POLITECNICO DI TORINO

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'ambiente e il territorio

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Studio idrogeologico del campo di moto dell'acquifero (progetto Acquaviva)

Relatore
Dott. Adriano Fiorucci
Corelatore
Ing. Ferrari Stefano

Candidato
Nicolò Bedino

Novembre 2018

Sommario

Introduzione **2**

Quadro conoscitivo aspetti generali **4**

Inquadramento geografico *4*

Inquadramento geologico *6*

Inquadramento idrografico e situazione pluviometrica *9*

Il Piano Paesaggistico Regionale della Regione Piemonte *15*

Presentazione progetto **16**

Descrizione stato attuale *17*

Invaso ad uso irriguo *18*

Condotte principali di alimentazione/restituzione da/al Canale Paniale *21*

Bio lago balneabile e struttura ricettiva annessa *22*

Ricostruzione dell'assetto idrogeologico dell'area di intervento **24**

Ricostruzione del campo di moto dell'acquifero *25*

Individuazione pozzi-piezometri *25*

Geolocalizzazione punti *27*

Piezometrie *28*

Dati piezometrici 19 Maggio 2018 ..... *29*

Dati piezometrici 9 Agosto 2018 ..... *30*

Analisi geochimiche *30*

Commento dei dati **33**

Analisi dati ottenuti *34*

Piezometrica 19 Maggio e 9 Agosto 2018 dei 5 punti *35*

Diagrammi analisi geochimiche *39*

Profili topografici *48*

Soluzione alternativa alla gestione delle acque superficiali e profonde con trincea e canale di drenaggio a monte dell'invaso irriguo **53**

Conclusioni **56**

Bibliografia **57**

Sitografia **57**

Introduzione

Nei cinque anni che mi hanno visto frequentare le strutture del Politecnico di Torino ho studiato molto e ricordato nozioni, formule e definizioni; ma se c'è qualcosa che ho imparato e ho fatto mio veramente è la consapevolezza (quasi rasserenante) che per qualsiasi cosa c'è sempre una spiegazione, possibilmente matematica, e qualora dovesse mancare allora è mio compito spiegarla.
Questo atteggiamento mi ha portato a mettere in discussione molto di quello che già sapevo e di cui non mi ero mai chiesto il perché. Ha quindi iniziato a far parte di me, da questo periodo di vita in poi, la curiosità, la voglia di sapere e quasi la necessità di capire il perché di tutto, fin dove le mie capacità me lo permettono.
È con questo spirito che ho affrontato questa tesi: voglio spiegare, voglio trovare la soluzione e lo voglio fare utilizzando i mezzi che ho imparato a gestire studiando e applicandomi in questi lunghi cinque anni.
La tesi qui esposta si propone l'obiettivo di studiare l'assetto idrogeologico di un sito ricostruendo l'andamento del campo di moto dell'acquifero che interessa l'area di un'ex polveriera.
Il sito che ospita l'ex polveriera è una ex area militare all'ingresso della Valle Grana abbandonata da anni e sarà ospite del progetto Il Progetto Acquaviva, candidato dal Comune di Caraglio sul bando "Interventi Faro" della Fondazione CRC.
Il progetto che propone la nascita di un parco di fatto incentrato sull'acqua e sulla sua gestione ha colpito fin da subito la mia curiosità e una volta venuto a conoscenza dello studio di ingegneri al quale era stato affidato ho valutato l'opportunità di poterci lavorare con una tesi.
La zona, per di più, non è distante dal centro del comune di Caraglio ed è facilmente raggiungibile anche dai diversi paesi circostanti, come il mio, e dal capoluogo di provincia Cuneo. Mi sono quindi offerto di occuparmi di una parte che ancora non era stata affrontata a pieno, dato che ciò che era stato fatto si basava solo su ipotesi e pochi dati.
Durante la fase precedente alle analisi vere e proprie dei parametri chimici e fisici delle acque è stato necessario valutare l'effettiva possibilità di compiere un lavoro del genere.
Le prime settimane sono quindi trascorse cercando di capire se effettivamente esistevano gli estremi per poter lavorare a una tesi incentrata su questo tema. Per farlo è stata verificata la presenza e la fruibilità di pozzi, piezometri e sorgenti.
Una volta chiarito ciò, sono stati eseguiti sopralluoghi insieme al relatore e al co-relatore, rispettivamente il prof. Fiorucci Adriano e l'Ing. Ferrari Stefano (ingegnere presso lo studio di ingegneria Ferrari e Giraudo dove ho svolto parte del lavoro) per accertare ulteriormente le condizioni del sito e accordarsi su quali tematiche concentrarsi nella stesura della tesi.
Delucidazioni in merito alla natura, all'appartenenza e all'andamento delle acque attorno e nel sito sono tra gli argomenti centrali della seguente discussione, la quale si avvale di diversi metodi di ricerca. Il tutto è finalizzato a stimare quale impatto avrà l'opera in progetto sia durante l'opera di scavi sia dopo la sua attività.
Sono emersi durante gli studi alcuni dettagli che hanno comportato la necessità di applicare modifiche alle valutazioni precedenti, poiché ritenute inesatte o non complete.
Allo stesso modo le analisi di alcuni valori hanno fatto sì che fosse necessario cambiare la strada di valutazione e attuare un'altra strategia di studio; questo aspetto è evidenziato anche nella tesi, dove alcune considerazioni vengono ritrattate, modificate e adattate a ciò che si scopre passo dopo passo.
Non nascondo che ci sono stati momenti di quasi sconforto quando, con i dati in mano, ancora la situazione rimaneva inspiegabile sotto troppi punti di vista.
Determinante è stato decidere di traslare i monitoraggi e i campioni su un altro livello di analisi, che ci ha aperto la porta e permesso di arrivare a una conclusione quanto meno molto vicina alla realtà.
Da quel momento in poi, molti dei comportamenti notati prima degli studi durante i sopralluoghi, che parevano come inspiegabili, trovavano invece spiegazioni sensate e logiche.
Su questa base solida di conoscenza del sito e anche del bacino idrografico a monte abbiamo introdotto nei nostri studi i dati inerenti ai lavori e ai suoi manufatti, potendo così verificare eventuali interferenze fra le opere e il campo di moto dell'acquifero.

Nei mesi in cui ho lavorato per la raccolta dei dati, la loro analisi e il loro studio ho avuto l'opportunità grazie alla disponibilità da parte dello studio di ingegneria presso il quale ho svolto la mia tesi di interfacciarmi personalmente in maniera diretta con molte figure professionali con le quali avrò ancora certamente a che fare una volta che finirò il mio percorso da studente e mi inserirò nel mondo del lavoro.
A livello pratico ho capito quante professioni vanno ad intrecciarsi in un lavoro come questo, dove la componente personale e umana rimane una priorità da salvaguardare e coltivare con attenzione.
Le relazioni con il comune di Caraglio, la Protezione Civile, i proprietari terrieri e tutte le figure che orbitano attorno a quelle dell'ingegnere necessitano attenzioni e riguardo.
Una volta giunto a fine stesura, ho scoperto quanto applicativa fosse stata questa tesi, avendomi permesso di espormi ai pericoli e alle criticità di questo mondo che ha ancora molto da farmi conoscere, senza di fatto esserne vittima.

Quadro conoscitivo aspetti generali

Inquadramento geografico

Il comune di Caraglio, situato a circa 15 km da Cuneo in Piemonte, si trova nella parte occidentale della provincia Granda al principio della Valle Grana che si sviluppa per 120 km a sud, tra la valle Maira e la valle Stura di Demonte, senza arrivare al confine con la Francia fermandosi al Colle Fauniera chiamato anche colle dei morti (Fig. 1).

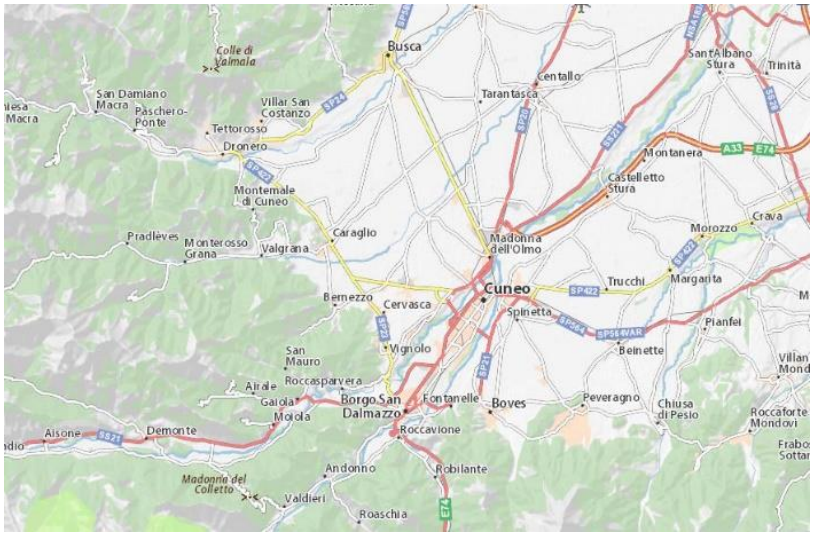

Figura 1 – Carte del territorio comunale

Il nostro sito di interesse è ubicato a Bottonasco nel comune di Valgrana, dista circa 2 chilometri dal centro del medesimo. Alle pendici degli ultimi bassi rilievi ovvero al principio della Valle Grana ritroviamo il capoluogo comunale Caraglio ancora facente parte della pianura cuneese.
Come si può vedere in Fig. 2 cerchiata in rosso la zona, il paese è situato a Nord del Torrente Grana all'inizio dell'omonima valle.

Figura 2 - Carte del territorio comunale (Google Earth)

Il progetto di valorizzazione è inserito in un territorio localmente intervallato da aree interessate dall'attività agricola e pastorali e si presenta con conformazione montana e di fondovalle.
L'area in esame è caratterizzata da rilievi montuosi e da valli alpine, all'interno dei quali si nota la presenza di edifici, di vegetazione, dell'alveo del Torrente Grana e delle sue fasce perifluviali.
Il Torrente Grana è l'elemento geomorfologico principale, con orientamento in direzione Est-Ovest e a quota inferiore rispetto al piano campagna circostante.

I principali elementi di antropizzazione del territorio sono costituiti: dal concentrico dei Comuni di Valgrana e Caraglio; dalle piccole frazioni sparse costituite da due o più unità abitative; dalla rete viaria principale, costituita dalla Strada Provinciale n. 23 Caraglio-Pradleves, e da una fitta rete viaria minore che collega i centri urbani alle borgate ed agli insediamenti rurali sparsi.
L'area di intervento è collocata su un settore di fondovalle, alla sinistra del tronco terminale della Valle Grana, in corrispondenza dello sbocco di un bacino secondario.
Presenta un'area delimitata da rilievi collinari con versanti che si estendono, sul lato orientale, per un massimo di un centinaio di metri. Sulla base di considerazioni morfologiche e litostratigrafiche appare molto probabile che il succitato rilievo orientale corrisponda ad una forma tipo inselberg, emergente dalla pianura.
Il fondovalle del bacino è complessivamente planare con debole pendenza per alcuni tratti, ed è ampio tra i 100 e i 200 metri. Si nota come il tratto pianeggiante sia ben inserito all'interno di questi promontori che emergono e si elevano, formazioni di calcescisti, racchiudendo al loro cospetto la valle secondaria che trova un collegamento a quote meno elevate in direzione Borgata Paniale.
In passato (risalente al periodo attivo della Polveriera) nel settore in prossimità del sito dove è previsto il bacino irriguo sono stati eseguiti degli scavi, ciò conferma la connessione con un'attività estrattiva di argilla utilizzata allora per la fornace. Nella fascia ad Ovest troviamo un fosso di scolo che delimita il fronte occidentale, di origine antropica e con profondità di 1 metro.

Inquadramento geologico

Sulla Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 nel Foglio n. 78 - 79 "Argentera -Dronero" (Fig.3) i terreni costituenti il livello principale del fondovalle sono rappresentati da depositi fluviali quaternari distinti come *fluvioglaciale e fluviale Riss e dell'interglaciale Riss – Würm*.

Nella bibliografia più recente, essi sono attribuiti *all'Unità alluvionale del livello fondamentale della pianura principale*.

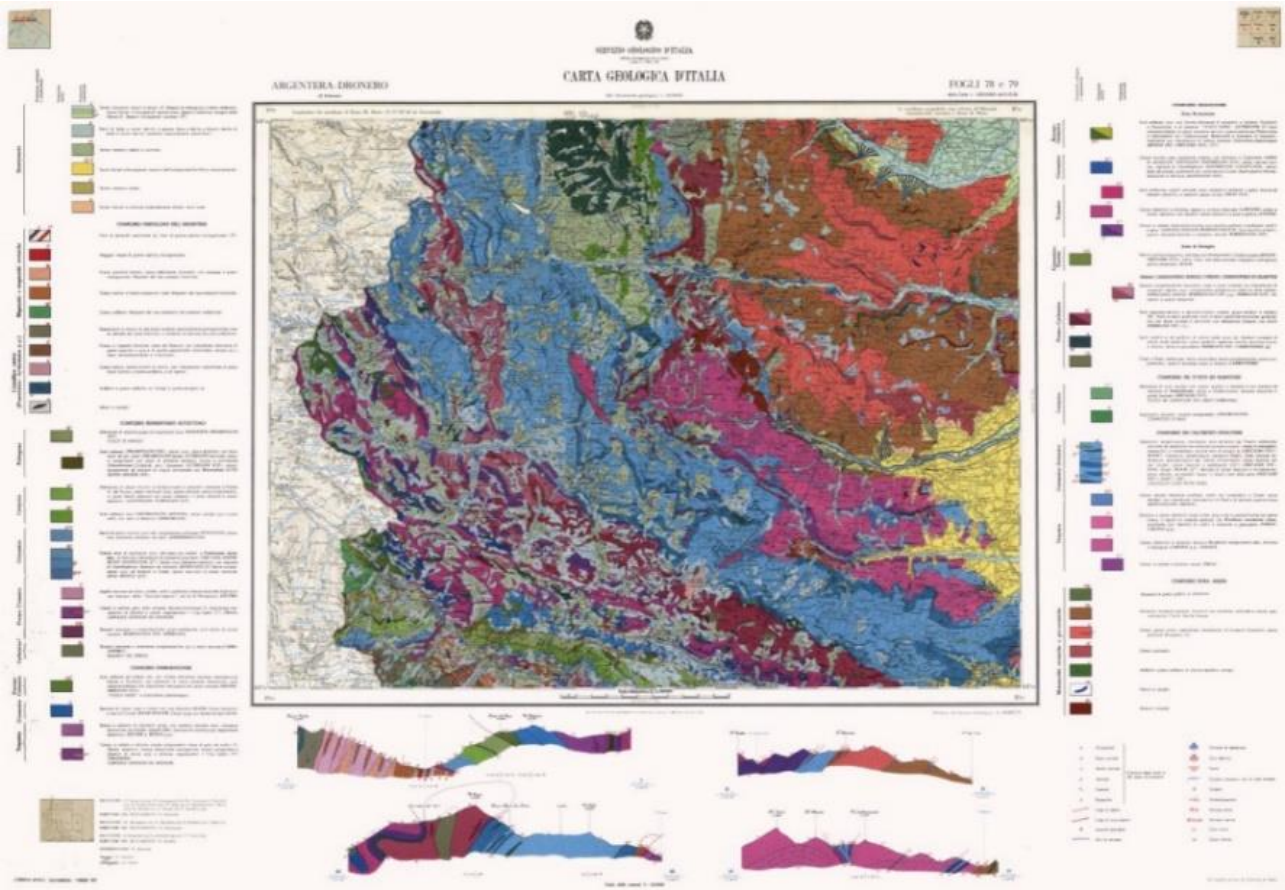

Figura 3 - Carta geologica Foglio n. 78 - 79 "Argentera -Dronero" (sito Regione Piemonte)

La successione di depositi poggia su depositi riferibili alla sequenza plio – pleistocenica mentre nei settori più prossimi alle pendici collinari troviamo depositi attribuiti all'*Unità alluvionale dei conoidi e dei terrazzi antichi.*

Dal punto di vista paleogeografico e strutturale il substrato litoide è composto, nella fattispecie, da dolomie e calcari dolomitici del Trias, rocce appartenenti allo zoccolo basale della Zona dei Calcescisti con Pietre Verdi.

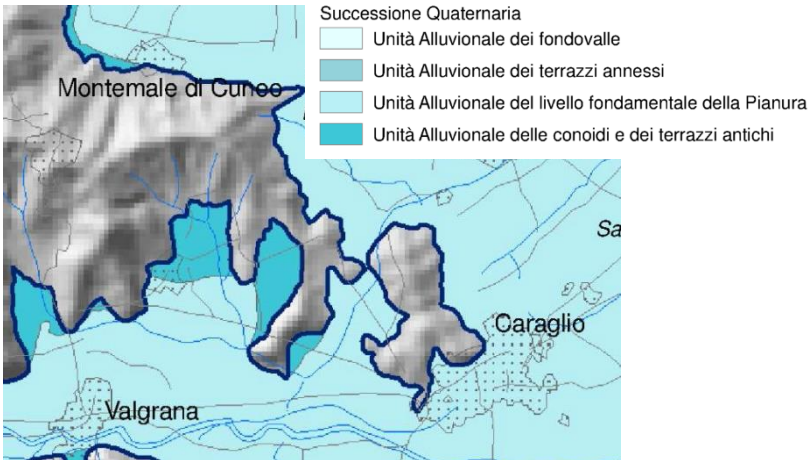

Figura 4 - Studio di valutazione della vulnerabilità intrinseca delle acque sotterranee

I terreni di copertura formano coltri prossime a decine di metri di spessore, ad Est del sito notiamo il rilievo collinare che corrisponde alla porzione superiore di un rilievo roccioso emergente dalla pianura, ovvero dal fondovalle dei bacini secondari delimitati dai rilievi circostanti.
Con l'analisi delle risultanze di due sondaggi a distruzione di nucleo realizzati appositamente in sito (profondità 15 m) per la posa di piezometri, come si vede in Fig. 5.

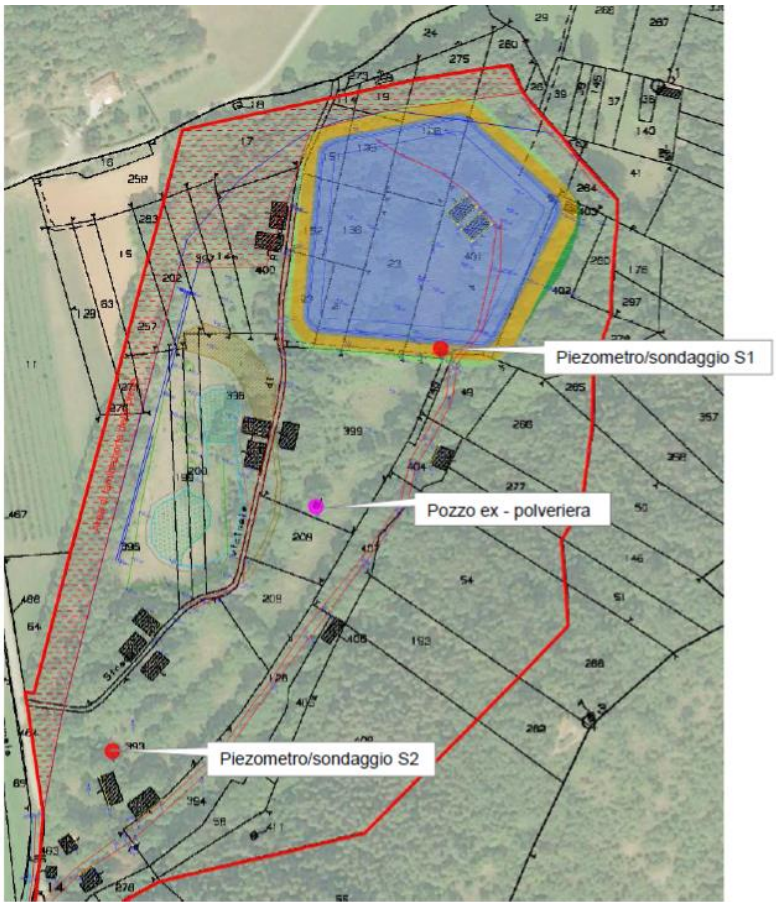

Figura 5 - Planimetria catastale di progetto con ubicazione dei piezometri e dei pozzi

Facendo riferimento alle stratigrafie desumibili dalla realizzazione di questi due sondaggi, in base alle analisi dei campioni consegnati e dei prelievi effettuati a intervalli di 1,5 metri il modello litologico locale è stato definito e può essere così di seguito riportato come in Tab. 1 :

Tabella 1 - Sondaggi S1 e S2

S1		*S2*	
profondità (m)	*litostrato*	*Profondità (m)*	
0 – 0,5	Suolo umico: argilla limosa bruno – rossastra con abbondante frazione organica	0 – 0,5	Suolo umico: argilla limosa rossastra con abbondante frazione organica
1,5 - 2	Depositi fluviali/lacustri: argilla limosa con sporadico ghiaietto (Φ max 1 cm)	1,5 - 2	Depositi fluviali/lacustri: argilla limosa rossastra
3 – 3,5	Depositi fluviali/lacustri: sabbia grossolana e ghiaia (Φ max 1 cm) con matrice limoso – argillosa	3 – 3,5	Depositi fluviali/lacustri: argilla limosa rossastra
4,5 – 5	Depositi fluviali/lacustri: limoso – argilloso con subordinata sabbia grossolana e sporadica ghiaia (Φ max 1 cm)	4,5 – 5	Depositi fluviali/lacustri: argilla limosa rossastra
6 – 6,5	Depositi fluviali/lacustri: sabbia grossolana e ghiaia (Φ max 1 cm) in matrice limoso – argillosa	6 – 6,5	Depositi fluviali/lacustri: argilla limosa rossastra
7,5 - 8	Depositi fluviali/lacustri: sabbia grossolana e ghiaia (Φ max 1 cm) in matrice limoso – argillosa	7,5 - 8	Depositi fluviali/lacustri: sabbia grossolana con sporadico ghiaietto (Φ max 0,5 cm) in matrice limoso - argillosa
9 – 9,5	Depositi fluviali/lacustri: sabbia grossolana e ghiaia (Φ max 1 cm) con matrice limoso – argillosa	9 – 9,5	Depositi fluviali/lacustri: argilla limosa con sabbia grossolana
10,5 - 11	Depositi fluviali/lacustri: argilla limosa con sporadico ghiaietto (Φ max 1 cm)	10,5 - 11	Depositi fluviali/lacustri: argilla limosa

Da sottolineare che la qualità dei dati emersi non permette di esprimere al meglio la reale stratigrafia del terreno in sito. Infatti le informazioni riguardano uno spessore di mezzo metro, intervallato ogni metro; insomma in una porzione di terreno profonda 11 metri solo una minima parte è conosciuta, la restante si presta a personali deduzioni.

Ad ogni modo è possibile apprezzare dal S1 la presenza di strati più o meno spessi con caratteristiche ricollegabili a quelli di ammassi omogenei nell'intorno dai sei ai nove metri grosso modo; mentre con il S2 si nota la presenza massiccia di argilla su quasi la totale lunghezza sondata, il che ricondurrebbe a situazioni di impermeabilità fra strati con grosse ritenzioni idriche.

Inquadramento idrografico e situazione pluviometrica

La composizione sotterranea risulta molto complessa e di difficile lettura e previsione, sappiamo che nel settore in esame si distingue il complesso alluvionale delle ghiaie antiche formato dai depositi riferibili all'Unità alluvionale dei conoidi e dei terrazzi antichi.

Questi terreni di copertura corrispondono, contraddistinti da differenze litologiche, a complessi idrogeologici distinti per differenti caratteristiche in termini di permeabilità relativa e di limiti degli acquiferi.

L'assetto litostratigrafico locale è caratterizzato dalla presenza di una successione di terreni a tessitura fine, quindi a permeabilità complessivamente bassa, e con subordinate intercalazioni grossolane (ghiaia).

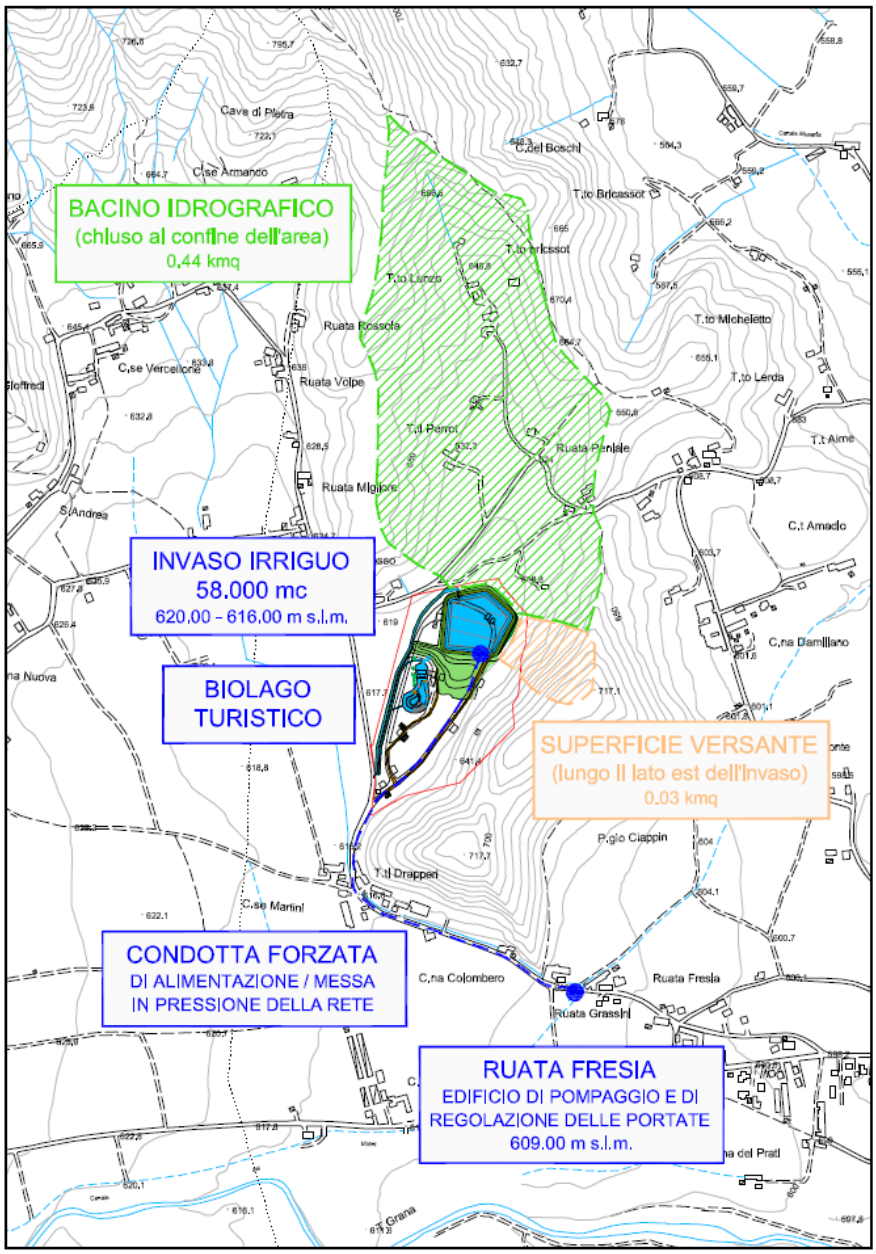

Figura 6 - Area di intervento, bacino idrografico e rete di pompaggio

Generalmente in questi depositi si generano acquiferi con spessore medio di circa una decina di metri o poco superiore con permeabilità che aumenta con la profondità a causa della diminuzione del grado di alterazione della matrice e del contenuto in frazione fine; tale frazione argillosa costituisce un possibile limite di permeabilità.

Il territorio di riferimento è collocato nelle Alpi Cozie caratterizzato da una discreta piovosità (1100 – 1200 mm annui). I lavori di monitoraggio che verranno spiegati in maniera esaustiva nel proseguo della tesi sono stati effettuati nel periodo tra Maggio e Agosto 2018. In particolare il mese di Maggio ha presentato piovosità eccezionali ben al di sopra della sua media annuale, si possono meglio apprezzare le diversità con i dati misurati dalla stazione idro-termopluviometrica di Arpa Piemonte tramite la Banca dati idrogeologica relativi alla zona Monterosso Grana (codice stazione 385, alt. 720 m) del Torrente Grana (Tab. 2).

Tabella 2 - Dati stazione idro-termopluviometrica Monterosso Grana, Arpa Piemonte

	Maggio	Agosto
Aff. Meteorico (mm)	83,8	12,9
Coeff. Deflusso	0,8	1,15
Deflusso (mm)	67,1	14,9
Qmedia (l/s km^2)	25,1	5,55
Qmin	1,84	0,49
Qmedia (l/s km^2)	2,58	0,57
Qmin	3,41	0,72

L'area drenata risulta costituita dalla porzione di versante orografico sinistro posto sulle pendici dei rilievi collinari che dal piccolo abitato di Bottonasco (Caraglio) raggiungono più a monte il Comune di Montemale e presenta un'area di circa 0,44 km^2 (Fig. 6).
Vi sono due reticoli idrografici distinti : quello principale maggiore e uno secondario minore. Il reticolo idrografico principale è rappresentato dal Torrente Grana il cui alveo si sviluppa ben distante dal sito, dunque è possibile confermare con ragionevole sicurezza che la dinamica del corso d'acqua non può interferire superficialmente con l'area.
Mentre per quanto riguarda il reticolo idrografico minore esso è composto da due piccoli fossi di scolo, realizzati in passato per facilitare il drenaggio delle acque meteoriche che si sviluppano rispettivamente sul margine occidentale dell'area e nella parte orientale della medesima, al fine di evitare inutili ristagni superficiali.
Il bacino idrografico si apre tra i bassi rilievi collinari posti ad ovest del concentrico di Caraglio, all'imbocco della Valle Grana, e chiuso in corrispondenza del lato nord dell'area della ex-polveriera. Tale bacino idrografico si presenta con una tipica conformazione allungata che, dopo una porzione in testata formata dai versanti dei bassi rilievi ricoperti da boschi, attraversa una zona con superfici debolmente antropizzate e formata da aree a pascolo e foraggio, senza però che vi sia la presenza di un vero e proprio alveo inciso che raccolga i deflussi idrici.
Nella parte di bacino non boscata è infatti presente una rete di canalizzazioni (fossi, canali irrigui, ecc.) per il drenaggio delle superfici naturali in occasione di eventi meteorologici più gravosi.
Occorre però evidenziare che tale rete di canali attualmente si presenta con sezioni intasate da vegetazione infestante (rovi ed arbusti) ed attraversamenti stradali realizzati con manufatti di ridotte dimensioni che risultano parzialmente ostruiti. Ne consegue che attualmente in occasione di eventi meteorologici particolarmente intensi i deflussi idrici superficiali che naturalmente tendono a raggiungere l'area pianeggiante interessata dalle opere previste vengono in parte riversate, con tiranti idrici di pochi centimetri, sulle superfici agrarie e sui campi coltivati limitrofi all'area della ex-polveriera.

Stimando gli afflussi idrici e la stima delle portate di assegnato tempo di ritorno si effettua il calcolo facendo ricorso al metodo razionale che considera precipitazione ed intensità costanti su tutto il bacino, ed una trasformazione lineare della pioggia in deflusso, senza fenomeni di invaso lungo la rete idrografica:

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

in cui:

- Q = portata al colmo
- A = area di bacino (in km2);
- i = intensità della precipitazione (in mm/ora);
- C = coefficiente adimensionale che sintetizza la funzione di trasferimento afflussi-deflussi a quantificazione della portata al colmo;
- k = coefficiente adimensionale che tiene conto delle diverse unità di misura.

Come riportato nella seguente tabella (Tab. 3), si è considerato il bacino idrografico di riferimento come costituito da una porzione di testata con ruscellamento su versante, corrispondente alle superfici boscate, mentre si è poi adottato un deflusso concentrato, come in un'asta fluviale in cui è presente la rete di canali di raccolta delle acque, nella porzione di valle, in corrispondenza delle aree di pascolo e prative.

Tabella 3 - Caratteristiche e schematizzazione del bacino

Bacino	**Bacino drenato**
Superficie (km^2)	0,44
L versante (m)	170
q max (mslm)	750
q min (mslm)	690
Pendenza versante	35%
L asta(m)	1086
q max (mslm)	690
q min (mslm)	618
Pendenza asta	6,60%
Altezza media del bacino (mslm)	646,5

Per riuscire a calcolare la pioggia di progetto consideriamo a diversi tempi di ritorno (20, 100, 200 e 500 anni) le curve di possibilità pluviometrica:

- h = 42,71 · t 0,37
- h = 55,77 · t 0,37
- h = 61,33 · t 0,36
- h = 68,69 · t 0,36

Se ne derivano le seguenti precipitazioni (Tab. 4), espresse in mm, per assegnata durata in corrispondenza della cella AK140 rispetto alla modellazione adottata dall'Autorità di Bacino per il Fiume Po:

Tabella 4 - Caratteristiche e dati bacino

AK140	TR 20	TR 100	TR 200	TR 500
a	42,71	55,77	61,33	68,69
n	0,37	0,37	0,36	0,36
5 minuti	16,9	22,46	24,82	27,94
15 minuti	25,47	33,58	37,03	41,59
30 minuti	33	43,27	47,65	53,45
1 ora	42,71	55,77	61,33	68,69
2 ore	55,31	71,87	78,93	88,28
3 ore	64,34	83,37	91,48	102,24
6 ore	83,33	107,45	117,74	131,4
12 ore	107,91	138,48	151,53	168,87
24 ore	139,75	178,47	195,02	217,04
48 ore	180,98	230	250,98	278,93

Il coefficiente di deflusso C scelto è pari a 0,55 , facendo riferimento all'ambito collinare come quello in esame, applicando una media pesata sulla superficie per un suolo abbastanza permeabile in parte con copertura boscosa ed in parte con superfici coltivate.
La durata di precipitazione da assumere è quella pari al tempo di concentrazione

$$t_c = 0.396 L \frac{L}{\sqrt{i_a}} \left(\frac{A}{L^2} \frac{\sqrt{i_a}}{\sqrt{i_v}} \right)^{0.72}$$

dove:

- L = lunghezza dell'asta principale;
- A = area della sezione;
- i_a = pendenza dell'asta principale;
- i_v = pendenza dei versanti.

Ne deriva che il tempo di concentrazione in minuti e pari a t_c=27,0 e i relativi risultati in tabella (Tab. 5):

Tabella 5 - Dati calcolati con il metodo razionale

Metodo razionale	TR 20		TR 100		TR 200		TR 500	
	a = 42,71	n = 0,37	a = 55,77	n = 0,37	a = 61,33	n = 0,36	a = 68,69	n = 0,36
Stima della portata di progetto								
Tempo di ritorno (anni)	20		100		200		500	
Precipitazione (mm)	31,71		41,64		45,86		51,45	
Riduzione per area	1		1		1		1	
Precipitazione ragguagliata (mm)	31,71		41,64		45,86		51,45	
Durata di pioggia (h)	0,45		0,45		0,45		0,45	
Intensità di pioggia (mm/ora)	70,46		92,53		101,91		114,33	
Coefficiente di deflusso	0,55		0,55		0,55		0,55	
Area bacino (kmq)	0,44		0,44		0,44		0,44	
Portata liquida m^3/s	4,74		6,22		6,85		7,69	
Contributo unitario $m^3/s/kmq$	10,77		14,14		15,57		17,47	

Per quanto riguarda gli afflussi idrici, che possono raggiungere l'area di intervento, si è deciso di valutarli non in termini di portata al colmo di piena defluente in alveo, ma in volumi idrici che possono raggiungere l'area in occasione di eventi di precipitazione con i tempi di ritorno considerati.

Analizzando la morfologia del bacino idrografico considerato, come già indicato precedentemente, si può notare come in realtà non sia presente una vera e propria asta fluviale per il deflusso concentrato, ma piuttosto vi sia una rete di canali per la raccolta delle acque meteoriche presenti in superficie, la quale raggiunge l'area della ex-polveriera mediante fossi di dimensioni piuttosto contenute e che spesso si presentano in cattive condizioni di manutenzione.

Si è determinato un idrogramma di piena triangolare (Fig.7), considerando una pioggia di intensità costante e durata pari al tempo di corrivazione del bacino, in cui la portata al colmo di piena coincide con quella fornita dalla formula razionale.

La durata complessiva dell'evento di piena è pari a due volte il tempo di corrivazione, mentre l'area dell'idrogramma è pari al volume complessivo che defluisce alla sezione di chiusura del bacino.

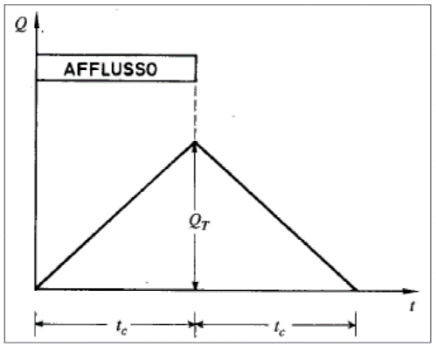

Figura 7 - Schematizzazione idrogramma triangolare

Considerando pertanto il tempo di corrivazione già calcolato (t_c = 27 min) e le portate di piena determinate con l'applicazione del metodo razionale, è stato possibile individuare il volume idrico che può raggiungere l'area della ex-polveriera durante lo svolgimento di eventi di piena con i tempi di ritorno adottati:

Tabella 6 - Valori di portata e volumi dell'area

Tempo di ritorno (anni)	Portata di piena	Tempo di corrivazione	Volume affluito
anni	m^3/s	min	m^3
20	4,74	27	7679
100	6,22	27	10076
200	6,85	27	11097
500	7,69	27	12458

Tenendo conto della realizzazione del canale di deflusso che consente il deflusso di circa 0,5m^3/s nella valutazione degli apporti idrici che possono giungere presso l'area della ex-polveriera deriva che durante il completo svolgimento degli eventi di piena stimati, l'ordine di grandezza del volume degli apporti idrici che

non vengono smaltiti dal previsto sistema di raccolta dei deflussi sarà pari ai valori indicati nella seguente tabella

Tabella 7 - Valori volumi smaltiti dell'area

Tempo di ritorno (anni)	Volume affluito	Portata smaltita a valle	Volume smaltito a valle	Volume non smaltito a valle
anni	m^3	m^3/s	m^3	m^3
20	7679	0,5	1620	6059
100	10076	0,5	1620	8456
200	11097	0,5	1620	9477
500	12458	0,5	1620	10838

I valori sopra indicati rappresentano una stima quantitativa dei volumi in gioco, una ragionevole valutazione dell'ordine di grandezza dei volumi che non potranno essere smaltiti durante gli eventi di pioggia rari, tali volumi possono stimarsi da 5 a 10 mila metri cubi.

Il Piano Paesaggistico Regionale della Regione Piemonte

Il Piano paesaggistico regima la pianificazione del paesaggio e, con il Piano territoriale regionale ed il Documento Strategico Territoriale, costituisce il Quadro di Governo del Territorio.

La Giunta Regionale, con D.G.R. n. 53-11975 del 04 agosto 2009, ha adottato il Piano paesaggistico regionale (Ppr), sinteticamente.

Gli obiettivi del Ppr sono:

- integrazione fra valorizzazione del patrimonio ambientale, storico, culturale, paesaggistico ed attività connesse;
- riqualificazione delle aree urbane e rigenerazione delle aree dismesse e degradate;
- recupero e riqualificazione di aree degradate in territori rurali (insediamenti industriali dismessi, cave, discariche, ecc.);
- contenimento dell'edificato frammentato e disperso.

L'atto di pianificazione è stato studiato e scritto per promuovere e diffondere la conoscenza del paesaggio piemontese ed il suo ruolo cardine per lo sviluppo sostenibile dell'intero territorio regionale, inoltre ha il ruolo di attivare un processo di condivisione con gli Enti pubblici del quadro conoscitivo e regolativo in esso contenuto.

Presentazione progetto

L'intervento in progetto è circoscritto all'area ex demaniale della Polveriera di Caraglio, in abbandono pluridecennale acquisita dall'Amministrazione comunale.
Il presente progetto di valorizzazione del sistema irriguo, turistico ed architettonico prevede di riqualificare tale area ad un uso sostenibile della risorsa idrica, oggetto specifico della richiesta di finanziamento a valere sul Bando Interventi Faro della Fondazione CRC, quadriennio 2017-2020.
Il progetto ha come obiettivo quello di migliorare le capacità di approvvigionamento e distribuzione idrica ad uso irriguo e al contempo completare l'offerta turistica, inoltre si presenta gradevolmente e positivamente inserito all'interno del contesto ambientale, grazie anche al ricorso di tecniche ingegneristiche naturali e all'utilizzo di materiali naturali.

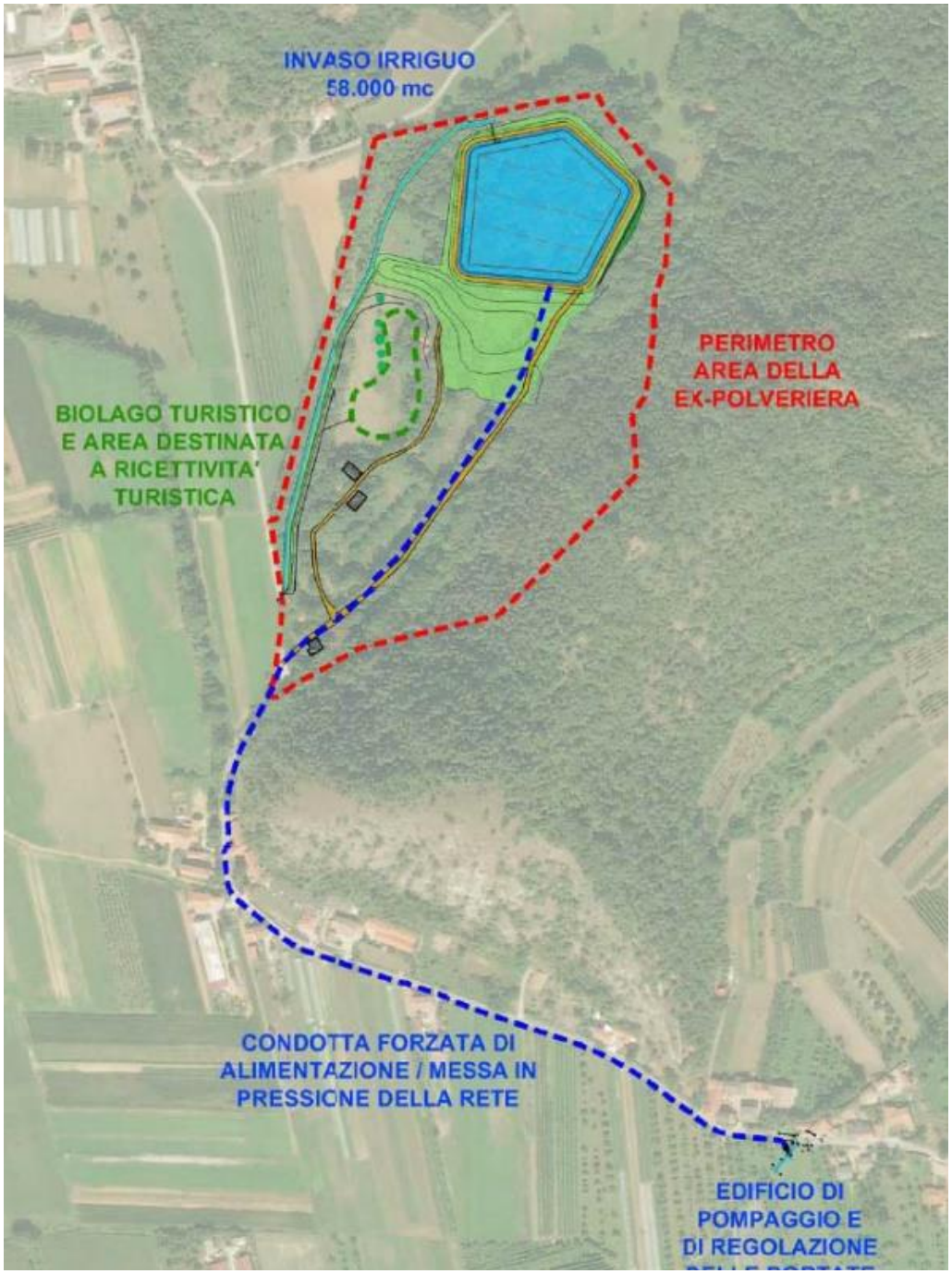

Figura 8 - Area di intervento

Descrizione stato attuale

La nostra area, con superficie di circa 13 ettari, è caratterizzata da una condizione generale di abbandono e degrado paesaggistico-ambientale con la presenza di numerosi edifici in precarie condizioni strutturali (circa 12), in stato avanzato di rovina a causa soprattutto delle infiltrazioni piovane attraverso i tetti molto compromessi.

Questa situazione è stata causata dal lungo periodo di inattività succedente allo cessare del presidio militare svoltosi dal dopo guerra fino al 1985. Il sito interamente recintato si sviluppa prevalentemente in piano con una breve porzione addossata al versante orografico, l' area è accessibile da due ingressi distinti ubicati entrambi su Via Bottonasco. Tale area evidenzia un forte degrado ambientale e paesaggistico, nonché manufatti in precarie condizioni strutturali ed un bosco invasivo in colonizzazione delle aree prative.

L'attuale recinzione è parzialmente coperta dalla vegetazione infestante e presenta tratti sconnessi da ripristinare. Il suo assetto è definito da un percorso ad anello della viabilità interna alle cui adiacenze sono raggruppati in 5 aree i diversi fabbricati per l'attività militare, la maggior parte di questi è costituita da ampi magazzini con base rettangolare (10 x 15 metri).

Figura 9 - Cancello entrata dell'area

Figura 10 - Immobile da riqualificare

Di questi fabbricati solo alcuni verranno mantenuti e saranno recuperati come per esempio la "ex Palazzina Comando" che nonostante lo stato avanzato di degrado riceverà una rifunzionalizzazione turistica essendo collocata in prossimità dell'ingresso principale su Via Bottonasco (Fig. 9 e 10).

E' presente ad oggi la conformazione dei sistemi di drenaggio superficiale degli apporti idrici di origine meteorologica, che permette di mantenere la capacità di laminazione locale e di migliorare di conseguenza la sicurezza delle aree interne.

In caso di necessità è prevista una laminazione delle portate in eccesso nei campi attigui causata per la maggior parte dall'ostruzione del canale lungo il lato Ovest dell'area.

Il profilo forestale si presenta con un assetto forestale dell'area pianeggiante definito dai filari arborei piantumati che contornano la viabilità della polveriera. Gli esemplari arborei piantumati a margine della pista interna risultano ancora oggi gli elementi costituenti il piano dominante al di sotto del quale, con l'abbandono delle attività militari, si è assistito alla progressiva colonizzazione e invasione dell'acero frassineto.

Allo stato attuale la vegetazione arborea all'interno dell'area recintata è pertanto principalmente ascrivibile a formazioni in neo-colonizzazione di radure e spazi aperti, con l'eccezione di una ristretta superficie sull'estremo nord dell'area che ospita tre filari di ontano nero.

Figura 11 – Zona Nord del sito con magazzino pericolante

La vegetazione è di tipo boschivo, con presenza di alberi di medio ed alto fusto, tra cui castagni, pioppi, faggi. E' stato individuato un filare di gelsi, vestigia delle coltivazioni funzionali agli allevamenti dei bachi da seta, che verrà mantenuto ed integrato all'interno del progetto. Sono altresì presenti in grande quantità essenze infestanti e tappezzanti il terreno, oltre a piante ormai secche e da abbattere (Fig. 11).

Invaso ad uso irriguo

L'invaso in progetto sarà collocato sul lato Nord della superficie a disposizione, ed avrà forma pentagonale. Assolverà alla funzionalità di accumulo per i periodi di massima esigenza stagionale, che cronicamente coincide con le minime disponibilità nei corpi idrici.

Questo intervento di risparmio, efficientamento ed uso plurimo della risorsa idrica si presentano, oltre che funzionali, anche gradevolmente e positivamente inseriti all'interno del contesto ambientale, con ricorso alle tecniche dell'ingegneria naturalistica ed utilizzo di materiali naturali. Tecnicamente in alcuni punti dell'opera la profondità massima dell'acqua sarà di 4,00 m, con superficie bagnata a bordo lago di circa 16.800 m^2.

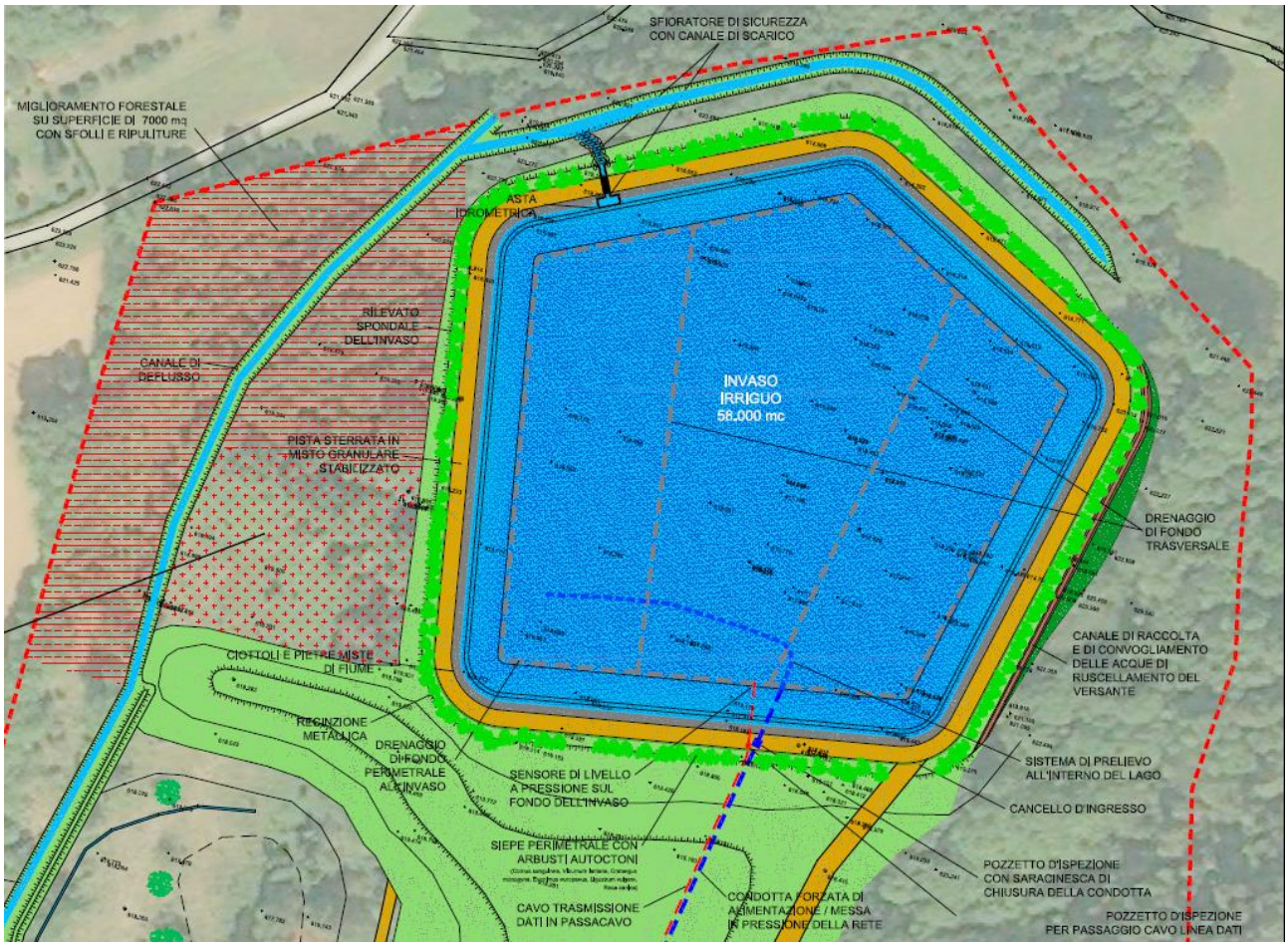

Figura 12 - Invaso irriguo, planimetria di progetto

L'invaso (Fig. 12) si posiziona altimetricamente come parzialmente interrato in quanto:

- sul lato Est si raccorda al versante orografico,
- sul lato Sud è presente un terrapieno con quota altimetrica superiore all'argine dell'invaso;
- sul lato Ovest è delimitato dalla presenza della pista principale che attraversa la Polveriera, rispetto alla quale l'argine di contenimento (1,30 m) è posto ad una quota più alta rispetto alla pista esistente.
- sul lato Nord si realizza un argine di altezza fuori terra (2,00 m) con livello idrico contenuto rispetto al piano di campagna naturale.

Lungo tutto il perimetro del bordo invaso sagomato la finitura consentirà la posa di una fascia in ghiaia tale da mantenere un aspetto naturale e consentire le eventuali attività di manutenzione. Il tutto contornato da una viabilità sterrata di larghezza 4,00 m con all'esterno una recinzione in rete metallica alta 1,80 m.
L'area è accessibile mediante la pista esistente che percorre la polveriera.
Tutto ciò che costituisce il rilevato a sud dell'invaso sarà realizzato con il materiale di risulta dagli scavi, eventualmente miscelato con altro materiale inerte per ottenere adeguate caratteristiche strutturali.
Dati riassuntivi dell'invaso ad uso irriguo:

- Quota di fondo: 616,00 m s.l.m.
- Quota massima di invaso: 620,00 m s.l.m.
- Quota dello sfioratore laterale di sicurezza: 620,00 m s.l.m.
- Massima profondità dell'acqua: 4,00 m.
- Larghezza dello sfioratore laterale: 4,50 m.
- Pendenza delle sponde: 27°
- Capacità massima dell'acqua nell'invaso: 58.000 m3

I fabbricati esistenti nell'area verranno demoliti fino al piano delle fondazioni e verrà creato lo scotico dello strato superficiale del terreno per la realizzazione dell'invaso irriguo. Successivamente si effettuerà lo scavo fino ad una profondità massima di circa 2,00 m rispetto al piano di campagna regolarizzando le sponde con una pendenza massima di 27°. L'impermeabilizzazione del fondo sarà affidata ad uno strato di membrana EPDM stesa su un letto di materiale fine argilloso trovato in loco e strato di geotessile.
Sotto il profilo delle opere idrauliche l'invaso irriguo è dotato di un dispositivo di sfioro di sicurezza e di una paratoia di scarico.
A seguire un'inquadratura più dettagliata sull'intervento che verrà eseguito. Oltre alle pendenze degli scavi

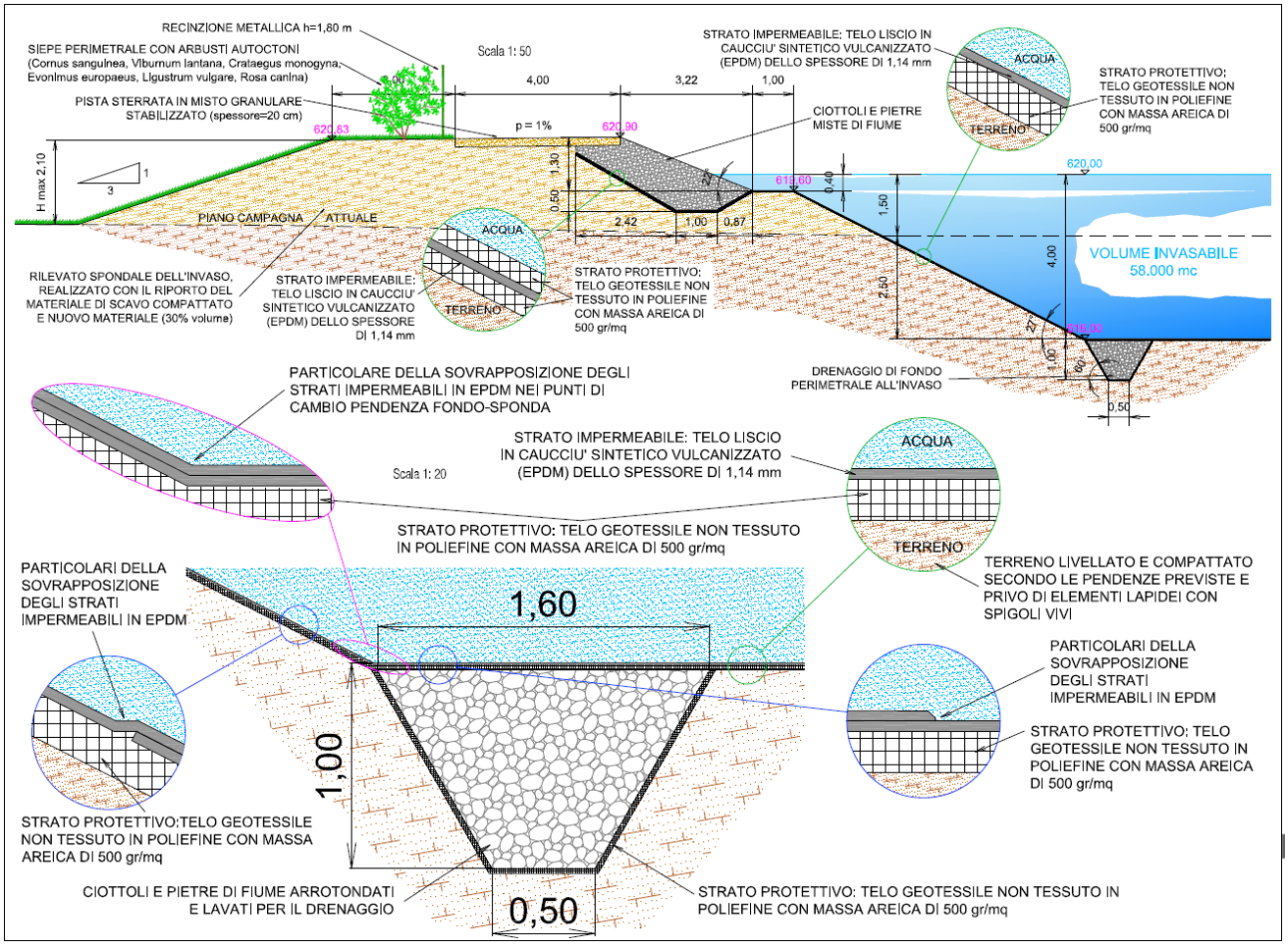

Figura 13 - Particolari costruttivi invaso irriguo

sono indicati anche i materiali da utilizzare, la loro disposizione e il loro assemblaggio.
Il rivestimento dell'invaso è costituito da strati protettivi impermeabili in EPDM (teli lisci in cacciù sintetici e vulcanizzati) e per alcune zone si impiegano teli geotessili non tessuti in poliefine; in entrambi i casi adagiati sul terreno presumibilmente argilloso (Fig. 13).
Tutte queste sono informazioni che prossimamente verranno riprese nella valutazione delle analisi, una volta introdotto il caso nella sua interezza. Si può già anticipare comunque che le problematiche che si potrebbero riscontrare nella realizzazione di tale manufatto hanno a che vedere con la fase precedente al suo utilizzo per quanto riguarda lo scavo, e poi anche una volta ultimato il lavoro, poiché esiste la possibilità che l'equilibrio dell'opera possa essere perturbato da agenti esterni quali i cambiamenti di condizioni ambientali e livelli idrici.
Sarà dunque necessario, una volta ipotizzate tutte le possibili alternative, calcolare se esistono realmente queste minacce alla stabilità. In caso positivo si dovrà capire in che forma e quantità da poter operare per mitigare ogni possibile danno e malfunzionamento.

Condotte principali di alimentazione/restituzione da/al Canale Paniale

La rete di adduzione e distribuzione ad uso irriguo ha lo scopo di consentire l'accumulo delle portate nell'invaso di nuova realizzazione e la sua distribuzione al reticolo irriguo nel periodo di utilizzo.

Le portate per l'alimentazione dell'invaso saranno derivate dalla rete irrigua del Bedale di Caraglio ed in particolare dal Canale di Paniale / Rivo Leazzo presso Roata Fresia (Fig. 14).

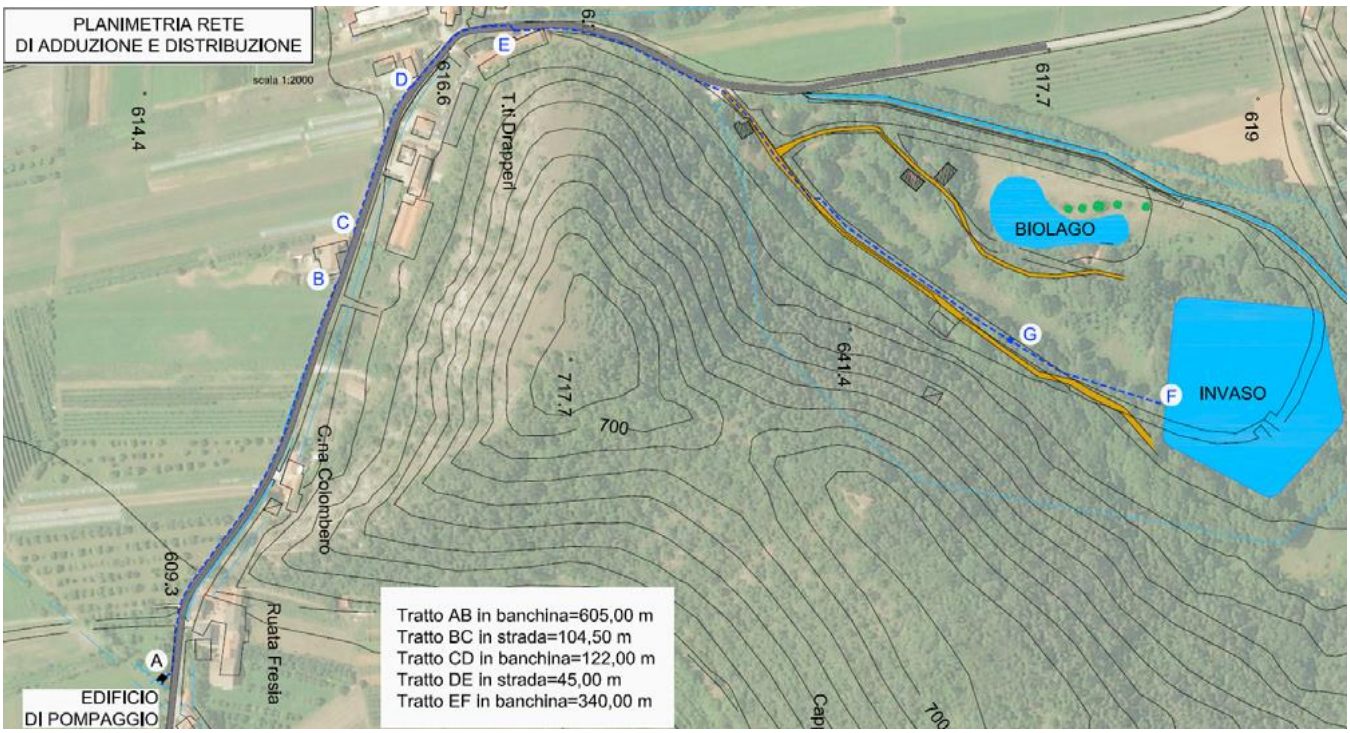

Figura 14 - Rete di adduzione e distribuzione

Tale punto di connessione alla rete irrigua presenta una buona dotazione idrica costante per tutta la stagione irrigua. La captazione delle portate irrigue avverrà mediante un pozzetto dotato di stazione di sollevamento costruita in destra al Canale Paniale nelle vicinanze della strada comunale.

Le opere derivate sono sollevate mediante pompa immersa e convogliate entro una condotta per il trasporto in pressione di acqua non potabile. Il tracciato della condotta si svolgerà principalmente in banchina della strada comunale con brevi tratti posti in centro strada in corrispondenza degli edifici (circa 1220 m). Le portate per poter raggiungere l'invaso dovranno necessariamente essere sollevate in quanto tra il Canale Paniale nel punto di derivazione e la quota di massimo invaso risulta un dislivello di circa 11,60 m.

La condotta di adduzione, a cui si è assegnato il valore 130 per la scabrezza secondo Hazen-Williams per la lunghezza di 1220 m, risulta gravare con una perdita unitaria di circa 2.48 m/km, la pompa dovrà fornire la prevalenza di 20 m per la portata di 30 l/s, con una potenza nominale di circa 8,5 kW, a seconda del modello adottato (Fig. 15).

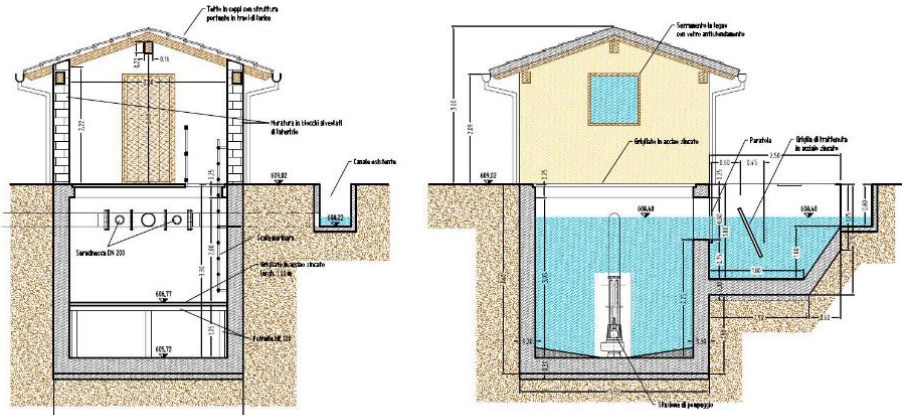

Figura 15 - Edificio manovra e pompaggio

Tale modalità di prelievo consentirà il totale riempimento dell'invaso (circa 58.000 m^3) nel corso di

23 giorni. All'interno dell'area ex Polveriera il tracciato si svolgerà in terreno naturale e verrà predisposto un pozzetto per lo stacco delle portate per l'alimentazione del bio lago, che potrà essere reso possibile sia direttamente dalla stazione di sollevamento, sia dall'invaso irriguo. Le condotte di adduzione/restituzione delle portate saranno posate interrate al di sotto del sedime stradale per la parte da Roata Fresia, all'ingresso dell'area della ex Polveriera ed in terreni naturali per i restanti tratti.

Bio lago balneabile e struttura ricettiva annessa

La realizzazione del bio lago è il punto cardine dello sviluppo a scopo turistico dell'area degradata, e che si presta ad essere implementata con successive fasi introducendo altre strutture ricettive o attività.
Il bio lago balneabile è uno specchio lacustre artificiale realizzato secondo la tecnica delle piscine naturali e pertanto consente la balneazione in acque depurate senza l'utilizzo di additivi di natura chimica.
La capacità depurativa del lago è condizionata dal rispetto dei rapporti tra la superficie balneabile e quella di rigenerazione, ossia quella in cui sono piantumate le piante acquatiche, in questo caso si è adottato un sostanziale rapporto equivalente tra le due superfici che nelle bio piscine di grandi dimensioni può consentire di evitare la realizzazione di un impianto tecnico di depurazione (Fig. 16).
Quindi le aree superficiali di rigenerazione equivalgono a quella di balneazione nello specifico però il bio lago sarà costituito dalle seguenti zone:

- aree di rigenerazione I e II;
- zona bimbi;
- zona ad accesso per non nuotatori con altezza massima crescente con massimo di 1,20 m;
- zona nuotatori a profondità massima 3,00 m;
- ruscello.

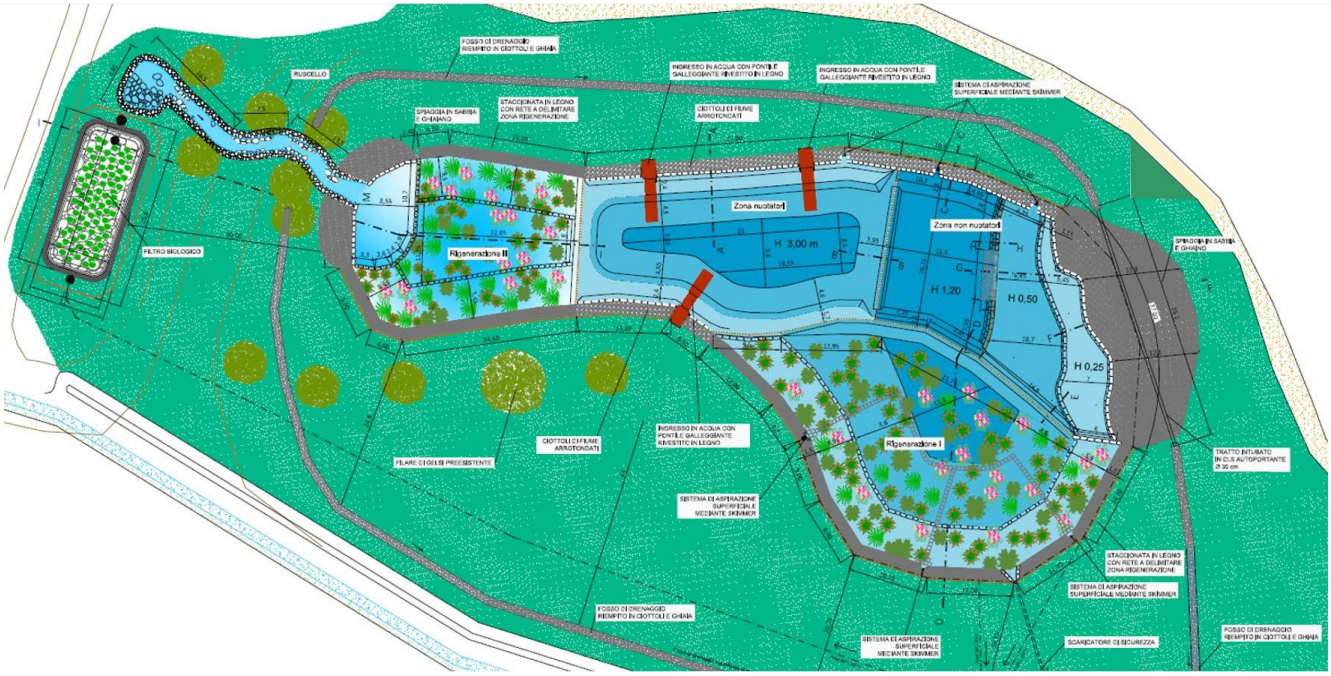

Figura 16 - Planimetria bio lago

Mentre invece per la gestione idrica al suo interno l'impianto idraulico è costituito da:

- n. 3 skimmer laterali posti nella zona balneabile e relativa rete idrica in Pead di diametro 160 e lunghezza complessiva di 112 m;
- n. 3 skimmer laterali posti nella zona di rigenerazione e relativa rete idrica in Pead di diametro 125 e 160 e lunghezza complessiva di 72 m (52 + 20);

- un vano interrato per l'alloggiamento e la regolazione delle pompe di sollevamento;
- una condotta unica di mandata di diametro 180 in PEAD di lunghezza 160 m tra il vano
- un filtro orizzontale sommerso di lunghezza 20 m e larghezza 8 m per la depurazione delle portate;
- la restituzione delle portate circolanti al ruscello che conduce al lago (lato Nord).

Il primo livello costituito da una spiaggia con ciottoli fini o sabbia grezza consente un accesso in acqua facilitato e graduale fino al secondo livello di 50 cm con tre piani degradanti.
I vari livelli sono divisi con un gradone in pietra, il fondo presenta ciottoli fini nella variazione di profondità passando per le quote di 5, 15 cm. Dopo di che inizia la parte balneabile, anche questa con più livelli e profondità, a partire da1 / 1,50 m fino ad arrivare a 3,00 m per i più esperti. Gli accessi alle zone bimbi sono dotate di gradoni in pietra e appoggi facilitati, saranno presenti pontili e zone tuffi, ove la profondità lo consenta.
L'area di rigenerazione è l'area depurante dell'intero laghetto, al suo interno sono piantumate su specifici substrati, all'occorrenza concimati, diversi tipi di piante palustri, ossigenanti e galleggianti.
La realizzazione del bio lago si inserisce positivamente all'interno del contesto paesaggistico grazie anche ad alcune accortezze paesaggistiche tenute durante la sua progettazione, come la considerazione della presenza di un filare di gelsi, di rilievo botanico, paesaggistico e storico, assunto come limite per la porzione nord del laghetto; per di più le acque sono depurate naturalmente senza l'utilizzo di additivi di natura chimica. Verranno inserite molteplici tipi di piante acquatiche e supracquatiche e infine verrà impiegato l'utilizzo di materiali naturali e di forme arrotondate.
A differenza dell'invaso irriguo, presentato precedentemente, il bio lago si trova in una zona all'interno del nostro sito che rimane meno perturbata delle acque provenienti dallo scolo della valletta in cui è inserito il sito. Dunque è più probabile che venga coinvolto meno dalle mutazioni delle condizioni all'esterno e che siano necessarie meno attenzioni, strutturali e non, per la salvaguardia della struttura e del suo funzionamento. Anche questa ipotesi sarà argomento di studio e analisi nel proseguo di questa tesi.
L'approvvigionamento idrico del bio lago verrà effettuato con acque pulite che rispettano già all'origine i valori indicati in normativa. Alla volumetria iniziale di circa 3600 m^3 sono previsti rabbocchi occasionali per pareggiare le perdite di evaporazione, soprattutto nel periodo estivo durante la sua fase più attiva.

Ricostruzione dell’assetto idrogeologico dell’area di intervento

Per la ricostruzione dell’assetto idrogeologico della nostra area di intervento mi sono avvalso dell’utilizzo del programma QGis, ottenendo un’interfaccia valida e chiara dell’argomento affrontato in questi mesi.

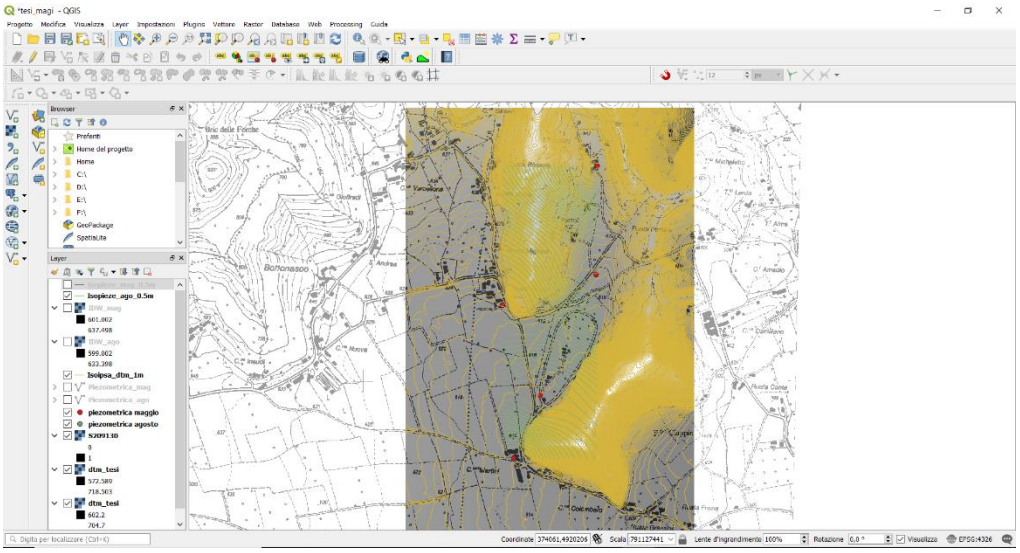

Figura 17 - Schermata di lavoro QGis

Una volta ottenuti i dati dei vari punti considerati, che successivamente elencherò con maggior attenzione, si è proceduto all’elaborazione delle informazioni all’intorno dell’area della ex Polveriera e di conseguenza all’interno di essa.

Dal portale della regione Piemonte è stato scaricato il DTM della nostra zona di interesse, ritagliato all’intorno del sito e caricato sul nostro programma pronto per essere analizzato (Fig.17).

QGis ha permesso il confronto rapido della precisione di alcuni dati attraverso le sue funzioni; caricato il file contenente il DTM e geolocalizzato la relativa planimetria è stato possibile subito controlare una prima ed approssimativa verifica del combacio fra i due.

In seguito ci si è avvalsi anche dell'utilizzo di siti internet e app, come per esempio Google Earth; analogamente vengono rappresentati in seguito con due diverse modalità la stessa zona, la prima con la rappresentazione del DTM e l'altra con vista Google Earth (Fig. 18 e 19).

Figura 18 - DTM zona di studio

Figura 19 - Vista zona di studio (Google Earth)

Ricostruzione del campo di moto dell'acquifero

Per ottenere una ricostruzione valida e attendibile del campo di moto dell'acquifero o degli acquiferi che interessano e perturbano la nostra area di studio è stato necessario avvalersi di diverse tecniche di monitoraggio e campionamento; unite a molteplici confronti personali con la popolazione che ben conosce la sua terra e con professionisti che già avevano studiato la zona.
Sono emersi, durante lo studio del sito, dei particolari che erano rimasti in una prima considerazione quasi marginali o di secondaria importanza; mentre invece si son rivelati addirittura determinanti per la soluzione del caso. Alcuni di essi non vengono trovati nella prima relazione geologica e idrogeologica del progetto, rivelatasi su alcune questioni molto superficiale.
Ricostruiamo ora in ordine le fasi pratiche e di studio affrontate, propedeutiche al raggiungimento del nostro scopo finale.

Individuazione pozzi-piezometri

Gli studi effettuati si avvalgono di misurazioni, campionamenti e monitoraggi di pozzi, piezometri e fuori uscite di acqua evidenziati sotto forma di punti nella seguente mappa. Come è facilmente percepibile la zona complessiva di nostro interesse è molto vasta. E' stato ritenuto opportuno spingersi ben al di fuori dell'area del sito per comprendere di fatto che succede al suo interno.
All'interno dell'area della ex Polveriera (Fig. 20) sono presenti due piezometri e un pozzo, quest'ultimo risalente alla fase in attività ormai appartenente al passato. Purtroppo una volta sul campo è stato possibile constatare l'inutilizzo di ben due di questi punti, per quanto riguarda il piezometro (di recente installazione) esso ha subito la manomissione probabilmente antropica sia della sonda al suo interno che della chiusura del tappo alla sua sommità; essenziale per il buon funzionamento. Il pozzo invece si trova in pessime condizioni strutturali e a quanto pare anche di funzionamento, misurarlo non avrebbe restituito alcun dato valido.

Dunque è rimasto come risorsa attendibile solamente il piezometro situato alle spalle dei primi casolari che si incontrano non appena entrati all'interno dell'anello disegnato dalla via principale, sotto il nome di piezometro #1.
Oltre ai punti all'interno ne sono stati considerati altri sei. Per prima cosa è stato ritenuto necessario individuare i pozzi appartenenti alle cascine o alle borgate limitrofe che un tempo utilizzavano i suddetti per motivi di irrigazione e per il mantenimento dell'apporto idrico potabile casalingo. Questa fase ha presentato alcune inaspettate difficoltà dovute a volte dallo scetticismo di alcuni proprietari, (per la verità questi sono stati la minoranza), mentre in alcuni casi i pozzi ormai in disuso si sono presentati sporchi e difficilmente accessibili, mentre in altri grazie a restaurazioni recenti non c'è stato alcun problema o disguido nell'utilizzarli.
Al termine delle ricerche dei pozzi si è giunti ad individuarne quattro, tutti loro più il piezometro si trovano nella frazione di Bottonasco e tutti questi hanno ricevuto la maggior attenzione essendo stati campionati e misurati in diversi momenti dell'anno.

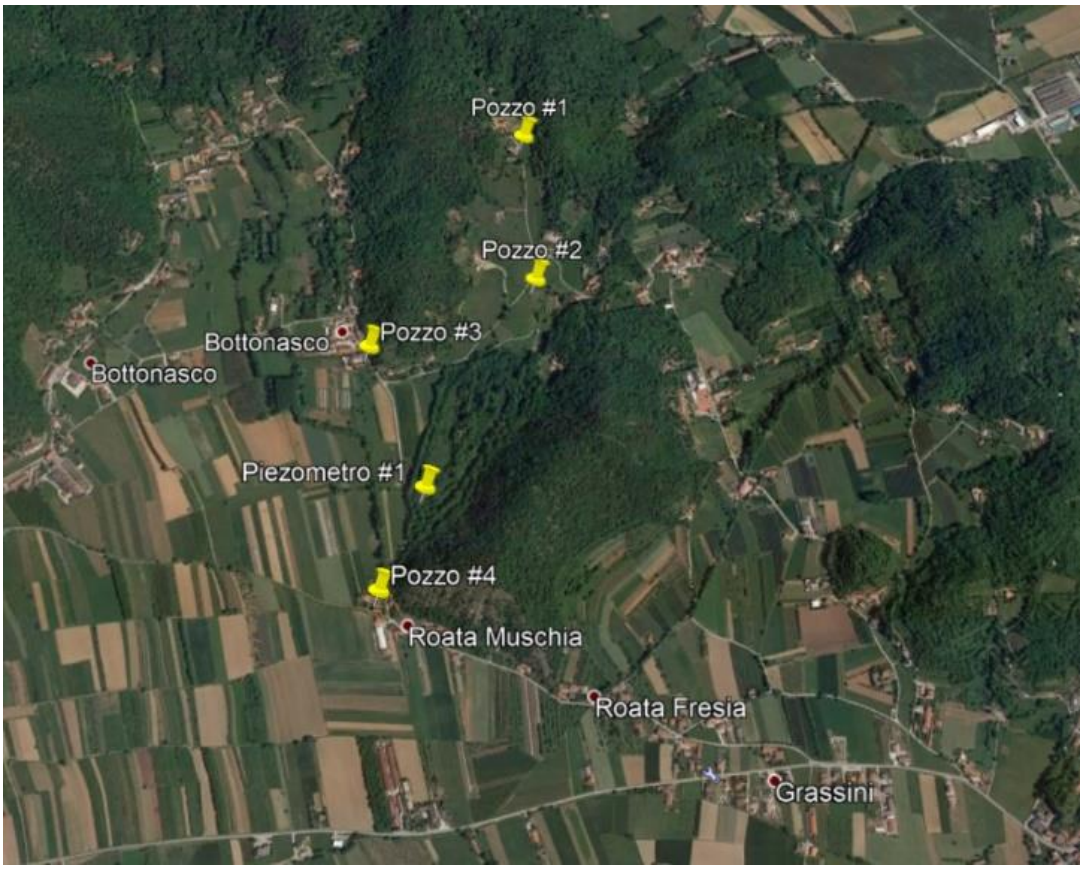

Figura 20 - Ubicazione sotto forma di punti di pozzi e piezometri individuati all'intorno e dentro al sito

I restanti due punti sono relativamente il Torrente Grana e la Fontana dei Celleri, il primo campionato nei pressi di Monterosso Grana al cospetto della parziale deviazione del torrente ramificata e forzata al di sotto del passaggi del ponte, il secondo invece è stato campionato dalla fuoriuscita in condotta cementificata nei pressi dell'ex-Filatoio di Caraglio; questi ultimi due punti sono stati considerati solamente per la parte riguardante le analisi geochimiche che vedremo in seguito.
Il pozzo #2 (diametro 120 cm) nel mattino del giorno 8 Agosto 2018 è stato monitorato durante una fase di ricarico, successiva ad un suo utilizzo nel giorno precedente. Il suo livello di acqua è risalito di 21 cm in un tempo di 124 minuti (Fig. 21). Stimiamo la sua portata di ricarico attorno ai 0,115 m^3/h.

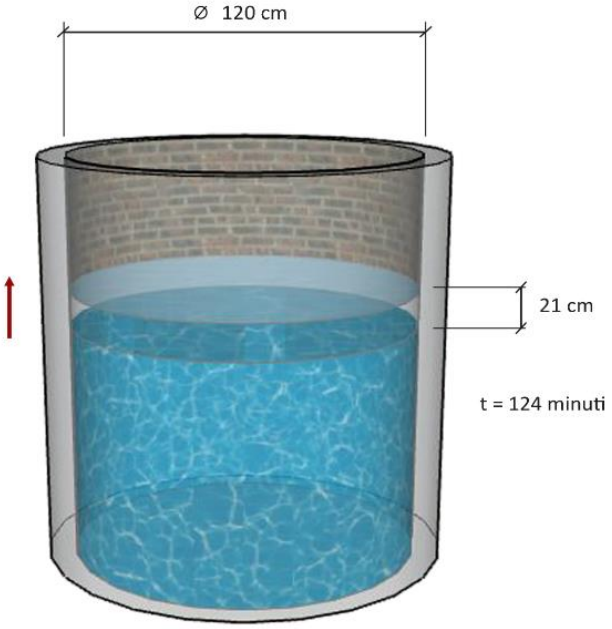

Figura 21 - Schema del monitoraggio del pozzo #2 in ricarica

Geolocalizzazione punti

I punti che è possibile notare nella mappa in Fig. 22 rappresentano i luoghi e l'ubicazione di dove sono stati effettuati i campionamenti e i monitoraggi.
Rimane ben visibile l'apertura della valle che con il suo torrente incontra la pianura, allargando di molto la sua ampiezza, da sottolineare la presenza di molti campi agricoli sinonimo di terra fertile e con presenza di molta acqua.
Preso l'imbocco della Valle Grana abbiamo il nostro punto dove è stato prelevato il campione del Torrente Grana, sulla destra dell'immagine invece più vicina al centro cittadino di Caraglio è localizzata la Fontana dei Celleri. Questi due punti rappresentano i due estremi est e ovest di una vasta area all'interno della quale troviamo il nostro sito di studio e gli altri quattro punti.
In Tab. 8 sono riportati i rispettivi valori di longitudine e latitudine per ogni punto.

Figura 22 - Vista zona con i sette punti totali

Tabella 8 - Valori di coordinate per ogni punto di latitudine e longitudine

	Pozzo #1	**Pozzo #2**	**Pozzo #3**	**Pozzo #4**	**Piez. #1**	**Torrente Grana**	**Fontana Celleri**
Latit. N	44°25'50.02"	44°25'36.25"	44°25'29.67"	44°25'8.00"	44°25'16.99"	44°24'43.00"	44°25'26.53"
Long.S	7°24'16.03"	7°24'17.99"	7°23'57.82"	7°24'0.58"	7°24'5.46"	7°20'39.97"	7°25'31.73"

Piezometrie

Avvenuta la geolocalizzazione dei nostri punti si è proceduto con il monitoraggio dei livelli di acqua al loro interno per poter costruire una piezometrica, questo lo si è fatto in due momenti distinti dell'anno uno a Maggio e uno ad Agosto.

Materiale tecnico utilizzato:

- Freatimetro (Fig. 23)
- Agenda

Figura 23 – Freatimetro

Il monitoraggio dei livelli piezometrici, relativi ai pozzi e piezometri considerati, è stato eseguito tramite l'utilizzo di un freatimetro. Il funzionamento di tale apparecchio è molto semplice: la sonda una volta calata all'interno e fatta raggiungere l'acqua produce un suono, a quel punto si controlla sulla fune metrata alla quale è attaccata, a che profondità lo strumento ha incontrato il nostro livello idrico.
In alcuni casi la sonda non raggiungeva la superficie da misurare causa ostruzioni e malformazioni strutturali del manufatto caduto in disuso, è stato quindi merito dell'operatore accertarsi prima delle reali condizioni strutturali per poi operare in totale sicurezza ed evitare lo smarrimento o direttamente il distacco della sonda.
Compiuto il lavoro pratico sono stati appuntati i valori delle profondità in correlazione alle rispettive coordinate geo referenziali del pozzo/piezometro su di una agenda.
Le prime misurazioni sono state eseguite il 19 Maggio 2018 mentre a distanza di quasi tre mesi il 9 Agosto 2018 sono state eseguite le seconde. Queste ultime hanno riscontrato, come da aspettative, livelli idrici minori, il fatto è relativo ad un periodo in mancanza di precipitazioni e ad un uso cospicuo di risorsa idrica per l'irrigazione dei campi coltivati.
Questa procedura è stata eseguita nei due momenti suddetti a seguito di speciali condizioni meteoriche che accentuassero le condizioni di presenza o meno di acqua nel territorio. Ottenute le due misurazioni è stato possibile confrontare fra loro le due piezometriche risultanti dall'interpolazione dei dati misurati.

Dati piezometrici 19 Maggio 2018

A seguito di un Maggio straordinariamente piovoso e umido sono stati eseguite le misurazioni e come da aspettativa abbiamo incontrato una situazione con livelli idrici molto alti e con carichi importanti, che ci hanno permesso di trarre alcune conclusioni e prendere in considerazione ipotesi prima nemmeno immaginabili.
Come si può notare dalla Tab. 9 per esempio per quanto riguarda il pozzo #1 la soggiacenza misurava appena 1 m, valore importante che sottolineava la forte affluenza di risorsa idrica. Altro dato che ha creato non poco stupore, anche nell'atto di misurarlo, è stato quello del pozzo #4. Questo pozzo, ormai in abbandono, non è mai stato utilizzato poiché come da testimonianza degli abitanti più anziani dei casolari della borgata e dalla memoria di alcuni più giovani, non ha mai intercettato grosse riserve di acqua sufficienti per il sostentamento della popolazione attorno.
Invece il giorno 19 Maggio 2018, in quello stesso manufatto, si è misurata la presenza di acqua a 16,5 metri di profondità con annesso scalpore del proprietario che ha rivalutato l'idea di poterlo un giorno riparare e riutilizzare.
Sono riportati di seguito nella tabella i valori delle soggiacenze misurate, la quota sul livello del mare di ogni punto e a lato l'altezza h della superficie idrica, valore utilizzato per la realizzazione della piezometrica di Maggio 2018 che verrà mostrata più avanti.

Tabella 9 - Dati monitoraggio 19 Maggio 2018

	Quota (m slm)	Soggiacenza (m)	h sup. idrica (m)
Pozzo #1	638,5	1	637,5
Pozzo #2	621,8	0	621,8
Pozzo #3	622,2	8,1	614,1
Pozzo #4	617,5	9,3	608,7
Piez. #1	618	16,5	601

Dati piezometrici 9 Agosto 2018

Trascorsa buona parte dell'estate si è ritornati sul campo e sono state effettuate un'altra volta tutte le misure dei livelli idrici. Le tecniche sono rimaste invariate, non è stata apportata alcuna modifica né nello strumento né nella tecnica di misura.

Solo una situazione è rimasta invariata, ovvero quella del pozzo #2 che continua a presentare una situazione in cui l'acqua fuori esce tramite un troppo pieno rendendo così la zona sottostante, ovvero la zona a nord del nostro sito di interesse, spesso una zona troppo umida persino per essere utilizzata come campo agricolo e in alcuni casi addirittura un acquitrino; questo aspetto sarà determinante nel proseguo della tesi.

Da sottolineare anche la condizione del pozzo #4 che si presentava asciutto, tornando di fatto alla situazione descritta dai paesani.

Sono riportati di seguito nella Tab. 10 i valori delle soggiacenze misurate, la quota sul livello del mare di ogni punto e a lato la altezza h della superficie idrica, valore utilizzato per la realizzazione della piezometrica di Agosto 2018 che verrà riportata in seguito.

Tabella 10 - Dati monitorati 9 Agosto 2018

	Quota (m slm)	Soggiacenza (m)	h sup. idrica (m)
Pozzo #1	638,5	5,1	633,4
Pozzo #2	621,8	0	621,8
Pozzo #3	622,2	9,2	613
Pozzo #4	617,5	10,3	607,7
Piez. #1	618	18,5	599

Analisi geochimiche

Ulteriormente a quello che già è stato spiegato si è ritenuto opportuno svolgere delle analisi geo chimiche a campione. Oltre ai punti già monitorati sono state eseguite le analisi anche ad altri due importanti indicatori della componente idrica della zona: il Torrente Grana e la Fontana dei Celleri (Fig. 24).

Figura 24 - Campionatura presso la Fontana dei Celleri

Materiale utilizzato:

- Rilevatore pH, T°, conducibilità
- Backer di plastica
- Spruzzino con acqua distillata
- Agenda

Il campionamento, svolto il 26 settembre 2018, per alcuni punti prevede il prelievo in profondità. Tale pratica si effettua facendo calare mediante una fune un serbatoio cilindrico, della capienza di circa un litro, con raggio di poco più di cinque centimetri (stretto abbastanza da poter scorrere agilmente anche nei tubi poco più larghi)

Al fine di ottenere dei dati privi di alcuna contaminazione esterna è stato ritenuto necessario scartare il primo prelievo ed effettuarlo più volte fino a quando il fluido non si fosse presentato omogeneo e senza eccessiva frazione solida sospesa.

Figura 25 - Misurazione in loco di pH, temperatura e conducibilità

Si procedeva così al riempimento dei due contenitori da 0,5 litri e da 0,1 litri per ogni pozzo, piezometro, fuori uscita di acqua e torrente. Una volta etichettati sono stati analizzati presso il laboratorio di ingegneria ambientale DIATI del Politecnico di Torino.

Si è ritenuto necessario ricorrere alle analisi geochimiche poiché non c'erano altre soluzioni da adottare per comprendere realmente se le acque intercettate e campionate facessero davvero parte dello stesso acquifero. Anche questo tema nelle relazioni precedenti del progetto è sempre stato oggetto di tante ipotesi alcune molto azzardate che pero non hanno mai trovato modo di essere accertate o in caso contrario confutate.

In questo studio si è valutato tutto ciò che era possibile valutare dando credito anche alle ipotesi passate e facendone di nuove, le quali hanno trovato fondamenta nei valori misurati.

In loco sono state effettuate le misurazioni dei valori di pH, temperatura e conducibilità elettrica utilizzando lo strumento elettronico in dotazione.

Essendo alcuni di questi dei valori che cambiano repentinamente dopo poco tempo, sono stati eseguiti per primi non appena estratto il campione, come è possibile vedere nella Fig. 25 .

Una volta raccolto i campioni e fatti riposare per alcune ore, la sera si è effettuata la somministrazione di sette gocce, in ogni botticino da 100 ml, di HNO_3, (Fig.26).

Figura 26 - Somministrazione di acido nitrico ai campioni

Le analisi geochimiche consistono nell'individuazione per ogni campione dei valori necessari in concentrazione per aiutare a determinare la loro natura e provenienza; tra cui : Calcio, Magnesio, Alcalini, Cloruri, Solfati, Bicarbonati e Nitrati.
Passo necessario, quasi obbligatorio, per comprendere e risolvere i dubbi riguardanti la derivazione delle acqua misurate, questo ha permesso di raggruppare fra loro le acque con caratteristiche simili e distinguere così i diversi acquiferi ai quali appartengono.
Di seguito vengono riportati in Tab. 11 i valori citati pocanzi con indicati nella prima colonna a sinistra i nomi dei punti campionati.

Tabella 11 - Valori misurati nelle analisi geochimiche

	Calcio	Magnesio	Alcalini	Cloruri	Solfati	Bicarbonati	Nitrati
Torrente Grana	2,640	0,908	0,139	0,130	1,045	2,559	0,058
Fontana Celleri	3,699	1,910	0,101	0,125	1,161	4,403	0,147
Pozzo #1	0,362	0,222	0,063	0,081	0,025	0,452	0,196
Pozzo #2	1,015	0,382	0,238	0,198	0,191	1,093	0,264
Pozzo #3	5,252	3,261	0,648	0,801	1,103	7,149	0,232
Pozzo #4	2,903	1,600	0,216	0,241	0,484	3,849	0,167
Piez. #1	1,662	0,855	0,129	0,156	0,238	2,196	0,022

Commento dei dati

Terminati gli interventi di monitoraggio e campionamento in situ tutti i dati vengono registrati e catalogati in odine per essere valutati e gestiti in maniera tale da offrire una visione più chiara del fenomeno di campo di moto dell'acquifero (o degli acquiferi) in questione.
In questa sezione verranno spiegate e analizzate le varie fasi che hanno portato al risultato ottenuto, considerando tutto senza tralasciare alcuna fase, anche quelle che si scopriranno essere errate.
E' scopo infatti di questa tesi mostrare il vero lavoro che è stato compiuto, la vera applicazione sul campo delle nozioni imparate in questi anni con tutti i pro e i contro del caso. Sono stati mesi in cui si sono intraprese molte strade per analizzare il fenomeno, anche diverse fra loro e non di poco.

Figura 27 - Pozzo #1

Si è inizialmente cercato di comprendere l'andamento della piezometrica avvalendoci dei pozzi e piezometri presenti nell'area (Fig. 27). Non erano sufficienti e i pochi che c'erano non erano molto attendibili causa mancanza totale di manutenzione e conseguente funzionamento non corretto.
A questo punto si è optato per la ricerca di altri pozzi o sorgenti all'esterno del sito che potessero aiutarci in questo senso. Ovviamente, come accennato precedentemente, in alcuni casi non è stato così semplice e diretto arrivare al dato. Per ragioni più o meno pronosticabili dovute alle intemperie del luogo, del manufatto stesso o addirittura alla poca disponibilità dei proprietari terrieri.
Una volta acquisito il dato nei due momenti dell'anno Maggio e Agosto (le ragioni di tali scelte sono state ampliamente spiegate nei capitoli precedenti) è stato possibile tramite il programma QGis redigere le piezometrie, i profili topografici e mettere in relazione fra loro il tutto, considerando nel calcolo i livelli misurati in tutti e quattro i pozzi più il piezometro.
Valutati e studiati i suddetti si è deciso di incrementare lo studio avvalendosi di una analisi geochimica delle acque, includendo anche altri due fattori che non potevano rimanere esclusi: il Torrente Grana e la Fontana dei Celleri, prendendo così in considerazione anche l'ipotesi del geologo Viada Eraldo il quale sosteneva la possibilità tramite fenomeni di carsismo di una partecipazione del torrente all'apporto idrico dell'area (come accennato nella relazione geologica e geotecnica rilasciata dal geologo allo studio di ingegneria Ferrari e Giraudo che si occupa del progetto).
La scelta di percorrere la strada dell'analisi chimica si rivelerà determinante e vincente permettendo di aprirsi ad una nuova valutazione di ciò che già si conosceva del sito e stravolgendo di fatto le sorti della tesi.

Analisi dati ottenuti

Per poter confrontare fra di loro i dati misurati in sito, come anticipato precedentemente, è stato necessario utilizzare il programma QGis sul quale sono stati caricati i file riguardanti la superficie topografica dell'area e in seguito i dati in formato tale da poter essere elaborati e codificati.

Nelle prime fasi del trattamento ed analisi dei dati si è cercato di rappresentare il DTM mediante curve di livello di 1 metro, evidenziando così la morfologia del terreno ed il suo andamento. In seguito sono stati aggiunti sempre nella medesima visualizzazione la localizzazione dei pozzi e piezometri sotto forma di simbolini rossi circolari con relative etichette, molto riconoscibili in Fig. 28.

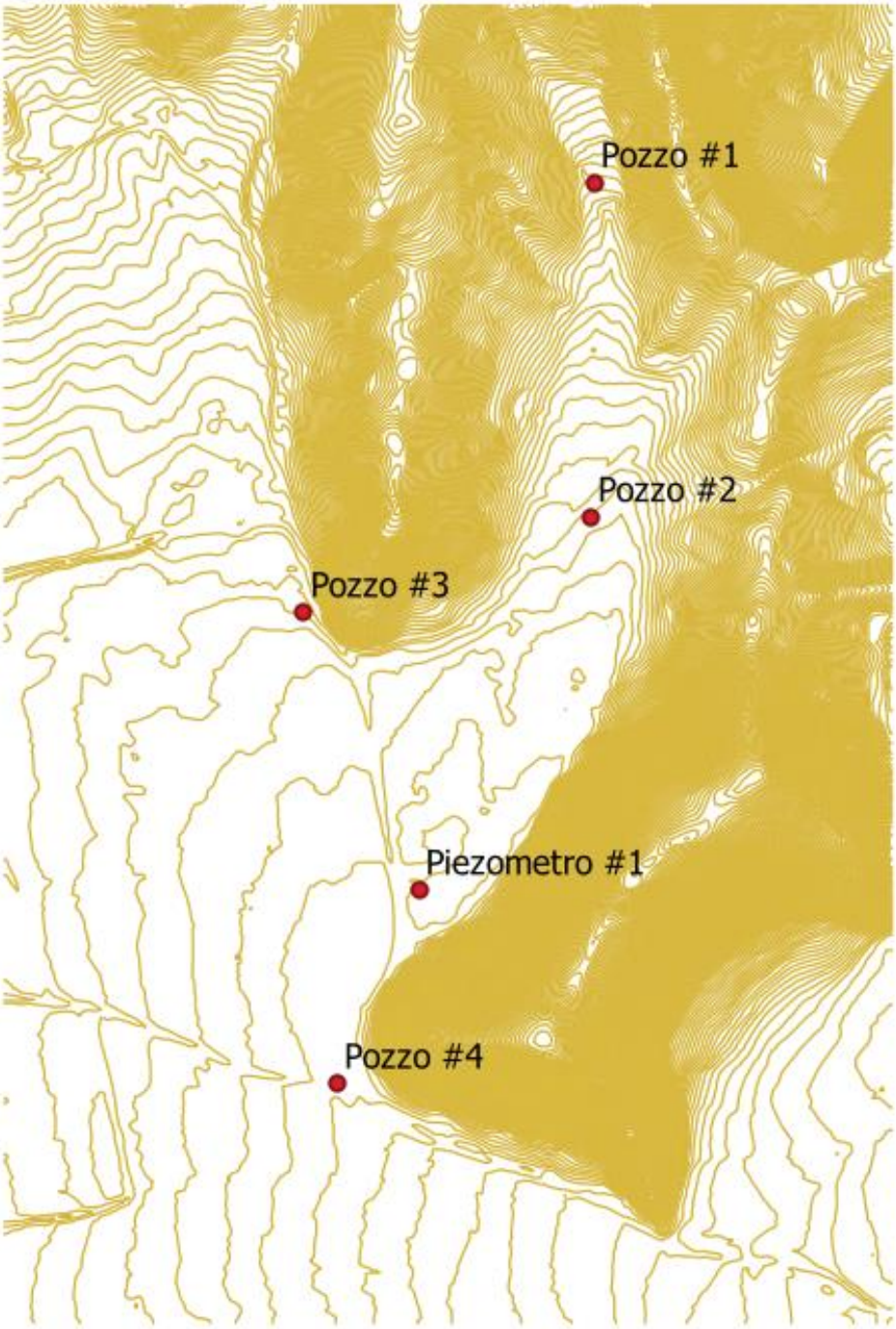

Figura 28 - Curve li livello del terreno con pozzi e piezometri

Per confermare che le posizioni visualizzate fossero in realtà precise e combaciassero con quelle reali è stato ritenuto opportuno caricare una planimetria del luogo, geo-referenziarla e posizionarla al di sotto dei

punti. Una volta eseguita tale azione con successo, è stata rimossa per non ingombrare il proseguo del lavoro.

Piezometrica 19 Maggio e 9 Agosto 2018 dei 5 punti

Una volta aggiunta alla nostra mappa l'ubicazione dei pozzi e piezometri creiamo lo shapefile dei punti geolocalizzati. Dopo di che mediante il comando Raster - Interpolazione (distanza inversa ponderata), calcoliamo la superficie digitale, dei nuovi IDW per il mese di Agosto e per Maggio. Dai IDW è possibile ottenere le curve isopiezometriche mediante il comando Raster – Estrazione – Curve di Livello.
Questo nelle Fig. 29 e 30 è il risultato:

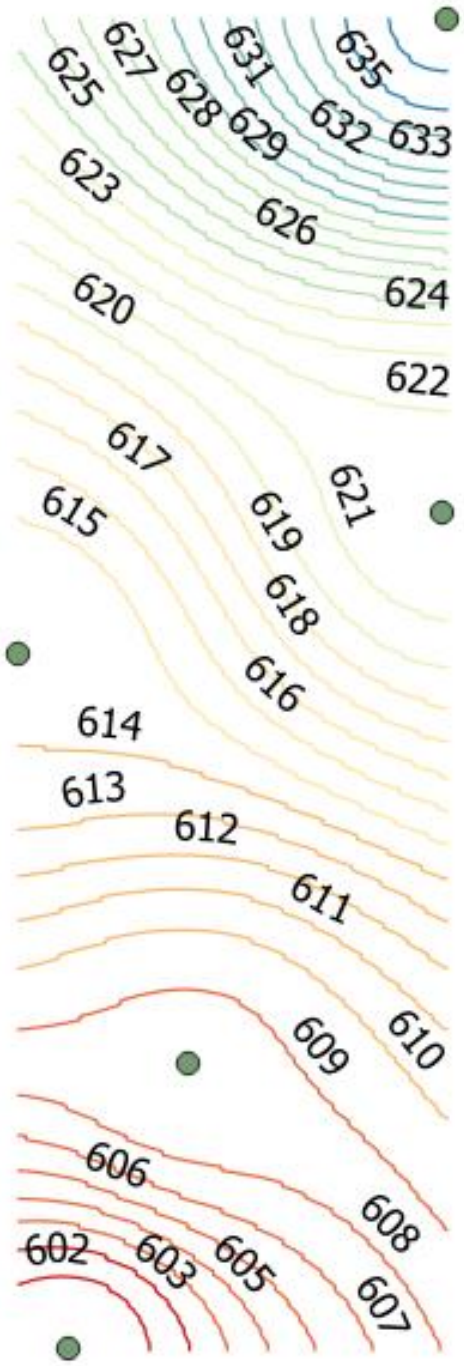

Figura 29 - Piezometria Maggio 2018

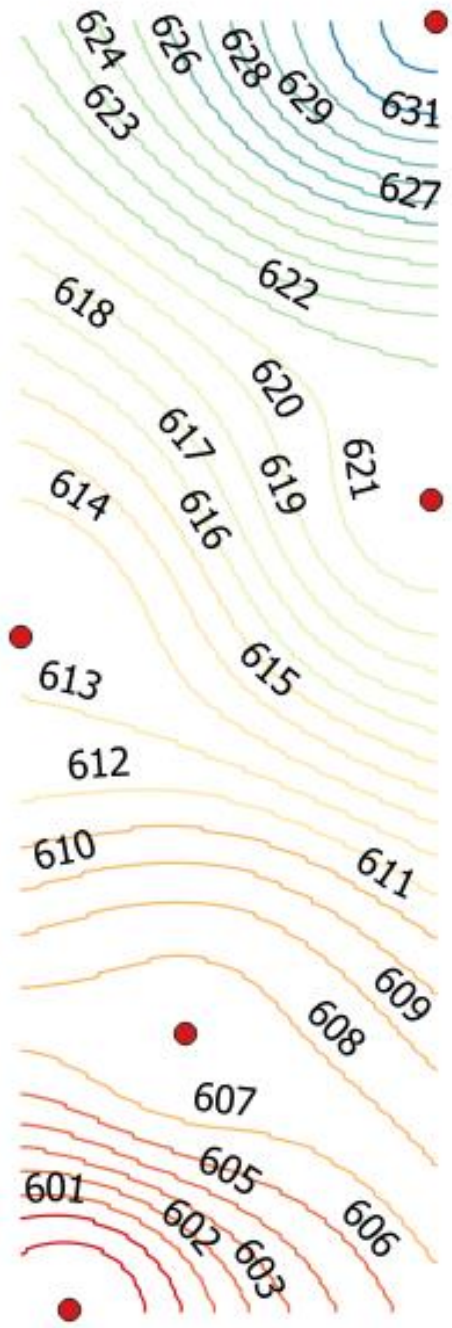

Figura 30 - Piezometria Agosto 2018

Da qui sono state estrapolate le piezometriche che hanno consentito di apprezzare gli andamenti della superficie idrica a partire dal pozzo #1 fino al pozzo #4, rispettivamente il più a Nord ed il più a Sud dei pozzi misurati passando per i livelli noti anche del pozzo #2, #3 e del piezometro #1.
I risultati ottenuti sembrano molto chiari, pare di essere in presenza di un acquifero che con spessore probabilmente variabile presenta livelli piezometrici via via più bassi fino ad arrivare verso la pianura con valori di soggiacenza di 18 metri, comunque non è da eliminare l'ipotesi che ci sia più di un acquifero.
La differenza di valori tra le due piezometrie è abbastanza netta per la maggior parte dei punti considerati, anche questo dato ricade in una visione logica del fenomeno. Il valore che sorprende è quello misurato nel pozzo #2 che rimane analogo in entrambi i casi. A distanza di 3 mesi continua ad avere il livello idrico al pari con il livello di campagna, è infatti necessario un troppo pieno che consenta la fuori uscita controllata dell'acqua in eccesso per evitare che ci sia dispersione di acqua.

Figura 31 - Acquitrino zona Nord del sito

Questo fenomeno troverà prossimamente riscontro negli studi più approfonditi, in generale però rimane un atteggiamento ambiguo non essendo ubicato in un'area stagnante o con pozze d'acqua al contorno. L'acqua quindi si può ipotizzare risalga solo attraverso il manufatto e non su tutto il piano campagna, cosa che invece non vale per quanto riguarda la zona a pochi metri di dislivello verso valle che coincide con la zona a Nord del nostro sito dove verrà installato l'invaso irriguo,

In quella porzione è possibile notare la presenza di acqua in superficie. La presenza di fango e la mancanza di colture o alberi a grande fusto sono indice di tale situazione, a sottolineare questa tesi alcuni proprietari affermano di non transitare mai con i mezzi agricoli in quella porzione di campo per evitare di rimanere impantanati. Per il passaggio dei mezzi è stata realizzata una strada sterrata con materiale ghiaioso sopraelevata di alcune decine di centimetri. Si può vedere anche da viste non troppo dettagliate, come su Google Earth, il percorso che l'acqua fa lungo un ruscello una volta fuoriuscita dal troppopieno del pozzo #2 in direzione Sud.
Questa acqua raggiunge direttamente la zona a Nord del nostro sito trasformandolo per un periodo piuttosto lungo dell'anno in un vero e proprio acquitrino, presentando vegetazione e microhabitat tipico di un ambiente stagnante (Fig. 31). Colonie di zanzare hanno reso fastidiosi e non poco i sopralluoghi effettuati durante l'estate e anche oltre la stagione calda.
Nel mese di Aprile, data di un primo sopralluogo con il professore Fiorucci Adriano e l'Ing. Ferrari Stefano, la situazione critica comprendeva tutto il bacino all'interno dell'anello disegnato dalla strada che percorre l'area dell'ex Polveriera, da cima a fondo. Ovvero la presenza di acqua ferma o poco scorrevole interessava quasi interamente il nostro sito, ma non è stato così per tutto il periodo o per lo meno non lo è stato in maniera omogenea per tutta l'area.
Spiegando meglio ciò che si verifica è necessario ripercorre le varie fasi in cui sono stati fatti sopralluoghi o si è semplicemente lavorato all'interno con la presa di campioni e/o livelli idrici.

Figura 32 - Buca appositamente scavata e colma d'acqua

Come detto poco fa ad inizio primavera la situazione era caratterizzata dalla presenza costante di acqua in superficie per tutta l'area inscritta alla strada sterrata che percorre il sito, ma non solo come si può apprezzare dalla seguente fotografia scattata nel medesimo giorno (Fig. 32).
In questa istantanea viene mostrato un piccolo scavo commissionato dall' ing. Ferrari, atto a dare una risposta quantitativa e un riscontro sulla presenza o meno di acqua fino a quelle superfici. Non è l'unico scavo effettuato nella zona, anche negli altri si è notato lo stesso comportamento essendo colmi anche loro di acqua, a livelli discendenti dirigendosi a Sud del sito.
A Maggio, coincidente con il periodo in cui sono state effettuate le prime misurazioni con il freatimetro, durante un giro di perlustrazione della zona si è notato che l'area dove sorgerà l'invaso irriguo continuava ad essere sommersa dall'acqua, dunque nulla era cambiato rispetto al mese prima. Il terreno attorno al piezometro #1 invece non era più al di sotto del livello idrico bensì si presentava fangoso, ma non a tal punto da non riuscire a raggiungere il punto per essere misurato.
Dunque è chiaro ora che a parità di circostanze ed eventi esterni l'area da noi studiata risponde in maniera ben diversa a seconda che sia la parte a Nord o a Sud e non ha un comportamento omogeneo, anzi anche parecchio diverso.
Considerando i cinque punti misurati come facenti parte di uno stesso acquifero si accetta il fatto che esso decorra con andamento discendente pressoché costante nonostante la presenza di rilievi montuosi che di fatto potrebbero far pensare ad una azione di ostacolo o comunque ad un qualche tipo di perturbazione del campo di moto.
Inoltre a rafforzare il presentimento che costruire la piezometria considerando tutti e 5 i punti insieme sia fuorviante, ci sono i dati delle soggiacenze.
Per esempio, il pozzo #4 ed il piezometro #1 sono distanti fra di loro di soli circa 300 metri ma presentano differenze di soggiacenza di più di 8 metri, il che rappresenta un andamento anomalo e fa ben pensare che ci debba essere una soluzione alternativa per spiegare tutto ciò.
Riassumendo la prima fase dello studio del sito dell'ex Polveriera si deduce che a causa di studi pregressi, magri in consistenza e privi di spunti fondati, aggiunti ad una situazione realmente poco collaborativa non ci si può ritenere soddisfatti del risultato ottenuto, ovvero la piezometrica da sola non può rispondere al quesito di questa tesi.
Con i soli dati che si è riuscito a misurare, calcolare ed esprimere fino a questo punto non si capisce molto, non è possibile dire quale sia il campo di moto dell'acquifero, ammettendo ancora che ce ne sia solo uno. In più a livello applicativo rimane arduo e di conseguenza rischioso definire in che maniera e misura il sito dove avverranno i lavori verrà coinvolto dai fenomeni idrici al suo contorno.
Preso atto di ciò si è deciso di continuare nello studio di tale argomento procedendo con le analisi sulla chimica delle acque aggiungendo a quelle sino ad ora prese in considerazione le acque del Torrente Grana e della Fontana dei Celleri.

Diagrammi analisi geochimiche

I valori delle analisi chimiche realizzate nel laboratorio del DIATI al Politecnico di Torino sono già state elencate nei capitoli precedenti sotto forma di tabella, procediamo ora alla visualizzazioni di tali dati in modo da trarre alcune fondamentali conclusioni con la Fig. 33.

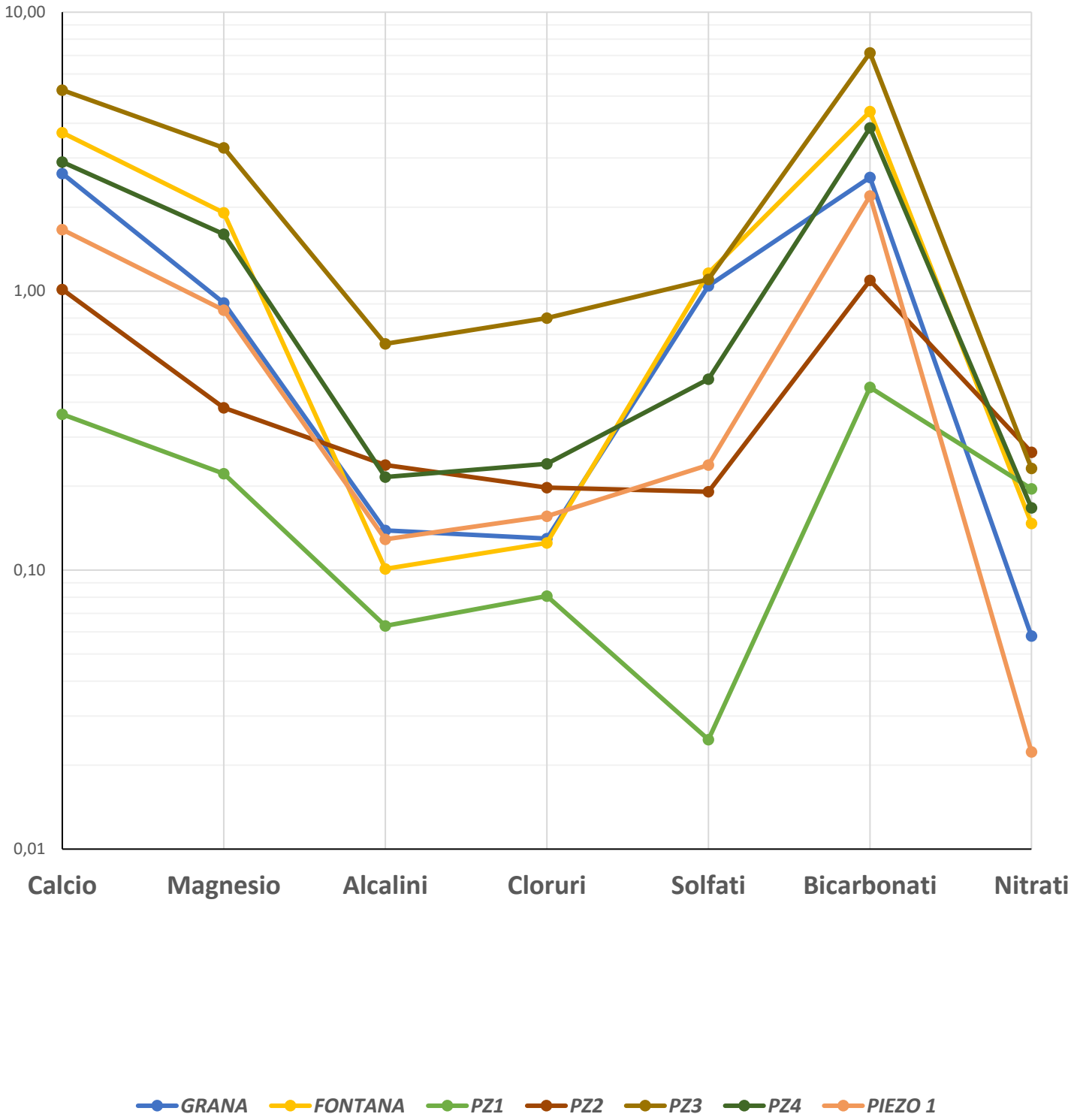

Figura 33 - Diagramma analisi geochimiche

I campioni considerati vanno sotto al nome di :

- GRANA : torrente Grana,
- FONTANA: fontana dei Celleri,
- PZ1: pozzo #1,
- PZ2: pozzo #2,
- PZ3: pozzo #3,
- PZ4: pozzo #4,
- PIEZO1: piezometro #1.

Le concentrazioni più rilevanti individuate sono relative a:

- Calcio,
- Magnesio,
- Alcalini,
- Cloruri,
- Solfati,
- Bicarbonati,
- Nitrati.

Nel diagramma troviamo, nell'ordine con le quali sono state appena citate, le concentrazioni di tali sostanze. Per migliorare la visualizzazione dei diversi andamenti l'asse delle ordinate è in base logaritmica.
Aiutandoci colorando in maniera distinta i vari campioni possiamo con un primo sguardo trarre velocemente alcune semplici conclusioni. La prima è che, senza dover scendere troppo nel dettaglio, possiamo a quanto pare dire che le acque non hanno tutte lo stesso andamento quindi non siamo in presenza di un solo acquifero, sicuramente alcune di queste acqua agiscono e si muovono indipendenti fra di loro.
Procediamo esaminando i dati caso per caso a seconda di ciò che vogliamo studiare e a seconda dell'ipotesi che vogliamo considerare. Sarà così più semplice e lineare ritenere logica o no una di queste, avvalendoci ogni volta di diagrammi che considerino i dati che ci interessano.
La prima ipotesi consiste nell'affermare che la presenza di zone con evidenze di umidità, anche in un periodo di siccità molto prolungata, faccia presumere che l'acqua presente nel sottosuolo derivi da un circuito sotterraneo di notevole estensione e con velocità di flusso relativamente bassa. Quindi appare attendibile ipotizzare che dette acque possano provenire da un circuito idrico sotterraneo impostato verosimilmente nel substrato roccioso, permeabile per carsismo, alimentato da perdite lungo tronchi più a monte del torrente Grana.
Il modo migliore per valutarne la veridicità è procedere con la distribuzione sul diagramma in Fig.34 delle concentrazioni dei campioni del Torrente Grana e della Fontana dei Celleri. Appunto perché nel caso in cui la distribuzione del torrente Grana fosse simile a ciò che si è prelevato dalla fuoriuscita d'acqua della Fontana dei Celleri avrebbe senso considerare l'opzione del fenomeno spiegato prima e a quel punto confrontarlo con i valori misurati in sito e valutare le possibili somiglianze.

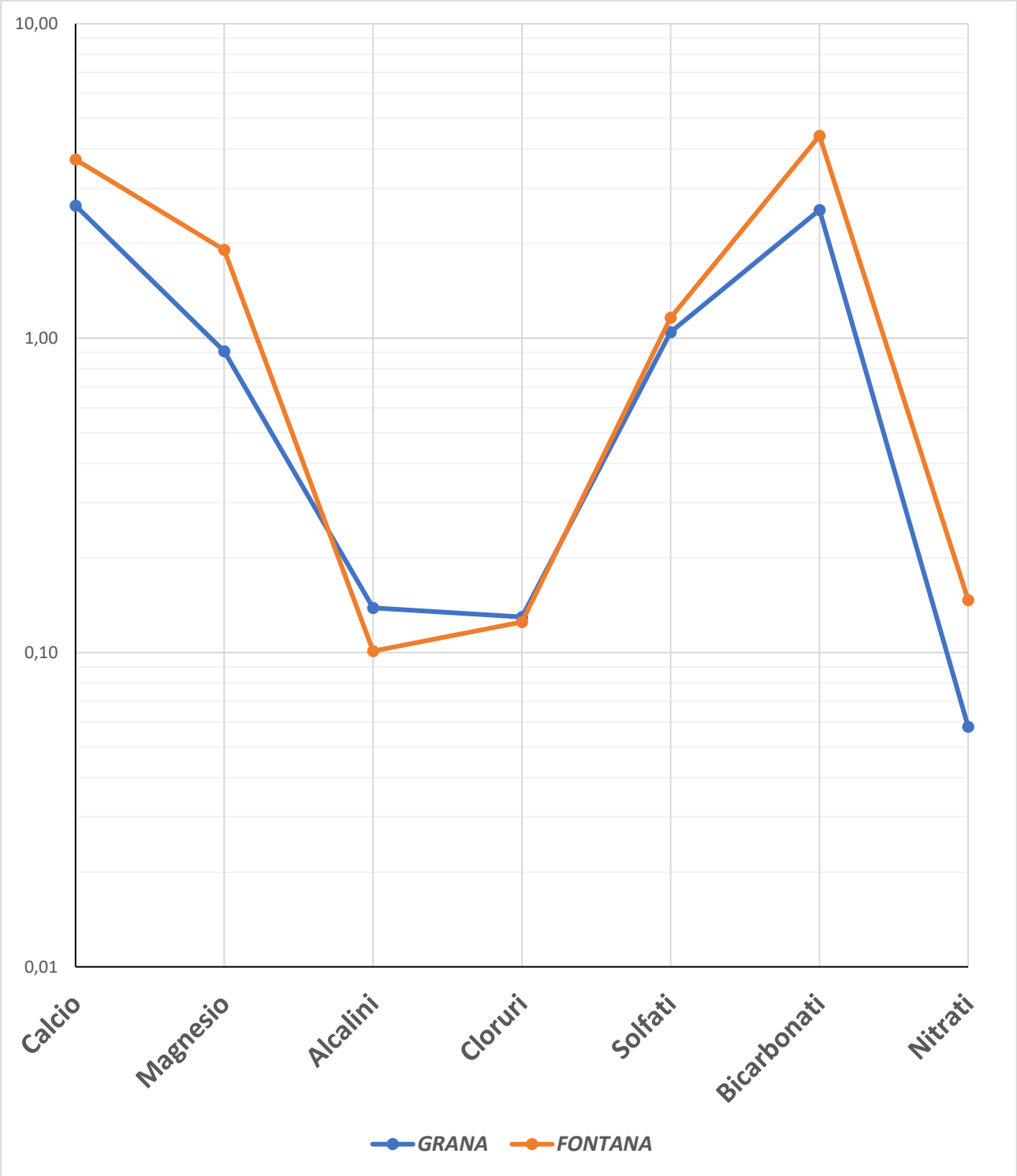

Figura 34 - Diagramma acque del Torrente Grana e Fontana dei Celleri

Il diagramma si presenta chiaro e non lascia spazio a grandi equivoci, le due acque davvero si somigliano e anche abbastanza da poter dire che con buona probabilità si tratta della medesima acqua che infiltratasi lungo un tronco del torrente Grana molto più a monte del nostro sito riemerge al di la dei rilievi di nostra competenza.

A questo punto la questione è sapere se ci interessa oppure no, ossia sapere se quest'acqua riemerge solamente dalla Fontana dei Celleri oppure dà luogo a fuoriuscite già prima e magari proprio nel sito da noi studiato.

Da uno sguardo un po' più attento e con un confronto molto semplice emerge che nessuna delle altre acque appare simile alle due appena presentate e tanto meno si notano contaminazioni di qualche tipo.
Il Torrente Grana è noto per avere comportamenti di infiltrazione del genere, si può constatare semplicemente anche osservando quanto si riduce la sua portata durante il percorso da monte verso valle. In alcuni casi si è riscontrata la fuoriuscita delle acque del torrente nelle pianure nei pressi di Centallo, a quasi 15 km, una zona ricca di questi fenomeni di risorgive.
Avendo di fatto constatato che le acque di cui sopra non intervengono direttamente nel sito di studio si decide di non considerarle più per le prossime fasi., proprio per smaltire la mole di dati su cui dover lavorare per poter ottenere una soluzione.
Continuiamo quindi focalizzando la nostra attenzione sui cinque punti rimasti, che tra le atre cose, sono gli stessi sui quali già avevamo studiato l'andamento della piezometria.
Rifacendo il nostro grafico e comprendendo solo i punti su citati si presenta questa situazione (Fig.35):

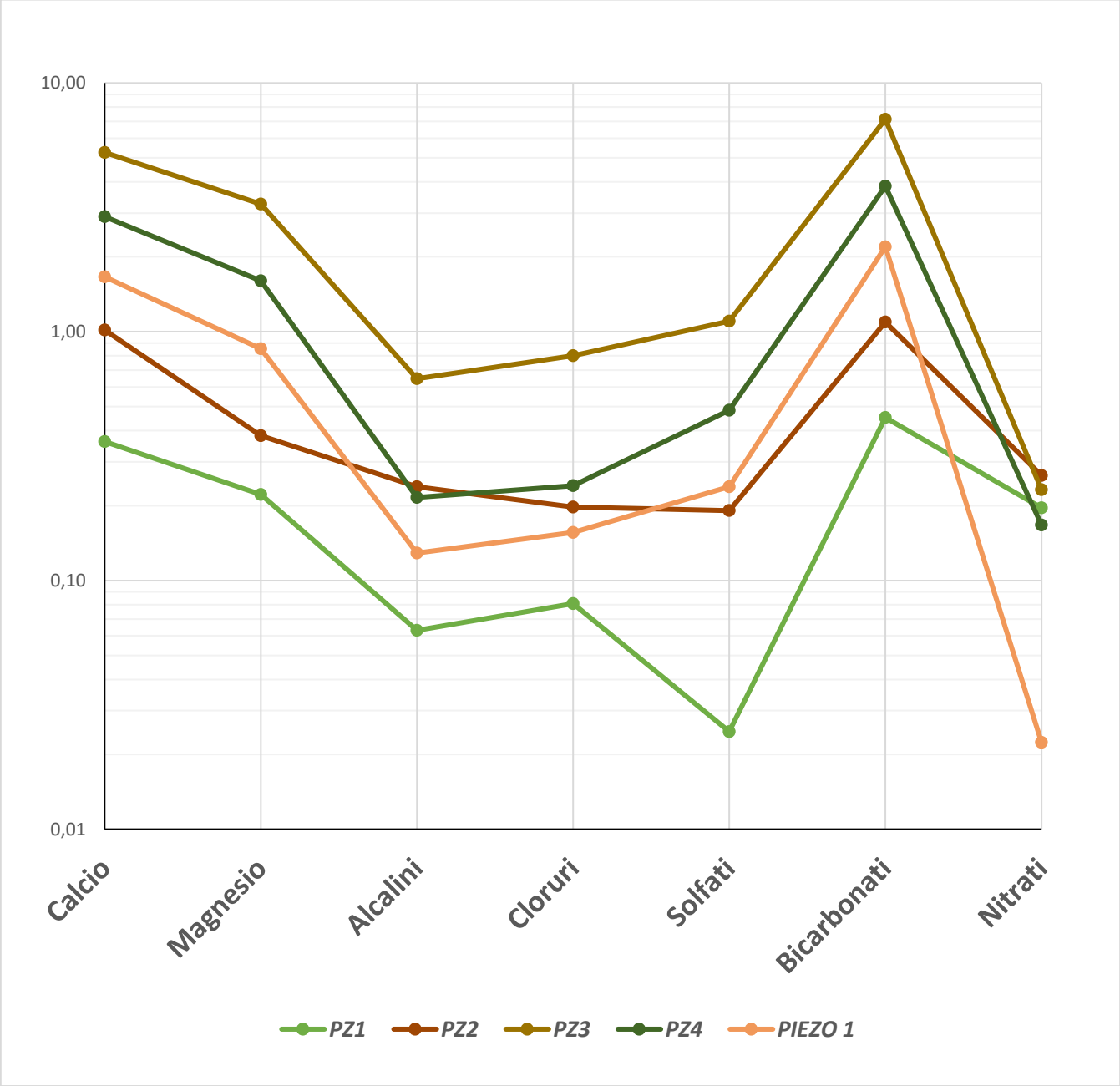

Figura 35 - Diagramma acque dei pozzi e piezometri campionati

Sembra avvicinarsi un retroscena interessante, perché alcune di queste acque hanno lo stesso andamento. Come si può notare il PIEZO 1, PZ4, PZ3 presentano in proporzione le stesse concentrazioni di sostanze il che potrebbe ricondurre all'idea che facciano parte dello stesso acquifero o che siano comunque accomunate.
Anche in questo caso estrapoliamo le tre acque simili e le visualizziamo nel diagramma in Fig.36. Aiutandoci con la mappa su cui sono segnate le localizzazioni dei pozzo e piezometri riusciamo ad immaginare un ipotetico percorso che l'acqua traccia nel sottosuolo muovendosi dal pozzo #3 fino ad arrivare al pozzo #4.
Solitamente quando un'acqua scorre dentro ad un ammasso, tralasciando le caratteristiche chimiche dell'acquifero ed il moto, tende ad aumentare le sue concentrazioni, mentre nel nostro caso accade quasi il contrario.
Possiamo infatti notare che le acque con le concentrazioni più alte sono quelle presenti nel pozzo #3 (il più alto sul livello del mare dei tre) passando poi per il pozzo #4 ed infine il piezometro #1.
Apparentemente non si riesce a spiegare come un'acqua si possa diluire scorrendo nell'acquifero e che tutto ciò non abbia nemmeno un ordine che combaci con quello altimetrico.
Passando all'analisi dei prossimi due dati restanti si riuscirà ad avere qualche risposta in più.

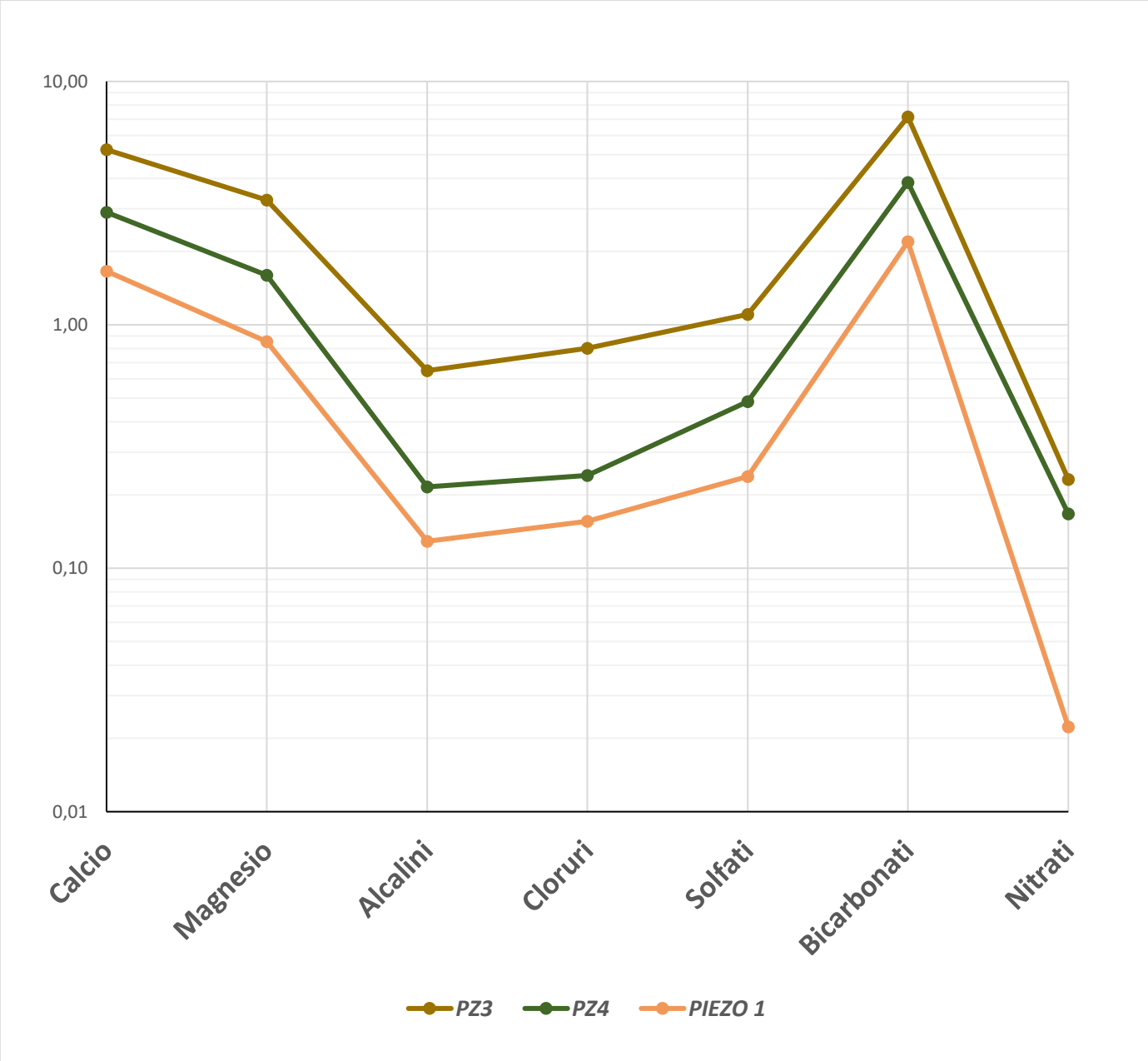

Figura 36 - Diagramma acque pozzo #3, #4 e piezometro #1

In Fig.37 sono disegnate sempre mediante lo stesso diagramma le due acque che rispettivamente sono proveniente dal pozzo #1 e dal pozzo #2. Anche qui riusciamo ad individuare nette somiglianze nell'andamento delle linee che rappresentano le concentrazioni. A differenza del gruppo analizzato precedentemente però, qui abbiamo la conferma di ciò che normalmente succede ovvero che quando un'acqua scorre in un acquifero aumentano le sue concentrazioni.

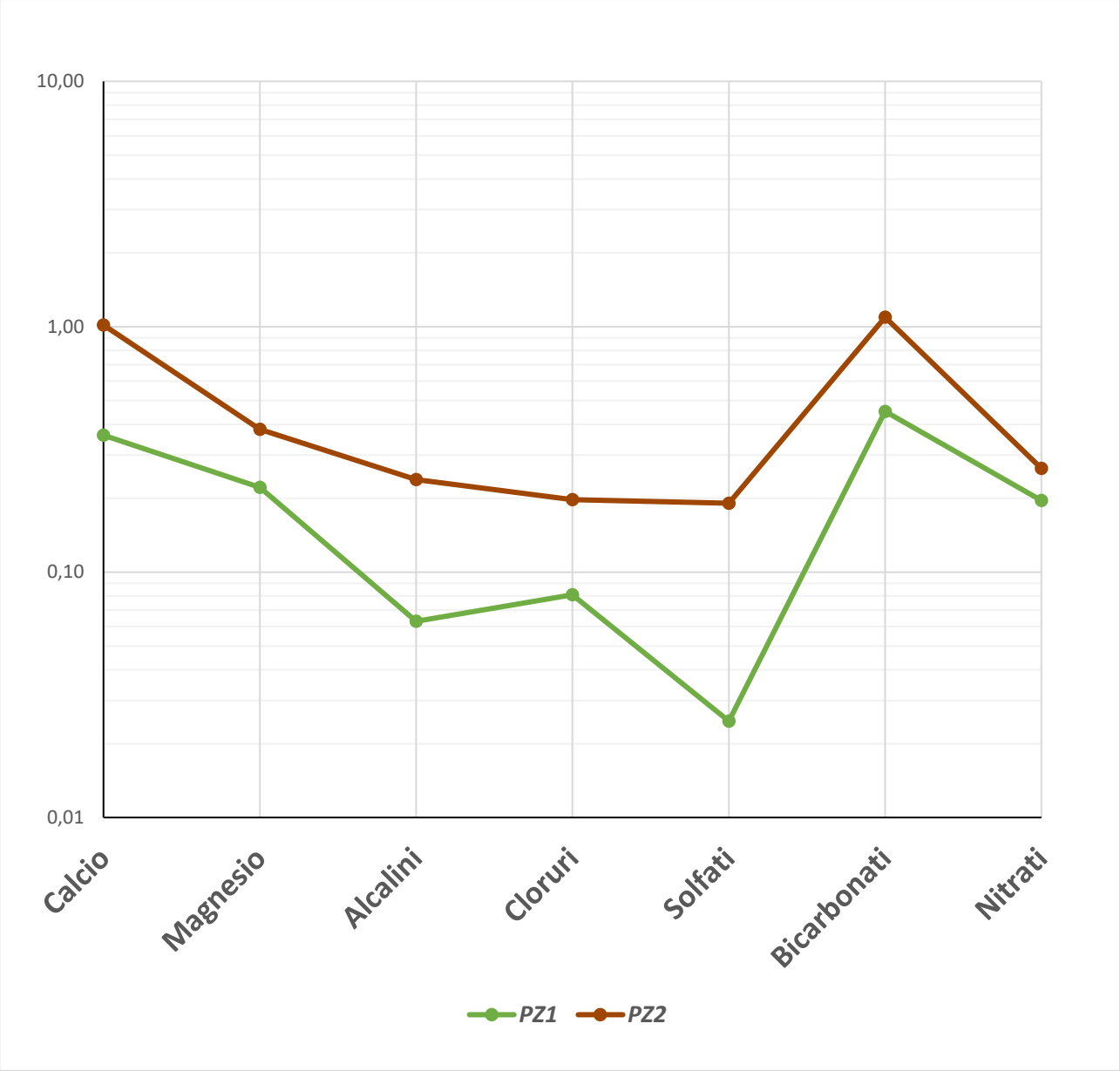

Figura 37 - Diagramma acque pozzo #1, #2

Avendo delineato sostanzialmente tre famiglie diverse di acque procediamo a valutare come tra loro interagiscono una volta che condividono lo stesso livello piezometrico e si incontrano.
Perché valutare l'opzione che ad un certo punto queste due famiglie di acque si incontrino non è del tutto errato anzi permetterebbe di spiegare per esempio l'andamento controverso delle tre concentrazioni in relazione all'altezza altimetrica dei punti esaminati prima. Il problema riscontrato insieme ad una stratigrafia molto dubbia e disordinata è stato appunto comprendere a quali acquiferi appartenevano le acque misurate. In aggiunta c'è da precisare che per quanto riguarda la finestrature dei pozzi e piezometri non abbiamo dati certi, né è stato possibile risalire a tali informazioni, dunque potrebbe essere plausibile l'opzione che il pozzo intersechi diversi acquiferi con provenienze di ricarica anche totalmente diverse.

Utilizzando il DTM del nostro sito ed estrapolando le curve di livello con intervalli di un metro è possibile trarre alcune considerazioni interessanti rispetto al ruolo della morfologia, che unite a quelle appena esposte potrebbero regalare una soluzione a tutto ciò.
Visualizziamo le curve di livello in Fig. 38 nei pressi dell'ubicazione del pozzo #1, qui abbiamo la presenza di un compluvio con forte pendenza, il che giustifica il convogliarsi dell'acqua e lo scorrere di essa fino al pozzo #2,qui troviamo invece una zona pressoché pianeggiante dove infatti abbiamo i fenomeni di stagnazione e ristagno delle acque.
Se spostiamo la nostra attenzione nei pressi del triangolo immaginario formato dai pozzi #3, #4 e il piezometro #1 notiamo che due aree semi pianeggianti si incontrano, la prima fa parte dell'ampia pianura che si apre una volta che il torrente Grana oltrepassa Monterosso, l'altra invece è quella appunto dove giace il sito dell'ex Polveriera.
Questi due piani si incontrano verosimilmente alla quota tra 618 e 619 mslm ed è qui che molto probabilmente le due acque si potrebbero miscelare (ellisse rosso in Fig. 38).

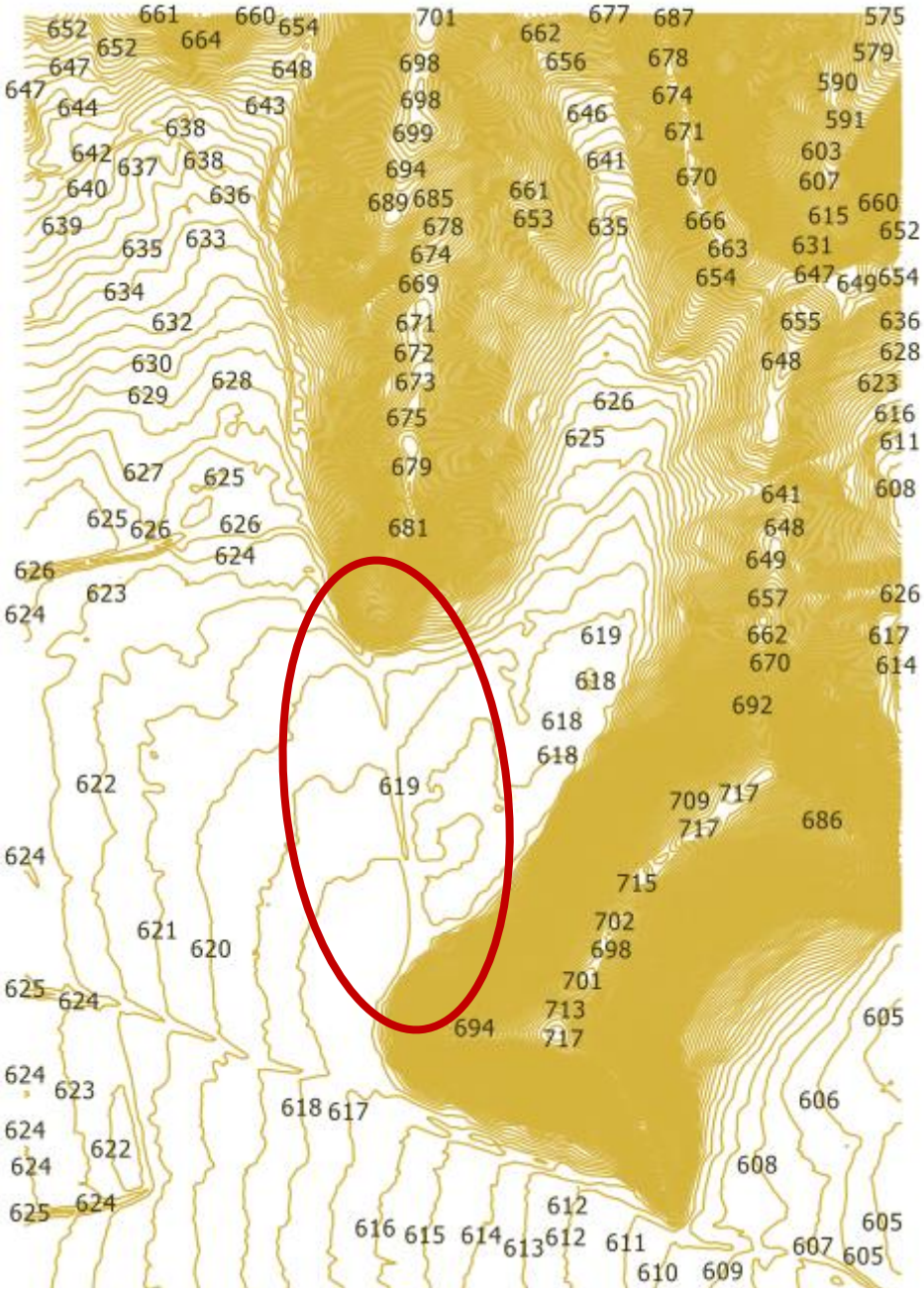

Figura 38 - Individuazione zona di incontro delle due zone pianeggianti

L'acqua intercettata nel pozzo #3 nel tragitto per raggiungere il pozzo #4 attraversa questa zona e li avviene la miscelazione, giustificando così i livelli più bassi in concertazione del piezometro #1 che subisce l'arrivo delle acque provenienti dal pozzo #2 ma mantiene le sue caratteristiche iniziali. Gli effetti di tale mix li risente anche l'acqua che riesce a raggiungere il pozzo #4 dato che torna a caricarsi in concentrazione nella stessa maniera del pozzo #3.
La situazione torna a farsi complicata, complice senza alcun dubbio la mancanza di dati per quanto riguarda la zona a Nord del sito. Una spiegazione valida potrebbe essere questa, si procede quindi in questa direzione. La piezometria ora non ha più senso intenderla come una estensione che comprende tutti e cinque i punti, perché come abbiamo constatato le acque non hanno la stessa sorgente e non fanno parte dello stesso acquifero d'origine.
Le piezometriche vanno riviste e ricalcolate, si decide di considerare come dirette interessate le acque che agiscono sul sito quindi si procede al calcolo della piezometrica con i punti : pozzo #1, #2 e piezometro #1.
Le nuove piezometrie calcolate, sempre in riferimento a Maggio e Agosto, sono le seguenti (Fig. 39 e 40):

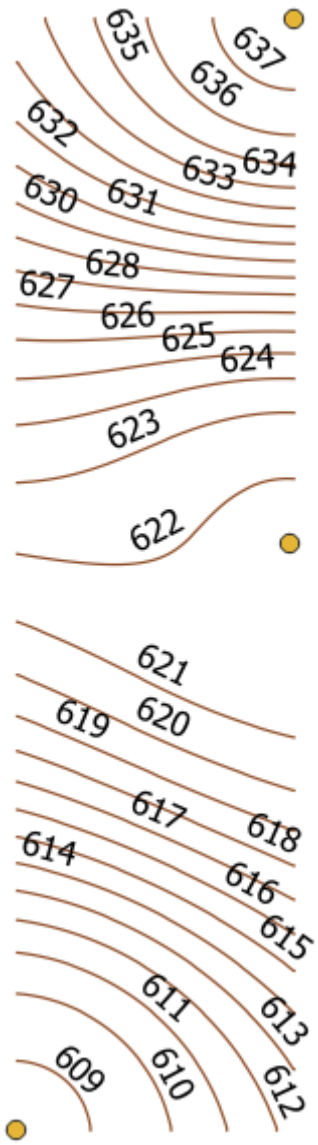

Figura 39 - Piezometria a tre punti, Maggio 2018

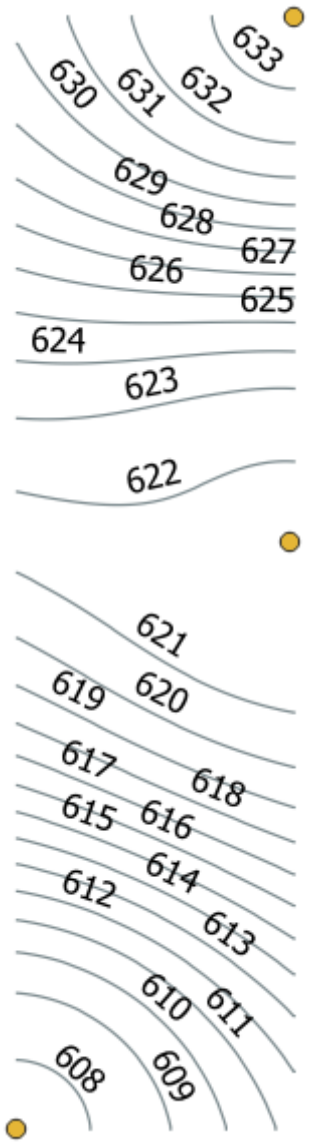

Figura 40 - Piezometria a tre punti, Agosto 2018

Abbiamo a nostra disposizione un dato che appare molto più attendibile del precedente (Fig. 29 e 30), tale rappresentazione ci permette anche di affermare che nella zona in cui ho maggiori pendenze dei livelli idrici si è in presenza di terreni con permeabilità molto alte; ciò è possibile dirlo poiché le acque che scorrono in terreni con permeabilità basse tendono a diffondersi molto di più trasversalmente.
Dalla rappresentazione seguente in Fig. 41 vediamo le piezometrie delle due famiglie identificate prima, che hanno tra di loro in comunque il piezometro #1. Tale piezometro è posizionato in una zona dove probabilmente avviene la miscelazione di queste due acque. Ricapitolando immaginiamo i due diversi flussi congiungersi nell'area succitata e dirigersi in uno unico verso la pianura cuneese.

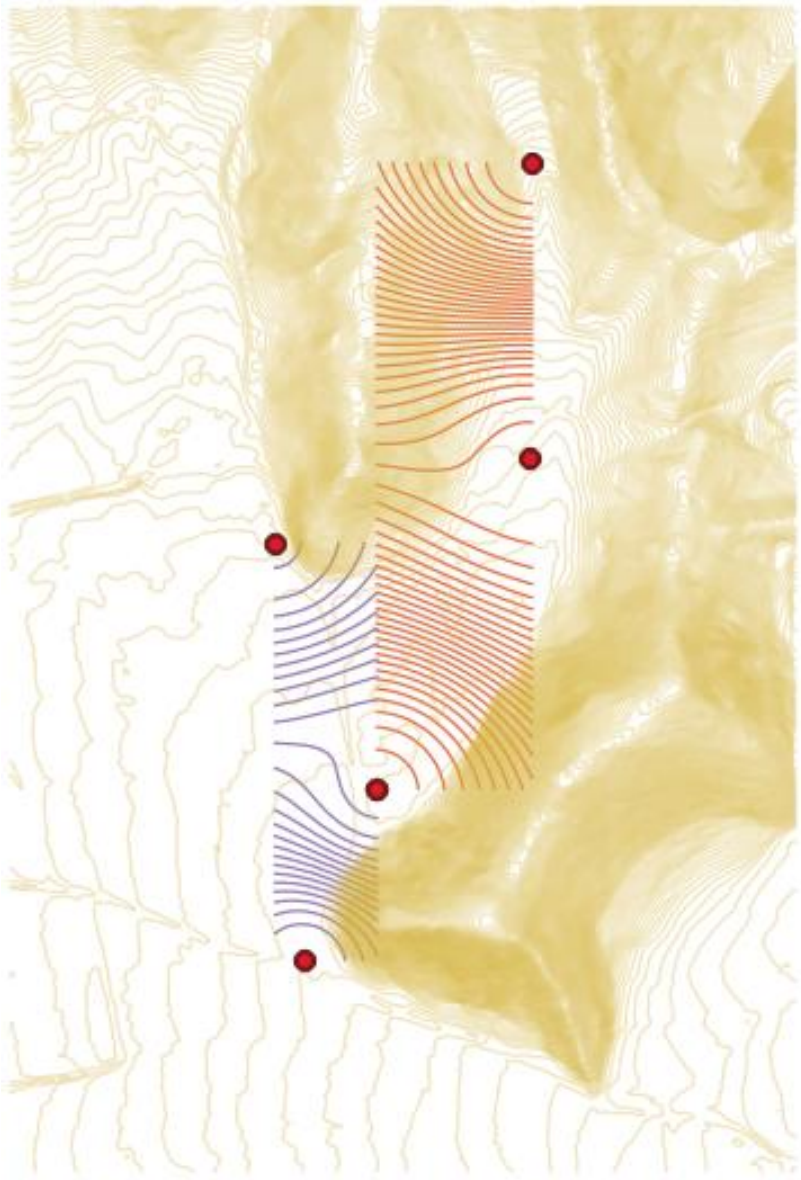

Figura 41 - Piezometriche dei due diversi flussi e terreno (riferite a Maggio 2018)

Possiamo dunque continuare il nostro lavoro studiando l'andamento sotto un altro punto di vista ossia quello topografico, tramite sezioni che ci diano una vera e propria rappresentazione altimetrica delle piezometriche rispetto al terreno

Profili topografici

QGis offre la funzione chiamata Terrain Profile che permette la visualizzazione dell'andamento altimetrico, sotto forma di diagramma, dei diversi DTM e IDW che decidiamo di considerare. E' stato ipotizzato dove fosse più conveniente procedere con le sezioni topografiche con il fine di renderle le più interessanti possibile.
Si è deciso di optare per la realizzazione di alcune sezioni che interessino tutti i punti presi in considerazione e la zona futura della posa dell'invaso irriguo e del bio lago. Importante conoscere questo dato per poter verificare la possibile interferenza che potrebbe esserci tra i manufatti e l'acquifero (Fig. 42).
E' giusto precisare che gli andamenti calcolati dal programma sono stati eseguiti mediante il comando Analisi Interpolazione con Distanza Inversa Ponderata, dunque gli andamenti che verranno mostrati rivelano in maniera indicativa la distribuzione della risorsa idrica. E' probabile che nella realtà ci sia un comportamento diverso, ma che si discosta poco da quello previsto matematicamente.
E' stato scelto di adottare n 3 sezioni rappresentative:

- sezione AA'
- sezione BB'
- sezione CC'

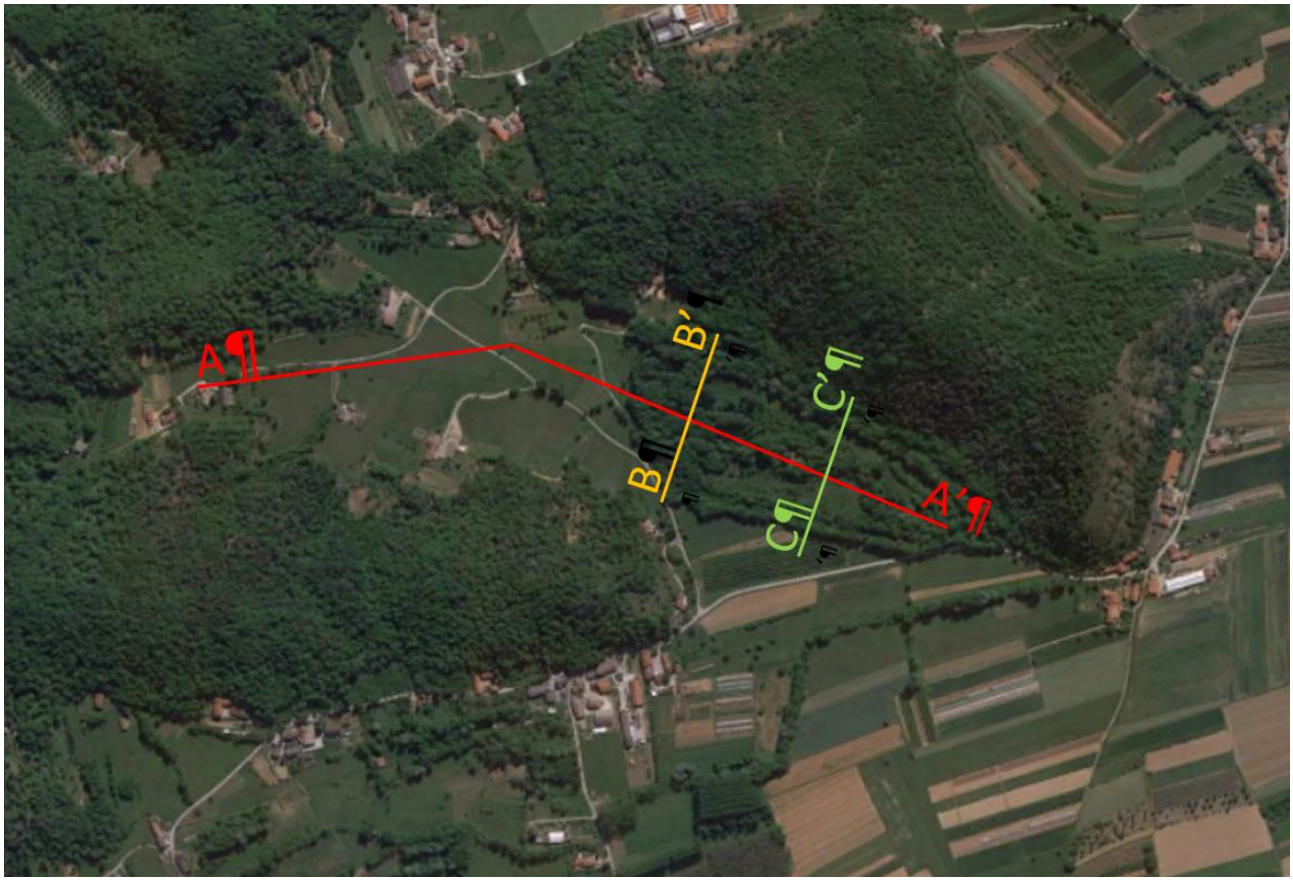

Figura 42 - Sezioni effettuate visualizzate su cartina

La prima la sezione AA' percorre idealmente il tragitto compiuto dall'acqua a partendo dal pozzo #1 fino ad arrivare al piezometro #1, passando per il pozzo #2. Le altre sezioni rimanenti, la BB' e la CC', invece si è deciso che attraversassero le zone dove avverranno gli scavi per l'installazione dell'invaso irriguo e del bio lago.
Analogamente riportiamo uno stralcio di alcune sezioni elaborate presso lo "studio di ingegneria Ferrari e Giraudo" riguardanti i particolari delle opere dell'invaso irriguo (Fig. 44) e del bio lago (Fig.43).

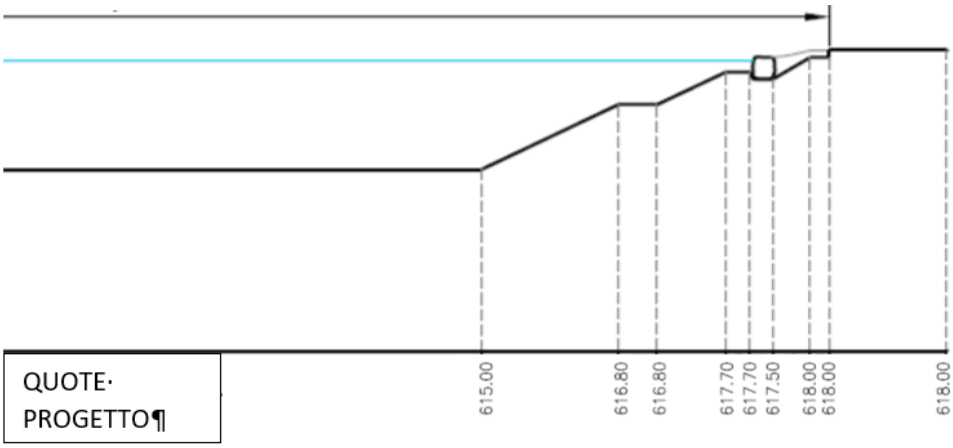

Figura 43 - Sezione con quote del bio lago

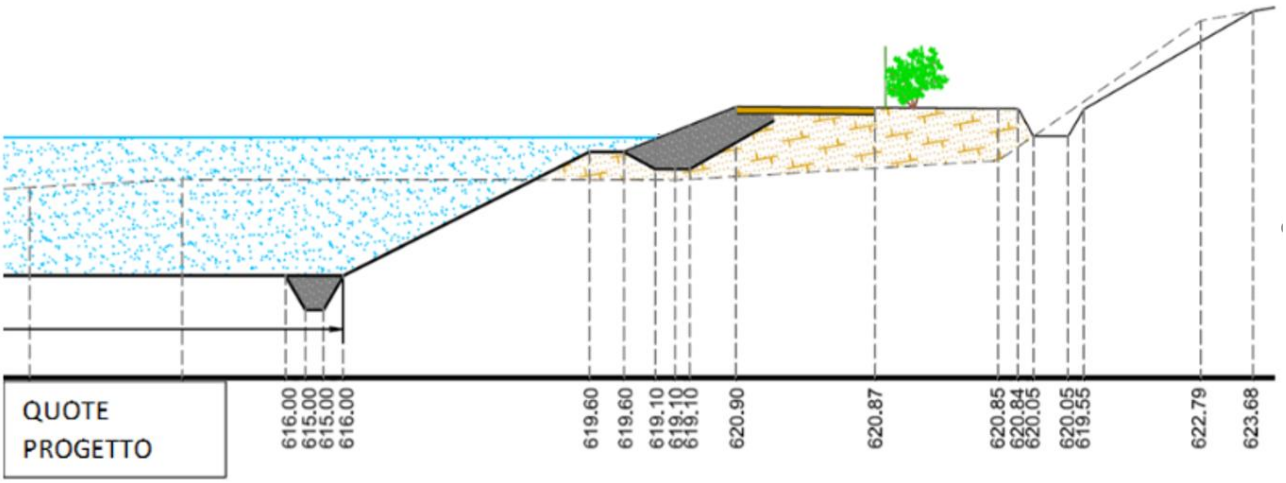

Figura 44 - Sezione con quote dell'invaso irriguo

Emerge che per quanto riguarda l'invaso a Nord del sito la quota più bassa che teoricamente verrà toccata è di 616,25 mslm, mentre per quanto riguarda il bio lago la quota minima è di 615 mslm, sono dati questi che saranno determinanti nel proseguo di questo lavoro. Considerando queste profondità è possibile verificare se vi è o meno un'interferenza fra l'acquifero e l'opera, in più sarà possibile sapere anche in che periodo c'è bisogno di avere una maggiore attenzione.
Dai profili topografici sarà possibile osservare l'andamento rispetto alla verticale delle varie superficie che decidiamo di considerare.
Uno degli obiettivi di questa tesi è infatti quello di valutare le interazioni che ci potranno essere tra i lavori del progetto e l'ambiente circostante, il loro impatto e le eventuali problematiche che si potranno incontrare.
Calcoliamo mediante i medesimi comandi le superfici digitali che interpolano i tre punti a quota idrica nota, lo facciamo sia per i valori riferiti a Maggio sia per quelli riferiti a Agosto.
Nella Fig. 45 sottostante poniamo le tre superfici (le due piezometriche più il terreno), in relazione fra di loro visualizzandole tutte e tre insieme ma con colori diversi, le posizioni cerchiate in rosso sono del pozzo #1, #2 e piezometro #1.

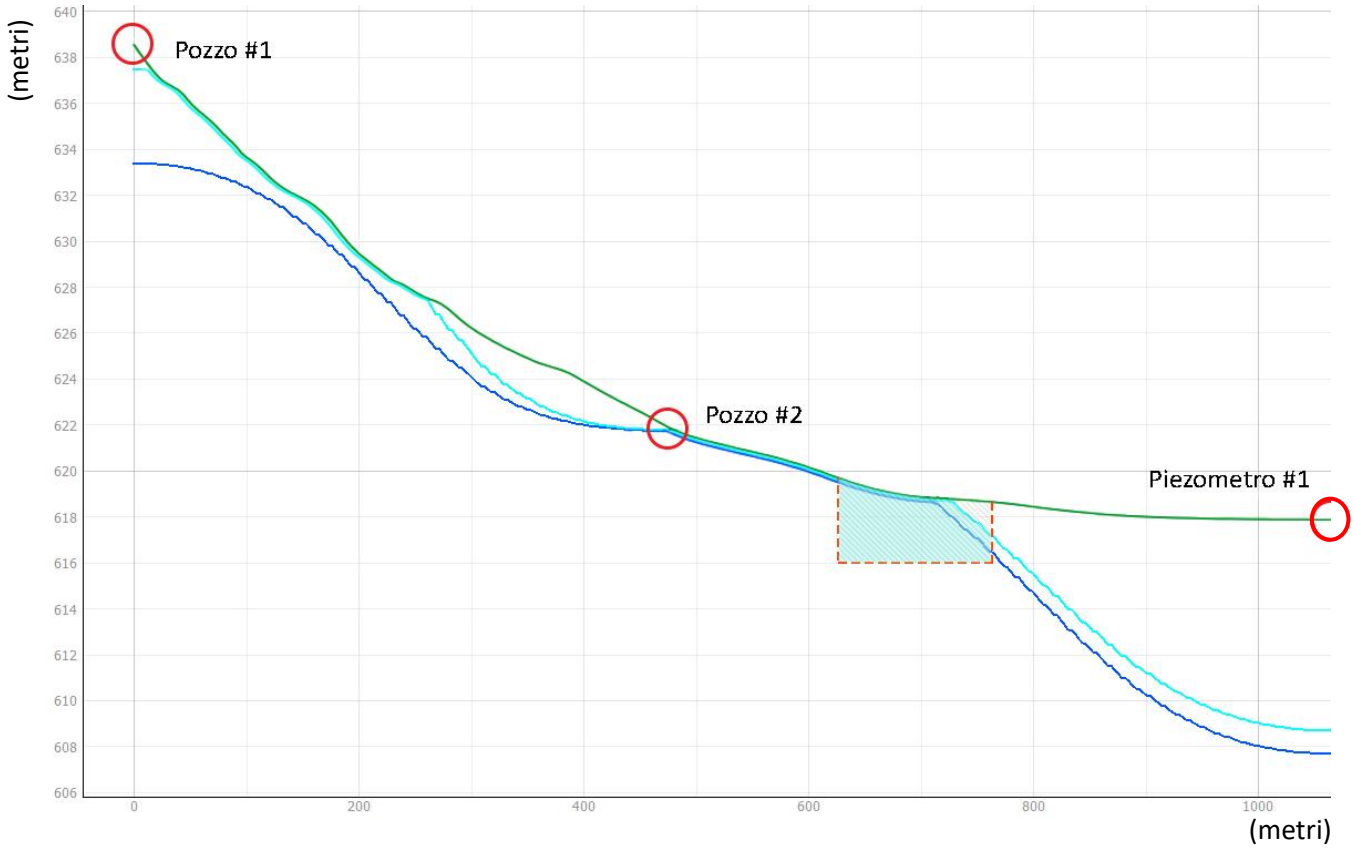

Figura 45 - Profilo topografico sezione AA'

Con l'aiuto di alcuni programmi di visualizzazione è stato possibile aggiungere in scala il futuro stato del nostro sito, disegnando appunto in sezione le dimensioni degli scavi per l'inserimento dell'invaso e del bio lago.

I valori delle profondità delle opere li abbiamo presi direttamente dal progetto esecutivo che ha fornito dettagliatamente questi dati, ben rappresentati nelle figure precedenti.

La sezione AA' è la più rappresentativa fra tutte poiché percorre per intero tutta la zona partendo dal punto più alto che abbiamo considerato fino a Sud del sito studiato.

Da questa rappresentazione emergono diversi aspetti interessanti, il primo è quello che gli andamenti delle due piezometriche per alcuni tratti seguono l'andamento morfologico ripido del terreno, giustificando le forti pendenze che si vengono a creare. In più si nota come in alcuni tratti il livello idrico sia pari a quello di campagna, non solo nella zona compresa fra il pozzo #2 e la zona a Nord del sito (come veniva spiegato nelle analisi precedenti con semplici sopralluoghi si notava la presenza di acqua stagnante e i terreni si presentavano umidi e fangosi), ma anche a monte dove effettivamente le acque scendono scorrendo superficialmente dal pozzo #1 verso valle.

In entrambi i momenti di monitoraggio l'acqua raggiunge sempre il troppopieno del pozzo #2, non importa che sia primavera con piogge abbondanti o estate inoltrata dopo periodi senza perturbazioni.

Una volta appurata questa valutazione che riguardava anche la parte esterna a monte dell'area si prosegue con le altre due analisi di sezione che mirano solo a zone ben precise all'interno del sito, ossia l'area dell'invaso irriguo e del bio lago rispettivamente sezioni BB' e CC'(Fig. 46 e 47).

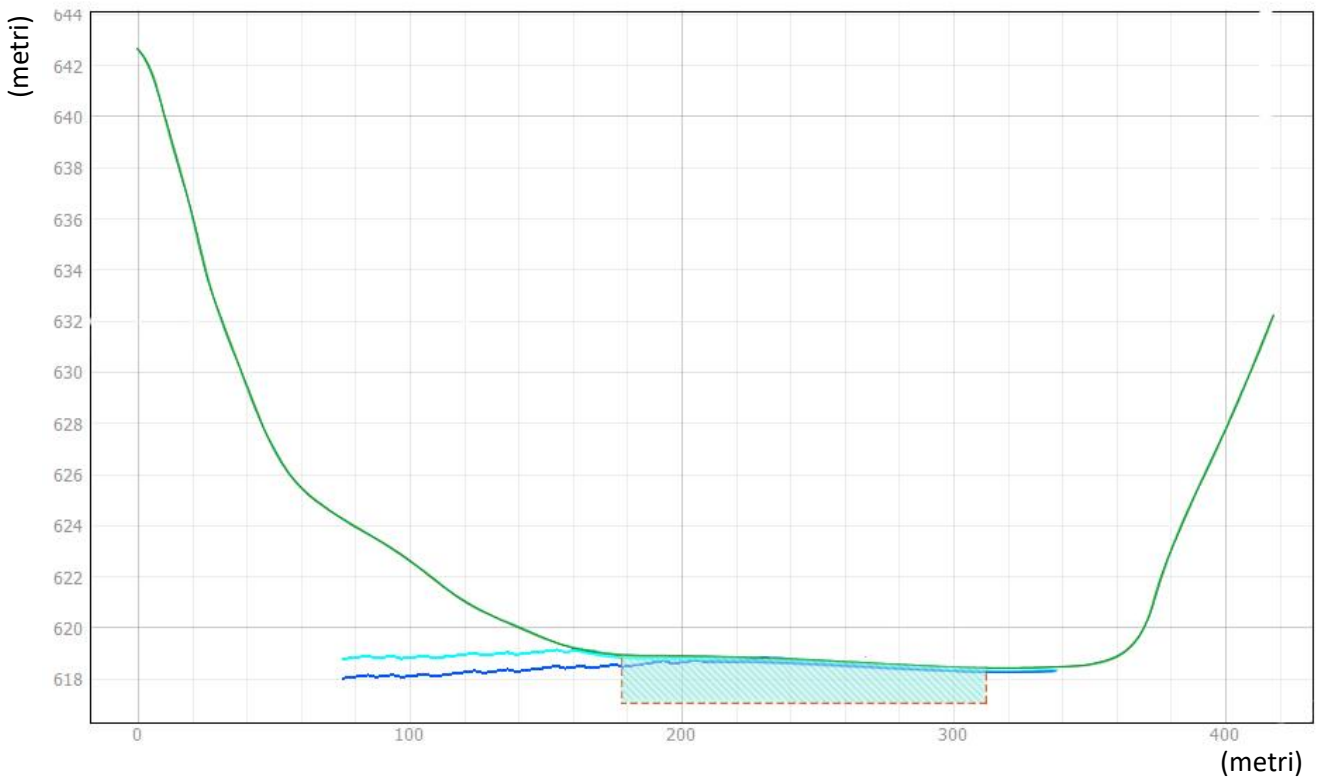

Figura 46 - Profilo topografico sezione BB'

In questa sezione avviene ciò che già si temeva dando uno sguardo più attento alle rappresentazioni precedenti, ovvero i livelli idrici risalgono in superficie e lo fanno in entrambi i mesi, a Maggio e ad Agosto.
Ciò accade proprio in concomitanza con l'area adibita alla costruzione dell'invaso, il che è un problema a partire dallo scavo e fino ad arrivare alla manutenzione dell'opera. Facendo riferimento al particolare del progetto esecutivo in Fig. 13, si nota che per il rivestimento è stata scelta l'opzione di utilizzare strati di geotessili direttamente sul versante.
Si tratta sicuramente di una soluzione poco invasiva, anche a livello ambientale, e soprattutto molto più economica che intervenire con strutture rigide in cemento. Oltre ai suoi aspetti positivi pero presenta ovviamente dei risvolti negativi che potrebbero compromettere il funzionamento dell'opera se perturbata esternamente.
Procediamo però con la valutazione ancora della sezione CC' a nostra disposizione per poi immaginare un possibile risvolto alla situazione venutasi a creare.

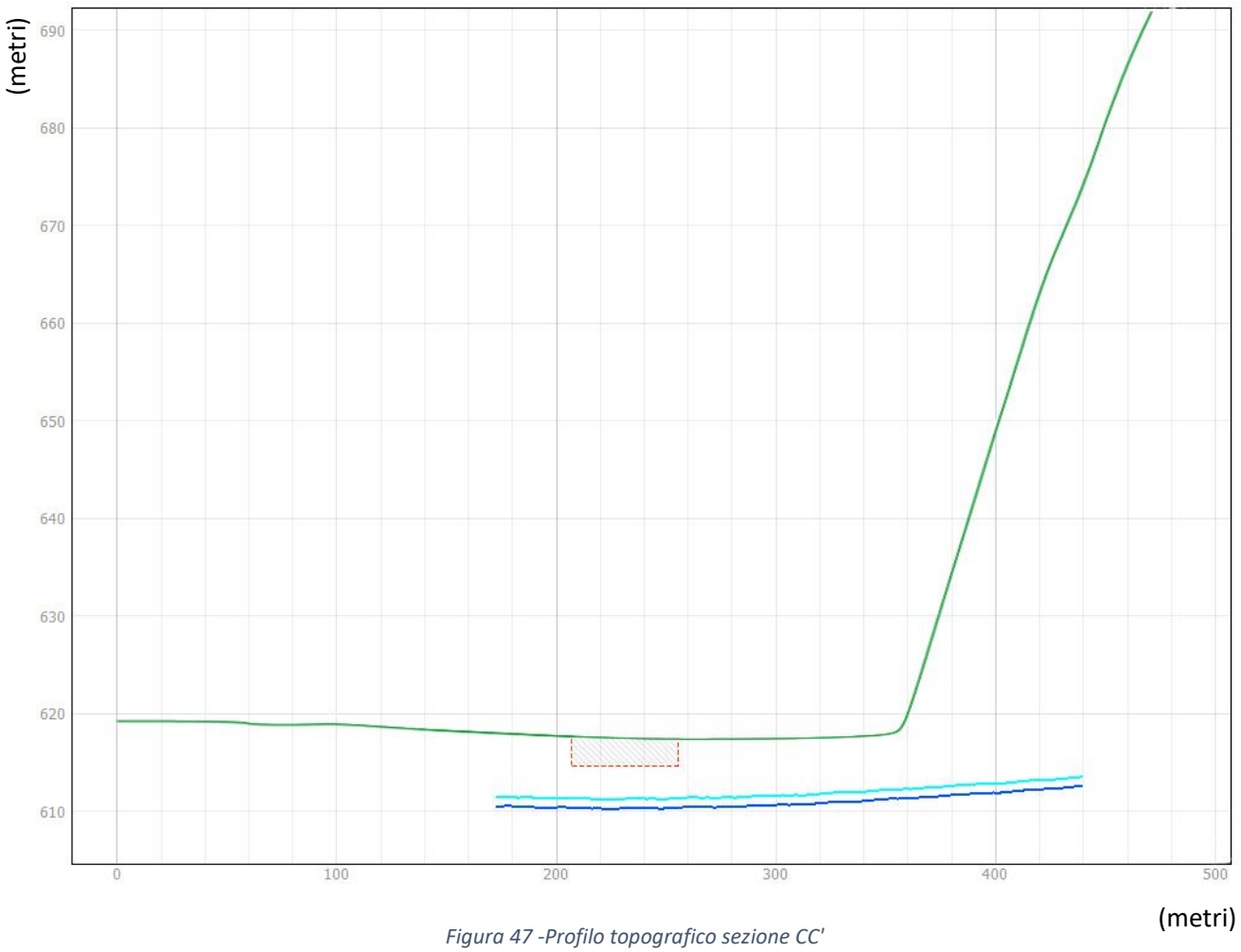

Figura 47 -Profilo topografico sezione CC'

In questo caso la piezometrica si mantiene ben al di sotto dell'area adibita agli scavi del bio lago questo significa che l'opera è al sicuro da qualunque minaccia di risalita da parte dell'acquifero, il quale si è già abbassato abbastanza da poter non essere più preso in considerazione.
Dagli studi eseguiti e le rappresentazioni scelte appare evidente che non si può sottovalutare la possibile criticità che si creerebbe qualora la spinta dell'acquifero agisse sul telo geotessile che ricopre il versante dell'invaso irriguo innalzandolo, diminuendo così la capacità volumetrica dell'opera e la sua stabilità.
Tale avvenimento comprometterebbe il suo buon funzionamento e metterebbe a rischio la zona che sta altimetricamente al di sotto, pur essendoci un rilievo costituito dal materiale di risulta dello scavo come divisione fra l'invaso e l'area turistica.
Valutare in maniera esatta le proporzioni di tale evento è assai difficile, non si presta a calcoli o formule teoriche. Rimane dunque necessario optare per soluzioni alternative da adottare qualora si dovessero presentare realmente tali criticità, cosa che comunque già emergerebbe durante i primi scavi.

Soluzione alternativa alla gestione delle acque superficiali e profonde con trincea e canale di drenaggio a monte dell'invaso irriguo

Un intervento che potrebbe risolvere la questione sia dell'acqua stagnante in superficie sia dell'acquifero sotterraneo è l'installazione di una trincea drenante a monte del sito dell'ex Polveriera accoppiata ad un canale superficiale di drenaggio.
In questo modo si permetterebbe che i manufatti intercettino queste acque prima che possano interferire con l'area in esame per essere poi in un secondo momento scolate in sicurezza tramite i canali già esistenti e utilizzati. Sicuramente ci sono alcune accortezze da considerare poiché come tutti gli interventi anche questi potrebbero avere effetti positivi e negativi sul sistema intero idrogeologico.
La trincea potrebbe sì risolvere il problema dell'innalzamento del rivestimento in geotessile dell'invaso da parte dell'acquifero, ma potrebbe altresì causare un prosciugamento del pozzo #2 qualora l'azione drenante fosse eccessivamente efficace con conseguenti danni ingenti al proprietario del pozzo e dei terreni al contorno.
Non bisogna dimenticarsi che questo intervento deve essere un bene per la comunità che ci dovrà convivere, dunque dovrà evitare di creare danni o cambiare in maniera radicale la situazione precedentemente all'inizio dei lavori. E' vero anche considerare che una trincea potrebbe facilitare il processo di bonifica di quelle porzioni di terreni agricoli rese inutilizzabili dalla presenza di acqua in superficie, di fatto quindi aumentandone il valore.
Viene così di seguito schematizzata la trincea e diverse sue installazioni con svariate tecniche (Fig.48).

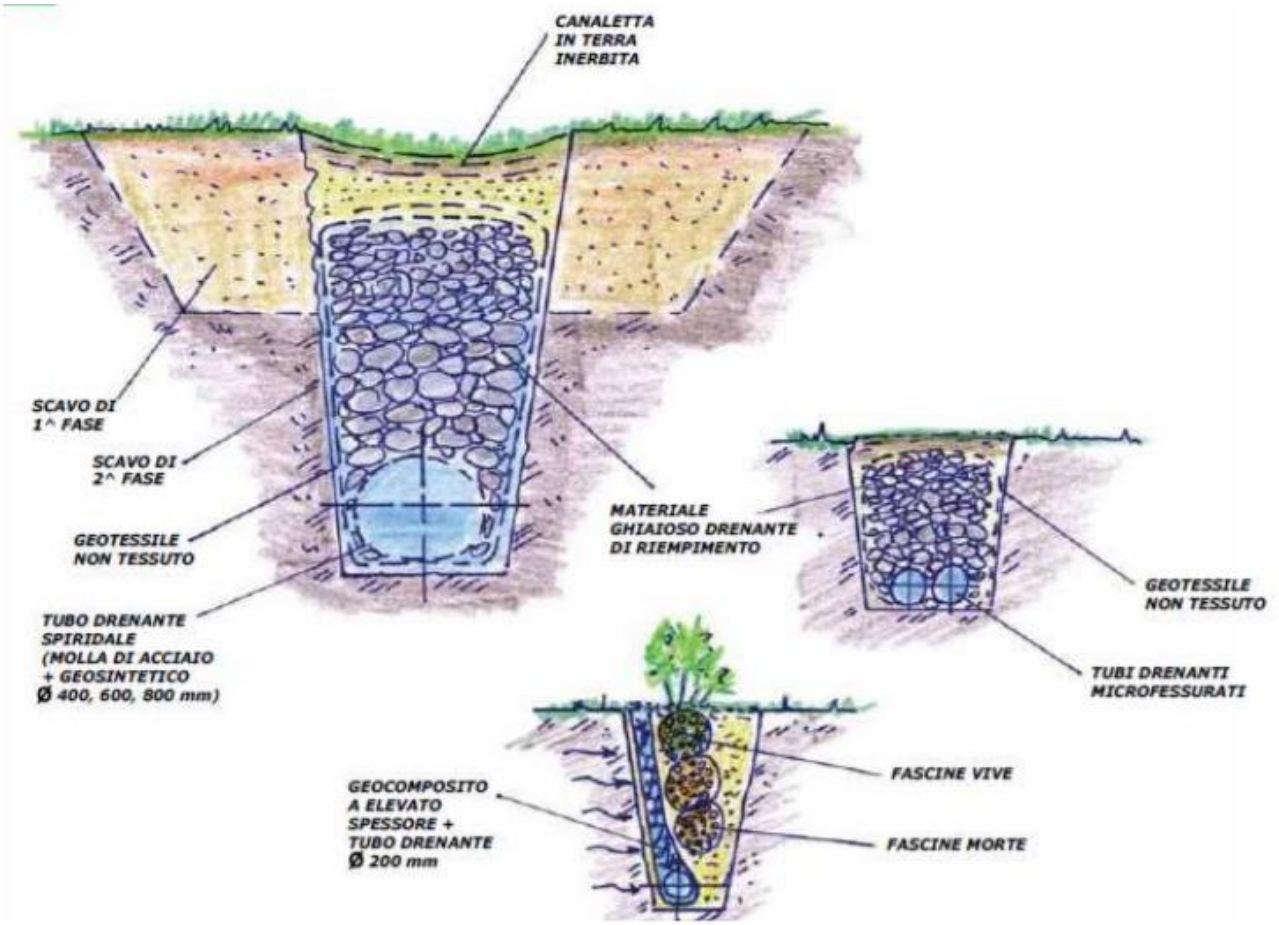

Figura 48 – Varianti costruttive trincee drenanti (sito Regione Piemonte)

Riprendendo in mano la planimetria in stato di progetto dell'invaso irriguo possiamo notare un canale drenante che ripercorre curvando tutta la parte a Nord del manufatto.
Dalle sezioni eseguite emerge che il suddetto canale raggiunge, nella zona prima descritta sotto il livello del terreno, la quota di 618,40 mslm. Dagli studi è possibile però constatare che l'acquifero scorre per una porzione più profonda, dunque il drenaggio che si raggiunge con un opera di quelle dimensione non è sufficiente.
Per avere degli effetti positivi e pratici bisogna assicurarsi che la zona drenata dalla trincea raggiunga la quota di 616 mslm, che è la quota più bassa raggiunta dall'invaso.
L'idea di accorpare a ciò che già è stato progettato un altro intervento è probabilmente la soluzione più attinente. Come ben raffigurato nella Fig. 48 gestiamo le acque profonde e quelle superficiali in due maniere diverse. Le acque superficiali sono le prime ad essere intercettate e scolate tramite il canale di drenaggio posto a monte della trincea la quale invece, con la sua profondità di 3,5 metri, aiuterà a drenare le acque profonde. La trincea è composta da un tubo microfessurato in PVC di diametro 200 mm immerso in materiale drenante come un ghiaione, il tutto ricoperto da terreno naturale (Fig. 49).

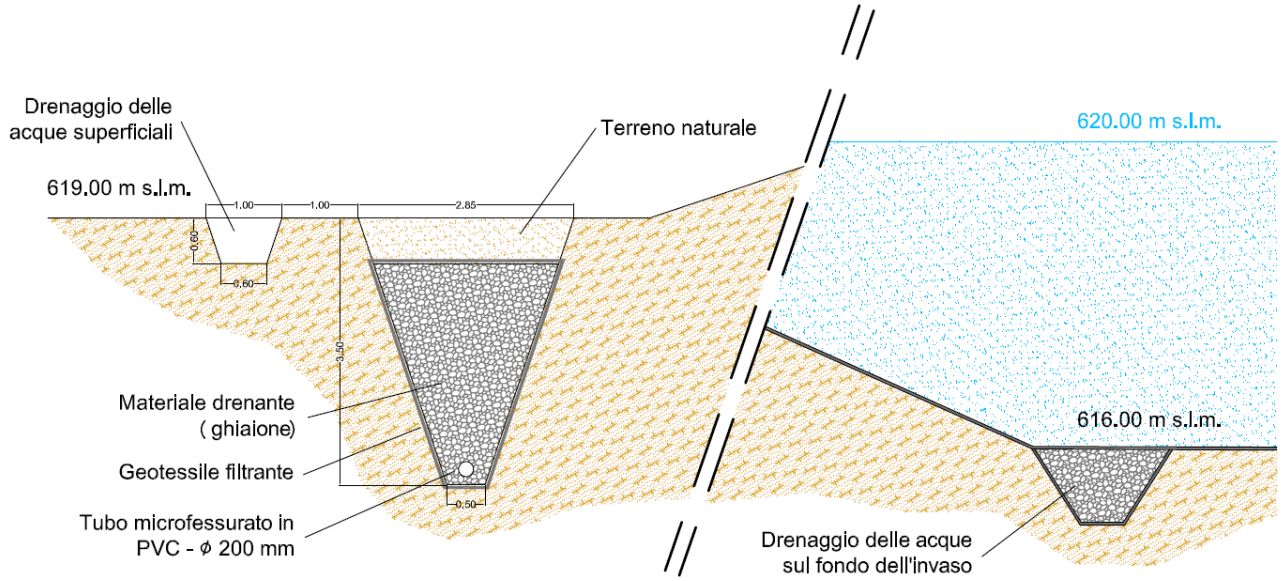

Figura 49 - Particolare costruttivo opere di drenaggio e invaso

La disposizione del canale per le acque superficiali e della trincea in questo ordine rispetto all'invaso è stato scelto per un preciso motivo. E' evidente che se la trincea anticipasse il canale superficiale le acque che scorrono in superficie sarebbero drenate interamente senza alcuna distinzione, rendendo inutile l'intervento di tale canale. Per di più si percorrerebbe il rischio di creare una situazione di pressione sul telo geotessile per eccessivo carico idrico smaltito dalla trincea, ed è proprio la condizione che vogliamo invece evitare.
Ricapitolando: ponendo le opere in quest'ordine si riescono a distinguere anche a livello pratico le due acque che vengono intercettate cioè le superficiali con il canale di drenaggio e le profonde con la trincea.
a destra Nella figura viene riportato in sezione assieme alle quote altimetriche un particolare costruttivo dell'invaso ovvero un drenaggio delle acque sul fondo dell'invaso.
Tale drenaggio già presente nel progetto esecutivo potrebbe essere considerato come una via di scolo della trincea aggiunta ora. Tratteggiato in color grigio notiamo dove saranno collocati i drenaggi di fondo trasversali i quali ricalcano la forma di base dell'area più due tratti centrali (Fig.50).

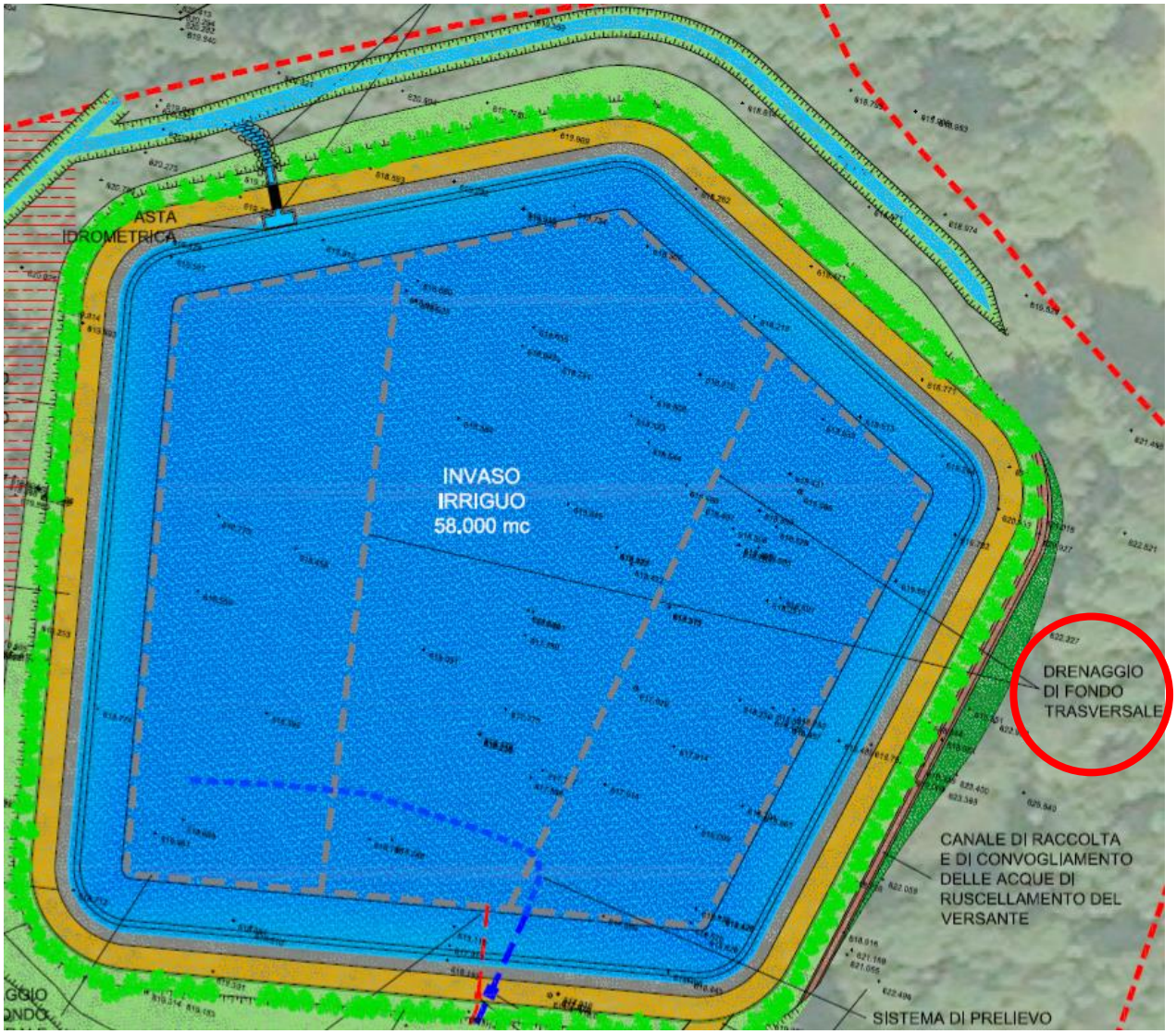

Figura 50 - Planimetria invaso irriguo con drenaggi di raccolta

Altra soluzione riguardante la gestione delle acque profonde drenate è quella di convogliare la quantità di acqua verso valle andando a disperderla nei pressi dei livelli di falda di quella sezione, ricaricando di fatto l'acquifero dell'acqua di cui era stato privato a monte dell'opera. Gestione più complessa ma non impossibile che eviterebbe la risalita in superficie di acque appartenenti al sottosuolo.
A prescindere da come verranno gestite le acque drenate si può affermare che lo scolo così differenziato permette un'assicurazione sul fatto che avvenga in maniera totale e sicura, eliminando la probabilità che il sistema abbia problemi nel gestirle.

Conclusioni

Il lavoro svolto, che come obiettivo ha quello di definire e spiegare il meglio possibile il campo di moto dell'acquifero, ha regalato diverse interpretazioni e sfaccettature al tema principale della tesi.
Sono infatti state inserite precisazioni riguardanti l'esistenza di più acquiferi nella stessa zona, evidenziando l'appartenenza a nature diverse delle acque che inizialmente si pensava fossero della stessa. In più si è eliminata l'ipotesi che il Torrente Grana possa interagire in qualche modo con le acque del nostro sito.
E' stato definito quale acquifero fosse di nostro interesse e da lì si è proceduto constatando che tra il progetto e il livello di falda dell'acquifero ci saranno interferenze, da non sottovalutare.
E' sensato pero inserire un'auto-critica a questo dato dicendo che l'andamento delle piezometriche nei due momenti dell'anno non rispecchiano totalmente e in maniera non del tutto reale l'andamento dell'acquifero per alcuni motivi. Il primo è che rimane solo ipotizzabile, non avendo riscontri affidabili, di come sia nei mesi restanti dell'anno da Settembre ad Aprile per esempio. Il secondo è che le traiettorie delle piezometriche essendo state calcolate mediante il comando distanza inversa ponderata (comando di analisi del QGis) danno un'idea solo indicativa di come un acquifero si muove all'interno del mezzo.
I tratti di maggiore importanza cioè quelli nei quali avviene la risalita in superficie sono però stati controllati e confermati come veritieri, gli unici che possono allontanarsi di più dalla realtà sono quelli totalmente immersi nel mezzo i quali assumono delle forme prettamente matematiche. Il senso di questa parte di studio viene però raggiunto in maniera soddisfacente poiché sono ben chiare le parti di terreno sommerse.
In aggiunta si deve specificare che per avere una visione completa e più sicura avremmo dovuto disporre di molti dati in più, per esempio piezometri a valle e a monte sia del pozzo #2 e sia dell'invaso irriguo con aggiunta di sondaggi geognostici validi e attendibili distribuiti con logica all'interno del sito.
La parte propositiva presentata al termine degli studi mira alla risoluzione del problema di interferenza che se trascurato comprometterebbe il buon funzionamento dell'invaso irriguo. Un problema non di poco conto dato che siamo probabilmente in presenza di una sotto spinta, che in alcuni momenti comporterebbe addirittura l'innalzamento del manufatto.
La proposta di modifica al progetto esecutivo consiste nell'affiancare al canale di drenaggio superficiale già presente una trincea drenante per le acque profonde. A questo punto si può altresì sottolineare con la medesima autocritica degli aspetti negativi questo aspetto positivo, ovvero il coraggio nel proporre un cambiamento del progetto.
Tale modifica, accolta dopo ulteriori verifiche da parte dello studio di ingegneria, ha poi ricevuto i dovuti meriti e ringraziamenti ed entrerà a far parte del progetto futuro. Si tratta comunque di un intervento che rimane all'interno del limite di fattibilità logica, non compromette il cronoprogramma e non presenta un aumento ingestibile dei costi, anzi questo problema finanziario si sarebbe presentato una volta necessari gli interventi di manutenzione a costruzione avvenuta.
Dopo di che si è concordato che per la gestione delle acque scolate in profondità da parte della trincea si crei un riallaccio con i piccoli canali di drenaggio previsti al contorno inferiore dell'area dell'invaso, tutta quest'acqua sarà trasportata dai canali al di fuori del sito oppure mediante canali sotterranei riemessa nell'acquifero una volta intercettato il livello di falda più a valle.
E' consigliato un monitoraggio continuo e preciso al fine di valutare il buon funzionamento di tale sistema di drenaggio.

Bibliografia

- Civita M., Vigna B., Di Maio M., Fiorucci A., Pizzo S., Gandolfo M., Banzato C., Musciacchio D., Agnello M.,Offi M., Menegatti S. (2005) – Studio di valutazione della vulnerabilità intrinseca delle acque sotterranee.
- Studio di ingegneria Ferrari e Giraudo, 2018, progetto candidato dal Comune di Caraglio sul bando "Interventi Faro" della Fondazione CRC

Sitografia

- www.regione.piemonte.it
- www.arpa.piemonte.it
- www.wikipedia.com