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

PROGETTO:

COMUNE DI VADO LIGURE (SV)

DISCARICA PER RNP IN LOCALITA' BOSCACCIO

AMPLIAMENTO – IPOTESI 2
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	– 057R03bE02		

REV. Rev.	DESCRIZIONE Description	REDAZIONE Edited	VERIFICA Checked	AUTORIZZAZIONE Authorized	DATA Date
02	EMISSIONE	Studio Progea	TER	VEG	23.05.2011
01	EMISSIONE PER COMMENTI	Studio Progea	TER	VEG	31.03.2011

NOME FILE – File name

07663–057R03bE02

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

I N D I C E

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:

07663-057D25E02	Carta geologica di comparto esteso
07663-057D26aE02	Indagine geologica geofisica – Localizzazione profili elettrici
07663-057D26bE02	Indagine geologica geofisica – Sezione elettrica 1
07663-057D26cE02	Indagine geologica geofisica – Sezione elettrica 2
07663-057D26dE02	Indagine geologica geofisica – Sezione elettrica 3
07663-057D26eE02	Indagine geologica geofisica – Sezioni elettriche 4 e 5
07663-057D26fE02	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.

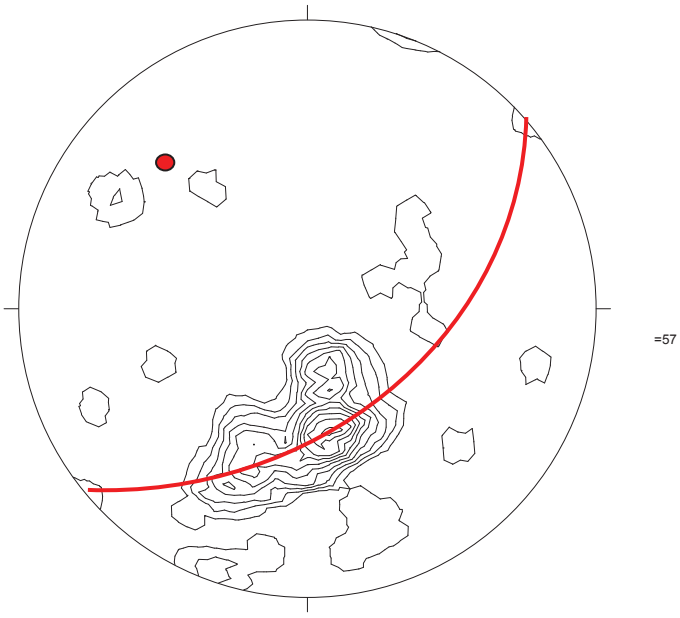




Figura 4.1: Una delle beta intersezioni possibili nella popolazione di S0 e caratteristiche di terreno che suggeriscono la natura stratigrafica del giunto (brecce sin sedimentarie a sx e alternanze con argilloscisti a dx)

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

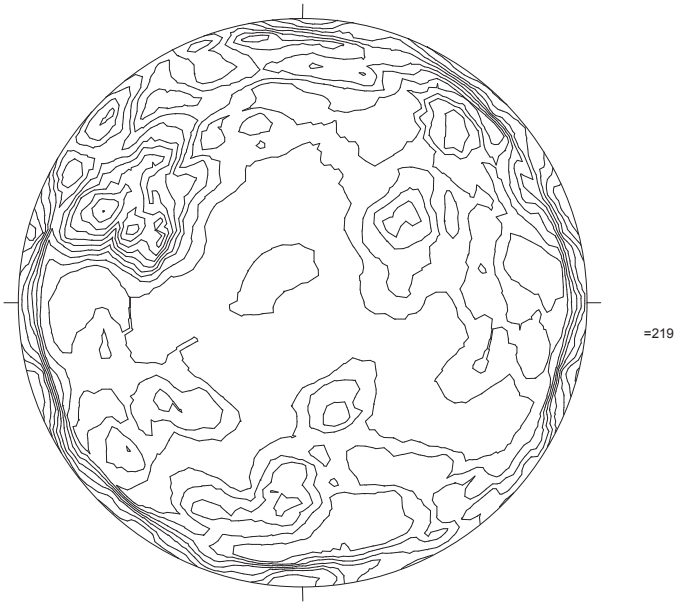


Figura 4.2: Distribuzione dei poli delle superficie di giunto rilevate

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.

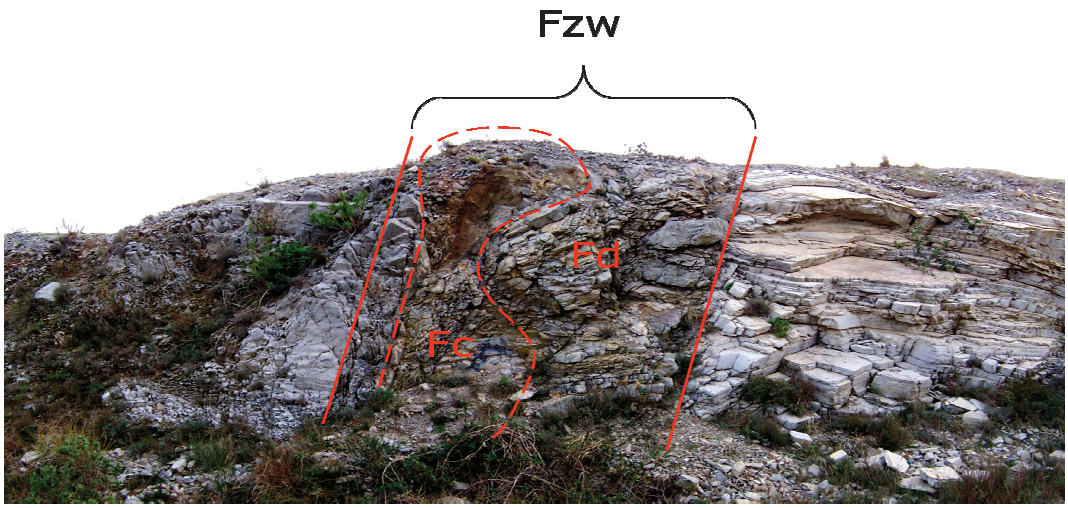


Figura 4.3: Lineamento tettonico nella cava dismessa S. Elena nel Comune di Bergeggi

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

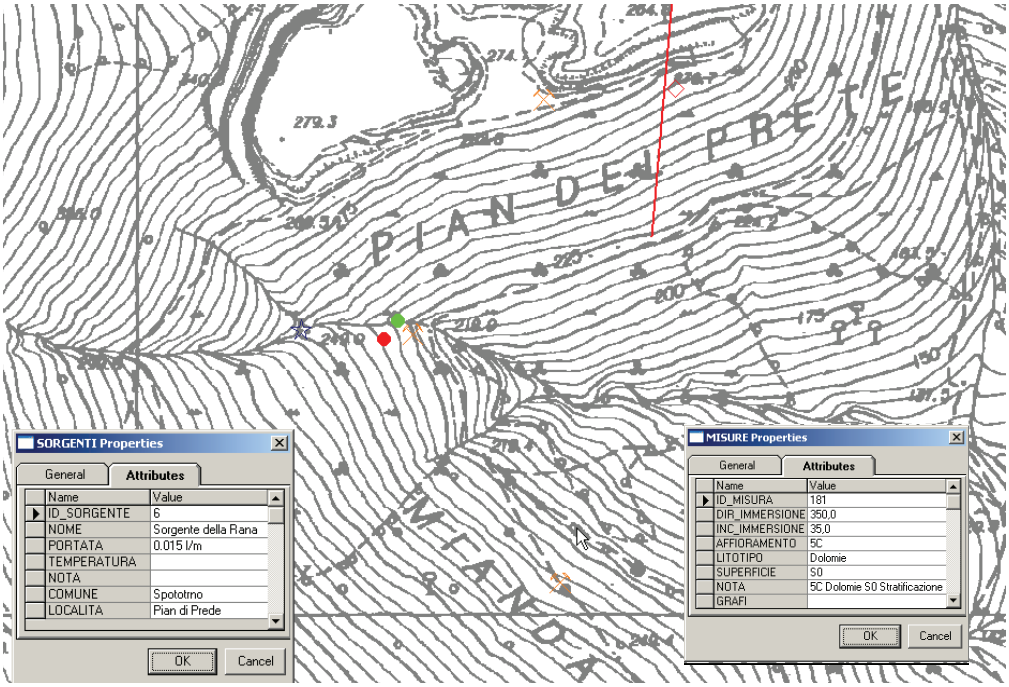


Figura 4.4: Sistema informativo territoriale basato su piattaforma Intergraf Geomedia

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

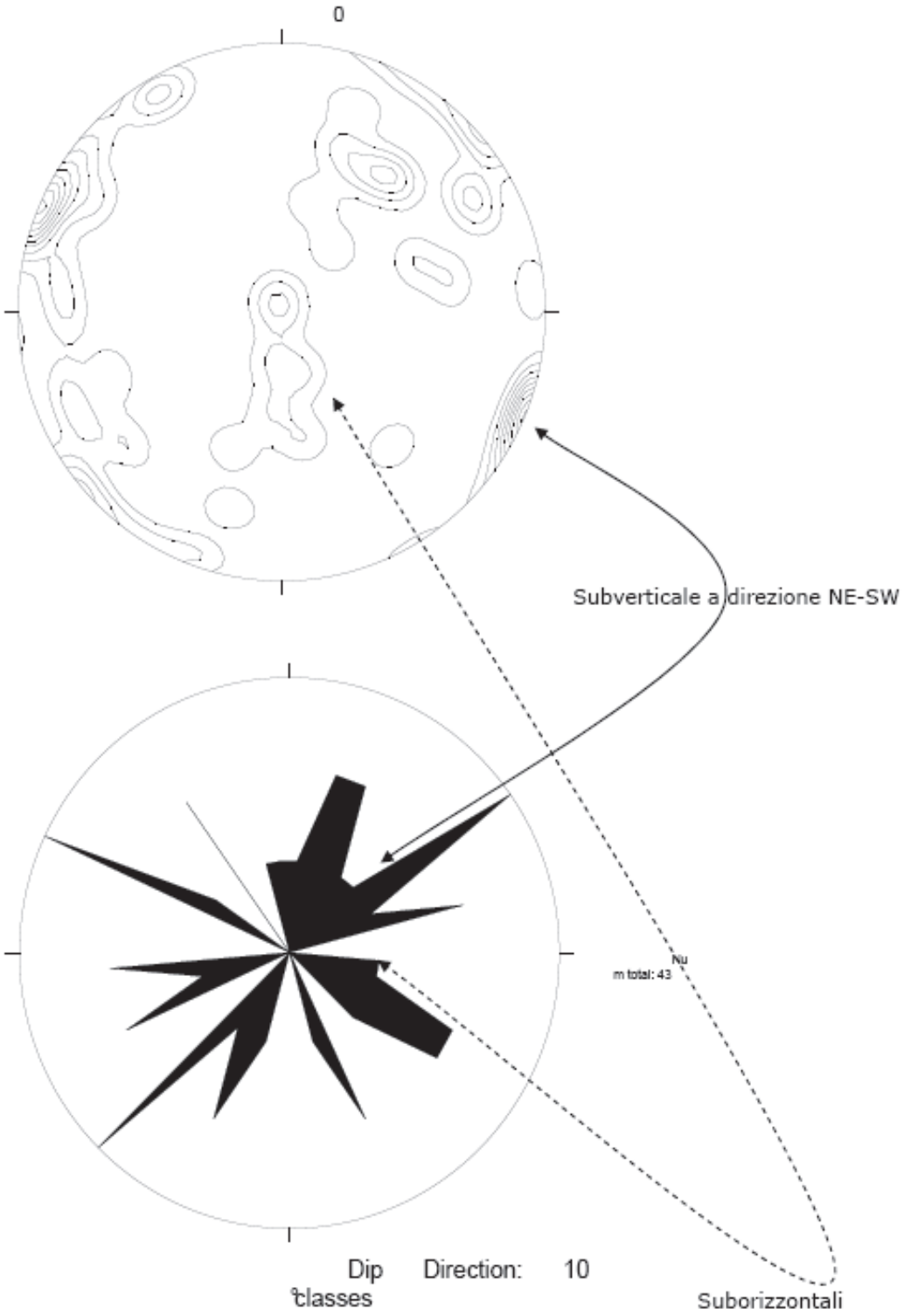


Figura 4.6: Distribuzione dei poli delle superficie di faglia rilevate, in alto e diagramma a rosa della frequenza delle direzioni dell'immersione secondo classi di ampiezza 10°

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

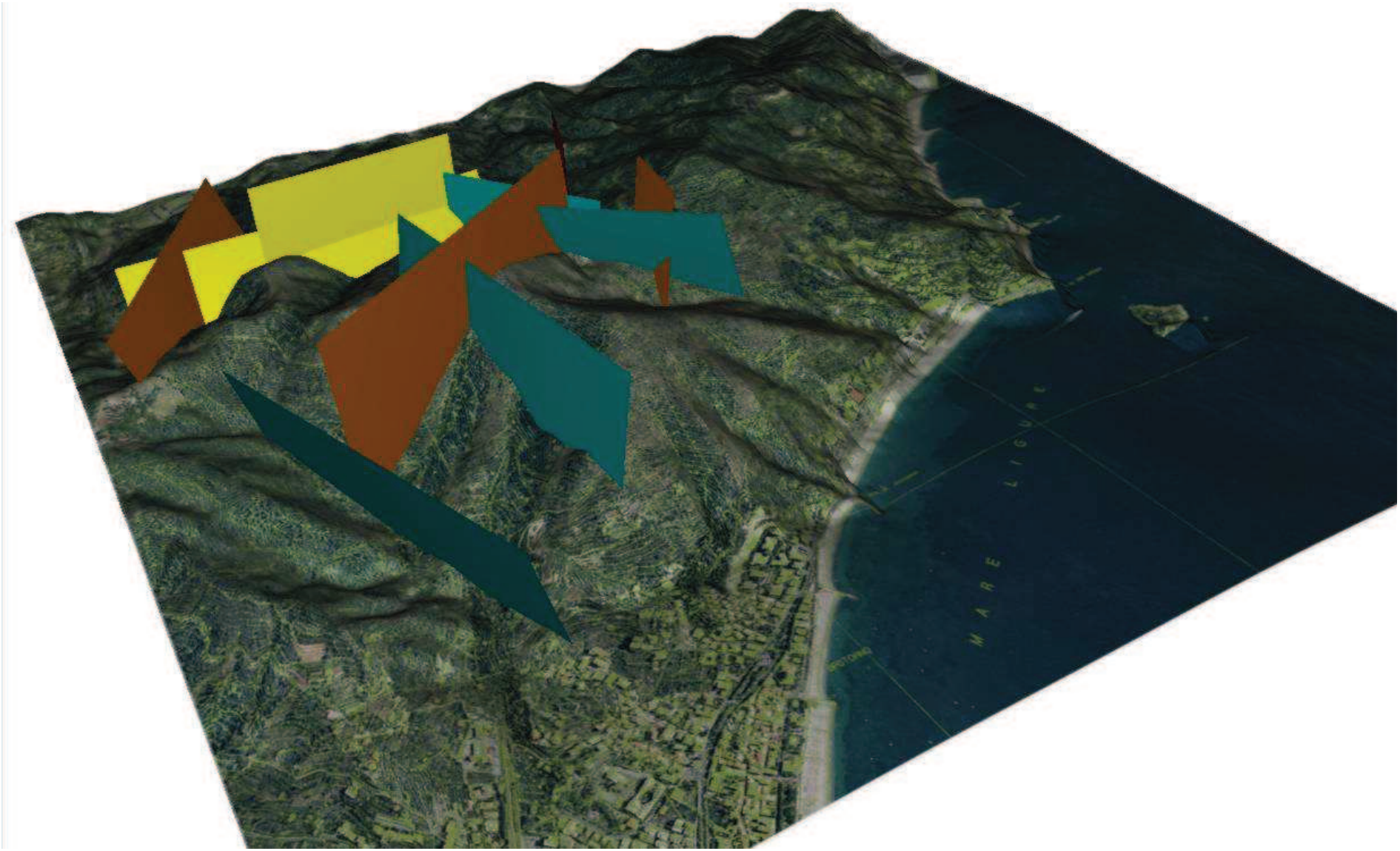


Figura 4.7: Schema assonometrico dei lineamenti tettonici identificati da rilevamento di superficie

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

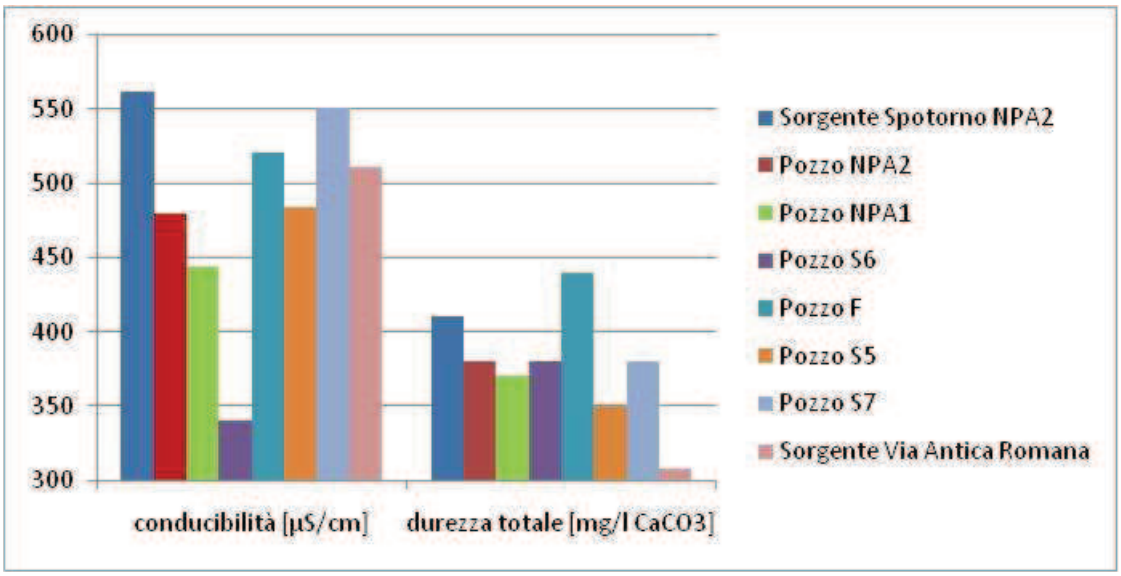


Figura 5.1: Conducibilità e durezza totale

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

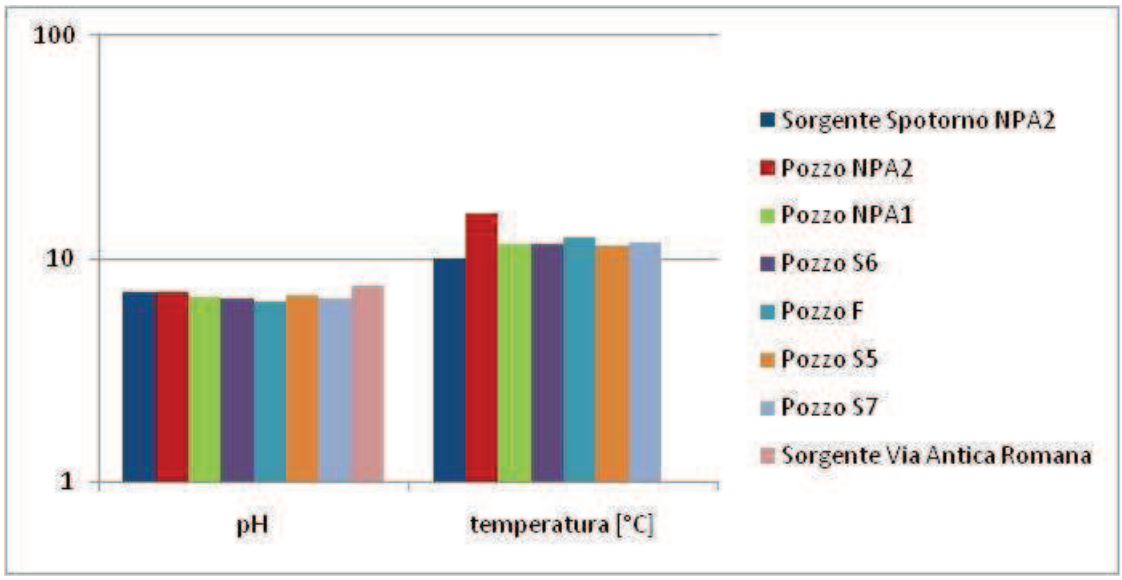


Figura 5.2: pH e temperatura

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

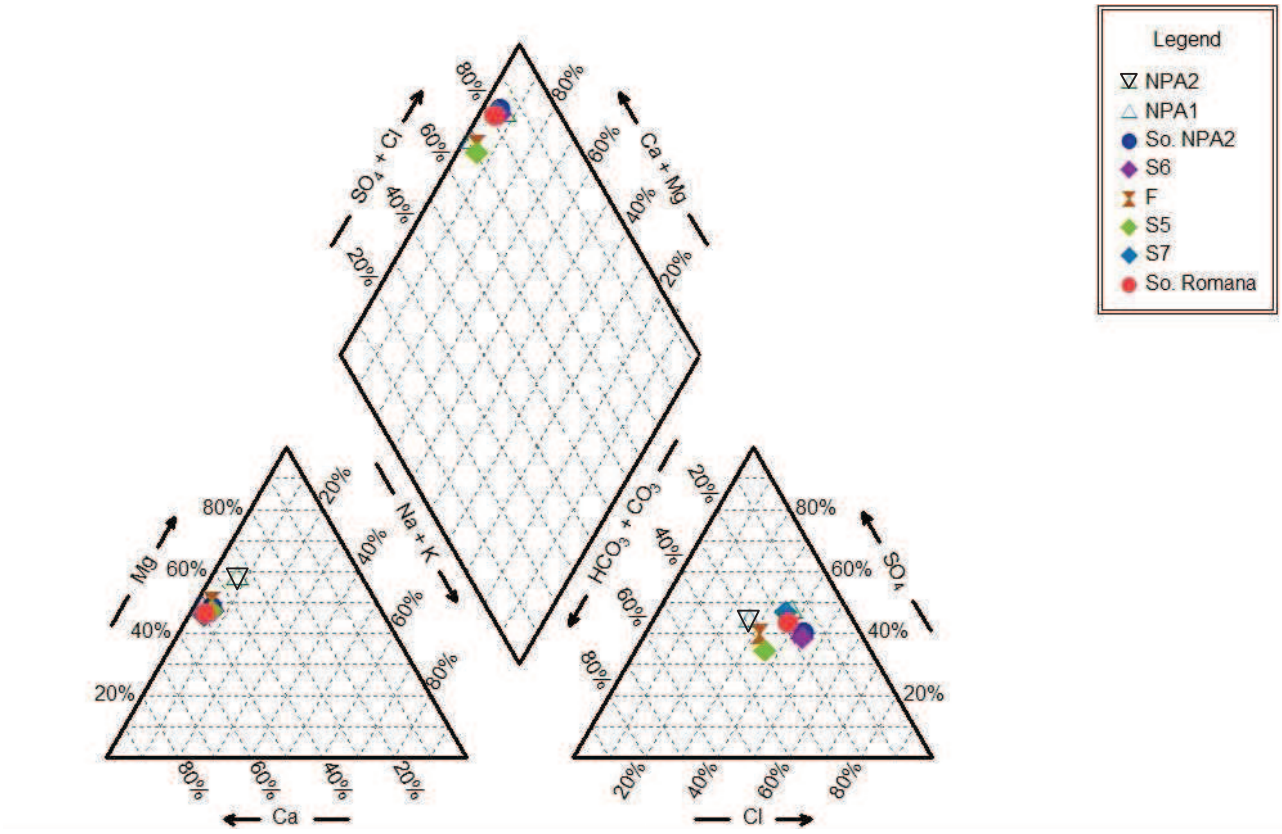


Figura 5.3: Diagramma di Piper per la classificazione delle acque

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

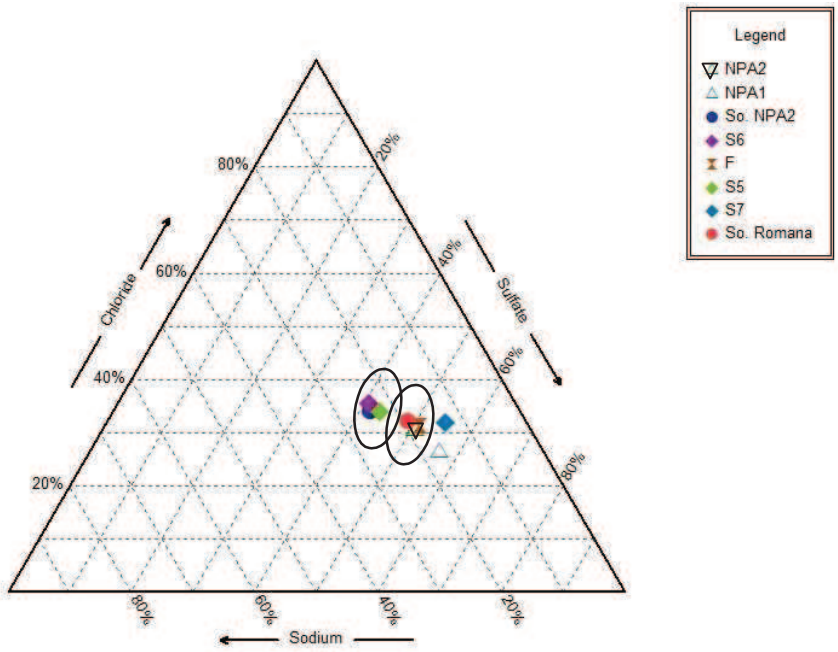


Figura 5.4: Diagramma ternario per la classificazione delle acque

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

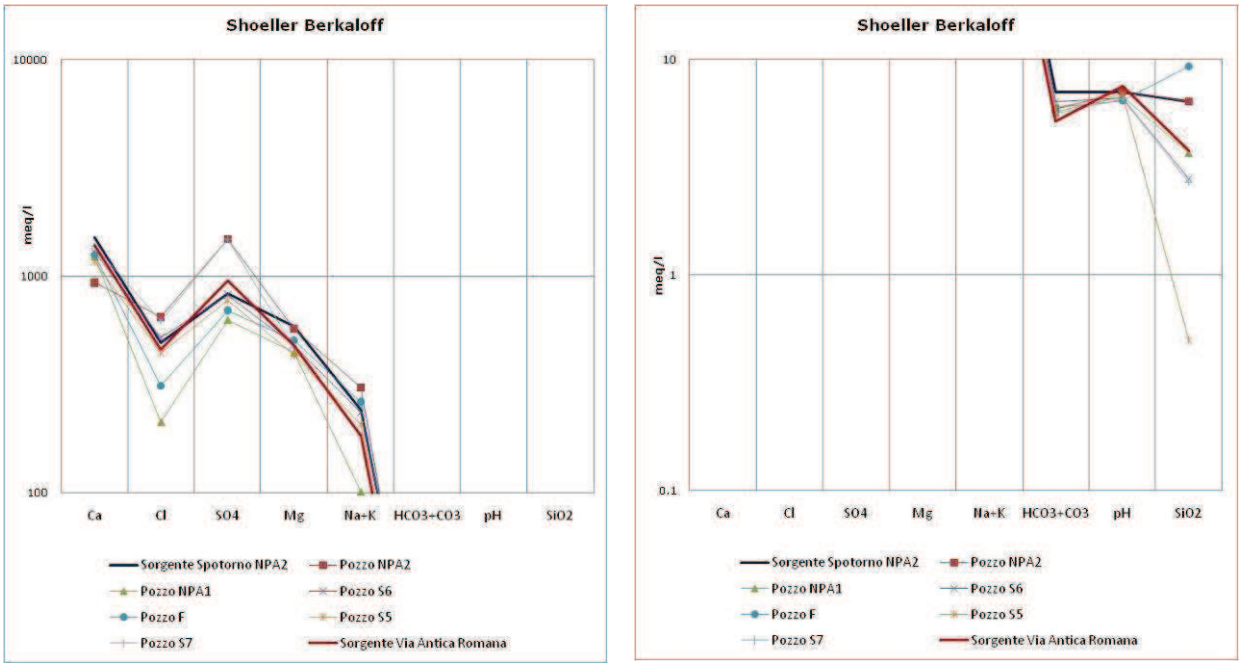


Figura 5.5: Dettagli del grafico di Schoeller Berkaloff

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

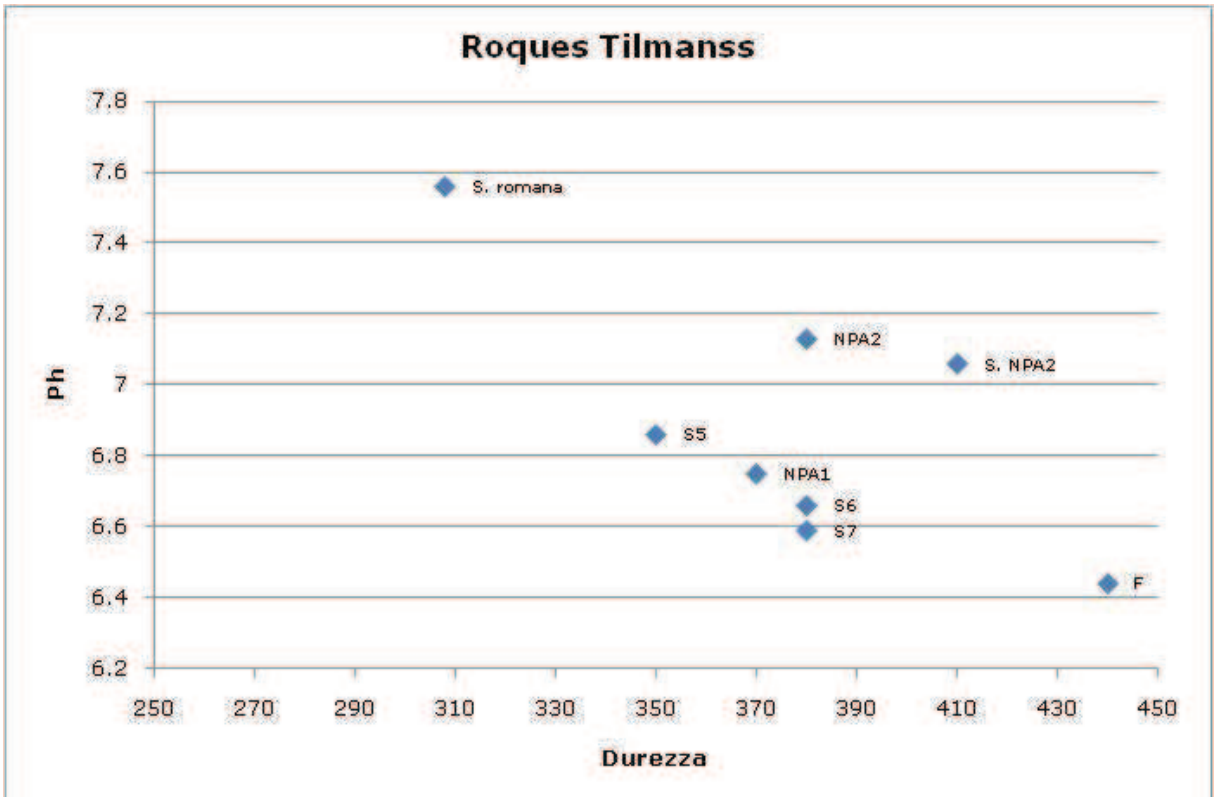


Figura 5.6: Grafico di Roques Tillmanss

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*).

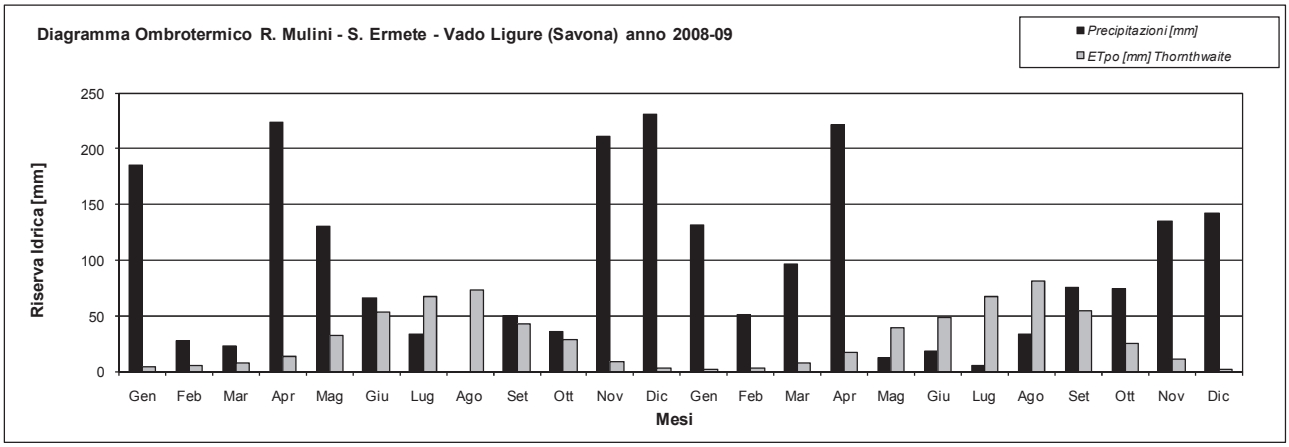


Figura 6.1: Diagramma ombrotermico R. Mulini – S. Ermete - Vado ligure (Savona) – anno 2008 – 2009

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

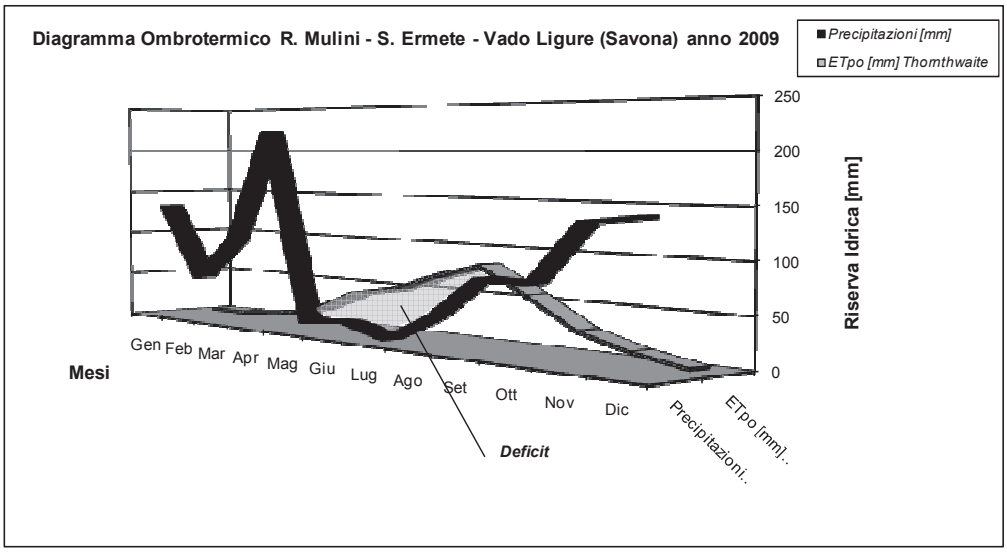


Figura 6.2: Diagramma ombrotermico R. Mulini – S. Ermete - Vado ligure (Savona) – anno 2009

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.

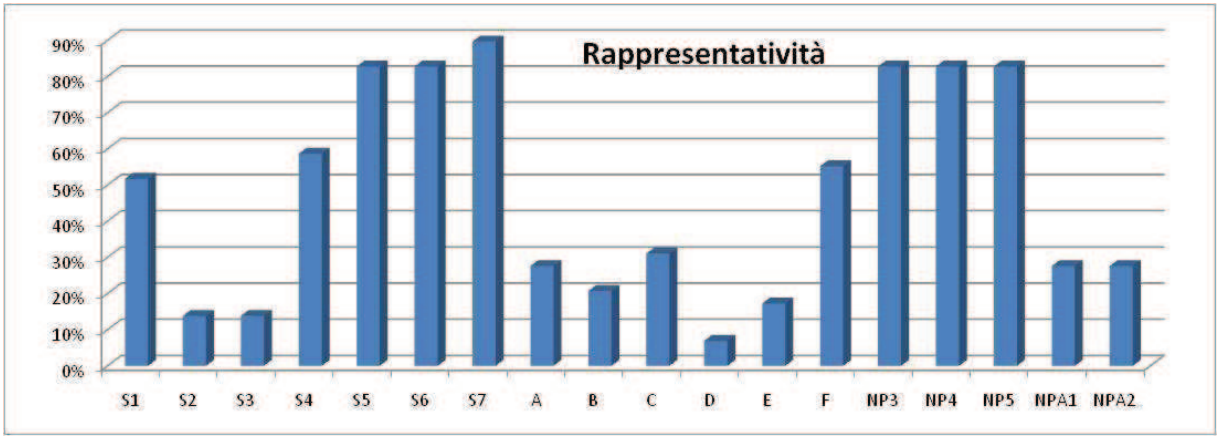


Figura 6.3: Rappresentatività temporale delle misure piezometriche

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.

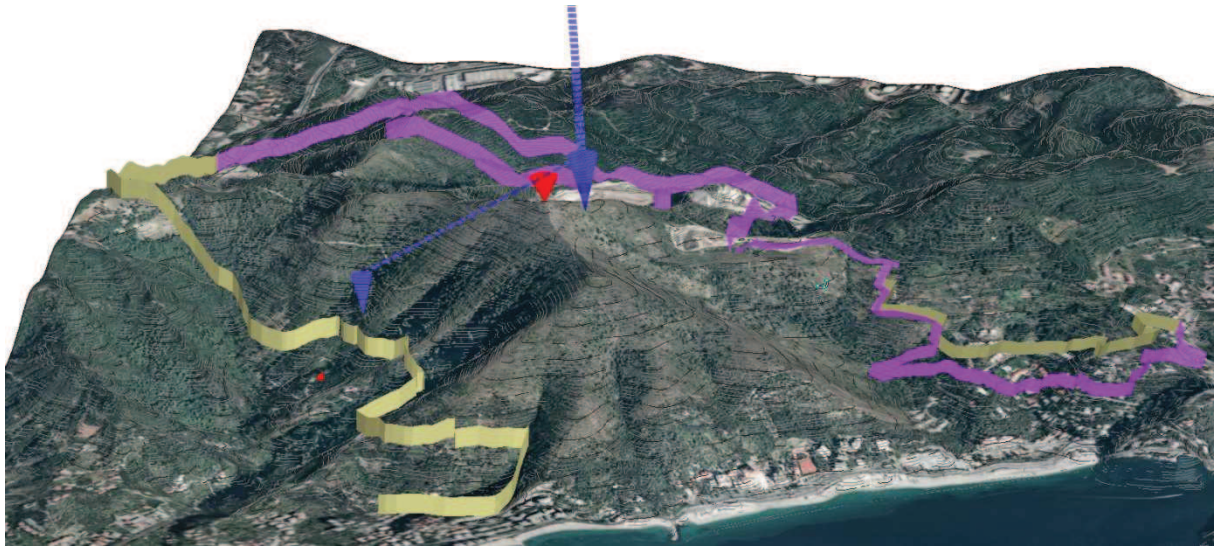


Figura 7.1: Schema assonometrico con indicazioni del drenaggio in direzione zenitale, verso SW e contatti litologici rilevati – è individuata la circolazione periferica verticale generata dalla soglia di permeabilità per contatto tettonico

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).

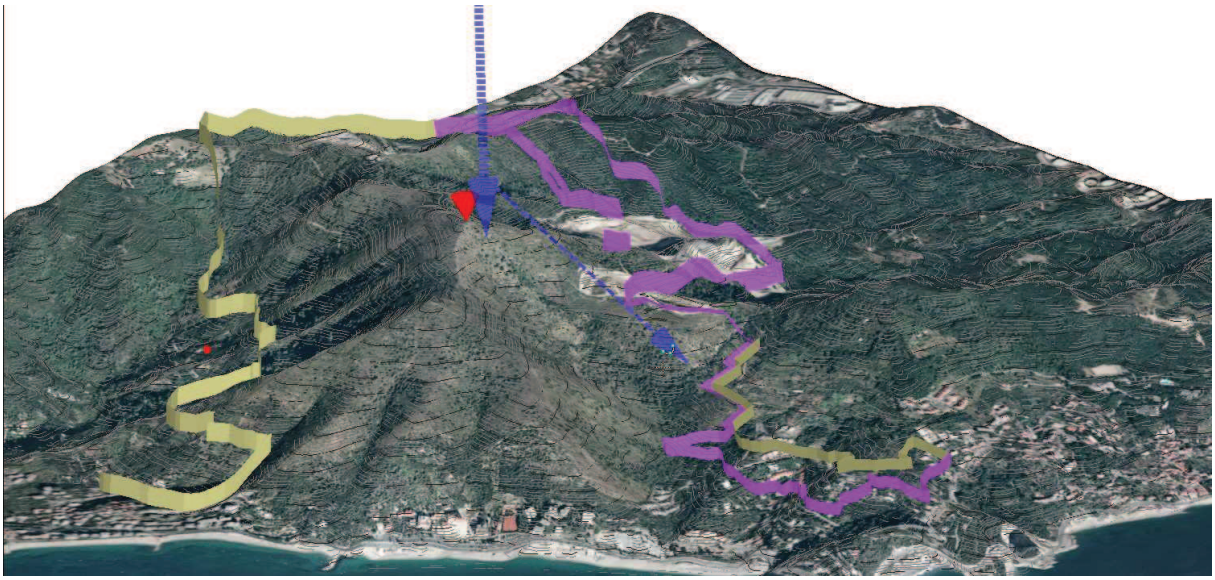


Figura 7.2: Schema assonometrico con indicazioni del drenaggio in direzione zenitale, verso SE e contatti litologici rilevati

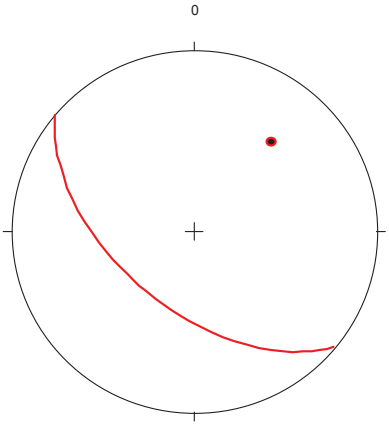
è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

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

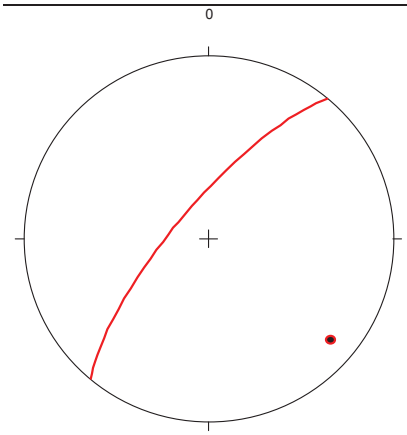
Allegato A:

Principali lineamenti tettonici individuati dal rilevamento

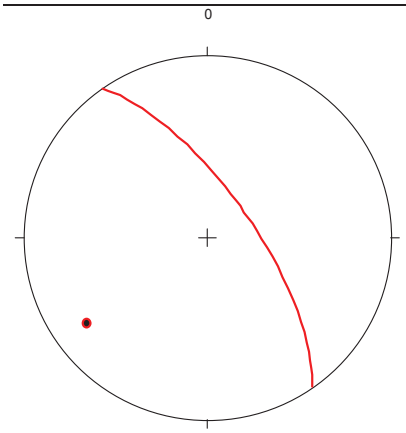
PRINCIPALI LINEAMENTI TETTONICI INDIVIDUATI DAL RILEVAMENTO



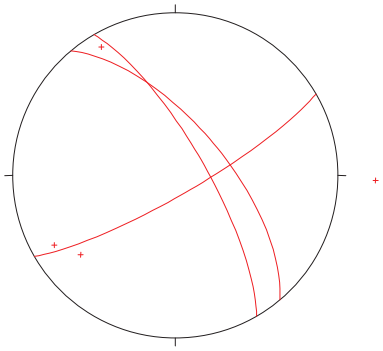






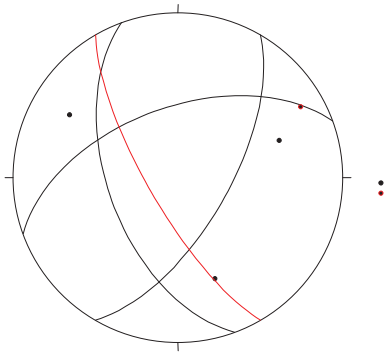




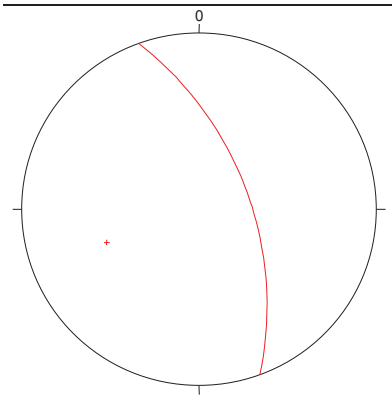








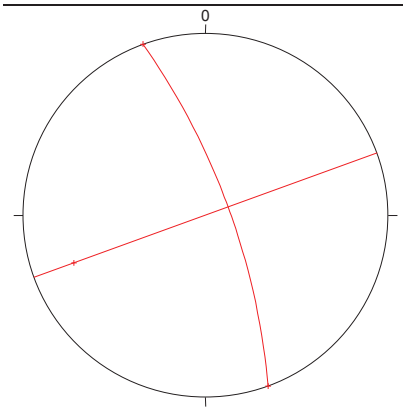



0








0

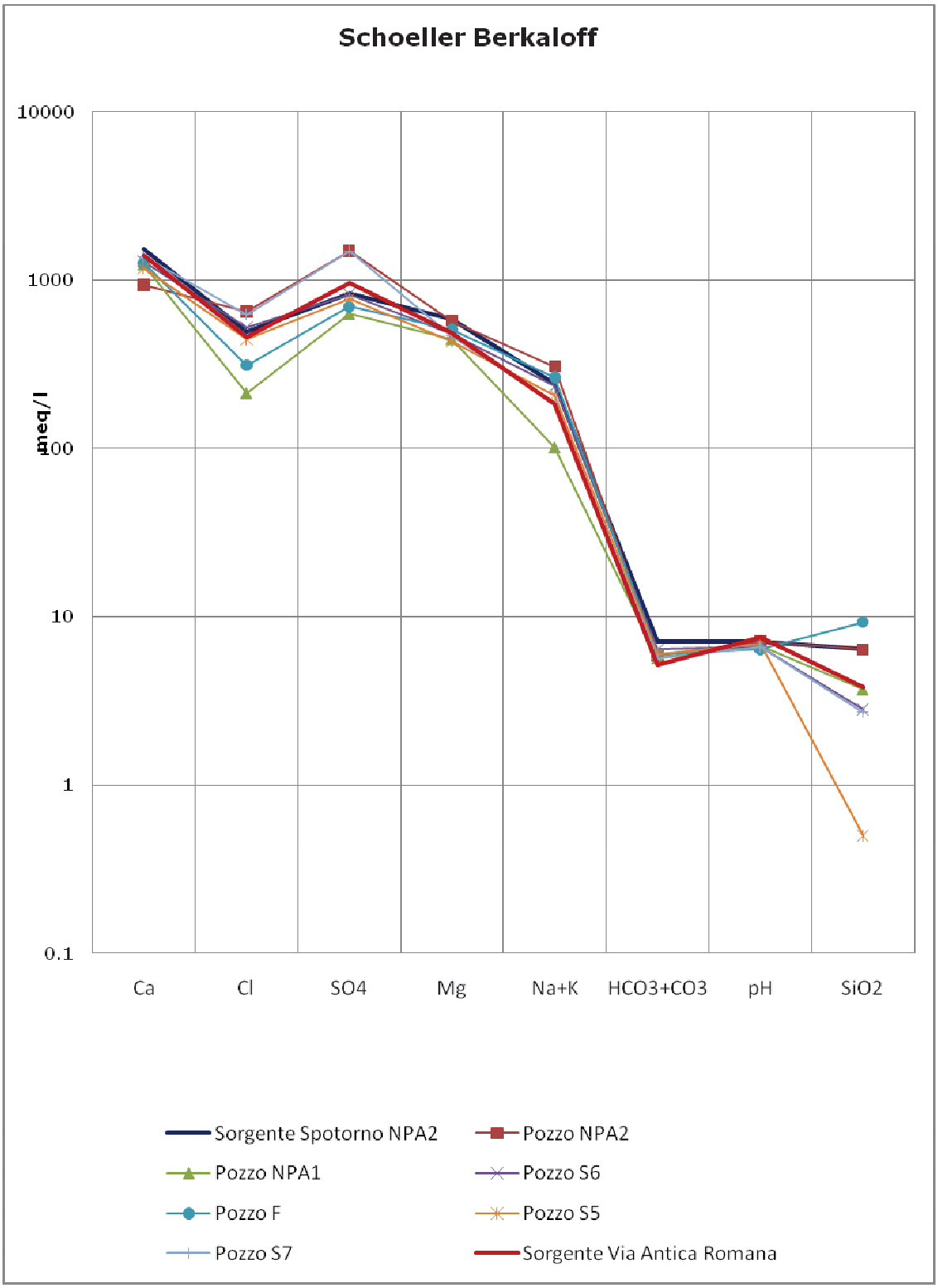


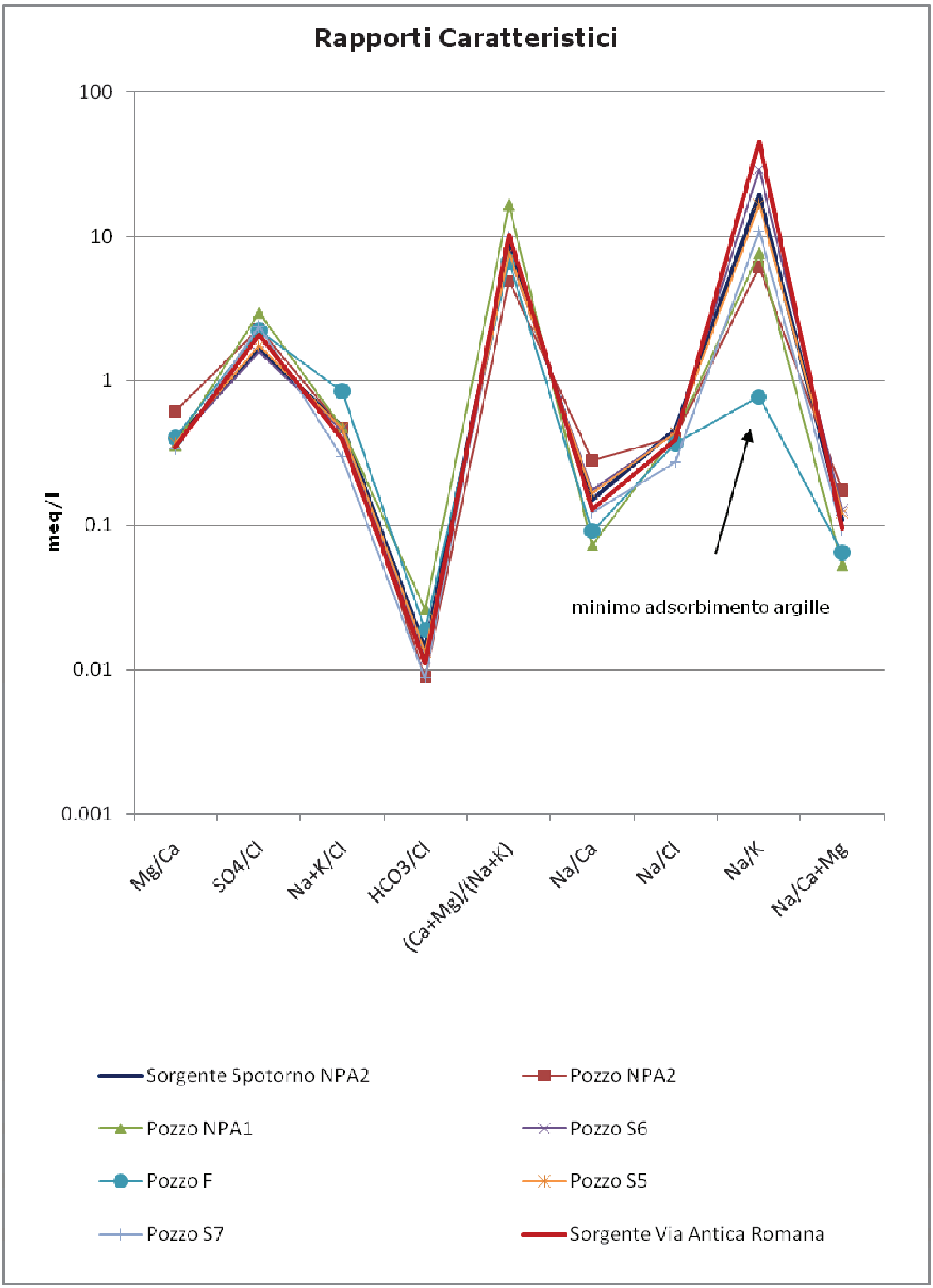
è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

Allegato B:

Caratterizzazione idrochimica degli elementi maggiori

CARATTERIZZAZIONE IDROCHIMICA ELEMENTI MAGGIORI




Rapporti Caratteristici
100
10
1
0.1
0.01
0.001
meq/l
minimo adsorbimento argille
Mg/Ca
SO4/Cl
Na+K/Cl
HCO3/Cl
(Ca+Mg)/(Na+K)
Na/Ca
Na/Cl
Na/K
Na/Ca+Mg
Sorgente Spotorno NPA2
Pozzo NPA2
Pozzo NPA1
Pozzo S6
Pozzo F
Pozzo S5
Pozzo S7
Sorgente Via Antica Romana

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

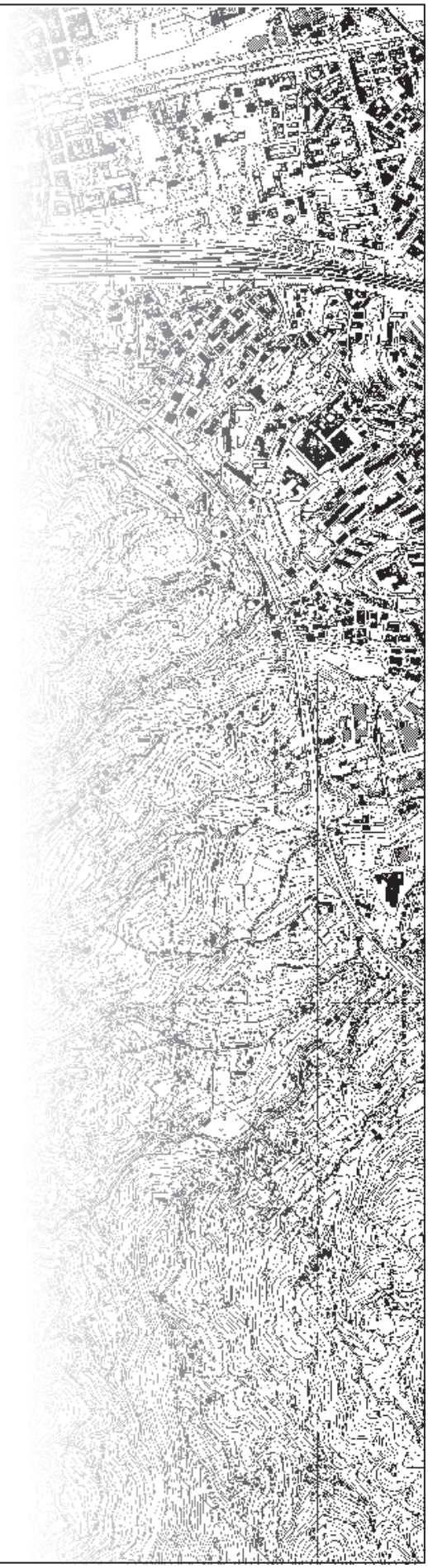
Allegato C:

Relazione indagine geologico geofisica

(Earth Resistivity Tomography)

STUDIO PROGEA
Dott. S. AICARDI
~ Geologo ~

via G. Leopardi 35 r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956Q Studio.Progea@gmail.com



RELAZIONE TECNICA DI SINTESI

OGGETTO DELL'INTERVENTO
Indagine geologico geofisica (Earth Resistivity Tomography) per la definizione di un modello idrogeologico qualitativo.

COMMITTENTE : ECOSAVONA S.r.l.

LOCALITA' : Boscaccio – Vado Ligure
Savona

Redazione a cura di

Dott. Sergio AICARDI (A.P. n°304)

10 gennaio 2010

SOMMARIO DELLA RELAZIONE

1 Premessa 3

2 Geologia del comparto 3

2 Tomografia Elettrica (E.R.T.) 4

2.1 Strumentazione e mezzi 4
2.2 Dettagli del rilievo 5
2.2.1 Modellistica delle caratteristiche elettriche *5*
2.3 Approccio interpretativo e sintesi dei risultati 6

4 Evidenze idriche di terreno 8

5 Conclusioni 8

Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*

1 Premessa

Nella presente relazione vengono presentate le risultanze, in sintesi, delle indagini indirette eseguite sul 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.

Nell'area è in corso di valutazione un progetto di ampliamento dell'impianto. Al fine di ottenere informazioni utili alla definizione di un modello idrogeologico qualitativo è stata condolga la presente indagine geofisica ad elevata profondità, preliminarmente alla progettazione di perforazioni dirette finalizzate al monitoraggio piezometrico.

2 Geologia del comparto

L'area in studio è caratterizzata dall' affioramento di litotipi carbonatici e quarzitici di pertinenza della Formazione delle *Dolomie di S. Pietro dei Monti* (Triassico medio) e delle *Quarziti di Ponte di Nava* (Triassico Inferiore). Sotto il profilo litologico il complesso carbonatico è rappresentato da depositi sedimentari tipici di piattaforma continentale interna od esterna nelle quali è prevalente il contributo dato dai microfossili. Sono presenti i segni di un contributo terrigeno, dovuto cioè all'apporto costiero, con evidenti fenomeni di mobilizzazione gravitativa subacquea (*slumpings*), che costituiscono livelli nei quali risulta abbondante una frazione arenacea o nei quali si è sviluppata una spiccata fissilità, dovuta alla presenza di argille scure. (*Lualdi 1988*). Il tipo litologico quarzitico è costituito da una roccia silicea poco permeabile originatasi a partire da depositi costieri di spiaggia o costieri.

La successione stratigrafica normale, che vede le Dolomie sovrapposte alle Quarziti, in questo caso risulta invertita.

Il complesso di questi terreni costituisce l'unità tettonica di *M.te Carmo* di pertinenza paleogeografica Brianzonese. Il dominio paleogeografico *Brianzonese* raggruppa, sotto il profilo geologico, una vasta serie di rocce appartenenti a numerose formazioni differenti, che corrispondono ad altrettanti ambienti di formazione.

L'unità di M.te Carmo rappresenta uno di questi elementi ed affiora, nell'area di M.te Mao e Torre del Mare, in semifinestra tettonica (*Menardi Noguera 1981*), là dove l'erosione superficiale ha parzialmente cancellato i terreni ad essa sovrascorsi, rinvenibili in affioramento a cornice del complesso, che localmente consistono di metasedimenti afferenti alla Formazione degli Scisti di Gorra.

I processi di messa in posto hanno avuto, nel tempo, differenti fasi di sviluppo caratterizzate da diverse orientazioni delle spinte. Le superficie attraverso le quali si sono sviluppati i sovrascorrimenti cui si è fatto cenno, le fratture connesse agli eventi plicativi e le faglie rappresentano le conseguenze dell'orogenesi alpina, ed hanno prodotto, nel corpo roccioso, una rete di discontinuità che costituisce la via preferenziale per l'infiltrazione idrica.

Tale processo comporta lo sviluppo, nelle masse carbonatiche, di fenomeni carsici a differente scala e, di minima, causa l'accumulo con criterio residuale di argille che rappresentano il risultato della dissoluzione chimica del litotipo calcareo.

Le risultanze del rilevamento geologico strutturale effettuato in superficie, (cfr. Tav. 1) evidenzia la presenza dei caratteri sopra evidenziati.

Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*

2 Tomografia Elettrica (E.R.T.)

2.1 Strumentazione e mezzi

La prospezione elettrica è stata eseguita con il resistivimetro Syscal PRO (in figura a lato) in grado di gestire una tensione massima pari a 800 V ed una corrente di 2500 mA con risoluzione pari a 10 µA e durata d'impulso selezionabile compresa tra 0.25 e 2 s. Nel caso è stata utilizzata la massima tensione possibile con un frequenza d'impulso pari a 2 Hz. L'impianto di ricezione ha una impedenza di 10 MΩ ed è in grado di rilevare tensioni nel range ± 10 V con una risoluzione pai a 1 µV (precisione 0.3%) per mezzo di 10 canali contemporanei di acquisizione.

Sono stati impiegati n° 2 mezzi fuoristrada e 4 operatori coordinati direttamente dallo scrivente.







Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*

2.2 Dettagli del rilievo

L'indagine è stata eseguita su diverse piste e sentieri esistenti, lungo i quali è stata preventivamente rimossa la vegetazione come risulta dalla planimetria di Tav. 1.

Il posizionamento dell'indagine sul rilievo topografico opportunamente corredato dalla Carta Tecnica Regionale, fornito dalla Committente, è stata perfezionata utilizzando la registrazione della posizione assoluta a mezzo GPS degli elettrodi, premettendo georiferire il rilievo topografico ed il profilo geoelettrico.

Sono stati realizzati 6 dispositivi con spaziatura pari a m 10, dei quali 5 dotati di 96 elettrodi mentre 1 da 72. I medesimi sono stati organizzati su 4 linee riportate nella specifica tavola.

Lo schema di acquisizione utilizzato è quello Polo Dipolo con un polo remoto ubicato a circa 1350 dal centro dispositivo. Nel caso della linea 6 sono stati utilizzati due distinti poli remoti ed i dataset acquisiti sono stati integrati. Questa configurazione permette un incremento significativo della massima profondità raggiungibile, rispetto ai tradizionali dispositivi elettronici, fino a ottenere una penetrazione nominale di 200 m da p.c.

I dispositivi sono stati organizzati su 4 linee di cui si da ragione nelle tavole grafiche allegate.



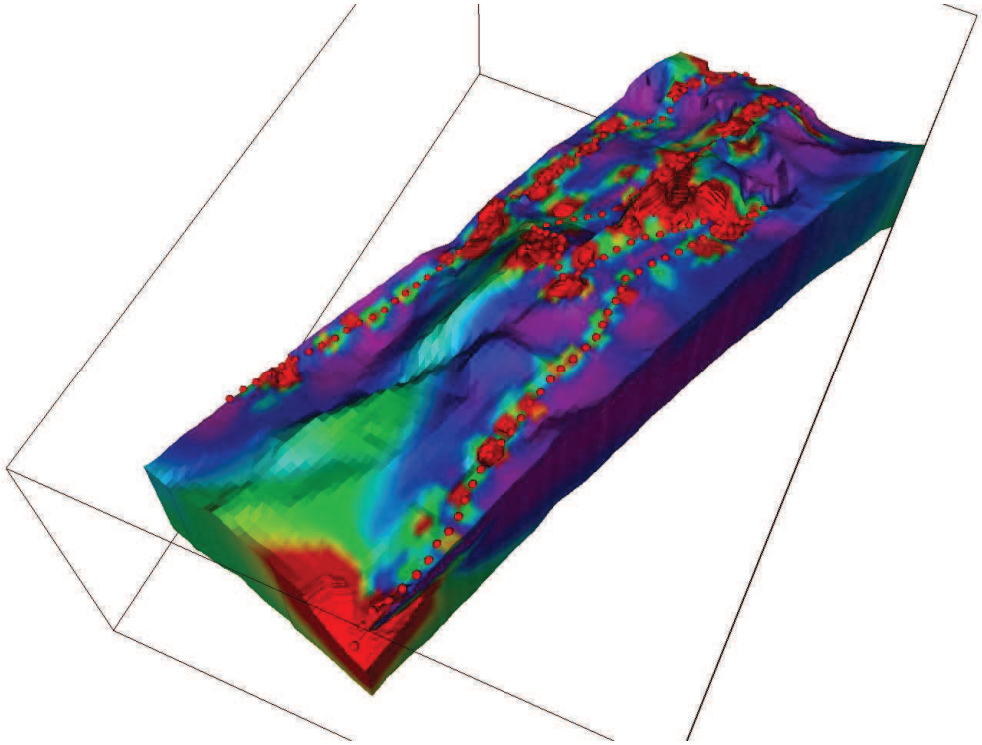


2.2.1 Modellistica delle caratteristiche elettriche

Data la complessità della morfologia di superficie, su versanti a quota ed esposizione differente, che ha interessato la disposizione elettronica, si è provveduto ad elaborare l'intero dataset con un algoritmo di inversione 3D sviluppato dalla società Geostudi Aster S.r.l. di Livorno.

Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*

Per ogni linea è stato quindi prodotto con un processo di inversione, un modello tridimensionale georiferito della variazione delle proprietà elettriche del terreno, entro un prisma teorico che racchiude la linea. Le sezioni presentate nelle tavole sono pertanto sezioni del prisma come risulta indicato negli elaborati grafici.



Prisma di distribuzione della resistività

LA DETERMINAZIONE DELLA POSIZIONE DELLE ANOMALIE, PERTANTO DEVE ESSERE CONDOTTA RICORRENDO AL MODELLO DIGITALE GEORIFERITO E PUO' ESSERE RICAVATA SOLO IN MODO APPROSSIMATO (15%) DALLE TAVOLE GRAFICHE, PARTICOLARMENTE PER QUANTO ATTIENE LE SEZIONI NON ORTOGONALI AI DATI DEL PRISMA LIMITE TEORICO.

E stato possibile organizzare i modelli delle 4 linee a costruirne uno generale parimenti georiferito; il medesimo ammette successive implementazioni con limitazioni di tipo geologico e idrogeologico che in seguito possano diventare disponibili a seguito di ulteriori rilievi ed indagini. La consultabilità del medesimo è possibile con software dedicato presso lo scrivente e consente determinazioni di posizione delle anomalie di interesse, eventualmente nuovamente modellate in considerazione di eventuali ulteriori acquisizioni dati di varia natura, con approssimazioni di 20 m circa.

2.3 Approccio interpretativo e sintesi dei risultati

La resistività dei terreni è funzione sia della natura chimica del terreno stesso, sia della sua porosità, del contenuto in acqua e del contenuto in argilla. La sottostante tabella riporta gli intervalli di variabilità della resistività per i più comuni terreni e rocce. Nel caso in esame il contesto geologico espone un substrato roccioso sostanzialmente subaffiornate di natura carbonatica (cfr. Tav. 1).

L'obbiettivo dell'indagine, all'interno della profondità indagata, è di seguito articolato:

Resistività tipica dei terreni [Ωm][1]	
Calcare	50 ÷ 150
Argilla	1 ÷ 100
Ghiaia	100 ÷ 5000
Calcare	50 ÷ 107
Marna	1 ÷ 100
Quarzite	10 ÷ 108
Argilla	10 ÷ 1000
Sabbia	500 ÷ 5000
Arenaria	1 ÷ 108
Basalto	10 ÷ 107

Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*

- *PRIMARIO identificazione, all'interno del massiccio carbonatico, della parte potenzialmente satura dell'acquifero.*
- *SECONDARIO identificazione delle potenziali vie di circolazione idrica ipogea, di tipo vadoso, che drenano il complesso.*

Nei complessi carbonatici la presenza d'acqua in reticolo di deflusso vadoso o nelle porzioni sature è di frequente associata, come si è detto, alla presenza di depositi di argille residuali derivate dai processi di corrosione naturale. Tali porzioni del complesso, interessate da drenaggio o da condizioni di saturazione idrica, costituiscono il bersaglio dell'indagine.

Il metodo è in effetti sensibile alla caduta di resistività elettrica propria dei materiali saturi o ricchi in frazione argillosa.

Sulla scorta di dati bibliografici e sulla base di esperienze acquisite in precedenza per il substrato atteso è possibile stilare la seguente tabella:

Materiali	Dolomie [Ωm]	Detrito [Ωm]	Argille [Ωm]	Metasedimenti Permiani [Ωm]
C. Sature	50-400	50-150	2-10	130-400
C. Insature	400-8000	3500	5-100	400-3200

Dall'esame della medesima si evince che la discriminazione tra massa carbonatica e reticolo di fatturazione interessato è quindi possibile.

L'eventuale presenza di acqua, anche in modesta quantità interagisce con le componenti argillose realizzando un effetto di ionizzazione superficiale dovuta a cationi e anioni non bilanciati che abbassa drasticamente la resistività elettrica; essa è soprattutto ben evidenziata dalla distribuzione della caricabilità ed in particolare dai flessi della curva di distribuzione della medesima, in corrispondenza di anomalie dipolari (rosso/blu) nelle tavole.

Tale configurazione segna in particolare i salti litologici cui sono associate fasce milonitiche, circolazione idrica e argillificazione.

Le tavole di sintesi riportano la distribuzione di resistività elettrica e caricabilità modellata.

Nella lettura delle medesime si consideri che:

Resistività elettrica superiori a 8000 Ωm sono relative a corpi rocciosi con caratteristiche che eccedono quelle proprie dei calcari e sono relative a manifestazioni carsiche ipogee. In particolare nelle tavole è stato introdotto uno schema assonometrico con la indicazione delle superficie isoresistive, estese all'intero modello e non solo relative alla sezione presentata, con valori propri > 12000 Ωm;

Le medesime, a causa del passo di campionamento utilizzato, non possono essere interpretate come volumi cavi quanto come inviluppo esteso all'intorno di tutte le cavità presenti nel medesimo;

Le zone che mostrano resistività minore <80 Ωm devono essere interpretate come comparti nei quali l'accumulo di argilla sia particolarmente sviluppato e dove sia maggiormente intensa le presenza idrica.

Si consideri che la prospezione elettrica descrive il terreno in funzione della distribuzione della proprietà fisica studiata (resistività-caricabilità) e che i limiti eventualmente individuabili possono non corrispondere a bordi di corpi geometricamente definiti. Ciò è dovuto sia al fatto che la resistività elettrica in un mezzo alterato varia spazialmente con continuità, indipendentemente dalla presenza di discontinuità abrupto, sia al particolare funzionale (smoothness constrain) impiegato nel calcolo della sezione.

Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*

4 Evidenze idriche di terreno

Per la interpretazione idrogeologica degli elaborati, per la stesura del successivo paragrafo conclusivo, sono stati effettuati una serie di sopralluoghi tesi a migliorare la conoscenza geologica di superficie a ad individuare presenza idrica sotto forma di sorgenti regimate o libere, contemporanea all'acquisizione delle misure.

In particolare la presenza idrica è stata censita in Tav. 1; l'altitudine delle emergenze è riportata in tabella:

Emergenza	***Altituidine m s. l. m.***	***Livello idrico m s. l. m.***
Pozzo Cascina Trevo	*~ 330*	*~ 190 notizia verbale*
Ristagno R. Canino	*~ 175*	
Ristagno R. Mulini	*~ 175*	
Sorgente Linea 2 (fontana marsa)	*~ 275*	
Sorgente Sud Est M. Mao	*~ 275*	
Captazioni Galleria Mao	*~ 28*	

L'area è attraversata da una galleria ferroviaria "Mao", presente sulla linea tra le stazioni di Vado Ligure (Km 45 + 881) e Spotorno (Km 49 + 281), lunga 3400 m, che ha registrato, in corso di esecuzione, il verificarsi di importanti venute idriche cui furono associati sfornellamenti (nota verbale RFI).

Nella galleria è presente una conduttura in asse che capta e drena alcune di emergenze idriche. Nella medesima, in corrispondenza dal Km 47 + 100, è stato posto un diaframma impermeabile che separa le acque che defluiscono in direzione Vado Ligure da quelle che sono drenate, invece, verso Spotorno.

Le prese sono indicate nella sezione di Tav. 1, la portata globale è stata occasionalmente stimata nell'ordine di 20 l/s.

Parallelamente alla galleria sono presenti due gallerie, lunghe 40 m circa, prive di rivestimento, che fungono da captazione e permettono di riconoscere la dolomia incassante.

Il rilevamento di superficie ha messo in evidenza la presenza di due cavità ubicate in Tav. 1.

La prima di queste presenta evidenti segni di scavi artificiali, la seconda è interessata da depositi di breccie attuali a cemento calcareo.





5 Conclusioni

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

Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*

Entro la profondità indagata non è presente un livello saturo;

Il medesimo è verosimilmente limitato a quota inferiore rispetto a m 30 s.l.m. circa, secondo una superficie che si raccorda con il mare;

Le emergenze di superficie, censite nella Tav. 1 danno ragione di vie di drenaggio di tipo vadoso o in frattura;

Il corpo quarzitico ricoperto dal rilevato della discarica costituisce uno spartiacque idrogeologico concordemente con quanto emerge dalle misure piezometriche effettuate nei fori realizzati;

La scomparsa dell'acqua nel periodo secco conferma la natura di drenaggio vadoso e temporaneo delle direttrici intercettate dai fori medesimi;

Il drenaggio in direzione Sud (SE-SO) avviene secondo direttrici sconosciute;

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 si può ipotizzare una comunicazione con il corpo a bassa conducibilità cui è associata la sorgente della Linea 2;

Tale corpo si estende per una profondità di circa m 70 da p.c.

La reale consistenza di un eventuale volume impregnato può essere verificata con una perforazione. La medesima deve estendersi per la totalità di tale profondità ed essere dotato di un tratto cieco e cementato sommatale di almeno m 10 per scongiurare la contaminazione con acque superficiali;

Si ravvisa l'opportunità, per la realizzazione della rete di monitoraggio, di perfezionare captazioni razionali delle emergenze individuate, compresi i ristagni rinvenuti nei nelle parti alte dei rii nella stagione secca, e di proteggere le medesime, segnatamente dal flusso di piena con bottini;

La presenza di massimi di resistività sulle linee 1, 3 e 4, in combinazione con la presenza di cavità accessibili, pone in evidenza la presenza, all'interno del perimetro dell'area carsica, di cavità inaccessibili;

Si ravvisa l'opportunità, per la realizzazione della rete di monitoraggio, di effettuare perforazioni in corrispondenza delle anomalie della linea 2 e 3, la cui posizione deve essere verificata ricorrendo al modello digitale georiferito, che possono consentire il controllo di una eventuale via di drenaggio vadoso, ancorchè temporanea di sicura importanza, nel contesto del sistema generale di circolazione idrica ipogea, essendo localizzata in coincidenza con una manifestazione di carso maturo;

In generale nella perforazione di fori di controllo sarà opportuno controllare, in corso d'opera la velocità di avanzamento della macchina al fine di ottenere valutazioni qualitative circa la competenza del materiale incontrato;

In corso di avanzamento, con intervalli opportuni, sarà utile disporre prove di immissione a mezzo pompaggio al fine di chiarire la presenza di eventuali cavità o comunque variazioni nella permeabilità della roccia.

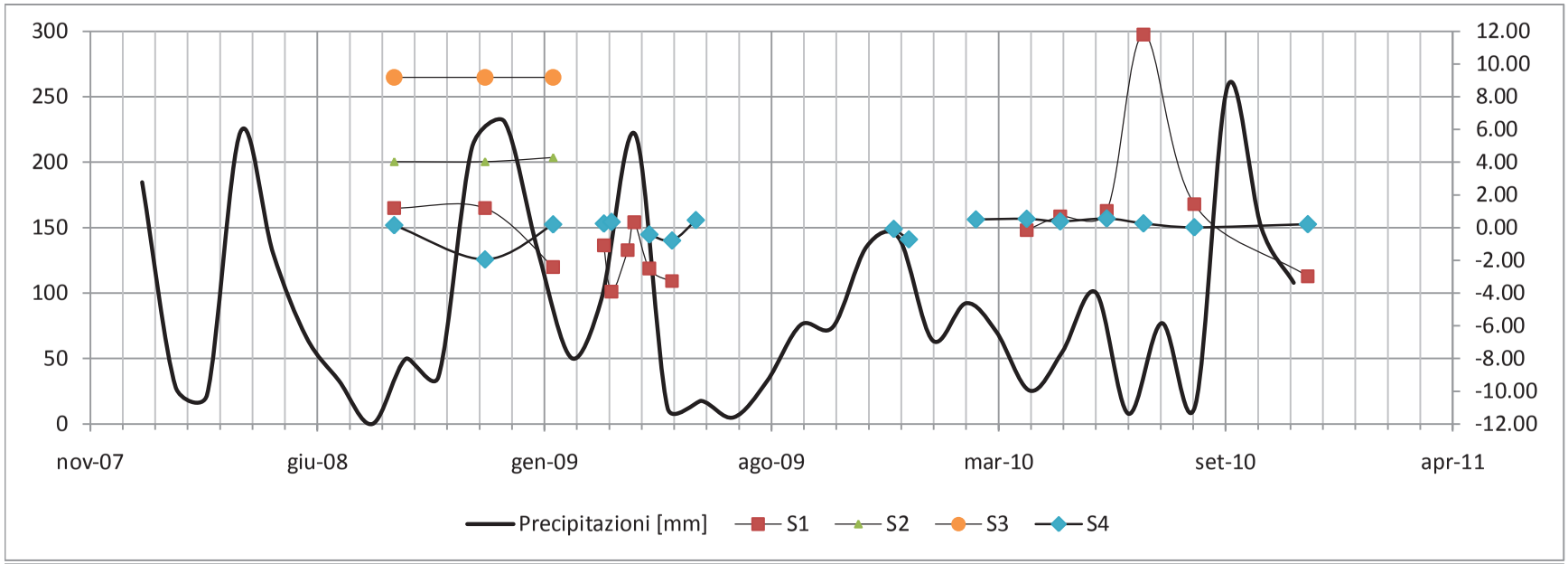
Dott. Sergio AICARDI

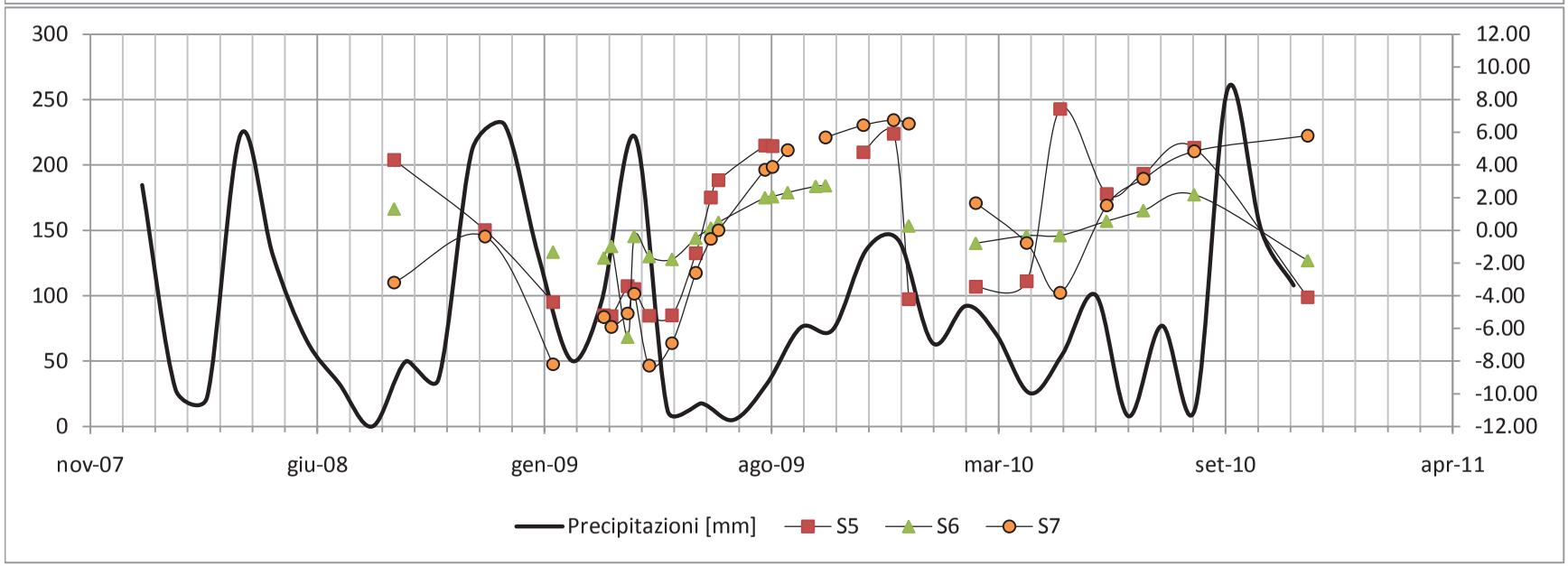
Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*

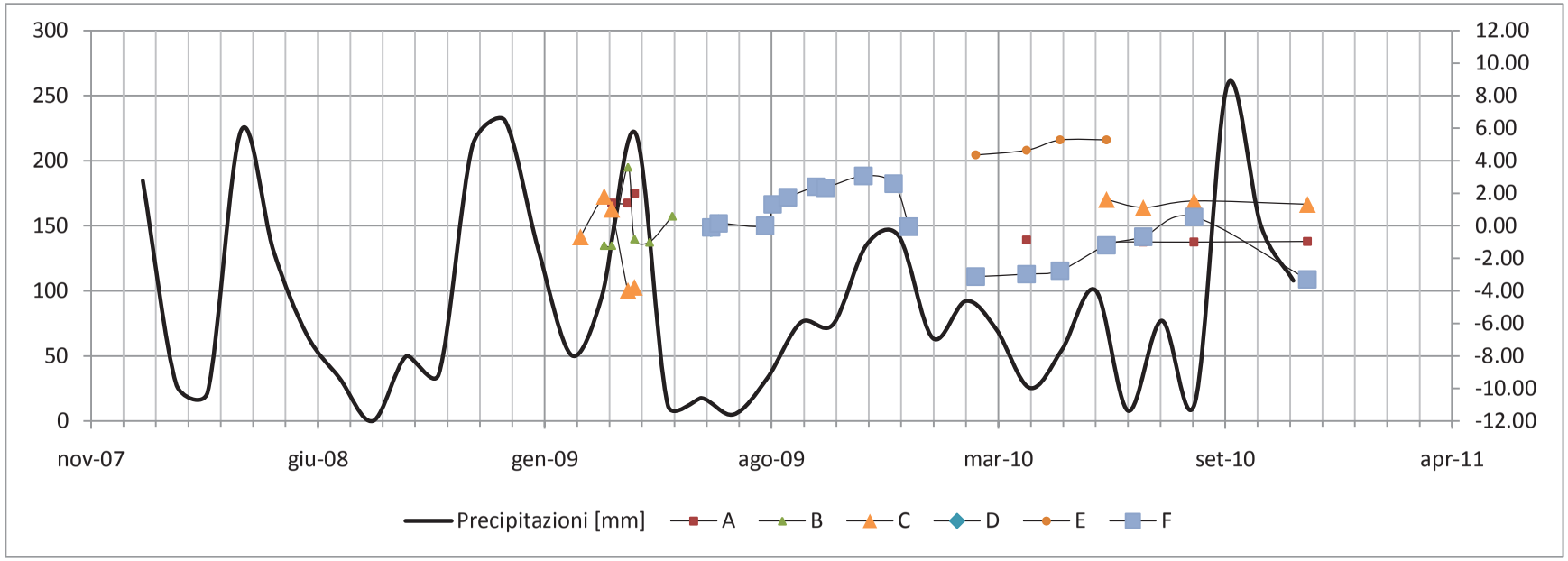
è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

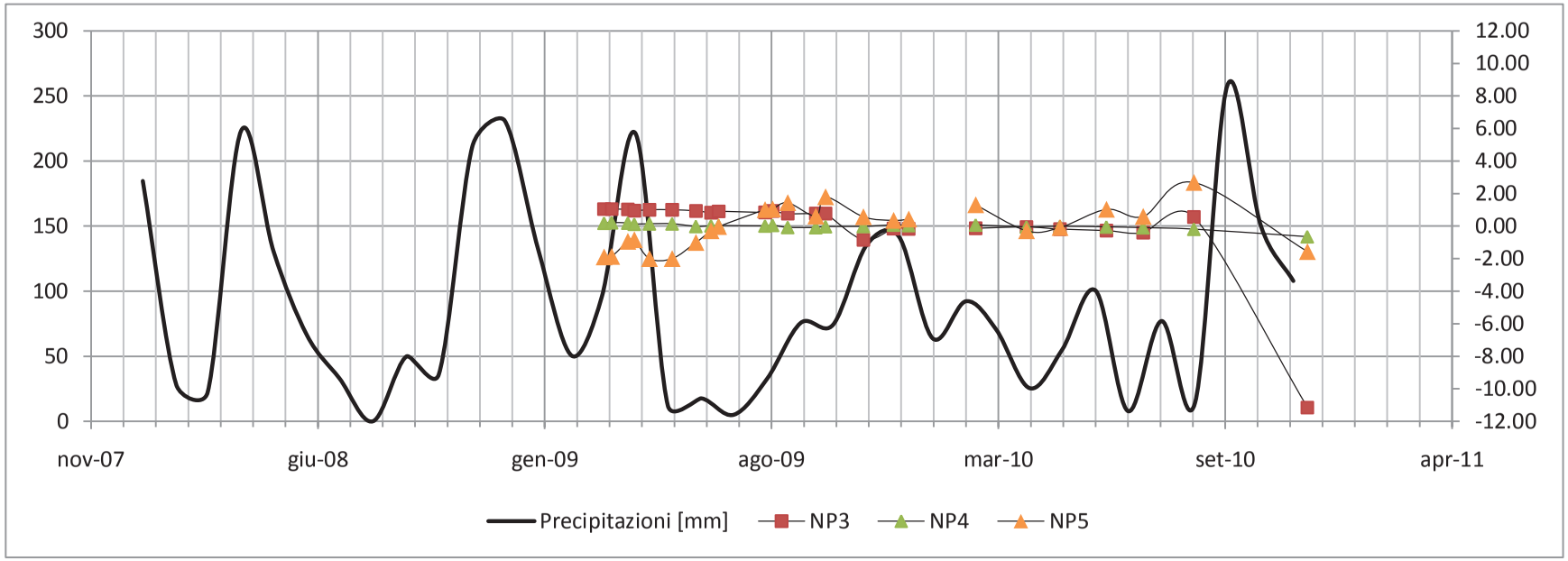
Allegato D:

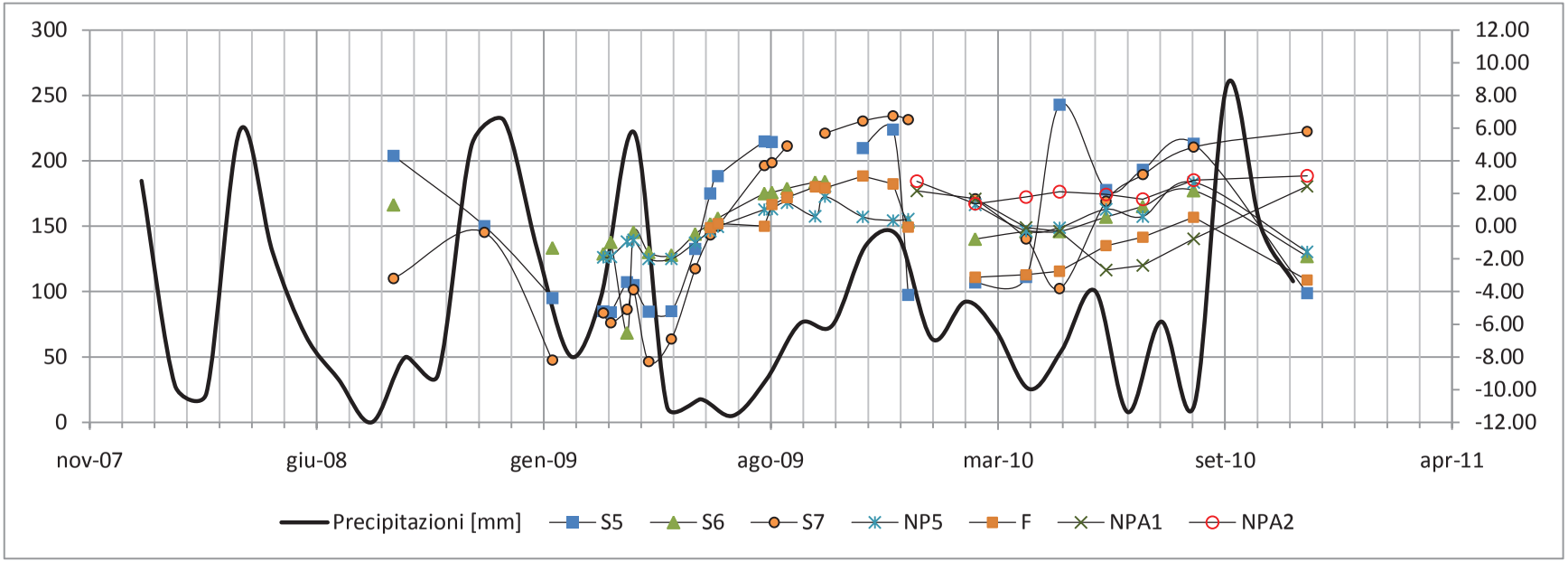
Analisi freatimetrico – pluviometrica

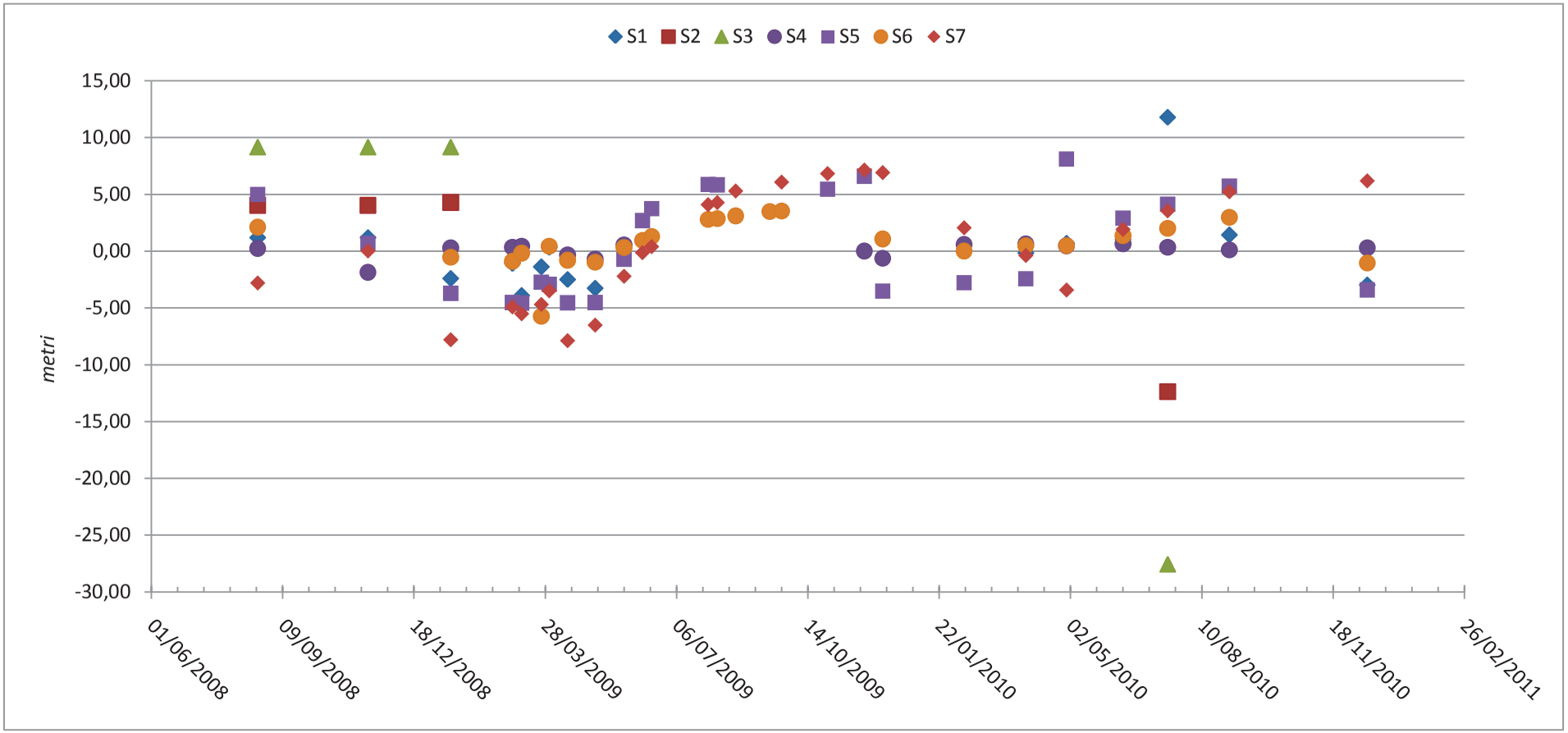

300
250
200
150
100
50
0
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
-2.00
-4.00
-6.00
-8.00
-10.00
-12.00
nov-07
giu-08
gen-09
ago-09
mar-10
set-10
apr-11
Precipitazioni [mm]
S1
S2
S3
S4

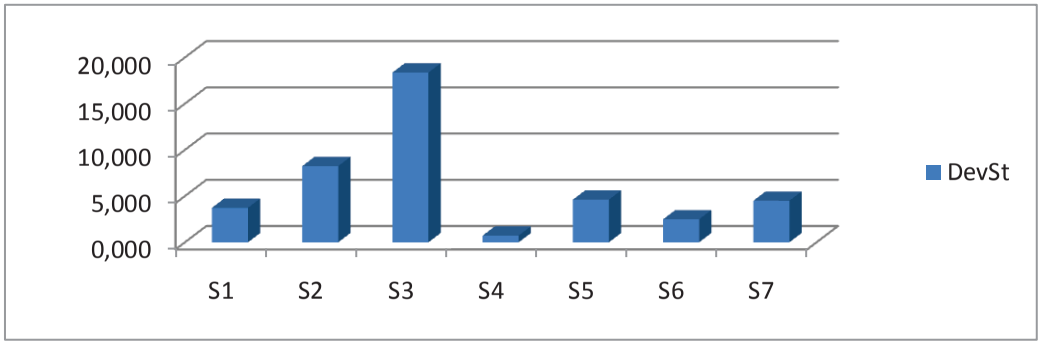

300
250
200
150
100
50
0
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
-2.00
-4.00
-6.00
-8.00
-10.00
-12.00
nov-07
giu-08
gen-09
ago-09
mar-10
set-10
apr-11
Precipitazioni [mm]
S5
S6
S7


300
250
200
150
100
50
0
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
-2.00
-4.00
-6.00
-8.00
-10.00
-12.00
nov-07
giu-08
gen-09
ago-09
mar-10
set-10
apr-11
Precipitazioni [mm]
A
B
C
D
E
F

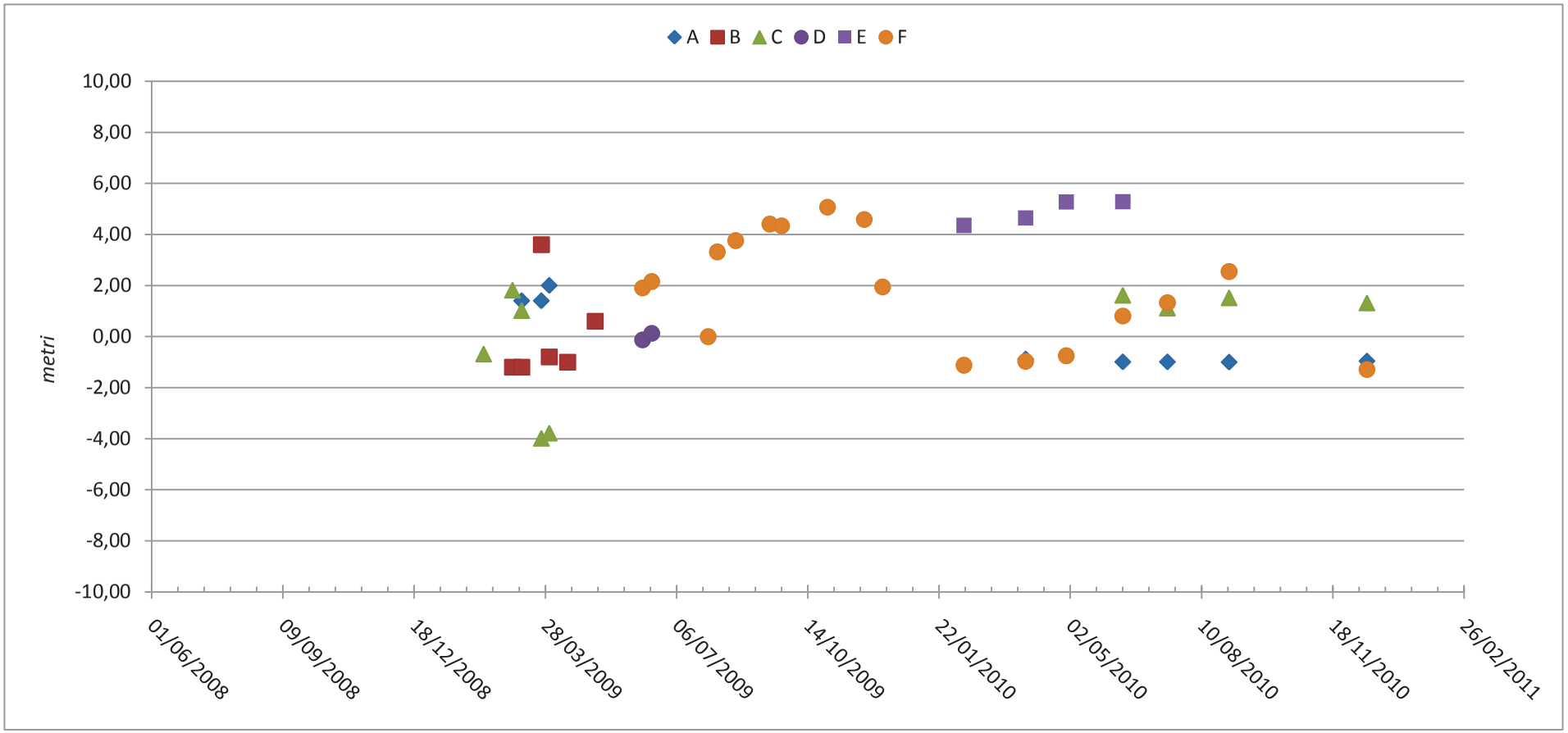

300
250
200
150
100
50
0
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
-2.00
-4.00
-6.00
-8.00
-10.00
-12.00
nov-07
giu-08
gen-09
ago-09
mar-10
set-10
apr-11
Precipitazioni [mm]
NP3
NP4
NP5

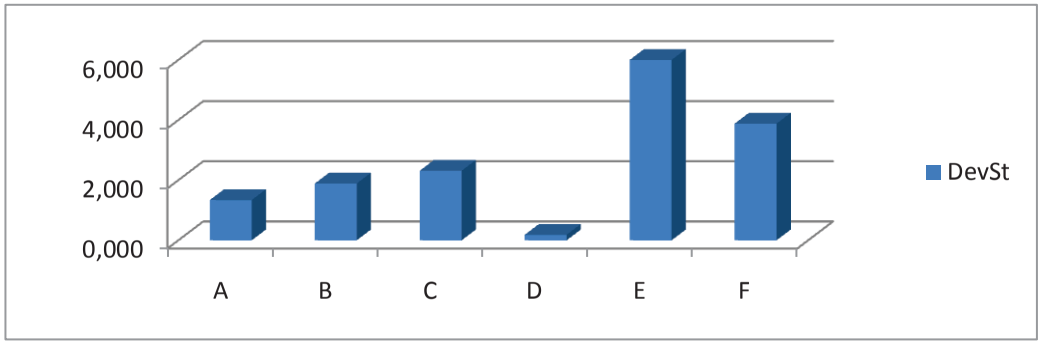

300
250
200
150
100
50
0
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
-2.00
-4.00
-6.00
-8.00
-10.00
-12.00
nov-07
giu-08
gen-09
ago-09
mar-10
set-10
apr-11
Precipitazioni [mm]
S5
S6
S7
NP5
F
NPA1
NPA2



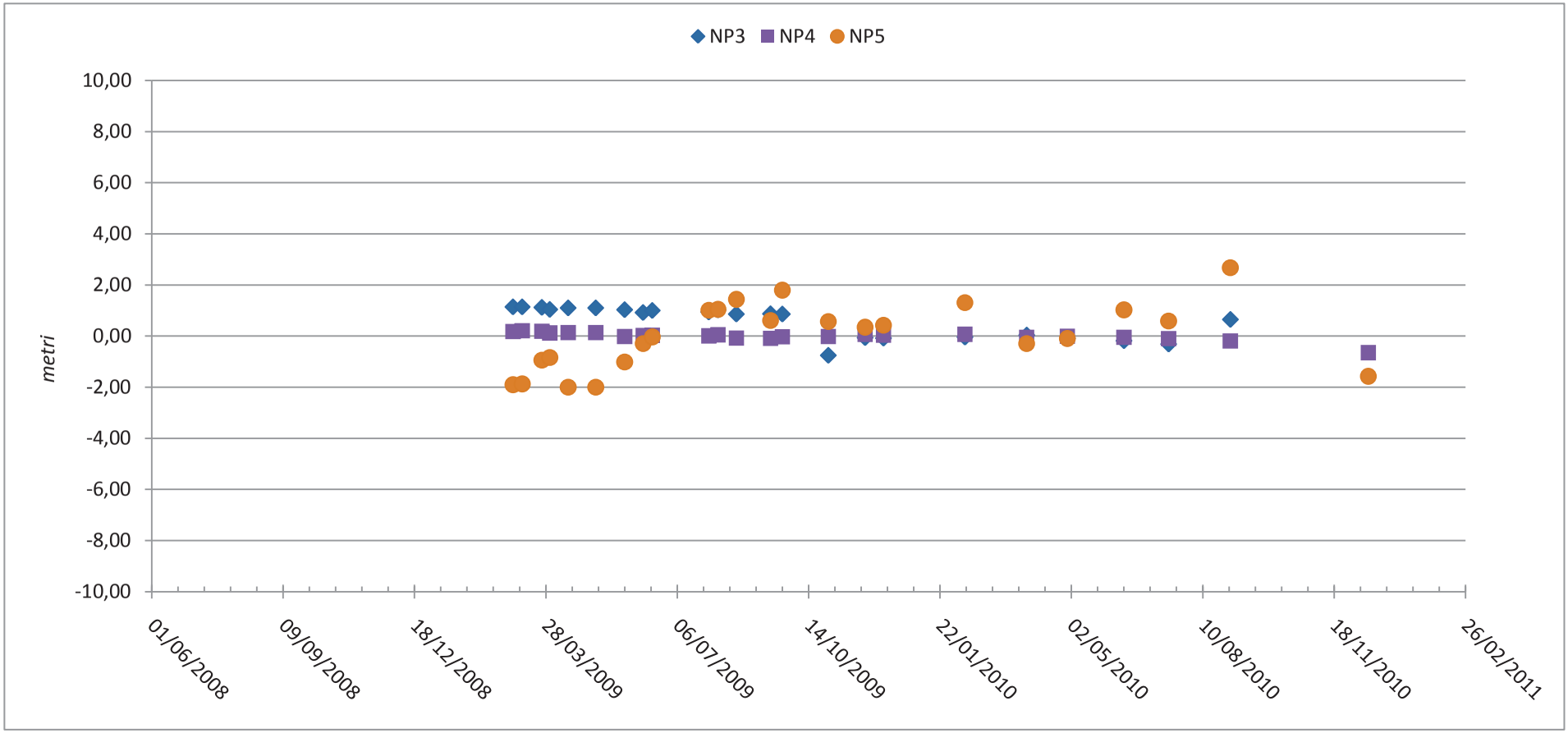


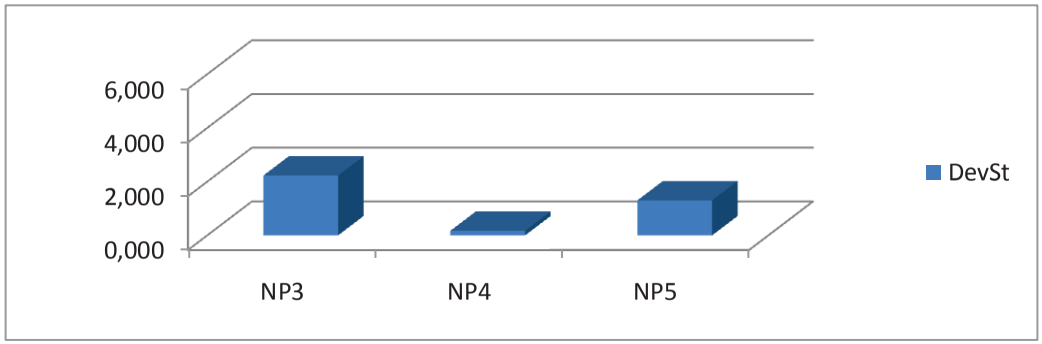
La maggiore deviazione standard indica una maggiore dispersione delle misure intorno al valore medio



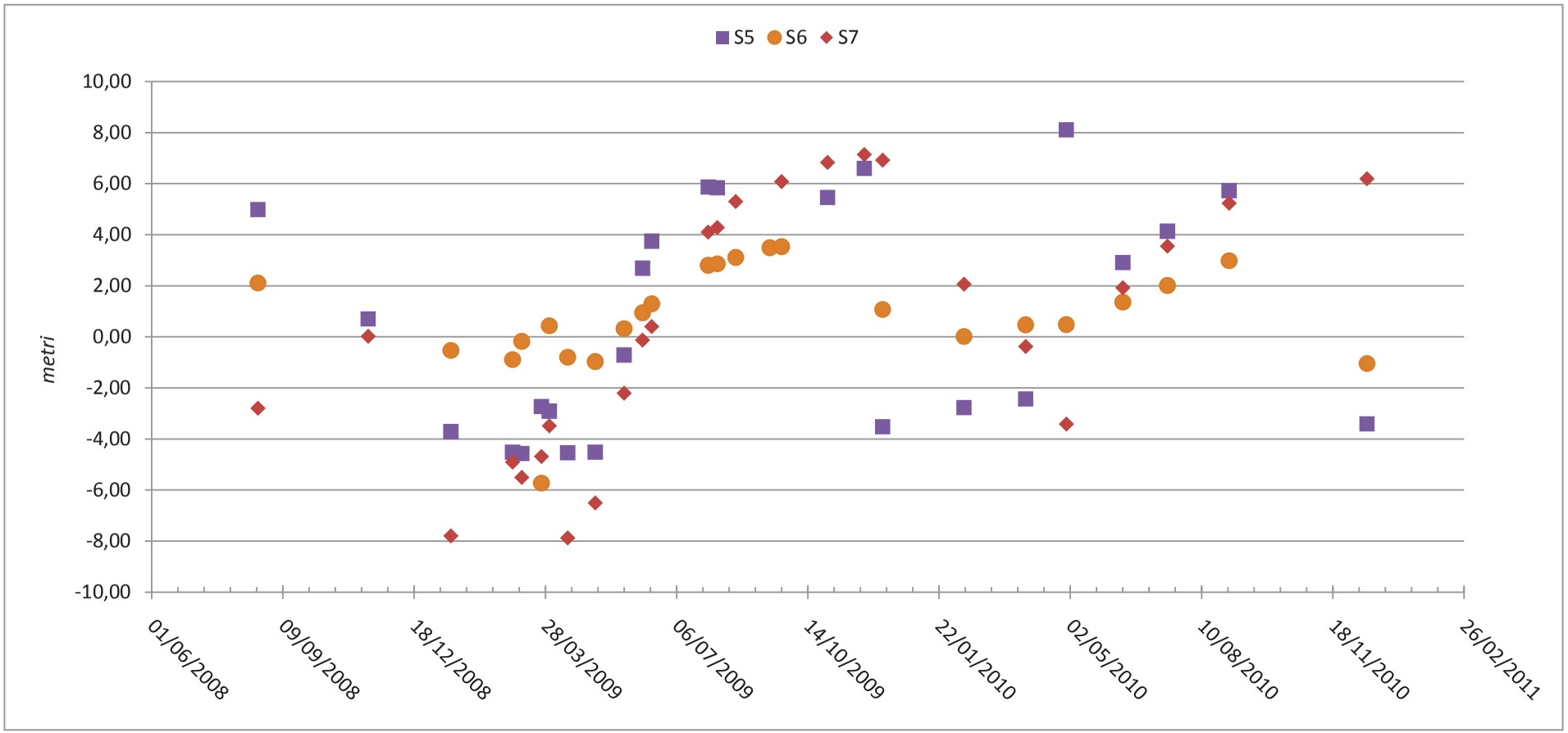


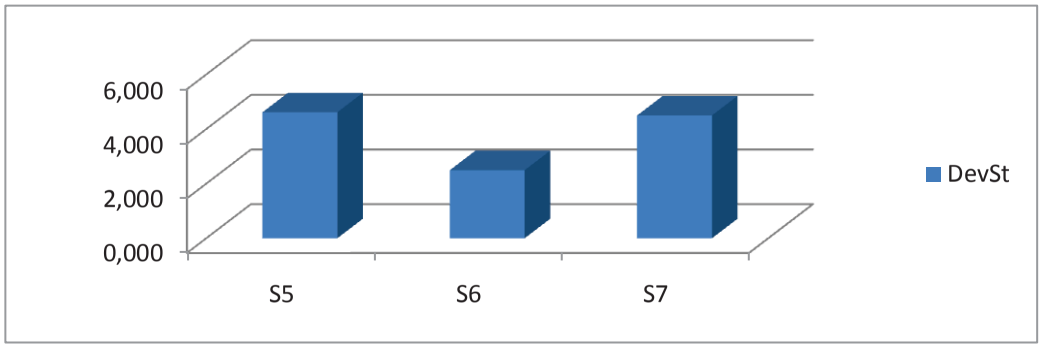
La maggiore deviazione standard indica una maggiore dispersione delle misure intorno al valore medio





La maggiore deviazione standard indica una maggiore dispersione delle misure intorno al valore medio



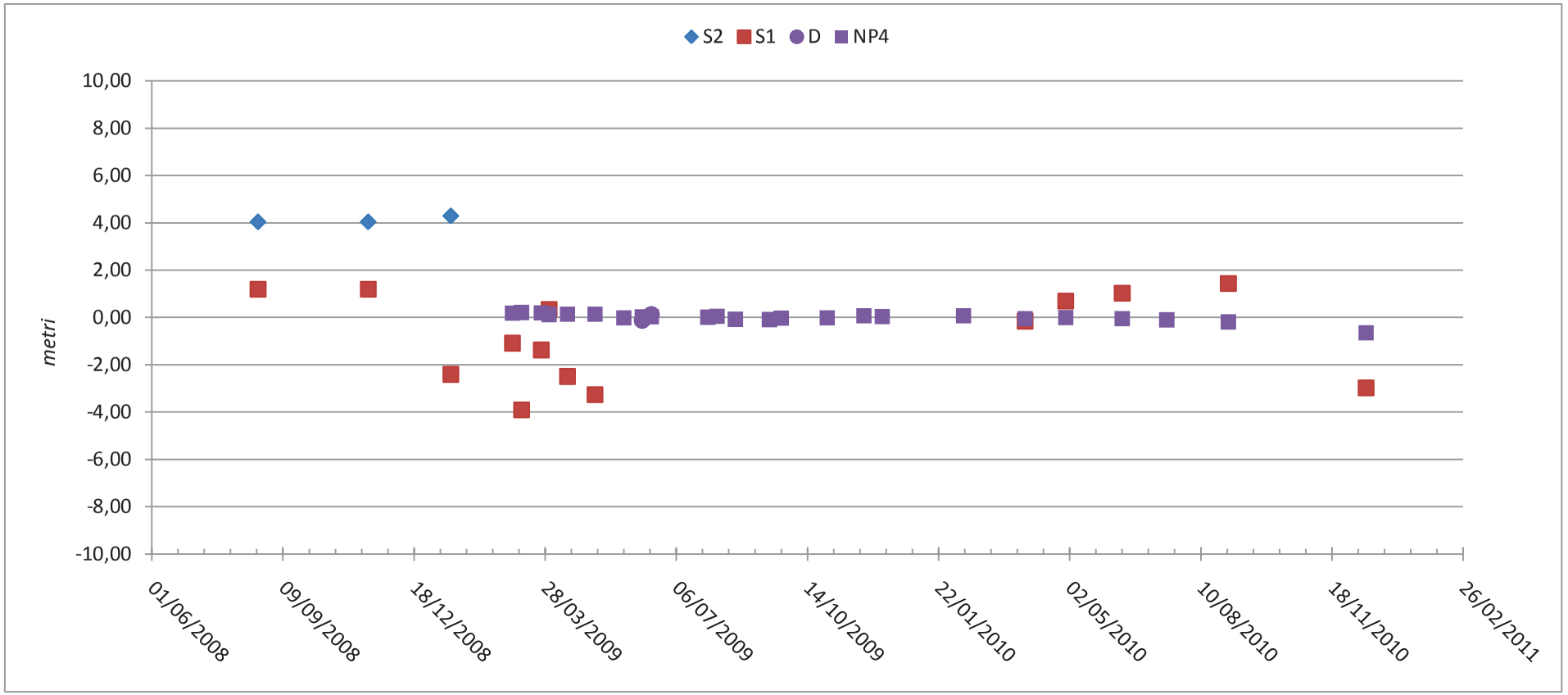


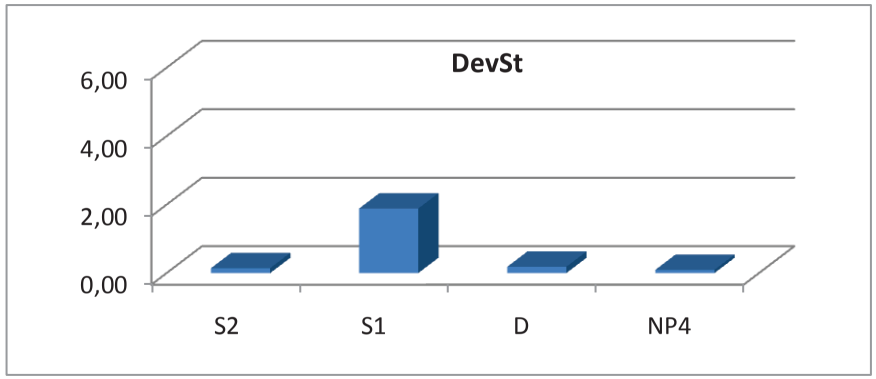
	S5	S6	S7
S5	1,000	0,660	0,725
S6	0,660	1,000	0,700
S7	0,725	0,700	1,000

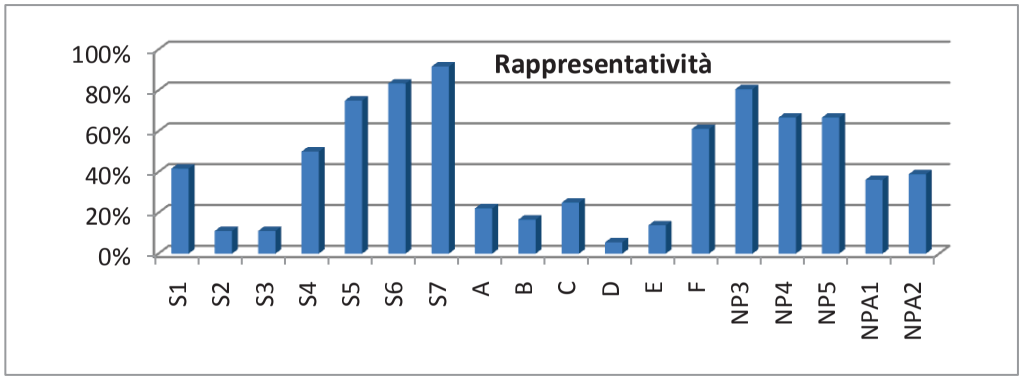
Matrice di correlazione

La maggiore deviazione standard indica una maggiore dispersione delle misure intorno al valore medio

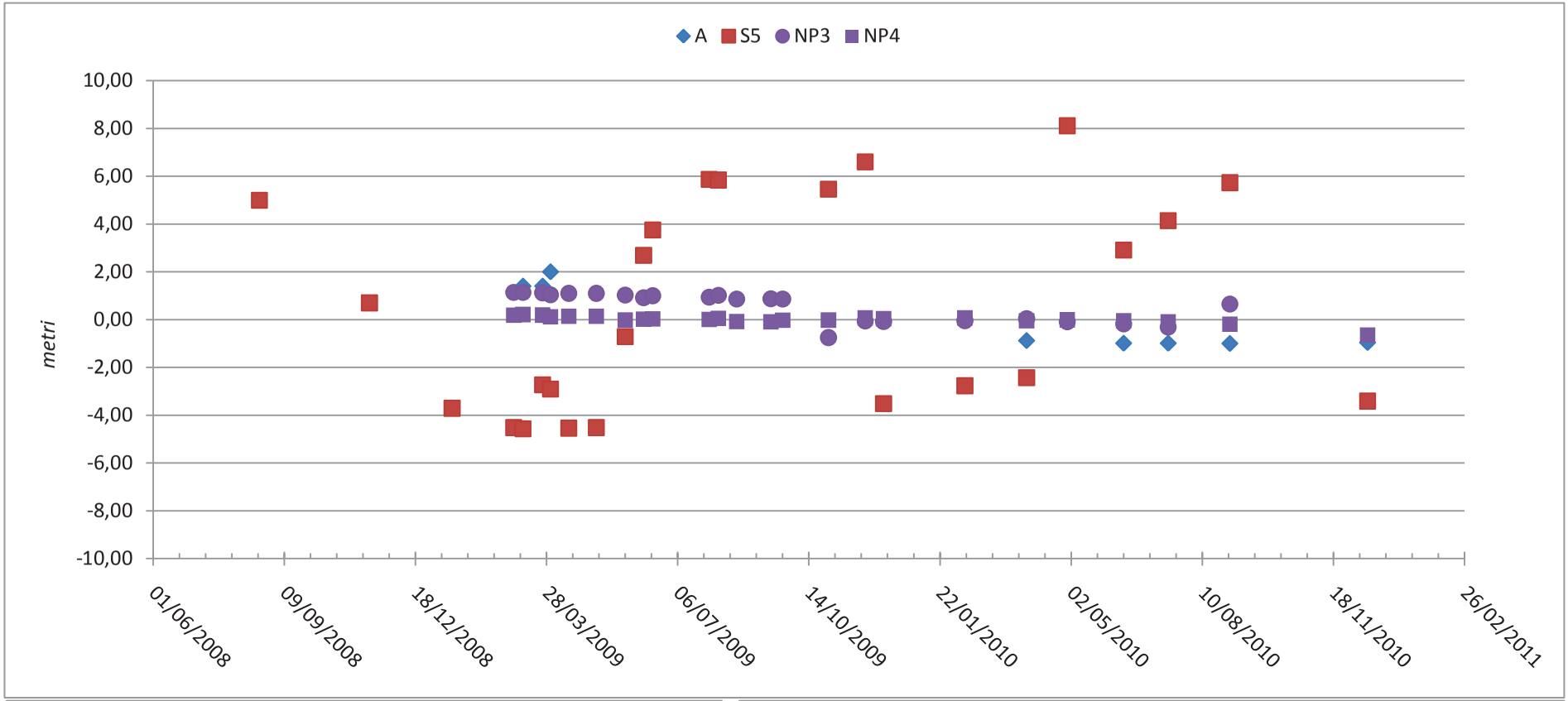
SEZIONE A

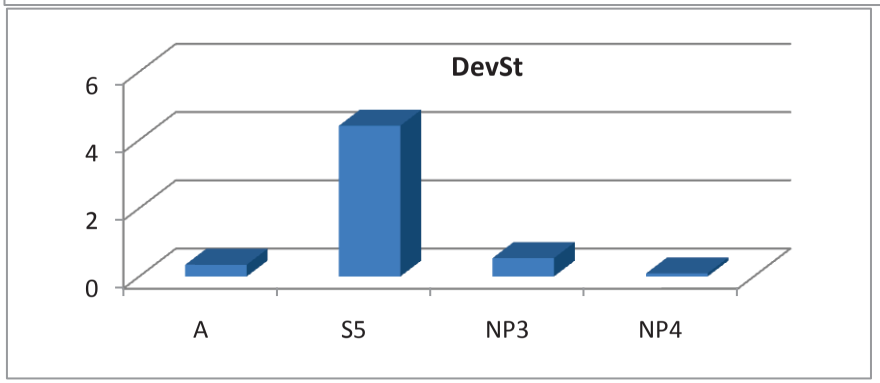

S2
S1
D
NP4
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
metri
01/06/2008
09/09/2008
18/12/2008
28/03/2009
06/07/2009
14/10/2009
22/01/2010
02/05/2010
10/08/2010
18/11/2010
26/02/2011

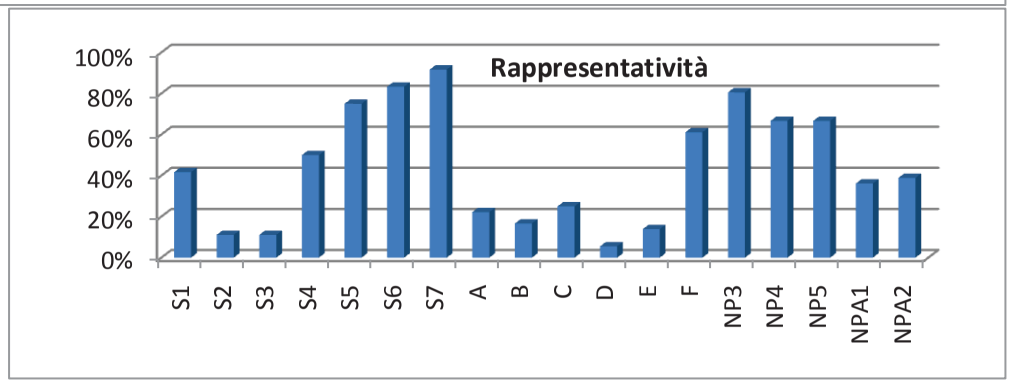

DevSt
6,00
4,00
2,00
0,00
S2
S1
D
NP4


Rappresentatività
100%
80%
60%
40%
20%
0%
S1
S2
S3
S4
S5
S6
S7
A
B
C
D
E
F
NP3
NP4
NP5
NPA1
NPA2

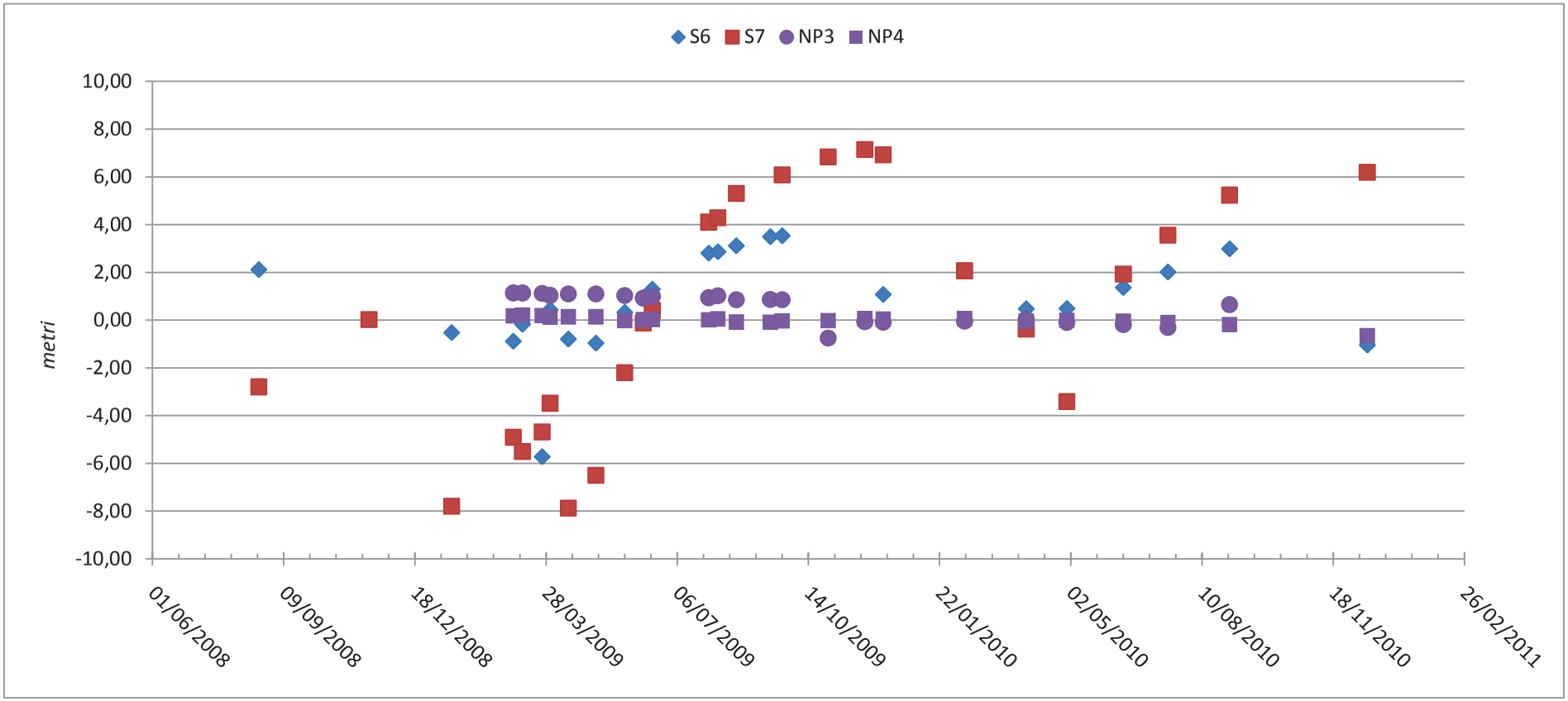
SEZIONE B

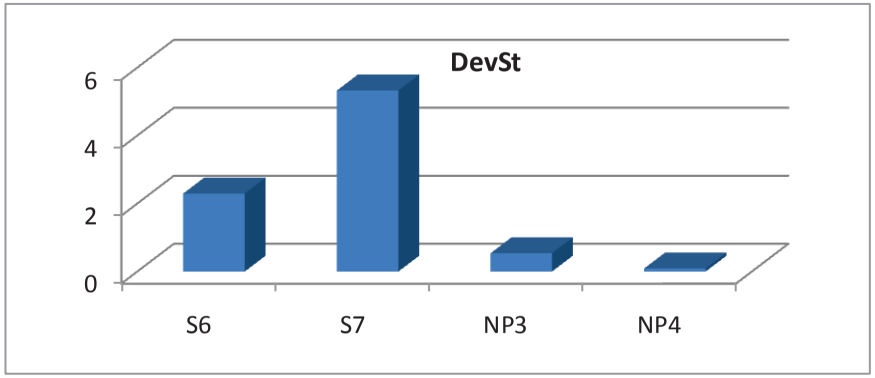

A
S5
NP3
NP4
metri
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
01/06/2008
09/09/2008
18/12/2008
28/03/2009
06/07/2009
14/10/2009
22/01/2010
02/05/2010
10/08/2010
18/11/2010
26/02/2011

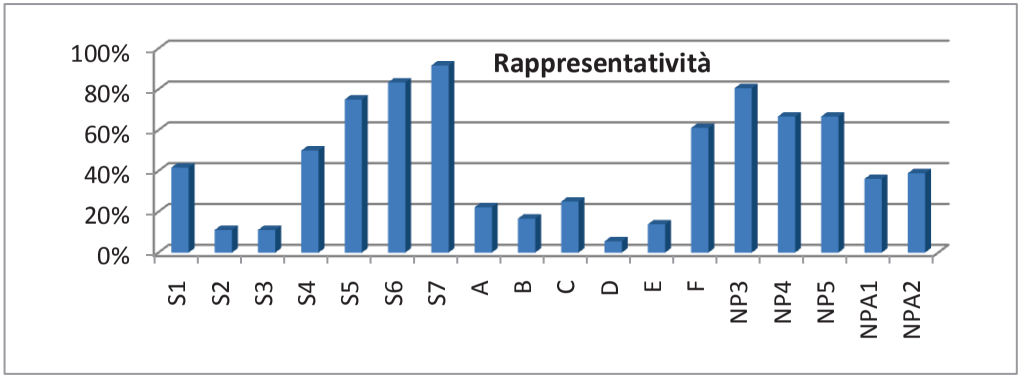

DevSt
6
4
2
0
A
S5
NP3
NP4


Rappresentatività
100%
80%
60%
40%
20%
0%
S1
S2
S3
S4
S5
S6
S7
A
B
C
D
E
F
NP3
NP4
NP5
NPA1
NPA2

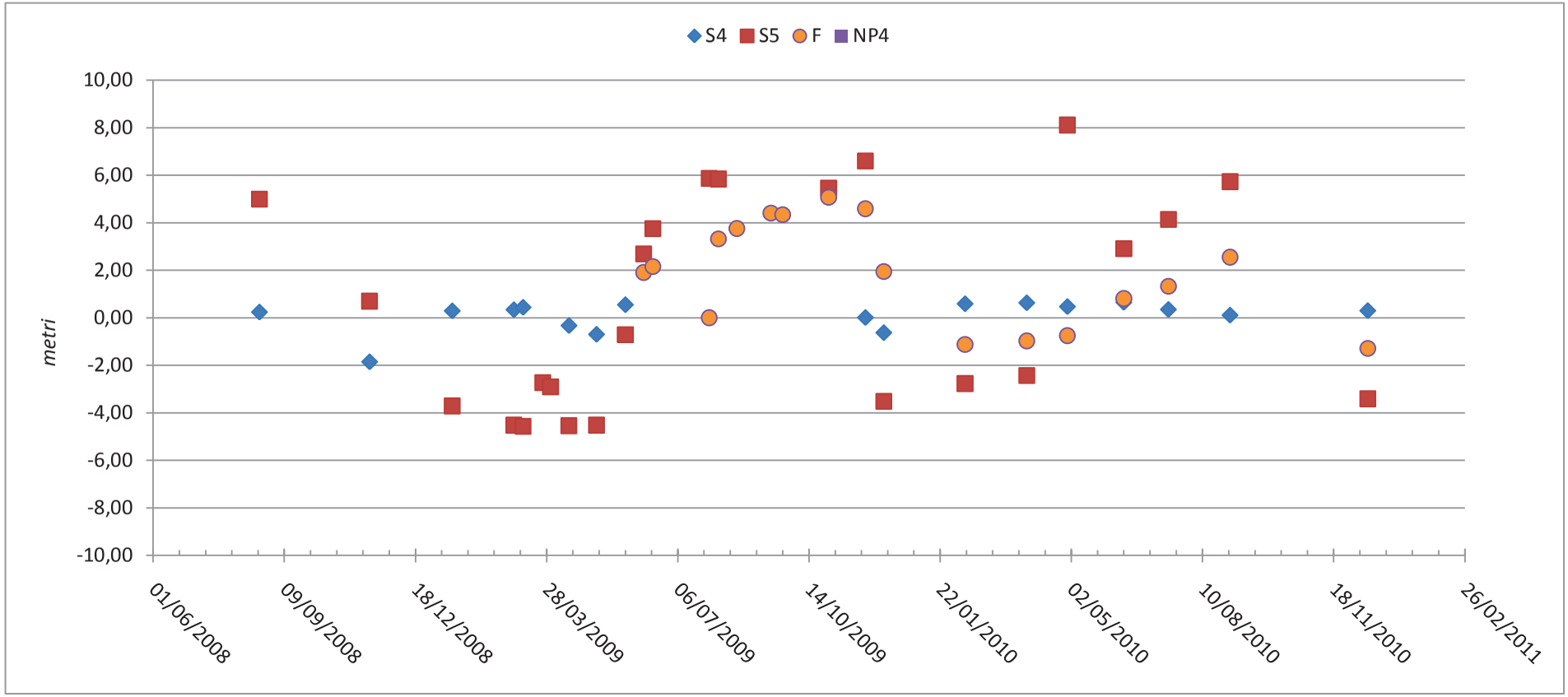
SEZIONE C

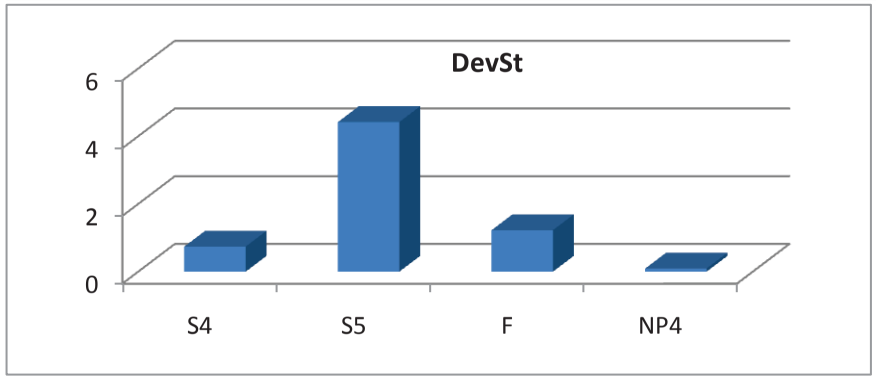

S6
S7
NP3
NP4
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
metri
01/06/2008
09/09/2008
18/12/2008
28/03/2009
06/07/2009
14/10/2009
22/01/2010
02/05/2010
10/08/2010
18/11/2010
26/02/2011

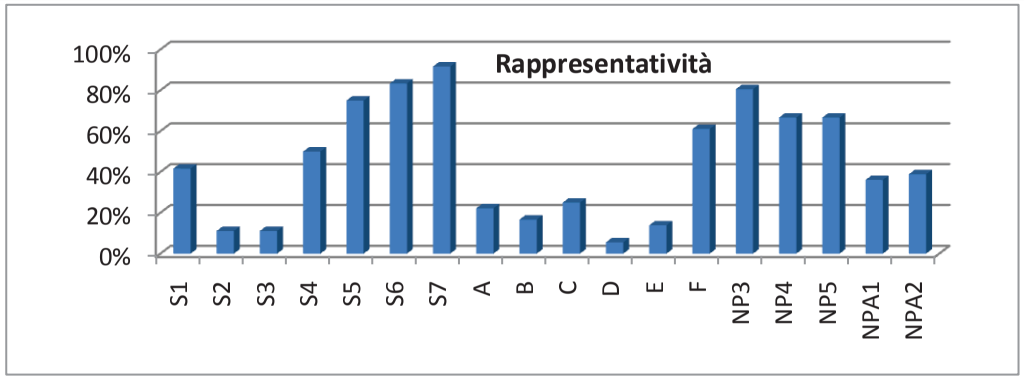

DevSt
6
4
2
0
S6
S7
NP3
NP4

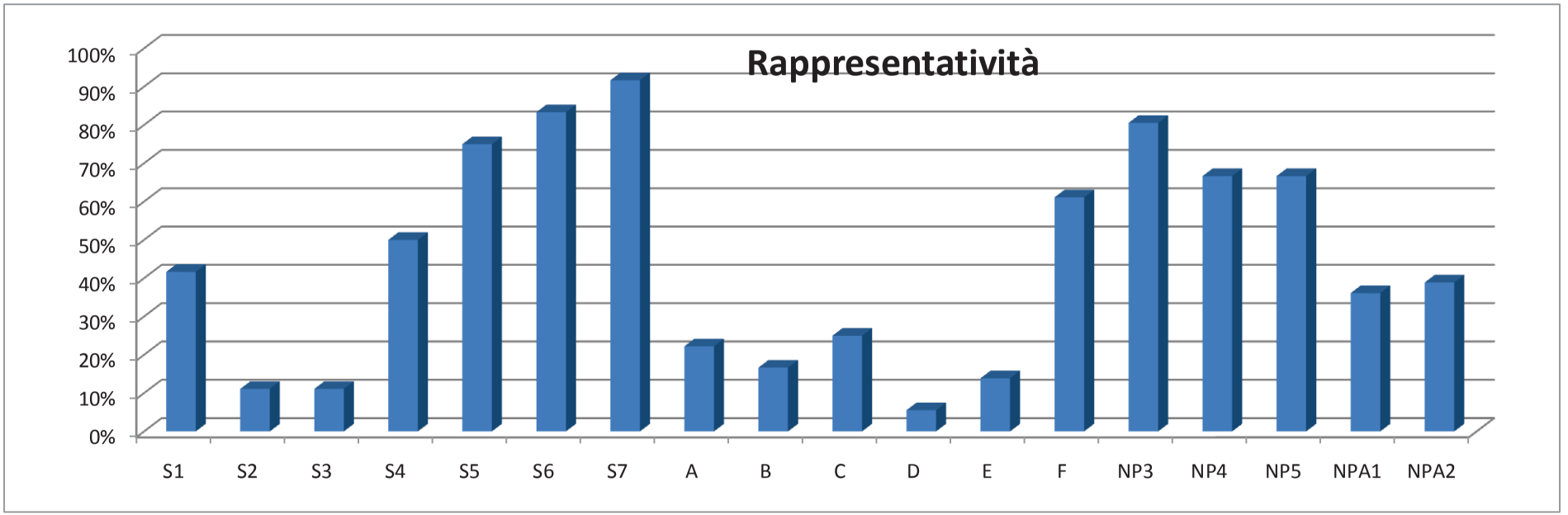

Rappresentatività
100%
80%
60%
40%
20%
0%
S1
S2
S3
S4
S5
S6
S7
A
B
C
D
E
F
NP3
NP4
NP5
NPA1
NPA2

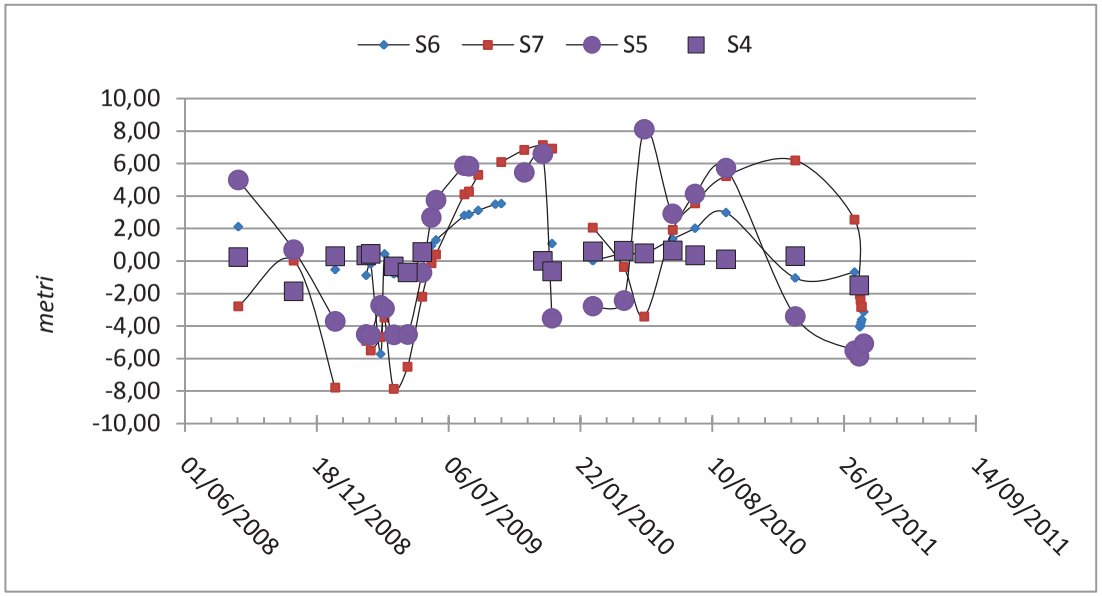
SEZIONE D


S4
S5
F
NP4
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-2,00
-4,00
-6,00
-8,00
-10,00
metri
01/06/2008
09/09/2008
18/12/2008
28/03/2009
06/07/2009
14/10/2009
22/01/2010
02/05/2010
10/08/2010
18/11/2010
26/02/2011


DevSt
6
4
2
0
S4
S5
F
NP4

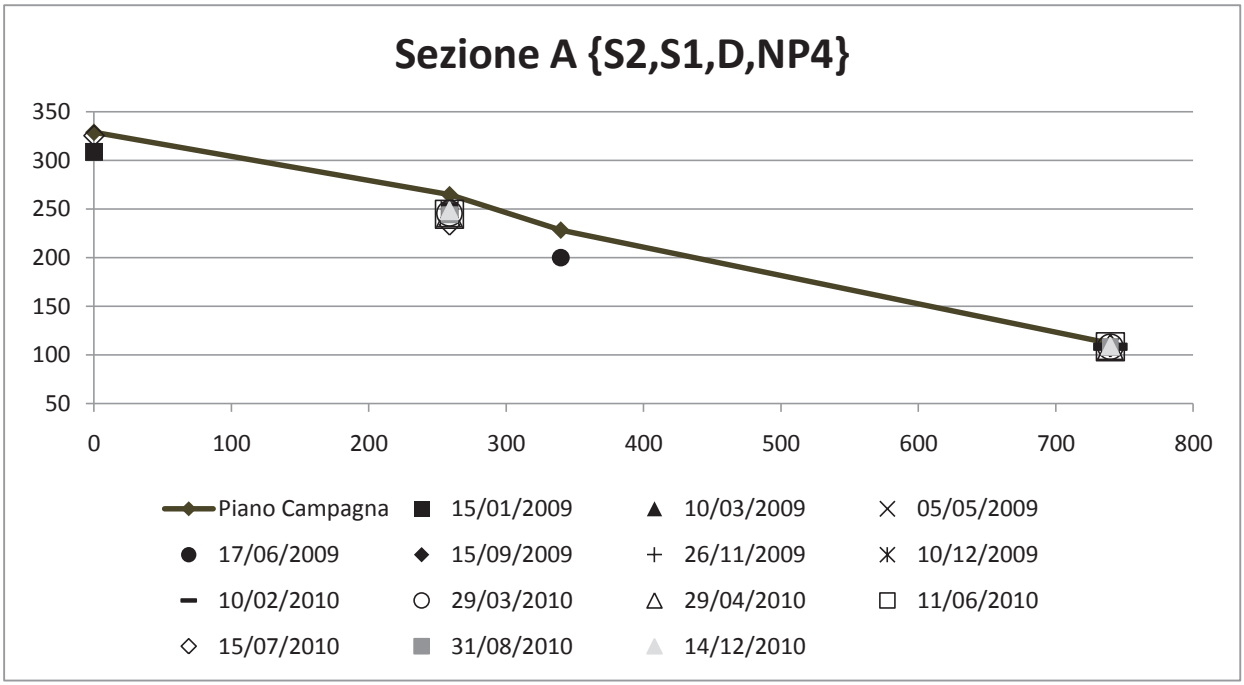

Rappresentatività
100%
80%
60%
40%
20%
0%
S1
S2
S3
S4
S5
S6
S7
A
B
C
D
E
F
NP3
NP4
NP5
NPA1
NPA2

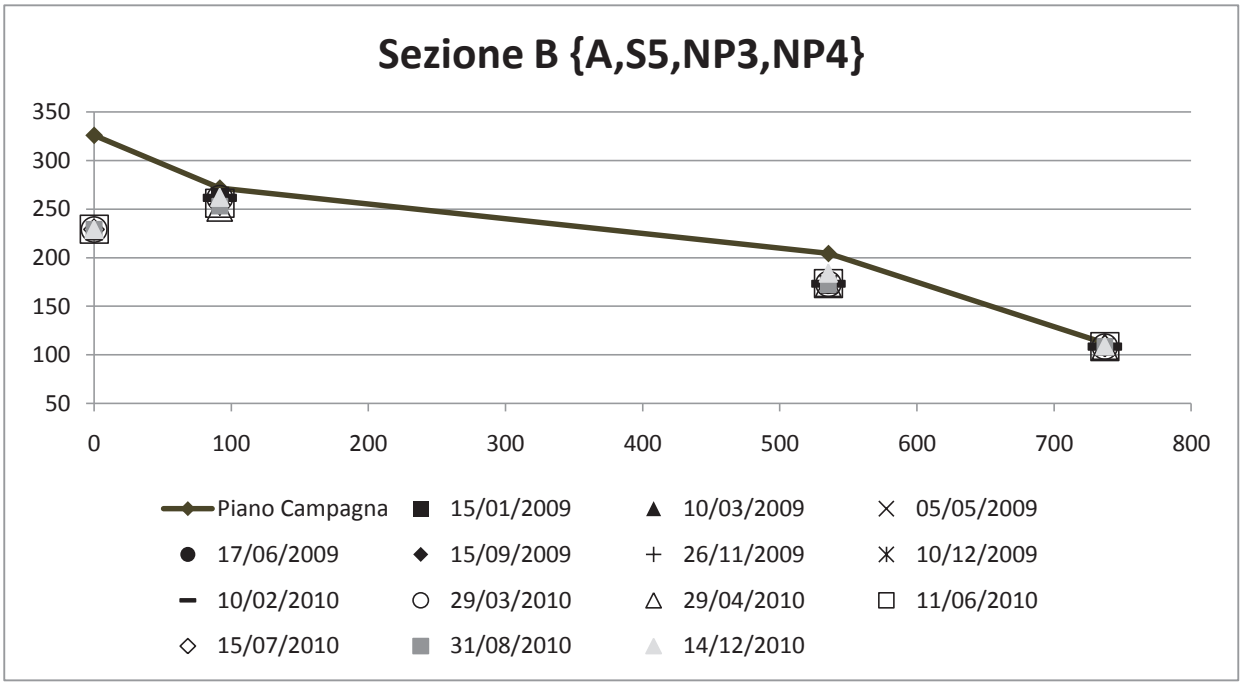


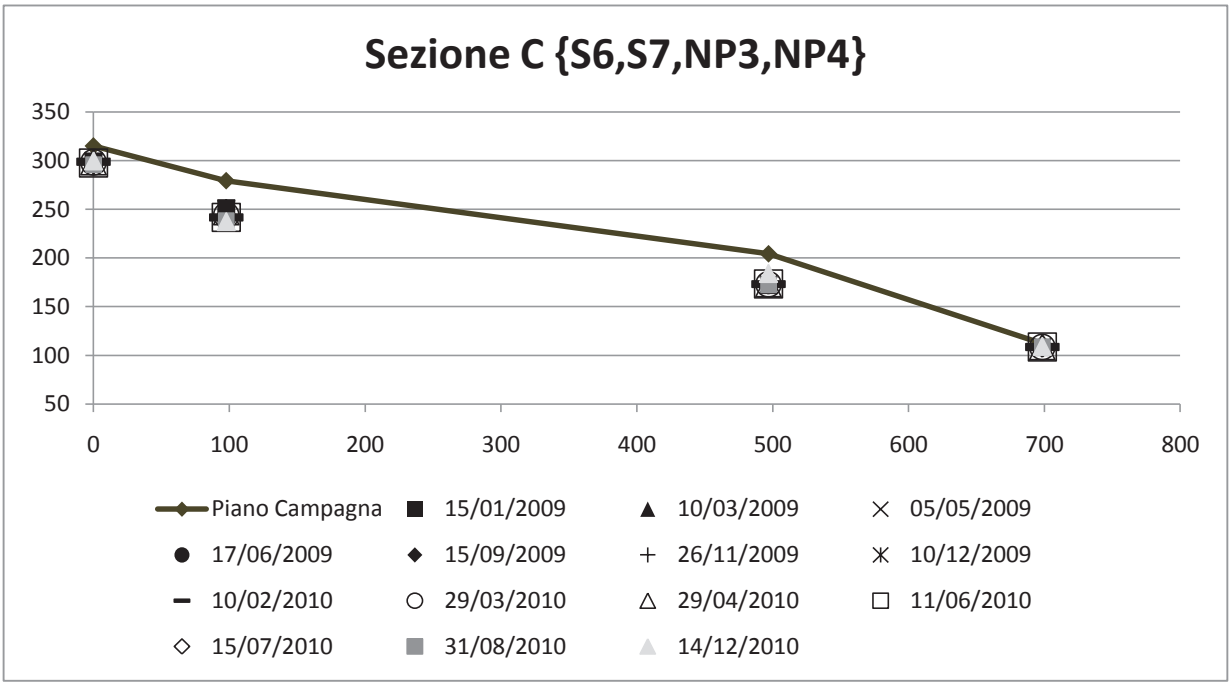


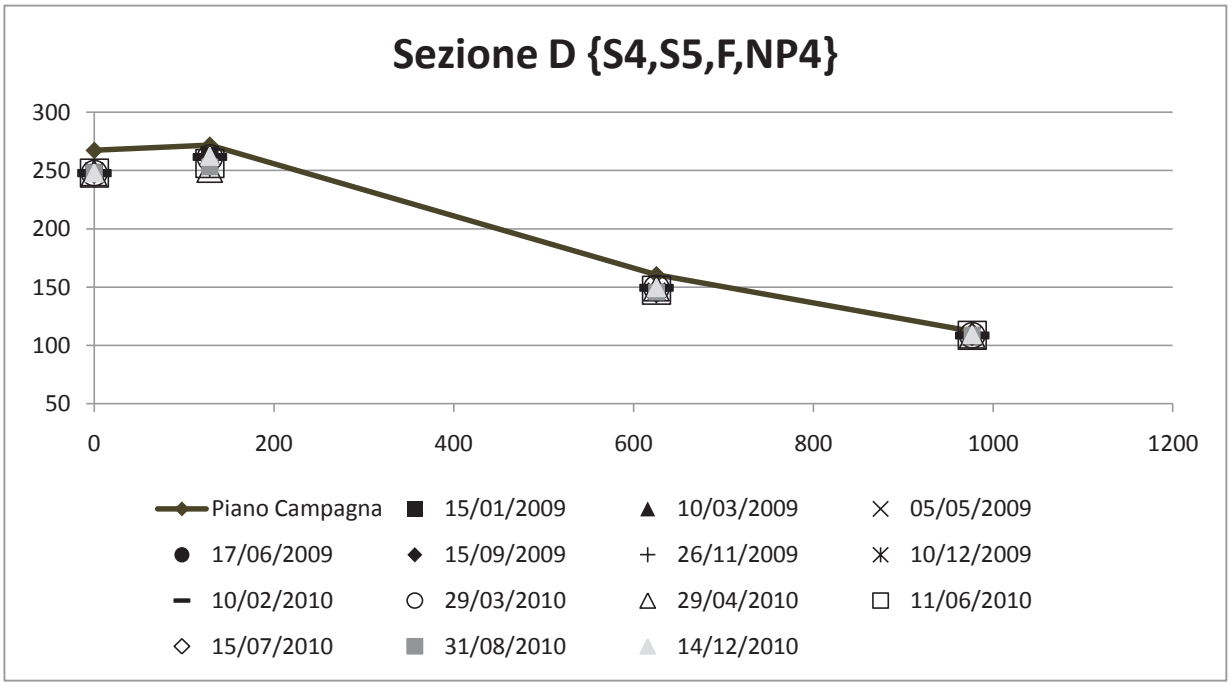
	S4	S5	S6	S7
S4	1,000	-0,016	0,108	-0,252
S5	-0,016	1,000	0,660	0,725
S6	0,108	0,660	1,000	0,700
S7	-0,252	0,725	0,700	1,000

Matrice di correlazione


Sezione A {S2,S1,D,NP4}
350
300
250
200
150
100
50
0
100
200
300
400
500
600
700
800
Piano Campagna
15/01/2009
10/03/2009
05/05/2009
17/06/2009
15/09/2009
26/11/2009
10/12/2009
10/02/2010
29/03/2010
29/04/2010
11/06/2010
15/07/2010
31/08/2010
14/12/2010


Sezione B {A,S5,NP3,NP4}
350
300
250
200
150
100
50
0
100
200
300
400
500
600
700
800
Piano Campagna
15/01/2009
10/03/2009
05/05/2009
17/06/2009
15/09/2009
26/11/2009
10/12/2009
10/02/2010
29/03/2010
29/04/2010
11/06/2010
15/07/2010
31/08/2010
14/12/2010


Sezione C {S6,S7,NP3,NP4}
350
300
250
200
150
100
50
0
100
200
300
400
500
600
700
800
Piano Campagna
15/01/2009
10/03/2009
05/05/2009
17/06/2009
15/09/2009
26/11/2009
10/12/2009
10/02/2010
29/03/2010
29/04/2010
11/06/2010
15/07/2010
31/08/2010
14/12/2010


Sezione D {S4,S5,F,NP4}
300
250
200
150
100
50
0
200
400
600
800
1000
1200
Piano Campagna
15/01/2009
10/03/2009
05/05/2009
17/06/2009
15/09/2009
26/11/2009
10/12/2009
10/02/2010
29/03/2010
29/04/2010
11/06/2010
15/07/2010
31/08/2010
14/12/2010

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

Allegato E:
Verifica del programma di monitoraggio (Test con traccianti)

1.1 Verifica punti di monitoraggio (tracciamento test)

1.1.1 Premessa

Per approfondire alcuni aspetti del sistema idrogeologico del sito (Boscaccio) segnalati dalle considerazioni apportate dalla Commissione Regionale di VIA (in data 16/11/2010) è stata sviluppata una specifica indagine sulle diverse vie di drenaggio sotterraneo (direzione SE-direzione SW e verticale) già riportate nella Relazione Idrogeologica a suo tempo elaborata.

Si è provveduto ad immettere nel sottosuolo, in cornice della discarica Boscaccio, una soluzione "tracciante" e a seguire gli effetti della sua diffusione nell'acquifero.

In riferimento alla planimetria allegata alla presente relazione, sono stati scelti i fori piezometrici già disponibili nelle postazioni S2-S3-S4-S5 (che sul terreno emergono tra quota ≈ 214 m e ≈ 309 m slm) e disposti pressoché in linea con direzione EST-OVESt nel sito della discarica, quali punti di immissione della soluzione.

Sono stati invece adottati i fori piezometrici NPA1-NPA2-S6-S7-F-NP3-Sorgente Via Romana-Sorgente NPA2 quali punti di monitoraggio dell'andamento di:

- Quota dell'acqua nei singoli fori;
- Temperatura dell'acqua nei singoli fori;
- Conducibilità elettrica dell'acqua nei singoli fori;
- Precipitazione atmosferica nel corso dell'esperienza

1.1.2 Metodo di tracciamento

È stato determinato preliminarmente il livello naturale dell'acqua nei fori piezometrici quale riferimento per le successive misure (vedere Allegato 1).

È stata utilizzata una soluzione acquosa di cloruro sodico (10 mc, al 30 % peso).

Concentrazione iniziale	*Volume totale iniettato*
300 g/l	*10 mc*

La conducibilità elettrica (portata alla temperatura standard) che dipende dalle mineralizzazioni delle diverse acque sotterranee del sito (postazioni citate), è risultata compresa tra 400 e 900 μS/cm.

L'immissione è ovviamente avvenuta in modo diverso per ogni foro, a causa della differente capacità di assorbimento del sottosuolo. La tabella 1 elenca i quantitativi di soluzione che sono stati immessi nel tempo nelle quattro postazioni scelte.

Preventivamente i fori piezometrici sono stati puliti con acqua naturale per eliminare eventuali residui estranei di fondo e sono stati prelevati campioni di "riferimento" misurando quota, conducibilità elettrica e temperatura dell'acqua presente in foro alla data del 14/03/2011. La conducibilità elettrica specifica della soluzione preparata era superiore a **500 mS/cm**.

L'andamento nel tempo di questi parametri e delle precipitazioni atmosferiche concomitanti giorno per giorno, sono riportati negli allegati alla presente relazione.

data	*s2 [l]*	*s3 [l]*	*s4 [l]*	*s5 [l]*
21-mar		*1500*	*250*	*200*
22-mar	*300*	*1000*	*300*	*300*
23-mar	*200*	*1000*		*350*
24-mar	*200*	*1000*	*750*	*400*
25-mar	*200*	*1000*	*500*	*500*

Tabella 1. Litri immessi nelle postazioni (totale 10 mc).



1.1.3 Punti di immissione e punti di misura.

La posizione dei punti di immissione della soluzione tracciante e dei punti di misura sono raccolte nella tabella 2.

ID	X (Gauss Boaga)	Y (Gauss Boaga)	Z t.Pozzo m s.l.m.	Z f. Pozzo m s.l.m.	Prof.Pozzo [m]
IMMISSIONE					
S2	*1453500*	*4899398*	*328.89*	*309.04*	*19.85*
S3	*1453608*	*4899404*	*263.96*	*214.56*	*49.4*
S4	*1453681*	*4899384*	*267.24*	*247.84*	*19.4*
S5	*1453803*	*4899425*	*271.73*	*251.73*	*20*
MISURA					
S6	*1453888*	*4899357*	*315.19*	*295.24*	*19.95*
S7	*1453930*	*4899445*	*279.5*	*229.6*	*49.9*
F	*1454134*	*4899795*	*160.6*	*145.34*	*15.26*
NP3	*1453948*	*4899844*	*204.37*	*168.77*	*35.6*
NPA1	*1453470*	*4899452*	*323*	*178*	*145*
NPA2	*1453409*	*4898826*	*248*	*88*	*160*
Sorg. V. romana	*1454134*	*4898994*	*218*		
Sorg. NPA2	*1453496*	*4898524*	*246*		

Tabella 2 Posizione planoaltimetrica punti di immissione e di misura

Dalla tabella si vede che la quota di fondo foro varia per i vari piezometri. In particolare alcuni fondo fori della linea di immissione risultano a quote inferiori rispetto ai fondo fori dei piezometri di misura.

La tabella 3 evidenzia in grigio, con valori negativi, i casi di quote del "fondo foro" di misura più alti del "fondo foro" dei punti di immissione della soluzione tracciante.

Immissione / *Misura*	*S2*	*S3*	*S4*	*S5*
S6	*13.8*	*-80.68*	*-47.4*	*-43.51*
S7	*79.44*	*-15.04*	*18.24*	*22.13*
F	*163.7*	*69.22*	*102.5*	*106.39*
NP3	*140.27*	*45.79*	*79.07*	*82.96*
NPA1	*131.04*	*36.56*	*69.84*	*73.73*
NPA2	*221.04*	*126.56*	*159.84*	*163.73*
Sorg. v. Romana	*91.04*	*91.04*	*91.04*	*91.04*
Sorg. NPA2	*63.04*	*63.04*	*63.04*	*63.04*

Tabella 3. Relazione tra le quote di fondo foro in punti di immissione e di misura.

1.1.4 Risultati

I risultati ottenuti per la conducibilità elettrica, la temperatura, la profondità dell'acqua in foro e le precipitazioni atmosferiche sono raccolti nell'Allegato 1. I dati sono stati elaborati anche sotto forma grafica nell'Allegato 2, in modo da poter seguire più facilmente e complessivamente le variazioni dei parametri durante il periodo interessato dall'esperienza.

In particolare si può anzitutto rilevare l'andamento della conducibilità elettrica dalla prima misura (il "bianco") del 14/03/2011 al momento immediatamente precedente (22/03/2011) l'immissione della soluzione "tracciante" nel piezometro S5 assunto come "riferimento". Si nota una variazione "naturale" di circa 50 μS/cm, tutta da attribuire agli eventi meteo (pioggia) in questo periodo (14-22 marzo), dovuta alla variazione della mineralizzazione (cioè dei sali disciolti in acqua).

L'effetto degli eventi meteo risulta specifico da piezometro a piezometro, ovviamente.

Esaminando i risultati rappresentati nell'Allegato 2 in riguardo alle varie direzioni geografiche, attorno alla linea EST-OVEST dei punti di immissione della soluzione "tracciante" (vedere planimetria Allegato 3), si possono fare diverse considerazioni, tra le quali le seguenti:

- **Per la direzione SE (S6-S7-Sorgente Via Romana)**
  Si è in un settore geologicamente di contatto tra dolomie e quarziti. I valori di conducibilità elettrica risentono esclusivamente degli eventi meteo (vedi in parallelo S6 e sorgente v. romana) e dopo le immissioni si mantengono relativamente costanti.
  È solo la temperatura dell'acqua in "S5, S6 e Sorgente Via Romana" a presentare alcune variazioni, da imputare a eventi meteo ma non al tracciante.

- **Per la direzione SW (NPA1-NPA2-Sorgente vicino NPA2)**
  Si è in u settore geologicamente caratterizzato dall'affioramento di dolomie.
  La "reazione" del sistema idrogeologico alle precipitazioni si esaurisce in breve tempo e i valori di conducibilità elettrica in NPA1 e NPA2 scendono vicino al "bianco" ambientale. Dal 24/03 al 29/03 si notano due modeste variazioni nella conducibilità elettrica, mentre la temperatura resta pressoché costante.
  La Sorgente vicino NPA2 presenta valori costanti di conducibilità elettrica, mentre si hanno alcune variazioni della temperatura, da attribuire alle precipitazioni atmosferiche.

- **Per la direzione verticale (NPA1-NP3-F)**
  Si è sempre in un settore caratterizzato dall'affioramento di dolomie.
  Anche in questo caso di drenaggio "verticale", appare significativo il foro piezometrico NPA1: l'andamento della conducibilità elettrica sente l'effetto

delle precipitazioni. L'andamento della temperatura nel corso dell'esperienza in NPA1 non mostra variazioni significative, confermando la pertinenza di queste postazioni ad una parte piuttosto profonda dell'idrostruttura.

Il foro piezometrico F mostra una reazione rapida agli eventi meteo (come NPA1) senza successive variazioni di conducibilità elettrica nel tempo.

Il foro NP3 risente delle precipitazioni e la temperatura ha un andamento simile a F.

Appare quindi piuttosto evidente che alcuni piezometri (NPA1-NPA2-F) presentano una risposta agli eventi meteo più rapida di altri; indice di un maggior flusso dell'idrostruttura che interessa questi piezometri.

Si osserva però anche qualche differenza tra NPA1 e NPA2 rispetto a F: le oscillazioni del 24/03 e del 29/03 che si vedono per NPA1 e NPA2 non sono presenti in F.

Si tenga conto che i primi due sono a SW rispetto al "setto" di quarziti individuato nella relazione idrogeologica, mentre F risulta a NE di questo "setto". Tale lineamento strutturale costituisce certamente un "diaframma" di diversa permeabilità che condiziona la circolazione idrica ipogea intercettata dai piezometri.

1.1.5 Valutazioni generali

Al fine di disporre di una indicazione ulteriore a chiarire le cause delle oscillazioni riscontrate nell'andamento della conducibilità elettrica, e quindi per rendere più interpretabili i risultati dell'esperienza condotta, si è provveduto a determinare analiticamente le concentrazioni di cloruri in alcuni campioni di acque.

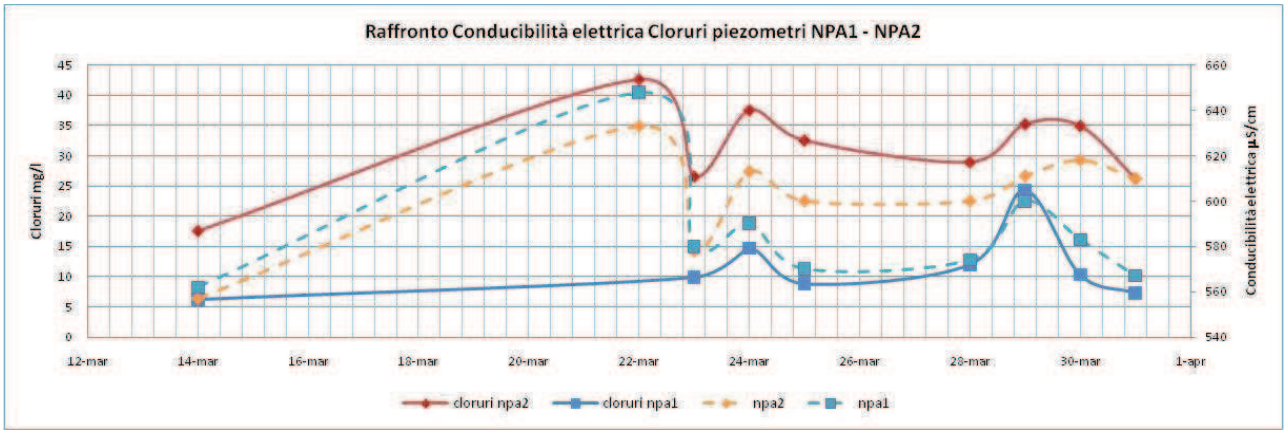


Figura 1 Variazione della concentrazione di Cloruri e della Conducibilità elettrica nei campioni relativi a NPA1 NPA2

L'esame del grafico indica che i cloruri sono ben correlati alla conducibilità elettrica (vedi grafici "direzione SW NPA1 e NPA2", allegato 2).

Le misure di concentrazione di cloruri effettuate sulle acque sotterranee del sito, prima e dopo l'immissione della soluzione tracciante, sono risultate dell'ordine di 20/40 mg/l di cloruri.

Le misure di conducibilità elettrica nei piezometri studiati, sono risultate tutte comprese tra 500 e 900 μS/cm.

Come si vede tra le caratteristiche della soluzione tracciante avente conducibilità elettrica > 500 mS/cm e i valori misurati nei piezometri (500-900 μS/cm) c'è una differenza di almeno mille volte (da μS a mS) quindi il sistema idrico ipogeo dell'area studiata dipende solo agli eventi meteo e, si può dire, in misura relativamente modesta.

Le variazioni di temperatura (dipendenti anche dalla variabilità dei percorsi sotterranei) sono risultate altrettanto legate agli eventi meteo con comportamenti specifici delle acque affioranti, presso le sorgenti naturali (Sorgente Via Romana e Sorgente vicino NPA2).

1.1.6 Considerazioni generali finali

È noto che esiste una relazione diretta tra la conducibilità elettrica e la concentrazione totale dei sali sciolti in acqua naturale (specie per acque con conducibilità elettrica circa 600 μS/cm).

È noto che la conducibilità elettrica totale è la somma dei contributi delle singole conducibilità elettriche tipiche di ogni ione presente nell'acqua in base alla concentrazione di quello ione (espressa in milliequivalenti/litro).

Considerando di essere nelle condizioni stabili naturali di un sistema idrico ipogeo e riscontrando ad un certo momento una variazione della conducibilità totale, le cause di queste variazioni possono essere diverse. Tra queste:

a. Un cambiamento di temperatura;
b. Un cambiamento di concentrazione di tutti i sali;
c. Un cambiamento di concentrazione di un sale;
d. Un cambiamento della circolazione idrica in una sola parte del sistema che abbia caratteristiche chimiche diverse dal resto del sistema.

Nel caso a) si dovrebbe riscontrare una relazione diretta della conducibilità elettrica totale con la temperatura.

Nel caso b) e d) si ammette una variazione dei flussi sull'acqua sotterranea con l'arrivo di acque piovane, con percolazione e arricchimento di sali diversi da zona a zona, per effetto anche di percorsi diversi, di passaggi in frattura e/o cavità diverse.

Nel caso c), come nell'esperienza eseguita, avendo aggiunto la soluzione tracciante a base di cloruro sodico, l'andamento della conducibilità elettrica totale può essere seguito con

l'andamento della concentrazione di cloruri sciolti nell'acqua, a patto che i fattori sopra elencati non prevalgano coprendo l'influenza del parametro singolo.

L'esperienza eseguita mostra che:

a) In effetti il sistema idrico ipogeo del sito è formato da acque tra loro distinguibili dal punto di vista della composizione chimica (mineralizzazione, sali disciolti).

   S5-NP3-F con $\chi_{elettrica}$ compresa tra 800 e 850 μS/cm

   S7-Sorgente vicino NPA2 con $\chi_{elettrica}$ compresa tra 650 e 700 μS/cm

   S6-NPA1-NPA2 con $\chi_{elettrica}$ compresa tra 500 e 550 μS/cm

b) Le precipitazioni atmosferiche avvenute tra il 12 e il 21 marzo 2011 incrementano le conducibilità elettriche totali in tutte le postazioni (in modo diverso da postazione a postazione); le più sensibili risultano F-NPA1-NPA2;

c) I due affioramenti naturali e cioè le due sorgenti, una (Via Romana) a Sud Est e una (Sorgente NPA2) a Sud Ovest variano invece in temperatura.

1.1.7 Conclusioni

In linea generale consideriamo che:

1. La sensibilità del sistema idrogeologico locale, rispetto al sistema tracciante impiegato, è risultata valida; infatti la variazione della conducibilità elettrica, segue bene la variazione di concentrazione in cloruri.
2. Le direzioni di drenaggio indicate nella relazione idrogeologica generale trovano riscontro nei grafici di variazione della conducibilità elettrica e della temperatura nel tempo; questi risultano infatti coerenti tra fori piezometrici afferenti alle varie linee di drenaggio.
3. Le variazioni di conducibilità elettrica specifica per settori circostanti il sito (fori piezometrici scelti) hanno mostrato che il sistema idrico locale è praticamente del tutto dipendente dagli eventi meteo.
4. Le variazioni di temperatura hanno confermato le misure di conducibilità mostranti relazioni con gli eventi meteo.
5. Gli effetti "naturali" delle diverse circolazioni idriche sotterranee sulla mineralizzazione e sulla temperatura si riscontrano dai grafici dell'Allegato 2 nel periodo 12/03/2011 – 20/03/2011, con un generale graduale aumento di conducibilità elettrica specifica legato al cammino delle acque nel sottosuolo.

6. Con l'immissione della soluzione "tracciante" (22/03/2011) e senza apporto contemporaneo di precipitazioni si nota una generale diminuzione di conducibilità elettrica (circa 7%) (non un aumento, come ci si aspetterebbe se ci fosse solo effetto da parte della soluzione "tracciante" con tutti gli altri parametri tenuti costanti), specie nelle postazioni NPA1-NPA2-F, che sono quelle che reagiscono più rapidamente.
7. Va ribadito che è più vistosa in generale la variazione della temperatura che quella della conducibilità elettrica. Quest'ultima oltretutto non vede aumentare il valore complessivo con l'aggiunta della soluzione tracciante (vedere a titolo di esempio l'andamento della temperatura rispetto all'andamento della χ_{sp} per Sorgente Via Romana-S6 e S7-Sorgente vicino NPA2)

Anche l'andamento della temperatura nel quadro complessivo indica delle singolarità di circolazione idrica sotterranea, che distinguono le acque affioranti alle due sorgenti (Sorgente Via Romana e Sorgente vicino NPA2) dalle postazioni F-NP3-S6.

In definitiva:

- La circolazione idrica sotterranea del sito non è influenzata dall'immissione di tracciante, escludendo consistenti motivi di preoccupazione sulla vulnerabilità dell'acquifero.
- Le variazioni di temperatura e di conducibilità elettrica notate nel corso dell'indagine nei diversi piezometri hanno confermato la precipua influenza degli eventi meteo sui flussi sotterranei.
- Il monitoraggio futuro potrà valersi dei fori piezometrici impiegati in quanto si è verificata la reazione del sistema naturale alle variazioni del drenaggio ipogeo, dovuto alle precipitazioni.
- Il programma di monitoraggio e controllo proposto pare quindi efficace nella intercettazione della idrostruttura che, potenzialmente, possa essere interessata da un evento di contaminazione.

1.1.8 Schema sintetico

Quadro dell'andamento dei parametri misurati nel corso dell'esperienza con soluzione tracciante (22/3 - 8/4 2011)

DIREZIONE SE	Piezometro S6	Piezometro S7	Sorgente via antica romana
Conducibilità elettrica [μs/cm]	650-700	650-700	600-650
Tmperatura[C°]	12 ~ cost	12.5 ~ cost	~ 11
DIREZIONE SW	NPA1	NPA2	Sorgente NPA2
Conducibilità elettrica [μs/cm]	550-570	~ 600	650-700
Tmperatura[C°]	13 ~ cost	16 ~ cost	13-15
DIREZIONE VERTICALE	NPA1	NP3	F
Conducibilità elettrica [μs/cm]	550-570	~ 800	~ 820
Tmperatura[C°]	13 ~ cost	15 ~ cost	12.5 ~ cost

L'Immissione della soluzione tracciante (22/3/2011) è avvenuta dopo il periodo di pioggia 12/3 – 20/3, cioè dopo 2 giorni di assenza di piogge.

Un altro evento di pioggia (27/3 – 28/3) mostra chiaramente l'effetto meteo sulla conducibilità elettrica delle acque sotterranee.

Si notano tre tipi di acque sotterranee:

1. tipo caratterizzato da $\chi_{\text{elettrica specifica}}$ ~ 800-820 μs/cm (F NP3);
2. tipo caratterizzato da $\chi_{\text{elettrica specifica}}$ ~ 650-700 μs/cm (S6 S7 SORGENTE NPA2);
3. tipo caratterizzato da $\chi_{\text{elettrica specifica}}$ ~ 550-600 μs/cm (NPA1 S5 SORG. V. ROMANA);

ALLEGATI

All 1. Dati raccolti su temperatura, conducibilità elettrica, pres. acqua profondità nei fori piezometrici di monitoraggio, precipitazione atmosferiche (12/03/2011-31/03/2011).

All.2. Rappresentazione grafica allegati 1

All.3. Planimetria del sito con indicazione delle postazioni di immissione e di misura.

STRUMENTO di MISURA

Scheda	
Rif.	HAN-HI98360
Tipo di apparecchio	Multiparametro
Utilizzo	Portatile
Range di misura conduttività	0.00 µS/cm...500.0 mS/cm
Precisione conduttività	± 0.5 %
Range TDS	0.00 mg/L...400.0 g/L
Precisione TDS	± 0.5 %
Range di misura salinità	0.0...400.0 %
Precisione salità	± 0.5 %
Range di temp. (°C)	-10...120
Precisione temp. (°C)	± 0.4
Temperatura di riferimento	20°C o 25°C
Compensazione della temperatura	Automatico
Memoria	250 misuri
Collegamento PC	RS 232
Alimentazione	4 x Batterie 1.5 V tipo AA
Dimensioni esterne (L x H x P) mm	80 x 196 x 60
Peso (g)	500



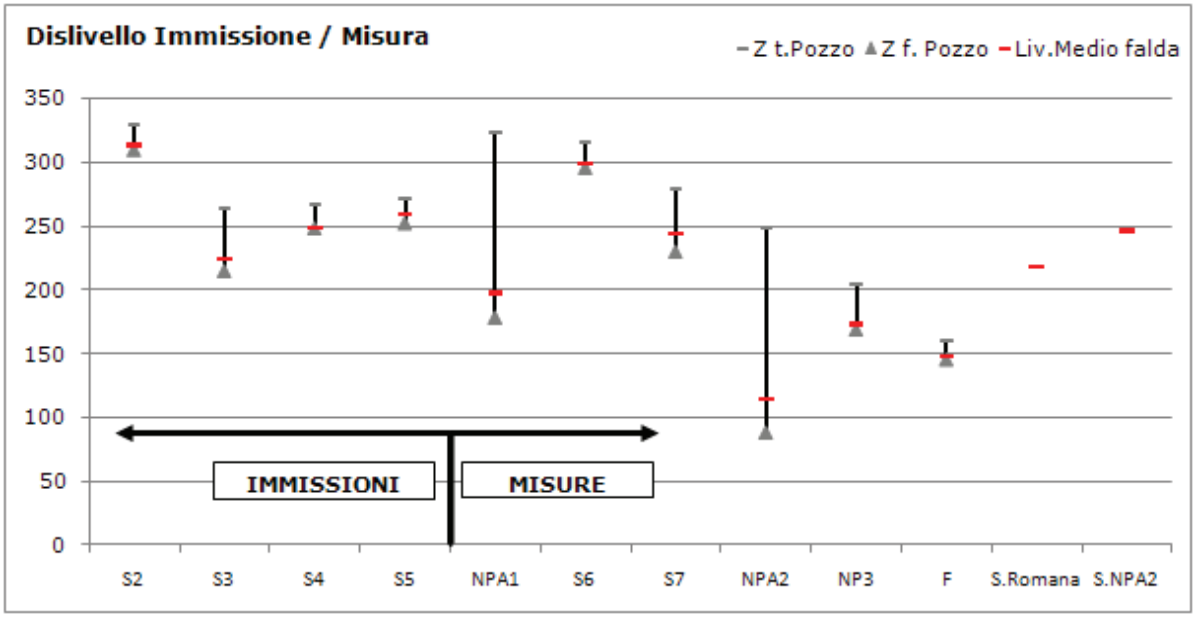
HAN-HI98360

All 1. Dati raccolti su temperatura, conducibilità elettrica, pres. acqua profondità nei fori piezometrici di monitoraggio, precipitazione atmosferiche (12/03/2011-31/03/2011).

PIEZOMETRO NPA1

Differenze quote da linee immissione [m]			
S2	S3	S4	S5
131,04	36,56	69,84	73,73

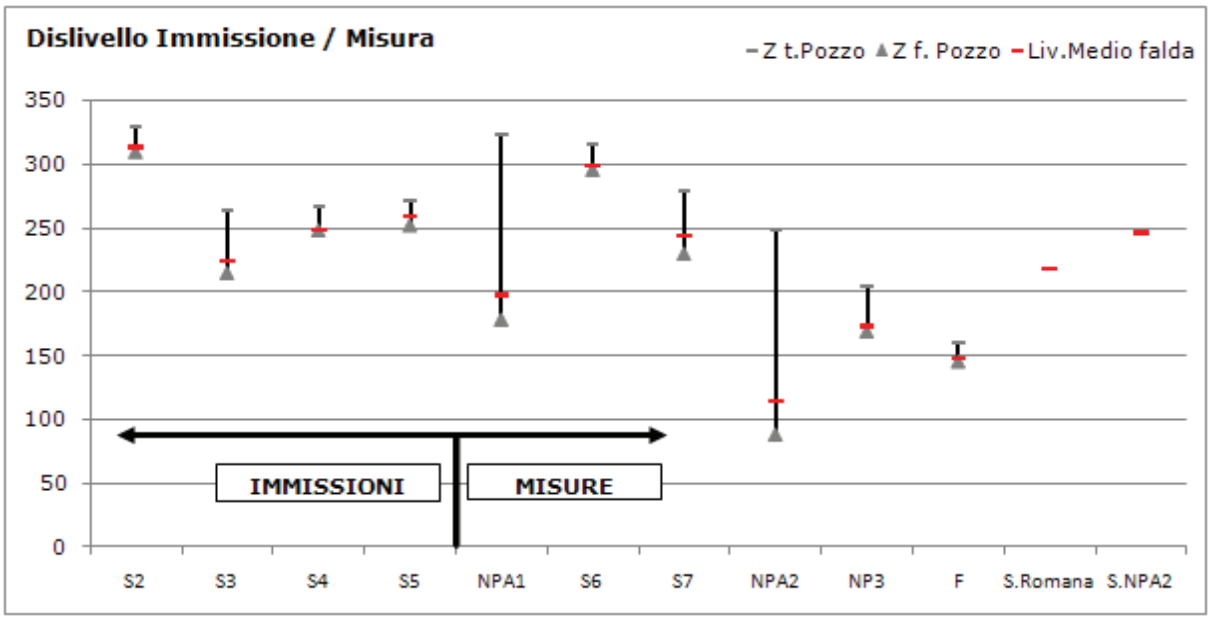
Data	Temperatura	Conducibilità	Profondità	Precipitazione
	[°C]	[µS/cm]	[m]	[mm]
12/3				1,2
13/3				1,3
14/3	13,3	562	125,7	0,0
15/3				1,7
16/3				1,7
17/3				0,1
18/3				0,0
19/3				0,0
20/3				0,3
21/3				0,0
22/3	12,8	648		0,0
23/3	12,7	580	123,3	0,0
24/3	12,6	590	123,7	0,0
25/3	12,6	570	122,8	0,0
26/3				0,0
27/3				0,3
28/3	12,5	574	121,4	0,1
29/3	12,5	600	121,2	0,0
30/3	12,5	583	120,7	0,0
31/3	12,5	567	120,3	0,0



PIEZOMETRO NPA2

Differenze quote [m]			
S2	S3	S4	S5
221,04	126,56	159,84	163,73

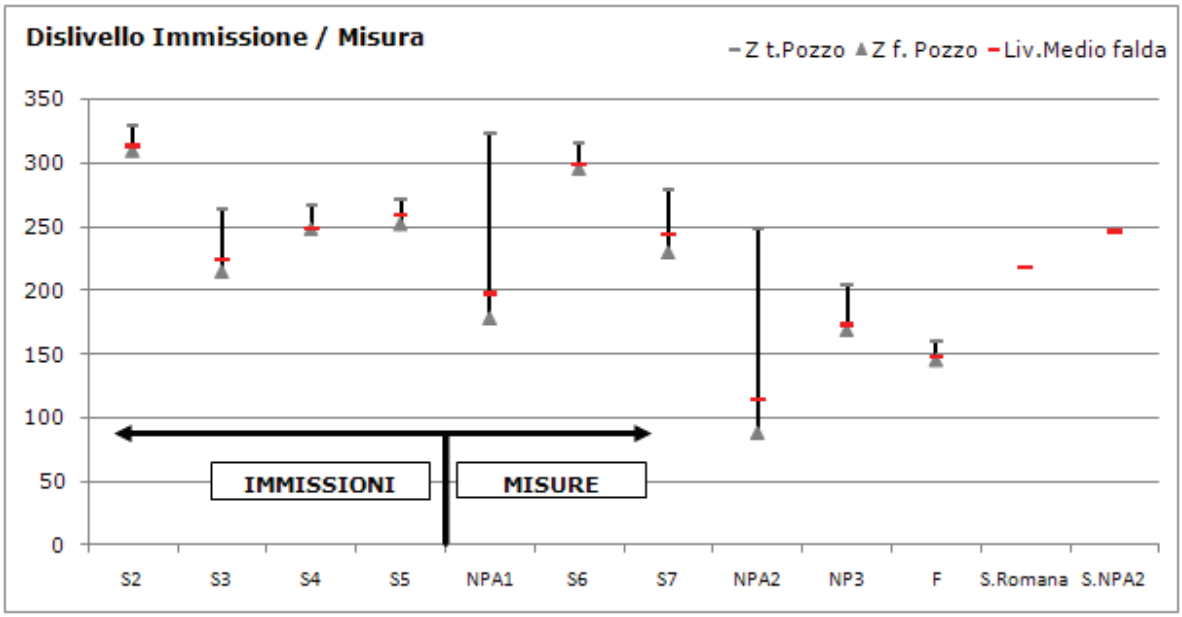
Data	Temperatura	Conducibilità	Profondità	Precipitazione
	[°C]	[µS/cm]	[m]	[mm]
12/3				1,2
13/3				1,3
14/3	16,1	557	135,1	0,0
15/3				1,7
16/3				1,7
17/3				0,1
18/3				0,0
19/3				0,0
20/3				0,3
21/3				0,0
22/3	16,2	633	134,3	0,0
23/3	16,2	578	134,5	0,0
24/3	15,9	613	134,6	0,0
25/3	16	600	134,4	0,0
26/3				0,0
27/3				0,3
28/3	15,7	600	134,2	0,1
29/3	15,7	611	134,2	0,0
30/3	15,9	618	134,2	0,0
31/3	13,8	610	133,9	0,0



PIEZOMETRO S6

Differenze quote [m]			
S2	S3	S4	S5
13,8	-80,68	-47,4	-43,51

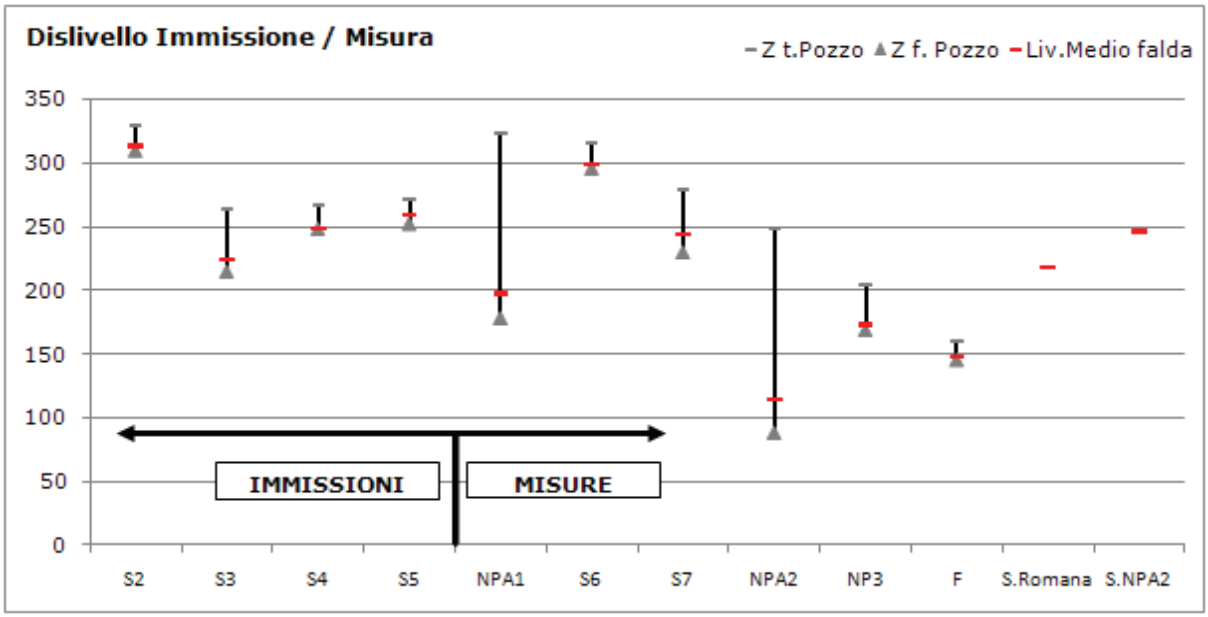
Data	Temperatura	Conducibilità	Profondità	Precipitazione
	[°C]	[µS/cm]	[m]	[mm]
12/3				1,2
13/3				1,3
14/3	11,9	492	15,6	0,0
15/3				1,7
16/3				1,7
17/3				0,1
18/3				0,0
19/3				0,0
20/3				0,3
21/3				0,0
22/3	13	658	12,2	0,0
23/3	11,8	694	12,4	0,0
24/3	12,3	690	12,5	0,0
25/3	12	686	12,7	0,0
26/3				0,0
27/3				0,3
28/3	11,9	774	13,2	0,1
29/3	11,9	689	13,3	0,0
30/3	12,3	692	13,5	0,0
31/3	12,1	681	13,7	0,0



PIEZOMETRO S7

Differenze quote [m]			
S2	S3	S4	S5
79,44	-15,04	18,24	22,13

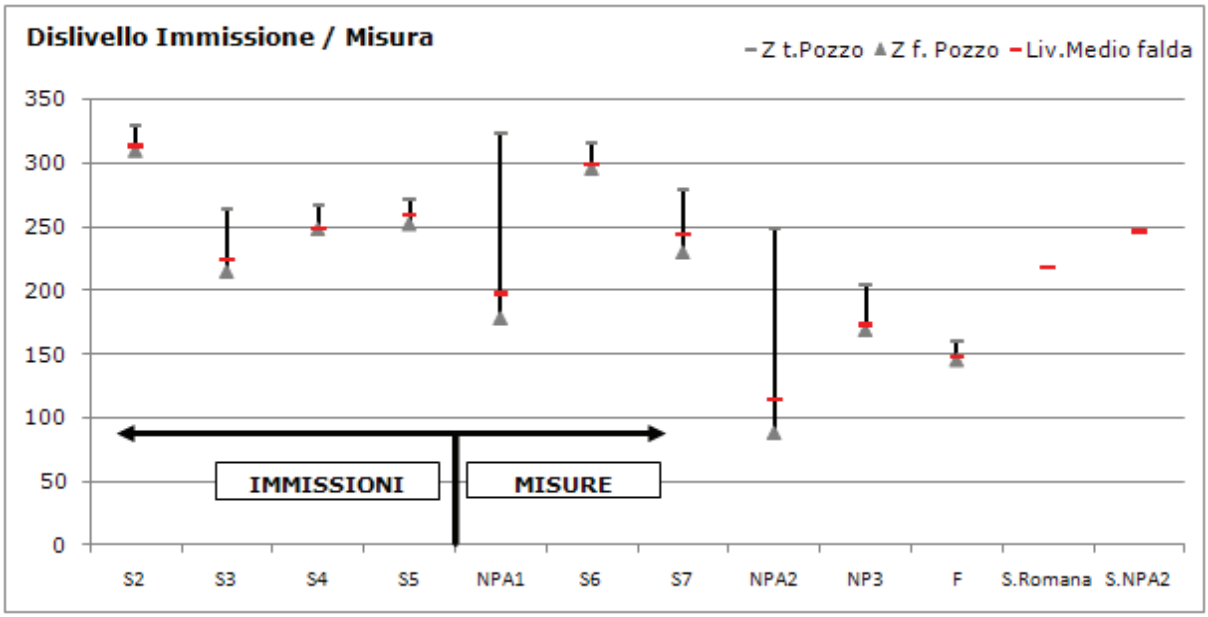
Data	Temperatura	Conducibilità	Profondità	Precipitazione
	[°C]	[µS/cm]	[m]	[mm]
12/3				1,2
13/3				1,3
14/3	12,4	652	38,4	0,0
15/3				1,7
16/3				1,7
17/3				0,1
18/3				0,0
19/3				0,0
20/3				0,3
21/3	12,7		34,4	0,0
22/3	13	688	33,7	0,0
23/3	12,6	682	33,4	0,0
24/3	12,6	694	33,0	0,0
25/3	12,5	701	33,0	0,0
26/3				0,0
27/3				0,3
28/3	12,5	686	34,2	0,1
29/3	12,6	690	34,7	0,0
30/3	12,5	670	35,2	0,0
31/3	12,6	665	35,1	0,0



PIEZOMETRO F

Differenze quote [m]			
S2	S3	S4	S5
163,7	69,22	102,5	106,39

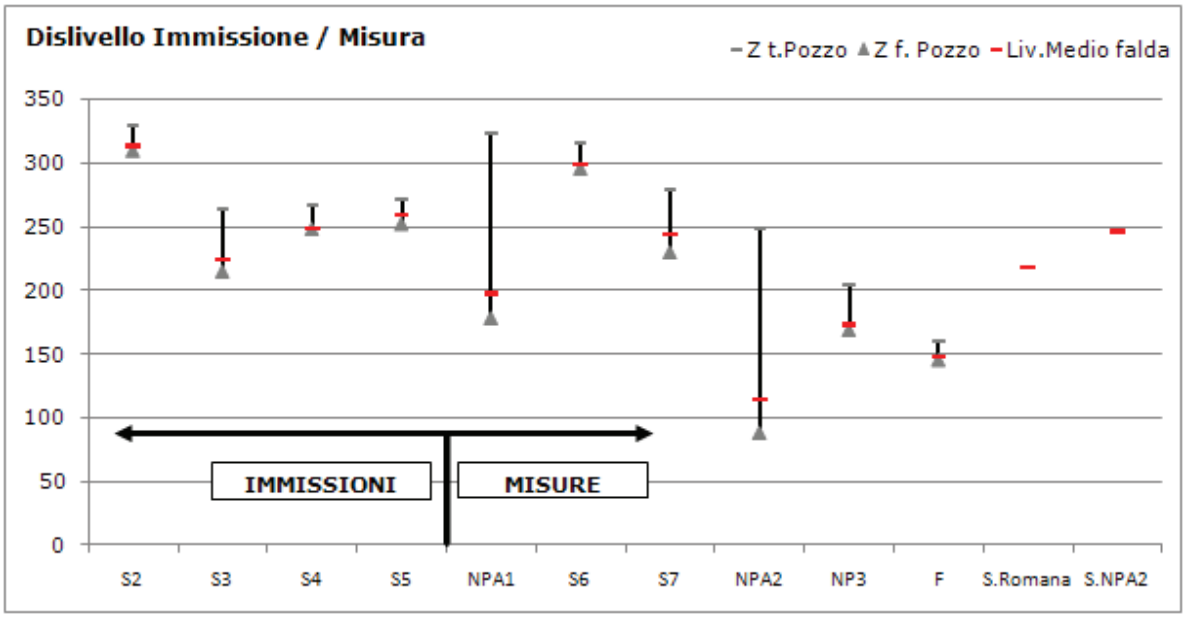
Data	Temperatura	Conducibilità	Profondità	Precipitazione
	[°C]	[µS/cm]	[m]	[mm]
12/3				1,2
13/3				1,3
14/3	14	824	9,8	0,0
15/3				1,7
16/3				1,7
17/3				0,1
18/3				0,0
19/3				0,0
20/3				0,3
21/3				0,0
22/3	13,3	893	6,4	0,0
23/3	12,5	823	6,4	0,0
24/3	12,6	820	6,4	0,0
25/3	12,7	820	6,4	0,0
26/3				0,0
27/3				0,3
28/3	12,4	825	6,5	0,1
29/3	12,7	820	6,5	0,0
30/3	12,7	820	6,6	0,0
31/3	12,7	823	6,6	0,0



SORGENTE NPA2

Differenze quote [m]			
S2	S3	S4	S5
63,04	63,04	63,04	63,04

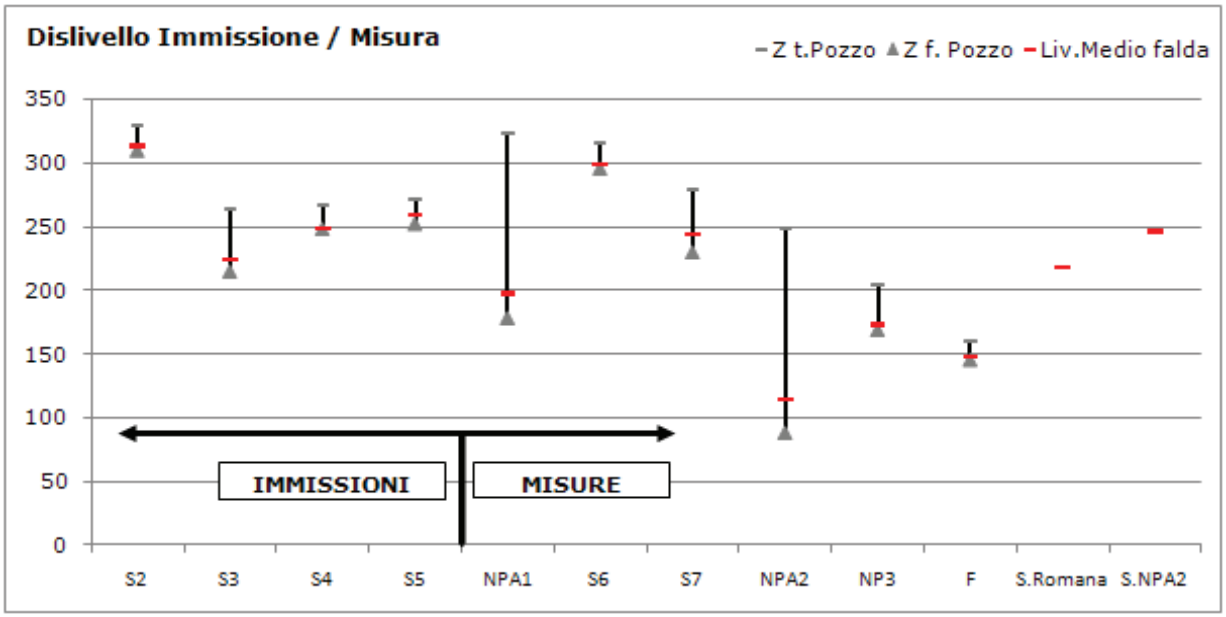
Data	Temperatura	Conducibilità	Profondità	Precipitazione
	[°C]	[µS/cm]	[m]	[mm]
12/3				1,2
13/3				1,3
14/3	11,9	692		0,0
15/3				1,7
16/3				1,7
17/3				0,1
18/3				0,0
19/3				0,0
20/3				0,3
21/3				0,0
22/3	14,7	712		0,0
23/3	15,6	718		0,0
24/3	15,8	721		0,0
25/3	14	720		0,0
26/3				0,0
27/3				0,3
28/3	12,6	737		0,1
29/3	12,4	730		0,0
30/3	13	730		0,0
31/3	13,7	728		0,0



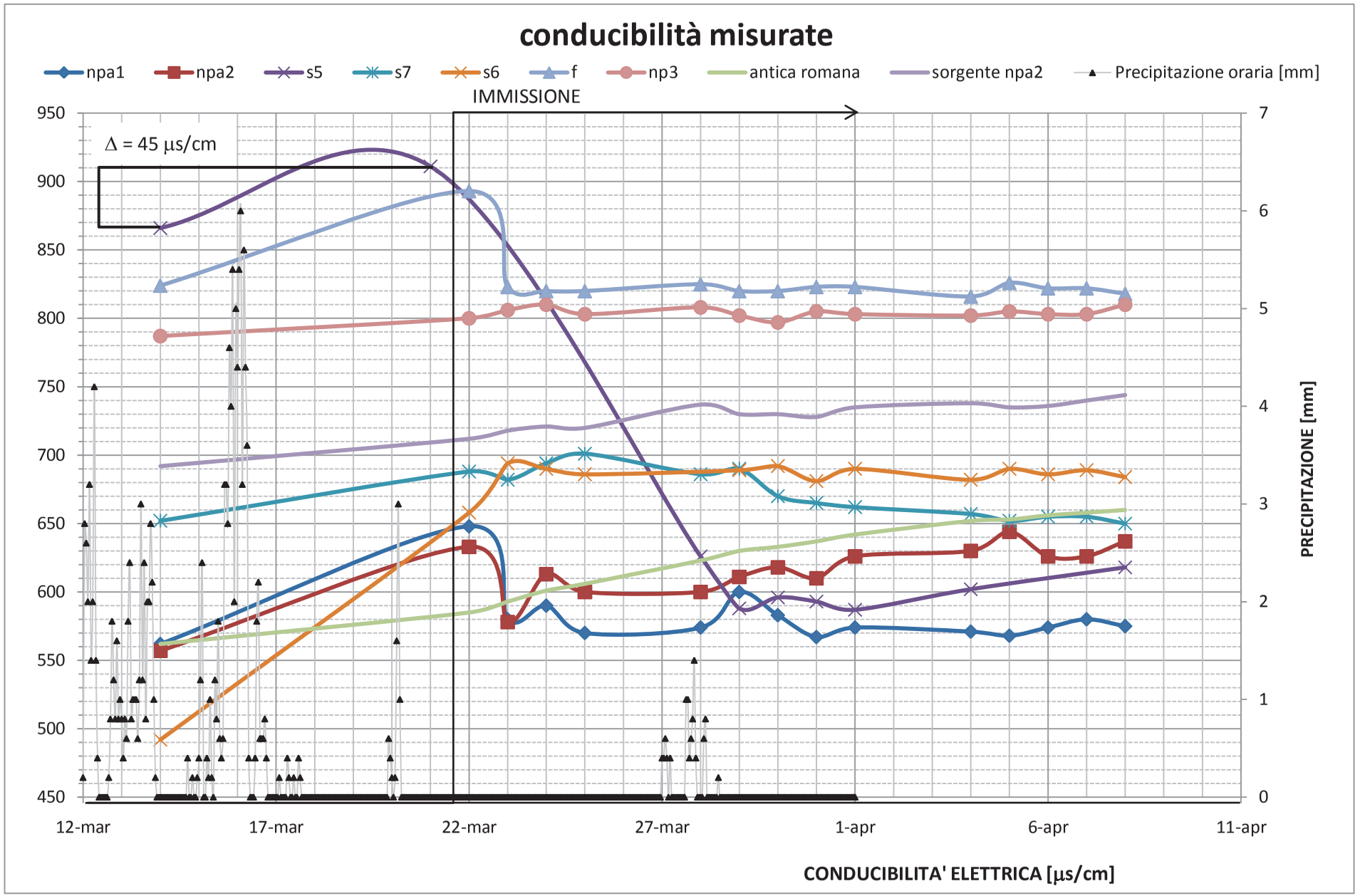
SORGENTE ANTICA ROMANA

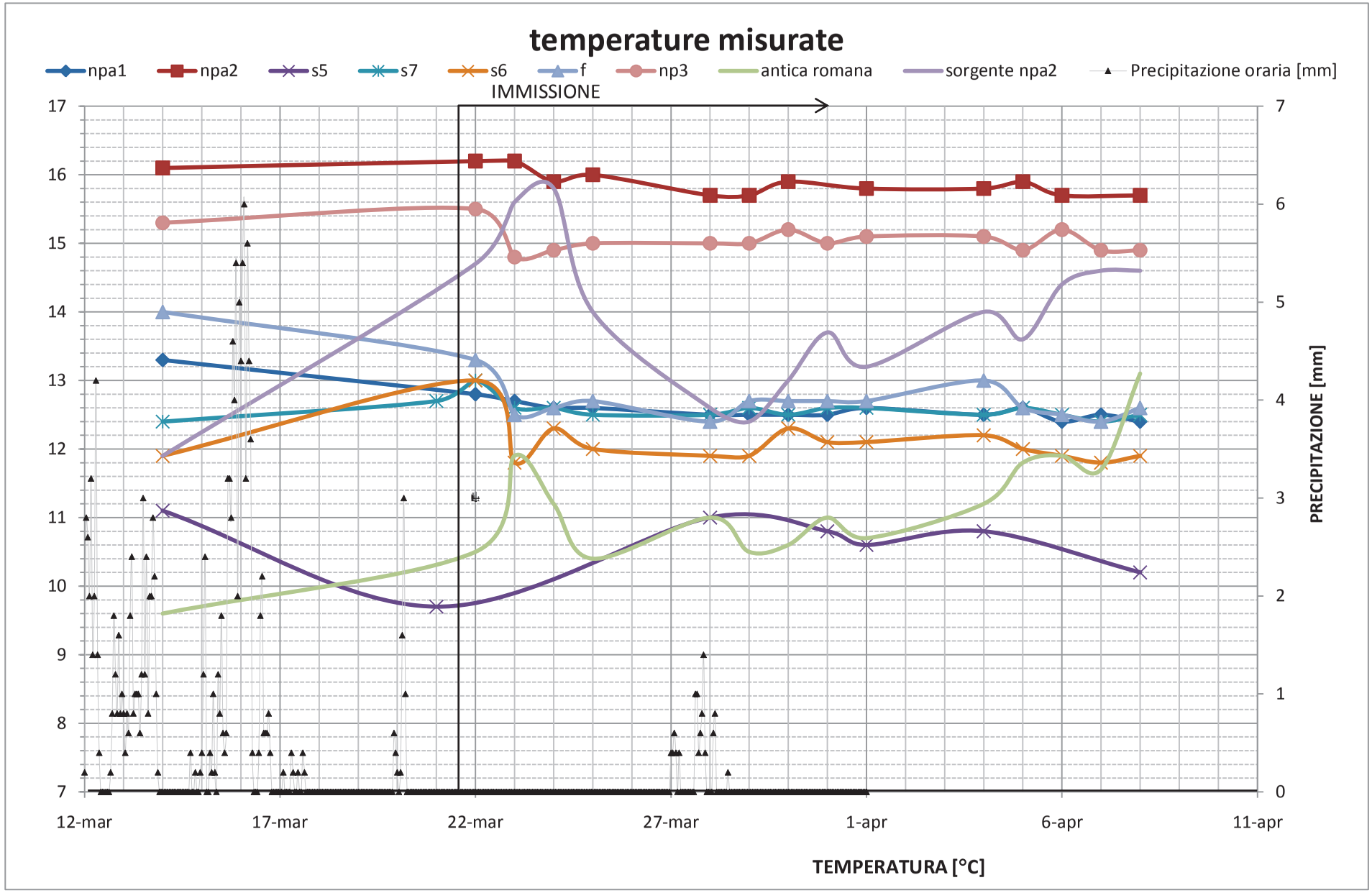
Differenze quote [m]			
S2	S3	S4	S5
91,04	91,04	91,04	91,04

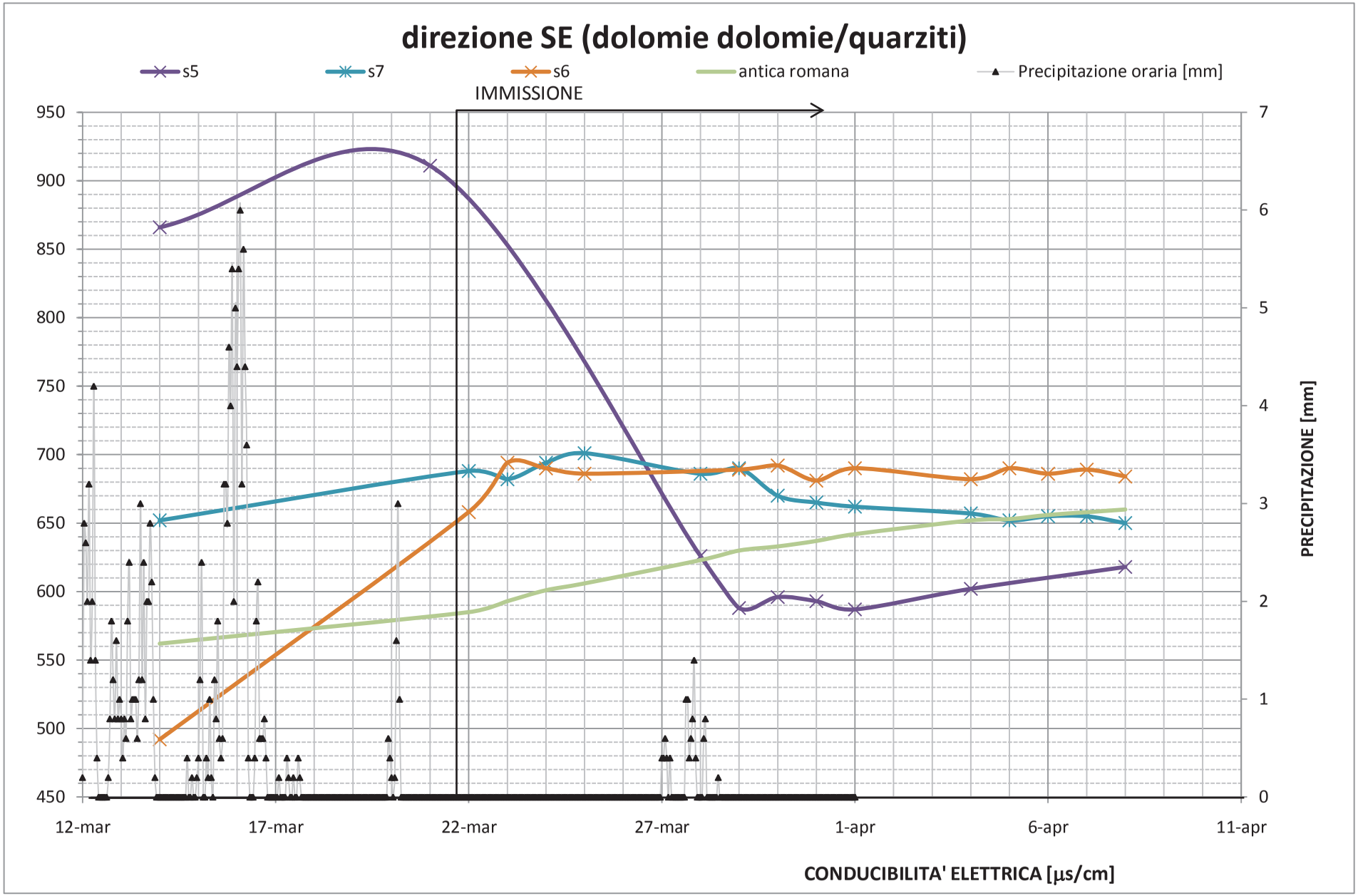
Data	Temperatura	Conducibilità	Profondità	Precipitazione
	[°C]	[µS/cm]	[m]	[mm]
12/3				1,2
13/3				1,3
14/3	9,6	562		0,0
15/3				1,7
16/3				1,7
17/3				0,1
18/3				0,0
19/3				0,0
20/3				0,3
21/3				0,0
22/3	10,5	585		0,0
23/3	11,9	593		0,0
24/3	11,2	601		0,0
25/3	10,4	606		0,0
26/3				0,0
27/3				0,3
28/3	11	623		0,1
29/3	10,5	630		0,0
30/3	10,6	633		0,0
31/3	11	637		0,0

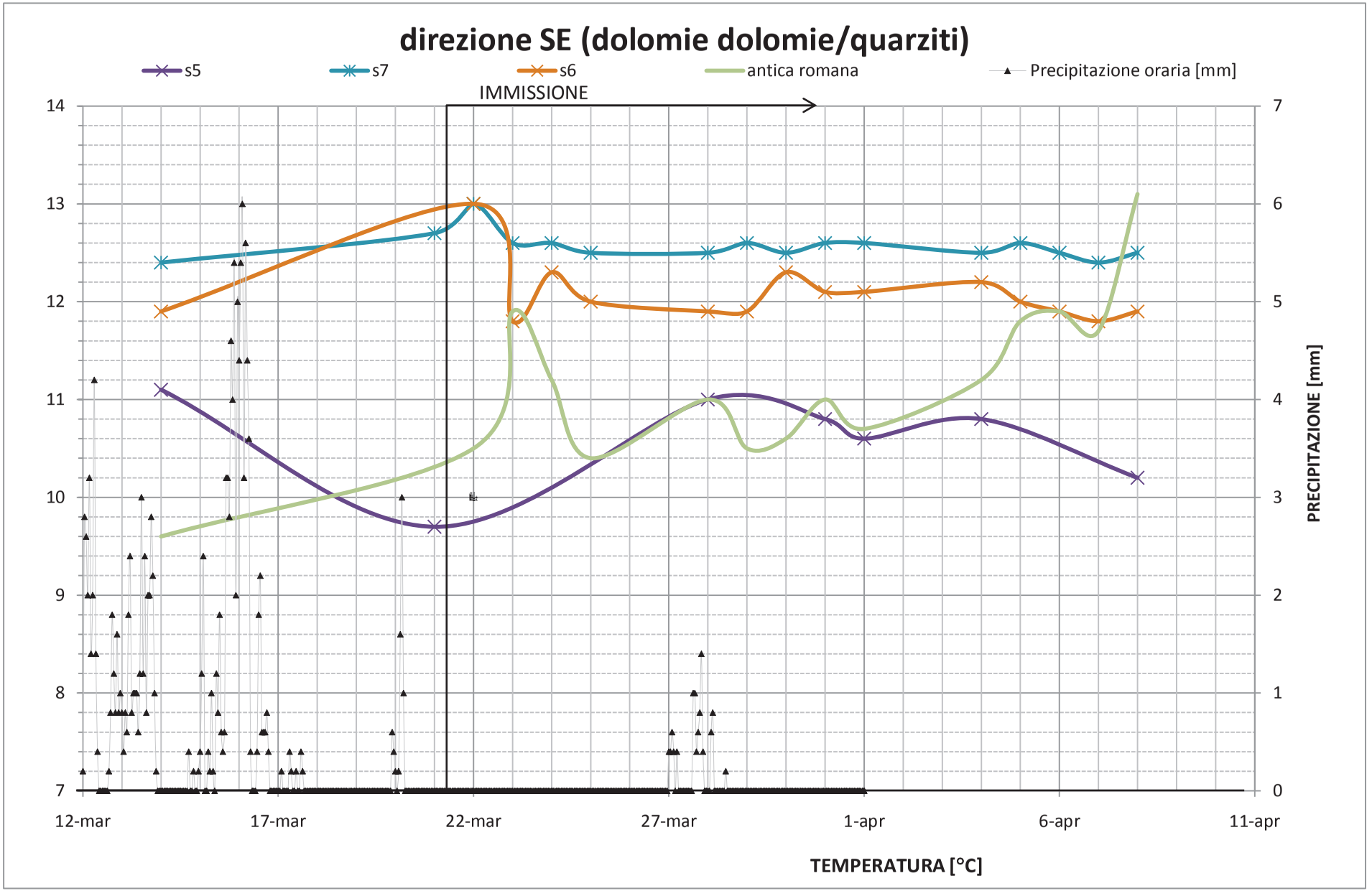


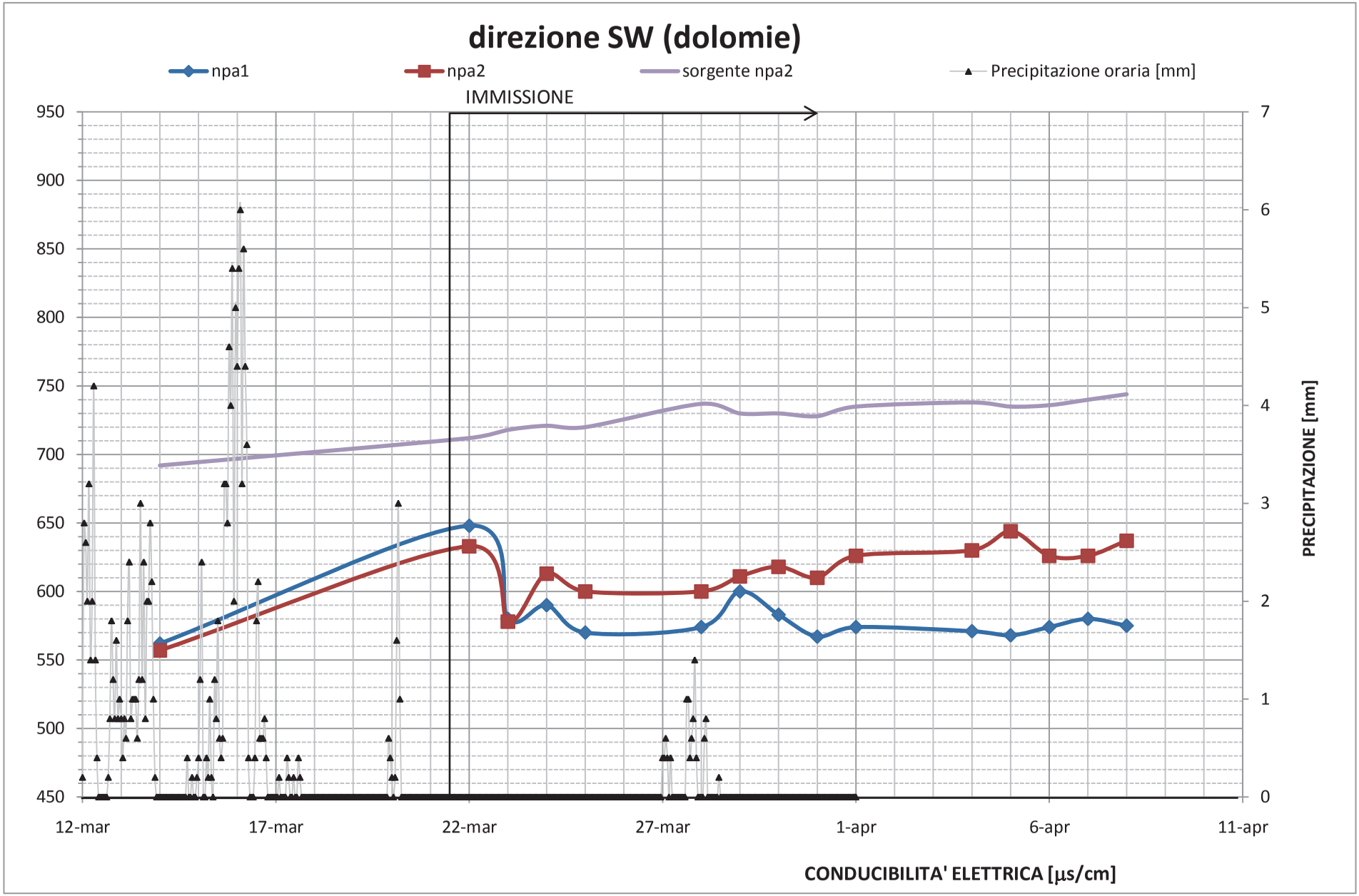
All.2. Rappresentazione grafica allegati 1

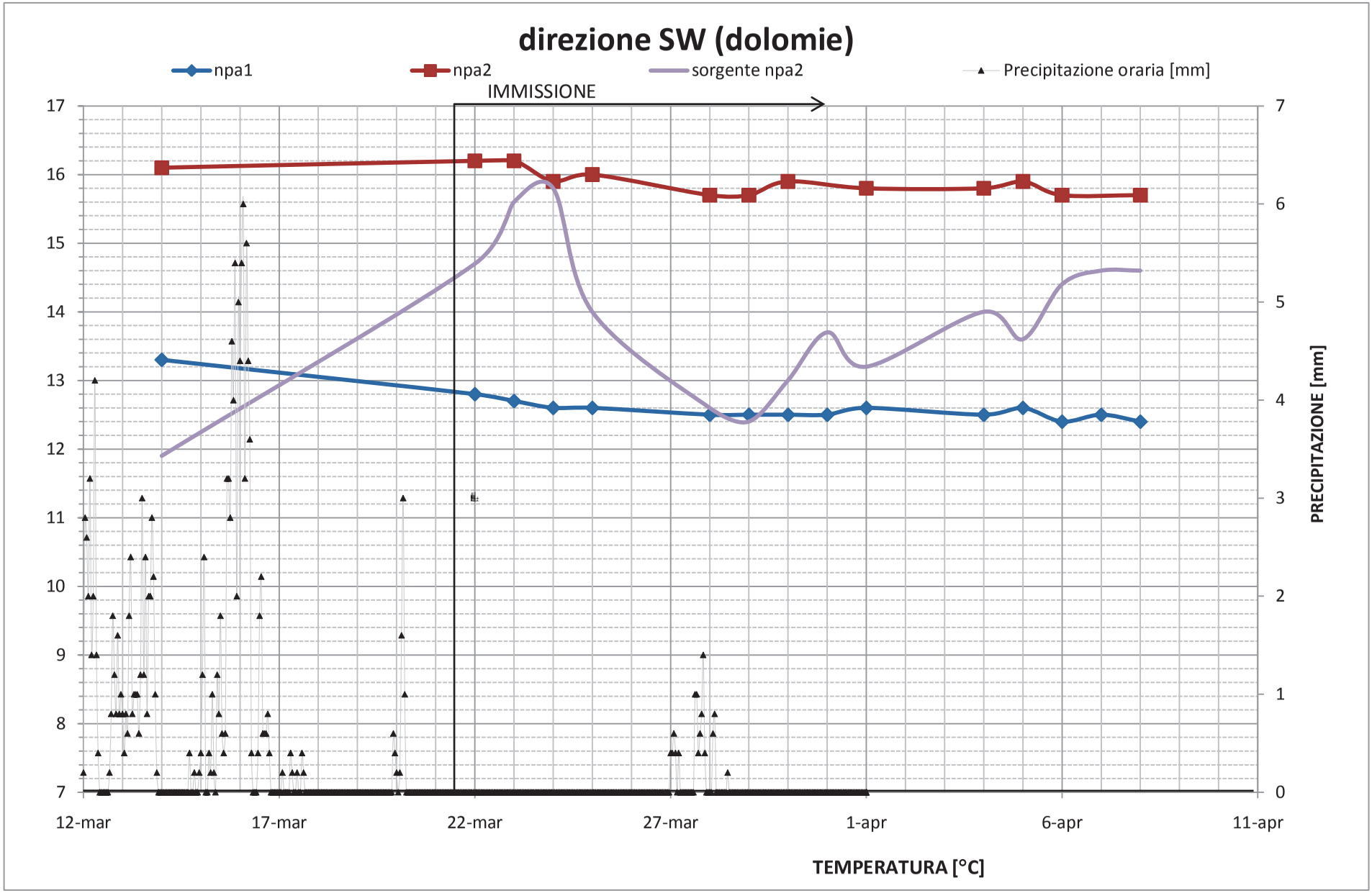

conducibilità misurate
npa1
npa2
s5
s7
s6
f
np3
antica romana
sorgente npa2
Precipitazione oraria [mm]
IMMISSIONE
Δ = 45 µs/cm
950
900
850
800
750
700
650
600
550
500
450
7
6
5
4
3
2
1
0
PRECIPITAZIONE [mm]
12-mar
17-mar
22-mar
27-mar
1-apr
6-apr
11-apr
CONDUCIBILITA' ELETTRICA [µs/cm]

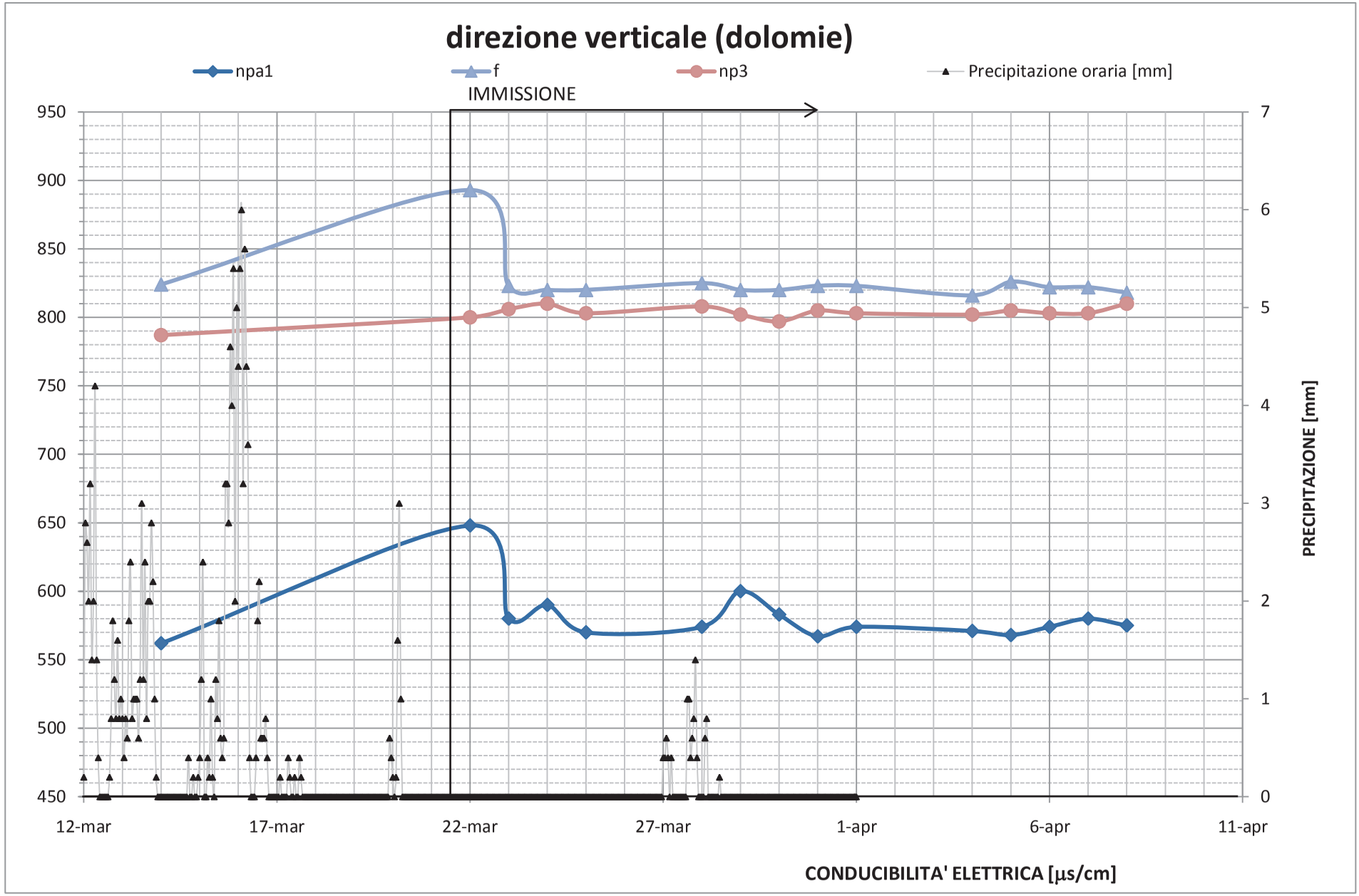

temperature misurate
npa1
npa2
s5
s7
s6
f
np3
antica romana
sorgente npa2
Precipitazione oraria [mm]
IMMISSIONE
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
7
6
5
4
3
2
1
0
PRECIPITAZIONE [mm]
12-mar
17-mar
22-mar
27-mar
1-apr
6-apr
11-apr
TEMPERATURA [°C]

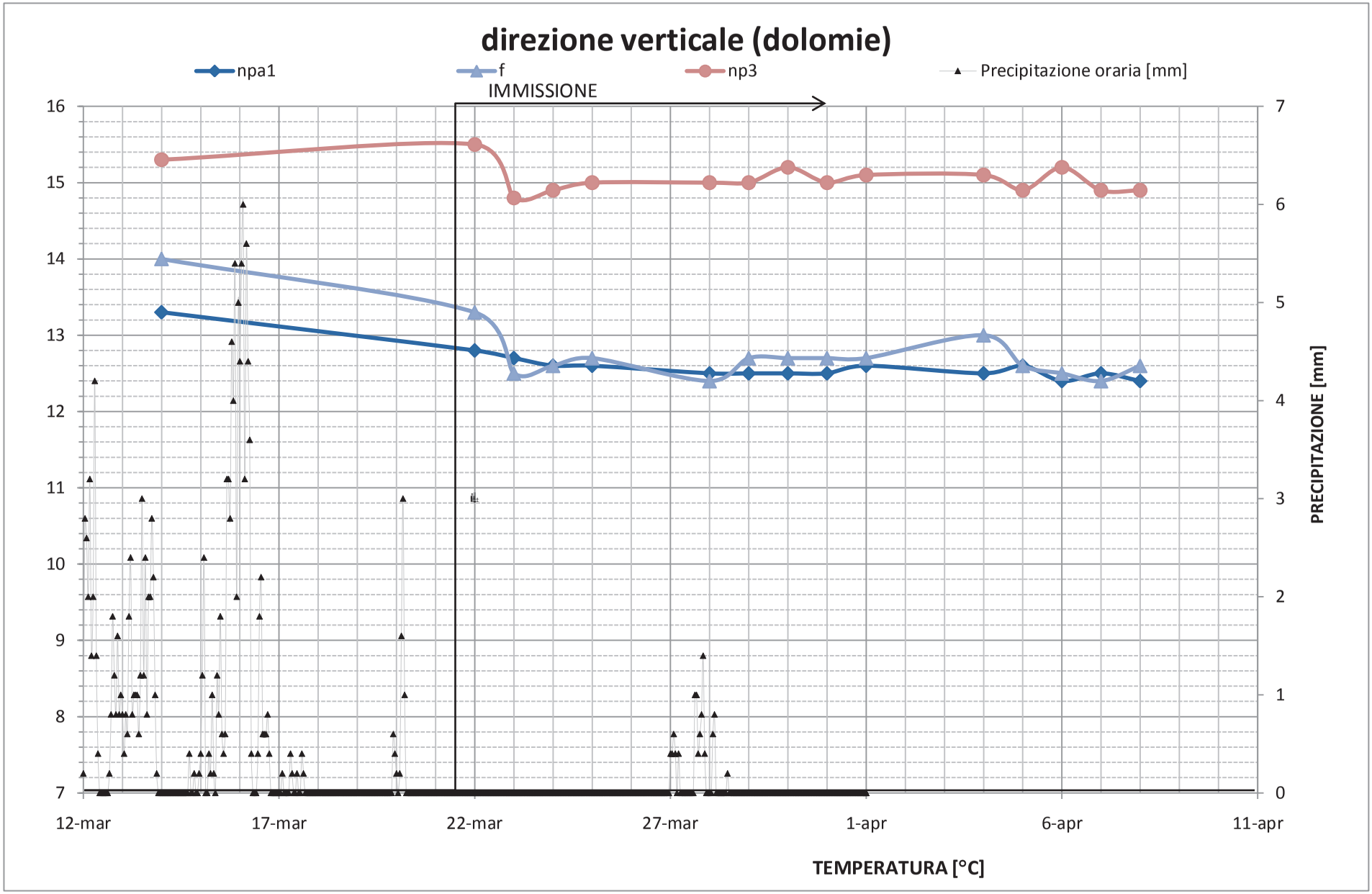

direzione SE (dolomie dolomie/quarziti)
s5
s7
s6
antica romana
Precipitazione oraria [mm]
IMMISSIONE
950
900
850
800
750
700
650
600
550
500
450
7
6
5
4
3
2
1
0
PRECIPITAZIONE [mm]
12-mar
17-mar
22-mar
27-mar
1-apr
6-apr
11-apr
CONDUCIBILITA' ELETTRICA [µs/cm]

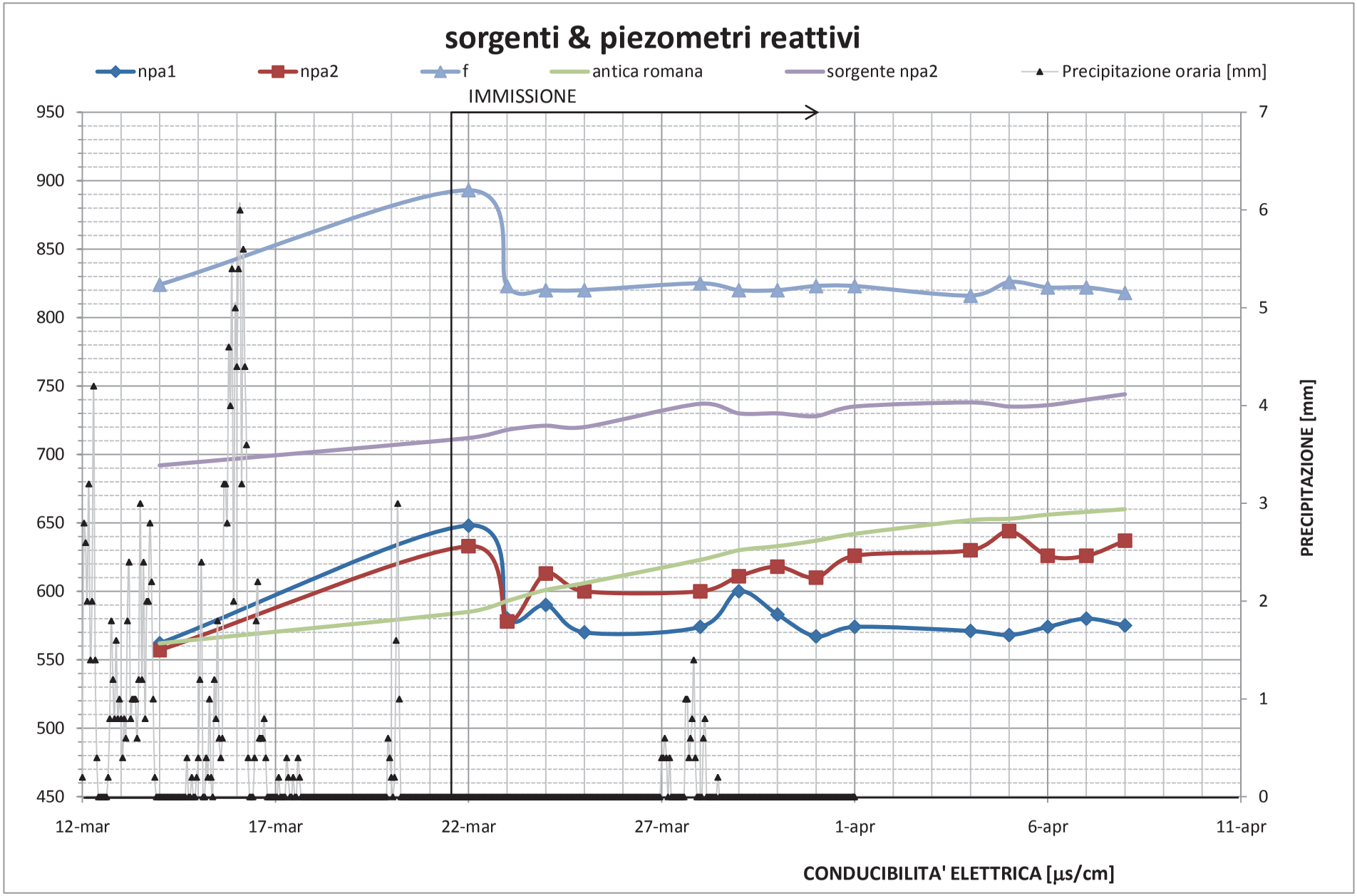

direzione SE (dolomie dolomie/quarziti)
s5
s7
s6
antica romana
Precipitazione oraria [mm]
IMMISSIONE
14
13
12
11
10
9
8
7
7
6
5
4
3
2
1
0
PRECIPITAZIONE [mm]
12-mar
17-mar
22-mar
27-mar
1-apr
6-apr
11-apr
TEMPERATURA [°C]

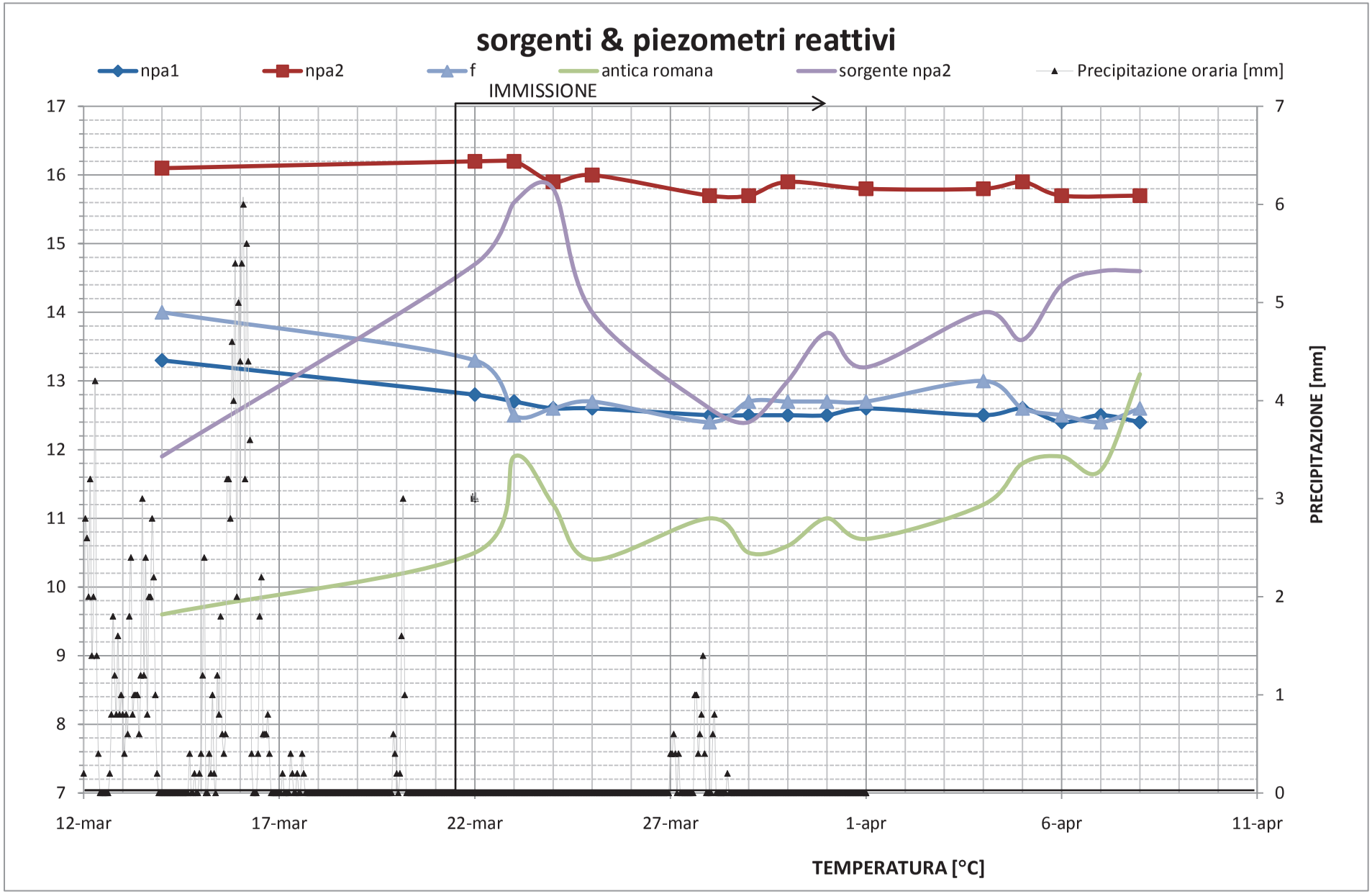

direzione SW (dolomie)
npa1
npa2
sorgente npa2
Precipitazione oraria [mm]
IMMISSIONE
950
900
850
800
750
700
650
600
550
500
450
7
6
5
4
3
2
1
0
PRECIPITAZIONE [mm]
12-mar
17-mar
22-mar
27-mar
1-apr
6-apr
11-apr
CONDUCIBILITA' ELETTRICA [µs/cm]


direzione SW (dolomie)
npa1
npa2
sorgente npa2
Precipitazione oraria [mm]
IMMISSIONE
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
7
6
5
4
3
2
1
0
PRECIPITAZIONE [mm]
12-mar
17-mar
22-mar
27-mar
1-apr
6-apr
11-apr
TEMPERATURA [°C]

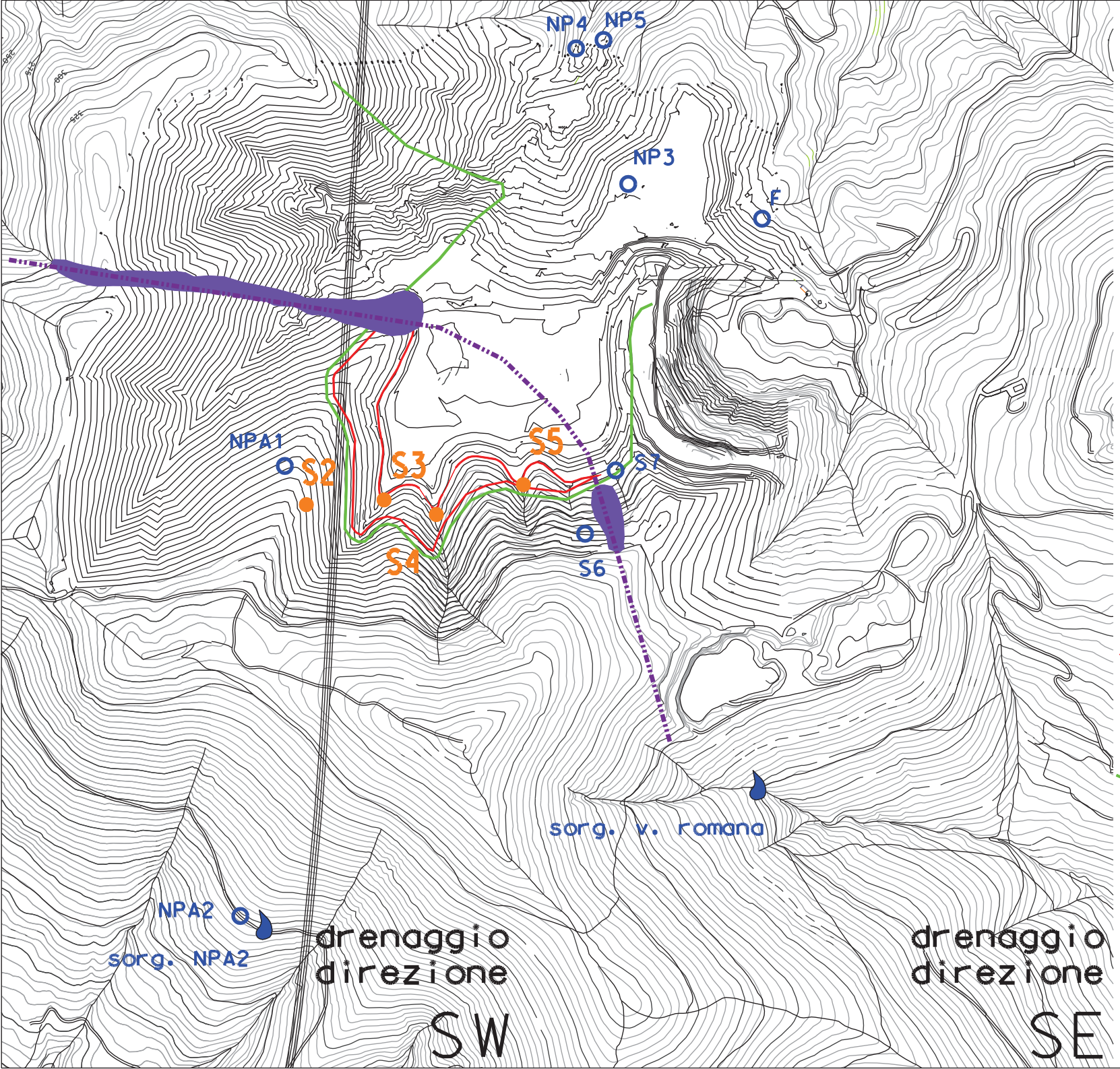

direzione verticale (dolomie)
npa1
f
np3
Precipitazione oraria [mm]
IMMISSIONE
950
900
850
800
750
700
650
600
550
500
450
7
6
5
4
3
2
1
0
PRECIPITAZIONE [mm]
12-mar
17-mar
22-mar
27-mar
1-apr
6-apr
11-apr
CONDUCIBILITA' ELETTRICA [µs/cm]


direzione verticale (dolomie)
npa1
f
np3
Precipitazione oraria [mm]
IMMISSIONE
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
7
6
5
4
3
2
1
0
12-mar
17-mar
22-mar
27-mar
1-apr
6-apr
11-apr
PRECIPITAZIONE [mm]
TEMPERATURA [°C]


sorgenti & piezometri reattivi
npa1
npa2
f
antica romana
sorgente npa2
Precipitazione oraria [mm]
IMMISSIONE
950
900
850
800
750
700
650
600
550
500
450
7
6
5
4
3
2
1
0
PRECIPITAZIONE [mm]
12-mar
17-mar
22-mar
27-mar
1-apr
6-apr
11-apr
CONDUCIBILITA' ELETTRICA [µs/cm]


sorgenti & piezometri reattivi
npa1
npa2
f
antica romana
sorgente npa2
Precipitazione oraria [mm]
IMMISSIONE
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
7
6
5
4
3
2
1
0
PRECIPITAZIONE [mm]
12-mar
17-mar
22-mar
27-mar
1-apr
6-apr
11-apr
TEMPERATURA [°C]

All.3. Planimetria del sito con indicazione delle postazioni di immissione e di misura.



TRACCIAMENTO
MARZO APRILE
2011

- carta generale -

S6 Campionamenti in foro

Campionamenti da sorgente

Ampliamento a progetto

S2 Immissione tracciante

Limite area carsica

Scaglia quarzitica

-

"diaframma"

SCALA 1:5000