CLIENTE:

ECOSAVONA s.r.l.

gruppo GEOTEA

PROGETTAZIONE E COORDINAMENTO:

STUDIO GEOTECNICO ITALIANO s.r.l.

ingegneria geotecnica – ingegneria ambientale – ingegneria sismica
geologia applicata

Dott. Ing. Stefano Veggi

Iscrizione Albo degli Ingegneri
Provincia di Alessandria-N. 1054
Dott. Ing. STEFANO VEGGI
STUDIO GEOTECNICO ITALIANO

PROGETTO:

COMUNE DI VADO LIGURE (SV)

DISCARICA PER RNP IN LOCALITA' BOSCACCIO

AMPLIAMENTO – IPOTESI 1
PROGETTO DEFINITIVO

TITOLO – Title

RELAZIONE IDROGEOLOGICA

GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA:

STUDIO PROGEA
Dott. S. AICARDI
via G. Leopardi 35r, 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956Q
Studio.Progea@gmail.com

STUDIO CARIERI
Dott. F. CARIERI
Via alla Rocca di Legino 5b, 17100 Savona
Tel 019.801866 Fax: 019.8403931
e-mail: filippo@carieri.com

IMPIANTISTICA BIOGAS:

Enrico Magnano
consulenze tecniche per l'ambiente
Via Rocca Grue, 17 15050 Sarezzano (AL) - Italy
Tel. +39 - 0131 - 88.45.96 Fax. +39 - 0131 - 88.49.21
e-mail: magnano@magnano.it web: www.magnano.it

STUDIO GEOTECNICO ITALIANO

CONTRATTO N. – Contract Nr.

IDENTIFICAZIONE SGI
SGI identification

COMMESSA	CODICE ARCHIVIO	ELABORATO	EMISSIONE
07663	065R03bE	01	

REV. Rev.	DESCRIZIONE Description	REDAZIONE Edited	VERIFICA Checked	AUTORIZZAZIONE Authorized	DATA Date
01	EMISSIONE	Studio Progea	TER	VEG	15.06.2011

NOME FILE – File name

07663–065R03bE01

E' VIETATA LA RIPRODUZIONE DI QUESTO DOCUMENTO SENZA PREVENTIVA AUTORIZZAZIONE SCRITTA SGI–Reproduction of this document is forbidden without prior written permission by SGI

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

INDICE

1. Premessa 3

2. Sintesi delle risultanze dell'indagine geoelettrica 4

2.1 Indagine di tomografia sismica 5

3. Perforazioni, esecuzione e risultanze stratigrafiche 6

3.1 Cavità carsiche rinvenute nel corso dei carotaggi 8

4. Analisi geologico strutturale del comparto carbonatico 9

5. Caratterizzazione idrochimica elementi maggiori 19

6. Analisi freatimetrico pluviometrica 26

6.1 Diagramma Ombrotermico 26

6.2 Analisi misure freatimetriche 27

7. Sintesi e schematizzazione del modello idrogeologico qualitativo 31

Figure contenute nel testo

Figura 4.1: Una delle beta intersezioni possibili nella popolazione di S0 e caratteristiche di terreno che suggeriscono la natura stratigrafica del giunto (brecce sin sedimentarie a sx e alternanze con argilloscisti a dx) 10

Figura 4.2: Distribuzione dei poli delle superficie di giunto rilevate 11

Figura 4.3: Lineamento tettonico nella cava dismessa S. Elena nel Comune di Bergeggi 12

Figura 4.4: Sistema informativo territoriale basato su piattaforma Intergraf Geomedia 13

Figura 4.5: Lineamenti tettonici principali 14

Figura 4.6: Distribuzione dei poli delle superficie di faglia rilevate, in alto e diagramma a rosa della frequenza delle direzioni dell'immersione secondo classi di ampiezza 10° 15

Figura 4.7: Schema assonometrico dei lineamenti tettonici identificati da rilevamento di superficie 17

Figura 4.8: Schema assonometrico dei contatti litologici rilevati 18

Figura 5.1: Conducibilità e durezza totale 20

Figura 5.2: pH e temperatura 20

Figura 5.3: Diagramma di Piper per la classificazione delle acque 21
Figura 5.4: Diagramma ternario per la classificazione delle acque 22
Figura 5.5: Dettagli del grafico di Schoeller Berkaloff 23
Figura 5.6: Grafico di Roques Tillmanss 24
Figura 6.1: Diagramma ombrotermico R. Mulini – S. Ermete - Vado ligure (Savona) – anno 2008 – 2009 26
Figura 6.2: Diagramma ombrotermico R. Mulini – S. Ermete - Vado ligure (Savona) – anno 2009 27
Figura 6.3: Rappresentatività temporale delle misure piezometriche 28
Figura 7.1: Schema assonometrico con indicazioni del drenaggio in direzione zenitale, verso SW e contatti litologici rilevati – è individuata la circolazione periferica verticale generata dalla soglia di permeabilità per contatto tettonico 32
Figura 7.2: Schema assonometrico con indicazioni del drenaggio in direzione zenitale, verso SE e contatti litologici rilevati 33

Allegati:

Allegato A: Principali lineamenti tettonici individuati dal rilevamento
Allegato B: Caratterizzazione idrochimica degli elementi maggiori
Allegato C: Relazione indagine geologico geofisica (Earth Resistivity Tomography)
Allegato D: Analisi freatimetrico – pluviometrica
Allegato E: Verifica del programma di monitoraggio (Test con traccianti)

Elaborati grafici di riferimento:

07663-065D25E01	Carta geologica di comparto esteso
07663-065D26aE01	Indagine geologica geofisica – Localizzazione profili elettrici
07663-065D26bE01	Indagine geologica geofisica – Sezione elettrica 1
07663-065D26cE01	Indagine geologica geofisica – Sezione elettrica 2
07663-065D26dE01	Indagine geologica geofisica – Sezione elettrica 3
07663-065D26eE01	Indagine geologica geofisica – Sezioni elettriche 4 e 5
07663-065D26fE01	Indagine geologica geofisica – Sezione elettrica 6

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

1. PREMESSA

Questa relazione di sintesi si occupa di raccogliere confrontare ed interpretare il nutrito corpo di informazioni acquisite riguardanti il sito di interesse della Committente, nel comparto che ospita l'impianto di smaltimento rifiuti di loc. Boscaccio, nel territorio del Comune di Vado Ligure in provincia di Savona. In effetti la finalità del lavoro attiene la ricostruzione qualitativa di un modello idrogeologico del sistema acquifero sotteso all'area occupata dall'impianto; per raggiungere l'obbiettivo garantendo un adeguato livello di accuratezza conoscitiva, data la natura delle strutture e delle rocce interessate, è stato indispensabile estendere le indagini all'area del rilievo che culmina nella cima di Monte Mao, compresa tra il corpo di discarica originario a Nord, il mare a Sud, l'incisione di Rio dell'Eliceto – cava S.Elena ad Est e le incisioni del Rio Canain – Cava Trevo ad Ovest.

Gli scriventi, incaricati collegialmente di estendere la presente sintesi, hanno fondato il proprio lavoro su precedenti elaborati ed indagini acquisite, perfezionati nel comparto. Nel seguito ci si riferisce in particolare alle conoscenze acquisite nella redazione dello "*studio geologico a supporto del progetto di ampliamento dell'impianto*" e nell'esecuzione della "*indagine geologico geofisica (Electrical Resistivity Tomography) per la definizione di un modello idrogeologico qualitativo*", per il dettaglio dei quali rimandiamo agli elaborati specifici.

In particolare la campagna di indagini geoelettriche con elaborazione tomografica 3D ad alta profondità ha permesso di raggiungere alcuni significativi risultati, i quali opportunamente interpretati alla luce del rilevamento geologico e geologico strutturale hanno condotto ad effettuare alcune perforazioni di di verifica.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

2. SINTESI DELLE RISULTANZE DELL'INDAGINE GEOELETTRICA

Riportiamo di seguito, per chiarezza e semplicità di lettura, la sola sintesi conclusiva dello studio geologico geofisico per il cui dettaglio si rimanda all'elaborato specifico.

Sulla scorta delle indagini e del rilevamento sviluppato è possibile formulare le seguenti considerazioni di sintesi:

- Entro la profondità indagata non è presente un livello saturo permanente;
- Il livello saturo permanente è verosimilmente limitato alla quota di quello di base (livello del mare);
- Le emergenze di superficie, censite nella Tav. 1 (cfr. relazione tecnica indagine geologico geofisica) danno ragione di vie di drenaggio di tipo vadoso o in frattura;
- Il corpo quarzitico ricoperto, in corrispondenza della discarica, dall'accumulo dei rifiuti, costituisce uno spartiacque idrogeologico, concordemente con quanto emerge dalle misure piezometriche effettuate nei fori esistenti;
- La scomparsa dell'acqua nel periodo secco conferma la natura di drenaggio vadoso e temporaneo delle direttrici intercettate dai piezometri;
- Il drenaggio in direzione Sud (SE-SO) avviene secondo meccanismi complessi;
- Per quanto attiene il drenaggio in direzione SE la Linea 6 chiarisce la geometria di una anomalia basso resistiva associata verosimilmente al drenaggio in direzione Rio dell' Eliceto, il quale risulta impostato su di una lineazione tettonica, a tale struttura di drenaggio è presumibilmente legata la presenza di una sorgente di superficie;
- Rispetto alle direttrici in direzione SO la Linea 2 pone in evidenza un corpo a bassa conducibilità cui è associata la sorgente (sorgente NPA2) che indica una via di drenaggio su tale direzione;
  Tale corpo si estende per una profondità di circa m 70 da p.c.
- La presenza di massimi di resistività sulle linee 1, 3 e 4, in combinazione con la presenza di cavità accessibili presenti nella zona, fa supporre la presenza, all'interno del perimetro dell'area carsica ed esternamente all'area interessata dall'ampliamento, di cavità non accessibili;

Si sono quindi realizzate delle perforazioni in corrispondenza delle anomalie delle linee 2 e 3, che possono consentire il controllo di una eventuale via di drenaggio vadoso, ancorché temporanea di sicura importanza, nel contesto del sistema generale di circolazione idrica ipogea, essendo localizzata in coincidenza con una manifestazione di carso maturo;
Inoltre si è provveduto, con analoga finalità, a mettere in opera o comunque rendere razionali le captazioni esistenti denominate NPA2 e sorgente Via Romana.

2.1 Indagine di tomografia sismica

L'area nella quale sono stati eseguiti le perforazioni a carotaggio continuo, attrezzate poi come pozzi piezometrici S.1, S.2, S.3, S.4, S.5, S.6 ed S.7 è stata interessata anche da una serie di prospezioni sismiche a rifrazione eseguite dalla ditta Geofisica & Ambiente.
Le stese sismiche sono indicate nella "Planimetria Ubicazione Indagini Geognostiche e Geofisiche" allegata alla relazione geologica a corredo del progetto di ampliamento.
Gli esiti dell'indagine di tomografia sismica sono illustrati nella Relazione svolta dalla dott. Dott. Geol. Spalluto per conto della ditta esecutrice e nelle "tomografie sismiche su onde di compressione" allegate.
L'indagine fornisce una utile indicazione sullo stato di fratturazione media dell'ammasso roccioso entro la profondità di penetrazione che è limitata a m 25 circa da p.c..
La comparazione dei risultati mette in evidenza un significativo calo di velocità delle onde sismiche nel substrato roccioso in prossimità della incisione del Rio Lupi che è pertanto verosimilmente impostato su di una frattura importante.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

3. PERFORAZIONI, ESECUZIONE E RISULTANZE STRATIGRAFICHE

In prossimità degli Uffici dell'impianto del Boscaccio esiste un pozzo denominato NP3 che viene utilizzato per il controllo della qualità delle acque ipogee in ingresso sotto la colmata dei rifiuti.

A valle della discarica in corrispondenza delle due sponde di rio Mulini, sono presenti due freatimetri denominati NP4 e NP5 per il monitoraggio della qualità delle acque ipogee in uscita della discarica.

Per approfondire le conoscenze sulla idrogeologia dell'area in cui è inserita la discarica e l'area di ampliamento sono stati eseguiti inizialmente n° 7 pozzi freatimetrici a tubo aperto, con perforazione a carotaggio continuo, denominati S.1, S.2, S.3, S.4, S.5, S.6 ed S.7.

I pozzi denominati S.1, S.2, S.4, S.5, S.6 hanno profondità di circa 20, mentre i pozzi S.3 ed S.7 hanno profondità di circa 50m. Anche il pozzo S.7 è stato utilizzato per il controllo della qualità delle acque sotterranee in ingresso sotto la colmata di rifiuti.

Le perforazioni sono state eseguite a carotaggio continuo dalla ditta Sondeco sotto la direzione del dott. Geol. Chiesa che ha curato anche l' esecuzione di prove d'acqua in foro, la redazione delle stratigrafie e la Relazione finale (Vedi fascicolo allegato alla relazione geologica a corredo del progetto di ampliamento).

Le misure freatimetriche eseguite a partire dal 21 Agosto 2008 in questa prima serie di pozzi hanno indicato inizialmente scarsa presenza e successivamente al 10.06.09 completa assenza d'acqua nei pozzi S.1, S.2, S.3, ed S.4. Di conseguenza non è stato possibile ottenere dati sufficienti per l'analisi delle oscillazioni freatimetriche.

Nel Febbraio 2009 sono stati pertanto eseguiti tre nuovi piezometri, denominati A, B, C con profondità attorno a 100m.

Le perforazioni sono state eseguita a distruzione di nucleo con diametro di 160mm onde permettere la messa in opera di tubi fessurati ∅ int. = 120mm.

Le misure freatimetriche eseguite tra il Febbraio e l'Aprile 2009 nei tre nuovi freatimetri hanno fornito risultati poco significativi. A partire dal 27 Maggio 2009 questi freatimetri non hanno più segnalato alcun battente d'acqua.

A seguito dell'essiccamento dei tre freatimetri A,B,C ed sono stati eseguiti ulteriori tre pozzi sempre con perforazione a distruzione di nucleo denominati D,E,F. Le profondità di perforazione sono state limitate a 30m, dato che i punti prescelti per le

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

perforazioni, mediante analisi del quadro freatimetrico, indicavano quote del tetto freatico abbastanza prossime alla superficie topografica.
Di questi tre freatimetri D, E, F, l'unico che ha sempre fornito battenti d'acqua consistenti (min. = 6m, max = 12,19m) è il pozzo F, che ha una profondità totale di 23,4m.

In considerazione della insoddisfacente rappresentatività dei dati ottenuti dalla rete piezometrica Ecosavona ha affidato al dott. geol. Sergio Aicardi una indagine di resistività tomografica attorno all'area di discarica al fine di orientare l'ubicazione di nuovi piezometri.
I risultati dell'indagine, che ha individuato i due punti in cui sono stati perforati gli ultimi due pozzi NPA1 e NPA2, sono descritti al § 2: "Tomografia Elettrica (E.R.T.)".
La prima lettura freatimetrica sui due nuovi pozzi è stata eseguita in data 18.12.09 rilevando battenti d'acqua di 15,84 m nel pozzo NPA1 e 44,26m nel pozzo NPA2.
In tutte le letture successive nei due pozzi sono state sempre rinvenute altezze d'acqua significative.

La metodologia di perforazione a distruzione di nucleo è stata scelta in virtù della possibilità da parte dell'attrezzatura a circolazione d'aria di raggiungere i punti di perforazione (i compressori d'aria sono stati lasciati in punti di facile accessibilità).
Le perforazioni sono state dirette dal dott. Filippo Carieri che ha controllato anche la campionatura del detrito di perforazione ad ogni cambio d'asta (campionatura ogni 3m, confezionata in sacchetto chiuso con indicazione della sigla della perforazione, dell'intervallo di profondità e della data del prelievo).
La redazione delle stratigrafie si è basata sui seguenti parametri:

- Regolarità e velocità di avanzamento.
- Colore e granulometria del detrito
- Analisi morfometrica dei clasti (spigolosa, tondeggiante, lamellare)
- Reazione delle polveri all'attacco con HCl 10%.

L'ubicazione dei pozzi piezometrici è riportata nella "planimetria rete piezometrica aggiornata al 18.12.09"
Le stratigrafie dei sondaggi a distruzione di nucleo sono raccolte nel Fascicolo allegato "Perforazioni a distruzione di nucleo"

3.1 Cavità carsiche rinvenute nel corso dei carotaggi

Nel corso delle perforazioni a distruzione di nucleo sono state individuate cavità di origine carsica nei pozzi F, NPA1 e NPA2.

La cavità di maggiori dimensioni è stata individuata durante la perforazione del pozzo F tra i 7 e gli 11 m ed ha comportato l'interruzione della perforazione e lo spostamento di alcuni metri del punto di inizio perforazione al fine di poter eseguire il pozzo.

Nel pozzo NPA1 è stata individuata una cavità di circa 1m di altezza tra i 98m e 99m

Nel pozzo NPA2, una cavità di tipo carsico è stata attraversata tra i 70 ed i 72 m di profondità.

Le quote assolute assieme ad altre informazioni delle cavità carsiche sono riportate nel Fascicolo "Perforazioni a distruzione di nucleo", allegato.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

4. ANALISI GEOLOGICO STRUTTURALE DEL COMPARTO CARBONATICO

Lo studio idrogeologico si è fondato su di un esteso rilevamento strutturale finalizzato al riconoscimento dei principali lineamenti tettonici che sono potenzialmente in grado controllare il drenaggio ipogeo.

Sono state condotte 297 misure diffuse sull'area rispetto in particolare al settore S del rilievo di Monte Mao ad integrazione delle 97 misure condotte dallo Studio Carieri attorno all'impianto della discarica esistente. In particolare il corpo litoide dolomitico è stato caratterizzato da 320 misure distribuite come risulta dalla allegata carta geologica.

Fatta salva le descrizione generale dei terreni interessati dall'acquifero carsico, per la quale si rimanda allo specifico paragrafo, si è potuta determinare, sulla scorta delle misure condotte, una giacitura genericamente immergente a NW del piano assiale della piega di M. Mao. Tale osservazione si fonda sulla distribuzione delle superficie rilevate con evidenze tali da permetterne una attribuzione a superfici di strato.

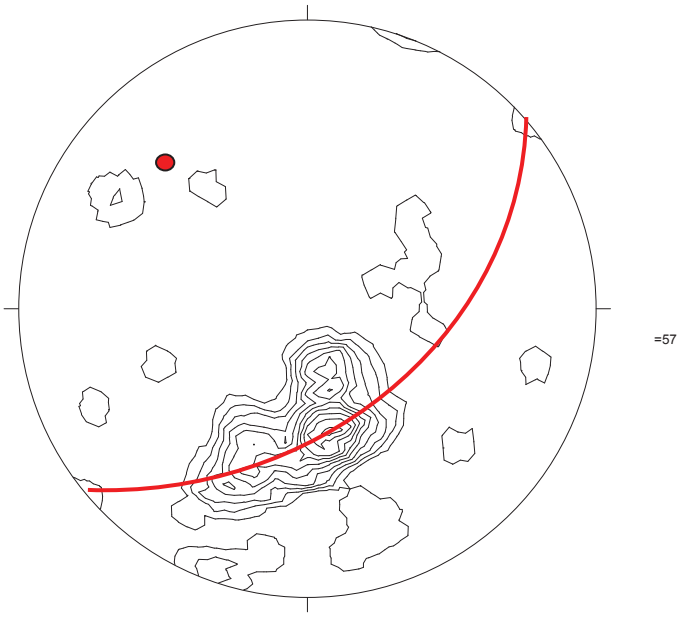




Figura 4.1: Una delle beta intersezioni possibili nella popolazione di S0 e caratteristiche di terreno che suggeriscono la natura stratigrafica del giunto (brecce sin sedimentarie a sx e alternanze con argilloscisti a dx)

Data la natura polideformata della struttura le differenti intersezioni delle superficie rilevate come S0 generano varie beta intersezioni il cui luogo è la traccia ciclografica, o più verosimilmente le tracce ciclografiche, dei diversi piani assiali caratteristici dei diversi eventi plicativi.

L'esame delle misure relative a generici giunti evidenzia l'assetto di fratturazione generale dell'ammasso che non presenta trend ben definiti. La proiezione che segue, infatti, mette in evidenza la dispersione dell'orientazione dei giunti rilevati senza una prevalenza evidente di specifiche giaciture.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

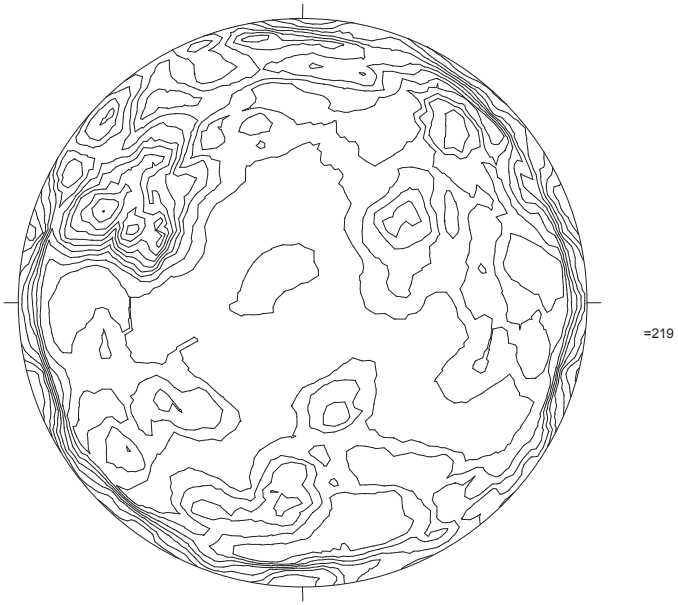


Figura 4.2: Distribuzione dei poli delle superficie di giunto rilevate

Pare perciò maggiormente significativo orientare le valutazioni verso le sole dislocazioni cui siano associate evidenze di terreno tali da suggerire lo stato di via di infiltrazione preferenziale del giunto. Tale approccio deriva da quello proposto da Caine 1996 che assume il lineamento tettonico, tipicamente una faglia, come via preferenziale di drenaggio distinguendo in particolare una parte centrale, con maggiore sviluppo milonitico e minore permeabilità (core FC) ed una parte esterna fratturata (damaged zone Fd) nella quale si sviluppa la filtrazione.

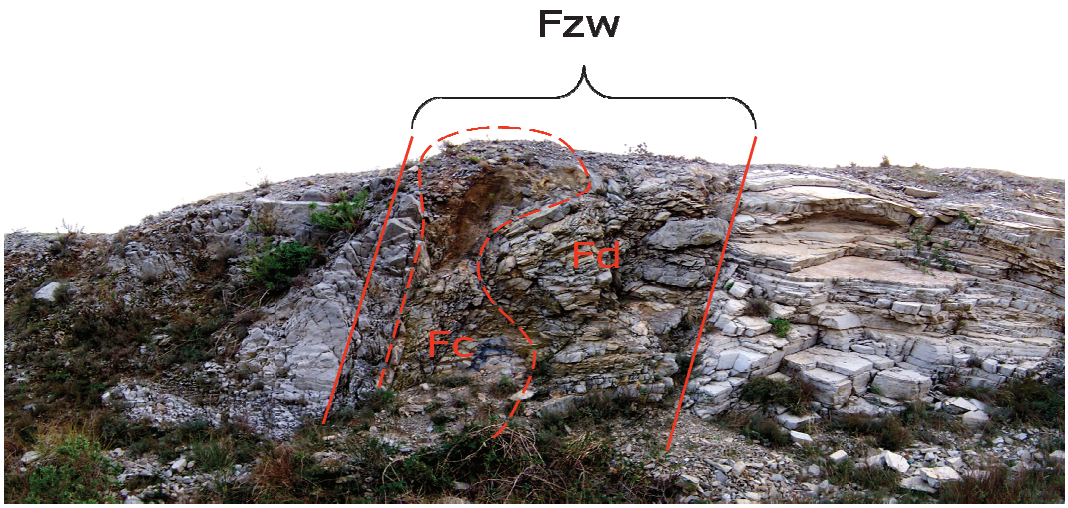


Figura 4.3: Lineamento tettonico nella cava dismessa S. Elena nel Comune di Bergeggi

L'immagine che precede è relativa ad un lineamento tettonico ben riconoscibile nella cava dismessa S. Elena nel Comune di Bergeggi, per la quale è possibile verificare visivamente l'applicabilità della schematizzazione proposta dall'autore citato.

Nel seguito vengono presentate i più importanti lineamenti tettonici rilevati e la loro giacitura.

Le osservazioni di terreno sono state implementate in un sistema informativo territoriale basato su piattaforma Intergraf Geomedia nell'intento di disporre di un archivio organico in grado di garantire la soluzione di interrogazioni geografiche.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

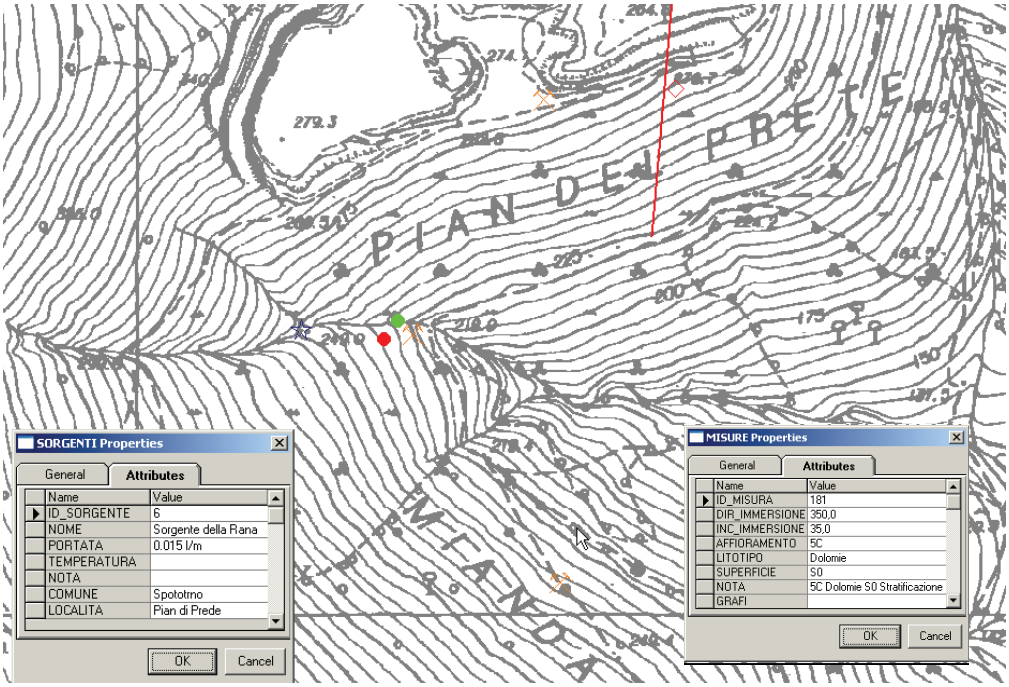


Figura 4.4: Sistema informativo territoriale basato su piattaforma Intergraf Geomedia

Tali interrogazioni sono finalizzate alla definizione di un reticolo di potenziale filtrazione attraverso le discontinuità principali cui viene associata una fascia di rispetto (buffer) stabilita in modo proporzionale alla damaged zone, nell'immagine il parametro è fissato con ampiezza pari a m 20.



Figura 4.5: Lineamenti tettonici principali

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

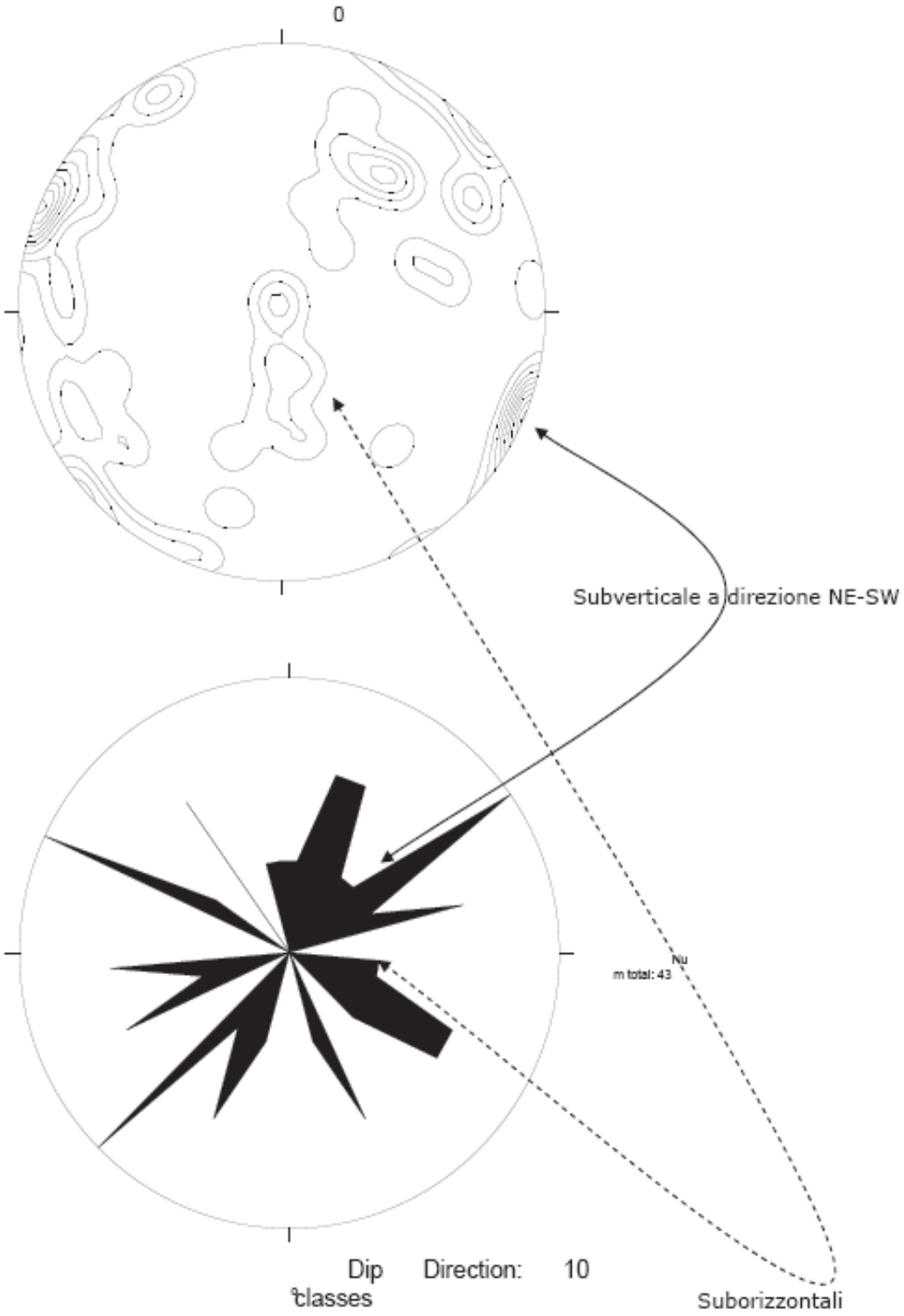


Figura 4.6: Distribuzione dei poli delle superficie di faglia rilevate, in alto e diagramma a rosa della frequenza delle direzioni dell'immersione secondo classi di ampiezza 10°

L'esame della proiezione e del diagramma mette in luce la presenza di 5 famiglie di superficie di faglia che costituiscono altrettante vie preferenziali di filtrazione. Quella

maggiormente ricorrente, che perciò viene considerata come più importante è quella circa verticale a direzione NE-SW.

L'organizzazione dei dati geologici, e territoriali in generale, mediante piattaforma GIS-CAD Bentley Microstation permette lo studio delle geometrie delle discontinuità, che rappresentano altrettante vie di filtrazione, e delle variazioni di permeabilità che limitano il deflusso all'interno del corpo carbonatico. Queste differenze di permeabilità operano sia rispetto alla circolazione interna alla massa calcareo dolomitica, sia nei confronti dei suoi rapporti con gli acquferi esterni ad essa.

E' possibile condurre tali valutazioni sulla base di schemi tridimensionali che sintetizzino differenti interrogazioni del dato territoriale georiferito.

Nello schema assonometrico di sintesi che segue sono riportate le superficie tettoniche principali rilevate organizzate con colori diversi in base all'orientamento.

Si distinguono perciò:

- in arancio le superfici con andamento Nord Est – Sud Ovest
- in giallo le superfici con andamento Est Ovest
- in rosso le superfici con andamento Nord Sud
- in azzurro le superficie con andamento Nord Ovest – Sud Est

Il rilevamento geologico ha messo in evidenza i contatti litologici di natura tettonica, che limitano il corpo carbonatico da ogni lato fatto salvo il versante SE dove l'affioramento calcareo dolomitico raggiunge il mare. Lo schema successivo da ragione dell'osservazione.

Nello stesso schema si può apprezzare in verde-oro il limite dei meta sedimenti della formazione degli Scisti di Gorra: in viola quello della formazione delle Quarziti di Ponte di Nava, mentre il corpo calcareo dolomitico risulta rosa marezzato.

Nell'immagine viene riportato un foro a distruzione di nucleo che ha messo in evidenza l'estensione delle metamorfiti a profondità superiore a m 120 da p.c.; ciò conferma l'ipotesi già formulata sulla base del rilevamento di superficie sulla estensione in profondità di tali terreni.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

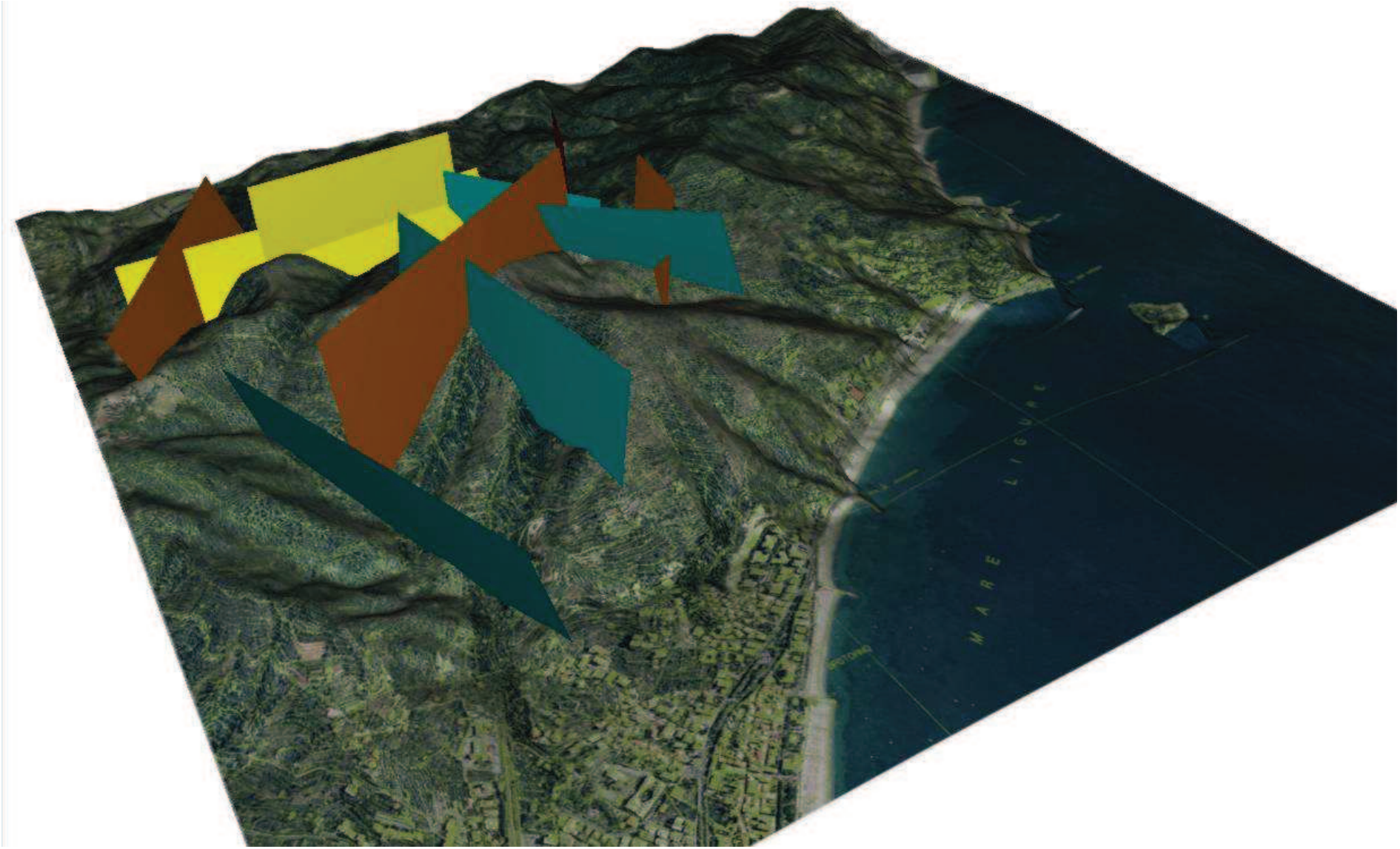


Figura 4.7: Schema assonometrico dei lineamenti tettonici identificati da rilevamento di superficie

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI



Figura 4.8: Schema assonometrico dei contatti litologici rilevati

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

5. CARATTERIZZAZIONE IDROCHIMICA ELEMENTI MAGGIORI

Nel mese di gennaio 2010 è stata effettuata una serie di campionamenti corredati da analisi chimiche degli elementi maggiori finalizzata alla differenziazione dell'impronta chimica delle differenti acque nell'intento di definirne caratteri simili che possano aiutare a comprendere le direttrici di drenaggio dell'acquifero studiato.

Le analisi hanno compreso:

- ione bicarbonato HCO_3 [meq/l]
- potassio [mg/l]
- ferro [mg/l]
- ione carbonato CO_3 [meq/l]
- silice [mg/l]
- ione nitrito [mg/l]
- ione cloruro [mg/l]
- sodio [mg/l]
- manganese [mg/l]
- ione solfato [mg/l]
- calcio [mg/l]
- anidride carbonica [mg/l]
- magnesio [mg/l]
- solidi sospesi totali [mg/l]
- Conducibilità µS/cm
- pH
- Temperatura [°C]
- durezza totale [mg/l $CaCO_3$]

I confronti generali dei parametri chimico-fisici(durezza totale, conducibilità, temperatura e Ph) mettono in evidenza alcuni aspetti salienti:

Per il pozzo S6 si osserva una conducibilità elettrica relativamente ridotta a fronte di una durezza totale comparabile con i valori relativi agli altri campioni. La correlazione conducibilità-durezza risulta invertita rispetto alle rimanenti analisi.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

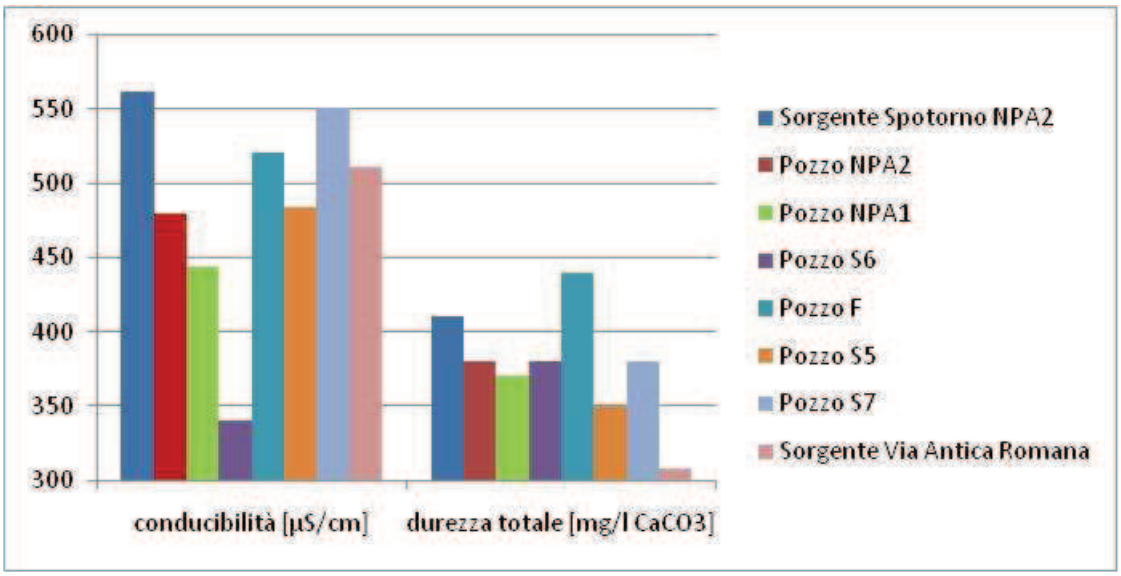


Figura 5.1: Conducibilità e durezza totale

Il pozzo NPA2 evidenzia temperature segnatamente maggiori rispetto alla totalità delle rilevazioni.

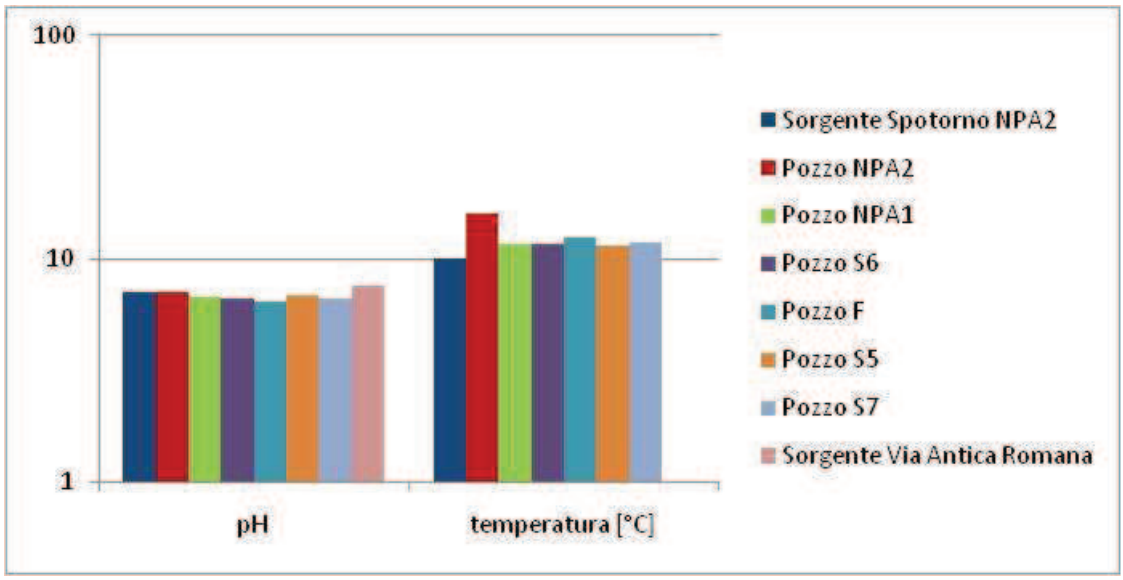


Figura 5.2: pH e temperatura

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

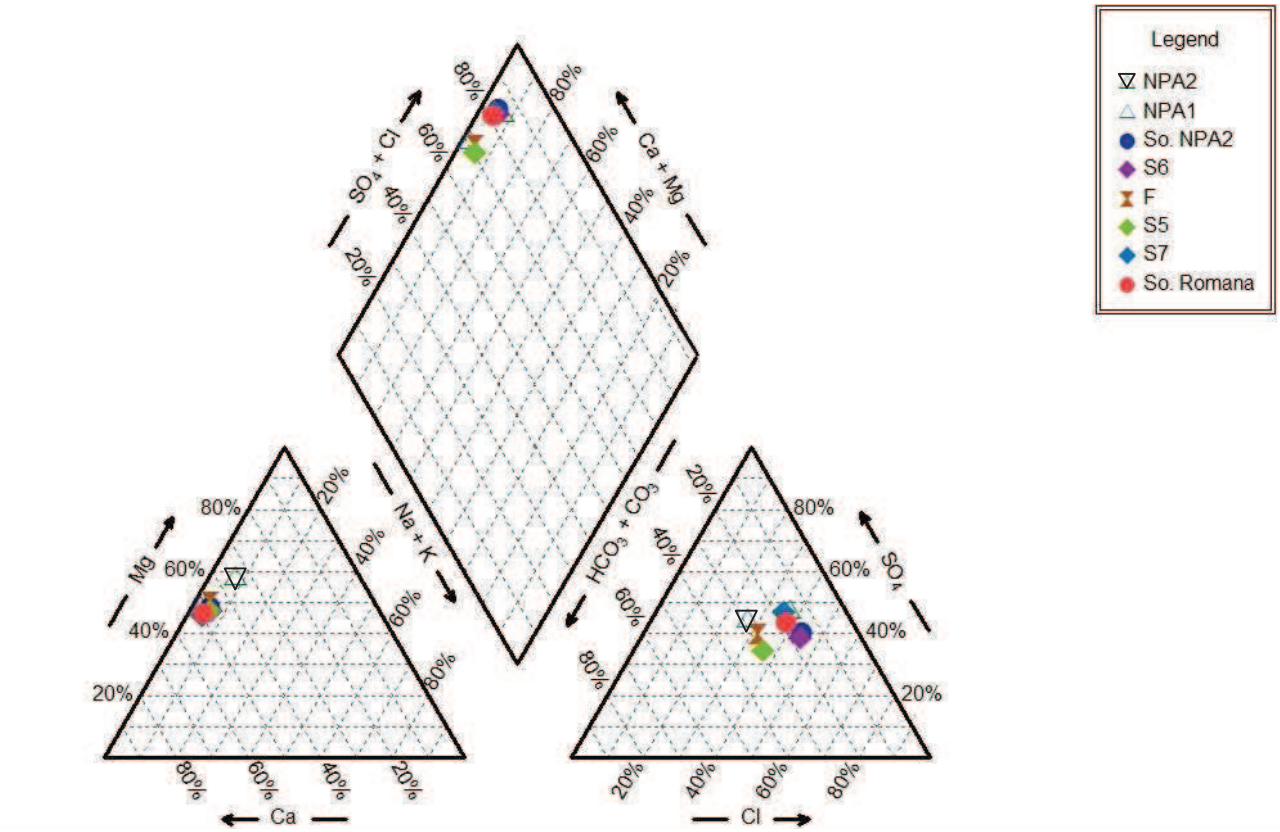


Figura 5.3: Diagramma di Piper per la classificazione delle acque

L'esame del diagramma di Piper permette di classificare le acque come SOLFATO-CLORURATO ALCALINO TERROSE e consente di raggruppare quelle dei fori NPA1, S5 ed F come interessati da acque maggiormente caratterizzate rispetto al contenuto in cloruri e solfati.

Per definire in modo migliore il carattere, ipotizzando una contaminazione dovuta ad acque con un percorso che probabilmente interessa corpi evaporitici, presenti nel corpo carbonatico, è stato elaborato il seguente diagramma ternario.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

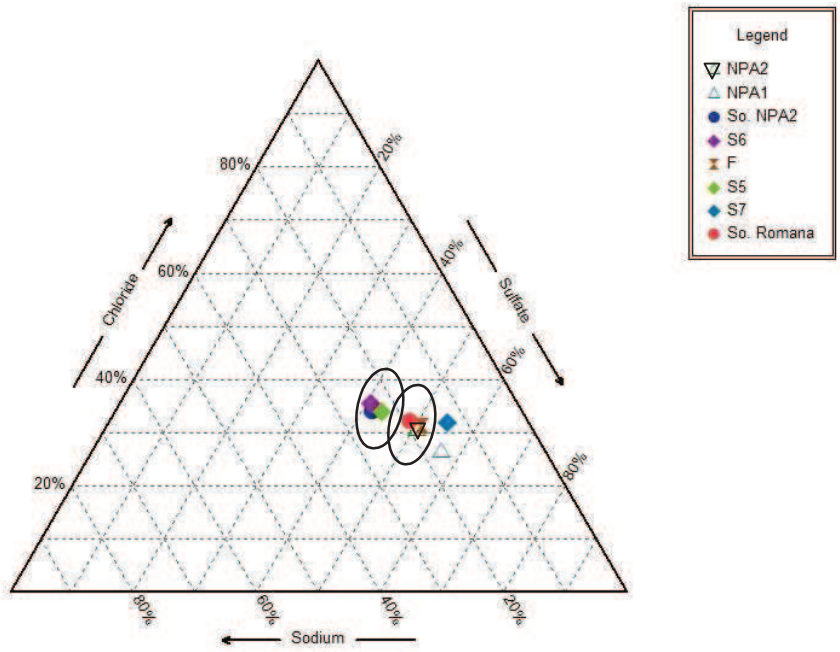


Figura 5.4: Diagramma ternario per la classificazione delle acque

L'esame del diagramma ternario rileva come simili i campioni:

S5, S6 Sorgente NPA2 ed ancora Pozzo NPA2, F, sorgente antica via romana.

Il diagramma di Schoeller Berkaloff che è presentato in allegato in forma generale, da ragione della variazione di tali componenti (solfato cloruro sodio) nell'intero archivio analitico. In particolare si evince, nella figura che segue a sinistra, una similitudine tra i campioni relativi a NPA1 ed F e ancora tra NPA2 e S7, rispettivamente più poveri in cloruri e più ricchi in solfati.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

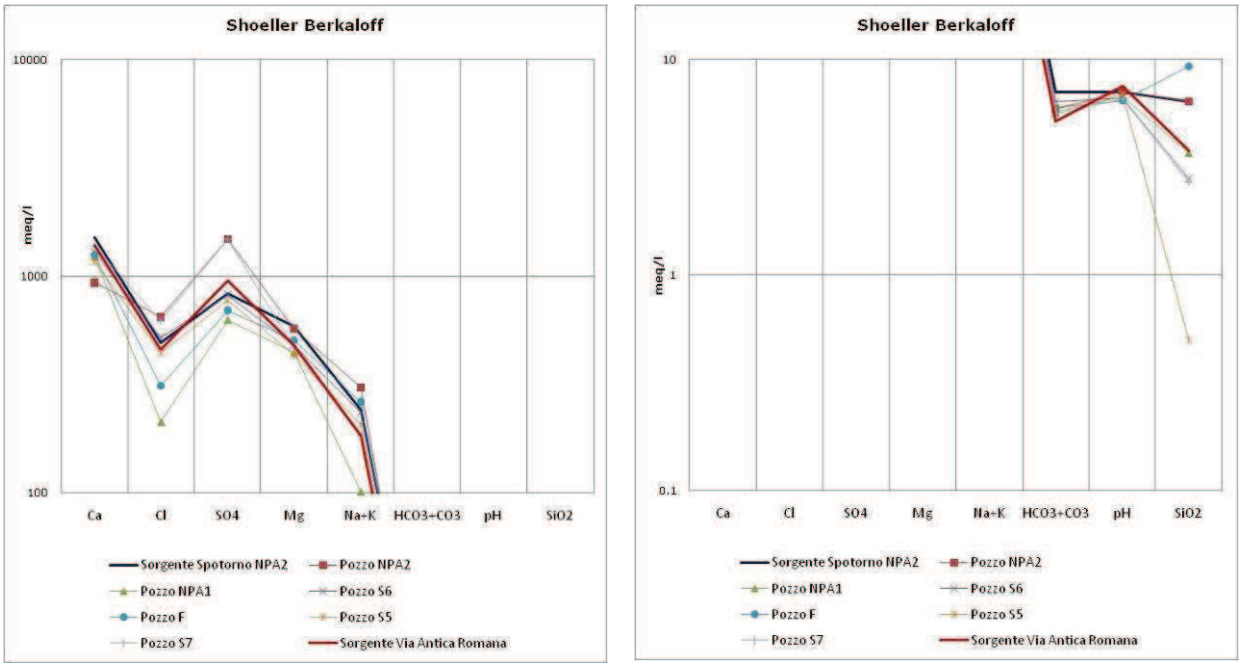


Figura 5.5: Dettagli del grafico di Schoeller Berkaloff

Il dettaglio del grafico che precede a destra distingue i campioni sulla base del contenuto in silice distinguendo pozzo e sorgente NPA2 da NPA1 e sorgente antica via Romana da S7 ed S6 i quali hanno un contenuto in silice intermedio tra gli estremi del range coincidenti con F, che rappresenta il massimo contenuto, rispetto a S5 con il minimo.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

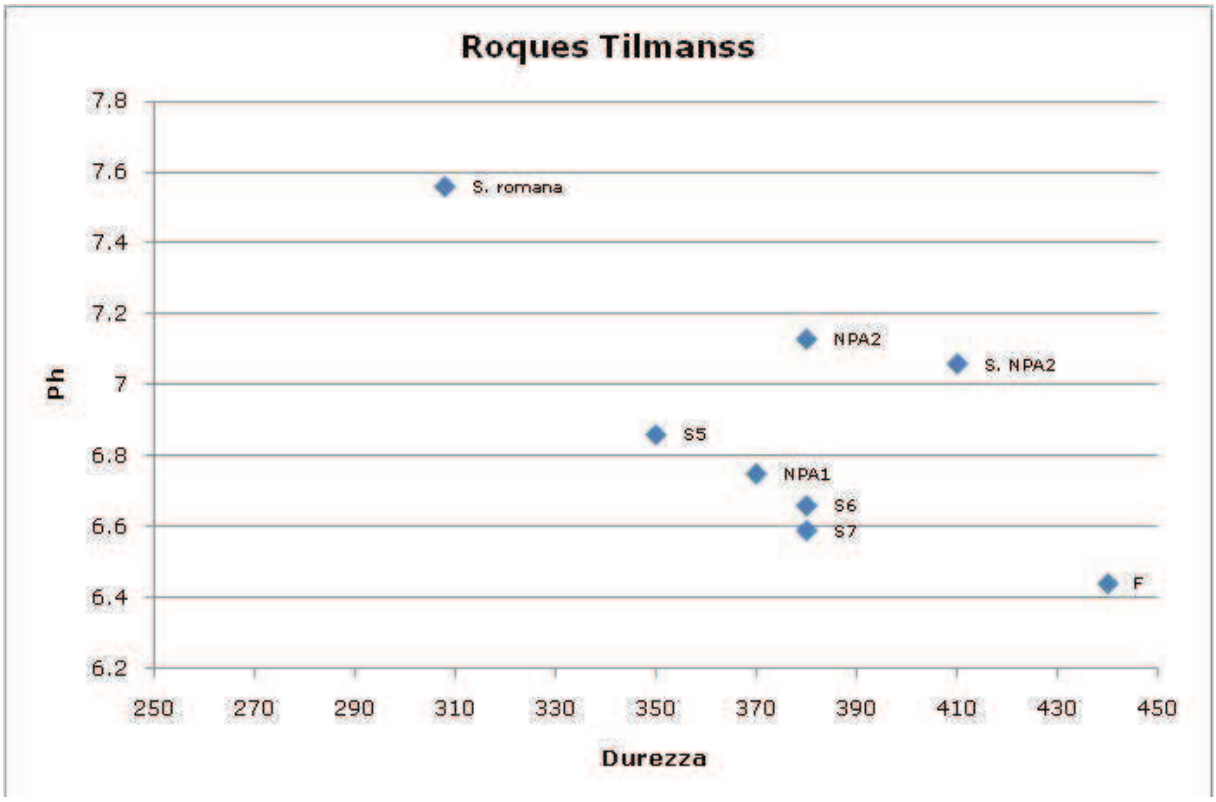


Figura 5.6: Grafico di Roques Tillmanss

In definitiva l'esame analitico pone in evidenza che:

I piezometri e le sorgenti oggetto di campionamento sono significativi per comprendere il modello del drenaggio ipogeo e si riferiscono a diverse parti del sistema.

In particolare è possibile considerare il foro F come rappresentativo di una riserva regolatrice a dinamica presumibilmente rapida attribuendo a NPA1 analogo significato in considerazione del minore carico ionico che presumibilmente è da attribuire ad una circolazione più rapida e meno aggressiva in termini di efficacia di dissoluzione. Il foro NPA2 è rappresentativo di una porzione del sistema acquifero a circolazione più lenta come evidenzia la temperatura più elevata di diversi gradi rispetto ai restanti pozzi ed un carico ionico, dei componenti solfato cloruro sodio, elevato a fronte di una ridotta durezza totale. In effetti NPA2 si comporta diversamente dagli altri campioni e in modo più simile alle sorgenti le cui acque perdono aggressività rispetto a quelle profonde, tipiche del reticolo di drenaggio principale.

In sintesi i deflussi ipogei intercettati dai pozzi (F, NPA1) dovrebbero corrispondere a maggiori velocità di circolazione, mentre le acque campionate nei pozzi (NPA2, S5, S6, S7)corrisponderebbero a velocità di circolazione minori.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

6. ANALISI FREATIMETRICO PLUVIOMETRICA

6.1 Diagramma Ombrotermico

Al fine acquisire una indicazione puntuale, circa l'entità dell'alimentazione idrica al sistema acquifero di pertinenza, da parte delle precipitazioni meteorologiche è stato compilato un diagramma ombro termico locale. L'elaborazione è stata sviluppata a partire da dati climatici reperibili dalla stazione meteo dell'impianto per gli ultimi 2 anni 2008-09.

Lo scopo della valutazione è quello di definire il rifornimento, in termini di "*altezza di pioggia*" con quelli delle precipitazioni, tenendo in conto le perdite per ruscellamento (scorrimento superficiale) ed evapotraspirazione.

Il diagramma proposto è fondato sui seguenti dati di base:

- Valori di precipitazione media e di temperatura ricavati dalle serie di misure più avanti proposte;
- Valori di evapotraspirazione ricavati attraverso relazioni note in letteratura in funzione della temperatura misurata (*Thornthwaite*).

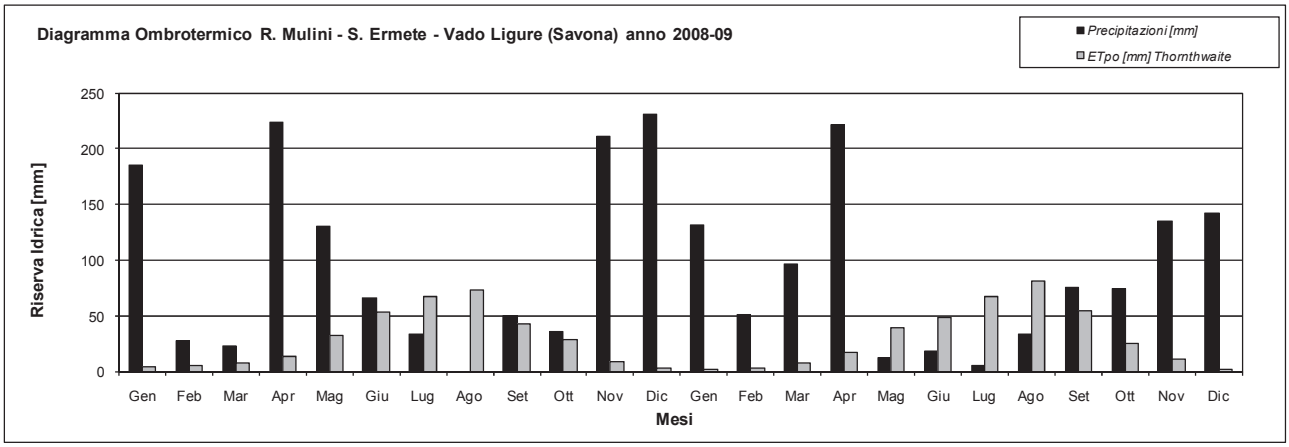


Figura 6.1: Diagramma ombrotermico R. Mulini – S. Ermete - Vado ligure (Savona) – anno 2008 – 2009

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

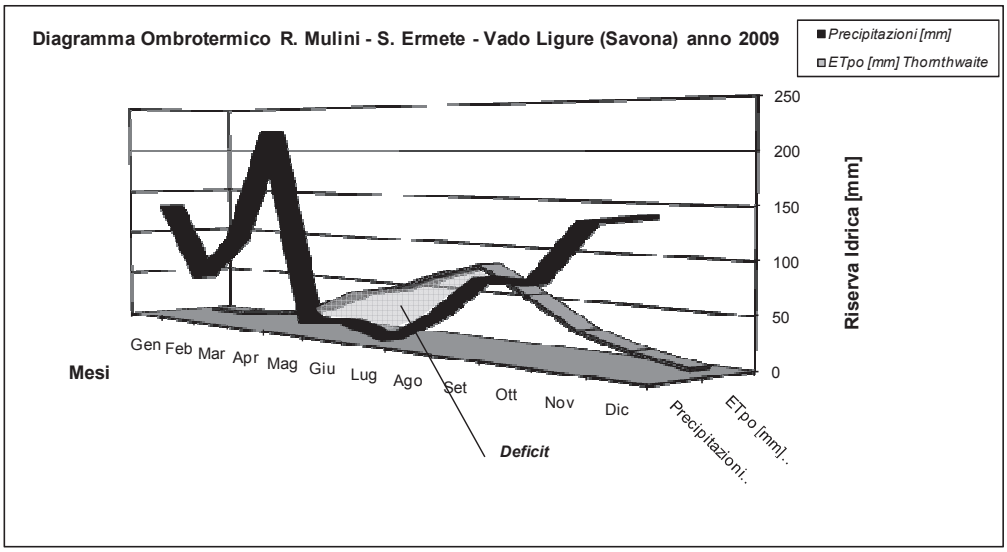


Figura 6.2: Diagramma ombrotermico R. Mulini – S. Ermete - Vado ligure (Savona) – anno 2009

Il risultato del bilancio espresso nel diagramma, viene riassunto nella tabella che segue con le dimensioni di "altezza di pioggia" sulle due annualità:

	DEFICIT [mm]	**RICARICA** [mm]	**RUSCELLAMENTO/ RIFORNIMENTO ACQUIFERO** [mm]
Totali	-277	277	1513

Tabella 6.1: Bilancio del diagramma ombrotermico

Le altezze desunte dal bilancio, mostrano una rilevante disponibilità di apporti idrici, tale da permettere le valutazioni di significatività delle misure freatimetriche di cui al successivo paragrafo. Il deficit calcolato, di entità relativamente ridotta, suggerisce nel breve periodo l'assenza di una tendenza climatica che possa influenzare le freatimetrie, con periodo superiore alla cadenza stagionale. In altre parole l'acquifero superficiale viene sempre compensato per intero dalla perdita estiva ad opera delle piogge autunnali.

6.2 Analisi misure freatimetriche

Le serie di misure piezometriche condotte sono state analizzate in considerazione della loro continuità temporale, della posizione territoriale dei piezometri di riferimento e confrontando la variazione temporale con le misure pluviometriche.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

L'analisi della variabilità temporale presentata nei grafici che seguono è condotta normalizzando i livelli piezometrici rilevati rispetto al livello medio di ogni piezometro, all'interno della serie misurata, in modo da confrontare per gruppi le variazioni temporali del livelli idrico statico.

L'esame dei grafici pone in evidenza un differente comportamento di alcuni piezometri all'interno dei differenti gruppi (S1-S7, A-F, NP3-NP5) come risalta dall'andamento della deviazione standard, che è calcolata per ogni serie rispetto al proprio valore medio.

Le misure rilevate sono però affette da importanti discontinuità (cfr § 3), che non consentono una corretta comparazione tra le serie misurate. Tali discontinuità nella serie sono state causate da assenza d'acqua nel foro. Per discriminare tali serie piezometriche è stata calcolata una *rappresentatività temporale*. Questo non è altro che il numero di misure effettuate rapportato al numero totale delle rilevazioni. Il valore è espresso in percentuale ed è rappresentato nel relativo grafico a istogramma. La lettura del grafico informa sulla "quantità" di misure efficaci effettuate per ciascun foro e di conseguenza sulla sua capacità di descrivere la variazione a base temporale del livello idrico statico.

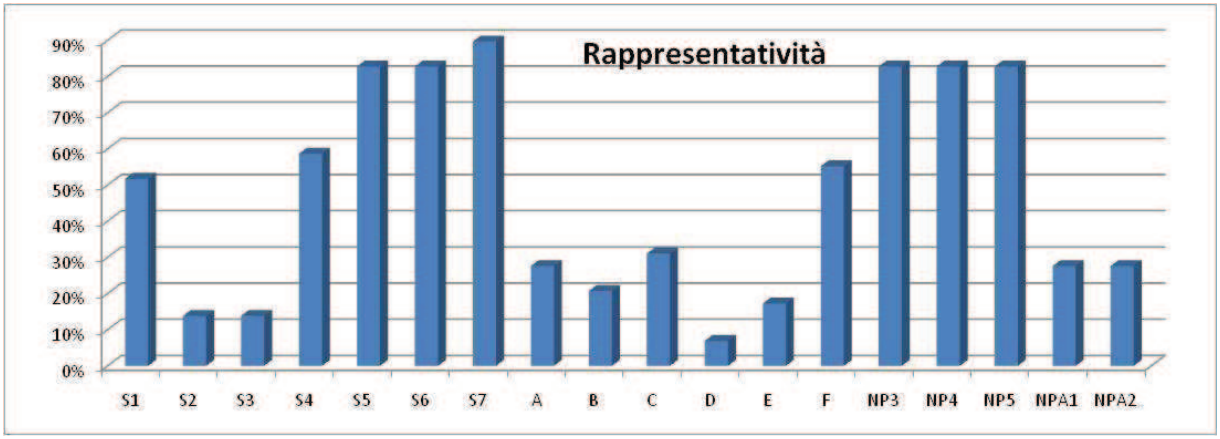


Figura 6.3: Rappresentatività temporale delle misure piezometriche

L'informazione che si evince dal grafico deve però tenere conto della differente data di entrata in funzione dei fori F, NPA1 e NPA2 che sono stati realizzati rispettivamente nell'estate e nell'autunno 2009.

Al fine di porre in evidenza il comportamento di un ipotetico livello piezometrico continuo sono state realizzate 4 sezioni che correlano i diversi piezometri con andamento approssimativo monte valle (sezioni A, B, C, D presentate in allegato);

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

nei grafici la superficie del terreno è identificata da un tratto continuo, mentre in corrispondenza di ogni piezometro viene evidenziata la quota assoluta del livello idrico rilevato nelle differenti levate. Si osserva in generale un livello immergente in direzione valle, concordemente alla superficie topografica. Le sezioni B e D mettono in luce un probabile spartiacque idrogeologico che culmina in corrispondenza del piezometro S5, mentre sottolineano un approfondimento del livello in corrispondenza dei piezometri A ed S4.

L'esame della rappresentatività e della variazione temporale delle serie, raggruppate tenendo conto dei piezometri che formano le diverse sezioni monte valle, presentate nei grafici allegati, suggerisce alcune perplessità sulla opportunità di correlare queste ultime serie piezometriche (A ed S4) con le altre facenti parte delle rispettive sezioni. Queste infatti risultano pesantemente affette dalla mancanza di un livello misurabile per buona parte dell'anno, all'interno per periodo rilevato.

Da queste considerazioni emerge che solo alcuni gruppi piezometrici danno sufficienti garanzie di rappresentatività per essere considerati punti di misura significativi del comportamento idrico dei sistemi acquiferi.

Si considerano in particolare significativi i gruppi:

- NP3, NP4, NP5
- F; entrato in funzione nell'estate
- NPA1, NPA2, entrati in funzione nell'autunno 2009
- S5, S6,S7;

Per quest'ultimo gruppo, localizzato in corrispondenza di un importante lineamento strutturale, è stata calcolata la matrice di correlazione che evidenzia un parametro, compreso tra 0 e 1, che quantifica il grado di relazione tra le serie (1= perfettamente correlato – 0 = perfettamente anticorrelato). I medesimi sono perciò da considerare efficace misura di uno specifico corpo idrico sotterraneo.

Il confronto tra le serie freatimetriche e l'andamento pluviometrico, anch'esso documentato dai grafici in allegato, si basa sulle precipitazioni misurate alla centrale dell'Impianto negli anni 2008-2010, mentre per le misure di livello iniziano a partire dal mese di settembre 2008. I grafi riportano in ordinata sinistra le precipitazioni mentre a destra si legge il livello piezometrico normalizzato al valor medio di ogni singola serie freatimetrica.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

Il gruppo di piezometri S1 – S4 presenta una netta dipendenza stagionale rispondendo con un innalzamento del livello piezometrico all'aumento delle precipitazioni e perdendo il contatto con la piezometrica di riferimento nei periodi secchi, confermando da un altro punto di vista quanto appena esposto; fa eccezione il foro S4 che tuttavia presenta letture piezometriche prossime al fondo foro di scarsa affidabilità. Per quanto attiene invece il citato gruppo S5, S6,S7 si registra un invernale all'inizio 2009 e un aumento estivo che si ripete per l'anno 2010 l'efficacia di risposta dei piezometri, rispetto in particolare ad S5 ed S7, suggerisce alcune valutazioni. L'innalzamento relativamente rapido del livello, relativo all'estate al 2009 pare in relazione con le significative piogge della primavera 2009; Analoga combinazione non si rileva per l'anno 2010 che reagisce in modo più blando alle minori piogge della primavera. In definitiva però non è possibile stabilire in modo univoco un tipologia di circolazione che i piezometri intercettano:
una circolazione idrica profonda con un ritardo nella risposta di alcuni mesi rispetto alle piogge autunnali, ovvero un rifornimento a breve circuito registrato con breve ritardo rispetto all'incremento della piovosità primaverile. Pare tuttavia nuovamente evidente che la risposta di S5 e S7 è maggiormente correlabile rispetto a quella relativa a S6.
Il grafico relativo al gruppo A-F risulta poco significativo fatto salvo il comportamento di F, che risulta analogo a quello del precedente gruppo.
Rispetto al gruppo NP3-NP5 si evidenzia un comportamento decisamente refrattario alle oscillazioni pluviometriche per i fori NP3 e NP4 che sono peraltro relativamente distanti e localizzati a differenti altitudini. NP5 assume invece un comportamento similare ai citati F ed S6.
Si propone in definitiva un confronto tra le pluviometrie disponibili e le freatimetrie dei fori S5, S6, S7, NP5 ed F dal quale si evince la correlazione tra S5 ed S7 e tra S6, NP5 ed F. I processi che sono alla base della correlazione non sono facilmente individuabili; possono essere legati ai differenti circuiti di alimentazione descritti ovvero ad un contributo differenziale legato ad acque sottosuperficiali la cui attivazione è strettamente connessa agli eventi meteorici.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

7. SINTESI E SCHEMATIZZAZIONE DEL MODELLO IDROGEOLOGICO QUALITATIVO

Dalle risultanze degli studi condotti è possibile delineare i tratti essenziali, seppur qualitativi, che descrivono del modello idrogeologico di riferimento.

La filtrazione sotterranea è governata fondamentalmente dal tipo litologico e pertanto possono essere individuati a grandi linee due distinti sistemi acquiferi sottesi all'impianto in esame ed all'area di potenziale ampliamento.

Il comparto Nord è interessato da un sistema acquifero sviluppato in rocce metamorfiche (quarziti, meta areniti) caratterizzate da densità di fratturazione variabili.

In questo comparto le acque sotterranee vengono drenate prevalentemente da falde libere superficiali non confinate, con carattere temporaneo associate alla copertura detritica di versante. Queste hanno direzione di drenaggio verso NE, condizionata dalla morfologia della valle del Rio Mulini; il loro livello piezometrico è parzialmente associabile al deflusso del medesimo, avente regime torrentizio. I piezometri NP3, NP4 e NP5 sono adeguati a monitorare tale drenaggio. Sono possibili circolazioni idriche nelle fasce fratturate della roccia che si possono sviluppare in profondità. Tali fenomeni tuttavia, la cui presenza non è stata accertata, non possono essere raggiunti da acque provenienti dalla falda superficiale stante la ridotta permeabilità tipica di queste rocce.

Il comparto Sud è interessato da un sistema acquifero sviluppato in rocce carbonatiche. Le differenti indagini e i rilievi condotti pongono in evidenza i principali caratteri di drenaggio che condizionano il sistema acquifero.

La direzione primaria di drenaggio avviene secondo la verticale attraverso percorsi complessi che raggiungono il livello di base localizzato ad una altitudine variabile compresa fra 0 m s.l.m. e 30 m s.l.m. circa secondo una superficie di raccordo idraulico con il mare. Tale reticolo di percorsi comprende le vie di drenaggio associate ai massimi di resistività, interpretati come manifestazioni carsiche, individuati dalla linea 1 ed intercettate dal piezometro NPA1 come pure dal piezometro F. Direzioni secondarie sono orientate verso SW e SE.

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

La prima di queste (verso SW) è suggerita da evidenze di natura geologico strutturale e geoelettrico tomografica, con particolare riferimento all'anomalia basso resistiva della linea 3, ed è stata confermata dal piezometro di controllo NPA2. Tale via di drenaggio è verosimilmente condizionata da una particolare struttura stratigrafica propria del corpo carbonatico, caratterizzata da livelli di dolomie ricchi di componente argillosa a fissilità sviluppata (cfr rilevamento geologico esteso e stratigrafie). Il contatto tra il corpo calcareo dolomitico e le rocce metamorfiche costituisce una soglia di permeabilità, che condiziona lo sviluppo del drenaggio nella direzione analizzata forzando l'approfondimento verso il livello di base.

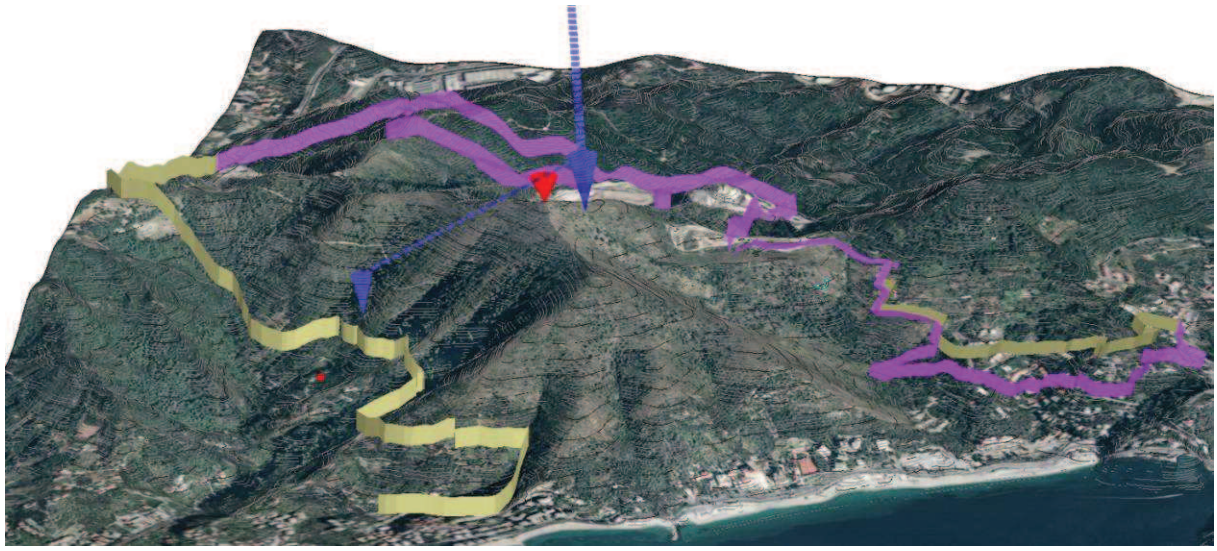


Figura 7.1: Schema assonometrico con indicazioni del drenaggio in direzione zenitale, verso SW e contatti litologici rilevati – è individuata la circolazione periferica verticale generata dalla soglia di permeabilità per contatto tettonico

La seconda direzione (verso SE) è suggerita da osservazioni di natura geologico strutturale, geoelettrico tomografica ed emerge dall'analisi della rappresentatività temporale del dataset di misure piezometriche. L'esame delle medesime infatti pone in evidenza che il gruppo di piezometri S5,S6 ed S7, che sono localizzati in corrispondenza di un importante lineamento geologico strutturale, hanno la maggiore rappresentatività temporale nel periodo rilevato, presentano tra loro coerenza di misura mentre sono scarsamente correlabili con le altre serie misurate. In corrispondenza della medesima struttura è poi presente una sorgente superficiale, localizzata sul versante SE, posta ad altitudine inferiore al livello piezometrico rilevato all'interno dei fori. In ultimo la tomografia elettrica evidenzia un calo di resistività

coincidente con la lineazione e non attribuibile a variazioni litologiche. Il drenaggio in tale direzione appare perciò adeguatamente verificato dal citato gruppo di piezometri (S5, S6 e S7 e sorgente Via Romana).

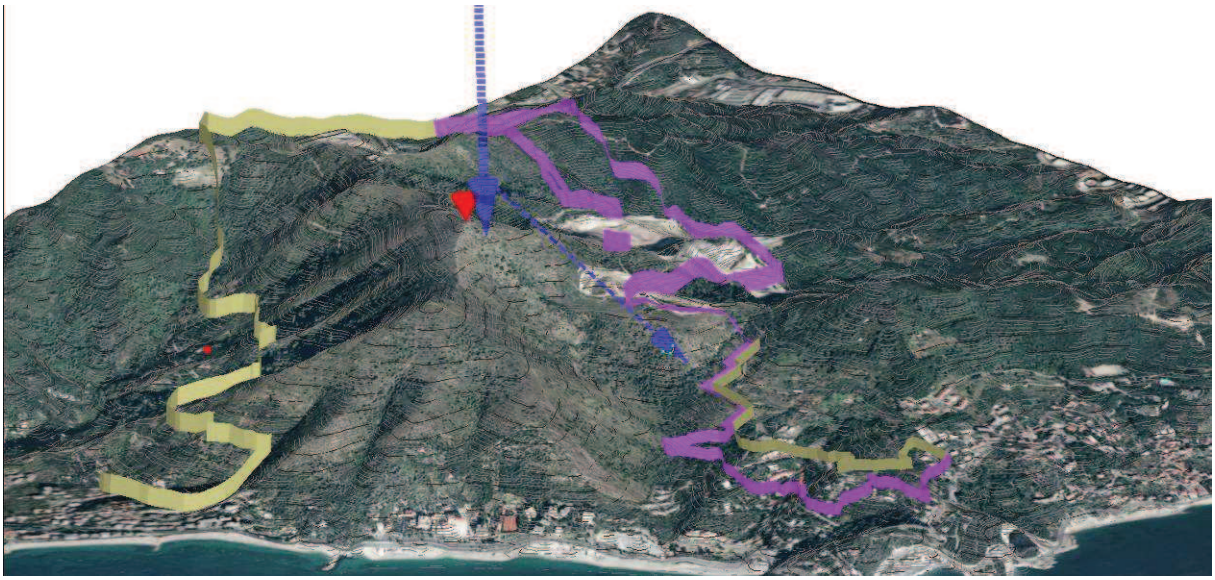


Figura 7.2: Schema assonometrico con indicazioni del drenaggio in direzione zenitale, verso SE e contatti litologici rilevati

è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI