

RELAZIONE

Centrale Termoelettrica "Eugenio Montale", La Spezia (SP) - Loc. Pitelli

Assetto idrogeologico del settore orientale della pianura di Vallegrande (Località Pomara e Boscalino) nei comuni di La Spezia e di Arcola

Enel Produzione S.p.A.

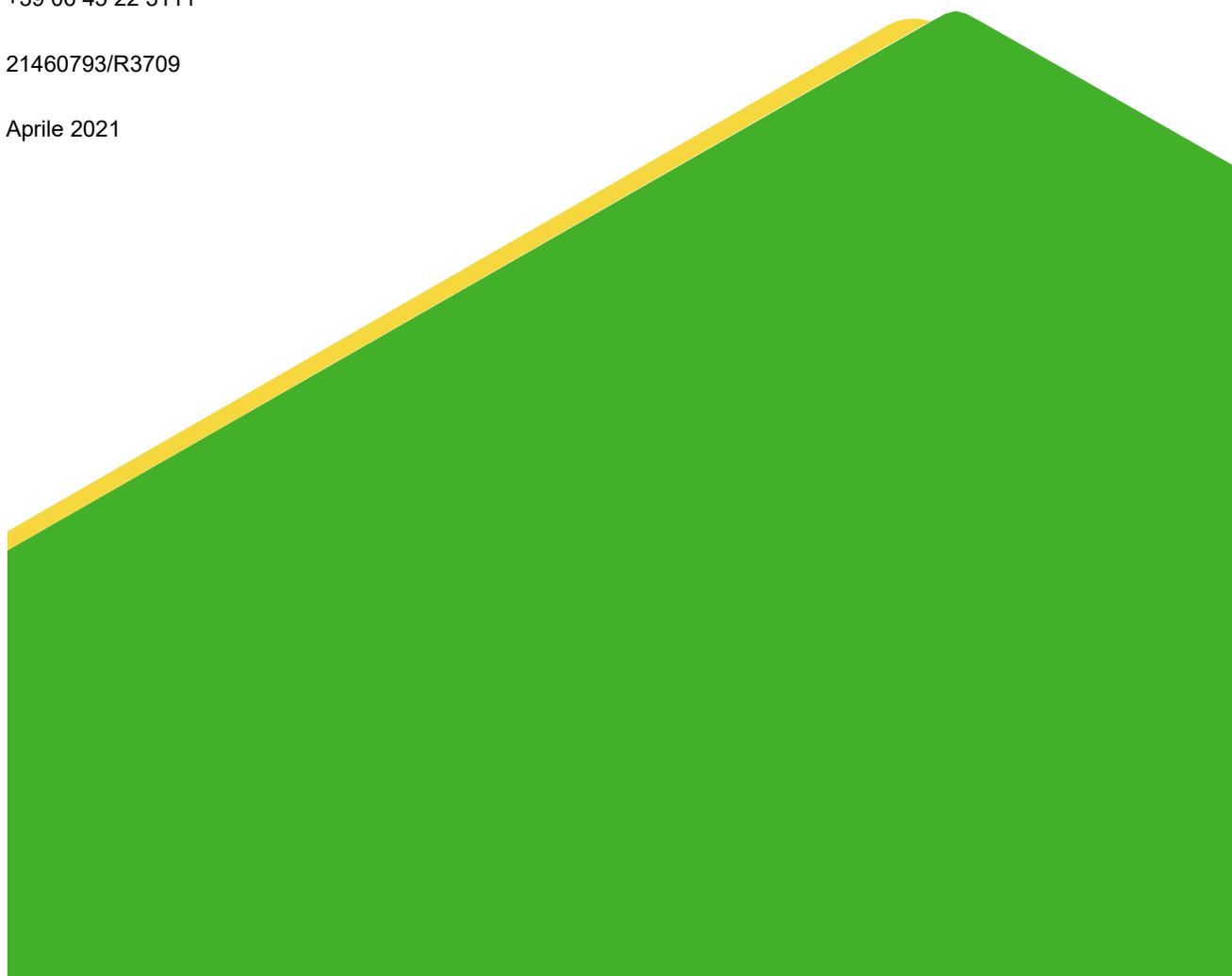
Golder Associates S.r.l.

Via Sante Bargellini 4, 00157 Roma, Italia

+39 06 45 22 3111

21460793/R3709

Aprile 2021



Lista di distribuzione

Enel Produzione S.p.A.

Limitazioni di studio

Il presente rapporto si basa in parte sulle attività eseguite in campo dalla Golder e/o altri consulenti e in parte su una serie di informazioni ambientali, geologiche e idrogeologiche direttamente raccolte e analizzate dalla Golder. Nel presente rapporto sono chiaramente esplicitati i diversi soggetti incaricati della raccolta, analisi e valutazione delle informazioni qui contenute.

I risultati, i giudizi e le conclusioni presenti in questa relazione rappresentano il nostro giudizio professionale basato sulle attuali conoscenze scientifiche d'uso corrente concernenti la caratterizzazione ambientale di siti potenzialmente inquinati.

Indice

1.0	INTRODUZIONE	5
1.1	Documentazione di riferimento	5
2.0	RIEPILOGO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE	6
3.0	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-IDROGEOLOGICO DELL'AREA IN ESAME	8
4.0	GEOCHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE	14
5.0	IDROGEOLOGIA DEL SETTORE CENTRO-OCCIDENTALE DELLA PIANURA DI VALLEGRANDE	16
6.0	IDROGEOLOGIA E GEOCHIMICA DEL SETTORE ORIENTALE DELLA PIANURA DI VALLEGRANDE	20
7.0	CONCLUSIONI	30

TABELLE

Tabella 1	– Caratteristiche costruttive dei piezometri ad oggi accessibili.....	6
Tabella 2	- Caratteristiche pozzi ancora in esercizio	21
Tabella 3	– Livelli piezometrici statici e quote assolute misurate nell'aprile 2021 sui pozzi Enel e sul piezometro prossimo al pozzo P2	26
Tabella 4	- Quote piezometriche assolute misurate sui pozzi Enel e sui piezometri a loro prossimi	26
Tabella 5	– Quote piezometriche statiche e dinamiche	27

FIGURE

Figura 1	- Estratto dal Foglio 248, Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000.....	9
Figura 2	– Planimetria della dell'area oggetto di studio con indicazione delle sezioni geologiche	10
Figura 3a	– Ricostruzione litologica del sottosuolo secondo la sezione A.....	11
Figura 4	- Grafico classificativo acque sotterranee	15
Figura 5	- Mappa delle isofreatiche (isolinee bianche) e della conducibilità a 20°C delle acque sotterranee (scala di colore). Il massimo di conducibilità è stato fissato a 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [3].	17
Figura 6	- Dati prova speditiva eseguita su piezometro area TERNA.....	18
Figura 7	- Sezione schematica che mostra il modello idrogeologico-geochimico concettuale dell'acquifero superficiale dell'area studiata, in cui sono indicate anche le principali zone di risalita delle acque termali.....	19
Figura 8	– Pozzi profondi per estrazione di acque ad uso industriale.....	20
Figura 9	- Produzione pozzi Enel dal 2002 al 2020	21
Figura 10	- Estratto Foglio 248, Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 dell'area sulla quale insistono i pozzi Enel	23
Figura 11	- Stratigrafia sondaggio S2 Boscalino da [4]	24
Figura 12	- Grafico Cl-SO ₄ acque sotterranee area Pomara Boscalino	25

Figura 13 - Livelli piezometrici assoluti misurati sui pozzi Enel nel 1999 [6]	27
Figura 14 - Sezione geologica ripresa e modificata da [4]	29

APPENDICI

- Appendice 1 Planimetria dell'area con ubicazione dei piezometri di monitoraggio e dei pozzi di approvvigionamento
- Appendice 2 Foto aerea con localizzazione pozzi e piezometri
- Appendice 3 Disegni costruttivi dei pozzi

1.0 INTRODUZIONE

Nell'ambito dell'iter autorizzativo di procedimento di VIA per il Progetto di sostituzione dell'unità a carbone esistente con una nuova unità a gas presso la Centrale termoelettrica di La Spezia "Eugenio Montale", sono state formulate dalla Commissione Tecnico VIA (CTVIA - nota del 09.03.2021 prot. n.1202) e trasmesse con nota del Ministero della Transizione Ecologica ("MiTE") il 18.03.2021 (prot.n.28556), alcune richieste di integrazioni e di chiarimento.

In particolare, la richiesta n.7 viene di seguito riportata:

“Considerato che gli interventi di bonifica e riqualificazione sono stati coadiuvati da una rete di piezometri, occorre approfondire l'assetto idrogeologico locale e alla scala di area vasta, indicando inoltre la localizzazione e le caratteristiche di tutti i pozzi presenti e relativi usi, fra cui quelli oggetto di prelievi idrici per il funzionamento nella configurazione attuale, quantificando gli effetti idrogeologici derivanti dall'azzeramento dei prelievi nella configurazione di progetto.”

Il presente rapporto è quindi finalizzato ad approfondire l'assetto idrogeologico dell'area in esame e dell'area vasta, sulla scorta anche delle informazioni desunte dalla rete di monitoraggio delle acque sotterranee realizzata nell'ambito dei procedimenti di bonifica che hanno interessato le aree di competenza Enel. Inoltre, con particolare riferimento al settore orientale (località Pomara - Boscalino) sul quale insistono n.4 pozzi profondi a servizio della Centrale, si è proceduto alla valutazione dei possibili effetti derivanti dalla cessazione dei prelievi dagli stessi e già progressivamente ridotti negli ultimi anni.

1.1 Documentazione di riferimento

L'approfondimento si basa sul riesame di studi pregressi e di materiale bibliografico disponibile sull'area. La documentazione utilizzata, che si dà per nota, è elencata di seguito e richiamata nel testo con il numero di riferimento racchiuso tra parentesi quadre:

- [1] Le acque Termo-minerali del Golfo della Spezia (Brozzo, 1998);
- [2] Studio di fattibilità per lo sfruttamento delle sorgenti termali della città della Spezia (ACAM Acque S.p.A., Università di Genova, 2004);
- [3] Studio geochimico delle acque di falda nel sito di Pitelli, ed in particolare nella zona della centrale termoelettrica Enel della Spezia Eugenio Montale” (ACAM Acque S.p.A., ARPAL, 2007);
- [4] Assetto litologico ed idrogeologico dell'area della Centrale di La Spezia (Enel Ricerca, Rapporto tematico AMB 1999-0192, 1999);
- [5] Analisi e rilievi piezometrici sui pozzi Enel (ARPAL prot. 5635 del 02/07/2007);
- [6] Studio idrogeologico pozzi Enel (Rapporto CESI A3/041944, 2003);
- [7] Analisi chimiche pozzi del 17/09/2020 (Agrolab, 2020).

2.0 RIEPILOGO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE

L'area di studio è stata interessata nel corso degli anni da diverse campagne di indagine che hanno coinvolto l'area di Centrale, l'area Carbonili, i bacini di spegnimento delle ceneri oltre che le aree immediatamente a monte e a valle degli stessi (cfr. Appendice 1).

Le prime indagini risalgono al periodo 1998÷1999 nell'ambito del monitoraggio ambientale volto alla definizione delle condizioni di qualità del terreno e delle acque sotterranee presso il sito della Centrale Enel, con particolare attenzione alle implicazioni relative alla dismissione dei bacini cenere. In quest'ambito sono stati realizzati 15 punti di indagine, di cui 12 attrezzati a piezometro, volti a definire sia la geometria che le caratteristiche delle unità litologiche e idrogeologiche che contraddistinguono l'area.

A partire dal 2003, in conformità a quanto previsto dal Piano della Caratterizzazione approvato nel corso della Conferenza dei Servizi decisoria di 20 dicembre 2002, sono stati realizzati 12 sondaggi a carotaggio continuo che ricadono all'interno dell'area dei bacini cenere. Di questi 12 sondaggi, 6 sono stati allestiti a piezometri (in accordo con quanto previsto dal "Progetto Preliminare di Messa in Sicurezza – Giugno 2002") per il prelievo di campioni rappresentativi delle acque sotterranee dei bacini e per il monitoraggio del livello freatico. I sondaggi realizzati all'interno dell'area bacini, identificati con le sigle S56, S57, S62, S63, S64, S69, S70, S71, S73, S74, S75 e S76; sono stati approfonditi fino a raggiungere il letto delle ceneri e non intaccare lo strato limoso a bassa permeabilità che si trova al di sotto di esse ed evitare fenomeni di contaminazione indotta.

Nel mese di dicembre 2003, sono stati realizzati ulteriori quattro sondaggi a carotaggio continuo, adiacenti ai bacini stessi di cui tre (S41, S48 e S55) ubicati a valle dei bacini ed uno (S77) a monte degli stessi. In seguito, tali sondaggi sono stati attrezzati a piezometri, per il prelievo dei campioni di acque e per il monitoraggio del livello freatico.

Nel mese di aprile 2004 sono stati realizzati ulteriori due piezometri di monitoraggio, S78 e S79, ubicati lungo il confine nord-orientale dei bacini. Le perforazioni sono state approfondite rispettivamente fino a 8 m da p.c. e hanno permesso di escludere la presenza di un flusso idrico significativo proveniente dal versante collinare limitrofo verso i bacini.

Nella seguente **Tabella 1** sono riportate le caratteristiche realizzative e costruttive dei piezometri ad oggi accessibili.

Tabella 1 – Caratteristiche costruttive dei piezometri ad presenti in sito

Id.	Area pertinenza	Anno	Profondità perforazione (m)	Tipologia	E (UTM)	N (UTM)	Bocca pozzo (m s.l.m.)
P2	Area Centrale	1998	45,0	Piezometro	570267,61	4884559,43	6,68
S1	Bacino Cenere	1998	19,8	Piezometro	570504,07	4884286,53	25,57
S8	Bacino Cenere	1998	15,0	Piezometro	570437,53	4884310,70	23,15
A2	Area Centrale	1999	n.d.	Piezometro	570561,41	4884009,40	21,11
A3	Area Centrale	1999	n.d.	Piezometro	570057,66	4884367,42	5,98
A4	Area Centrale	1999	n.d.	Piezometro	570115,34	4884507,15	6,06
A5	Area Centrale	1999	n.d.	Piezometro	n.d.	n.d.	n.d.
S57	Bacino Cenere	2003	12,0	Piezometro	570319,53	4884402,54	24,55
S62	Bacino Cenere	2003	12,0	Piezometro	570415,00	4884500,82	23,91
S63	Bacino Cenere	2003	17,1	Piezometro	570406,55	4884423,85	24,24

Id.	Area pertinenza	Anno	Profondità perforazione (m)	Tipologia	E (UTM)	N (UTM)	Bocca pozzo (m s.l.m.)
S73	Bacino Cenere	2003	6,7	Piezometro	570522,81	4884209,64	24,30
S74	Bacino Cenere	2003	13,0	Piezometro	570619,63	4884301,21	24,97
S75	Bacino Cenere	2003	8,9	Piezometro	570616,08	4884200,03	24,55
S41A	Area Centrale	2003	6,0	Piezometro	570119,29	4884599,93	5,70
S41B	Area Centrale	2003	21,0	Piezometro	570119,83	4884598,68	5,66
S48A	Area Centrale	2003	6,0	Piezometro	570224,26	4884598,42	5,86
S48B	Area Centrale	2003	21,0	Piezometro	570223,66	4884599,74	5,67
S55A	Area Centrale	2003	6,0	Piezometro	570324,24	4884612,61	11,78
S55B	Area Centrale	2003	21,0	Piezometro	570323,49	4884613,54	11,83
S77A	Monte Bacini	2003	6,0	Piezometro	570655,78	4884179,52	20,84
S77B	Monte Bacini	2003	21,0	Piezometro	570656,24	4884180,17	20,88
S26	Area Centrale	2003	9,0	Piezometro	570015,00	4884988,00	5,80
S23	Area Centrale	2003	9,0	Piezometro	569895,00	4884893,00	5,78
S31	Area Centrale	2003	9,0	Piezometro	570099,00	4885064,00	6,61
R05	Area Centrale	2003	6,0	Piezometro	569920,00	4885077,00	5,99
R07	Area Centrale	2003	6,0	Piezometro	570203,00	4885016,00	6,01
S16	Carbonile	2003	9,0	Piezometro	569700,00	4884606,00	6,98
S13	Carbonile	2003	9,0	Piezometro	569597,00	4884612,00	5,48
R14	Carbonile	2003	6,0	Piezometro	569651,00	4884655,00	7,20
S19	Carbonile	2003	10,0	Piezometro	569701,00	4884312,00	19,37
R15	Carbonile	2003	9,0	Piezometro	569741,00	4884640,00	5,49
S01	Carbonile	2003	9,0	Piezometro	569097,00	4884630,00	2,75
S03	Carbonile	2003	9,0	Piezometro	569089,00	4884516,00	2,68
A07	Carbonile	1998	10,8	Piezometro	569162,40	4884687,60	n.d.
R13B	Loc. Boscalino	2003	21,0	Piezometro	570981,00	4884396,00	21,28
R13A	Loc. Boscalino	2003	6,0	Piezometro	570981,00	4884396,00	21,25
P1	Loc. Pomara	1985	81,0	Pozzo	n.d.	n.d.	20,35
P2	Area TERNA	1988	81,0	Pozzo	n.d.	n.d.	21,74
P4	Loc. Boscalino	1985	74,0	Pozzo	n.d.	n.d.	21,71
P5	Loc. Pomara	1985	80,0	Pozzo	n.d.	n.d.	20,72
S78	Bacino Cenere	2004	8,0	Piezometro	570512,90	4884434,42	27,72
S79	Bacino Cenere	2004	8,0	Piezometro	570619,29	4884358,95	27,79
PM1	Area Centrale	2020	21,0	Piezometro	n.d.	n.d.	n.d.
PM2	Area Centrale	2020	20,0	Piezometro	n.d.	n.d.	n.d.
S112	Carbonile	2004	n.d.	Piezometro	569714,04	4884646,40	5,50

Id.	Area pertinenza	Anno	Profondità perforazione (m)	Tipologia	E (UTM)	N (UTM)	Bocca pozzo (m s.l.m.)
S113	Carbonile	2004	n.d.	Piezometro	569775,49	4884635,66	5,23
S114	Area Centrale	2004	n.d.	Piezometro	569820,07	4884829,08	5,72
S115	Area Centrale	2004	n.d.	Piezometro	569864,09	4884874,86	5,35
S116	Area centrale	2004	n.d.	Piezometro	570050,45	4885076,05	5,30
PZ257	Le Pianazze	2011	15,00	Piezometro	n.d.	n.d.	6,30

3.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-IDROGEOLOGICO DELL'AREA IN ESAME

La pianura di Vallegrande è un'estesa area valliva allungata in senso Est-Ovest che va dalle località Stagnoni e Fossamastra, prossime al centro urbano della Spezia, ai rilievi collinari di Baccano e Fresonara nel Comune di Arcola. Nel settore Orientale la depressione valliva si divide in due rami, uno settentrionale (località Pianazze) ed uno meridionale che si allarga in un'ampia area pianeggiante (località Pian di Pitelli, Pomara e Boscalino).

La pianura di natura alluvionale è caratterizzata da un articolato e complesso assetto geologico ed idrogeologico, complicato dalla presenza di zone diffuse di risalita di acque ipotermali solfato-calciche.

L'area è circondata da rilievi collinari sui quali affiorano prevalentemente quarziti e filladi attribuibili alla Unità Tettonica di Massa mentre l'area pianeggiante è colmata da depositi alluvionali e marini (vedi **Figura 1**, estratta dal Foglio 248 della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000).

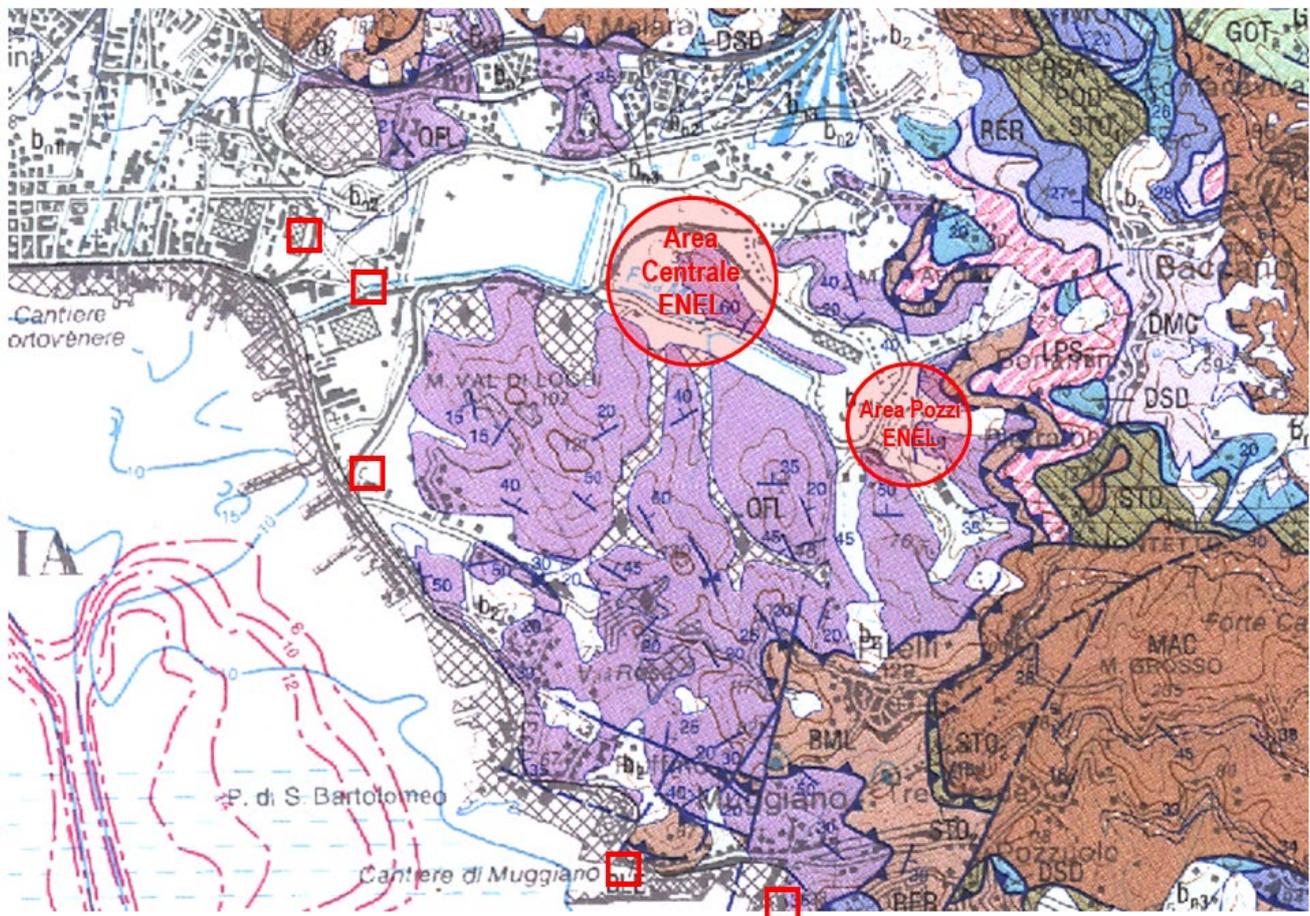


Figura 1 - Estratto dal Foglio 248, Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000.

Sono indicati l'area della Centrale Enel, l'area sulla quale insistono i pozzi Enel e le principali emergenze naturali di acque termali (simbolo □). Le litologie affioranti sui rilievi circostanti la pianura sono rappresentate dalle quarziti e filladi (QFL), dalle Brecce di Maralunga (BML), dai Calcari di Portovenere (LPS) mentre la pianura è colmata dai depositi alluvionali terrazzati (b1-4).

Lo spessore di quarziti e filladi è stimabile in circa 50 m (Federici e Raggi, 1975), mentre lo spessore dell'intera Unità Tettonica di Massa (comprendendo anche i litotipi sottostanti le quarziti e filladi carniche, ossia anageniti, filladi violette, metabrecce poligeniche, metavulcaniti, filladi e calcescisti, marmi di Punta Bianca, metaconglomerati, metarenarie e metapeliti, metaconglomerati verdastri) è valutabile in circa 250 m (Foglio 248 della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000). Al di sotto della Unità Tettonica di Massa si posizionano le Filladi e Quarziti di Buti non visibili in affioramento. La geologia di sottosuolo a profondità superiori a 300 m è totalmente sconosciuta.

Al di sopra della Unità Tettonica di Massa è sovrascorsa la Falda Toscana e fra le due sono interposte le breccie tettoniche note come Brecce di Maralunga e Brecce di Lerici (Foglio 248 della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000) o Unità di Lerici-Tellaro (Federici e Raggi, 1975). La Falda Toscana comprende, nel settore orientale dell'area, sia terreni calcareo-dolomitici (zona di Monte Branzi) sia facies clastiche (Macigno, zona di Pitelli-Canarbino), mentre la presenza di rocce evaporitiche (gessi e anidriti), peraltro non visibili in affioramento, è possibile nelle brecce di Maralunga.

Dall'analisi bibliografica è stato possibile ricavare una caratterizzazione geologica ed idrogeologica dei depositi alluvionali e marini, elaborata a seguito della revisione di una gran mole di dati stratigrafici relativi a perforazioni effettuate nella zona di studio [2]. Quasi tutte le stratigrafie esaminate interessano i depositi quaternari recenti

e solo in alcuni casi è stato raggiunto il substrato roccioso quarzítico. Dall'analisi di questi dati la sequenza dei depositi quaternari recenti può essere così schematizzata:

- (1) una sequenza clastica superiore, con prevalenza di granulometrie fini (argille, limi, limi sabbiosi), localmente con presenza di torbe e materiale organico marino non decomposto;
- (2) una sequenza clastica inferiore, meno potente costituita da materiali più grossolani (sabbie e ghiaie), che poggia direttamente sul substrato roccioso.

Avvicinandosi alla linea di costa aumenta lo spessore della sequenza superiore e compaiono, al suo interno, livelli torbosi e livelli di origine marina. Questi ultimi non sono riconoscibili nel settore più orientale della pianura.

Nel settore compreso tra l'area della Centrale Enel e la località Stagnoni il substrato quarzítico è stato rinvenuto a profondità variabili tra i 14 m (ad Est) e i 42 m (ad Ovest). Ai margini orientali della pianura (località Boscalino e Pomara) il substrato roccioso è stato rinvenuto invece a profondità variabili tra 16 e 19 m ed è stato attribuito alla formazione del Calcare Cavernoso corrispondente alla formazione delle Breccie di Maralunga nella cartografia geologica attuale [4].

Di seguito si riportano le sezioni rappresentative delle sequenze litostratigrafiche che caratterizzano l'area oggetto di studio (**Figura 3**).

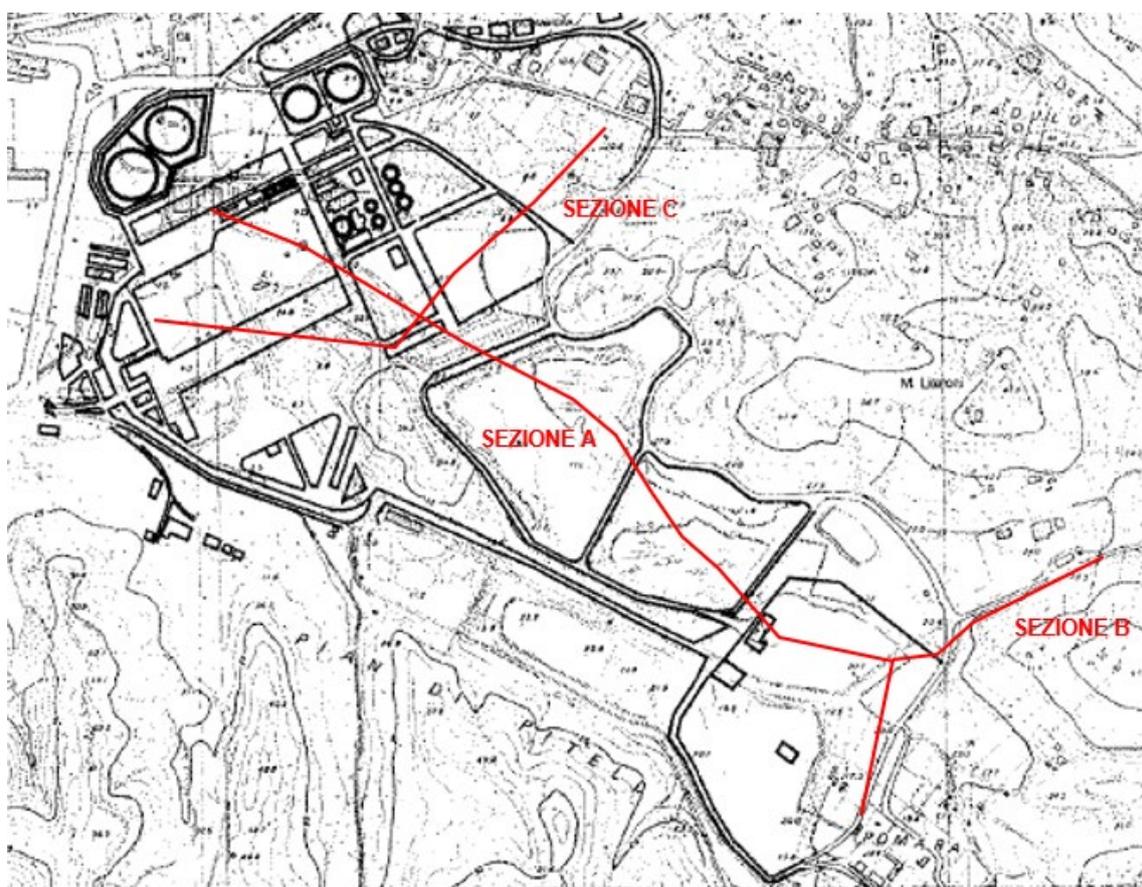
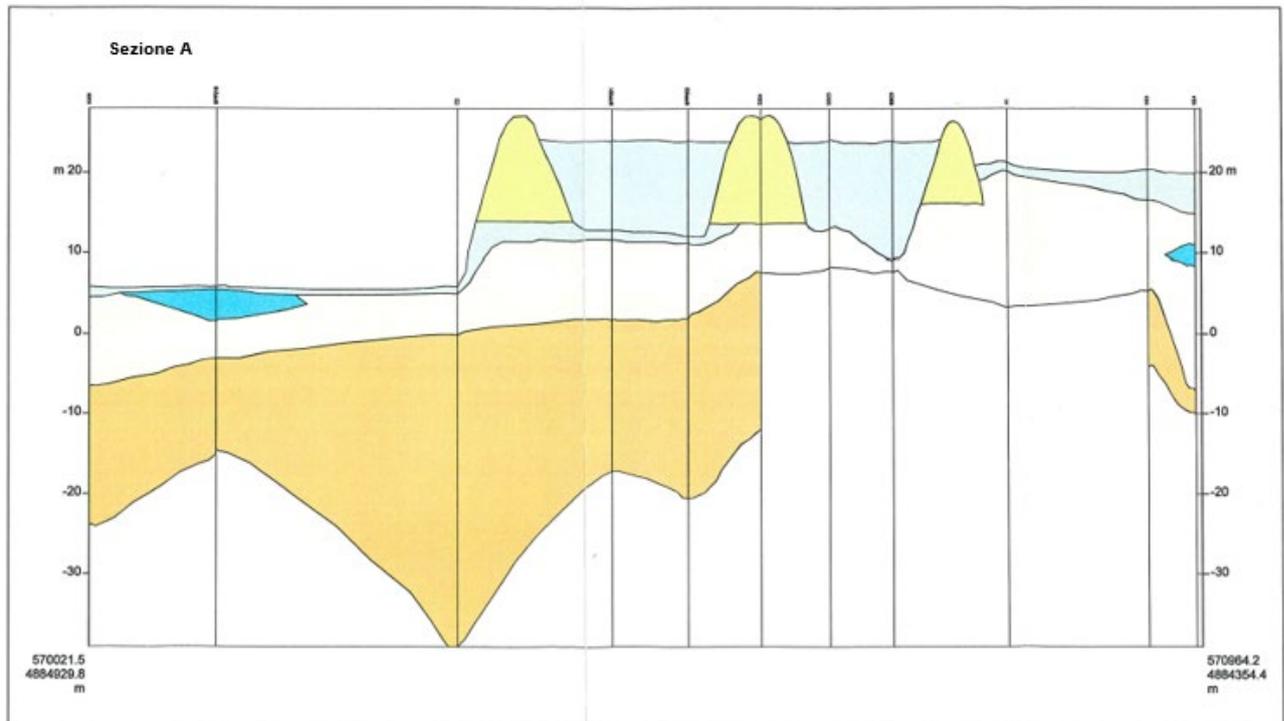


Figura 2 – Planimetria della dell'area oggetto di studio con indicazione delle sezioni geologiche



Legenda



Terreni di riporto - Si tratta di depositi eterogenei di origine per lo più antropica:

- a - laterizi e resti di vecchi terrapieni e riempimenti (ghiaie e sabbie);
- b - ceneri residue dai processi di combustione della centrale e dell'ex-impianto di incenerimento C.I.R.
- c - depositi che costituiscono i terrapieni degli argini dei due bacini ceneri

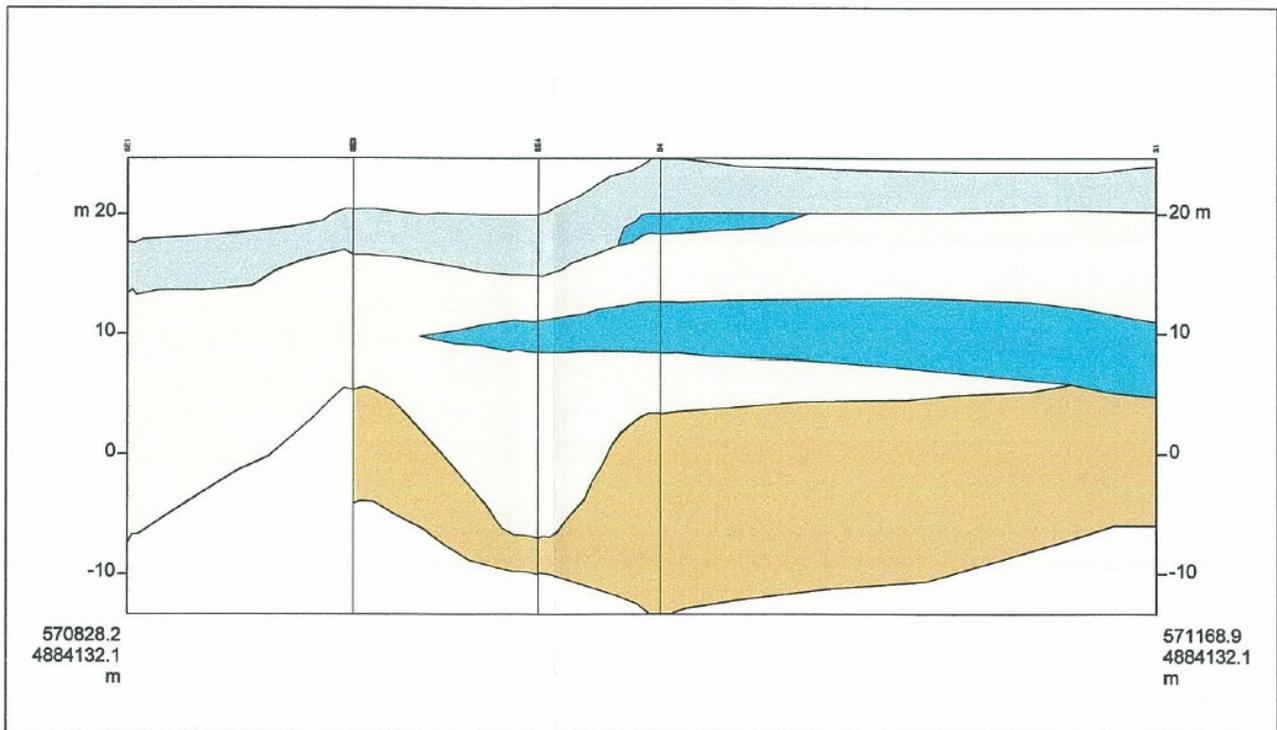
Depositi ghiaioso-sabbiosi - sono di terreni a composizione granulometrica prevalentemente medio-grossolana, di natura per lo più alluvionale o derivanti dal disfacimento delle pareti rocciose della valle (detriti di falda).



Depositi a prevalenza di limo - Con questa dicitura si comprendono tutti i depositi a granulometria fine che ricoprono l'area di fondovalle del Pian dei Pitelli. La loro natura è varia, da alluvionale a marina a fluvio-lacustre; in alcuni punti si identificano singoli livelli, anche piuttosto estesi, argillosi o sabbiosi, tuttavia l'elemento granulometrico prevalente, pressoché costante, è quello limoso.

Depositi a prevalenza di breccie - Sono depositi derivanti dalla disaggregazione del substrato roccioso di natura prevalentemente quarzatico-arenacea. La granulometria di questi depositi è per lo più molto grossolana (ghiaie, ciottoli e breccie) tuttavia in alcuni casi l'alterazione del substrato roccioso è tale che questi depositi arrivano ad avere granulometrie tipiche dei limi e delle sabbie fini. All'interno di questa unità sono quindi stati raggruppati, livelli brecciati e ghiaiosi, livelli costituiti da roccia e trovanti molto frantumati e lenti di limi sabbiosi.

Figura 3a – Ricostruzione litologica del sottosuolo secondo la sezione A



Legenda

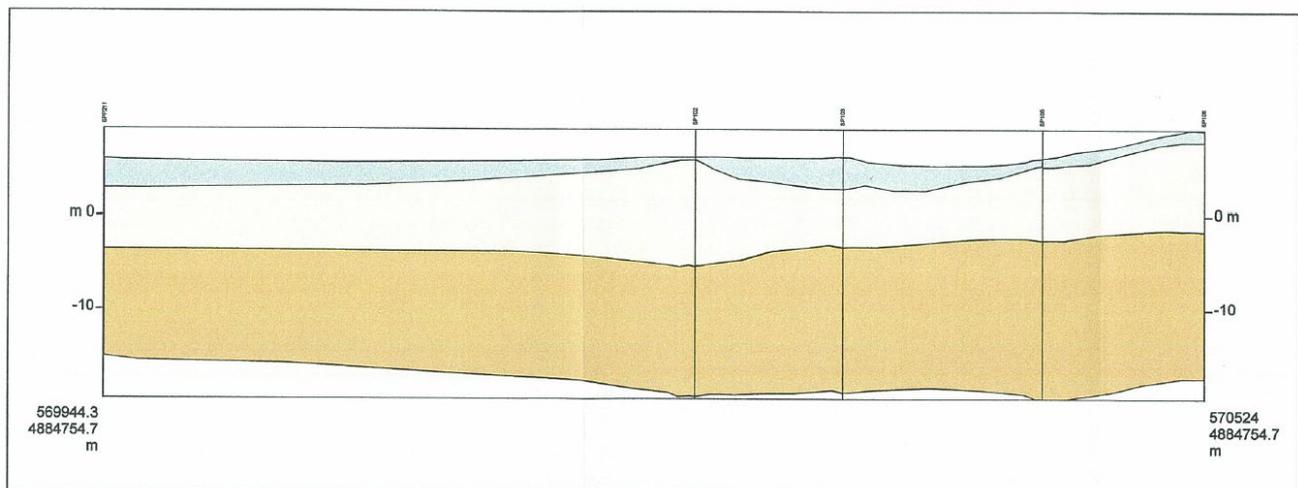
- a
 - b
 - c
- Terreni di riporto** - Si tratta di depositi eterogenei di origine per lo più antropica:
- a - laterizi e resti di vecchi terrapieni e riempimenti (ghiaie e sabbie);
 - b - ceneri residue dai processi di combustione della centrale e dell'ex-impianto di incenerimento C.I.R.
 - c - depositi che costituiscono i terrapieni degli argini dei due bacini ceneri

Depositi ghiaioso-sabbiosi - sono di terreni a composizione granulometrica prevalentemente medio-grossolana, di natura per lo più alluvionale o derivanti dal disfacimento delle pareti rocciose della valle (detriti di faida).

Depositi a prevalenza di limo - Con questa dicitura si comprendono tutti i depositi a granulometria fine che ricoprono l'area di fondovalle del Pian dei Pitelli. La loro natura è varia, da alluvionale a marina a fluvio-lacustre; in alcuni punti si identificano singole lenti, anche piuttosto estese, argillose o sabbiose, tuttavia l'elemento granulometrico prevalente, pressochè costante, è quello limoso.

Depositi a prevalenza di breccie - Sono depositi derivanti dalla disgregazione del substrato roccioso di natura prevalentemente quarzico-arenacea. La granulometria di questi depositi è per lo più molto grossolana (ghiaie, ciottoli e breccie) tuttavia in alcuni casi l'alterazione del substrato roccioso è tale che questi depositi arrivano ad avere granulometrie tipiche dei limi e delle sabbie fini. All'interno di questa unità sono quindi stati raggruppati, livelli brecciati e ghiaiosi, livelli costituiti da roccia e trovanti molto fratturati e lenti di limi sabbiosi.

Figura 3b – Ricostruzione litologica del sottosuolo secondo la sezione B



Legenda



Terreni di riporto - Si tratta di depositi eterogenei di origine per lo più antropica:

- a - laterizi e resti di vecchi terrapieni e riempimenti (ghiaie e sabbie);
- b - ceneri residue dai processi di combustione della centrale e dell'ex-impianto di incenerimento C.I.R.
- c - depositi che costituiscono i terrapieni degli argini dei due bacini ceneri



Depositi ghiaioso-sabbiosi - sono di terreni a composizione granulometrica prevalentemente medio-grossolana, di natura per lo più alluvionale o derivanti dal distacco delle pareti rocciose della valle (detriti di falda).



Depositi a prevalenza di limo - Con questa dicitura si comprendono tutti i depositi a granulometria fine che ricoprono l'area di fondovalle del Pian dei Pirelli. La loro natura è varia, da alluvionale a marina a fluvio-lacustre; in alcuni punti si identificano singole lenti, anche piuttosto estese, argillose o sabbiose, tuttavia l'elemento granulometrico prevalente, pressoché costante, è quello limoso.



Depositi a prevalenza di breccie - Sono depositi derivanti dalla disaggregazione del substrato roccioso di natura prevalentemente quarzifico-arenacea. La granulometria di questi depositi è per lo più molto grossolana (ghiaie, ciottoli e breccie) tuttavia in alcuni casi l'alterazione del substrato roccioso è tale che questi depositi arrivano ad avere granulometrie tipiche dei limi e delle sabbie fini. All'interno di questa unità sono quindi stati raggruppati, livelli brecciatati e ghiaiosi, livelli costituiti da roccia e trovanti molto fraturati e lenti di limi sabbiosi.

Figura 3c – Ricostruzione litologica del sottosuolo secondo la sezione C

4.0 GEOCHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE

La conoscenza della complessa geochimica delle acque sotterranee dell'area in esame è fondamentale per comprenderne l'idrogeologia perché permette di riconoscere i diversi poli composizionali che caratterizzano le acque sotterranee locali e di risalire quindi all'identificazione delle diverse "rocce serbatoio" ed alla valutazione dei loro contributi all'alimentazione degli acquiferi superficiali.

Il grafico di **Figura 4**, ripreso e modificata da [2], che considera dati raccolti nel 2004, rappresenta il diagramma classificativo di Langelier-Ludwig con HCO_3^- come anione isolato dove sono stati rappresentati con simboli diversi i seguenti gruppi di acque sotterranee, riconoscibili nell'area in esame:

- (1) le acque termali di Stagnoni-San Bartolomeo rinvenute anche in diversi piezometri dell'area della Centrale Enel, caratterizzate da composizione $\text{SO}_4^{2-} > 2\text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^{2+}$ di elevata salinità, indicate con quadrati nel grafico e racchiuse nell'area arancione;
- (2) le acque dei Pozzi Enel P2, P4 e P5 in località Pomara appartenenti alla facies $\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$, di media salinità, indicate con cerchi viola;
- (3) le acque con composizione $2\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ di bassa salinità e le loro miscele con acque di tipo (1), indicate con croci nel grafico. A questo gruppo appartiene anche il Pozzo Enel P1 indicato nel grafico con un cerchio azzurro.

I gruppi (1) e (2) differiscono principalmente per la presenza di una componente $2\text{Cl}^- - \text{Na}^{2+}$ presente nelle acque termali, componente invece assente nelle acque $\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$. Sia le acque ipotermali che quelle $\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$ dei pozzi Enel acquisiscono il solfato disciolto per interazione con la formazione delle Breccie di Maralunga (ex Calcare Cavernoso degli Autori), breccie tettoniche che dovrebbero rappresentare un corpo continuo o abbastanza continuo al disotto della Falda Toscana lungo il promontorio Orientale del Golfo della Spezia [2]. Dal punto di vista idrogeologico le acque del tipo (1) sono alimentate da una circolazione profonda con risalite localizzate, talora con caratteri di cartesianesimo, mentre le acque di tipo (2) dei pozzi Enel provengono da circuiti sotterranei meno profondi e localizzati nei rilievi calcarei che delimitano ad Est la pianura di Vallegrande (colline di Pietralba e Baccano).

Le acque del gruppo (3) definiscono nel grafico un allineamento fra il gruppo (1) (acque $\text{SO}_4^{2-} > 2\text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^{2+}$) e le acque $2\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ di circolazione superficiale (posizionate vicino al vertice in basso a destra del grafico e racchiuse dal campo azzurro), allineamento che indica il verificarsi di fenomeni di miscelamento fra questi due tipi di acque (allineamento indicato dalla linea tratteggiata). Ciò avviene a seguito della risalita delle acque termali e della loro infiltrazione nella falda superficiale, ospitata nelle alluvioni, dove circolano appunto le acque $2\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$.

Nel diagramma sono mostrati anche gli effetti teorici della riduzione batterica del solfato accompagnata da precipitazione di calcite, processo che riveste un ruolo importante nella genesi della composizione di molte delle acque sotterranee dell'area in esame ed in particolare di quelle rinvenute in diversi piezometri dell'area della Centrale.

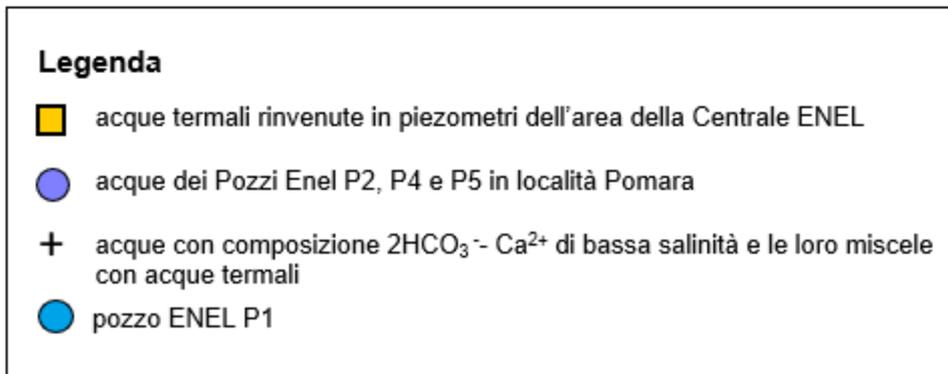
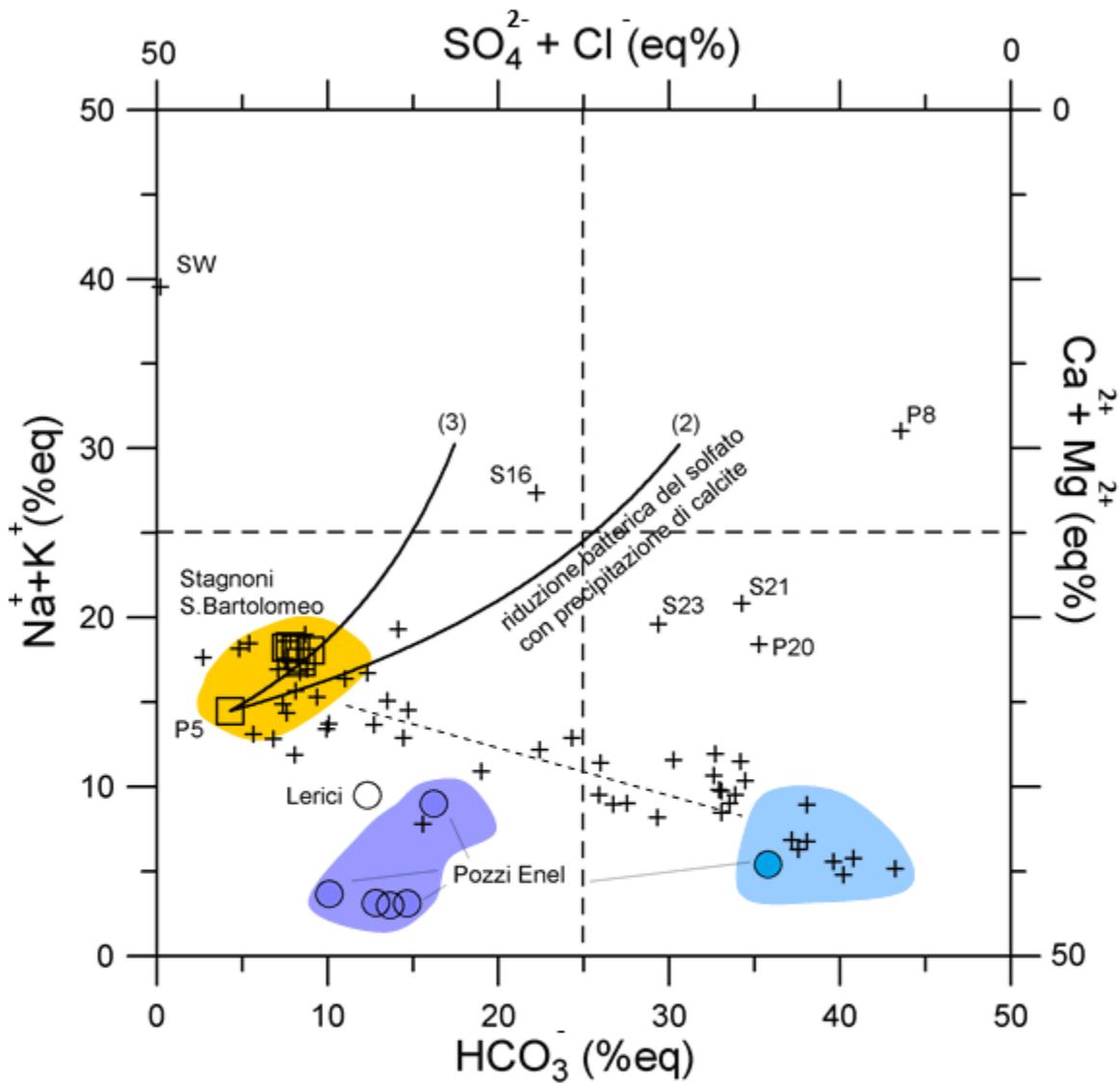


Figura 4 - Grafico classificativo acque sotterranee

Gli effetti di questo processo sono stati calcolati in base alla stechiometria della reazione di riduzione del solfato ad opera della materia organica:



assumendo che quest'ultima abbia una composizione media approssimata dalla formula CH_2O , e di due possibili reazioni di precipitazione della calcite:



caratterizzate da un diverso rapporto Ca/HCO_3^- . La reazione (1) rappresenta una condizione limite, in quanto secondo essa tutta la materia organica verrebbe ossidata a HCO_3^- , mentre in parte potrebbe venire prodotta CO_2 invece di HCO_3^- , in funzione del pH vigente. Va anche detto che, qualora la riduzione batterica del solfato non fosse accompagnata da precipitazione di calcite, essa verrebbe descritta da una traiettoria parallela all'asse delle ascisse nei diagrammi di Langelier-Ludwig. Nonostante queste incertezze, è evidente che le composizioni di alcune acque sotterranee potrebbero essere raggiunte a partire da campioni del gruppo (1), eventualmente diluiti, mediante riduzione batterica del solfato accompagnata da precipitazione di calcite.

5.0 IDROGEOLOGIA DEL SETTORE CENTRO-OCCIDENTALE DELLA PIANURA DI VALLEGRANDE

Nella **Figura 5** è rappresentata la mappa delle isofreatiche (isolinee bianche) assieme alla distribuzione della conducibilità elettrica a 20°C delle acque sotterranee (scala di colore). La ricostruzione della piezometria si basa su dati rilevati durante l'indagine ARPAL/ACAM del 2007 [3] integrati con altri dati raccolti durante altre indagini (Brozzo, dati inediti, 1997-1998-1999-2002-2003-2005-2006). La mappa che non arriva ad interessare l'area di Pomara - Boscalino, per la quale, all'epoca delle indagini citate, non erano stati richiesti approfondimenti, risulta tuttavia utile per l'inquadramento idrogeologico e geochimico dell'acquifero contenuto nei depositi quaternari.

Dal rapporto [3]: "... Le quote piezometriche assolute variano da massimi attorno a 8.5 m slm nel settore E dell'area di indagine (località Pianazze) a 0.5 m slm nel settore W dove la superficie piezometrica si raccorda con la superficie marina. Il flusso sotterraneo è di conseguenza diretto da E a W. Il pannello delle isolinee è caratterizzato dalla presenza di un asse principale di drenaggio diretto EW che attraversa la pianura nella zona mediana e da due assi meno marcati provenienti rispettivamente da Nord (alimentazione dal bacino del Torrente Melara) e da SW (alimentazione dai modesti impluvi dei rilievi quarziticci posti a Sud dell'area Enel)".

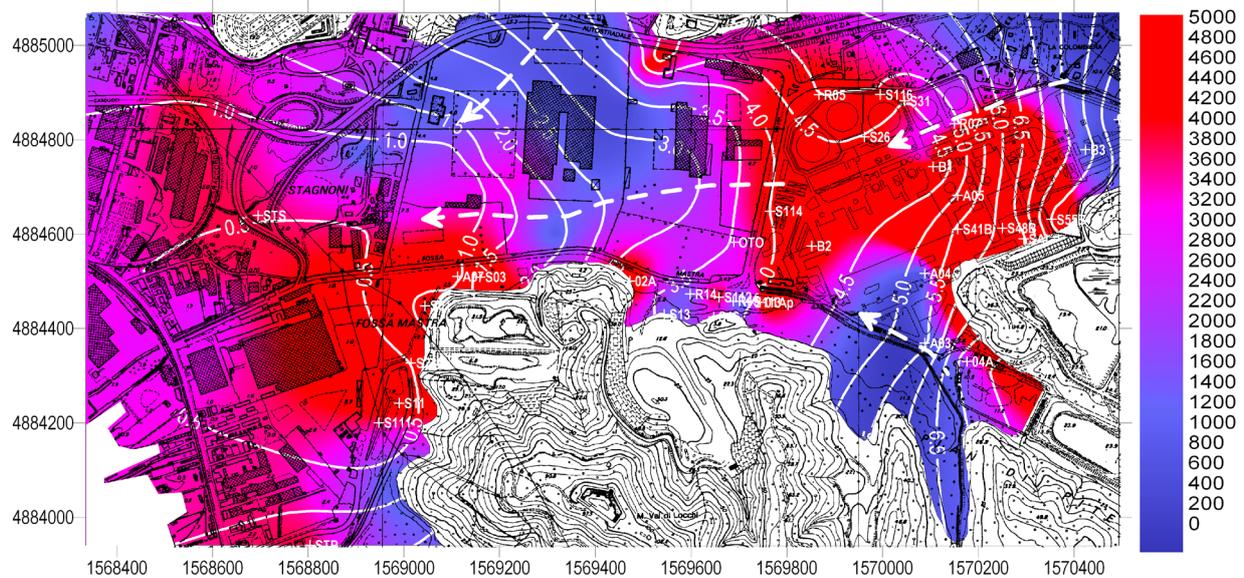


Figura 5 - Mappa delle isofreatiche (isolinee bianche) e della conducibilità a 20°C delle acque sotterranee (scala di colore). Il massimo di conducibilità è stato fissato a 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [3].

Nella mappa le aree a maggiore conducibilità elettrica sono associate alla risalita di acque ipotermali; per maggiori dettagli sui dati rilevati e sulla loro elaborazione si rimanda alla lettura del rapporto [3].

Ai fini di questo lavoro sono utili i dati di trasmissività ottenuti da prove speditive di abbassamento eseguite nel 2007 sui piezometri dell'area circostante la Centrale Enel [3]: "... Dai dati di livello stabilizzati, attraverso il calcolo della portata specifica, è stata ricavata una stima della trasmissività (T) dell'acquifero secondo la relazione semplificata: $T \approx 1.22 \cdot Q_s$ (Celico, 1986), nella quale Q_s rappresenta la portata specifica del pozzo. I calcoli effettuati per tutti i piezometri hanno fornito valori di trasmissività compresi tra $7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ e $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ con valore mediano attorno a $4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Tenendo conto dei dati stratigrafici disponibili sullo spessore dell'acquifero superficiale, i valori più bassi di trasmissività sono in buon accordo con le misure di permeabilità ottenute con prove Lefranc su alcuni piezometri della pianura (valori attorno a $6 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ - Brozzo 1997, $2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ - ARPAL, 2005) e confermano che l'acquifero superficiale è costituito in prevalenza da sedimenti poco permeabili quali limi e limi sabbiosi".

Di particolare interesse è il dato emerso dalla prova speditiva eseguita sul piezometro dell'area TERNA (piezometro A1 nella foto aerea di localizzazione in **Appendice 2**) in località Pian di Pitelli che ha fornito valori di trasmissività di circa $4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ al quale corrisponde una permeabilità, tenendo conto dello spessore saturo H di circa 13 m, stimata attorno ai $3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$, valori ancora riconducibili a sedimenti poco permeabili limosi e limoso-sabbiosi (**Figura 6**).

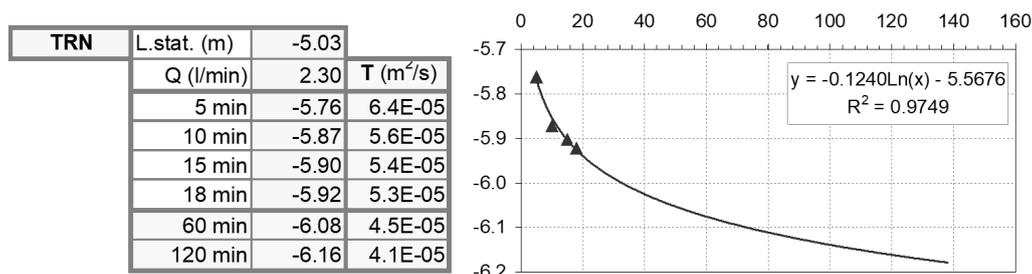


Figura 6 - Dati prova speditiva eseguita su piezometro area TERNA

Lo studio contenuto in [3] ha permesso di elaborare un modello idrogeologico-geochimico concettuale degli acquiferi del settore centro occidentale della piana di Vallegrande (**Figura 7**). Come indicato nell'indagine ARPAL/ACAM del 2007 [3], partendo dal limite Est della pianura, si osserva:

- l'alimentazione di acque di falda bicarbonato-calciche di bassa salinità provenienti da Est con flussi modesti (stimati nell'ordine delle decine di litri al minuto);
- una prima zona di risalita di acque termali ad alto contenuto di solfati dal substrato quarzítico in prossimità del limite Nord dell'area della Centrale. Si tratta di risalite meno consistenti rispetto a quelle della zona di Stagnoni, probabilmente caratterizzate da minori portate e dai contenuti di solfati più elevati perché affette in minor misura da fenomeni di riduzione;
- l'interazione tra acque fredde e acque termali con i fenomeni di stratificazione e miscela nell'acquifero superficiale (es. settore centrale dell'area Enel);
- una seconda e più importante zona di risalita di acque termali che interessa la pianura tra la località Stagnoni e Pagliari e che prosegue ancora lungo la costa di S. Bartolomeo e Ruffino. La risalita di queste acque in aree localizzate ha caratteri di artesianesimo; le acque sempre di tipo solfato-calcico sono tuttavia caratterizzate da contenuti in SO_4^{2-} inferiori rispetto alle acque di cui al punto precedente per i fenomeni di riduzione batterica dei solfati stessi. In questo settore non sono stati rilevati fenomeni di stratificazione delle acque sotterranee.

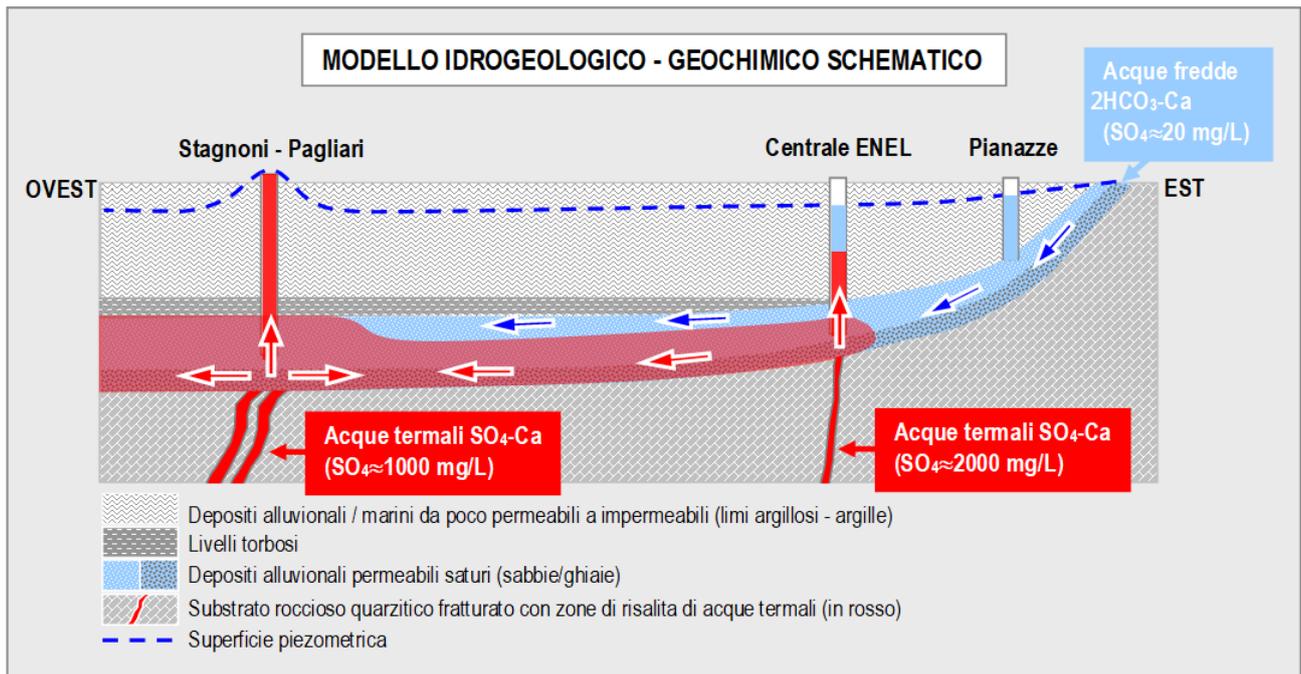


Figura 7 - Sezione schematica che mostra il modello idrogeologico-geochimico concettuale dell'acquifero superficiale dell'area studiata, in cui sono indicate anche le principali zone di risalita delle acque termali.

6.0 IDROGEOLOGIA E GEOCHIMICA DEL SETTORE ORIENTALE DELLA PIANURA DI VALLEGRANDE

Nel settore orientale della pianura di Vallegrande, dove l'area pianeggiante si raccorda con i rilievi di Pietralba e Baccano, nelle località Pomara e Boscalino, Enel ha perforato cinque pozzi profondi per estrazione di acque ad uso industriale (vedi **Figura 8**).



Pozzo 1



Pozzo 2



Pozzo 4



Pozzo 5

Figura 8 – Pozzi profondi per estrazione di acque ad uso industriale

I pozzi realizzati all'epoca di costruzione della Centrale Enel sono stati progressivamente sostituiti con altre fonti di approvvigionamento per usi industriali e, nell'ultimo ventennio, sono stati utilizzati con portate sempre più ridotte. Il pozzo 3, in particolare, è stato disattivato e cementato nel 1984. Nel grafico di **Figura 9** sono indicati i volumi annui estratti dal 2002 al 2020 corrispondenti a portate medie variabili da 30 a 2 l/s.

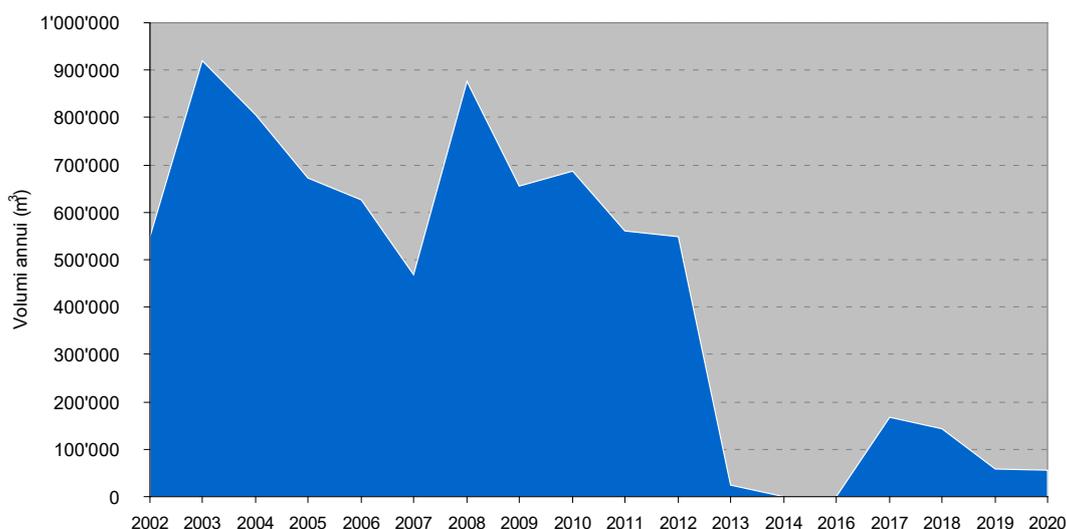


Figura 9 - Produzione pozzi Enel dal 2002 al 2020

Le caratteristiche dei quattro pozzi ancora in esercizio sono riassunte nella tabella che segue:

Tabella 2 - Caratteristiche pozzi ancora in esercizio

Pozzo	Profondità (m)	Profondità filtri (m)	Profondità Pompa (m)	Livello piezometrico (m da b.p.)*	Prevalenza Pompa (m)	Q pompa (l/s)
P1	81	25,57-50,76 / 54,89 -74,00	27,57	4,78	138	15
P2	81	47,00-81,00	38,50	6,16	138	15
P4	74	30,40-32,75/37,68-50,76/54,89-74,00	42,50	6,04	138	15
P5	80	26,82-81,00	52,00	4,96	138	15

* I livelli piezometrici statici misurati da ARPAL nel marzo 2007 [5]

La localizzazione e i disegni costruttivi dei pozzi sono riportati in **Appendice 2** e **Appendice 3**.

Le stratigrafie dei pozzi non sono disponibili, tuttavia dall'esame della localizzazione dei pozzi sulla cartografia geologica (**Figura 10**), di alcune stratigrafie disponibili per l'area di Boscalino, prossima ai pozzi P2 e P4 [4], e dei dati relativi alla loro profondità, si ricava che i pozzi interessano il substrato roccioso locale, rappresentato da litologie quarzitiche, calcaree e calcareo evaporitiche. In particolare, nella zona Boscalino, il substrato attraversato dai sondaggi è stato attribuito alla formazione del calcare cavernoso (**Figura 11** da [4]). La posizione dei tratti filtranti del condizionamento dei pozzi (profondità maggiori di 25 m) indica inoltre che nei quattro pozzi viene sfruttato l'acquifero contenuto nel substrato roccioso sottostante i depositi quaternari affioranti nella pianura.

L'assetto idrogeologico dell'area, ricostruibile attraverso l'esame delle stratigrafie disponibili sull'area, è così schematizzabile:

- un acquifero superficiale, contenuto nei sedimenti quaternari di natura limoso-sabbiosa derivanti dal disfacimento dei rilievi quarzitici che circondano la pianura di Vallegrande, poco produttivo e

caratterizzato da permeabilità variabile tra 10^{-6} e 10^{-5} m/s [3] [4]. Questo acquifero è alimentato da acque di infiltrazione locale ed è caratterizzato da scarsa produttività;

- un acquifero o più acquiferi profondi contenuti nei livelli più fratturati del substrato roccioso, rappresentato nella zona di Pomara - Boscalino da quarziti, calcari cavernosi e calcari massicci (formazione dei Calcari di Portovenere) che affiorano sui vicini rilievi di Baccano. Questo acquifero è verosimilmente caricato dall'infiltrazione sugli affioramenti carbonatici di questi rilievi che alimenta una circolazione profonda intercettata da pozzi come quelli perforati da Enel. La posizione dei tratti filtranti di questi pozzi suggerisce che i livelli fratturati produttivi sono posti a profondità comprese tra i 25 e gli 80 m dal p.c.. La taglia delle pompe installate indica portate estraibili attorno ai 15 l/s e conducibilità idrauliche superiori a quelle dell'acquifero superficiale.

La geochimica delle acque sotterranee è utile per comprendere l'idrogeologia dei due acquiferi; in particolare i dati storici dei contenuti di Cl^- e SO_4^{2-} delle acque sotterranee di pozzi, sorgenti e piezometri dell'area in esame (dati ripresi da [1], [2], [3], [5], [7]) possono tracciare possibili fenomeni di miscelazione e diluizione, potendo considerare questi due anioni conservativi nel contesto in esame.

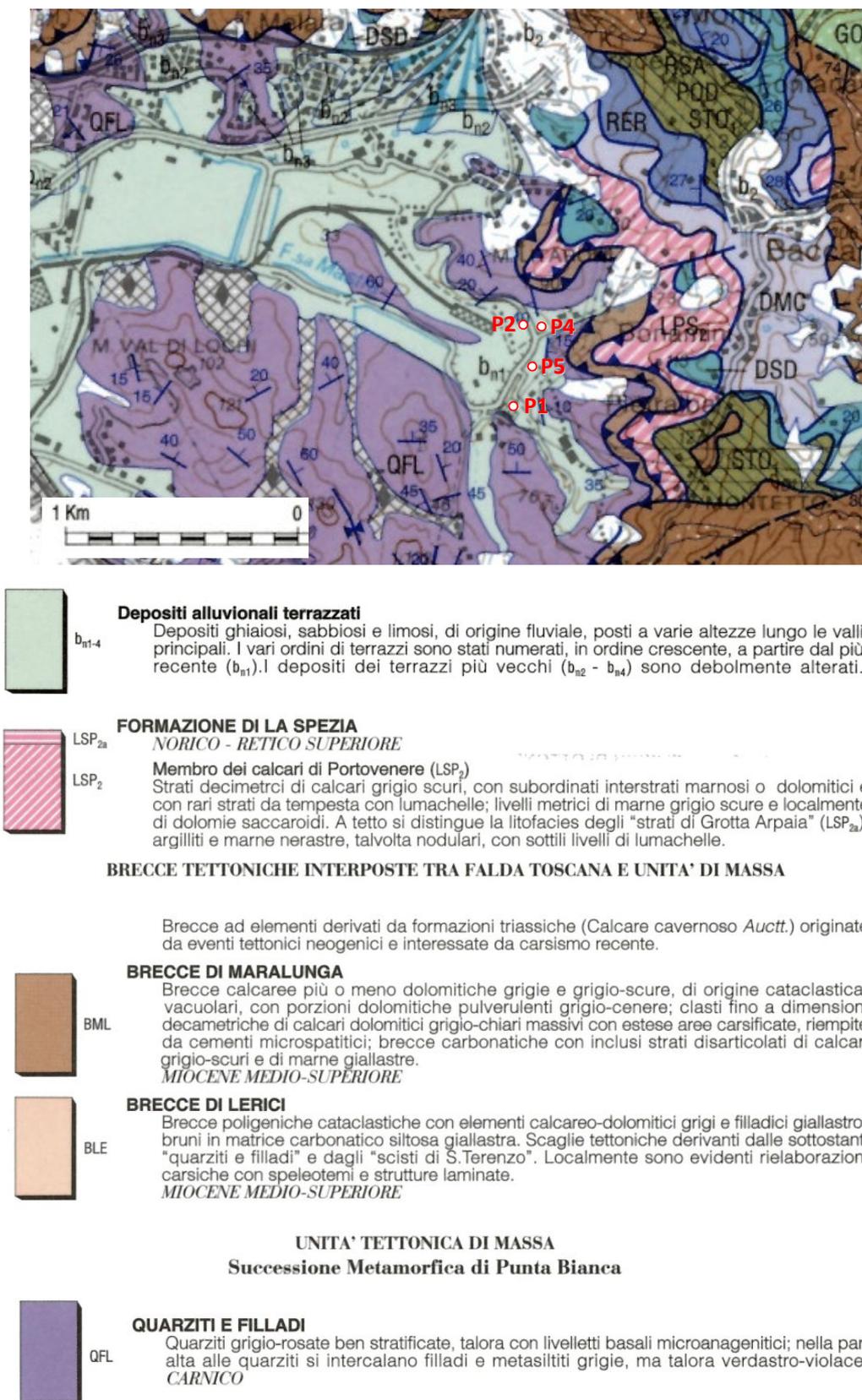


Figura 10 - Estratto Foglio 248, Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 dell'area sulla quale insistono i pozzi Enel

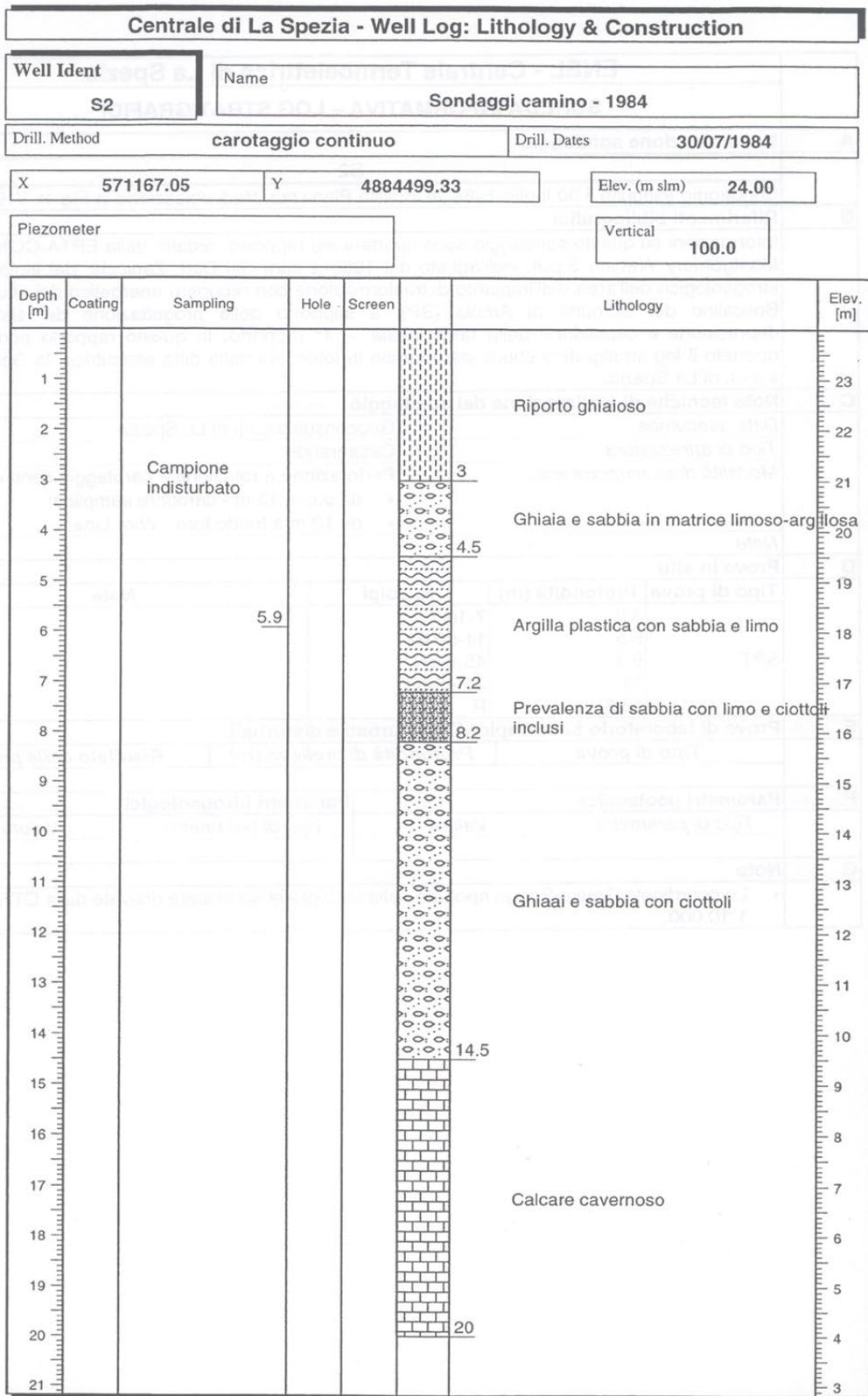


Figura 11 - Stratigrafia sondaggio S2 Boscalino da [4]

Nel grafico Cl-SO₄ di **Figura 12** sono stati diagrammati i contenuti di questi due anioni per i seguenti punti di prelievo di acque sotterranee:

- pozzi Enel;
- piezometro PZ1 situato in località Boscalino (dati autocontrolli impianto Boscalino);
- piezometro in area TERNA;
- pozzo e sorgente situati in località Pietralba.

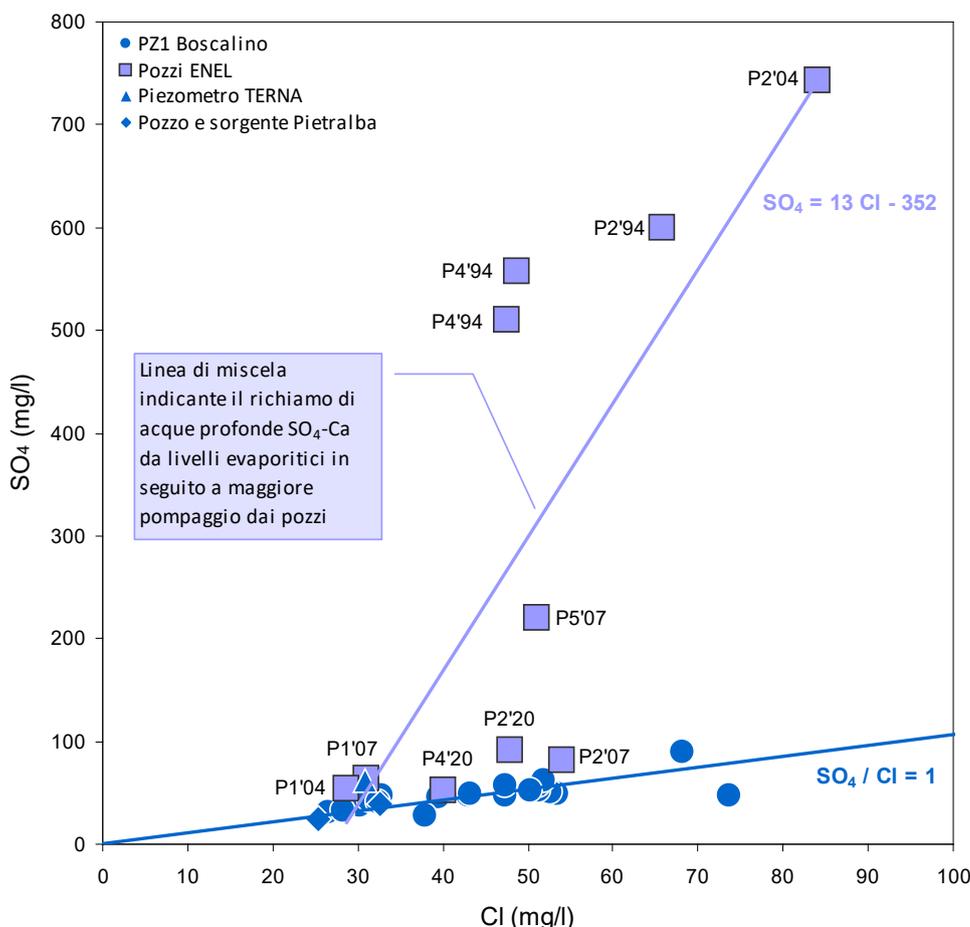


Figura 12 - Grafico Cl-SO₄ acque sotterranee area Pomara Boscalino

L'esame del grafico mostra che:

- le acque HCO₃-Ca a bassa salinità dei piezometri superficiali dell'area di Boscalino e dell'area Terna si dispongono lungo un allineamento caratterizzato dal rapporto $SO_4^{2-}/Cl \approx 1$ che rappresenta probabilmente una linea di diluizione. A questo gruppo appartengono anche le acque del pozzo P1 e di un pozzo e di una sorgente in località Pietralba [1] [2]; le acque di questi pozzi e della sorgente sembrano essere alimentate da acquiferi contenuti nei calcari massicci, affioranti estesamente nella collina di Baccano, che conferiscono alle acque una tipica composizione bicarbonato-calcica con bassi contenuti in solfati;
- le acque dei pozzi P2, P4 e P5, mostrano contenuti in solfati e cloruri variabili nel tempo. Ad esempio, il pozzo P2 ha contenuti di solfati che passano da concentrazioni di circa 750 mg/l nel 2004, quando i pozzi venivano sfruttati, a 48 mg/l nel 2020 (pozzi inattivi). Comportamento simile caratterizza anche il pozzo P4. In generale i dati dei pozzi Enel si dispongono approssimativamente lungo una linea che

congiunge il pozzo P1 a composizione $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ con i pozzi P2 e P4 con le concentrazioni più elevate di solfati.

La variabilità temporale della composizione dei pozzi P2 e P4 suggerisce che questi due pozzi, quando sottoposti a pompaggio, possano richiamare acque ricche in solfato provenienti da livelli evaporitici profondi della formazione del Calcarea Cavernoso. In situazione statica invece i due pozzi assumono una composizione simile al pozzo P1 con basse concentrazioni di SO_4^{2-} . Questo assetto indica che, probabilmente, nell'acquifero profondo in roccia, si verifica una stratificazione delle acque coerente con la stratigrafia geologica: acque più leggere a composizione $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, povere in solfati alimentate da livelli carbonatici, nella parte superiore e acque più pesanti a composizione $\text{SO}_4\text{-Ca}$, alimentate da livelli evaporitici profondi, nella parte inferiore.

I livelli piezometrici statici e le relative quote assolute misurati nell'Aprile 2021 sui pozzi Enel e su un piezometro superficiale prossimo al pozzo P2, sono elencati nella tabella seguente:

Tabella 3 – Livelli piezometrici statici e quote assolute misurate nell'aprile 2021 sui pozzi Enel e sul piezometro prossimo al pozzo P2

Punto di misura	Livello piezometrico (m da b.p.)	Quota b.p. (m s.l.m.)	Quota piezometrica (m s.l.m.)
Pozzo P1	4,38	20,35	15,97
Pozzo P2	5,86	21,74	15,88
Pozzo P4	5,59	21,71	16,12
Pozzo P5	4,62	20,72	16,10
Piezometro c/o P2	1,29	21,74	20,45
Misure dell'8 aprile 2021			

Nella tabella che segue sono invece riportate altre misure eseguite in passato, utili per la definizione del modello idrogeologico.

Tabella 4 - Quote piezometriche assolute misurate sui pozzi Enel e sui piezometri a loro prossimi

Pozzo/Piezometro	Profondità (m)	Livello piezometrico (m da b.p.)*	Quota b.p. (m s.l.m.)	Quota piezometrica (m s.l.m.)
P1 ⁺	81	9,30	20,35	11,05
P5 ⁺	80	9,70	20,72	11,02
A1 (Terna) °	25,5	4,78	21,32	16,54
BP (Pz1) *	38	3,97	25,69	21,72
* Livello misurato nel luglio 2007 [5] ° Livello misurato nel maggio 2007 * Livelli misurati nel febbraio 2015				

Nella **Figura 13** sono riportate le quote piezometriche assolute misurate nei pozzi Enel (denominati E1, E2, E4) nel corso del 1999, quando i pozzi erano in esercizio [6]. Le quote variano da un massimo di +12 m s.l.m. nel mese di aprile ad un minimo di +8 m s.l.m. durante il mese di settembre, in accordo con l'andamento idrologico stagionale (massima ricarica a fine primavera, fine del periodo di esaurimento a fine estate).

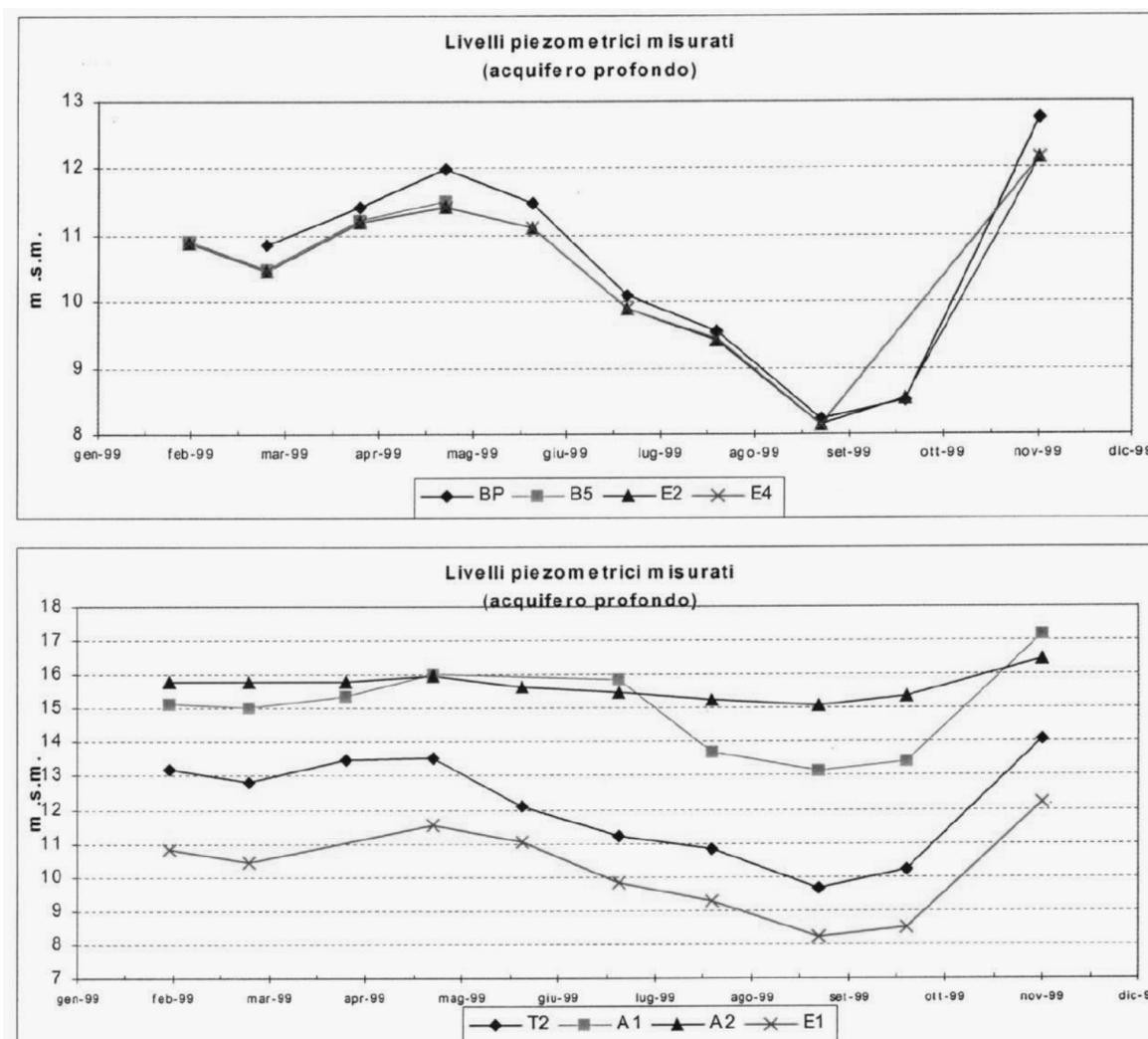


Figura 13 - Livelli piezometrici assoluti misurati sui pozzi Enel nel 1999 [6]

Nella tabella riportata di seguito sono confrontate le quote piezometriche statiche misurate durante questa indagine (08/04/2021) con quelle dinamiche (vale a dire con i pozzi in esercizio) misurate nel marzo 1999.

Tabella 5 – Quote piezometriche statiche e dinamiche

Pozzo	m s.l.m. 08/04/2021	m s.l.m. 15/03/1999	Differenza
Pozzo P1	15,97	10,44	5,53
Pozzo P2	15,88	10,46	5,42
Pozzo P4	16,12	10,45	5,67
Pozzo P5	16,10	n.d.	n.d.

n.d.: dato non disponibile

Dall'esame delle tabelle si ricava che:

- le quote piezometriche dell'acquifero superiore si attestano attorno a 20 m s.l.m. nella zona di Pomara-Boscalino, dove insistono i pozzi Enel;

- le quote piezometriche statiche dell'acquifero inferiore, misurate sui pozzi Enel nell'aprile 2021, sono tutte coerenti e si attestano ad un'altezza di circa 16 m s.l.m. mentre quelle dinamiche misurate nel marzo 1999, anch'esse coerenti tra loro, si stabilizzano ad una quota di circa 11 m s.l.m., quindi di 5 m inferiori alle quote attuali.

Il modello idrogeologico dell'area in esame ottenuto in base ai dati geologici, geochimici ed idrogeologici esposti è schematizzato nella sezione di **Figura 14**. In questa sezione è raffigurata la geologia del sottosuolo ricostruita in base alle stratigrafie contenute in [4] assieme alle quote piezometriche riportate nelle tabelle precedenti. La sezione mostra i livelli quaternari, costituiti da depositi prevalentemente limosi, con piccole lenti discontinue di materiali più permeabili, che poggiano su un substrato roccioso indifferenziato rappresentato principalmente da quarziti disgregate ma che, ai margini orientali della pianura, può essere costituito anche da altri termini della serie geologica (calcari e calcari cavernosi), come accertato nel sondaggio S2 (località Boscalino, stratigrafia di **Figura 11**). La sezione mostra che lo spessore dei sedimenti quaternari, sede dell'acquifero superiore, è di circa 20 m.

Nella sezione la significativa differenza di quota tra i livelli statici e dinamici dell'acquifero profondo e quelli dell'acquifero superficiale, permette di affermare che, in base ai dati disponibili, nell'area di Pomara - Boscalino, i due acquiferi appaiono ben distinti e separati.

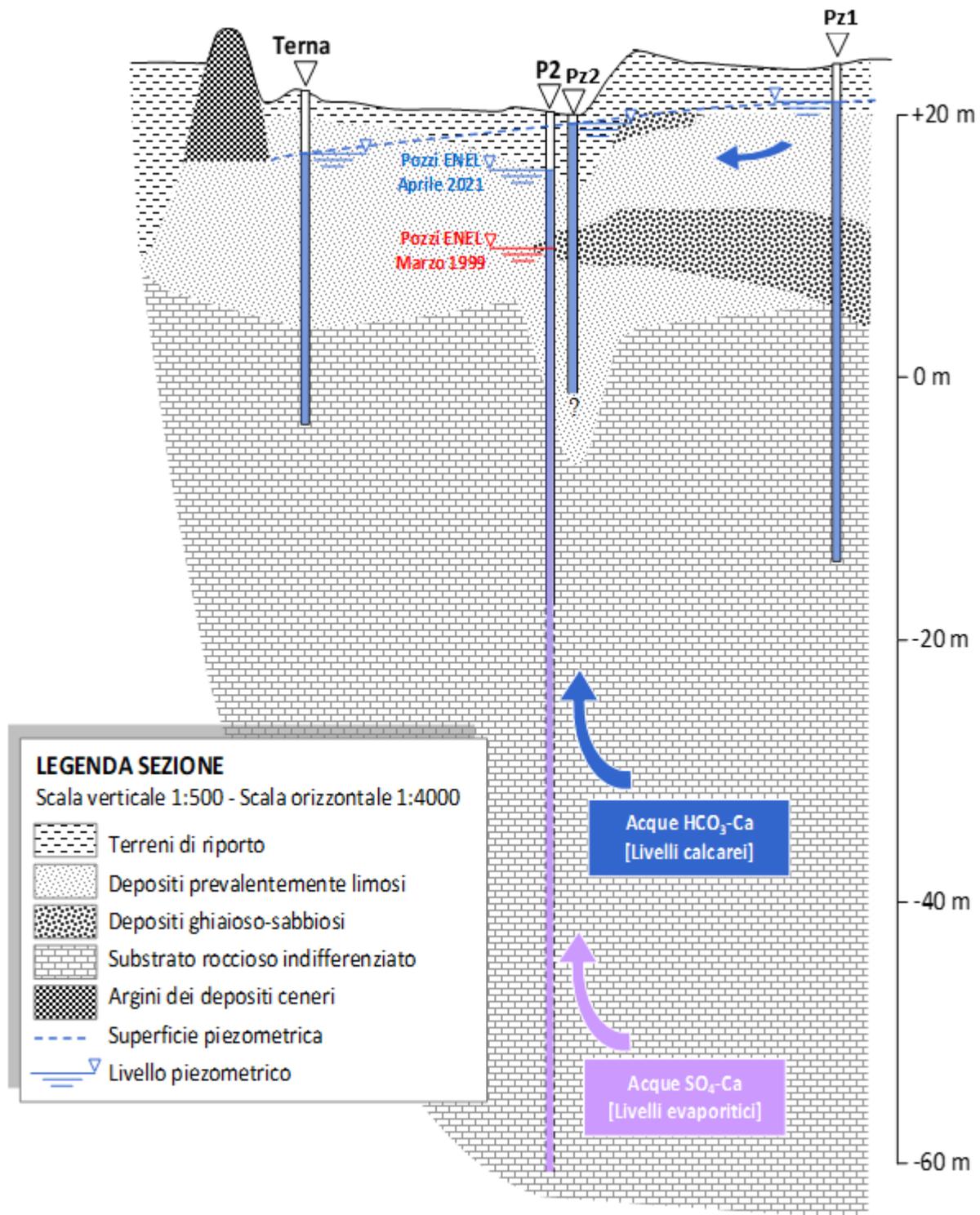


Figura 14 - Sezione geologica ripresa e modificata da [4]

7.0 CONCLUSIONI

L'esame dei dati geologici ed idrogeologici, nonché le informazioni bibliografiche disponibili sull'area interessata dalla presenza dei pozzi Enel ha permesso di ipotizzare un verosimile modello idrogeologico del sottosuolo, così riassumibile:

- presenza di un acquifero freatico superiore contenuto nei depositi quaternari di natura limosa e limoso-sabbiosa caratterizzato da valori di permeabilità variabile tra 10^{-6} e 10^{-5} m/s, alimentato da acque di infiltrazione con composizione $2\text{HCO}_3\text{-Ca}$ di bassa salinità. Lo spessore dei sedimenti quaternari sede dell'acquifero è pari a circa 20 m. Questi sedimenti poggiano su un substrato roccioso che costituisce il livello impermeabile locale ma che in profondità ospita, nei suoi livelli permeabili, un acquifero profondo;
- presenza di un acquifero profondo contenuto nel substrato roccioso permeabile rappresentato da livelli calcarei e da livelli evaporitici in profondità, caricato dai rilievi calcarei che delimitano ad Est la pianura di Vallegrande. Il tetto di questo acquifero, captato con pozzi profondi circa 80 m, si attesta a profondità superiori a 25 m con un livello statico posto a quota di circa +16 m s.l.m., circa quattro metri più basso rispetto al livello piezometrico dell'acquifero superficiale. In situazione statica i dati geochimici indicano che in questo acquifero si possa verificare una stratificazione delle acque coerente con la stratigrafia geologica: acque più leggere a composizione $2\text{HCO}_3\text{-Ca}$, povere in solfati, alimentate da livelli carbonatici, nella parte superiore e acque più pesanti a composizione $\text{SO}_4\text{-Ca}$, alimentate da livelli evaporitici profondi, nella parte inferiore. Queste ultime possono essere richiamate e miscelate con quelle superiori quando i pozzi vengono sfruttati (situazione dinamica).

In base ai dati raccolti non è possibile stabilire in che modo questo sistema idrogeologico, racchiuso nell'ampia piana di Pian di Pitelli, sia connesso con l'acquifero a valle descritto nel Capitolo 5 in quanto, tra i due sistemi, è posta una strettoia morfologica sulla quale insiste la vasta area dei bacini di spegnimento delle ceneri che costituisce, presumibilmente, una discontinuità idrogeologica e geochimica i cui effetti sono difficili da valutare con i dati a disposizione.

In relazione agli effetti idrogeologici derivanti dalla cessazione dei prelievi dai pozzi, il confronto tra i dati disponibili sulle quote piezometriche misurate nel 1999, in condizioni di sfruttamento, e quelle statiche misurate nel 2021, nel corso di questa indagine, evidenziano un aumento di carico di circa 5 m; livello inferiore di circa 4 m rispetto al livello dell'acquifero superiore.

In conclusione, si può quindi ragionevolmente affermare che l'assenza di prelievi dai pozzi non determina sostanziali conseguenze sull'acquifero superficiale e che l'equilibrio idrogeologico generale dell'area è rispettato. Inoltre, nell'assetto attuale, almeno per quel che riguarda i pozzi P2 e P4, non vengono richiamate in superficie acque profonde ricche in solfato, situazione che in passato, con i pozzi in pompaggio, comportava un'alterazione, seppur temporanea e reversibile, dell'equilibrio naturale del sistema.

Il modello proposto rappresenta una ricostruzione coerente del sistema idrogeologico locale in base ai dati disponibili che potrà essere supportata, confermata e raffinata, se ritenuto necessario, da indagini dirette quali:

- prove di portata di lunga durata sui pozzi Enel con controllo dei livelli sui piezometri prossimi ai pozzi e determinazione dei parametri idrogeologici dell'acquifero profondo;
- campagna di livellazione piezometrica di precisione estesa a pozzi e piezometri con prelievo di campioni per la caratterizzazione geochimica ed isotopica delle acque;
- eventuale elaborazione di un modello matematico del sistema.

Pagina delle firme

Golder Associates S.r.l.



Dario Trombetta
Project Manager



Vito Bretti
Project Director

C.F. e P.IVA 03674811009

Registro Imprese Torino

R.E.A. Torino n. TO-938498

Capitale sociale Euro 105.200,00 i.v.

Società soggetta a direzione e coordinamento di Enterra Holding Ltd. ex art. 2497 c.c.

APPENDICI

Appendice 1

Planimetria dell'area con ubicazione dei piezometri di monitoraggio e dei pozzi di approvvigionamento

Appendice 2

Foto aerea con localizzazione dei pozzi e dei piezometri

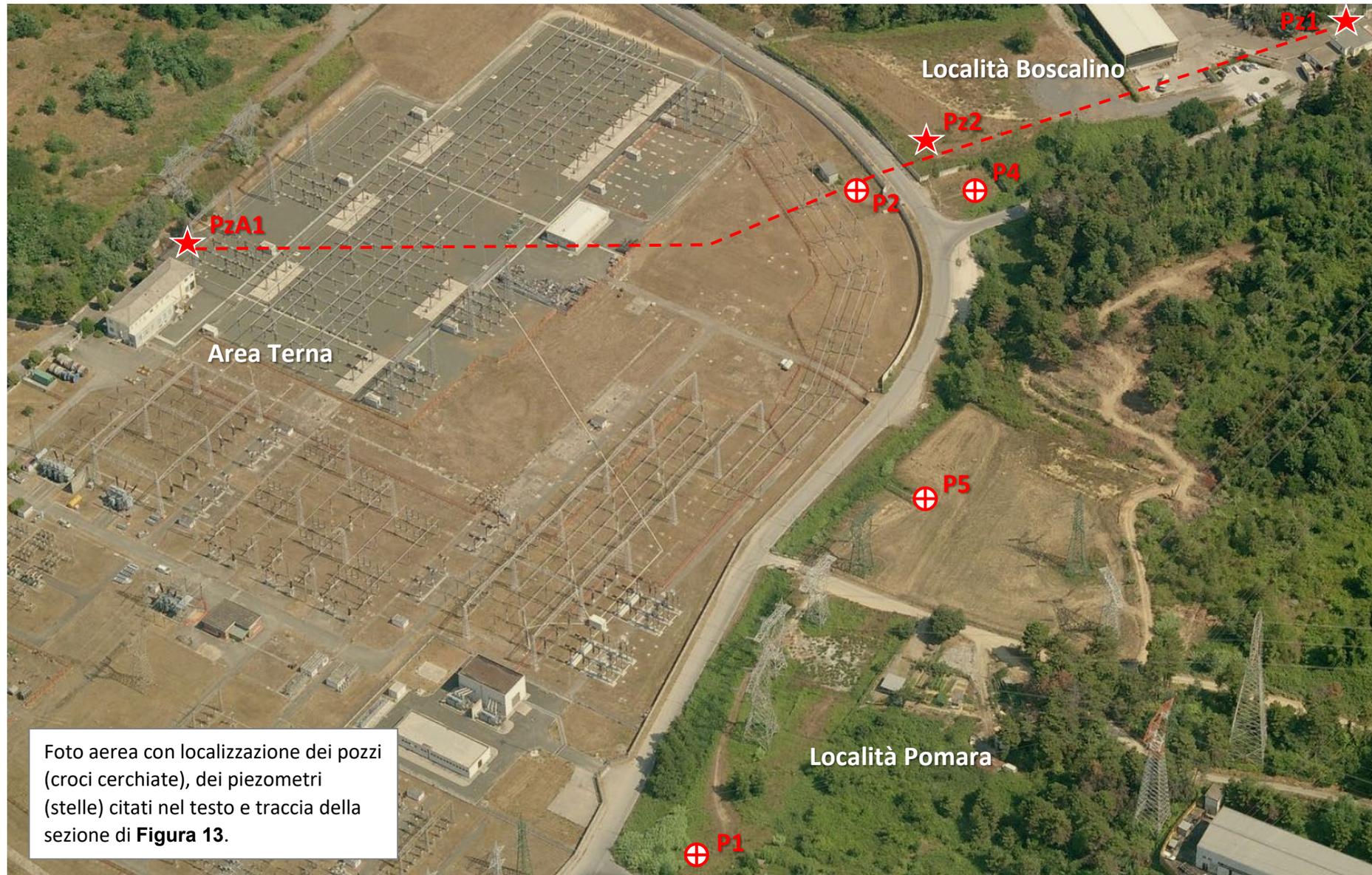
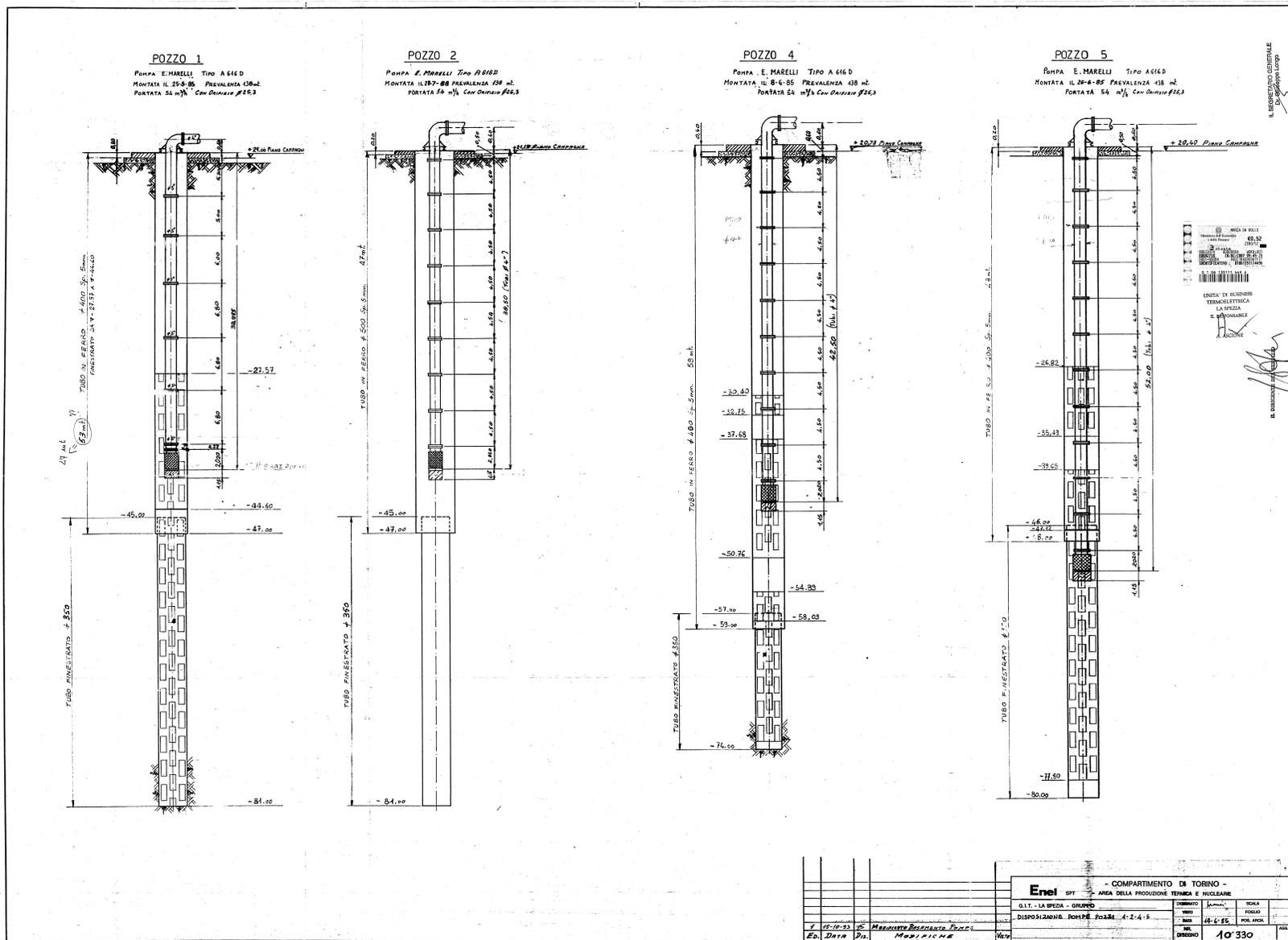


Foto aerea con localizzazione dei pozzi (croci cerchiare), dei piezometri (stelle) citati nel testo e traccia della sezione di **Figura 13**.

Appendice 3

Disegni costruttivi dei pozzi





golder.com