*

Rappresentano le alluvioni attuali dei corsi d'acqua; per ovvi motivi di rappresentazione sono stati cartografati solo i depositi dei corsi d'acqua principali.

Si tratta di prevalenti ghiaie medio-grossolane con ciottoli e blocchi, con subordinate sabbie e sabbie ghiaiose.

- ↳ *Unità di Grata*

Costituiscono le alluvioni recenti dei torrenti principali di dimensioni maggiori (nella zona sono i torrenti Agogna, Terzago e Vevera).

Da un punto di vista litologico-granulometrico, si tratta di materiali a granulometria grossolana (ghiaie con ciottoli e blocchi), anche se si possono osservare zone in cui prevalgono sedimenti a granulometria più fine (sabbie e sabbie limose).

All'interno di questi depositi, e in particolare dei settori con granulometria medio-fine, si possono osservare strutture sedimentarie quali gradazioni e laminazioni.

- ↳ *Unità di Manzasca*

Sono depositi di conoide, spesso di limitata estensione, presenti alla confluenza tra alcuni rii minori e i corsi d'acqua principali.

Si tratta di sedimenti a granulometria medio-fine (sabbia e sabbia-ghiaiosa) che talora inglobano ciottoli.

- *COMPLESSO DI INVORIO (PLEISTOCENE SUP.)*

A questo complesso appartengono diverse unità, la cui distinzione è stata effettuata in base alle evidenze morfologiche direttamente connesse ai meccanismi di sedimentazione che le hanno prodotte (glaciale, fluvioglaciale e glaciolacustre).

- ↳ *Unità di Pomevola*

Da un punto di vista litologico si tratta di depositi sartumosi che occupano una depressione morfologica posta all'interno della piana costituita dai depositi fluvioglaciali.

Tali depositi, costituiti da torbe, sono stati interpretati come riferibili ad un piccolo laghetto

intramorenico (depositi glaciolacustri).

✧ *Unità di Talonno*

Rappresenta depositi di natura fluvioglaciale: occupano le depressioni impostate tra le morene e i rilievi rocciosi.

Da un punto di vista granulometrico si tratta di ghiaie e sabbie, talora a stratificazione poco distinta o, più raramente con stratificazione incrociata a basso angolo, con parziali embriciature, che inglobano spesso ciottoli e blocchi anche di elevate dimensioni.

La nuova captazione si imposta sull'Unità di Talonno.

✧ *Unità di Orio*

Costituisce l'unità arealmente più estesa tra i depositi di età pleistocenico-olocenica.

In questa unità sono stati raggruppati i depositi glaciali in senso lato; vi appartengono infatti i till di alloggiamento, i till di colata e di ablazione ed i depositi di contatto glaciale (kame).

Questi depositi sono costituiti da una granulometria piuttosto eterogenea: si passa infatti da depositi fini e medio-fini (limi e limi sabbiosi) a depositi di contatto glaciale a granulometria più grossolana (sabbie e ghiaie) con laminazioni e stratificazioni da ondulate a incrociate a basso angolo.

Dal punto di vista fisiografico l'area in esame presenta settori a caratteristiche differenti: una parte con rilievi più accentuati e versanti acclivi è dominata da processi di versante e di origine fluviale, a loro volta controllati dalle discontinuità tettoniche presenti, che danno luogo a forme di erosione concentrata; una seconda parte caratterizzata da un paesaggio blandamente ondulato, con dolci rilievi collinari intersecati da piane leggermente digradanti in genere verso Sud: è direttamente connesso all'azione di sedimentazione glaciale, fluvioglaciale e, talora, glaciolacustre.

Il reticolato idrografico si adegua a questa situazione geomorfologica: a un fitto sistema di vallecole a pattern dendritico nel settore più acclive, collegato in gran parte all'azione diretta delle acque meteoriche, si contrappone, nella porzione più dolce, un rado reticolato composto da alvei pressoché rettilinei o blandamente sinuosi, scarsamente ramificati e collegati alla locale emergenza della falda freatica nelle depressioni topografiche.

Per quanto riguarda infine l'evoluzione pedogenetica dei sedimenti presenti nel territorio, sono stati osservati in prevalenza suoli poco evoluti di apporto, secondo la nomenclatura francese (Duchaufour, 1983), impostati generalmente sulle coltri colluviali, e un paleosuolo relitto, di

tipo ferrallitico, relativo a pedogenesi in clima tropicale, evoluto sulle vulcaniti e del quale rimane solamente parte dell'orizzonte inferiore.

Nella carta si sono distinte sia forme di erosione che depositi riconducibili a diversi tipi di processi:

- a. *Forme glaciali*: consistono unicamente di forme di accumulo, sotto forma di depositi glaciali che conservano la forma di cordoni morenici. Dal punto di vista dell'analisi di facies è possibile distinguere i till di alloggiamento da quelli di ablazione e dai depositi di contatto glaciale.
- b. *Forme fluviali, fluvioglaciali e di versante, dovute al dilavamento*: sono, insieme alle forme glaciali, quelle meglio rappresentate nel territorio in esame.

Le forme di erosione consistono prevalentemente di solchi di ruscellamento concentrato e di vallecole a "V", ben sviluppate, soprattutto nella parte settentrionale. Per non appesantire la lettura della carta si è espressamente evitato di evidenziare ogni singola vallecola, comunque interessata da questo tipo di problema.

Altre forme di erosione sono rappresentate da orli di scarpata e di terrazzo.

Le forme di accumulo sono rappresentate dalle superfici terrazzate presenti anch'esse lungo i corsi d'acqua maggiori e dalle antiche piane prodotte dagli scaricatori fluvioglaciali, interposte ai cordoni morenici. A esse si aggiungono alcuni conoidi di deiezione, talora parzialmente attivi, e una limitata area depressa, sita in località Pomevola.

- c. *Forme lacustri*: consistono in limitate aree acquitrinose, prodotte dalla locale emergenza della falda freatica nelle pianure incassate all'interno dei depositi glaciali e della depressione in località Pomevola, corrispondente a un antico bacino glaciolacustre, attualmente occupato da uno specchio palustre.

3 IDROGRAFIA SUPERFICIALE E FREATIMETRIA

3.1 IDROGRAFIA SUPERFICIALE

Il reticolato idrografico si adegua all'assetto geomorfologico: a un fitto sistema di vallecole a pattern dendritico nel settore più acclive, collegato in gran parte all'azione diretta delle acque meteoriche, si contrappone, nella porzione più dolce, un rado reticolato composto da alvei pressoché rettilinei o blandamente sinuosi, scarsamente ramificati e collegati alla locale emergenza della falda freatica nelle depressioni topografiche.

Nella porzione di territorio comunale considerato la rete è estremamente ridotta, praticamente consiste in un corso d'acqua che lambisce l'abitato di Invorio Sup. a più di 200 metri a Ovest.

I corsi d'acqua presenti sono riportati nella Tavola 3 "RILIEVO FREATIMETRICO E RETICOLO IDROGRAFICO".

Il reticolo idrografico presente non interferisce in alcun modo, né potrà interferire, con il pozzo in esame.

3.2 CARTA FREATIMETRICA

Nella medesima Tavola 3 è indicato l'andamento della falda freatica realizzato con il contributo delle misure effettuate in cinque pozzi presenti nell'area e nei due piezometri in esame. Il pannello è stato realizzato criticamente tenendo presente l'andamento topografico e morfologico dei settori circostanti le due captazioni.

Gli elementi salienti sono i seguenti:

- l'andamento Est-Ovest delle linee isofreatiche comporta una direzione di flusso prevalentemente diretta verso SSE nel settore settentrionale e una direzione verso NNO nel settore opposto (dove c'è P). Nel settore centrale tra C.^{na} Colombera e Comperto è possibile vedere al presenza di un asse drenante, la cui direzione di flusso è orientata verso Ovest, ossia verso il T. Agogna;
- il gradiente idraulico varia da un massimo di 0,0256 nel settore prospiciente la località Pomevola a un minimo di 0,007 nei pressi di P; nei dintorni della località Colombera, dove si trova il pozzo 6 invece, il gradiente idraulico si aggira intorno a 0,036;
- la soggiacenza è molto variabile, in quanto varia da un massimo di 16 metri in corrispondenza del pozzo 4 a valori intorno al metro e mezzo in prossimità del pozzo 3.

Nella seguente tabella sono riportati i dati utilizzati per il tracciamento delle curve:

Pozzi	QUOTA FALDA (m s.l.m.)	SOGGIACENZA (m)	QUOTA P.C. (m s.l.m.)
1	409,93	3,07	413,00
2	422,48	1,52	424,00
3	413,90	6,10	420,00
4	419,00	16,00	435,00
5	413,50	8,50	422,00
6	415,00	2,45	412,55
P	415,30	4,69	410,61

3.3 SEZIONE IDROGEOLOGICA

Al fine di chiarire i rapporti litostratigrafici nella zona è stata eseguita una sezione tra i due pozzi P1 (pozzo idropotabile non utilizzato) e P.

È stata così realizzata la Tavola 4 “SEZIONE IDROGEOLOGICA” con scala orizzontale 1: 10.000 e scala verticale 1: 200; sulla medesima tavola è stato proposto un estratto cartografico, in scala 1: 20.000, per ubicare le captazioni utilizzate e la traccia della sezione tra le stesse.

La differenza altimetrica rilevata tra le due captazioni è irrilevante (di soli 30 cm) e gli orizzonti sono ben correlabili:

- l’orizzonte superficiale è costituito da terreno agrario prevalentemente sabbioso-limoso, di spessore intorno al metro: è costante e continuo nello spazio.

Al di sotto di questo livello si può individuare una prima litozona caratterizzata da granulometria grossolana, sede dell’acquifero freatico superficiale, captato da entrambi i piezometri: lo spessore si aggira mediamente intorno ai 20 metri (si passa infatti dai 21 metri circa in corrispondenza di P1 ai 17 m circa di P). Le frazioni granulometriche prevalenti sono rappresentate da ghiaie e ciottoli, mentre la matrice è costituita da sabbia, talora limosa in corrispondenza di P1. Nell’ambito di P2 sono stati riscontrati in corso di perforazione dei trovanti intorno ai 10-12 metri di profondità.. La soggiacenza della falda è molto alta, 2,45 m da p.c. nei pressi di P1 e 4,69 m da p.c. in corrispondenza di P2;

- al di sotto di questo orizzonte la situazione è omogenea, rappresentata da materiali sabbioso-limosi, praticamente asciutti. Questo orizzonte è stato rilevato con continuità a partire dai 22 m da p.c. nei pressi di P1 e dai 18 m in corrispondenza di P, fino alla massima profondità di perforazione (36 metri da p.c.).

4 PROVE DI POMPAGGIO E CARATTERIZZAZIONE TECNICO-STRATIGRAFICA

Il nuovo pozzo P, ubicato lungo Via Conciliazione, nei pressi di C.^{na} Colombera, sono stati realizzati a seguito dell'aumento della richiesta idrica da parte dell'utenza, particolarmente durante i mesi estivi, dovuta anche alla recente espansione urbanistica e in relazione all'invecchiamento dei pozzi esistenti.

Sono state quindi eseguite le prove di pompaggio a gradini e a portata costante, su ciascuna captazione al fine di caratterizzare da un punto di vista idrogeologico gli acquiferi intercettati: nei prossimi paragrafi provvederemo all'elaborazione dei dati registrati durante l'esecuzione delle prove di portata, al fine di ottenere i parametri idrologici necessari al dimensionamento delle fasce di rispetto su criteri temporali.

Si precisa che le prove di pompaggio sono state eseguite, nei giorni seguenti il completamento del piezometro (poi trasformato in pozzo con le caratteristiche di costruzione del piezometro perché già adeguate al pozzo), in condizioni ottimali in quanto non collegati in rete, senza problemi di interferenze indotte dalle variazioni della pressione per la differente richiesta idrica nell'arco della giornata.

Il pozzo, attualmente, presenta una fascia di rispetto circolare di raggio $R=200$ m, così come previsto dalla normativa vigente Regolamento Regionale n°15/R del 2006 e L.R. n° 152/99 e s.m.i.: pertanto, l'Amministrazione Comunale ha deciso di provvedere al ridimensionamento delle stesse non su criteri geometrici ma su criteri temporali.

Come anticipato sopra, al termine della perforazione e delle operazioni di spurgo di ciascun piezometro sono state eseguite le prove di pompaggio a portata variabile per la definizione della curva caratteristica dell'acquifero, e a portata costante, nonché di risalita, da cui ricavare tutti i parametri idrogeologici: tutti i rispettivi tabulati sono riportati nell'Allegato "DOCUMENTAZIONE TECNICA".

4.1 STRATIGRAFIA POZZO

Il pozzo è censito al mappale n° 114 del Fg. 20 in Comune di Inverio: è stato realizzato dall'Impresa Pietro Succio, IMPIANTI DI IRRIGAZIONE, POZZI E POMPE, ACQUEDOTTI.

La perforazione è stata eseguita con il metodo a percussione, secondo il seguente schema:

- $\varnothing = 800$ mm \Rightarrow 0,0÷6,0 m da p.c.;
- $\varnothing = 600$ mm \Rightarrow 6,0÷15,0 m da p.c.;
- $\varnothing = 500$ mm \Rightarrow 15,0÷36,0 m da p.c. (fondo foro).

La perforazione è stata arrestata 36 m da p.c. perché a partire da 18 m fino a fondo foro è stato incontrato un orizzonte compatto uniforme di limo sabbioso di colore grigio-blu.

Al termine della perforazione congiuntamente all'estrazione del rivestimento è stata posata la colonna definitiva del diametro $\varnothing=219$ mm, per tutta la profondità del foro con spessore 5 mm.

Lo "SCHEMA TECNICO-STRATIGRAFICO NUOVA CAPTAZIONE", redatto in scala 1: 200, presentato nella "DOCUMENTAZIONE TECNICA", evidenzia graficamente la sequenza litostratigrafica incontrata durante la perforazione:

- 0,0 m ÷ 1,0 m: terreno agrario;
- 1,0 m ÷ 5,0 m: ghiaia con ciottoli;
- 5,0 m ÷ 8,0 m: ghiaia;
- 8,0 m ÷ 9,0 m: sabbia limosa rossa;
- 9,0 m ÷ 10,0 m: ghiaia con ciottoli;
- 10,0 m ÷ 12,0 m: trovanti;
- 12,0 m ÷ 18,0 m: sabbia limosa rossa;
- 18,0 m ÷ 36,0 m (fondo perforazione): limo sabbioso grigio-blu.

Il pozzo è stato completato tramite una colonna in acciaio al carbonio avente $\varnothing=219$ mm e spessore 5 mm, così differenziata:

- 0,0 m ÷ 12,0 m da p.c. \Rightarrow tubo cieco;
- 12,0 m ÷ 15,0 m da p.c. \Rightarrow tubo fenestrato - lunghezza 3 m lineari;
- 15,0 m ÷ 27,0 m da p.c. \Rightarrow tubo cieco - lunghezza 3 m lineari;
- 27,0 m ÷ 30,0 m da p.c. \Rightarrow tubo fenestrato;
- 30,0 m ÷ 36,0 m da p.c. \Rightarrow tubo cieco.

I tratti filtrati presentano una lunghezza complessiva di 6 metri: si tratta di filtri a spirale di tipo Johnson. Il primo tratto filtrato è posto in corrispondenza di orizzonti a granulometria fine (sabbie limose) mentre l'ultimo tratto è posto nell'ambito del potente orizzonte impermeabile asciutto costituito da limo.

Per quanto riguarda, infine, il riempimento dell'intercapedine tra il foro di perforazione e la colonna definitiva, esso risulta così strutturato:

- 0 ÷ 1,0 m \rightarrow cementazione superficiale: impermeabilizzazione atta a garantire un grado di protezione in caso di accidentali sversamenti di inquinanti nell'intorno della captazione;
- 10,0 m ÷ 12,0 m \rightarrow impermeabilizzazione: costituita da argilla, si tratta di un ulteriore grado di

protezione in caso di accidentali sversamenti di inquinanti nell'intorno della captazione;

- 12,0 m ÷ 15,0 m → dreno costituito da ghiaietto siliceo calibrato selezionato (3÷4 mm) scelto in modo da assicurare lo sviluppo di un buon dreno che eviti l'innescarsi di moti turbolenti nelle immediate vicinanze della captazione con il conseguente trascinamento di particelle fini e l'intasamento degli stessi filtri;
- 15,0 m ÷ 27,0 m → impermeabilizzazione: costituita da argilla;
- 27,0 m ÷ 30,0 m → dreno: costituito da ghiaietto siliceo calibrato selezionato (3÷4 mm);
- 30,0 m ÷ 36,0 m → impermeabilizzazione: costituita da argilla.

Le operazioni di spurgo e le successive prove di pompaggio sono state eseguite con una pompa provvisoria posta alla profondità di 33 metri.

L'impianto di emungimento definitivo sarà costituito da una singola pompa, che verrà installata nel pozzo inferiormente al secondo tratto filtrato a circa 33 m da p.c..

La perforazione del pozzo e le operazioni di completamento nonché lo spurgo sono state eseguite nei mesi di novembre e dicembre 2005: il definitivo completamento del pozzo è consistito nella realizzazione del fabbricato di pertinenza, opportunamente areato e munito di griglie anti-insetto, atto a ospitare la testa pozzo e i quadri elettrici per l'accensione e lo spegnimento della pompa nonché le apparecchiature di misurazione e prelievo.

La captazione è dotata di una recinzione di sicurezza in rete plastificata, munita di cancello carraio lucchettato, come previsto dalla normativa vigente per delimitare l'area di protezione assoluta (cfr. immagine fotografica nella Documentazione tecnica nella rappresentazione grafica della ZTA).

4.2 PROVE DI POMPAGGIO

Al termine della perforazione e delle operazioni di spurgo del pozzo, il giorno 16 Dicembre 2005, lo scrivente ha eseguito le prove di pompaggio a portata variabile per la definizione della curva caratteristica dell'acquifero, e a portata costante, nonché a portata nulla (o di risalita), da cui ricavare tutti i parametri idrogeologici. I rispettivi tabulati sono riportati nell'Allegato "DOCUMENTAZIONE TECNICA".

Le prove di pompaggio sono state eseguite dallo scrivente: dal momento che la captazione non era ancora collegata alla rete, è stato possibile eseguire le prove in condizioni ottimali, senza risentire di eventuali variazioni di pressione causate dalla differente richiesta idrica da parte dell'utenza.

4.2.1 PROVA DI POMPAGGIO A PORTATA VARIABILE (A GRADINI)

Questo tipo di prova consente di valutare le caratteristiche dell'insieme acquifero-pozzo, tramite l'acquisizione di dati necessari per costruire la curva caratteristica.

I vari gradini di portata sono fissati in base alla Q_{\max} estraibile con la pompa sommersa.

Stabiliti i gradini, si inizia la prova con il primo valore di Q prefissato, mantenendolo costante fino a quando il livello dinamico nel pozzo non abbia raggiunto una sufficiente stabilizzazione, cioè fino a quando la depressione Δs del livello statico si mantiene costante per almeno tre letture consecutive. Il tempo necessario a detta stabilizzazione è strettamente legato alle caratteristiche granulometriche dell'acquifero captato e alla portata emunta.

Si passa così al gradino successivo, ripetendo le medesime operazioni di lettura dell'abbassamento Δs , agli intervalli stabiliti, e mantenendo la portata costante fino al raggiungimento della condizione di equilibrio.

Si procede in questo modo per tutti i gradini di portata previsti.

Prima di passare all'elaborazione dei dati ricavati dalle prove di portata, occorre fare alcune precisazioni a carattere teorico, necessarie per una corretta interpretazione delle caratteristiche idrauliche degli acquiferi in studio.

L'*equazione teorica* di un pozzo è espressa dalla relazione:

$$s_t = B \cdot Q \quad [1]$$

dove s_t sono gli abbassamenti, Q le portate e B una costante che dipende dal tipo di pozzo: ne deriva che la portata specifica Q/s risulta la stessa qualunque sia il valore di Q .

Tale relazione sarebbe vera se il flusso si mantenesse laminare per tutto il cono d'influenza creato dall'emungimento; si è riscontrato però che in corrispondenza del materiale drenante attorno alla colonna filtrante, e molto spesso anche nel terreno acquifero vicino al pozzo, il flusso diventa turbolento.

Pertanto l'abbassamento piezometrico diviene soggetto a:

- perdita di carico dell'acquifero, dovuta alle dissipazioni di energia, causate dalla resistenza al deflusso laminare;
- perdita del pozzo, che si crea per vincere la resistenza al deflusso turbolento nelle vicinanze del pozzo, causata dalle forze di inerzia e dalle variazioni della quantità di moto.

L'abbassamento totale s in un pozzo viene pertanto rappresentato con un'equazione del tipo:

$$s = BQ + CQ^2 \quad [2]$$

dove:

- BQ = termine indicativo della perdita di carico dell'acquifero (in deflusso laminare la perdita di carico è proporzionale alla velocità, v);
- CQ^2 = termine rappresentativo della perdita del pozzo (in deflusso turbolento la perdita è proporzionale a v^2).

I parametri B e C sono due coefficienti costanti mentre Q è la portata del pozzo.

Il rapporto tra s_t e s rappresenta l'efficienza del pozzo e indica la percentuale dovuta al solo flusso laminare: come già menzionato, infatti, l'abbassamento teorico $s_t=BQ$ è dovuto al solo flusso laminare, mentre l'abbassamento totale $s=BQ+CQ^2$ è dovuto in parte al flusso laminare e in parte al flusso turbolento.

L'equazione relativa all'efficienza di un pozzo risulta quindi:

$$E = \frac{B \cdot Q}{B \cdot Q + C \cdot Q^2} \cdot 100 \quad [3]$$

La valutazione delle perdite di carico del pozzo assume maggiore importanza quando, per le analisi delle prove di pompaggio, devono essere utilizzate le osservazioni sull'abbassamento piezometrico nel solo pozzo emunto, come nei casi in esame.

4.2.1.1 *Commento dei dati ottenuti*

In base alla portata massima della pompa sommersa installata appositamente nel piezometro per l'esecuzione della prova a una profondità di circa 33 m da p.c., sono stati fissati i gradini necessari per una corretta interpretazione delle caratteristiche dell'acquifero.

Potendo influire direttamente sui quantitativi d'acqua erogati dalla pompa tramite la regolazione di un rubinetto posto sul tubo di mandata della stessa e grazie alla possibilità di misurare la portata utilizzando un contatore installato appositamente sul tubo di mandata, sono state tenute sotto costante controllo le portate per i diversi gradini eseguiti.

Dopo aver misurato il livello statico della falda (pari a 4,69 m da p.c.) è stata azionata la pompa, imponendo una portata bassa ($Q_{1^\circ \text{gradino}} \cong 2,11$ l/sec) e sono stati registrati i valori di "abbassamento" progressivo del livello piezometrico, secondo le modalità illustrate nel paragrafo precedente fino all'assestamento del livello dinamico.

Una volta raggiunta la stabilizzazione è stata aumentata la portata ($Q_{2^\circ \text{gradino}} \cong 3,98$ l/sec) e la prova è proseguita come precedentemente detto fino a un nuovo assestamento del livello dinamico; si è proceduto nello stesso modo per un totale di 4 gradini ($Q_{3^\circ \text{gradino}} \cong 5,41$ l/sec e $Q_{4^\circ \text{gradino}} \cong 6,25$ l/sec, quest'ultima coincidente con la portata massima estraibile con la pompa installata), fino all'espletamento dell'intera prova.

Con la misure registrate è stato poi possibile procedere alla realizzazione di una serie di grafici che hanno consentito di definire correttamente il pozzo.

Nel primo diagramma proposto “ABBASSAMENTI-TEMPO”, di tipo semilogaritmico, è riassunta tutta la prova: si osserva, con le portate utilizzate, come ogni gradino si assesti in tempi brevi con abbassamenti minimi e solo in corrispondenza dell'ultimo *step*, l'assestamento sia avvenuto in tempi più lunghi (40 minuti contro i 15 minuti dei gradini precedenti) con un abbassamento complessivo di *1,11 metri*.

Di seguito vengono riassunte le portate relative a ciascun gradino effettuato:

$$Q_{1^{\circ}\text{gradino}} = 2,11 \text{ l/sec}$$

$$Q_{2^{\circ}\text{gradino}} = 3,98 \text{ l/sec}$$

$$Q_{3^{\circ}\text{gradino}} = 5,41 \text{ l/sec}$$

$$Q_{4^{\circ}\text{gradino}} = 6,25 \text{ l/sec}$$

L'ulteriore elaborazione dei dati di campagna, i cui tabulati e i relativi grafici sono riportati nell'allegato “DOCUMENTAZIONE TECNICA”, ha permesso di caratterizzare l'acquifero; di seguito viene proposta la tabella riassuntiva:

PORTATA Q (mc/sec)	ABBASS. INCR. Δs (m)	ABBASS. CUMUL. s (m)	ABBASS. SPECIFICI s/Q (m/mc/sec)	PORTATA SPECIFICA Q/s (mc/sec/m)
0,00211	0,23	0,23	109,00	0,009174
0,00398	0,29	0,52	130,65	0,007654
0,00541	0,32	0,84	155,27	0,006440
0,00625	0,27	1,11	177,60	0,005631

È stato dapprima costruito il grafico di tipo *a)* “*abbassamenti specifici (s/Q) - portate (Q)*” (vedi allegati), dal quale sono ottenute le costanti B e C da inserire nell'equazione [2]:

- $B = 60 \text{ m/mc/sec}$ è l'intersezione della retta interpolatrice con l'asse delle ordinate;
- $C = 19.040 \text{ sec}^2/\text{m}^5$ è la pendenza della stessa retta data dal rapporto a/b .

La retta di interpolazione tra i vari punti è indicativa di proporzionalità diretta tra gli abbassamenti specifici e le portate (all'aumentare di Q aumentano anche gli s/Q).

L'equazione [2], indicativa degli abbassamenti effettivi registrati durante la prova di portata, diventa in questo modo:

$$s = B \cdot Q + C \cdot Q^2 = 60 \cdot Q + 19.040 \cdot Q^2$$

La sua rappresentazione grafica è indicata nel secondo tipo di grafico *b)* “*abbassamenti (s) - portate (Q)*”, che evidenzia la “*curva caratteristica*” del pozzo. In questo grafico sono riportate

la curva reale del pozzo, in blu, avente equazione $S=B \cdot Q+C \cdot Q^2$, e quella teorica, in rosso, con equazione $S=B \cdot Q$.

Dal momento che la pompa utilizzata ha permesso di raggiungere una portata massima di 6,25 l/sec, si è ritenuto opportuno estrapolare i dati relativi alla curva teorica del pozzo con le medesime portate di ciascun gradino.

La rappresentazione delle due curve (reale e teorica) permette di fare alcune osservazioni sul comportamento dell'insieme acquifero-captazione:

- la curva caratteristica permette di indicare il cosiddetto *punto critico*, ossia quel valore di portata oltre il quale non è consigliabile emungere, in quanto a piccoli incrementi di Q vi sono consistenti aumenti della depressione piezometrica causando il repentino invecchiamento del pozzo (instaurarsi di moti turbolenti in prossimità dei filtri con conseguente richiamo di particelle fini che intaserebbero i filtri stessi): nel caso specifico il punto critico è stato registrato intorno a $4,5 \div 5,0$ l/sec;
- è consigliabile utilizzare una portata di esercizio non superiore a 7 l/sec, come da autorizzazione provinciale.

L'ultimo tipo di diagramma "*abbassamenti (s) portate specifiche (Q/s)*" identifica il tipo di acquifero captato (freatico, artesiano, semi-artesiano): la curva interpolatrice è una retta inclinata intersecante l'asse degli abbassamenti a indicare che si è in presenza di un acquifero freatico.

È stata infine considerata l'efficienza idraulica del pozzo: il calcolo effettuato utilizzando la formula [3] indicata nel precedente paragrafo, per le diverse portate utilizzate durante la prova di pompaggio a portata variabile, evidenzia la seguente situazione:

	PORTATA (l/sec)	EFFICIENZA IDRAULICA (%)
<i>I gradino</i>	2,11	59,90
<i>II gradino</i>	3,98	44,19
<i>III gradino</i>	5,41	36,81
<i>IV gradino</i>	6,25	33,52
Q esercizio	4,0	31,04

L'efficienza, com'è possibile osservare, decresce all'aumentare della portata. I valori trovati confermano che all'aumentare della portata si verifica il netto prevalere del moto turbolento su quello laminare: a tal proposito onde evitare il precoce invecchiamento del pozzo (richiamo di

particelle fini in sospensione e successivo intasamento dei filtri) si consiglia di azionare il pozzo con portate non eccessive, in modo che vi sia ancora un accettabile equilibrio tra le perdite di carico dovute ai moti turbolenti e quelle legate al moto laminare.

Nella tabella allegata nella “DOCUMENTAZIONE TECNICA” con riassunti i dati raccolti durante la prova di portata a gradini vengono presentati i valori di efficienza idraulica relativi a ciascuno *step* effettuato in occasione delle prove di pompaggio.

4.2.2 PROVA DI POMPAGGIO A PORTATA COSTANTE

Allo scopo di determinare i parametri idrogeologici dell’acquifero captato è stata eseguita anche la prova di pompaggio a portata costante. La prova consiste nel misurare le variazioni del livello piezometrico nel tempo emungendo una portata costante dal pozzo.

Con i valori registrati si tracciano le curve semi-logaritmiche “*abbassamenti-tempo (s-t)*”, relative al comportamento idrogeologico e idrodinamico dell’insieme acquifero-pozzo.

I parametri idrogeologici che si ottengono sono i seguenti:

- *Trasmissività (T)*: corrisponde alla quantità d’acqua che può fluire attraverso una porzione verticale di terreno acquifero di larghezza unitaria, avente un’altezza uguale allo spessore della falda, nell’unità di tempo, quando si ha un gradiente idraulico unitario;
- *Coefficiente di permeabilità (k)*: è l’attitudine di un deposito a lasciarsi attraversare dall’acqua per effetto di un gradiente idraulico, ed esprime la resistenza del mezzo al deflusso che lo attraversa. In particolare rappresenta la quantità d’acqua che può attraversare una sezione unitaria di terreno nell’unità di tempo per effetto di un gradiente idraulico unitario.

La prova a portata costante, per dare risultati corretti, dovrebbe essere eseguita in condizioni di falda ideali e per tempi di pompaggio piuttosto lunghi, condizioni difficilmente raggiungibili nella pratica.

Per il calcolo dei parametri idrogeologici e idrodinamici è stato utilizzato il *metodo di approssimazione di Jacob* in regime transitorio, secondo il quale i punti rappresentati nei grafici di tipo “*s-lgt*” dovrebbero ricadere su una retta. Il metodo citato prevede la stima della trasmissività (T), ricavata mediante la seguente formula:

$$T = 0,183 \times \frac{Q}{\Delta s}$$

dove Q è la portata espressa in mc/sec e Δs rappresenta la pendenza della retta espressa come abbassamento per ciclo logaritmico.

Per il calcolo della permeabilità (k) invece, vale l'espressione:

$$k = \frac{T}{H}$$

dove H è lo spessore della falda espresso in m in caso di acquifero freatico, oppure, in caso di acquifero artesiano, coincide con lo spessore dell'acquifero, se facilmente individuabile il tetto e il letto dello stesso, o in caso contrario con lo spessore dei filtri.

4.2.2.1 *Commento dei dati ottenuti*

Non è stato possibile realizzare questa prova perché imponendo un valore di portata di emungimento pari a 4,0 l/sec l'assestamento del livello dinamico è avvenuto in modo estremamente veloce (in soli 5 minuti) da non permettere alcuna interpretazione. I parametri di trasmissività e permeabilità dell'acquifero sono stati così estrapolati dalla fase a portata nulla (di risalita) al termine del IV° gradino ($Q = 6,25$ l/sec) della prova di pompaggio a portata variabile (cfr. paragrafo successivo).

4.2.3 PROVA DI POMPAGGIO A PORTATA NULLA (DI RISALITA)

Consiste nel misurare a intervalli prefissati l'innalzamento del livello piezometrico all'interno della colonna filtrante, una volta terminata la fase di pompaggio a portata costante.

La completa risalita (raggiungimento dello stesso livello statico di partenza con la falda a riposo, quindi prima del pompaggio) richiede in genere tempi considerevolmente più lunghi rispetto alla prova di pompaggio a portata costante.

Le misure tempi-abbassamenti registrate durante la prova a portata costante e le misure tempi-risalita registrate durante la risalita possono portare a differenti risultati sullo stesso acquifero.

I punti registrati durante la fase di risalita vengono riportati su un diagramma semilogaritmico dello stesso tipo per la prova di pompaggio a portata costante; la formula per la valutazione della trasmissività è identica e data da:

$$T = 0,183 \times \frac{Q}{\Delta s}$$

in cui Δs è dato dalla differenza tra il livello dinamico stabilizzato durante la prova a portata costante e il livello dell'acqua in un determinato istante nel corso della fase di risalita.

Risalire al coefficiente di permeabilità dell'acquifero è facile operazione, in quanto basta dividere il valore della trasmissività per il relativo spessore H .

4.2.3.1 *Commento dei dati ottenuti*

Come già spiegato non si è potuto effettuare la fase di risalita al termine della prova di pompaggio a portata costante, perché quest'ultima dopo 5 minuti era perfettamente stabilizzata. Si è quindi deciso di interpolare i dati al termine del IV° gradino della prova a gradini. La risalita è avvenuta regolarmente, ritornando al valore del livello statico di partenza (4,69 m) in 1 ora.

Di seguito, nella tabella proposta, per facilità di consultazione, vengono indicati i valori ai quali fare riferimento per l'espletamento dell'equazione che definisce le caratteristiche idrologiche dell'acquifero in esame:

CONDIZIONI AL CONTERNO	
note	
$Q = 0,00625 \text{ m}^3/\text{s}$	\Rightarrow portata massima estraibile con la pompa installata
$\Delta s = 0,245 \text{ m}$	\Rightarrow calcolato nel ciclo logaritmico
$H = 13,3 \text{ m}$	\Rightarrow spessore medio dell'acquifero freatico: il valore è stato ottenuto sottraendo alla quota della base dell'acquifero (posta a 18 metri da p.c.) il livello statico misurato (circa 4,69 m da p.c.). Si precisa inoltre che il tratto filtrato presente all'interno della seconda litozona non contribuisce in alcun modo sulla portata complessiva emunta in quanto i sedimenti sono asciutti.

I valori dei parametri idrogeologici calcolati applicando le formule citate nel paragrafo precedente, con le condizioni al contorno sopra esposte, sono risultati:

$$T = 0,183 \times \frac{Q}{\Delta s} = 0,183 \times \frac{0,00625}{0,245} = 0,00466 \text{ m}^2/\text{sec};$$

in base al valore di trasmissività sopra calcolato si è ottenuto il seguente valore di permeabilità:

$$K = \frac{T}{H} = \frac{0,00466}{13,3} = 0,00035 \text{ m/sec}.$$

In conclusione, per le successive elaborazioni relative alla definizione delle fasce di rispetto viene utilizzato il seguenti valori di trasmissività e permeabilità:

$$T = 4,66 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec} - K = 3,5 \times 10^{-4} \text{ m/sec};$$

5 VALUTAZIONE DEL GRADO DI VULNERABILITÀ

5.1 VULNERABILITÀ COMPLESSIVA – CENNI GENERALI

La valutazione quantitativa della vulnerabilità di un acquifero costituisce un valido strumento per la pianificazione territoriale, in quanto consente di evidenziare, tramite opportune carte tematiche, le zone in cui è maggiore la facilità di contaminazione delle acque sotterranee da parte di un'eventuale fonte inquinante.

Infatti, secondo alcuni Autori tra cui Albinet e Margat (1970) la vulnerabilità di un acquifero è legata essenzialmente alla possibilità di penetrazione e di propagazione di un inquinante nell'acquifero stesso. Pertanto i fattori che si dovrebbero considerare in una corretta valutazione del grado di vulnerabilità degli acquiferi sono:

- possibilità di penetrazione di un eventuale inquinante, legata allo spessore, alla litologia e alla permeabilità del non saturo;
- possibilità di propagazione di un eventuale inquinante, legata alle caratteristiche idrodinamiche.

In realtà però le metodologie proposte dai vari Autori considerano separatamente l'uno o l'altro dei fattori suddetti o, con diverso peso, entrambi a seconda delle condizioni idrogeologiche e geologiche locali. La valutazione di seguito proposta considera entrambi i fattori, in modo tale da ottenere un *grado di vulnerabilità complessivo* dell'acquifero. Prima della sua determinazione occorre però considerare quelle che vengono definite vulnerabilità verticale e orizzontale.

La *vulnerabilità verticale* di un acquifero rappresenta la facilità con cui esso può essere raggiunto da un inquinante immesso dalla superficie del suolo. Si è perciò ipotizzato uno scarico inquinante, riversato nelle immediate vicinanze del pozzo, che potesse scendere in profondità sino all'acquifero captato:

- fino al livello statico per gli acquiferi freatici;
- fino alla profondità del tetto dell'orizzonte sede della falda, per gli acquiferi artesiani.

In alternativa a queste considerazioni e soprattutto in presenza di pozzi che mettono in comunicazione diverse falde è possibile scegliere come profondità di riferimento quella del primo filtro. Infatti, nel calcolo della vulnerabilità verticale si considera saturo il pacco di strati compreso tra la superficie topografica e il tratto filtrato, agendo così a favore della sicurezza.

In tale ipotesi si è quindi considerato che il potenziale inquinante abbia attraversato i terreni visualizzati nella stratigrafia dei piezometri (di seguito riportata), con i corrispondenti

coefficienti di permeabilità ricavati dalla letteratura in modo cautelativo (riferimento G. Castany "Traité pratique des eaux souterraines").

5.2 CALCOLO DELLA VULNERABILITÀ COMPLESSIVA

La vulnerabilità complessiva è data dal rapporto tra la vulnerabilità orizzontale e quella verticale. Per prima cosa viene analizzata la **vulnerabilità verticale**.

Inizialmente è necessario considerare il livello statico delle acque dell'acquifero captato misurato da p.c., che, come confermato dalle prove di pompaggio, indica inequivocabilmente falda freatica:

POZZO	LIVELLO STATICO DA P.C. (m)
P	4,69

Per il pozzo in esame, dato che intercetta falda freatica, è stato considerato lo spessore della porzione sovrastante il livello statico captato, registrato in occasione della prova di pompaggio:

PROFONDITÀ (m)	SPESSORE (m)	GRANULOMETRIA	PERMEABILITÀ (m/sec)
0,00 ÷ 1,00	1,00	Terreno vegetale sabbioso-limoso	1×10^{-6}
1,00 ÷ 3,69	3,69	Ghiaia con ciottoli	1×10^{-3}

La vulnerabilità verticale così definita è legata alla litologia, allo spessore e alla permeabilità dei vari strati; il parametro più adatto a quantificarne il grado è rappresentato dal tempo di arrivo (Ta) di un eventuale inquinante dalla superficie del suolo all'acquifero. Esso è quantificabile mediante la seguente relazione:

$$Ta = \frac{S}{V}, \text{ dove:}$$

- Ta = tempo di arrivo espresso in anni;
- S = spessore dei singoli orizzonti stratigrafici, sovrastanti l'acquifero captato, in m;
- V = velocità di infiltrazione data dal prodotto $k \cdot i$, in cui k è il coefficiente di permeabilità del terreno, espresso in m/sec e i è il gradiente idraulico, assunto cautelativamente uguale a 1, supponendo in tal modo il terreno fra la superficie del suolo e l'acquifero freatico, saturo.

I risultati ottenuti, applicando la suddetta formula, sono riassunti nella tabella seguente:

POZZO	SPESSORE (m)	PERMEABILITÀ (m/sec)	TEMPO DI ARRIVO (anni)
P	1,00	1×10^{-6}	0,0317
	3,69	1×10^{-3}	0,0001170
	<i>Tempo di arrivo $\cong 0,031817$ anni</i>		

Il calcolo effettuato è estremamente cautelativo, in quanto non considera alcun tipo di fattore riduttivo dell'inquinante, quale la naturale autodepurazione del terreno, il grado di diluizione dell'inquinante stesso nell'acqua, la distanza della fonte di inquinamento dal punto di captazione, e dimostra come i tempi d'arrivo ottenuti siano funzione della granulometria dei terreni in esame.

Confrontando i risultati con la tabella riportata di seguito, si nota come il grado di vulnerabilità verticale sia alto.

TEMPO D'ARRIVO	GRADO DI VULNERABILITÀ
> 20 anni	Molto basso
20 ÷ 10 anni	Basso
10 ÷ 1 anno	Medio
1 anno ÷ 1 settimana	<u>Alto</u>
1 settimana ÷ 24 ore	Elevato
< 24 ore	Molto elevato

Riassumendo per una migliore chiarezza di comprensione:

POZZO	GRADO DI VULNERABILITÀ VERTICALE
P	ALTO

Per ciò che concerne la **vulnerabilità orizzontale** di un acquifero, essa è intesa come la facilità con cui l'acquifero può diffondere un eventuale inquinante che l'abbia raggiunto. Il parametro che meglio quantifica la vulnerabilità orizzontale è rappresentato dalla velocità di deflusso delle acque sotterranee; più aumenta la velocità di deflusso sotterraneo più aumenta la velocità di propagazione di un eventuale inquinante e contemporaneamente diminuisce la capacità di autodepurazione dell'acquifero. La relazione che esprime la velocità di deflusso è la seguente:

$$V = \frac{k \times i \times 31.536}{n}$$

in cui:

- V = velocità espressa in km/anno;
- k = permeabilità del mezzo acquifero espressa in m/sec;
- i = gradiente idraulico;
- n = porosità efficace.

L'analisi delle prove di portata eseguite sul pozzo in esame, descritte nel capitolo 4, ha portato alla valutazione dei parametri idrogeologici (coefficiente di permeabilità).

I parametri utilizzati sono riassunti nella seguente tabella:

POZZO	GRADIENTE IDRAULICO <i>i</i>	POROSITÀ EFFICACE <i>n</i>	PERMEABILITÀ (m/s)
P	0,007	0,30	0,00035

Il valore della porosità efficace (*n*) è stato ricavato dal diagramma di Eckis (allegato nella *DOCUMENTAZIONE TECNICA*) in base alla permeabilità e alla tipologia dei terreni sede dell'acquifero captato, ovvero il tipo di granulometria: esso è formato da orizzonti grossolani (ghiaie e ciottoli immersi in matrici sabbioso-limose), per i quali il valore di porosità efficace può essere assunto pari a 0,30.

Per il gradiente idraulico *i* infine, è stato utilizzato un valore medio calcolato nell'intorno del pozzo, sulla base del rilievo freaticometrico presentato.

Utilizzando pertanto i dati sopra riportati, si ottiene la seguente velocità:

$$\text{pozzo P} \Rightarrow V = \frac{0,00035 \times 0,007 \times 31536}{0,30} = 0,2575 \text{ Km/anno} \Rightarrow \text{grado di vulnerabilità medio}$$

Dalla tabella allegata è possibile vedere che il grado di vulnerabilità orizzontale corrispondente alla velocità trovata è **medio**.

VELOCITÀ (Km/anno)	GRADO DI VULNERABILITÀ
< 0,001	Molto basso
0,001 ÷ 0,1	Basso
0,1 ÷ 1	<u>Medio</u>
1 ÷ 10	Alto
10 ÷ 100	Elevato
> 100	Molto elevato

Riassumendo per una migliore chiarezza di comprensione:

POZZO	GRADO DI VULNERABILITÀ ORIZZONTALE
P	MEDIO

In generale è possibile ricapitolare la situazione:

POZZO	GRADO DI VULNERABILITÀ VERTICALE (Ta)	GRADO DI VULNERABILITÀ ORIZZONTALE (V)
P	0,031817 \Rightarrow ALTO	0,2575 \Rightarrow MEDIO

Con i dati ottenuti si è passati al calcolo della *vulnerabilità complessiva* dell'acquifero, indicativa della suscettività di quest'ultimo a ricevere e a diffondere un inquinante. Tale vulnerabilità risulta direttamente proporzionale alla velocità di flusso e inversamente proporzionale al tempo di arrivo di un eventuale inquinante.

Essa viene quantizzata mediante la relazione:

$$V_c = \frac{V}{Ta}$$

dove:

- V_c = vulnerabilità complessiva dell'acquifero espressa in km/anno^2 ;
- V = velocità di deflusso delle acque sotterranee espressa in km/anno ;
- Ta = tempo d'arrivo di un inquinante in anni.

Nel caso in esame si ottiene la seguente vulnerabilità complessiva:

$$V_c = \frac{0,2575}{0,031817} = 8,09 \text{ km/anno}^2$$

La tabella successiva permette di definire che il grado di vulnerabilità complessivo dell'acquifero captato dal pozzo che risulta essere **alto**.

VULNERABILITÀ COMPLESSIVA (km/anno^2)	GRADO DI VULNERABILITÀ
< 0,001	Molto basso
0,001 ÷ 0,01	Basso
0,01 ÷ 0,1	Medio
0,1 ÷ 10	<u>Alto</u>
10 ÷ 1000	Elevato
> 1000	Molto elevato

6 DETERMINAZIONE FASCE DI RISPETTO

La delimitazione di fasce di rispetto in un'area comporta la conseguente perimetrazione di zone nelle quali sono applicati vincoli d'uso del territorio al fine di garantire nel tempo la possibilità di un approvvigionamento idrico compatibile con le leggi e i regolamenti sanitari vigenti.

Questa perimetrazione, seppur necessaria, penalizza però l'uso pubblico e privato delle risorse del territorio; è d'obbligo pertanto che dette aree garantiscano effettivamente dal potenziale inquinamento, incidendo contemporaneamente nel minor modo possibile sull'economia del territorio.

Per questo motivo il criterio geometrico non risulta sicuramente il più idoneo: esso, infatti, considera marginalmente gli aspetti idrogeologici e delimita le varie zone attribuendo a esse forme circolari e concentriche poco realistiche.

L'operazione, di facile esecuzione, non garantisce però dalla contaminazione (sottodimensionamento) e può penalizzare troppo un'area (sovradimensionamento); il criterio può venire riservato per una delimitazione in via provvisoria e per la delimitazione della fascia di rispetto assoluta, ossia di esclusiva pertinenza del pozzo.

Per quanto riguarda invece il criterio idrogeologico, occorre precisare che è quello più rigorosamente scientifico in quanto considera il rapporto esistente tra struttura idrogeologica e flusso delle acque sotterranee, ma in molti casi risulta poco realistico poiché non contempla la presenza di antropizzazione sul territorio.

In tal modo l'estensione delle fasce coinvolgerebbe una gran parte di territorio, limitando l'utilizzo delle risorse.

Il criterio cronologico infine sceglie una dimensione da attribuire alla zona di rispetto corrispondente al tempo impiegato dal flusso idrico per compiere un certo percorso (*"tempo di sicurezza"*); periodi di tempo elevati consentono una maggior diluizione-dispersione-depurazione dell'inquinante e permettono di predisporre interventi di disinquinamento.

Dovendo limitare delle aree coinvolte nella protezione degli acquiferi è a tutt'oggi necessario adottare quest'ultimo criterio, a partire comunque dagli aspetti più prettamente idrogeologici del problema.

Il metodo per seguire il percorso di una particella richiede la conoscenza della velocità del flusso delle acque sotterranee in ogni punto senza l'acquifero. Le velocità di flusso sono espresse in termini della Legge di Darcy, che può essere così scritta:

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

dove Q è il tasso di flusso volumetrico, K è la conducibilità idraulica, i è il gradiente idraulico e A l'area di una sezione di flusso attraversata. Ma considerando anche l'acquifero, ovvero il caso reale, per il calcolo dei tempi di sicurezza è fondamentale conoscere la velocità reale di flusso u espressa dalla relazione:

$$u = \frac{k \cdot i}{n}$$

dove:

- u = velocità di deflusso in m/sec;
- k = coefficiente di permeabilità del mezzo in m/sec;
- i = gradiente idraulico (adimensionale);
- n = porosità efficace (adimensionale).

In questa valutazione risultano di maggior interesse le traiettorie corrispondenti al minimo tempo di percorrenza, che saranno assunte per la perimetrazione delle fasce di rispetto. La sola esistenza però delle zone di rispetto intorno ai pozzi, e i relativi vincoli d'uso del territorio, non garantisce la conservazione nel tempo della qualità delle acque sotterranee.

Il controllo della loro qualità dovrebbe pertanto essere coadiuvato da un'efficiente rete di sorveglianza (installazione di punti di controllo) per la salvaguardia degli impianti di captazione: tali interventi vengono definiti di "protezione dinamica", ma saranno comunque realizzati in un secondo tempo. Occorre in ogni caso tenerli in considerazione perché l'installazione di una rete di monitoraggio associata a controlli frequenti risulta più onerosa, ma determina una minor estensione delle zone di rispetto; controlli saltuari implicano invece un maggior coinvolgimento del territorio nella protezione idrogeologica.

Si propone di seguito il metodo di calcolo adottato per la definizione delle fasce di rispetto.

6.1 METODO DI CALCOLO CON PERSONAL COMPUTER

Il dimensionamento delle fasce, calibrato con criteri cronologici come da normativa vigente in materia di protezione delle acque sotterranee, è stato effettuato utilizzando un programma di calcolo su Personal Computer della Ground Water and Ecosystem Restoration Research, in uso presso Environmental Protection Agency (**E.P.A.**) e ormai con largo utilizzo anche in Europa, denominato **WHPA (A modular Semi-Analytical Model for Wellhead Protection Areas)**. Questo programma di calcolo, di tipo semi analitico per la simulazione del flusso delle acque sotterranee per delineare le fasce di rispetto, è stato espressamente ideato per assistere lo Stato Federale e i tecnici locali americani nella determinazione delle aree di protezione della

testa dei pozzi: si tratta di uno dei più qualificati e affidabili sistemi di determinazione delle aree di rispetto. La semplicità del programma, che si basa sulle caratteristiche dell'acquifero e su alcuni parametri idrogeologici di base, permette un grado di attendibilità estremamente elevato. Tale sistema è stato collaudato in modo molto approfondito negli Stati Uniti d'America in occasione dello studio dei numerosi fenomeni di inquinamento di falda avvenuti. Il programma WHPA, che comprende quattro moduli (RESSQC-MWCAP-GPTRAC-MONTEC), in generale, è comunque applicabile ad acquiferi omogenei bidimensionali, con flusso di acque sotterranee costanti.

Il modello che meglio si adatta alla situazione locale in esame è il modello MWCAP (Multiple Well Capture Zone Module): è applicabile ad acquiferi omogenei, isotropo mostranti flussi delle acque sotterranee bidimensionali, costanti in un'area piana, e adatta per misurare tipi di acquiferi multipli (p.e. confinati, semi-confinati e liberi) in condizioni di equilibrio. Esso calcola la depressione indotta da uno o più pozzi e le deformazioni indotte sul campo di moto indisturbato. Il modello è in grado di simulare la presenza di barriere naturali o di corsi d'acqua che interferiscono con l'acquifero (nel caso in esame non sono presenti barriere idrogeologiche). Il programma, partendo dalla freatimetria statica utilizzando il gradiente idraulico dell'area, considera l'influenza che un emungimento d'acqua provoca nelle zone circostanti la captazione.

Imponendo il gradiente idraulico e la portata d'esercizio unitamente ad altri parametri intrinseci quali la trasmissività e lo spessore dell'acquifero è possibile circoscrivere le fasce di rispetto e le direzioni di flusso idriche (filetti idraulici).

Le fasce di rispetto basate su criteri temporali sono delineate considerando una serie di particelle (generalmente circa 20÷50) disposte in modo sequenziale lungo un perimetro di un piccolo cerchio che rappresenta il pozzo. Il percorso delle singole particelle è ricostruito a ritroso.

Grazie alle stratigrafie registrate durante la perforazione e all'elaborazione dei dati registrati durante le prove di portata, si è stabilito che le falde in studio sono di tipo freatico: si è quindi passati alla definizione delle fasce suddette.

Per i nostri scopi è importante stabilire:

1. la distanza dal pozzo in cui l'effetto del pompaggio è trascurabile (R raggio d'influenza del pozzo)
2. la distanza a valle del pozzo in cui si verifica la condizione di flusso nullo (X_s , punto di

stagnazione)

3. la larghezza della zona, misurata trasversalmente all'asse del flusso, ove si verifica il fenomeno di richiamo di acqua della falda verso il pozzo (F, fronte di richiamo del pozzo).

La distanza tra il pozzo e il punto di stagnazione a valle è data dalla seguente relazione:

$$x_s = \frac{-Q}{2 \cdot \pi \cdot T \cdot i} \text{ dove } X_s \text{ è il PUNTO DI STAGNAZIONE}$$

la massima ampiezza della zona di cattura (con x tendente all'infinito) è data da:

$$F = 2 \cdot y = \frac{Q}{T \cdot i} \text{ dove F è il FRONTE DI RICHIAMO}$$

con i dati ottenuti poi si utilizza l'equazione dello spartiacque.

$$x = \frac{-y}{\tan\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot i \cdot y}{Q}\right)} \text{ (o Equazione dello spartiacque)}$$

dove

x, y = coordinate cartesiane; l'origine è il pozzo

T= trasmissività (l^2/t) $\Rightarrow = k \cdot b$ con k= conducibilità idraulica media (l/t) e b= spessore dell'acquifero (l)

i= gradiente idraulico in condizioni pre-pompaggio (dimensionale)

Q= portata estratta dal pozzo (tasso di pompaggio) (l^3/t)

Dopo aver stabilito il tempo massimo richiesto e stabilita la velocità delle particelle, come sopra esposto, si circoscrivono le isocrone al tempo imposto ricostruendo a ritroso il percorso delle suddette particelle partendo dal punto di captazione con la sua portata di pertinenza.

I dati di ingresso per la delimitazione delle aree di salvaguardia sono suddivisibili in:

parametri statici

- coordinate pozzi
- portata
- trasmissività
- spessore acquifero
- presenza di barriere

parametri dinamici

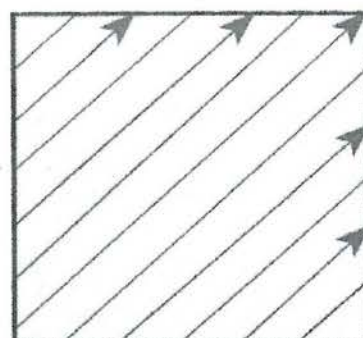
- porosità
- direzioni del flusso
- gradiente.

Caratteristiche del pompaggio
di un pozzo

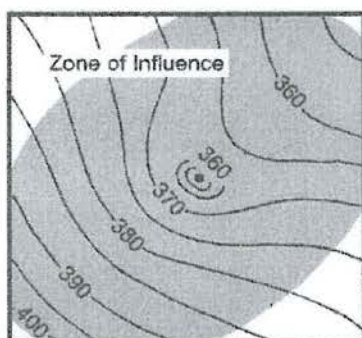
Falda con moto
proprio



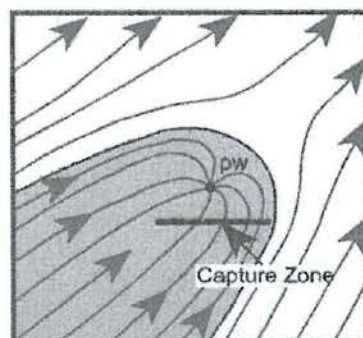
(a)



(b)



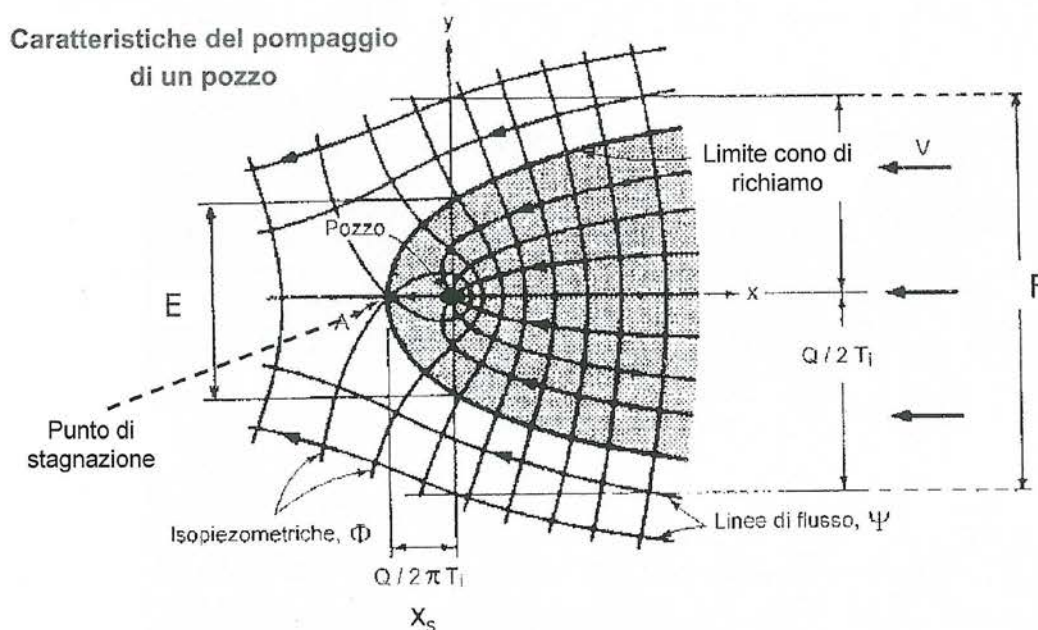
(c)



(d)

Falda con moto proprio

Caratteristiche del pompaggio
di un pozzo



6.1.1 COMMENTO DEI DATI OTTENUTI

Dapprima viene ricostruita intorno al pozzo oggetto del presente studio una griglia di lati 380x340 m, a maglie quadrate di lato 20 m, orientata Nord-Sud.

Per i parametri idrogeologici pertinenti gli acquiferi freatici captati, quali la trasmissività (T), la porosità efficace (n), lo spessore degli stessi acquiferi (H), direzione di flusso (espresso in gradi, angolo calcolato in senso antiorario rispetto a un 0° posto in corrispondenza dell'Ovest geografico), gradiente idraulico (i) valgono le considerazioni fatte nei capitoli precedenti relativi all'interpretazione delle prove di portata e al calcolo della vulnerabilità complessiva e allo studio dell'andamento della falda superficiale; di seguito, per comodità d'interpretazione, vengono riassunti i valori utilizzati:

PARAMETRI IDROGEOLOGICI	P
Spessore acquifero (m)	13,3
Portata (litri/sec)	7,0
Portata (mc/day)	604,8
Trasmissività acquifero (mq/sec)	$4,66 \times 10^{-3}$
Trasmissività acquifero (mq/day)	402,624
Porosità efficace (-)	0,30
Gradiente idraulico	0,007
Direzione flusso	125°
Distanza barriera impermeabile naturale (m) (substrato roccioso subaffiorante)	230
Direzione barriera impermeabile naturale	105°

Si precisa che nella definizione della permeabilità sulla griglia da noi realizzata si è tenuto conto dei limiti geologici tra le varie unità costituenti i depositi glaciali e fluvioglaciali del quaternario e le vulcaniti costituenti il substrato roccioso; la presenza infatti, del substrato roccioso alle spalle di ciascun piezometro influenza sensibilmente la forma delle fasce: a causa del repentino abbassamento delle permeabilità dei materiali, il cono d'influenza cambia la sua espansione, determinando l'arresto dei filetti liquidi delimitanti le aree di rispetto.

È stata così indicata la presenza della barriera impermeabile naturale che influenza l'estensione della fascia secondaria come richiesto dal programma di calcolo.

Si è quindi passati alla delimitazione delle fasce di rispetto: in funzione dei risultati ottenuti circa la vulnerabilità degli acquiferi captati sono stati fissati i corrispondenti tempi di sicurezza T (isocrone 60 e 365 giorni) per il dimensionamento delle aree di salvaguardia, come indicato nella seguente tabella:

pozzo P	
GRADO DI VULNERABILITÀ COMPLESSIVO	<i>alto</i>
FASCIA DI RISPETTO PRIMARIA "B" O RISTRETTA - ISOCRONA (giorni)	<i>60</i>
FASCIA DI RISPETTO SECONDARIA "C" O ALLARGATA - ISOCRONA (giorni)	<i>365</i>

La scelta dell'isocrona dei 365 giorni per la fascia di rispetto secondaria si attiene a quanto prescritto dalla normativa vigente (L.R. 22/96 e D.P.G.R. n°15/R), che prevede una tale scelta in funzione del grado di vulnerabilità locale che nel caso in esame è alto; le isocrone così elaborate a 60 giorni e a 365 giorni sono indicate sulla Tavola 5 "FASCE DI RISPETTO" redatta alla scala 1: 2.000, in cui vengono riportate le zone di rispetto elaborate dal programma di calcolo. Viene riportato anche nella documentazione tecnica lo sviluppo delle fasce all'interno della griglia considerata così come scaturite dal programma di calcolo.

Entrambe le fasce, quella di rispetto Primaria o Ristretta "B" e quella di rispetto Secondaria o Allargata "C", presentano la prima una forma subcircolare mentre la seconda una forma ellittica allungata verso la direzione di flusso principale.

Per quanto concerne la *Zona di Tutela Assoluta "A"*, essa coincide con un'area quadrata di lato 20x20 m censita in un mappale completo e in una porzione di 2 mappali (tutto Map. n° 2114 e proparte Mapp. n° 114-115 del Fg. 20), come è possibile vedere nel particolare inserito nella "Documentazione tecnica" redatto in scala 1:100 e nella ripresa fotografica.

Di seguito si riportano le tabelle riassuntive delle dimensioni di ciascuna fascia: si precisa che nella Tavola 5 "FASCE DI RISPETTO" l'orientazione dell'asse Y è stata fatta coincidere con la direttrice di flusso principale passante per la nuova captazione, per una più facile consultazione delle dimensioni della fascia; l'asse X , di conseguenza, è perpendicolare all'asse Y .

- Dimensioni FASCIA RISPETTO PRIMARIA "B" = 60 giorni

$Y (m)$	$X (m)$
0,00	+43 ÷ -55
+30,00	+49 ÷ -56
+60,00	+39 ÷ -42
+85 ÷ -30	0,00

- Dimensioni FASCIA RISPETTO SECONDARIA "C" = 365 giorni

<i>Y (m)</i>	<i>X (m)</i>
0,00	+47
+30,00	+66 ÷ -73
+60,00	+74 ÷ -85
+90,00	+79 ÷ -92
+120,00	+82 ÷ -96
+150,00	+84 ÷ -100
+180,00	+86 ÷ -102
+210,00	+83 ÷ -104
+240,00	+50 ÷ -101
+270,00	-33 ÷ -87
+259 ÷ -30	0,00

Come operazione conclusiva sono state quindi trasferite le fasce di rispetto sulla base catastale in scala 1: 2.000 (Tavola 5), facendo poi il censimento delle particelle catastali ricadenti in ciascuna di esse, suddivise in base alla fascia, al foglio catastale e alla porzione ricadente (Tutto-Pro parte). L'elenco delle particelle è proposto nella tabella sottostante:

	NUMERO PARTICELLE
ZTA <i>Zona Tutela Assoluta</i>	<i>Pro parte:</i> Fg. 20 - Mapp. n° 114 -115. <i>Tutto:</i> Fg. 20 – Map. n° 2144.
FASCIA B <i>Rispetto Primaria o Ristretta</i> (60 giorni)	<i>Pro parte:</i> Fg. 20 - Mapp. n° 111-112-113b-114-115-116-117-118-122-123-124-125-179-180-181-199-1139-1256. <i>Tutto:</i> Fg. 20 - Mapp. n° 113a.
FASCIA C <i>Rispetto Secondaria o Allargata</i> (365 giorni)	<i>Pro parte:</i> Fg. 20 - Mapp. n° 118-121-122-123-124-125-178-179-180-181-182-183-184-185-193-194-195-197-208-210-211-213-214-215-216-223-226-228-243-244-245-1139-1256. <i>Tutto:</i> Fg. 20 - Mapp. n° 196-198-200-201-202-203-204-205-206-207-217-218-219-220-221-222-224-225.

7 UBICAZIONE CENTRI DI POTENZIALE PERICOLO

Alla luce di quanto riportato nel D.P.G.R. n°15/R del 11.12.2006 e nella Deliberazione di G.R. n° 102-45194 del 26.04.1995, sono stati censiti i centri di potenziale pericolo compresi nell'area di raggio 1 km dalla nuova captazione e focalizzata invece all'interno della fascia di rispetto ottenuta.

Sono state così prodotte due tavole a scale differenti in cui vengono analizzati i centri di potenziale pericolo, la prima, Tavola 6, "CARTA DEI CENTRI DI POTENZIALE PERICOLO" in scala 1: 10.000, compresi in un'area di raggio 1 km, la seconda, Tavola 7, invece, "CARTA DEI CENTRI DI POTENZIALE PERICOLO DI PERTINENZA DELLE FASCE DI RISPETTO" scala 1: 2.000, in cui l'area considerata coincide appunto con le fasce di rispetto.

7.1 CARTA DEI CENTRI DI POTENZIALE PERICOLO – R=1 KM

I centri di potenziale pericolo compresi nell'area di raggio 1 km dal punto in cui è stato realizzato il nuovo pozzo possono così riassumersi:

- Allevamenti zootecnici: assenti nell'area in esame;
Aree soggette a spandimento agronomico di pesticidi e fertilizzanti e/o di liquami zootecnici: assenti nell'area in esame;
- Depositi e stoccaggi di materiali pericolosi: assenti nell'area in esame. Si segnala la presenza di una discarica di inerti, ormai dimessa, nei pressi di località Manzasca a Nord a una distanza di circa 800 m rispetto alla posizione del pozzo senza alcuna possibilità di interferenza;
- Impianti di trattamento o smaltimento rifiuti o/e acque reflue con ubicazione degli scarichi: in direzione SSO rispetto al pozzo, a una distanza tra i 650 m è presente, a Sud della località Mornerona, un depuratore;
- Impianti industriali con produzione, trasformazione ed utilizzazione di sostanze pericolose di cui al D.L. 27.01.1992, n° 133 e ubicazione del relativo scarico: assenti nell'area in esame;
- Aree non servite da pubblica fognatura: nei pressi di C.^{na} Colombera non è presente la rete fognaria;
- Cave attive o inattive: assenti nell'area in esame;
- Centri di raccolta, demolizione e rottamazione di veicoli: assenti nell'area in esame.

Inoltre, pur non rientrando nell'elenco dei potenziali centri di pericolo, è stato evidenziato un distributore di carburante (con vasche di contenimento gasolio) a 800 m in direzione ESE dal pozzo, in posizione laterale rispetto alla direttrice di flusso principale orientata SE-NO.

Sono state infine segnalate le numerose attività industriali e artigianali presenti all'interno dell'area d'investigazione, distribuite per la maggior parte a NE del pozzo.

Da ultimo sono stati infine indicati i tratti serviti da pubblica fognatura: essa è presente nel concentrico di Invorio inferiore, in località Mornerona e lungo la Via Barro, ossia nella zona industriale comunale.

Come da richiesta provinciale, il Comune sta modificando la viabilità lungo la Via Conciliazione nel tratto intermedio agli innesti con la Via Ferrari mediante il divieto di circolazione agli automezzi superiori a 35 q.li e la limitazione del traffico ai soli residenti nella via stessa; inoltre per il medesimo tratto sta provvedendo alla realizzazione di un sistema per la raccolta, regimazione e allontanamento delle acque meteoriche stradali.

Globalmente è possibile affermare che la situazione rispetto i centri di pericolo censiti si può definire "buona".

7.2 CARTA DEI CENTRI DI POTENZIALE PERICOLO DI PERTINENZA DELLE FASCE DI RISPETTO

Infine è stata prodotta la Tavola 7 "CARTA DEI CENTRI DI POTENZIALE PERICOLO DI PERTINENZA DELLE FASCE DI RISPETTO" redatta in scala 1:2.000 per la porzione di interesse delle fasce di rispetto del nuovo pozzo.

In particolare è possibile notare come all'interno delle fasce di rispetto non siano presenti centri di potenziale pericolo per la tutela delle acque sotterranee destinate al consumo umano ad eccezione di una abitazione priva di recapito fognario.

È stata riportata, per chiarezza, la traccia della fognatura e le aree non servite da pubblica fognatura.

Come da richiesta provinciale, il Comune sta modificando la viabilità lungo la Via Conciliazione nel tratto intermedio agli innesti con la Via Ferrari mediante il divieto di circolazione agli automezzi superiori a 35 q.li e la limitazione del traffico ai soli residenti nella via stessa; inoltre per il medesimo tratto sta provvedendo alla realizzazione di un sistema per la raccolta, regimazione e allontanamento delle acque meteoriche stradali.

La situazione può comunque definirsi buona.

8 PUFF – PIANO UTILIZZO FERTILIZZANTI E PRODOTTI FITOSANITARI

L'analisi del territorio coinvolto dalle fasce di rispetto del punto di captazione ha evidenziato l'assenza di aree destinate alla coltivazione, fattore che permette di escludere la redazione del piano di utilizzo di fertilizzanti e prodotti fitosanitari.

I mappali coinvolti, infatti, si presentano a prato e per la gran parte dell'area occupata dalle fasce con bosco e/o boscaglia, fattore che permette di escludere la necessità di procedere con tale indagine. L'area non è infatti utilizzata per l'agricoltura.

In base a quanto dichiarato si evince come sia da escludere l'utilizzo di pesticidi, prodotti fitosanitari di varia natura, e di fertilizzanti.

9 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In base alle indagini e ai sopralluoghi effettuati, alle prove condotte e all'elaborazione dei dati per la determinazione delle fasce di rispetto è possibile riassumere quanto segue:

- il nuovo pozzo idropotabile si trova nelle vicinanze di C.^{na} Colombera lungo la Via Conciliazione: è censito al Mappale n. 114 - Fg. 20;
- la stratigrafia rilevata durante la perforazione ha evidenziato la presenza di sedimenti a granulometria grossolana (ghiaie e ciottoli) nei primi 20 metri circa, sede dell'acquifero freatico captato, mentre al disotto si hanno sabbie e limi impermeabili;
- sono state eseguite le prove di portata tra nel dicembre del 2005 a seguito delle operazioni di spurgo;
- l'acquifero captato è risultato freatico, con una soggiacenza di poco più di 3 m;
- l'elaborazione dei dati di campagna ha portato alla valutazione dei parametri idrogeologici di trasmissività (T) e permeabilità (k) necessari il dimensionamento delle fasce:

$$T = 4,66 \times 10^{-3} \text{ mq/sec} - K = 3,5 \times 10^{-4} \text{ m/sec};$$

- è stato calcolato il grado di vulnerabilità degli acquiferi captati con il metodo della *vulnerabilità complessiva*: esso è risultato alto, e in base a quanto prescritto dal Regolamento Regionale n°15/R del 2006 e dalla D.G.R. n° 102-45194, è necessario definire l'isocrona a 365 giorni per la delimitazione della *fascia di Rispetto Secondaria o Allargata "C"* (la *fascia di Rispetto Primaria o Ristretta "B"* è invece sempre definita sull'isocrona a 60 giorni);
- le fasce di rispetto sono state elaborate imponendo i seguenti valori di portata:
 - ❖ $P \Rightarrow Q = 7 \text{ l/sec};$
- le fasce risultanti (Primaria 60 gg. e Secondaria 365 gg.) presentano forma subcircolare (fascia 60 gg.) ed ellittica (fascia 365 gg.) come rappresentato sulla tavola 5;
- la Zona di Tutela Assoluta "A" essa coincide con un'area quadrata di lato 20x20 m;
- è stato effettuato il censimento dei centri di pericolo in un'area circolare di raggio R pari a 1 km dalla captazione e limitatamente alle fasce di rispetto ottenute: il quadro complessivo che ne risulta è buono.
- il Comune sta modificando la viabilità lungo la Via Conciliazione nel tratto intermedio agli innesti con la Via Ferrari mediante il divieto di circolazione agli automezzi superiori a 35 q.li e la limitazione del traffico ai soli residenti nella via stessa e sta provvedendo alla realizzazione di un sistema per la raccolta, regimazione e allontanamento delle acque meteoriche stradali.

A conclusione di quanto fino a qui esposto, si ricorda brevemente quanto previsto dalla normativa vigente per le fasce di rispetto elaborate:

- nella Zona di Tutela Assoluta è necessario attenersi a quanto prescritto dall'Art. 4, comma 1 del D.P.G.R. 11 dicembre 2006 n° 15/R che recita: "La zona di tutela assoluta è la porzione di territorio più interna, immediatamente circostante l'opera di captazione, ed è adibita esclusivamente all'opera stessa ed alle collegate infrastrutture di servizio";
- nella Zona di Rispetto Ristretta (Primaria) definita sulla base dell'isocrona a 60 giorni e nella Zona di Rispetto Allargata (Secondaria) definita sulla base dell'isocrona a 365 giorni, in funzione del grado di vulnerabilità, sono vietate tutte le attività di cui all'Art. 6 comma 1 del D.P.G.R. 11.12.2006 N°15/R, ossia:
 - a) la dispersione di fanghi e acque reflue, anche se depurati;
 - b) l'accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o prodotti fitosanitari;
 - c) lo spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o prodotti fitosanitari, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni contenute nei Piani di utilizzazione dei fertilizzanti e dei fitosanitari di cui all'Allegato B;
 - d) l'impiego per scopi non agricoli di mezzi di tipo chimico finalizzati al contenimento della vegetazione;
 - e) gli scarichi di acque reflue anche se depurati, nonché la dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche provenienti da piazzali e strade;
 - f) le aree cimiteriali;
 - g) l'apertura di cave;
 - h) l'apertura di pozzi o la realizzazione di altre perforazioni del suolo, ad eccezione di quelli finalizzati all'estrazione delle acque di cui all'art. 1, comma 1, di quelli finalizzati alla variazione di tale estrazione, nonché di piezometri ovvero di pozzi o altri strumenti di monitoraggio necessari per il controllo e la tutela delle risorse idriche;
 - i) la gestione di rifiuti;
 - j) lo stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;
 - k) i centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
 - l) i pozzi perdenti e le fosse Imhoff o equivalenti sistemi di trattamento di acque reflue;
 - m) il pascolo e la stabulazione di bestiame che ecceda i centosettanta chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite;
 - n) l'insediamento di attività industriali ed artigianali;
 - o) il cambiamento di destinazione d'uso degli insediamenti di cui al punto n) esistenti, salvo che il medesimo sia volto alla riduzione del livello di rischio.
- Nella Zona di Rispetto Ristretta sono comunque vietati:
 - a) la stabulazione di bestiame;
 - b) lo stoccaggio di effluenti zootecnici, concimi chimici, fertilizzanti o prodotti fitosanitari;
 - c) la realizzazione di fognature, pozzi neri a tenuta, impianti e strutture di depurazione di acque reflue, salvo che siano necessari per la messa in sicurezza di fabbricati non rilocalizzabili o per mitigare la situazione di rischio;
 - d) la realizzazione di fabbricati a qualsiasi uso destinati, ad eccezione delle infrastrutture del servizio idrico integrato strettamente funzionali alla captazione idrica. Per i fabbricati

esistenti alla data di presentazione della proposta di definizione delle aree di salvaguardia, regolarmente autorizzati a norma delle disposizioni urbanistiche ed edilizie, possono essere consentiti solo gli interventi edilizi di recupero conservativo che non comportino l'aumento delle unità immobiliari e gli interventi di adeguamento igienico-sanitario che non comportino nuovi allacciamenti fognari;

- e) la realizzazione di opere viarie e ferroviarie, fatta eccezione per le piste ciclabili e la viabilità agro-silvo-pastorale, interpoderale e, ove non diversamente localizzabile, comunale;
- f) la realizzazione di infrastrutture di servizio che possano interferire, qualitativamente o quantitativamente, in modo diretto o indiretto, con il corpo idrico captato.

- All'interno della Zona di Rispetto Allargata è consentita la realizzazione di fognature, impianti e strutture di depurazione di acque reflue diversi da quelli di cui al comma 1 lettera l), a condizione che siano adottate soluzioni tecniche in grado di evitare la diffusione nel suolo o nel sottosuolo di liquami derivanti da eventuali perdite della rete fognaria. Le stesse soluzioni tecniche si applicano agli interventi di manutenzione straordinaria e ricostruzione delle reti fognarie esistenti.
- All'interno della zona di rispetto allargata è consentita la realizzazione di nuove opere viarie o ferroviarie, a condizione che siano adottate soluzioni tecniche in grado di raccogliere ed allontanare le acque di dilavamento, nonché eventuali sostanze provenienti da sversamenti accidentali. Per le infrastrutture viarie e ferroviarie esistenti, in caso di modifiche del tracciato o ampliamento della superficie coinvolta, sono adottate le stesse soluzioni tecniche previste per le nuove infrastrutture, fermo restando il divieto di interferire con la zona di rispetto ristretta.
- All'interno della zona di rispetto allargata è consentita la realizzazione di nuovi insediamenti di edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione, di nuovi fabbricati a servizio di aziende agricole destinati esclusivamente al ricovero di scorte, prodotti, macchine e attrezzi, nonché di nuove infrastrutture di servizio, nel rispetto delle prescrizioni di cui ai commi 3 e 4. I parcheggi interrati a servizio degli insediamenti di edilizia residenziale sono realizzati garantendo un franco di almeno un metro sul livello minimo di soggiacenza della falda.
- Le soluzioni tecniche e gli interventi di messa in sicurezza previsti dai commi 3, 4 e 5 sono preventivamente comunicati all'autorità d'ambito e al dipartimento dell'Agenzia regionale per la protezione ambientale (ARPA) competenti per territorio che, entro sessanta giorni, esprimono il proprio parere fornendo, se del caso, puntuali prescrizioni cautelative connesse all'intervento. Decorso tale termine senza che sia intervenuta alcuna pronuncia, i pareri si intendono espressi in senso favorevole.

- Fermi restando i divieti di cui ai commi 1 e 2, all'interno della zona di rispetto le attività agricole sono esercitate secondo le previsioni dei Piani di utilizzazione dei fertilizzanti e dei fitosanitari di cui all'Allegato B, presentati alla provincia territorialmente competente in conformità agli eventuali vincoli e prescrizioni previsti nel provvedimento di definizione dell'area di salvaguardia, e alle norme tecniche per la fertilizzazione fosfo-potassica di cui all'Allegato C.
- Fatta eccezione per le aree cimiteriali, per le attività, gli insediamenti e i manufatti di cui al comma 1 esistenti alla data di presentazione della proposta di definizione delle aree di salvaguardia sono adottate, ove possibile, le misure per il loro allontanamento; in caso contrario deve essere garantita la loro messa in sicurezza. Per le aree cimiteriali esistenti è consentito procedere a nuove sepolture solo fuori terra e non sono comunque consentiti ulteriori ampliamenti nella zona di rispetto ristretta.