

COMUNE DI BOSISIO PARINI (LC)

Piazza G. Parini 1 - 23842 Bosisio Parini (LC)

Studio idrogeologico per delimitazione aree di rispetto dei pozzi esistenti nel Comune di Bosisio Parini (LC).

(Ai sensi del R.R. n.2 del 24 marzo 2006)

Lecco – Giugno 2013

Dott. Massimo Riva Geologo - c.f. RVI MSM 61H17 E507N - Part. Iva 01776580134
Via Previati 16, 23900 LECCO - Tel (0341) 286095 - Fax (0341) 361843
E-Mail ufficiotecnico@sgtl.it - Sito www.sgtl.it – Posta certificata sgtl@epap.sicurezzapostale.it

Redatto	Verificato	Approvato
NL	MR	MR

Indice

1	PREMESSA.....	2
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO DEI LUOGHI.....	4
2.1	CENNI SULL'ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE:	4
2.2	INQUADRAMENTO MORFOLOGICO.....	7
2.3	INQUADRAMENTO METEO-CLIMATICO, IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO	8
3	CARATTERISTICHE POZZI COMUNALI	16
3.1	CARATTERISTICHE POZZI COMUNALI	16
3.2	PROVE DI POMPAGGIO.....	18
3.3	CARATTERISTICHE ACQUIFERI	22
4	DELIMITAZIONE DELLA ZONA DI RISPETTO	24
4.1	METODOLOGIA APPLICATA	24
4.2	RISULTATI.....	25
5	CENTRI DI POTENZIALE PERICOLO	27
6	NOTE CONCLUSIVE	28

Allegati:

Tav. 1 -	Ubicazione pozzi.
Tav. 2 -	Carta geologica generale.
Tav. 3 -	Carta morfologica generale.
Tav. 4.A -	Carta idrogeologica e di vulnerabilità A.
Tav. 4.B -	Carta idrogeologica e di vulnerabilità B.
Tav. 5 -	(a, b) Ricostruzione Isocrone.
Tav. 6 -	Ubicazione aree di potenziale pericolo.
Tav. 7 -	Proposta di perimetrazione delle aree di salvaguardia.
Tav. 8 -	Confronto Carta dei Vincoli da PGT e tavola Di variante proposta.
All. 1 -	Stratigrafie dei pozzi Comunali.
All. 2	Risultati prove di portata.

1 PREMESSA

Per conto dell'Amministrazione comunale di Bosisio Parini (LC) si redige il presente "Studio idrogeologico per delimitazione aree di rispetto dei pozzi esistenti nel Comune di Eupilio (Co), ai sensi del R.R. n.2 del 24 marzo 2006".

I pozzi idro-potabili in esame sono ubicati nella porzione centro occidentale del territorio Comunale di Bosisio Parini, e rispettivamente:

- POZZO 1 - Piazza Parini - p.c. area adiacente 268,4 m s.l.m.
- POZZO 2 - Via Appiani 2 - p.c. area adiacente 265 m s.l.m.
- POZZO 3 - Scuole - p.c. area adiacente 262,5 m s.l.m.
- POZZO 4 - Dubini – Circolo nautico - p.c. area adiacente 263 m s.l.m.

L'ubicazione dei pozzi appena indicata è visibile nella Tav. 1 allegata a fine testo.

La presente integrazione è disciplinata dalla normativa:

- ◆ Direttiva per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle captazioni di acque sotterranee destinate al consumo umano, D.G.R. 6/15137 del 27/06/96.
- ◆ Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque sotterranee destinate al consumo umano, D.G.R. 7/12693 del 10/04/03.
- ◆ Disciplina dell'uso delle acque superficiali e sotterranee dell'utilizzo delle acque ad uso domestico del risparmio energetico e del riutilizzo delle acque in attuazione dell'Art. 52, comma 1, Lettera c, della L.R. 12/12/2003 n°26, regolamento Regionale n°2 del 24/03/2006.

Lo studio ha le seguenti finalità:

- ◆ Definire le caratteristiche litostratigrafiche ed idrogeologiche (gradienti, spessori, permeabilità, andamento isopiezometrico, oscillazione piezometrica, trasmissività, produttività, e rapporti con altri sistemi idrici (laghi e reticolo idrico superficiale) dell'acquifero o degli acquiferi captati/interessati dai pozzi in oggetto.
- ◆ Definire le caratteristiche tecniche e di funzionamento (profondità, lunghezze, diametri, stratigrafie, impianti, portate, tempi di funzionamento, stato di manutenzione ed efficienza, livelli statici e dinamici) dei pozzi in oggetto.
- ◆ Individuare i raggi d'influenza o di richiamo dei pozzi in esame e/o i tempi di richiamo delle acque al contorno dei pozzi in esame.
- ◆ Valutare la possibilità di ripermetrazione delle attuali fasce di rispetto geometriche (con fascia di 200 m di raggio su ogni pozzo) anche con metodi differenti da quello geometrico, con conseguente modifica dei vincoli attualmente vigenti su alcune porzioni di territorio comunale, con particolare riferimento all'area cimiteriale di Via Eupilio e Via Appiani.

A supporto del presente studio, sono state proposte e concordate con l'Amministrazione Comunale di Bosisio Parini, e con la Società che si occupa della gestione dell'acquedotto Comunale, prove di portata in abbassamento e in risalita su ogni pozzo, con controllo continuo dei livelli, statici, e dinamici, nei restanti pozzi e nei piezometri posati nella porzione di previsto ampliamento del Cimitero.

Le prove di portata sono state concordate e pianificate al fine di evitare al massimo i possibili disservizi nella regolare distribuzione delle acque da parte dell'acquedotto, assicurandosi di poter provvedere ad integrare le eventuali carenze di approvvigionamento.

In relazione a ciò è stata predisposta una prima giornata d'indagini nell'Ottobre 2012, per la valutazione delle interferenze tra i differenti pozzi, ed una seconda giornata nell'Aprile 2013 per la valutazione degli abbassamenti nel singolo pozzo in relazione alle portate di prelievo.

Durante la prima giornata si è provveduto a mantenere il maggior numero di pozzi in funzione, anche in relazione ad interventi di manutenzione e ripristino della rete di distribuzione.

La seconda giornata di prove è stata pianificata a seguito degli interventi di manutenzione sui pozzi e sul sistema di derivazione delle acque, che hanno comportato la posa di nuovi strumenti di misura diretta delle portate prelevate su tutti i pozzi, connesse ad un sistema di telerilevamento e di controllo.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO DEI LUOGHI

Oggetto della presente relazione sono i quattro pozzi, ad uso idropotabile, attualmente esistenti e funzionanti nel Comune di Bosisio Parini (LC), ossia:

- Pozzo n°1 - Ubicato in Piazza Parini.
- Pozzo n°2 - Ubicato in Via Appiani.
- Pozzo n°3 - Ubicato nella Scuola.
- Pozzo n°4 - Ubicato nel Centro Nautico - Dubini.

Le stratigrafie dei pozzi comunali in oggetto sono allegate a fine testo come All. 1, mentre l'ubicazione degli stessi è visibile nel seguente stralcio d'immagine aerea da Google Earth, e nella Tav. 1 allegata a fine testo.



Si riporta di seguito un inquadramento, generale e di dettaglio, del Comune di Bosisio Parini, e delle zone ove sono ubicati i pozzi in oggetto.

2.1 Cenni sull'assetto geologico-strutturale:

Dal punto di vista litologico il territorio comunale di Bosisio Parini può essere suddiviso in due fasce altimetriche (sopra e sotto l'isoipsa di quota 270 m s.l.m.):

- Zona depressa pianeggiante, costituita essenzialmente da argille di origine lacustre.
- Zona rilevata, costituita da depositi clastici sciolti e dal substrato roccioso talora affiorante.

Le unità litostratigrafiche:

Le unità distinte nella carta geologica allegata (scala 1:10.000) vengono di seguito descritte in ordine cronologico:

- **Flysh di Pontida (Cretaceo sup.):** è costituito da alternanze di arenarie e marne grigio-scure in strati regolari, gradati e laminati internamente. Il flysh affiora in unica località, lungo la SP47, presso il confine settentrionale del territorio comunale.
- **Arenaria di Sarnico (Cretaceo sup.):** affioramenti di Arenaria di Sarnico si trovano immediatamente a sud dell'abitato di Bosisio Parini. La formazione arenacea risulta subaffiorante presso l'abitato di Garbagnate Rota e dell'Associazione la Nostra Famiglia.

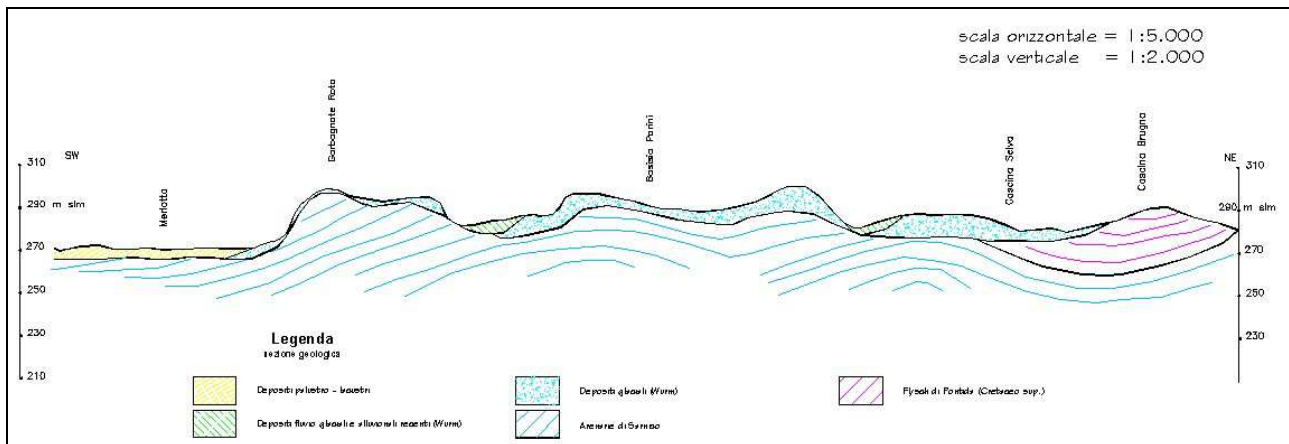
Depositi superficiali:

I depositi superficiali occupano l'intero territorio comunale, con spessori variabili nelle differenti zone. Questi depositi sono stati distinti in base ai fenomeni che hanno concorso alla loro formazione:

- **Depositi glaciali:** sono arealmente molto estesi e ricoprono i terreni topograficamente più elevati. Sono costituiti da clasti e frammenti lapidei eterogenei, di dimensione variabile da centimetrica a pluridecimetrica, da subarrotondati a spigolosi, con grado di alterazione variabile, immersi in abbondante matrice limoso-argillosa di colore bruno. Lo spessore di questi depositi varia indicativamente da pochi decimetri a vari metri. L'età di questi depositi è riferibile all'ultimo evento glaciale (Wurm).
- **Depositi fluvio-glaciali e alluvionali recenti:** occupano un'area meno estesa rispetto ai depositi glaciali veri e propri. Sono costituiti da clasti e frammenti lapidei di composizione eterogenea, immersi in matrice arenaceo-limosa di colore da giallastro a rossastro. I clasti presentano forte grado di alterazione e presentano un alto grado di arrotondamento. Questi depositi si sono originati sul fondo degli scaricatori glaciali connessi alle fasi di ritiro dopo l'ultima espansione (Wurm). Lo spessore varia da pochi metri fino ad oltre 30 m.
- **Sedimenti palustri-lacustri interglaciali e post-glaciali:** si trovano essenzialmente nella parte orientale del territorio comunale, anche se possono essere trovati in zone più occidentali. Sono costituiti da argille grigie, molto plastiche e restringenti e da argille limose, con subordinata frazione sabbioso fine, sciolte, sature in acqua. Gli spessori variano da uno a poche decine di metri. La loro deposizione è legata a laghi inframorenici di età wurmiana o posteriore.
- **Argille lacustri:** occupano la parte occidentale del territorio comunale, interessando una stretta fascia costiera e si estendono maggiormente nella zona ad ovest dell'abitato di Garbagnate Rota. Sono costituiti da argille grigie, molto plastiche, talora torbose, connesse con periodi di maggior altezza del pelo d'acqua del Lago di Pusiano. Lo spessore diminuisce andando verso l'entroterra, con spessori massimi di qualche decina di metri.

Le unità litostratigrafiche ed i depositi appena descritti sono visibili nella Tav. 2 allegata a fine testo.

Nella parte bassa della citata Tav. 2, e di seguito, è riportata una sezione geologica che attraversa in senso NNE-SSW il territorio comunale, passando per l'abitato di Garbagnate Rota. La scala verticale è esagerata rispetto a quella orizzontale per poter meglio rappresentare i rapporti fra le varie formazioni, altrimenti poco visibili a causa del ridottissimo dislivello topografico. I dati del sottosuolo sono stati desunti da vari dati in nostro possesso e dalle stratigrafie di alcuni pozzi.



Dall'elaborato risulta chiaro come il substrato roccioso appaia blandamente movimentato da pieghe aperte, a grande scala, con asse diretto in senso E-W e piano assiale subverticale. Questa geometria d'insieme si raccorda con alcuni sistemi di pieghe tipiche della catena montuosa sudalpina (Prealpi Lombarde), non è da escludere la presenza di tettonica fragile (faglie e fratture).

Il substrato roccioso piegato ha funto da piano d'appoggio per gli eventi glaciali successivi le cui vestigia si ritrovano nei depositi glaciali, visibili soprattutto sulle creste (apparati morenici).

I depositi glaciali vengono poi ricoperti e/o sostituiti, nelle zone più pianeggianti laterali e interposte, dai depositi fluvio-glaciali deposti dagli scaricatori glaciali. Nelle aree più depresse, in fasi generalmente successive alle espansioni glaciali, in condizione di sedimentazione fluvio-lacustre a tratti palustre si sono deposti le coltri di sedimenti più fini (argillosi-limosi-sabbioso finiturbosi).

I Pozzi in esame, nella citata Tav. 2, sono ubicati rispettivamente entro:

- Depositi Glaciali Wurmiani – POZZO 1
- Depositi fluvio-glaciali e alluvionali recenti – POZZI 2,3, e 4 (POZZI 3, e 4 estremamente vicini a depositi di tipo palustre-lacustre)

2.2 Inquadramento morfologico

Il territorio comunale presenta una modesta variazione altimetrica (circa 50 m), che indica un'energia di versante estremamente bassa. Le forme e i depositi rilevabili sono connessi all'ultima fase di espansione e ritiro dei ghiacci (Wurm) ed al successivo sviluppo di distese lacustri e paludose. Gli agenti morfologici attualmente attivi sono riconoscibili in alcune forme dovute all'azione dell'acqua meteorica. Le zone altimetricamente più rilevate sono dovute a movimenti strutturali connessi con le fasi ampliamento delle Alpi meridionali (strutture a pieghe che hanno interessato il substrato roccioso stratificato e meccanicamente abbastanza plastico), successivamente ricoperte da depositi di origine glaciale. Nelle conche e nelle depressioni intermoreniche si sono successivamente depositi i sedimenti più recenti, più fini, generalmente argillosi.

Si riconoscono e segnalano, nella allegata Tav. 3, le seguenti morfologie:

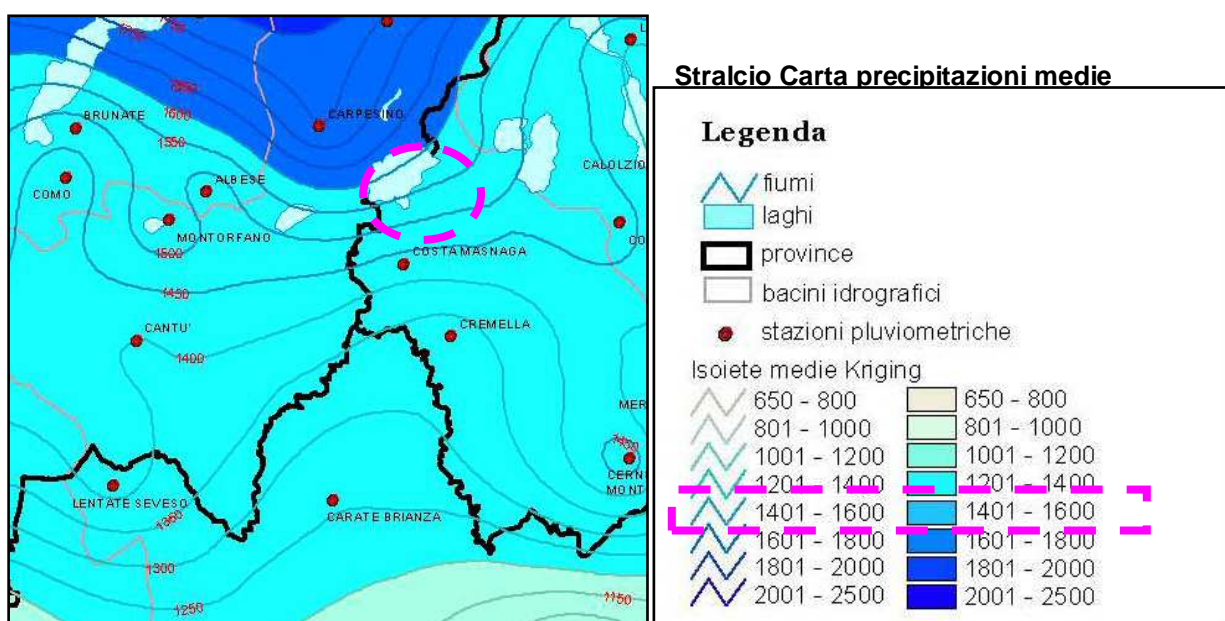
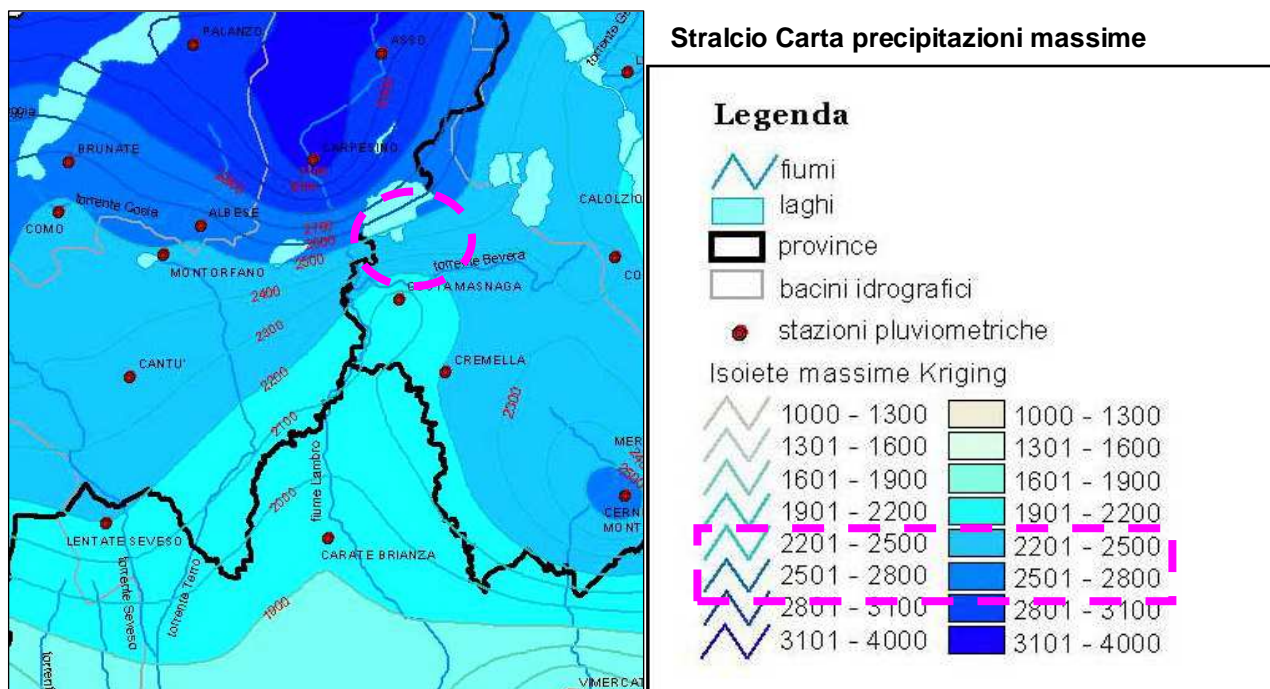
- Depositi glaciali: sono costituiti da morene e depositi fluvioglaciali a composizione eterogenea depositi sul basamento roccioso sedimentario cretaceo. Si possono riconoscere, sulle zone più rilevate, alcune creste di cordone morenico (la più estesa si trova a sud dell'abitato di Bosisio Parini), la loro disposizione indica una provenienza settentrionale dei ghiacciai.
- Orli di terrazzi morfologici e fluvio-glaciali: bordano tutte le aree maggiormente rilevate. Hanno generalmente scarpate piuttosto acclivi e si sono originati essenzialmente ad opera degli scaricatori glaciali.
- Ruscellamento diffuso: alcune aree, in particolare quelle occidentali, sono soggette a fenomeni di ruscellamento diffuso in periodi di piogge intense. Questi fenomeni sono, molto probabilmente, connessi sia con la elevata pendenza locale, sia con le generali ridotte capacità drenanti dei terreni superficiali (con generale bassa soggiacenza della falda freatica).
- Ruscellamento concentrato: solchi dovuti all'azione di ruscellamento concentrato sono connessi all'azione dilavante delle acque che, in zone molto acclivi, in terreni piuttosto fini e senza una copertura erbosa o arborea, continua, riesce ad incidere il terreno superficiale con solchi profondi qualche decina di centimetri, ad andamento piuttosto rettilineo, disposti lungo la linea di massima pendenza.
- Aree rilevate, dossi, collinette: data la modesta variabilità altimetrica sono state evidenziate le zone di culmine delle aree rilevate. Sono ricoperte da depositi morenici di cui, talora, non si riconosce più l'andamento del cordone.
- Aree depresse, pianeggianti e soggette a ristagno: sono generalmente ricoperte da depositi di tipo argilloso, argilloso-limoso, poco permeabili, per cui possono essere sede di locali fenomeni di ristagno d'acqua.

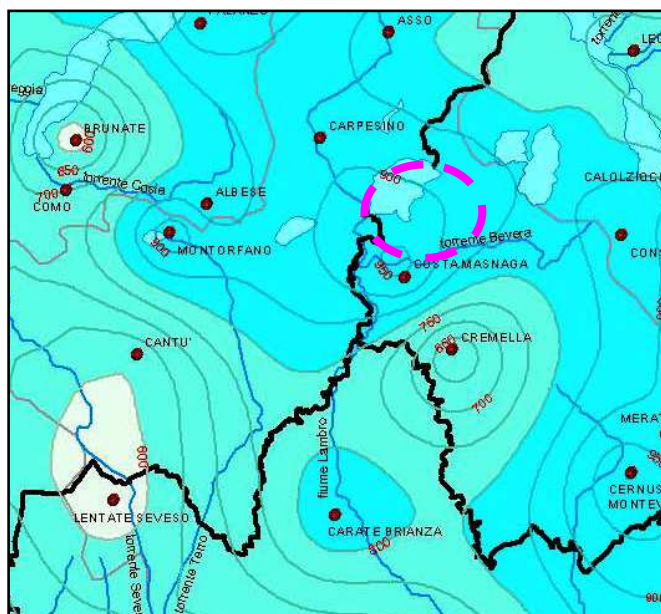
2.3 Inquadramento meteo-climatico, idrografico ed idrogeologico

INQUADRAMENTO METEO-CLIMATICO

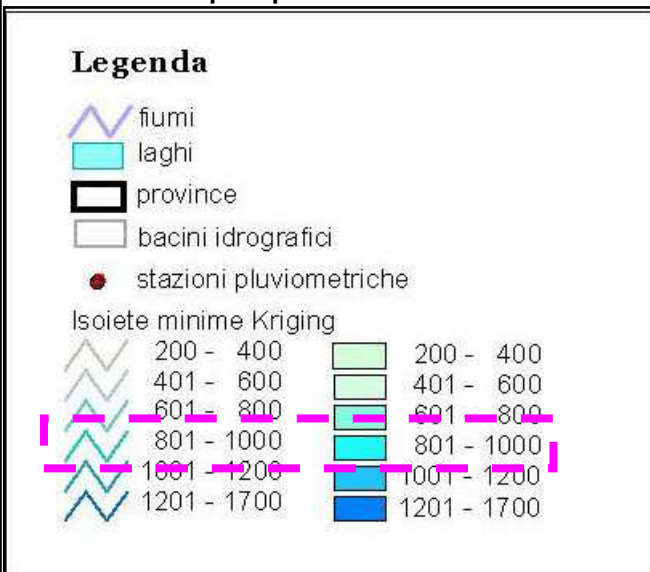
A completezza dell'elaborato si è ritenuto necessario dare una breve sintesi degli elementi meteo-climatici caratterizzante le aree di studio, basandoci sulla pubblicazione "CARTA DELLE PRECIPITAZIONI MEDIE, MASSIME E MINIME ANNUE DEL TERRITORIO ALPINO DELLA REGIONE LOMBARDIA (registrate nel periodo 1891 – 1990)" di Ceriani Massimo, Carelli Massimo Servizio Geologico – Ufficio Rischi Geologici Regione Lombardia"

Si riportano di seguito tre stralci delle carte di piovosità, massima, media e minima con riferimento all'area in oggetto.





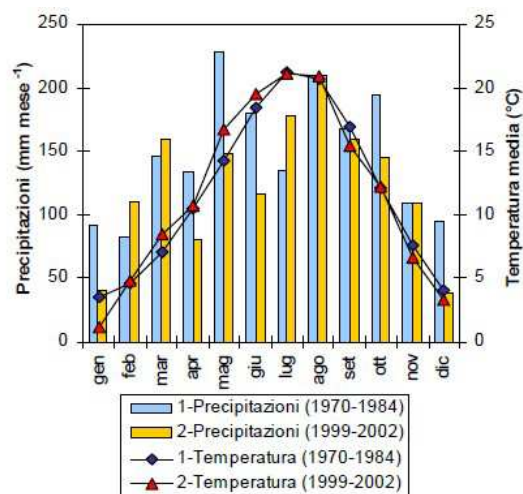
Stralcio Carta precipitazioni minime



Dall'analisi dei dati bibliografici si evidenzia come la zona sia interessata da un regime di piovosità annuale media definito come medio-elevato, riscontrandosi valori compresi tra 1400 e 1600 mm di pioggia/anno (con valore medio ponderato di 1560 mm/anno).

Si riporta di seguito uno stralcio dello Studio "Rapporto sullo Stato della Qualità delle Acque Lacustri" del 2004, con aggiornamento al 2005, ad opera di regione Lombardia ed ARPA Lombardia, con analisi dei dati di Precipitazioni e Temperature, elaborate su scala mensile, relative all'Area del Lago di Pusiano nei periodi 1970-1984 e 1999-2002.

Stazione	Asso (1)		Caslini d'Erba (2)	
Ente gestore	Servizio Idrografico Mareografico Nazionale		Servizio Idrografico Mareografico Nazionale	
Comune	Asso (CO)		Caslini d'Erba (CO)	
Quota	427 m s.l.m.		427 m s.l.m.	
Coordinate geografiche (φ; λ)	45°52'06"	09°16'11"	45°50'10"	09°14'00"
Coordinate Gauss-Boaga	5079364 N	1520880 E	5075794 N	1518068 E
Periodo di misura	1970-1984		1999-2002	
Temperatura (media annua)	11,8 °C		11,8 °C	
Precipitazioni totali (media annua)	1775 mm a ⁻¹		1498 mm a ⁻¹	



Andamento mensile delle precipitazioni e delle temperature dell'aria ad Asso e a Caslini d'Erba.

I dati pluviometrici più recenti (1999-2002) indicano un regime di tipo prealpino, con una distribuzione bimodale delle precipitazioni con due massimi, uno tra Febbraio e Marzo e l'altro tra

Luglio e Settembre, con il picco estivo che prevale su quello primaverile. Le precipitazioni minime si registrano invece nel periodo invernale.

Il Lago di Pusiano, il maggiore dei laghi Briantei, è il secondo per dimensione (dopo il Varese) dei laghi intermorenici subalpini. Il lago, classificabile come monomittico caldo, è largamente influenzato dall'immissione di acque di falda. In inverni molto rigidi, per brevi periodi può coprirsi parzialmente di ghiaccio. Idrologicamente è caratterizzato dalla presenza di due emissari: uno naturale, le cui acque tendono a scorrere in entrambe le direzioni a seconda dei livelli del lago, ed uno artificiale (il Cavo Diotti), che è l'effettivo responsabile del deflusso dal lago

Per quanto riguarda il regime termico, i mesi più caldi sono luglio e agosto con temperature medie mensili di 21-22°C, e i più freddi sono dicembre, gennaio e febbraio, con temperature medie di 1-4°C. La temperatura media annua risultante è compresa tra 11°-13°.

IDROGRAFIA.

Elementi idrografici superficiali mancano quasi completamente in tutto il territorio comunale. Questa mancanza è dovuta all'assenza di rilievi di una certa entità e di bacini idrografici che possano creare deflussi concentrati di una certa entità, per cui si riconoscono solo zone a ruscellamento concentrato e diffuso.

Per maggior dettaglio sulla presenza di aste fluviali e valletti minori, si rimanda allo Studio d'individuazione del Reticolo Idrografico Minore redatto, e successivamente aggiornato, dallo Scrivente.

Alcuni cenni di reticolo dendritico, tipico di terreni penepianeggianti con difficile infiltrazione per limitata permeabilità superficiale si riconoscono in alcune delle zone depresse interessate da depositi superficiali di tipo argilloso-limoso e con falda idrica superficiale.

Elemento idrografico di notevole importanza è però il Lago di Pusiano, di origine glaciale, alimentato dal fiume Lambro e dall'emissario del Lago del Segrino. Il livello lacustre è posto alla quota di 258 m s.l.m., mentre il fondo raramente supera i 220 m s.l.m. Il suo immissario principale è il fiume Lambro che si immette e subito fuoriesce dal settore sudoccidentale. Il letto lacustre è ondulato e le sue sponde sono state rese praticamente impermeabili dal deposito di un notevole spessore di materiali fini limoso-argillosi.

IDROGEOLOGIA

I dati relativi alla circolazione idrica profonda sono stati ricavati da lavori di Beretta e Francani (Politecnico di Milano) e dai dati dei pozzi forniti dal gestore del Sistema acquedottistico Comunale.

Il territorio esaminato presenta una situazione idrogeologica relativamente semplice, con la presenza nella parte centrale del territorio Comunale, di uno spartiacque sotterraneo ad andamento grossomodo nord-sud, posto in terreni glaciali granulari a permeabilità medio-bassa.

Le linee isopiezometriche riportate nella **Tav. 4.a** a fine testo (tavola Idrogeologica allegata al P.R.G. Comunale) indicano una soggiacenza della falda mediamente bassa (qualche metro) e direzione dei deflussi idrici principali dirette in senso divergente dall'asse del citato spartiacque idrogeologico, ovvero verso WNW e verso ESE.

Dalla carta idrogeologica si evince come le linee di flusso vengano deviate al passaggio con orizzonti a differente trasmissività. Un esempio è chiaramente osservabile nei pressi dell'abitato di Garbagnate Rota dove le linee di flusso divergono ad est e si ricongiungono ad ovest del nucleo abitativo, deviazione dovuta alla presenza di un alto strutturale (formazioni rocciose, impermeabili prossime alla superficie topografica).

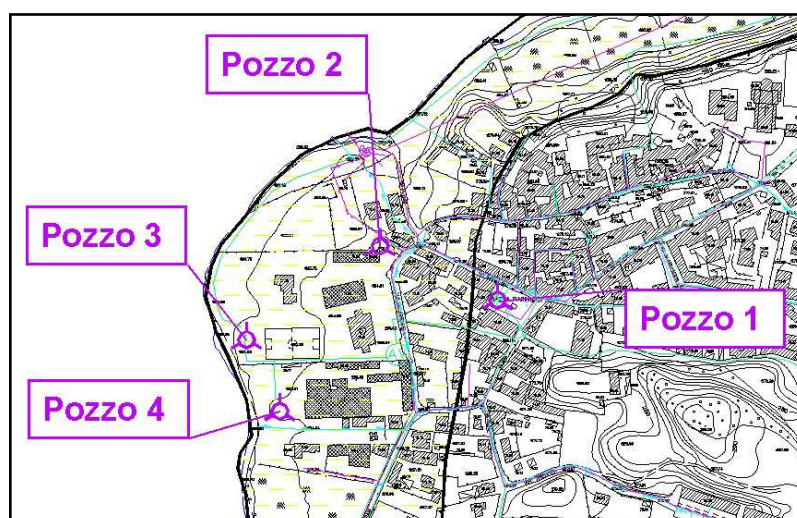
Nella citata **Tav. 4.A** allegata a fine testo, sono state distinte le tre principali unità idrogeologiche presenti in zona, corrispondenti a litologie con differente permeabilità, che sono così descrivibili:

- ↳ *depositi palustro-lacustri*: costituiti da litotipi fini prevalentemente argilloso-limosi, dotati di permeabilità bassa (dell'ordine - 10^{-9} - 10^{-10} cm/s). Lo spessore (confermato anche da lavori eseguiti dagli scriventi per privati nelle immediate vicinanze dell'area in oggetto) presenta valori compresi tra 30 e 60 metri;
- ↳ *depositi glaciali*: costituiti da litotipi sabbioso-ghiaiosi in matrice limosa a tratti argillosa. La permeabilità varia localmente in funzione del rapporto clasti/matrice e comunque è compresa tra 10^{-3} e 10^{-5} cm/s. Lo spessore varia da pochi metri dove il substrato roccioso è subaffiorante a decine di metri in corrispondenza dei rilievi collinari; sono altresì presenti depositi glaciali di fondo che hanno una permeabilità ancora inferiore di 10^{-5} - 10^{-6} cm/s. Solitamente i depositi in oggetto contengono orizzonti più ghiaiosi di origine fluvio-glaciale sede di acquiferi
- ↳ *substrato roccioso*: di natura arenaceo-pelitica, dotato di permeabilità primaria nulla e permeabilità secondaria (per fessurazione/fratturazione) difficilmente stimabile.

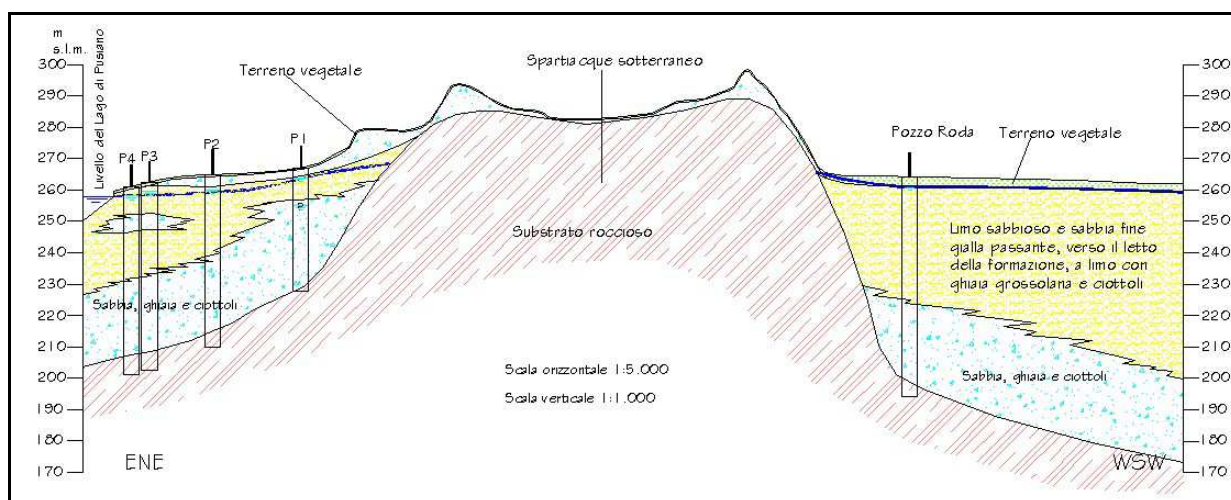
Le isopiezometriche riportate sulla carta idrogeologica sono riferite all'acquifero superficiale e sono state tracciate a partire dai dati raccolti dal prof. Francani¹. E mostrano una orientazione della falda locale che ricarica il Lago di Pusiano, con orientazione locale circa NW.

I 4 pozzi idropotabili comunali oggetto del presente studio sono ubicati ad W del citato spartiacque sotterraneo, e sono stati oggetto di un primo studio di riperimetrazione per le aree di rispetto nell'anno 2000, ai sensi della Legge Regionale 24 novembre 1997 – n. 41.

Si riporta di seguito una ubicazione indicativa dei pozzi appena indicati:



Sulla base delle stratigrafie dei pozzi comunali (visibili nell'All. 1 a fine testo) e con l'ausilio della stratigrafia di un pozzo ubicato circa in posizione WSW rispetto all'area dei pozzi in esame (distanza di circa km), a supporto dello Studio Geologico per il PRG di Bosisio Parini è stata costruita la sezione idrogeologica che interessa l'area dei pozzi comunali ed il territorio a SW di questi (riportata graficamente di seguito).



¹ V. Francani *et alii*, 1981. Caratteri Idrogeologici della parte meridionale della provincia di Como.

L'analisi di detta sezione pone in evidenza la presenza di una potente coltre alluvionale, dello spessore di circa 50 m, che ricopre, in discordanza stratigrafica, il substrato roccioso impermeabile di fondo.

Tale coltre alluvionale, come già sottolineato in precedenza, ha due differenti origini e caratteristiche:

- ↳ il deposito di origine palustro-lacustre, che occupa i livelli più superficiali, è caratterizzato da materiali limoso-sabbiosi fini con rari ciottoli, scarsa permeabilità e spessori che variano da 30 m nei pressi della sponda lacustre, a 10 m verso l'interno a ridosso delle colline moreniche. Localmente si possono riscontrare delle lenti, che possono arrivare a circa 5 m di spessore, di materiale più grossolano.
- ↳ il deposito di origine fluvio-glaciale e alluvionale recente occupa due diversi livelli stratigrafici: quello di origine glaciale, composto da ghiaie anche grossolane, immerse in una matrice limoso sabbiosa che ne condiziona la permeabilità, costituisce una coltre superficiale e rappresenta i primi metri di spessore dei territori intermorenici e morenici; quello di origine alluvionale, occupa la fascia più profonda, a contatto col substrato roccioso, è caratterizzato da materiale ghiaioso-sabbioso, ha una elevata permeabilità, uno spessore di circa 25 m ed è sede di falda acquifera artesianica contenuta fra due livelli impermeabili

La falda superficiale, nell'area dei pozzi idropotabili, si trova ad una profondità variabile da - 3 a - 5 m da p.c. ed è divisa in due porzioni per la presenza di uno spartiacque sotterraneo localizzato in corrispondenza delle colline moreniche della fascia centrale.

La circolazione idrica profonda è caratterizzata dalla presenza di due livelli a diversa produttività: uno superficiale, contenuto all'interno di depositi palustro-lacustri a minor permeabilità e quindi meno produttivo e uno profondo, contenuto all'interno dei depositi fluvio-glaciali, maggiormente permeabili, quindi più produttivo. Il moto idrico profondo in questo settore del territorio comunale è diretto da SE verso NW.

VULNERABILITÀ:

L'alimentazione idrica sotterranea dei depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi, che sono sede di falda acquifera, sarebbe ascrivibile alle acque di infiltrazione meteorica che interessano i rilievi collinari posti a Est dell'area in oggetto, anche se non si possono escludere infiltrazioni di tipo gravitativo diretto dal bacino lacustre.

Considerando la struttura dell'acquifero e il livello statico posto a -3/-5 m dal piano campagna, si ritiene possibile che gli orizzonti acquiferi profondi captati, possano essere, anche solo parzialmente, in pressione, permettendo in tal modo una risalita artesianica dell'acqua.

Apparentemente il deflusso idrico superficiale, nell'area in esame, non interferisce con i livelli idrici profondi sfruttati dall'acquedotto locale, per la presenza di una formazione idrogeologica poco permeabile (coltre limoso-argillosa con sabbia fine superficiale) che tende ad isolare e proteggere gli orizzonti acquiferi profondi.

Tale formazione a bassa permeabilità presenta uno spessore variabile di 10-30 m ed una estensione areale piuttosto ampia (circa 500 m) fino a lambire le colline moreniche (eventuali livelli maggiormente ghiaiosi, dallo spessore di 1-5 m, localizzati all'interno della colonna stratigrafica, sono limitati a letto e a tetto da strati limoso-argillosi meno permeabili, e quindi protettivi).

Tuttavia, il fatto che i livelli statici all'interno dei pozzi coincidano con il livello della falda superficiale non può escludere una certa connessione tra i due acquiferi; nonostante ciò, si ritiene che il grado di protezione dell'acquifero profondo, da cui vengono emunte le acque ad uso idropotabile che servono il Comune di Bosisio Parini, sia discreto.

Sebbene, storicamente, le analisi chimiche effettuate sulle acque di fontane e rubinetti pubblici che sono serviti dall'acquedotto comunale, abbiano rivelato una buona qualità delle acque, non è fin'ora stato possibile escludere al 100% eventuali contaminazioni della falda captata da parte delle acque del lago e della falda superficiale.

C ONSIDERAZIONI

I Pozzi in esame, nelle citate Tav. 4.A e 4.B, sono ubicati rispettivamente entro terreni prevalentemente sabbioso-limosi, caratterizzati da permeabilità da bassa a discreta (10^{-5} cm/s).

Si riportano di seguito alcune considerazioni, già riportate nello studio geologico a supporto del P.R.G. Comunale, e nel primo studio di ripermetrore delle Zone di Rispetto dei pozzi del 2000:

- Le aree intorno al nucleo abitativo di Bosisio Parini ed i terreni del settore industriale sembrano particolarmente ricche di risorse idriche, in effetti anche la maggior parte dei pozzi appare concentrata in tali zone.
- Le zone di alto topografico, sembrano, invece, meno interessanti al riguardo (infatti pozzi in zone rilevate sono presenti solo sul rilievo dell'associazione La Nostra Famiglia, con produzioni minime e discreto rischio di contaminazione).
- In relazione ai dati precedentemente analizzati, è sembrato plausibile ipotizzare che la falda freatica abbia trasmissività (prodotto della permeabilità per lo spessore di terreno acquifero) ridotta nelle zone rilevate (dove il substrato roccioso si avvicina alla superficie topografica e l'orizzonte di ghiaie e materiali permeabili è ridotto),

mentre assume notevole importanza nelle zone più depresse (corrispondenti probabilmente alle depressioni sinclinaliche del substrato).

- La presenza di livelli superficiali di terreno poco permeabile, soprattutto all'intorno del pozzo ma anche nelle zone di ricarica della falda captata, potrebbe salvaguardare il pozzo stesso da inquinamenti di tipo superficiale e localizzati nella fascia di rispetto del pozzo stesso.
- La presenza dello spartiacque in zona centrale permette di definire due aree idrogeologiche: un'area occidentale dove sono concentrati i pozzi ad uso potabile ed un'area orientale dove gli unici pozzi sembrano essere (in base ai dati a nostra disposizione) ad uso industriale.
- Nella zona orientale la vulnerabilità dell'acquifero superficiale è da verificarsi in relazione alla presenza di industrie, ma in queste zone i terreni superficiali appaiono meno permeabili in percentuale.

3 CARATTERISTICHE POZZI COMUNALI

In base a quanto richiesto, vengono di seguito riassunte le principali caratteristiche dei pozzi Comunali attivi nel Comune di Bosisio Parini, e le principali caratteristiche degli acquiferi interessati, desunti dalle prove di pompaggio effettuate.

Del pozzo n. 4, situato all'interno del circolo canottaggio, non si hanno informazioni precise circa: la natura dei terreni attraversati, ed il livello statico e dinamico della falda, ma i dati riportati di seguito fanno riferimento solamente a delle previsioni fatte alla vigilia della costruzione del pozzo stesso, sulla base delle caratteristiche del pozzo n. 3, localizzato nello stesso contesto geologico–morfologico–idrologico, e a poca distanza (< 100 m), e sui rilievi in fase di indagine.

Nelle tabelle di seguito si riportano sia i dati reperiti dalla documentazione di fine lavori dei pozzi sia i dati piezometrici rilevati durante la campagna di prove di portata e di portate di prelievo degli stessi, in colore blu tra parentesi.

3.1 Caratteristiche pozzi Comunali

Pozzo n. 1

Località	Piazza Parini	Stratigrafia	
		Profondità (m da p.c.)	Litologia
Ditta esecutrice	CORTI	Da 0 m a 7 m	Avampozzo
Anno costruzione	1982	Da 7 m a 10 m	Sabbia fine gialla
Livello Statco	2.6 ÷ 12 m (-9.82 m)	Da 10 m a 15 m	Sabbia e ghiaia con ciottoli
Livello dinamico	16 m (-20.7 m)	Da 15 m a 30 m	Ghiaia grossolana
Diametro	319 mm	Da 30 m a 33 m	Conglomerato, ciottoli e trovanti
Elettropompa	tipo Masselli 20 CV	Da 33 m a 38 m	Ghiaietto con ciottoli
Filtri	da 23 m a 33 m	Da 38 m a 39 m	Marna rossa
Portata	Q=6.6 l/s (14.75 l/s)		

Pozzo n. 2

Loc.	Via Andrea A. - n°4	Stratigrafia	
		Profondità (m da p.c.)	Litologia
Ditta esecutrice	GEOTECNICA (DOTT. GASPARDONI)	Da 0 m a 1 m	Terreno vegetale
Anno di costruzione	1965	Da 1 m a 4 m	Argilla scura
Livello statico	-12 m (-6.54 m)	Da 4 m a 8 m	Ghiaia asciutta
Livello dinamico	-22 m (-12.17 m)	Da 8 m a 14 m	Ghiaia
elettropompa	tipo Alpha Panelli 21 CV	Da 14 m a 23 m	Sabbia
prevalenza	90 m	Da 23 m a 26 m	Ghiaietto
portata	Q=8.3 l/s (6.6 l/s)	Da 26 m a 29 m	Ghiaia
profondità di posa dell'elettropompa	30m	Da 29 m a 35 m	Trovante calcareo

(stratigrafia fornita da Archivio Pozzi dell'A.S.L. di Lecco, ricevuto da A.R.P.A. Lombardia, sezione di Lecco).

Pozzo n. 3

Loc.	Via Andrea A. – n° 10	Stratigrafia	
Ditta esecutrice	Carlo Della Torre	Profondità (m da p.c.)	Litologia
Anno di costruzione	1972/1973	Da 0 m a 1 m	Terreno vegetale
Livello statico	-5 m (-4.25 m)	Da 1 m a 7 m	Limo – sabbioso
Livello dinamico	(-30.5 m)	Da 7 m a 10 m	Sabbia fine gialla
Ø	300 mm	Da 10 m a 15 m	Sabbia e ghiaia
Profondità del pozzo	60 m	Da 15 m a 30 m	Limo – sabbioso con ghiaia e ciottoli
Elettropompa	tipo KSB 62 CV	Da 30 m a 54 m	Sabbia, ghiaietto e ciottoli
Portata	Q=30 l/s (22 l/s)	Da 54 m a 60 m	Argilla grigia con ciottoli
Profondità di posa dell'elettropompa	36 m		
Filtri	da 36 m a 46 m		

Pozzo n. 4

Loc.	Mappali n° 415	Stratigrafia	
Ø	300 mm	Profondità (m da p.c.)	Litologia
Livello statico	(-4.33 m)	Da 0 m a 1 m	Terreno vegetale
Livello dinamico	(-13.21 m)	Da 1 m a 7 m	Limo – sabbioso
Profondità del pozzo	60 m	Da 7 m a 10 m	Sabbia fine gialla
Riempimento con argilla naturale	da 0 m a – 10 m	Da 10 m a 15 m	Sabbia e ghiaia
Cementazione presunta	da – 10 m a - 20 m	Da 15 m a 30 m	Limo – sabbioso con ghiaia e ciottoli
Filtri presunti	da – 36 m a – 46 m	Da 30 m a 54 m	Sabbia, ghiaietto e ciottoli
Portata	(15 l/s)	Da 54 m a 60 m	Argilla grigia con ciottoli
Profondità di posa dell'elettropompa	40 m		

Come anticipato, in assenza di informazioni dirette su stratigrafia e dati costruttivi del pozzo 4, i dati ipotizzati e ritenuti plausibili e/o utilizzabili ai fini della modellazione sono stati riportati in colore verde, mentre in blu sono riportati i dati rilevati in cantiere..

Le stratigrafie sono visibili nell'All. 1 a fine testo.

3.2 Prove di pompaggio

Al fine di definire i parametri di permeabilità e trasmissività degli acquiferi captati nel Comune di Bosisio Parini, sono state effettuate 2 campagne d'indagine così differenziate:

- ❖ Ottobre 2012 – campagna di rilievo pozzi e misure del livello di falda finalizzata alla valutazione dell'interferenze tra pozzi vicini/limitrofi (partenza con pozzi in funzione, e progressivo spegnimento dei pozzi con misura delle variazioni della quota di falda in tutti i pozzi).
- ❖ Aprile 2013 – campagna di misura dell'abbassamento della falda correlata al funzionamento di pozzi singoli (prove in discesa e risalita su singolo pozzo con altri pozzi fermi).

Le prove di portata sono state concordate e pianificate al fine di evitare al massimo i possibili disservizi nella regolare distribuzione delle acque da parte dell'acquedotto, assicurandosi di poter provvedere ad integrare le eventuali carenze di approvvigionamento.

La seconda fase di prove è stata pianificata a seguito degli interventi di manutenzione sui pozzi e sul sistema di derivazione delle acque, che hanno comportato la posa di nuovi strumenti di misura diretta delle portate prelevate su tutti i pozzi, connesse ad un sistema di telerilevamento e di controllo.

Ottobre 2012

Durante la campagna dell'Ottobre 2012, è stato preliminarmente rilevato lo stato di fatto delle camerette d'avampozzo, con definizione della correzione topografica da applicare alle misure della falda, da testa pozzo, per ottenere la quota assoluta del livello di falda e per il raccordo dello stesso con il livello del lago di Pusiano.

POZZO	Quota p.c.	Quota t. pozzo	Quota assoluta
	m s.l.m	rispetto a p.c.	testa pozzo
1 - Piazza Parini	267.4	-1.65	265.75
2 – San Gaetano	265	-1.17	263.83
3 - Scuole	263	-1.95	261.05
4 - Dubini	263	-1.28	261.72

La prova effettuata, in relazione alla possibilità di verificare la portata di prelievo in fase di prova nei soli pozzi 2 e 3, è stata realizzata con l'intento di verificare le eventuali influenze del funzionamento di più pozzi contemporaneamente.

La prova, dopo un periodo di allineamento delle quote della falda al Livello Dinamico (4 pozzi in funzione in contemporanea), si è articolata nelle seguenti fasi:

- ❖ **Fase A** Spegnimento pompa del Pozzo 4, con pozzi 1, 2, e 3 in funzione e misura della falda in risalita fino a L.S., con controllo delle oscillazioni del L.D. nei restanti pozzi e nell'area del Cimitero Comunale.
- ❖ **Fase B** Spegnimento pompa del Pozzo 3 con pozzi 1, e 2, in funzione e pozzo 4 fermo e misura della falda in risalita fino a L.S., con controllo oscillazioni di:
 - L.D. nei pozzi 1 e 2.
 - L.S. nel pozzo 4 e nell'area del Cimitero Comunale.
- ❖ **Fase C** Spegnimento pompa del Pozzo 2 con pozzo 1, in funzione e pozzi 3 e 4 fermi e misura della falda in risalita fino a L.S., con controllo oscillazioni di:
 - L.D. nel pozzo 1.
 - L.S. nei pozzi 3 e 4, e nell'area del Cimitero Comunale.
- ❖ **Fase D** Spegnimento pompa del Pozzo 3 con pozzi 1, e 2, in funzione e pozzo 4 fermo e misura della falda in risalita fino a L.S., con controllo delle oscillazioni del L.S. nei restanti pozzi e nell'area del Cimitero Comunale.

Dall'analisi dei dati raccolti è stato possibile evidenziare quanto segue:

- Contrariamente a quanto ci si potesse aspettare teoricamente, il Livello Dinamico (L.D.) dei pozzi in funzione, allo spegnimento del pozzo di prova, si è abbassato. Ciò indica che il sistema di controllo dell'acquedotto ha aumentato le portate prelevate nei pozzi in funzione per sopperire a quelli fermi e mantenere un regolare ingresso di acqua nel sistema di distribuzione (verificato di seguito con Gestore sistema d'acquedotto).
- I Livelli Statici (L.S.) dei pozzi fermi (utilizzati come piezometri per il controllo delle quote di falda) non hanno subito variazioni rilevanti al variare del numero di pozzi operativi, ciò indica una limitata influenza del singolo pozzo con quelli vicini.

Aprile 2013

Nella campagna dell'Aprile 2013, dopo la predisposizione dell'impianto di misura diretta delle portate prelevate in tutti i pozzi in oggetto, è stato possibile effettuare, dopo un preventivo periodo di allineamento del Livello Statico della Falda a pozzi fermi, la seguente sequenza di prove di pompaggio:

- ❖ **Fase A** **Prova in discesa nel Pozzo 4** –pozzi 1, 2, e 3 fermi fino a L.D.
Prova in risalita nel Pozzo 4 –pozzi 1, 2, e 3 fermi fino a L.S.
- ❖ **Fase B** **Prova in discesa nel Pozzo 3** –pozzi 1, 2, e 4 fermi fino a L.D.
Prova in risalita nel Pozzo 3 –pozzi 1, 2, e 4 fermi fino a L.S.
- ❖ **Fase C** **Prova in discesa nel Pozzo 2** –pozzi 1 e 3 fermi e 4 in funzione, fino a L.D.
Prova in risalita nel Pozzo 2 –pozzi 1 e 3 fermi e 4 in funzione, fino a L.S.
- ❖ **Fase D** **Prova in discesa nel Pozzo 1** –pozzi 2 e 3 fermi e 4 in funzione, fino a L.D.
Prova in risalita nel Pozzo 1 –pozzi 2 e 3 fermi e 4 in funzione, fino a L.S.

La concomitanza dell'accensione del pozzo di prove e del Pozzo 4 nelle fasi C e D è stata dettata dalla necessità di mantenere un regolare servizio di acquedotto e una costante ricarica del serbatoio in una fascia oraria di picco dei consumi idrici.

E' stato verificato che le differenze dei livelli idrici misurati nei pozzi di prova, e di controllo (rispettivamente 1 e 3 nella fase C e 2 e 3 nella Fase D) non abbiano subito variazioni significative all'accensione del Pozzo 4, e che lo stesso stesse funzionando a regime con la portata di prelievo pari a quella rilevata durante la prova di Fase A.

I risultati di questa seconda giornata di indagini/prove, sono stati elaborati in modo da ottenere informazioni su permeabilità e trasmissività dell'acquifero captato dai pozzi in esame. I risultati delle indagini sono riportate a fine testo come All. 2, mentre i valori ottenuti sono riportati nelle seguenti tabelle riassuntive.

REPORT DATI PROVE DI PORTATA POZZO 1				
	Valore	U.M	Valore	U.M
FALDA LIVELLO STATICO	257.58	m s.l.m.	-8.17	m da testa pozzo
FALDA LIVELLO DINAMICO	246.7	m s.l.m.	-19.05	m da testa pozzo
DELTA	10.88	m		
PORTATA PRELIEVO	14.75	l/s	53.1	mc/h
DIAMETRO POZZO	0.32	m		
PROFONDITA' POZZO	39	m		
LUNGH. TRATTO FILTRANTE	10	m	da m 23 a m 33	
	Valore	U.M	Valore	U.M
TRAMISSIVITA' PROVA DISCESA	4.54E-02	m2/min	7.56E-04	m2/s
TRAMISSIVITA' PROVA RISALITA	5.36E-02	m2/min	8.93E-04	m2/s
T MEDIA			8.25E-04	m2/s
PERMEABILITA' PROVA DISCESA	4.54E-03	m2/min	7.56E-05	m/s
PERMEABILITA' PROVA RISALITA	5.36E-03	m2/min	8.93E-05	m/s
k MEDIA			8.25E-05	m/s

REPORT DATI PROVE DI PORTATA POZZO 2				
	Valore	U.M	Valore	U.M
FALDA LIVELLO STATICO	258.46	m s.l.m.	-5.37	m da testa pozzo
FALDA LIVELLO DINAMICO	252.83	m s.l.m.	-11	m da testa pozzo
DELTA	5.63	m		
PORTATA PRELIEVO	6.6	l/s	23.76	mc/h
DIAMETRO POZZO	0.3	m		
PROFONDITA' POZZO	35	m		
LUNGH. TRATTO FILTRANTE	8.5	m	da m 26 a m 34,5	
	Valore	U.M	Valore	U.M
TRAMISSIVITA' PROVA DISCESA	1.93E-02	m2/min	3.22E-04	m2/s
TRAMISSIVITA' PROVA RISALITA	1.83E-01	m2/min	3.05E-03	m2/s
T MEDIA			1.69E-03	m2/s
PERMEABILITA' PROVA DISCESA	2.27E-03	m2/min	3.79E-05	m/s
PERMEABILITA' PROVA RISALITA	2.15E-02	m2/min	3.59E-04	m/s
k MEDIA			1.98E-04	m/s

REPORT DATI PROVE DI PORTATA POZZO 3				
	Valore	U.M	Valore	U.M
FALDA LIVELLO STATICO	258.75	m s.l.m.	-2.3	m da testa pozzo
FALDA LIVELLO DINAMICO	232.5	m s.l.m.	-28.55	m da testa pozzo
DELTA	26.25	m		
PORTATA PRELIEVO	15	l/s	54	mc/h
DIAMETRO POZZO	0.3	m		
PROFONDITA' POZZO	60	m		
LUNGH. TRATTO FILTRANTE	10	m	da m 36 a m 46	
	Valore	U.M	Valore	U.M
TRAMISSIVITA' PROVA DISCESA	8.07E-03	m ² /min	1.34E-04	m ² /s
TRAMISSIVITA' PROVA RISALITA	9.34E-03	m ² /min	1.56E-04	m ² /s
T MEDIA			1.45E-04	m²/s
PERMEABILITA' PROVA DISCESA	8.07E-04	m ² /min	1.34E-05	m/s
PERMEABILITA' PROVA RISALITA	9.34E-04	m ² /min	1.56E-05	m/s
k MEDIA			1.45E-05	m/s

REPORT DATI PROVE DI PORTATA POZZO 4				
	Valore	U.M	Valore	U.M
FALDA LIVELLO STATICO	258.67	m s.l.m.	-3.05	m da testa pozzo
FALDA LIVELLO DINAMICO	249.79	m s.l.m.	-11.93	m da testa pozzo
DELTA	8.88	m		
PORTATA PRELIEVO	22	l/s	79.2	mc/h
DIAMETRO POZZO	0.3	m		
PROFONDITA' POZZO	60	m		
LUNGH. TRATTO FILTRANTE	10	m	da m 36 a m 46	
	Valore	U.M	Valore	U.M
TRAMISSIVITA' PROVA DISCESA	6.65E-02	m ² /min	1.11E-03	m ² /s
TRAMISSIVITA' PROVA RISALITA	7.32E-01	m ² /min	1.22E-02	m ² /s
T MEDIA			6.65E-03	m²/s
PERMEABILITA' PROVA DISCESA	6.65E-03	m ² /min	1.11E-04	m/s
PERMEABILITA' PROVA RISALITA	7.32E-02	m ² /min	1.22E-03	m/s
k MEDIA			6.65E-04	m/s

3.3 Caratteristiche acquiferi

Portata

In base ad informazioni raccolte in cantiere, e dalla bibliografia reperita presso l'ufficio tecnico del comune di Bosisio Parini, si possono considerare i seguenti valori di portata d'esercizio e massima per i tre pozzi:

Pozzo	Q esercizio	Q da stratigrafie	Q max utilizzate
N° 1 – Piazza Parini	14.75 l/s	6.6 l/s	16 l/s
N° 2 – San Gaetano	6.6 l/s	8.3 l/s	8.3 l/s
N° 3 – Scuole	15 l/s	30 l/s	30 l/s
N° 4 - Dubini	22 l/s	30 l/s	30 l/s

Per quanto riguarda il Pozzo 1, per la quale è stata riportata una portata media di esercizio di 14,75, viene considerata una portata massima di almeno 16 l/s, sulla base dell'osservazione diretta che il valore di portata emunta in fase d'indagine non ha mai oltrepassato il valore di 15 l/s.

Per i restanti pozzi, verranno considerate le portate emunte indicate in bibliografia, sia che queste siano di progetto sia che derivino da prove di portata effettuate per il collaudo iniziale dei pozzi (dato dubbio e non reperito in bibliografia).

Gradiente idraulico

Il gradiente idraulico della falda è stato valutato a partire dalle misure del livello statico [m s.l.m.] misurate direttamente in fase d'indagine, e controllate in base ai dati riportati nelle stratigrafie dei quattro pozzi in oggetto (All. 1 a fine testo).

	POZZO 1	POZZO 2	POZZO 3	POZZO 4
Profondità Falda misurata (m da P.C.) LIVELLO STATICO	-9.82	-6.54	-4.25	-4.33
LIVELLO STATICO FALDA QUOTA ASSOLUTA (m s.l.m.)	257.58	258.46	258.75	258.67
Profondità Falda misurata (m da P.C.) LIVELLO DINAMICO	-20.7	-12.17	-30.5	-13.21
LIVELLO DINAMICO FALDA QUOTA ASSOLUTA (m s.l.m.)	246.7	252.83	232.5	249.79

- Pozzo n°1 - Piazza Parini 257.58 m s.l.m.
- Pozzo n°2 – San gaetano 258.46 m s.l.m.
- Pozzo n°3 - Scuole 258.75 m s.l.m.
- Pozzo n°4 - Dubini 258.67 m s.l.m.

A partire da tali misure è stato calcolato un gradiente idraulico di $8 \cdot 10^{-4}$, con orientazione circa 132° (circa SE).

Permeabilità e trasmissività dell'acquifero.

Nella tabella seguente vengono riportate le portate d'esercizio dei pozzi, i tempi di raggiungimento dei livelli Statici e Dinamici ed i relativi valori di k e T, con una stima finale dei valori di K e T medi.

	POZZO 1	POZZO 2	POZZO 3	POZZO 4
PORTATA DI PRELIEVO l/s mc/h	14.75	6.6	15	22
	53.1	23.76	54	79.2
ABBASSAMENTO (m)	10.88	5.63	26.25	8.88
TEMPO raggiungimento LD (sec) PROVA IN DISCESA	960	900	840	900
TEMPO raggiungimento LS (sec) PROVA IN RISALITA	660	480	780	900
TRASMISSIVITA' P. DISCESA (m2/sec)	7.56E-04	3.22E-04	1.34E-04	1.11E-03
TRASMISSIVITA' P. RISALITA (m2/sec)	8.93E-04	3.05E-03	1.56E-04	1.22E-02
T MEDIA (m2/sec)	8.25E-04	1.69E-03	1.45E-04	6.65E-03
PERMEABILITA' P. DISCESA (m/s)	7.56E-05	3.79E-05	1.34E-05	1.11E-04
PERMEABILITA' P. RISALITA (m/s)	8.93E-05	3.59E-04	1.56E-05	1.22E-03
k MEDIA (m/s)	8.25E-05	1.98E-04	1.45E-05	6.65E-04
T MEDIA (m2/sec)	2.33E-03			
k MEDIA (m/s)	2.40E-04			

Dai dati ricavati dalle prove di pompaggio effettuate, è stata calcolata una permeabilità k dell'acquifero in oggetto dell'ordine di 2.4×10^{-4} m/s.

La trasmissività è stata calcolata a partire dal valore di permeabilità mediante la relazione:

$$T = k \cdot H$$

In cui H [m] è lo spessore dell'acquifero ricavato dalla stratigrafia e dalla misura del livello statico.

Dai dati e dai calcoli effettuati, si possono considerare valori di trasmissività dell'acquifero di 2.33×10^{-3} m²/s.

4 DELIMITAZIONE DELLA ZONA DI RISPETTO

L'individuazione della zona di rispetto è stata effettuata considerando la presenza del vicino Lago di Pusiano e del substrato roccioso che arriva in sub affioramento nei rilievi collinari che bordano il lago oltre il centro abitato in direzione SE.

Il programma di elaborazione dati utilizzato è WhAEM 2000 (Wellhead Analytic Element Model), rilasciato nell'Agosto 2007 dall'U.S. EPA (United States Environment Protection Agency).

4.1 Metodologia applicata

WhAEM2000 è un sistema di modellazione del flusso falda di pubblico dominio ed open source, adatto per rappresentare sistemi di flusso regionali ed interazioni tra acque superficiali e di falda. Fu progettato inizialmente per facilitare la delineazione delle zone di cattura ed aree di protezione in appoggio ai Programmi (WHPP) Wellhead Protection Program e (SWAP) Water Assessment Planning per fonti di approvvigionamento di acqua di pubblico negli Stati Uniti.

La modellazione idrogeologica per un pozzo o per un sistema di pozzi, incluse le influenze delle condizioni a contorno (compresi fiumi, ricarica, e contatti impermeabili), è portata a termine usando il metodo degli elementi analitici, che sono funzioni matematiche (reali o complesse) atte a rappresentare gli oggetti idrogeologici in un modello di flusso sotterraneo.

Il metodo degli elementi analitici per la modellazione della falda acquifera regionale fu sviluppato alla fine degli anni settanta da Otto Strack all'Università di Minnesota (Strack e Haitjema, 1981). Gli elementi analitici vengono descritti matematicamente in maniera particolareggiata nel "Groundwater Mechanics" di O. D. L. Strack, Prentice Hall, 1989, mentre la struttura teorica e di base per il metodo degli elementi analitici è descritta nel testo "Analytic Element Modeling of Groundwater Flow" di M. Haitjema, Stampa Accademica, 1995.

Alla base del metodo agli elementi analitici si trovano due concetti fondamentali:

1. l'approssimazione bidimensionale, che semplifica il modello ad un sistema bidimensionale in quanto la componente verticale del flusso viene ritenuta trascurabile e pertanto il carico piezometrico risulta variabile solo durante le direzioni trasversali;
2. il concetto di potenziale di deflusso, per il quale il vettore di deflusso può essere espresso come il gradiente del potenziale scalare.

Il regime di flusso degli acquiferi è influenzato dall'interazione con le acque superficiali, dalle precipitazioni e dalle variazioni delle proprietà idrogeologiche degli acquiferi stessi.

Il potenziale di deflusso è definito in termini di altezza piezometrica, conducibilità idraulica, e spessore dell'orizzonte acquifero.

Nel caso di acquifero libero il potenziale di deflusso viene definito come

$$\Phi = \frac{1}{2} k \varphi^2$$

Nel caso di acquifero confinato il potenziale di deflusso viene definito come

$$\Phi = (kH\varphi) - (\frac{1}{2} k \varphi^2)$$

dove k è la conducibilità idraulica, φ è l'altezza piezometrica rispetto alla base dell'acquifero, ed H è lo spessore dell'acquifero confinato. L'equazione differenziale del flusso, in termini di potenziale di deflusso Φ è lineare, ed è la stessa nel caso di flusso confinato e libero.

Il contributo di tutti gli elementi analitici inseriti nel programma per definire il potenziale di deflusso, sono sommati (sovrapposti) per ottenere una soluzione complessiva al flusso di falda.

Il potenziale di deflusso è collegato direttamente all'altezza piezometrica dell'acquifero (tavola d'acqua in un acquifero libero). La derivata del potenziale di deflusso rispetto alle coordinate X ed Y è il vettore deflusso (negativo), che rappresenta una percentuale del flusso totale dell'acquifero (integrato per l'altezza dell'acquifero), per unità di larghezza dell'acquifero.

Il vettore deflusso è calcolato sovrapponendo le cosiddette funzioni derivate, che sono le derivate delle funzioni potenziali, mentre la velocità del flusso di falda è calcolato dividendo il vettore deflusso per lo spessore dell'acquifero saturo e la sua effettiva porosità.

4.2 Risultati

Tramite il programma WhAEM 2000 è stato creato un modello dell'acquifero presente nel territorio comunale di Bosisio Parini, captato dai quattro pozzi pubblici ad uso idropotabile esistenti.

Sono state effettuate due elaborazioni differenti:

1. Elaborazione che ricostruisce il cono di depressione della falda nell'intorno dei pozzi, in relazione all'assunzione della presenza di una falda uniforme con direzione ed inclinazione definita, nella quale il programma fornisce i tracciati del movimento delle particelle d'acqua nell'intorno dei pozzi, in relazione alle portate emunte dai pozzi (considerando cautelativamente le massime portate precedentemente indicate, e non quelle rilevate in fase di indagine), e considerando un Periodo di transito delle acque prefissato (considerato di 365 gg).

2. Elaborazione matematica delle Zone di Protezione dei Pozzi (WellHead Protection Areas – WHPAs), ricostruite nell'intorno del pozzo come aree di forme e dimensioni ricostruite sui movimenti delle particelle d'acqua nell'intorno dei pozzi in relazione: a orientazione ed inclinazione della superficie di falda, e al tempo di transito delle particelle d'acqua nell'acquifero, sulla base degli intervalli temporali di 60 gg, 120 gg, 240 gg, e 365 gg.

I risultati sono visibili in prima approssimazione nella Tav. 5 a fine testo, dove sono indicate le fasce di rispetto relative agli intervalli temporali sopra indicati, e le zone di cattura per un periodo di transito di 365 gg.

A livello normativo, le definizioni e le delimitazioni delle fasce di tutela assoluta di rispetto di un pozzo sono regolamentate dalla D.G.R. 28 Maggio 2008 n°8/7374: "Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11 Marzo 2005, n°2 – approvati con D.G.R. 22 Dicembre 2005, n°8/1566"

La fascia di tutela assoluta è stabilita ad una distanza non inferiore a 10 m dal pozzo.

La fascia di rispetto del pozzo, definita per mezzo del criterio temporale, deve essere definita secondo i criteri riportati nella D.G.R. n°6/15137 del 27 Giugno 1996.

In tale Delibera, il valore del tempo di sicurezza da utilizzare nei calcoli, funzione dell'intervallo di tempo necessario per poter segnalare l'arrivo di un inquinante all'opera di captazione, ed attivare interventi di risanamento e/o di approvvigionamento alternativo è stabilito in 365 gg.

Per la scelta della isocrona da utilizzare per la delimitazione delle fasce di rispetto dei pozzi, si devono fare alcune considerazioni:

- Si evidenzia la presenza di un substrato roccioso in profondità con affioramento a SE dei pozzi in oggetto, con creazione di spartiacqua orientato NE-SW;
- La presenza del Lago del Pusiano può influire sul tempo di arrivo di ipotetici inquinanti ai pozzi (riduzione), data la diversa velocità di movimento dell'acqua in caso di filtrazione e di acqua libera;
- I calcoli effettuati con apposito programma WhAEM 2000 sono stati impostati considerando una **Q_{max}** superiore alla effettiva portata d'esercizio dei pozzi comunali (a favore di sicurezza).
- Sulla base della campagna d'indagini effettuata sui pozzi oggetto di ri-perimetrazione, è stata individuata una orientazione locale del Livello Statico della falda che è circa contraria

a quella indicata nella Tav. Idrogeologica 4.a allegata al presente testo, con orientazione della falda circa 132° rispetto a N, e con una inclinazione 0,0008.

- La locale orientazione della falda, in relazione alla quota media del Lago di Pusiano, indica una situazione idrogeologica di falda locale ricaricata dal lago di Pusiano, e pertanto con zona di cattura delle acque orientata e con allungamento verso NW.

In relazione a tali considerazioni, è possibile proporre come nuova area di rispetto dei pozzi l'area delimitata dall'isocrona corrispondente a 365 giorni nella Tav. 5, con arresto della fascia in corrispondenza della linea di costa del Lago.

5 CENTRI DI POTENZIALE PERICOLO

Nella Tav. 6 a fine testo, sono state individuate le aree di potenziale pericolo per la falda in relazione alla presenza di attività potenzialmente pericolose secondo quanto evidenziato nel Dlgs 152/06 (Norme in materia di tutela ambientale), Ad esempio, secondo normativa, sono da individuare:

- piattaforme ecologiche;
- cimiteri;
- depositi di materiale;
- aree interessate da pascolo di animali;
-

Non si è a conoscenza della presenza di depositi, anche temporanei, di sostanze pericolose e/o nocive.

Non vi sono cave o attività estrattive e/o minerarie nelle aree di ricarica e non sono state evidenziate piattaforme ecologiche..

All'interno dell'area individuata come fascia di rispetto della sorgente non sono stati evidenziati cumuli e/o depositi temporanei di materiale.

Nei terreni e nelle aree a verde non è stata notata la presenza di animali al pascolo al momento del sopralluogo, ma non se ne può escludere la periodica e/o occasionale permanenza.

Sono state evidenziate le seguenti attività:

- A. AUTO-OFFICINA
- B. DEPOSITO MATERIALI (ACCUMULO RIFIUTI NON PERICOLOSI)
- C. IMBIANCATURA
- D. CIMITERO (esistente e in progetto d'ampliamento)

Una delle Auto-officine segnalate è attualmente ubicata entro la Z.R. del pozzo (raggio di 200 m da pozzo), ma esterna alle Zone di protezione calcolate dal Programma utilizzato, ed al di fuori del cono di abbassamento della falda a pozzo in funzione (vedere Tav 6).

6 NOTE CONCLUSIVE

Sulla base delle richieste del Comune di Bosisio Parini (LC) è stato redatto il presente studio idrogeologico per la ri-perimetrazione delle Zone di Rispetto dei Pozzi idro-potabili comunali in accordo a quanto previsto nel D.G.R. n°6/15137 del 27 Giugno 1996, e nel R.R. n.2 del 24 marzo 2006.

Le caratteristiche di permeabilità e trasmissività degli acquiferi captati dai pozzi comunali sono stati desunti dalle prove di pompaggio (misura della variazione del livello dell'acqua nel pozzo al variare delle condizioni di funzionamento dello stesso e dei pozzi vicini) realizzate ed utilizzate per la precedente relazione e dalle stratigrafie dei pozzi stessi.

Secondo quanto ricostruito dalle indagini effettuate, i principali deflussi idrici sono diretti da NW (Lago di Pusiano) verso SE, dove i depositi si assottigliano per la risalita e l'affioramento del substrato roccioso locale.

Utilizzando il programma WhAEM 2000, sono state ricostruite delle aree, attorno al singolo pozzo o sistema di pozzi, entro le quali i tempi di arrivo di un'ipotetica sostanza inquinante corrispondono alle isocrone prestabilite 60, 120, 240 e 365 giorni, e le Zone di depressione della falda correlati alle portate massime emungibili.

In relazione alla presenza di almeno una attività potenzialmente pericolosa a valle della zona di cattura calcolata, interna alla attuale e vigente Zona di rispetto di 200 m, si propone una Zona di Rispetto che comprenda, cautelativamente, l'area di potenziale pericolo, le Zone di protezione calcolate dal programma ed i coni di abbassamento della falda.

La zona di rispetto proposta per i pozzi del Comune di Bosisio Parini, calcolata con metodo agli elementi analitici e considerando portate emunte pari alle Q_{max} delle pompe, sono visibili nella Tav. 7 allegata a fine testo.

Nella Tav. 8 a fine testo si presenta, in stralcio, un confronto tra la Tavola dei Vincoli allegata al PGT e la tavola modificata sulla base del presente studio.

Dott. Geologo Massimo Riva

Con la collaborazione del Dott. Nicola Locatelli