

tipologie di blocchi sono state riunite in litofacies. Nell'area di studio affiora la Litofacies gs, costituita da alternanze di gessi selenitici e di peliti e marne nerastre. Nelle Note Illustrative del Foglio si legge: "La successione esposta nella cava dismessa di Moncalvo, particolarmente ben affiorante e relativamente poco deformata, ha consentito di delineare un quadro soddisfacente delle successione evaporitica. La successione esaminata presenta un marcato carattere ciclico, evidenziato dalla ripetizione verticale dei livelli pelitici e dei banchi gessosi. Ogni ciclo è costituito da un intervallo terrigeno, che registra le condizioni di massima profondità del bacino e di minore salinità, e da un banco di gesso selenitico che testimonia la precipitazione del gesso da acque ipersaline. Alloro interno, gli intervalli terrigeni sono costituiti da una porzione inferiore, caratterizzata da peliti nere ricche di vegetali e contenenti talvolta resti di pesci, e da una porzione superiore, costituita da peliti finemente laminate." L'intero complesso è stato riferito all'intervallo di tempo Messiniano.

Su questi sedimenti poggiano in discordanza i sedimenti pliocenici delle Argille Azzurre (FAA9 - Membro siltoso-argilloso) di ambiente francamente marino e quelli delle Sabbie di Asti (AST1 - Membro calcarenitico e AST2 - Membro sabbioso) di ambiente marino costiero.

Nell'area sono poi presenti i depositi quaternari, anch'essi discordanti sulla sottostante successione, corrispondenti a depositi argillosi, siltosi e sabbiosi conservati in forma di lembi subpianeggianti sospesi fino ad oltre un centinaio di metri sugli attuali fondo valli, in ampie depressioni allungate ad andamento curvilineo e, talvolta, in corrispondenza a selle in contropendenza ubicate nelle fasce più elevate dei versanti (PLTb); i depositi quaternari più recenti sono rappresentati dai depositi di fondovalle (PNTb) e dai depositi di frana (UIDa1).

L'assetto geologico, così come rappresentato dalla Carta di Trino, avrebbe fatto supporre a formazioni gessose appartenenti al Complesso caotico della Valle Versa isolate tra loro e di modeste dimensioni. Lo studio condotto e i sondaggi eseguiti hanno permesso di ricostruire un modello geologico molto diverso da quello evidenziato dalla carta: si sono riscontrati infatti livelli di gesso distribuiti in banchi continui e piuttosto estesi. La corretta ricostruzione del modello geologico ha permesso dunque una diversa interpretazione del modello idrogeologico. Tale modello non prevede quindi l'esistenza di piccoli acquiferi isolati e caratterizzati da apporti idrici modesti ma una struttura acquifera molto importante ed estesa che comporta volumi idrici piuttosto significativi.

Da quanto descritto appare chiara l'importanza della **ricostruzione di un corretto modello geologico e idrogeologico** specialmente quando si prevede la realizzazione di opere in sotterraneo. Le venute idriche attese e gli impatti sul territorio sono direttamente collegate alla struttura idrogeologica che a sua volta è intimamente connessa all'assetto geologico. La corretta ricostruzione della geologia della zona in cui si intende realizzare l'opera è la base del processo che porta all'individuazione e al successivo controllo delle interferenze con l'acquifero e con l'intero territorio.

---

### 8.1.3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

---

L'area è compresa nel Monferrato settentrionale, settore collinare caratterizzato da bassa energia di rilievo (l'abitato di Moncalvo si trova a quota 305 m slm) in cui sono presenti ampie dorsali spartiacque e versanti poco acclivi che si raccordano ai fondovalle alluvionali con spessori più o meno consistenti di prodotti colluviali. Come nel caso in studio, i fondovalle risultano ampiamente sovradimensionati rispetto ai corsi d'acqua che attualmente li solcano.

L'imbocco della cava in sotterraneo è ubicato in corrispondenza al versante sinistro di un'ampia valle solcata da un rio il cui letto è largo circa 1 m e lungo circa 1,7 km, affluente di sinistra del R. Viazza (Figura 66 Stralcio della tav5-a0-acclività del Comune di Moncalvo (AT)). Per la realizzazione della cartografia è stato utilizzato un DEM con maglia 10 m x 10 m (ricavato dai dati della cartografia CTR) sul quale è stato implementato un modello topografico che ha permesso di ottenere le pendenze.

Dalla visualizzazione della carta si evince che il settore è caratterizzato da pendenze modeste, comprese tra i 5 e i 15°, valori medi riscontrabili abitualmente nelle aree di affioramento del Complesso caotico della Valle Versa e delle Argille Azzurre. Solo in prossimità della cava a cielo aperto si osservano acclività maggiori riconducibili ai fronti di scavo.

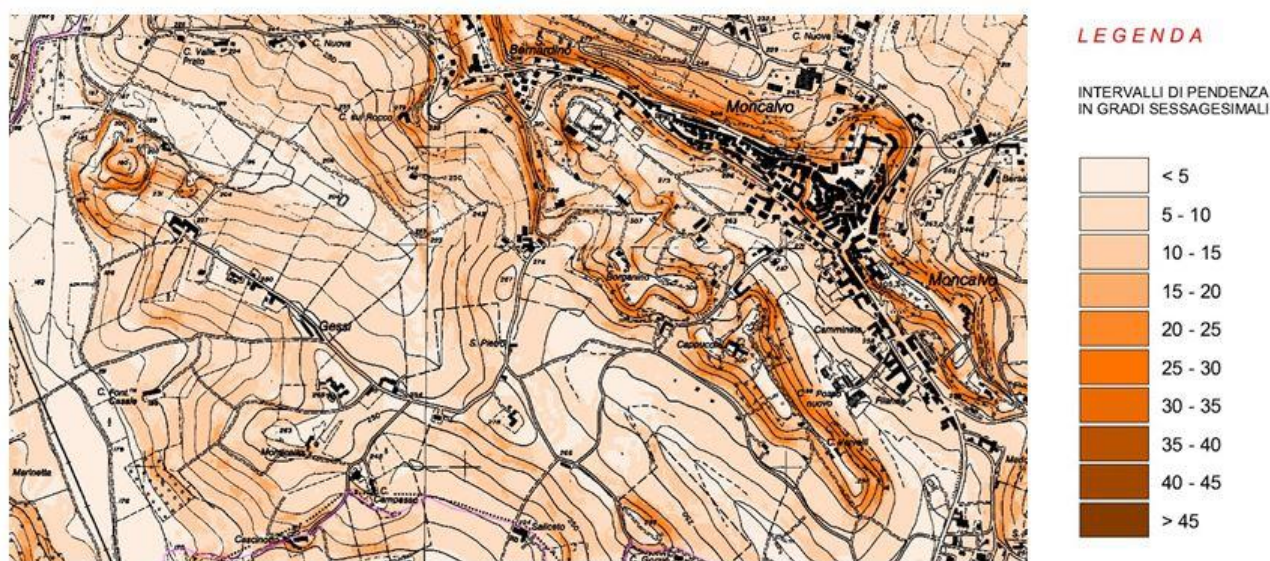


Figura 66: Stralcio della tav5-a0-acclività del Comune di Moncalvo (AT)

#### 8.1.4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Per identificare i limiti del sistema idrogeologico che alimenta l'acquifero ospitato nei gessi, è stata presa in esame un'area di 12.4 km<sup>2</sup> circostante la cava in sotterraneo di proprietà della Fassa S.p.A. (Figura 67). Nell'area, caratterizzata da una morfologia piuttosto dolce e dall'assenza di affioramenti, è stata evidenziata la presenza di sedimenti legati alla successione oligo-miocenica del Monferrato e dei depositi messiniano-pliocenici. Tali litotipi presentano valori di permeabilità relativa piuttosto differenti e sulla base delle loro caratteristiche idrogeologiche sono stati individuati una serie di complessi idrogeologici brevemente descritti di seguito (dalle serie più antiche a quelle più recenti):

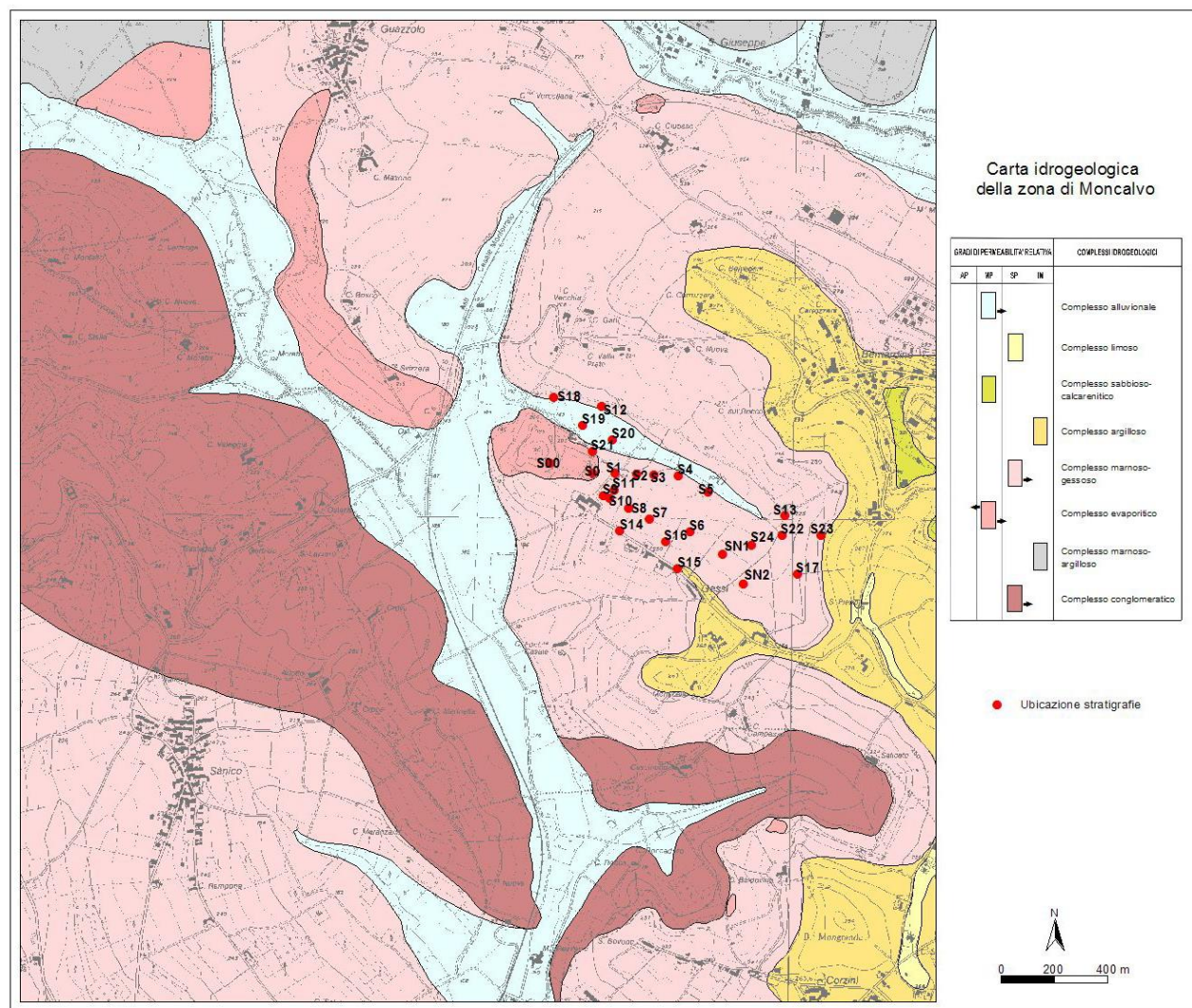


Figura 67: Carta idrogeologica schematica dell'area di Moncalvo

**Complesso Conglomeratico.** È costituito da conglomerati, arenarie con orizzonti pelitico-marnosi appartenenti alla Formazione di Cardona dell'Oligocene caratterizzati da una permeabilità medio-bassa per la presenza di un'abbondante matrice fine. Il complesso affiora nel settore sud-occidentale e meridionale dell'area in esame, lungo la dorsale di Alfiano Natta - Cardona e ospita un acquifero di ridotta potenzialità che alimenta una serie di piccole sorgenti altamente mineralizzate. Questa successione è in contatto tettonico e, in parte, trasgressivo (in corrispondenza di un'importante superficie di discontinuità) con la successione messiniana.

**Complesso marnoso-argilloso.** È costituito da una monotona successione di argille, argille marnose e marne affiorante unicamente in prossimità della località S. Giuseppe in sinistra orografica del Rio Menga e nel settore collinare a monte di C.na Moretta. Tale complesso è riferibile alla Formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili, presenta una permeabilità da ridotta a nulla ed è alla base della successione evaporitica del Messiniano. Nei sondaggi, infatti, viene intercettato al di sotto delle bancate di gesso macrocristallino.

**Complesso evaporitico.** È costituito da una potente successione di gessi (suddivisa in tre bancate di gesso selenitico macrocristallino e successivi livelli di gesso microcristallino) in eteropia con argille, marne e siltiti. Alla base sono localmente presenti livelli di calcari evaporitici di ridotto spessore. Tale

successione appartiene al Complesso caotico della Valle Versa (F. 157 "Trino" della Carta Geologica d'Italia 1:50.000). Le masse prevalentemente gessose sono sub-affioranti lungo la dorsale compresa tra la Frazione Gessi e Guazzolo, interrotta dal fondovalle del Rio Viazza. Affioramenti molto più ridotti sono ubicati presso la galleria della linea ferroviaria Asti-Casale, in località S. Giuseppe e ad ovest della Cascina

Baldovino, in prossimità del contatto con il complesso conglomeratici, nel settore meridionale dell'area in esame. Una lente di calcari cariati affiora presso la confluenza di due piccoli corrivi presso C.na Moretta. La permeabilità dei gessi è molto variabile, strettamente legata allo stato di fratturazione dell'ammasso (in genere molto ridotta) e alla carsificazione localizzata in genere negli orizzonti più prossimi alla superficie.

**Complesso marnoso-gessoso.** È costituito da una successione di marne e marne argillose intervallate da locali orizzonti gessosi, in genere formati da livelli microcristallini o macrocristallini molto caotici di spessore variabili tra pochi decimetri fino a 5-6 m con geometria lenticolare. Anche questi sedimenti appartengono al Complesso caotico della Valle Versa. La permeabilità è, in genere, ridotta ed impostata in livelli fratturati o localmente carsificati o in corrispondenza dei contatti gesso-marne. Tale complesso affiora in gran parte dell'area esaminata, lungo i versanti pedecollinari di Moncalvo e Guazzolo.

**Complesso argilloso.** È formato da una monotona successione di argille siltose appartenenti ai depositi del Pliocene inferiore riferibili alla Formazione delle Argille azzurre, caratterizzate da una permeabilità molto ridotta e subaffioranti in prossimità delle dorsali comprese tra Moncalvo e Bric Mongrande.

**Complesso sabbioso-calcarenitico.** A tale complesso corrispondono i livelli sabbioso-calcarenitici della Formazione delle Sabbie d'Asti estesamente affioranti presso il centro abitato di Moncalvo e presenti, nell'area in esame, presso la Frazione di San Bernardino. La loro permeabilità è media.

**Complesso limoso.** La cartografia geologica ufficiale (F. 157 "Trino") indica la presenza di locali bancate limose in corrispondenza delle dorsali tra Moncalvo e Bric Mongrande riferibili al Pleistocene che sono state assegnate a tale complesso. Nei numerosi sondaggi eseguiti dalla Società Fassa presso la cava in sotterraneo di Frazione Gessi, è stata riscontrata, al di sopra del complesso marnoso-gessoso, la presenza di una potente successione (fino 10-15 m) di limi sabbiosi e argillosi spesso con una colorazione nocciola-ocracea che sono stati assegnati a tale complesso. Nella cartografia idrogeologica allegata tali depositi non sono stati cartografati in quanto non affioranti perché ricoperti dal suolo. Al complesso è stato assegnato un valore di permeabilità piuttosto ridotto.

**Complesso alluvionale.** Affiorante in corrispondenza dei fondovalle principale (Rio Menga e Rio Viazzo), è costituito da depositi fini prevalentemente limosi di spessore di alcuni metri appartenenti alla Successione Alluvionale quaternaria. Il complesso è dotato di una permeabilità piuttosto ridotta.

Con la situazione idrogeologica locale e i dati finora disponibili non è possibile ricostruire un quadro dettagliato relativo ai limiti dell'idrostruttura che alimenta l'acquifero presente nel complesso evaporitico. Sulla base dei rilevamenti effettuati non sono state identificate evidenti perdite dei corrivi superficiali che presentano, comunque, sempre portate ridotte ad eccezione dei periodi particolarmente piovosi. La ricarica del sistema, sulla base dell'assetto idrogeologico locale, è quindi da ricercare attraverso un'alimentazione diffusa su tutta l'area presa in esame ed in particolare in corrispondenza degli affioramenti dei litotipi gessosi e dei complessi limoso o

conglomeratico (dotati di una permeabilità medio – bassa) che potrebbero travasare verso l’acquifero in esame le acque di infiltrazione.

La situazione idrostratigrafica dell’area di cava è visualizzata in Figura 68.

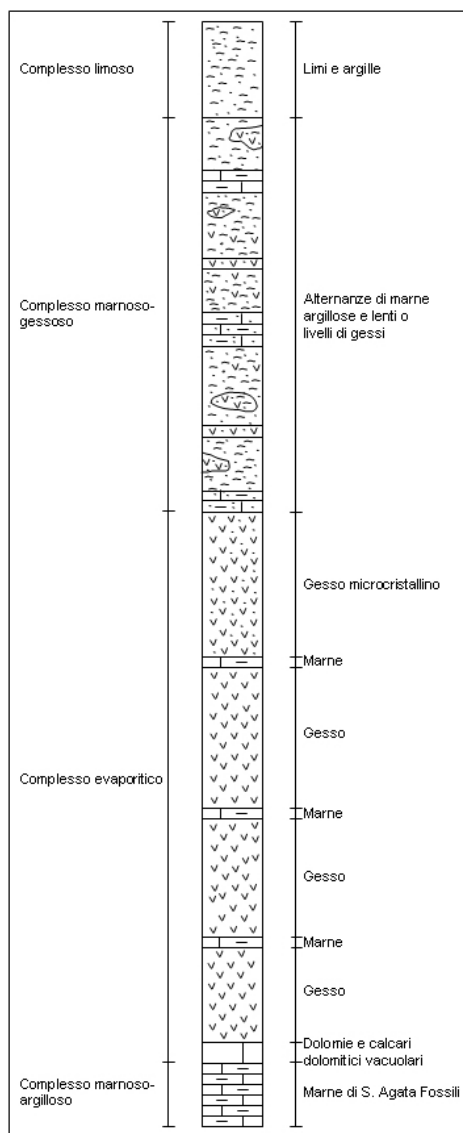
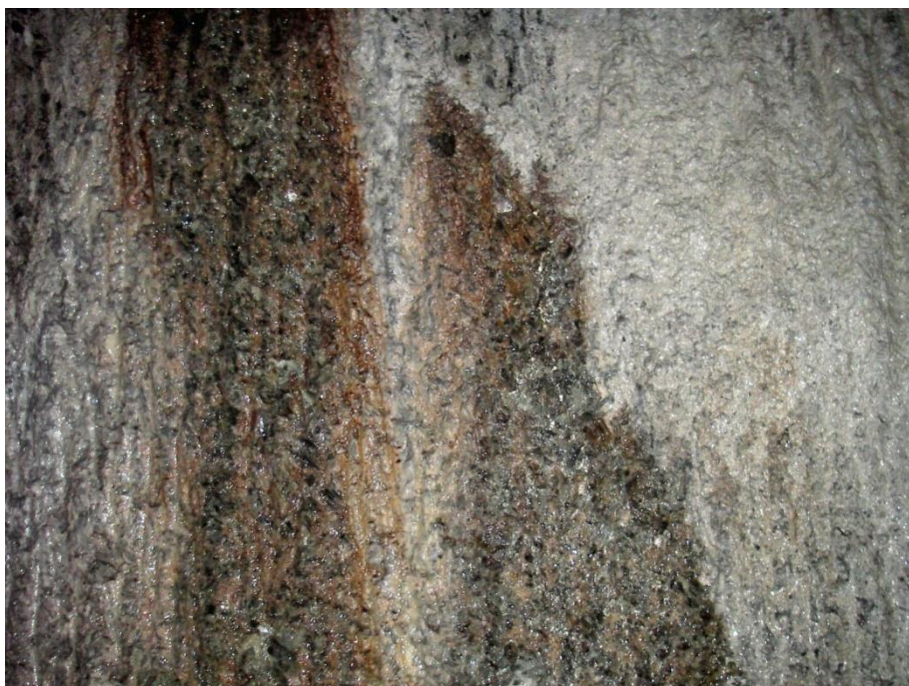


Figura 68: Colonna stratigrafica con i principali complessi idrogeologici nell’area di cava

### 8.1.5. SITUAZIONE IDROGEOLOGICA PRE-INRUSH

Sulla base dei dati raccolti dall’archivio Fassa Bortolo e delle osservazioni in situ la situazione idrogeologica antecedente l’evento di *inrush* del 15.02.05, può essere sinteticamente descritta nel seguente modo.

Durante i lavori in sottterraneo sono state intercettate numerose venute d’acqua, con portate in genere molto modeste (< 1 l/s) comprese tra le quote 176 e 129 m s.l.m. (Figura 69).



*Figura 69: Blande venute nelle gallerie di cava*

Tali apporti provengono da piccole fratture e mantengono una portata relativamente costante nel tempo. Le zone maggiormente interessate dal fenomeno sono localizzate nel settore sud-orientale dell'area di scavo (pannelli tra le quote 176 e 148 m s.l.m.), nelle gallerie in prossimità del sondaggio S3 (quota circa 150 m s.l.m.) e nella galleria tra i sondaggi S4 ed S5 a quota 129 m s.l.m..

Due piezometri, S2 ed S4 (chiusi con un otturatore meccanico dotato di manometro), avevano intercettato delle venute con portate maggiori (intorno ai 7-8 l/s) che fornivano pressioni rispettivamente di 1 e 3,1 bar, con relativi carichi idraulici che si attestavano intorno ad una quota di poco superiore ai 170 m s.l.m..

In corrispondenza del settore sud-occidentale dell'area di cava, sono presenti una serie di cavità carsiche di limitato sviluppo del tutto prive di circolazione idrica, ubicate ad una quota di circa 190 m s.l.m. (Figura 70). Altre cavità, di ridottissime dimensioni e completamente asciutte, sono state intercettate durante i lavori di scavo nella zona prossima al sondaggio S3 ad una quota di circa 150 m s.l.m..



Figura 70: Cavità carsica totalmente fossile intercettata dai lavori di scavo

---

#### **8.1.6.L'INRUSH**

---

Durante i lavori di scavo verso l'accesso al livello 2, in prossimità del sondaggio S3, è stata intercettata, sul fronte di avanzamento, una frattura acquifera caratterizzata da una notevole pressione idrica. Alle ore 18.00 del 15.02.05, essendo terminato il turno giornaliero dei lavori, il personale lasciava l'area di scavo mentre si verificava una improvvisa venuta (*inrush*) con portate valutate nell'ordine di alcuni m<sup>3</sup>/s (Figura 72). Tale flusso si riversava nelle gallerie inferiori che, nell'arco dell'intera notte, venivano sommerse fino alla quota massima di 139 m s.l.m. (Figura 71).



*Figura 71: Punto di inrush sul fronte di scavo*



*Figura 72: Il fango ha sommerso i mezzi di scavo*





Figura 57: La cavità in seguito all'inrush

In superficie, nel settore prossimo alla zona di fondovalle sul margine nord-orientale dell'area di scavo, tra le ore 22.00 e 24.00 dello stesso giorno, si verificava un collasso (*sinkhole*) che raggiungeva un diametro di oltre 20 m e una profondità di circa 10 m (Figura 73)



Figura 73: Vista N-E del sinkhole



Figura 74. Vista S del sinkhole

A partire dal giorno 23.02.05 è stata installata una pompa per abbassare, gradualmente, i livelli idrici nelle gallerie inondate. Successivamente, il 07.03.05, è stata messa in funzione una nuova pompa, a sostituzione dell'altra, più idonea allo scopo. Dalla galleria dell'*inrush*, caratterizzata da una forma ad "U" molto aperta, proveniva un flusso idrico che veniva mantenuto sotto osservazione in corrispondenza della quota di sfioro a 137 m s.l.m. Tale flusso, dopo l'evento di *inrush*, si è stabilizzato intorno ad una portata di 20 l/s.

Dal 04.03.05 è iniziato lo studio da parte del Gruppo di Idrogeologia Applicata del Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Geotecnologie del Politecnico di Torino, con una prima ispezione in superficie e in sottoterraneo per verificare lo stato della situazione in atto.

A partire dal 22.03.05, è stato installato, presso il sondaggio S4, un acquirente automatico dei livelli idrici, che registra un valore ogni 15 minuti. Sulla base dei dati raccolti, tale sondaggio, intercetta la circolazione idrica impostata nella rete carsica che si supponeva responsabile dell'*inrush*. In base ai dati riportati nel grafico di Figura 75 si nota come i livelli idrici si siano mantenuti costanti (ad eccezione di un temporaneo incremento nei primi giorni di marzo) fino al 26.04.05 quando è iniziato lo svuotamento della galleria di accesso al punto di *inrush*. Il giorno 15.04.05 è stata effettuata una misura dettagliata della portata mediante l'impiego di un mulinello idraulico che ha fornito un valore di 22,27 l/s (Figura 76).

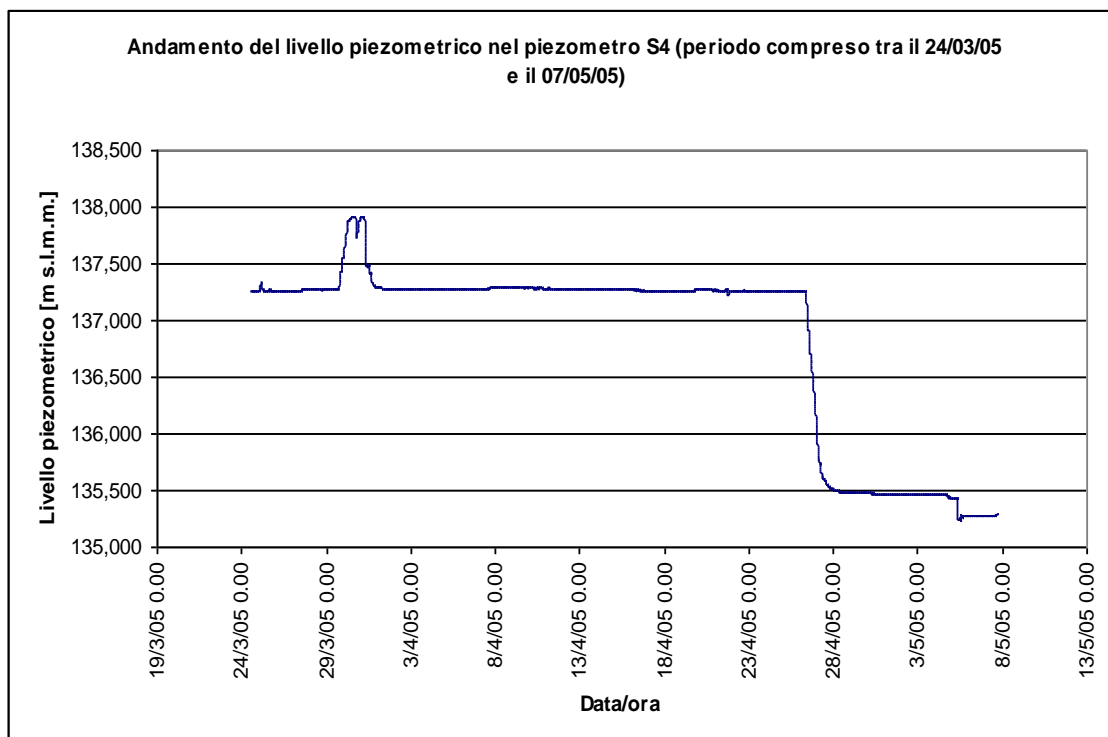


Figura 75: Andamento dei livelli idrici in S4 prima e dopo lo svuotamento della galleria dell'inrush



Figura 76: Misura di portata con mulinello del flusso proveniente dall'inrush

Lo svuotamento della galleria dell'inrush, ha causato un generale decremento dei livelli che sono stati anche registrati nel piezometro S4 ed hanno raggiunto la quota di 135.5 m s.l.m. il 28.04.05.

A svuotamento avvenuto, è stato possibile ispezionare la galleria dell'inrush che presentava un enorme quantitativo di detriti grossolani e fango fino al fronte di scavo. In questo punto era osservabile un piccolo laghetto (Figura 77) limitato dal detrito, dal quale defluiva il flusso idrico di cui

sopra. Nei giorni successivi è iniziata la rimozione dei detriti che ostruivano in gran parte la galleria, seguita da una serie di prove per l'ulteriore abbassamento dei livelli idrici del laghetto mediante l'installazione di una pompa all'interno dello stesso.



*Figura 77: Laghetto dal quale defluiva il flusso dell'inrush*

A causa di lavori di manutenzione del piezometro S4, l'acquisitore automatico è stato temporaneamente rimosso. Nel periodo compreso tra il 06.06.05 e il 10.06.05, riposizionato lo strumento, sono stati registrati una serie di abbassamenti ed innalzamenti dei livelli idrici condizionati dal pompaggio effettuato nella galleria dell'inrush per impedire l'afflusso idrico nella sezione a valle dove era in corso lo sbancamento dei materiali (Figura 78). In genere la pompa veniva accesa verso le ore 07.00 (inizio lavori) e spenta tra le ore 17.00 e 19.00. Tale funzionamento provocava l'abbassamento del livello idrico nel piezometro S4 posto a quasi 100 m dal laghetto. Durante il periodo notturno i livelli tornavano a salire avvicinandosi alla quota di sfioro nella galleria dell'inrush. Questo andamento dimostra la presenza di un collegamento diretto, attraverso un reticolo carsico, tra la venuta d'acqua in galleria e il suddetto piezometro.

A partire dal 26.06.05 è stato riposizionato l'acquisitore automatico nel piezometro S4; i dati, nel primo periodo, mostrano ancora una serie di variazioni dei livelli idrici direttamente collegati con il pompaggio.

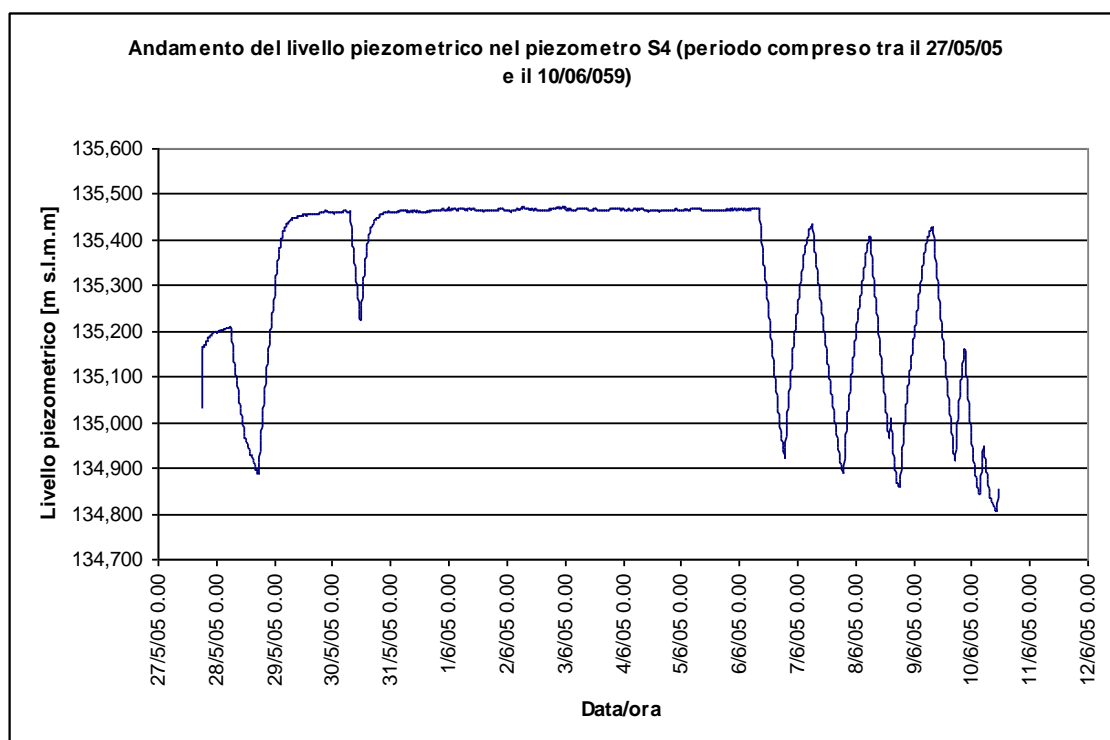


Figura 78: Serie di abbassamenti e innalzamenti dei livelli in S4 in seguito al pompaggio nel laghetto dell'inrush

In data 27.07.05 termina il lavoro di pulizia della galleria dell'inrush e della costruzione di un canale di scolo delle acque del laghetto che provoca un ulteriore abbassamento dei livelli che si attestano ad una quota di circa 134,550 m s.l.m. (Figura 79).

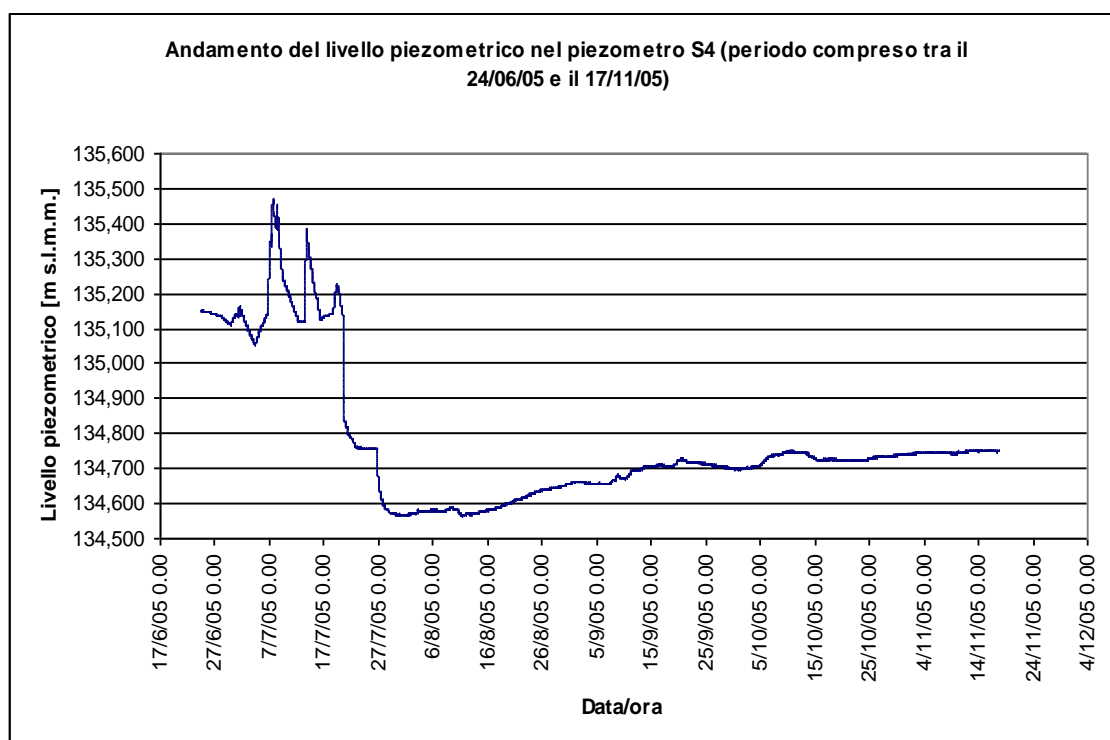


Figura 79: Ulteriore abbassamento dei livelli di falda legato ai lavori di drenaggio della galleria dell'inrush

Tale abbassamento mette in luce la presenza di una cavità carsica sul fronte di scavo dalla quale defluisce una rilevante venuta d'acqua. I livelli idrici registrati in S4, da questa data fino all'ultimo scarico dati (15.11.05), registrano un lieve incremento valutabile in circa 20 cm legato alle precipitazioni del periodo autunnale.

In data 15.09.05 è stata eseguita un'ispezione nella cavità carsica da parte del personale tecnico della Fassa Bortolo e del DIATI. Verificata la complessità della struttura, veniva deciso di eseguire un'esplorazione e un rilievo di dettaglio della cavità affidando tale compito agli speleologi del Gruppo Speleologico Piemontese. I rilievi vengono eseguiti nel mese di settembre e i risultati sono riportati di seguito.

Il diaframma di roccia che separa il fronte di scavo dalla cavità ha uno spessore di circa 1 m, lo sfondamento è avvenuto in corrispondenza della zona più sottile posta in prossimità del piano di scavo dove affiora il livello di marne che separa il Banco 2 dal Banco 3 (Figura 80).



*Figura 80: Punto di sfondamento del fronte di scavo*

Questo ingresso immette in un'ampia sala nella quale confluiscono tre gallerie principali.

Verso SO è presente un breve condotto lungo una decina di metri che porta ad un laghetto sifonante dal quale defluisce la portata principale (Figura 81).

Verso NO si apre un'ampia galleria a sezione grossomodo circolare con diametro variabile da 5 a 7 m. Lo sviluppo di questo ramo si orienta in verso O, per una lunghezza di circa 200 m e un'inclinazione verso l'alto di circa 15%. Generalmente il piano della galleria naturale si trova in corrispondenza del livello di marne che separa il Banco 2 dal Banco 3 (Figura 82). Questa parte della

cavità si sviluppa al di sotto della rete degli scavi artificiali, ad una profondità (distanza dal piano di scavo al tetto della grotta) variabile da 6,18 m (punto e) a 13 m (punto h).



*Figura 81: Laghetto sifonante dal quale defluisce il flusso principale*



*Figura 82: Livello di marne nella galleria verso O che separa il Banco 1 dal Banco 2*

La morfologia di questo condotto è tipica di una galleria a pieno carico con una volta a cupola che conferisce una notevole stabilità alla struttura (Figura 83). Questa galleria, chiusa al fondo (a +30 m dall'imbocco) da un ingente volume di depositi clastici, è del tutto priva di circolazione idrica.

Verso NNE si sviluppa la terza galleria lunga circa 100 m con una pendenza, verso l'alto, del 20% e una sezione molto variabile con tratti piuttosto ampi (Figura 84 e Figura 85) intervallati da passaggi più angusti (Figura 88). Questo ramo attraversa i tre banchi di gesso macrocristallino e si arresta in corrispondenza di un imponente crollo ubicato in prossimità del *sinkhole* esterno (Figura 89).

Le strette connessioni tra il collasso superficiale e questa galleria si evidenziano dalla presenza di ingenti depositi fini provenienti dalla superficie che hanno colmato in parte questo tratto della cavità (Figura 90) e per il rinvenimento di materiali legnosi di sicura provenienza esterna. Anche questa galleria è caratterizzata dall'assenza di circolazione idrica ad eccezione di alcuni stillicidi nel salone terminale.



Figura 83: La galleria principale verso O



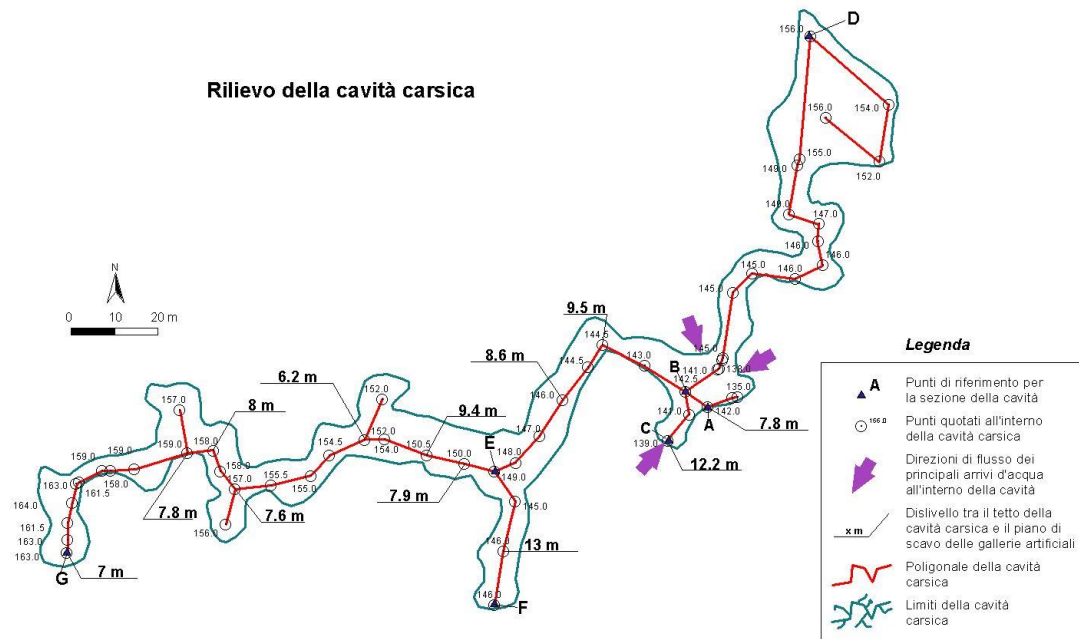


Figura 84: Planimetria della cavità

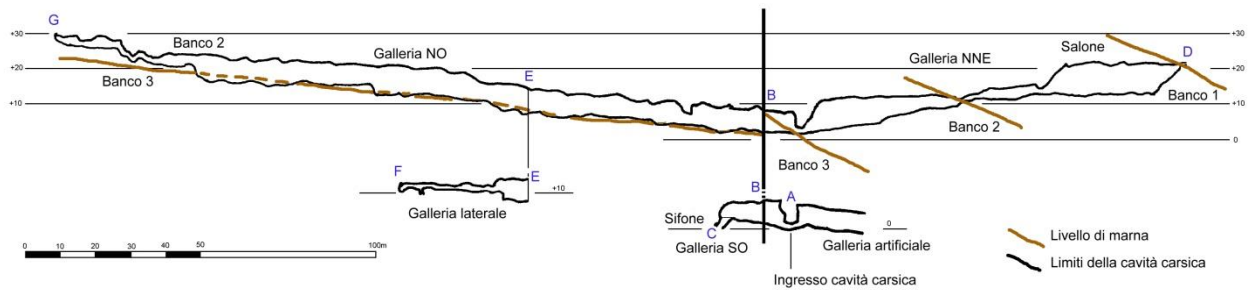
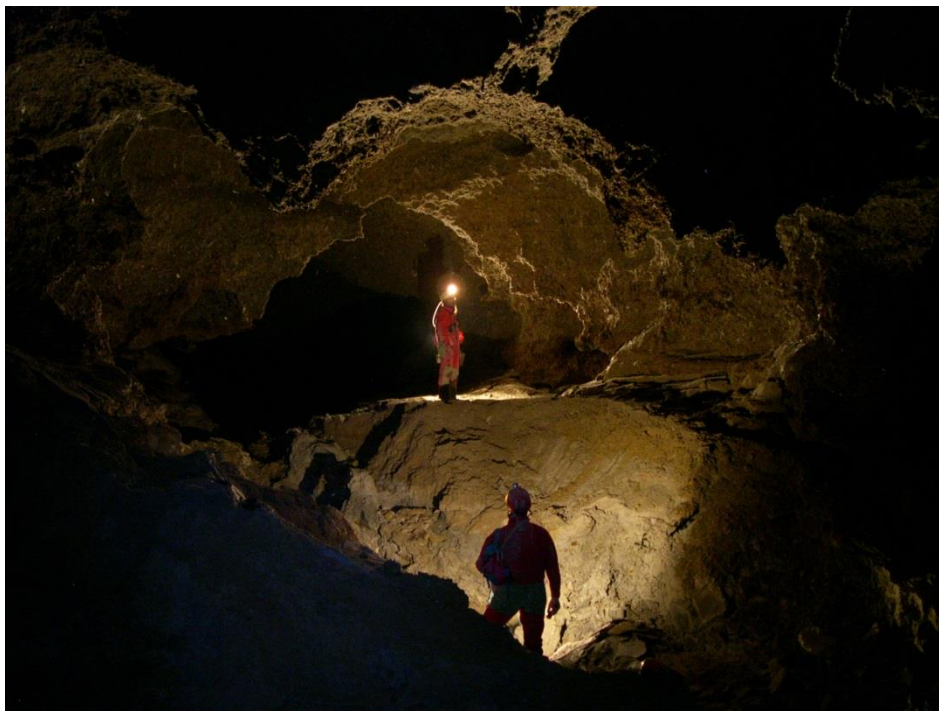


Figura 85: Sezione longitudinale della cavità



*Figura 86: Ingenti depositi sabbioso-limosi nella galleria principale*



*Figura 87: Ambienti piuttosto ampi nella galleria verso NNE*



*Figura 88: Morfologie nella galleria di NNE*



*Figura 89: Salone terminale della galleria di NNE*



*Figura 90: Ingenti depositi argilloso-limosi depositati dal flusso idrico*

Nella sala d'ingresso sono presenti tre principali apporti idrici puntuali. Quello con portata maggiore proveniva dalla galleria sifonante; una seconda venuta, caratterizzata da una cospicua presenza di materiale organico, proveniva da una discontinuità dell'ammasso roccioso (Figura 92) con una portata di alcuni l/s ubicata presso l'ingresso della grotta. Il terzo apporto, posizionato di fronte all'ingresso, presentava un flusso modesto ed è impostato in prossimità del contatto tra i gessi e il sedimento sabbioso-limoso.

In data 13.10.05 viene realizzato uno stramazzo triangolare (stramazzo 1) per la misura della portata complessiva dei diversi apporti, ubicato presso il canale di scolo delle acque provenienti dalla cavità carsica (Figura 93). L'andamento della portata acquisita dallo strumento è riportata di seguito nel paragrafo 8.1.7.1163.

Per migliorare la conoscenza della situazione idrogeologica dell'area di cava, sono stati poi realizzati tre sondaggi geognostici (SN1 e SN2), attrezzati a piezometro. Entrambi sono stati attrezzati come punto di monitoraggio dei livelli idrici mediante acquisitore automatico. SN1 è stato utilizzato dal 15.11.05 al 11.06.08 mentre SN2 è operativo dal 28.04.06.

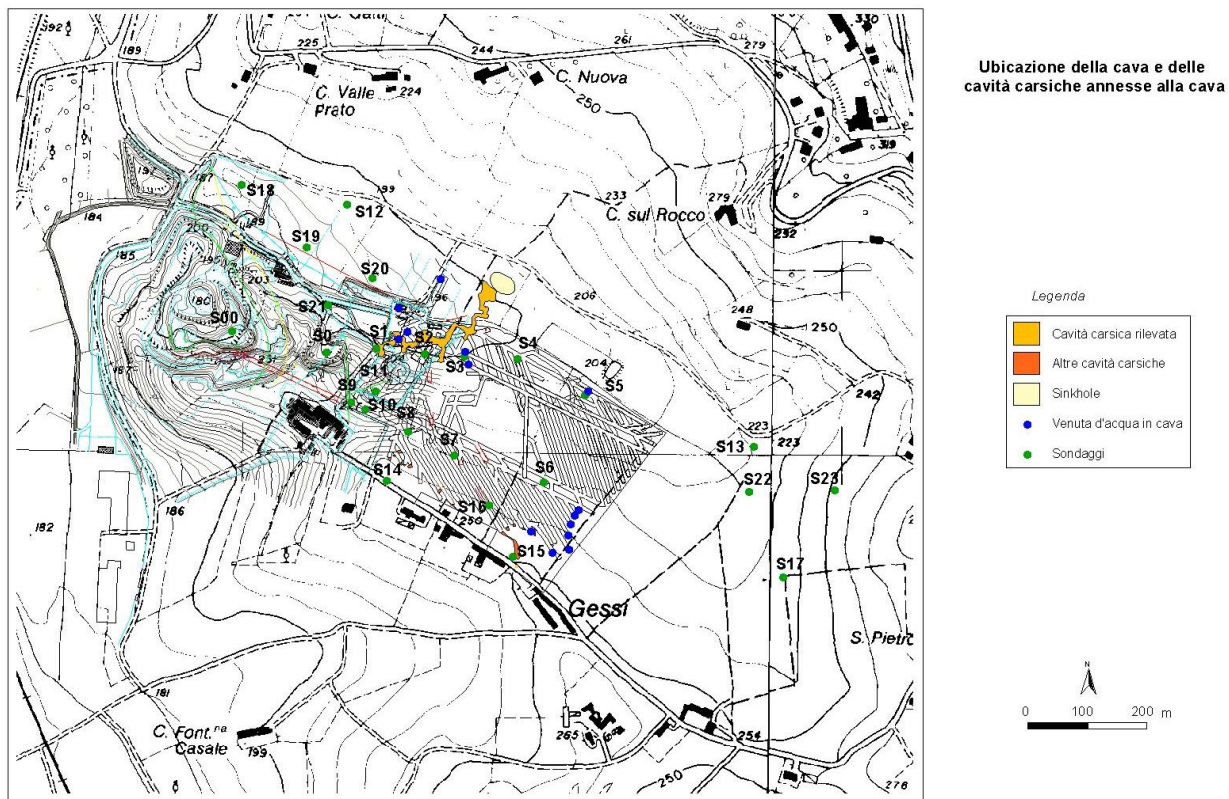


Figura 91: Ubicazione della cavità rispetto alle gallerie di cava e al sinkhole



Figura 92: Materiale organico presso l'apporto A



*Figura 93: Stramazzo triangolare per la misura delle portate del flusso totale*

Le misure dei livelli eseguite in SN1 ed SN2 in data 15.11.05, hanno fornito quote piezometriche rispettivamente di 224 e 183 m s.l.m. Tali valori non sono correlabili con quelli della rete carsica misurati presso il sondaggio S4 che, alla stessa data, era di 134,55 m s.l.m. Ciò sembrerebbe evidenziare che SN1 ed SN2 hanno intercettato unicamente acque circolanti nella rete di fratture.

---

### **8.1.7. DESCRIZIONE DELLA RETE DI MONITORAGGIO E CONTROLLO**

---

Lo studio relativo alla situazione idrogeologica dell'acquifero impostato nel complesso evaporitico, è proseguito attraverso l'acquisizione dei dati idrodinamici e geochimici delle acque provenienti dalla rete di monitoraggio dei livelli idrici e dalla rete di controllo dei parametri chimico-fisici delle acque intercettate dai lavori di scavo in sotterraneo e delle acque superficiali

#### **8.1.7.1. RETE DI MONITORAGGIO DEI LIVELLI IDRICI**

Per esaminare nel tempo il comportamento dell'acquifero impostato nell'ammasso gessoso e intercettato dai lavori di scavo della cava in sotterraneo è stata ottimizzata una rete di monitoraggio dei livelli idrici e delle precipitazioni. Nel corso del tempo alcuni punti sono stati sostituiti con altri a causa del danneggiamento di un piezometro (S24) o dell'intercettazione di nuovi apporti idrici (SVB31).

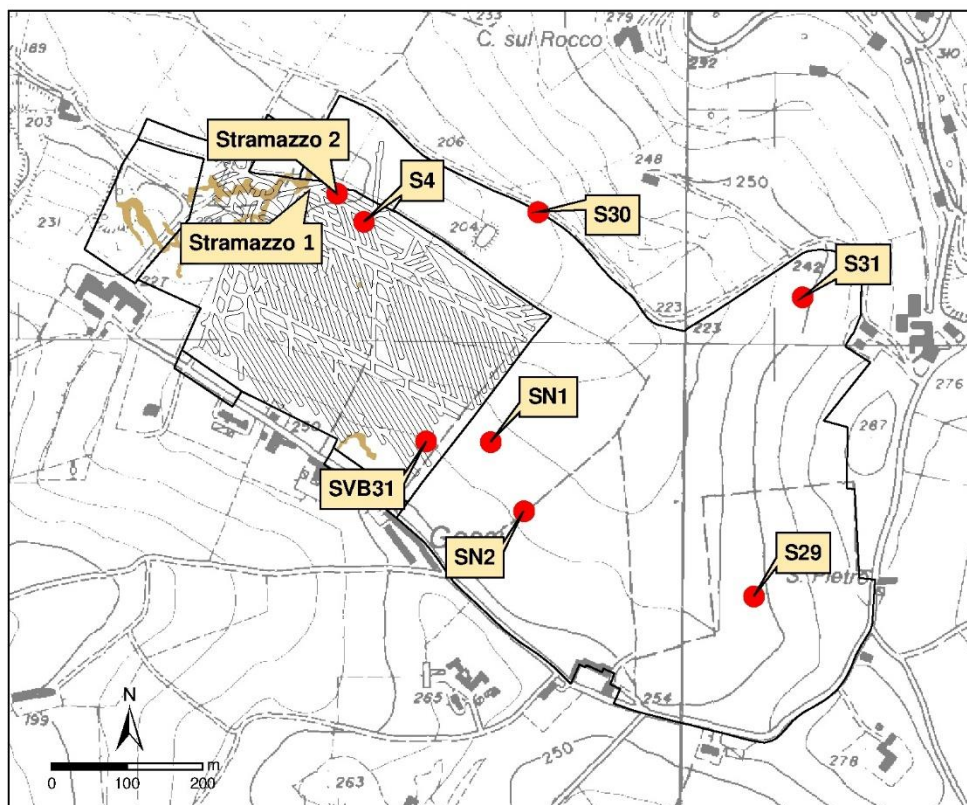


Figura 94: Punti di monitoraggio dei livelli idrici

La rete di monitoraggio (Figura 94) è costituita da 8 punti così distribuiti:

**Stramazzo 2:** (quota 130,50 m s.l.m.) localizzato all'intersezione della galleria che conduce alla cavità naturale con la vasca di raccolta delle acque da edurre all'esterno e una terza galleria di scavo, misura i valori di portata delle acque defluenti da 5 perforazioni eseguite per abbassare i livelli idrici dell'acquifero (in pressione) impostato in corrispondenza dell'orizzonte basale carbonatico e del sovrastante banco di gesso (livello di coltivazione 3). In seguito alla realizzazione di tali perforazioni i livelli idrici hanno subito un abbassamento di circa 3,5 m con conseguente disattivazione della circolazione idrica nella cavità carsica (responsabile dell'inrush) ed interruzione del flusso verso il punto di monitoraggio denominato Stramazzo 1. I dati di portata dello Stramazzo 2 sono registrati, in continuo, a partire dal 11.09.2008, dopo la realizzazione delle opere necessarie per la posa dello strumento di misura. In questo punto a partire dal 24/10/2012 è stato installato un secondo acquisitore per la misura, oltre che dei livelli, anche della temperatura e della conducibilità elettrica.

**Piezometro S4:** localizzato in una galleria di cava ad una distanza di circa 100 m dallo Stramazzo 2 ad una quota di 141 m s.l.m., misura dei livelli idrici legati al reticolo carsico principale nel settore nord della cava attraverso un acquisitore automatico in funzione dal 24.03.05.

**Foro di sondaggio SVB31:** in data 24.08.2009 è stato eseguito un foro all'interno della galleria 1.3.6 per monitorare l'andamento dei livelli idrici di una porzione dell'acquifero, già intercettata il 30.01.2009 da un foro di sondaggio sub-orizzontale (SLB17) ma subito chiuso in quanto ubicato in un settore molto marginale al confine dell'area di concessione della cava e ritenuto di importanza secondaria per lo studio dell'acquifero principale. Soltanto il 12.05.2011, in seguito all'esecuzione di un foro in galleria 2.3.3., denominato VN, è stata di nuovo intercettata tale porzione di acquifero evidenziandone l'importanza per lo

studio nel suo complesso. Dal 15.05.2011 è quindi iniziato il monitoraggio in continuo del foro SVB31. Tale foro fornisce i dati dei livelli idrici relativi al settore sud-orientale della cava.

**Piezometro SN1:** localizzato a quota 232 m s.l.m., sul versante collinare adiacente all'area interessata dalla coltivazione in sotterraneo, a SE dell'area di concessione della cava. Dal 10.06.2008 l'acquisizione in continuo si è interrotta a causa del guasto dello strumento e, a partire da questa data, sono state realizzate soltanto alcune misure manuali dei livelli idrici.

**Piezometro SN2:** localizzato a quota 237 m s.l.m., sui versanti collinari adiacente all'area interessata dalla coltivazione in sotterraneo, a SE dell'area di concessione della cava, ad una distanza di circa 130 m in direzione SE da SN1

**Piezometro S29:** localizzato sui versanti collinari a SE dell'attuale area di cava in prossimità del margine orientale della nuova zona di ampliamento richiesta. In questo piezometro sono eseguite unicamente misure manuali a partire dal 28.07.10.

**Piezometro S30:** localizzato sui versanti collinari a NE dell'attuale area di cava in prossimità del margine nord-orientale della nuova zona di ampliamento richiesta. In questo piezometro è installato un acquisitore automatico di livelli in funzione dal 28.07.10.

**Piezometro S31:** localizzato sui versanti collinari a E dell'attuale area di cava in prossimità del margine orientale della nuova zona di ampliamento richiesta. In questo piezometro è installato un acquisitore automatico di livelli in funzione dal 28.07.10.

**Pluviografo:** i dati relativi alle precipitazioni sono stati monitorati da un pluviografo localizzato presso il Piezometro SN2 fino al 11.04.2011 quando la strumentazione ha subito un guasto non riparabile.

A partire dal 24/07/12 nel piazzale di ingresso alla cava, è stata quindi installata una nuova stazione meteorologica (Foto 1) in grado di misurare, oltre i valori delle piogge anche i valori di pressione atmosferica, direzione del vento, velocità del vento, umidità, temperatura, punto di rugiada, indice di calore.

Tale stazione trasmette i dati raccolti direttamente al computer ubicato nell'ufficio del sorvegliante di cava presso l'imbocco sotterraneo.



*Stazione meteorologica di Moncalvo*



I dati di monitoraggio, raccolti mediante acquisitori automatici, nei diversi punti della cava e nell'area limitrofa, permettono di ricostruire in dettaglio le variazioni che i livelli idrici dell'acquifero subiscono nel tempo in seguito alle precipitazioni e/o agli interventi di drenaggio controllato che vengono realizzati per consentire lo svolgimento dei lavori di scavo in sicurezza.

Le portate registrate allo **Stramazzo 1** (Figura 95) per oltre un anno evidenziano una sostanziale costanza con un valore di circa 10 l/s ed alcuni blandi incrementi dell'ordine di 1÷2 l/s in occasione dei principali eventi infiltrativi (febbraio '06, maggio '06 e settembre '06). Il pluviografo posizionato in prossimità della cava non ha però registrato alcun dato in occasione delle precipitazioni verificatesi il 14 e 27 settembre '06 probabilmente a causa della particolare distribuzione areale degli eventi meteorici. Purtroppo, a partire dal 31.01.07 fino a maggio '07, si è verificato un guasto dell'acquisitore con conseguente perdita dei dati. Le temporanee variazioni verificatesi nel mese di ottobre '06 sono, invece, legate alla realizzazione di sondaggi geognostici nelle gallerie di cava ubicati in vicinanza della cavità carsica. Durante la realizzazione di un foro orizzontale di circa 60 m, ubicato ad una quota di alcuni metri più in basso rispetto a quella del sifone, è stato notato un temporaneo aumento della portata del sifone legato, probabilmente, alla circolazione di aria compressa dell'attrezzatura di perforazione. Tale sondaggio, pur essendo ad una quota inferiore a quella del sifone, non è interessato da circolazione idrica.

Gli apporti registrati tra la fine di gennaio e i primi di febbraio '06 sono stati nevosi per cui hanno fornito alimentazione al sistema in tempi successivi. Di particolare interesse risultano le portate di inizio settembre '06 ancora elevate (intorno a 8 l/s) nonostante il perdurare di un lungo periodo secco (da maggio a settembre).

L'andamento delle portate nel periodo maggio '07 – febbraio '08 mostra un abbassamento costante e graduale; si osservano blandi incrementi della portata (alcuni l/s) in seguito alle piogge più importanti e un generale trend di diminuzione delle portate correlabile ad un minore quantità di precipitazioni. In genere i blandi incrementi della portata si verificano con un ritardo di circa 2-3 giorni a dimostrazione di una risposta piuttosto ritardata dell'acquifero rispetto alle precipitazioni.

Nel periodo compreso tra il 02.02.08 e l'11.04.08 sono stati realizzati i 5 fori di sondaggio in corrispondenza del punto di monitoraggio Stramazzo 2 che raggiungono una profondità compresa tra 8,15 m (F4) e 11,20 (F1) intercettando il substrato impermeabile costituito dalle argille marnose tortoniane. Tali fori intercettano l'orizzonte carbonatico (spessore da pochi centimetri a 0,5 m) che si trova alla base della successione evaporitica e risulta essere estesamente carsificato. All'interno dei suddetti sondaggi sono state eseguite delle videoispezioni che hanno evidenziato la presenza di esigue discontinuità nel livello carbonatico. L'importanza di tale livello è dovuta alla sua funzione di drenaggio dell'intera circolazione sotterranea. I sondaggi, ubicati a quote comprese tra 130,50 e 132,00 m s.l.m., hanno raggiunto l'acquifero in pressione dell'orizzonte carbonatico che presentava una quota di livellamento di 134,80 m s.l.m. condizionata dalla quota di sfioro del sifone ubicato nella cavità carsica principale. Da tali sondaggi, pertanto, defluisce naturalmente una portata di circa 15 l/s che ha prodotto un abbassamento dei livelli idrici di quasi 4 m. L'abbassamento dei livelli idrici ha interessato, di conseguenza, anche il piezometro S4 e una piccola cavità carsica intercettata durante i lavori di scavo del Livello 2 con quota piano galleria di 134,50 m s.l.m. evidenziando il raggiungimento dello scopo prefisso che era quello di deprimere i livelli idrici evitando venute d'acqua nelle gallerie di scavo.

I dati di monitoraggio evidenziano molto bene l'abbassamento: lo Stramazzo 1 in data 02.02.08 si è prosciugato (Figura 95), mentre nel piezometro S4 (Figura 96) si osserva un primo rapido abbassamento di

circa 2,50 m legato alla realizzazione dei primi fori di sondaggio (F2, F3, F4 ed F5) (Figura 113) registrato a partire dalla stessa data e protrattosi fino al 19.02.08. Un secondo abbassamento si è verificato dal giorno 11.04.08 fino al 17.04.08 in seguito alla realizzazione di un altro foro (F1) dal quale fluisce la maggior portata. Il sifone della cavità carsica principale si è pertanto disattivato con un abbassamento dei livelli idrici di circa 4 m.

A partire da questo periodo fino a giugno '11 (Figura 96 e Figura 97) i livelli idrici sono stati caratterizzati da notevoli variazioni con oscillazioni superiori al metro in seguito ai principali eventi infiltrativi. Le oscillazioni maggiori dei livelli idrici si registrano in inverno e primavera in seguito a precipitazioni non intense ma di lunga durata. Nella stagione estiva fenomeni temporaleschi anche di notevole intensità oraria non determinano particolari incrementi dei livelli idrici sotterranei a causa dell'importanza dei fenomeni di ruscellamento delle acque superficiali, del grado di saturazione del suolo e dell'evapotraspirazione. Tale aspetto sembra evidenziare le modalità di alimentazione dell'acquifero nei gessi che dovrebbe ricevere apporti provenienti dai travasi da parte dei depositi marnoso-argilloso-sabbiosi che ricoprono, con spessori molto variabili, l'acquifero stesso.

Nel periodo luglio '11 – luglio '12 l'idrogramma mostra blande variazioni della portata e una serie di picchi di breve durata. Tali picchi sono correlabili con la temporanea chiusura dei fori di sondaggio F1, F2, F3, F4 ed F5, le cui acque defluenti vengono raccolte allo Stramazzo 2, con un conseguente e immediato incremento dei livelli idrici che può superare 1,5 m (Figura 98).

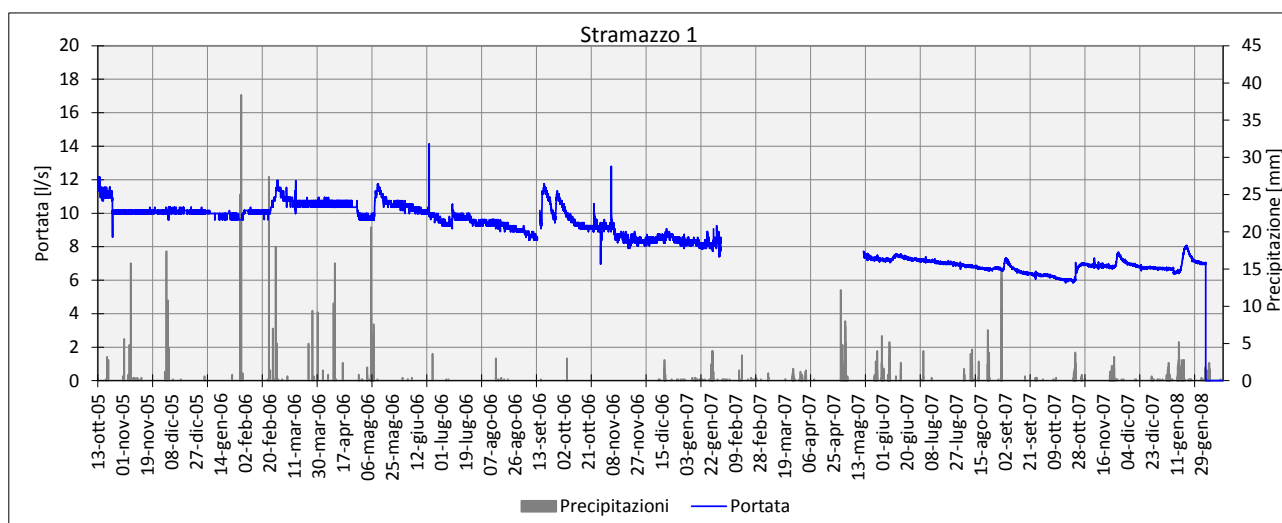


Figura 95: Andamento delle portate dello Stramazzo 1 in relazione alle precipitazioni

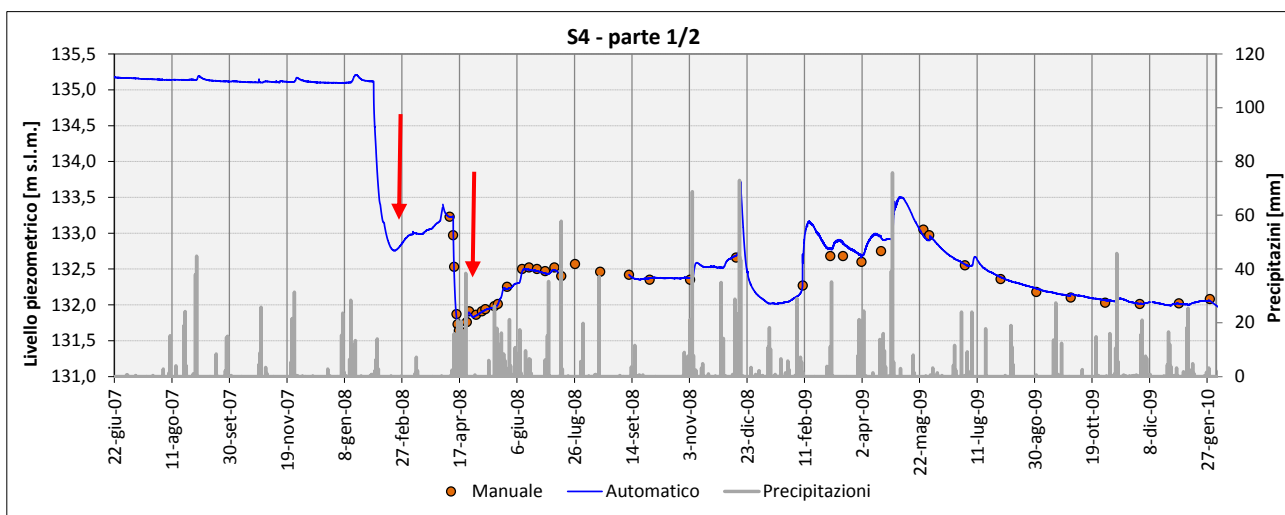


Figura 96: Andamento dei livelli nel piezometro S4 (periodo giugno 07 – gennaio 10) in relazione alle precipitazioni, le frecce in rosso evidenziano gli abbassamenti legati alla realizzazione dei fori F2 – F5

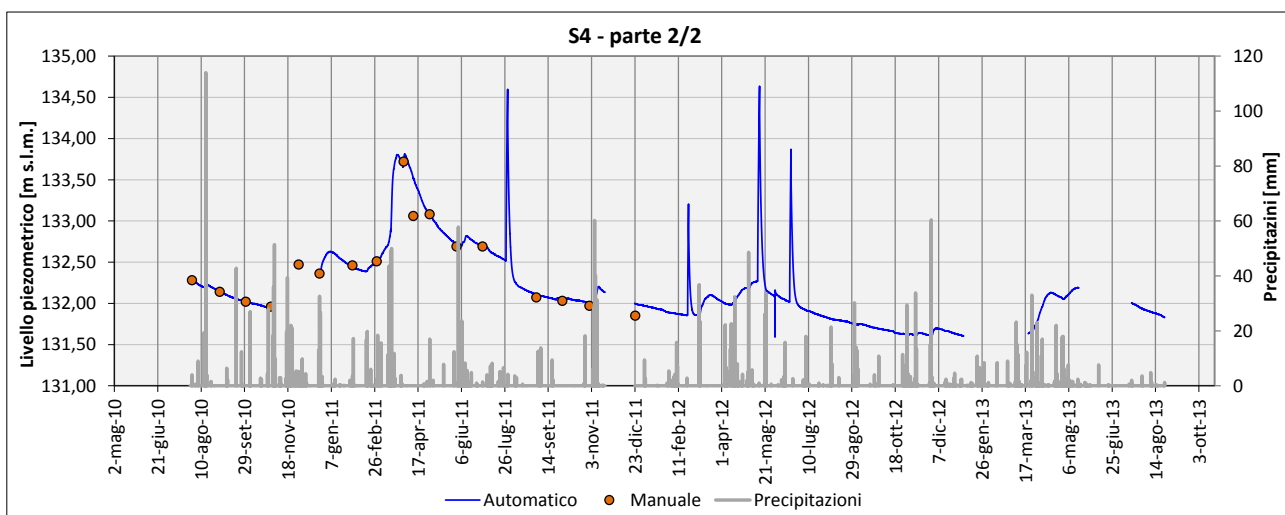


Figura 97: Andamento dei livelli nel piezometro S4 (periodo maggio '10 – ottobre '13) in relazione alle precipitazioni

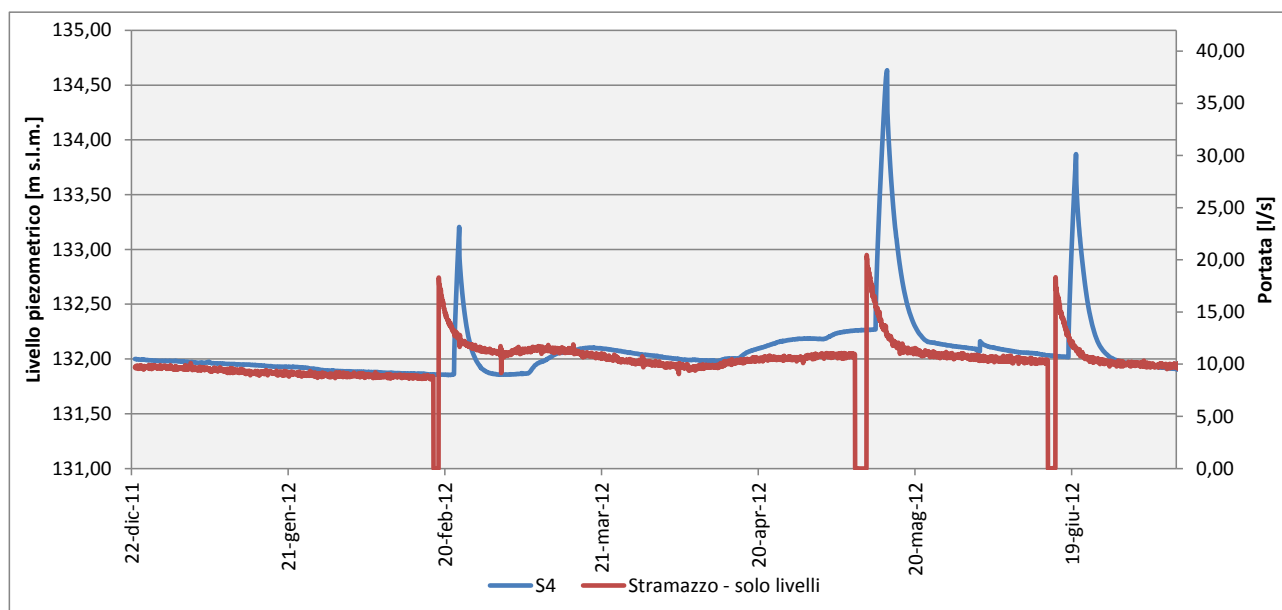


Figura 98: Confronto tra i valori della portata allo Stramazzo 2 e gli incrementi dei livelli idrici in S4 nel periodo febbraio '12 luglio '12

In Figura 99 si osserva l'andamento delle portate idriche registrate presso lo **Stramazzo 2** che raccoglie le acque defluenti dai sondaggi F1, F2, F3, F4 ed F5 a partire dall'11.09.08, dopo la realizzazione delle opere necessarie e l'istallazione dello strumento, fino al 31.12.10. Dal grafico, correlato con le precipitazioni, si nota una risposta leggermente più impulsiva rispetto ai dati di portata registrati dallo Stramazzo 1; le portate subiscono, in seguito alle principali precipitazioni, incrementi che arrivano anche a superare i 15 l/s (evento del 18.12.08). I valori di portata variano da un minimo di circa 8 l/s (settembre '08 dopo la magra estiva) fino a lambire i 20 l/s nei giorni 18.12.08 e 05.05.09 in seguito a ingenti eventi infiltrativi. Come descritto per S4 le intense e rapide precipitazioni estive non causano evidenti fenomeni di infiltrazione.

In Figura 100 è riportato l'idrogramma relativo al periodo gennaio '12 – ottobre '13: si evidenziano blandi incrementi della portata (alcuni l/s) in seguito alle piogge più importanti e una serie di decrementi e successivi picchi legati a temporanei ostruzioni dei fori F1, F2, F3, F4 ed F5 per consentire i lavori di manutenzione delle pompe di eduazione, così come già evidenziato nella descrizione dei livelli nel piezometro S4. In generale, i blandi incrementi della portata si verificano con un ritardo di circa 2-3 giorni a dimostrazione di una risposta piuttosto ritardata dell'acquifero rispetto alle precipitazioni. Nel periodo di osservazione è ravvisabile un decremento costante e graduale delle portate che, a partire da circa 14 l/s, decrescono per attestarsi, a fine dicembre 2012, intorno ai 6 l/s, probabilmente a seguito di un periodo con scarse precipitazioni. Nelle date 29.07.11, 22.02.12, 14.05.12 e 19.06.12 sono evidenti temporanei annullamenti del flusso idrico connessi con la temporanea chiusura dei fori di sondaggio dai quali fuoriesce l'acqua raccolta nello stramazzo e successivi picchi, altrettanto temporanei, legati alla riapertura dei suddetti fori otturati temporaneamente per far fronte a manutenzioni straordinarie delle pompe del circuito di eduazione.

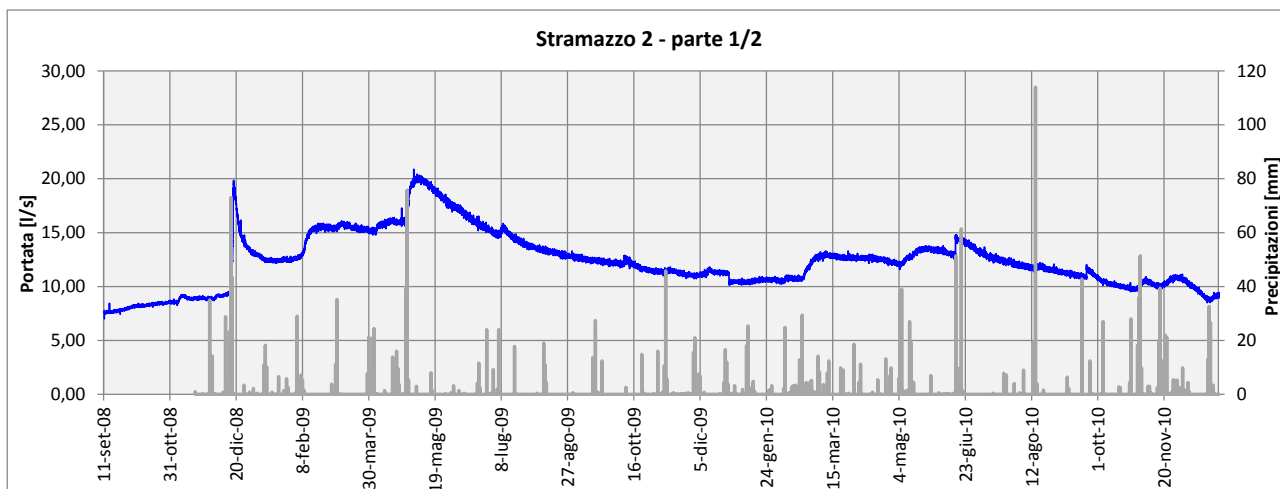


Figura 99: Andamento della portata allo Stramazzo 2 (periodo settembre '08 – dicembre '10) in relazione alle precipitazioni

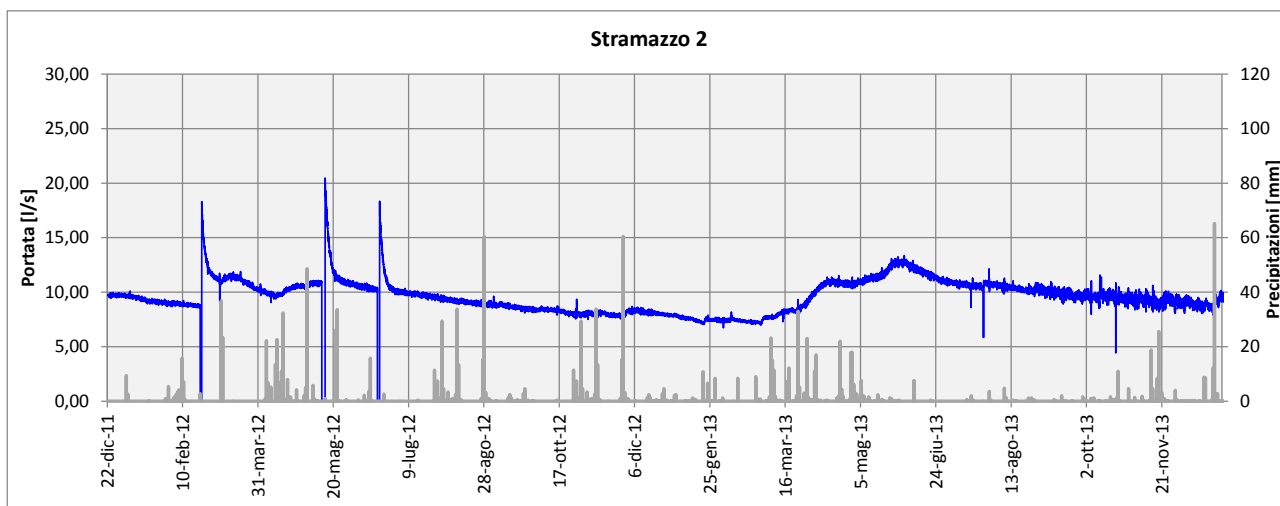


Figura 100: Andamento della portata allo Stramazzo 2 (periodo dicembre '11– ottobre '13) in relazione alle precipitazioni

In data 24/10/2012 presso lo Stramazzo 2 è stato affiancato al misuratore di soli livelli anche un acquisitore automatico a 3 parametri: livelli, conducibilità elettrica temperatura.

Come si vede dal grafico (Figura 102) la temperatura dell'acqua è pressoché costante e pari a circa 13,5 °C. L'andamento della portata, così come quello della conducibilità elettrica, non sembra essere influenzato in maniera significativa dagli apporti infiltrativi (Figura 101 e Figura 103). Le forti variazioni di conducibilità elettrica verificatesi nell'estate 2013 sono imputabili a errori strumentali.

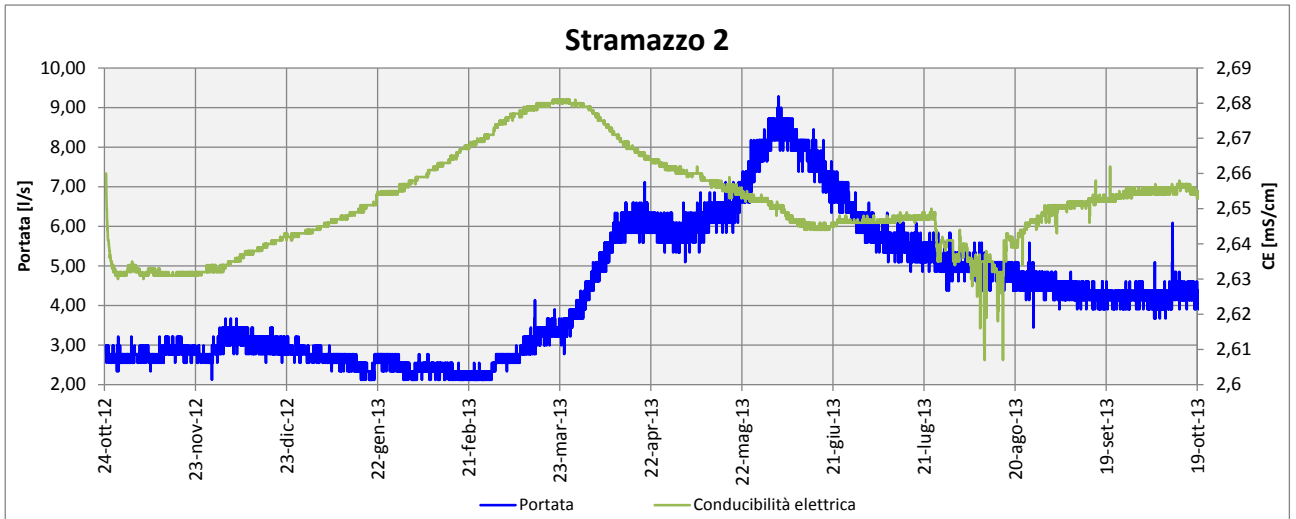


Figura 101: Andamento della portata e della conducibilità elettrica presso lo Stramazzo 2

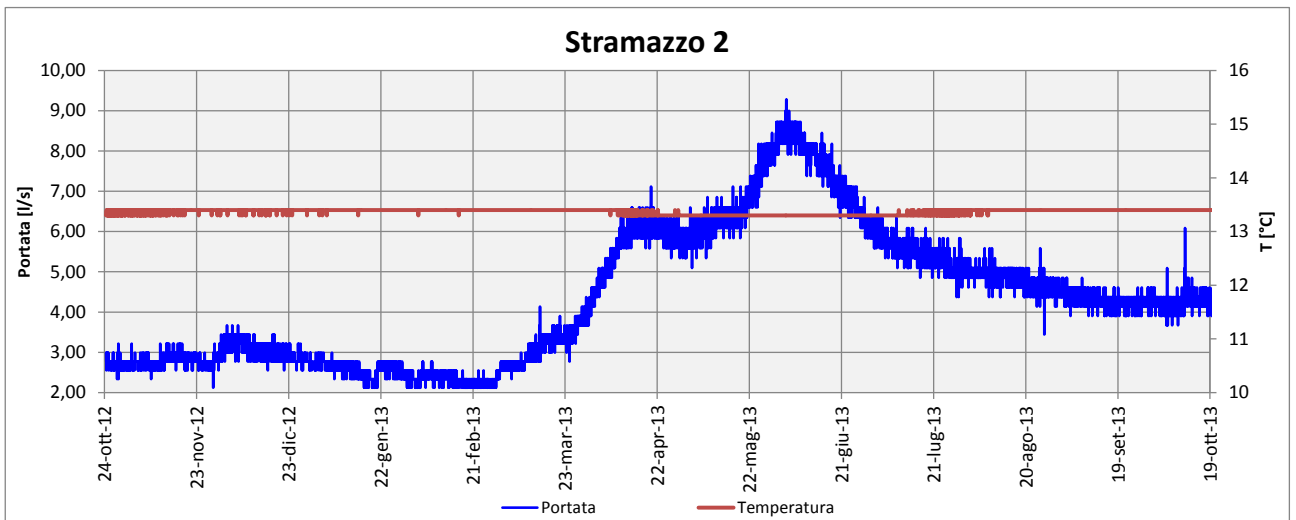


Figura 102: Andamento della portata e della temperatura presso lo Stramazzo 2

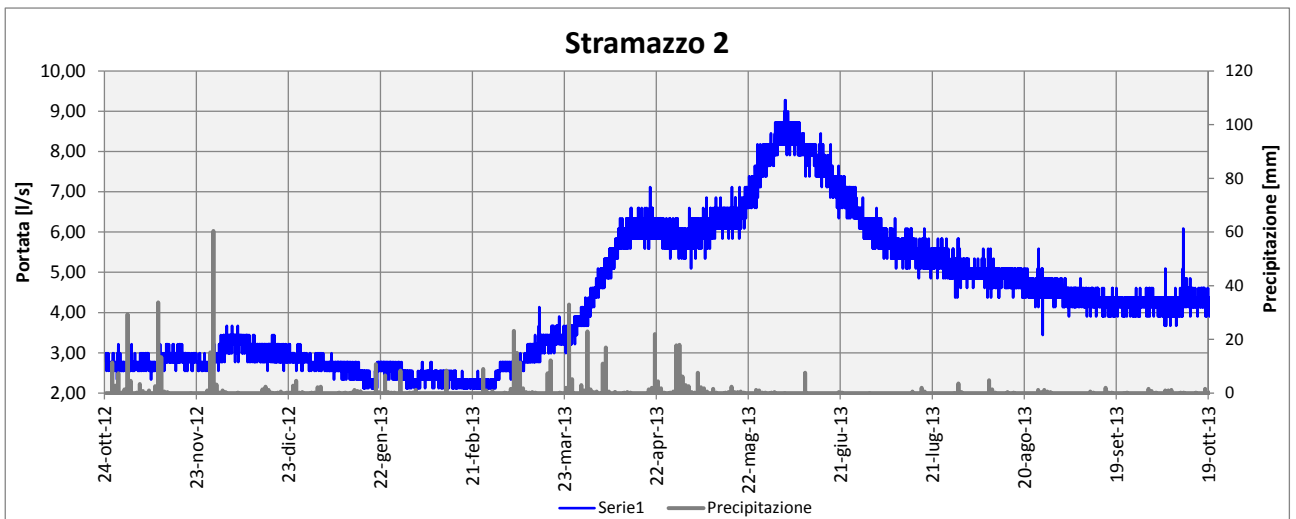


Figura 103: Andamento della portata in relazione alle precipitazioni presso lo Stramazzo 2

I dati relativi al sondaggio **SVB31** evidenziano le altezze dei livelli idrici dell'ammasso gessoso nel settore sud-orientale della cava, che si livellano intorno a 154 m s.l.m. e quindi ben 22 m al di sopra della quota piezometrica nel settore nord. Nel settore sud-orientale della cava un sondaggio sub-orizzontale (SLB17) lungo circa 30 m aveva intercettato (gennaio 2009) un orizzonte acquifero con acqua in pressione e quindi, immediatamente chiuso. Essendo ubicato sul margine dell'area in concessione non è stato preso in considerazione fino al maggio 2011 quando, da un foro di controllo nella galleria 2.3.3. (VN) prossimo a SLB17, è stata intercettata una notevole venuta idrica in pressione. Per consentire un graduale abbassamento dei livelli idrici in tutto questo settore è stato deciso di riaprire il foro SLB17 e di attivare le pompe già da tempo localizzate cautelativamente nei pressi di tale foro. La portata defluente da SLB17 è stata valutata intorno a 20 l/s. Per controllare l'abbassamento dei livelli idrici è stato ubicato un acquisitore automatico presso il sondaggio SVB31 che intercetta l'acquifero presente in questo settore. Dall'idrogramma di Figura 104 si evidenzia molto bene il progressivo decremento dei livelli idrici che, nell'arco di circa un anno si sono ridotti di 3,6 m, quindi con un abbassamento di circa 1 cm al giorno. Nel medesimo idrogramma si osservano due temporanei incrementi dei livelli idrici (luglio 2011 e febbraio 2012) legati a momentanei chiusure del sondaggio SLB17. In data 14.05.2012 si osserva un repentino incremento dei livelli idrici che si attestano ad una quota di circa 154 m s.l.m. a causa della chiusura del sondaggio SLB17 resasi necessaria in seguito ad un intervento di manutenzione straordinaria alle pompe di emungimento delle acque drenate in questo settore della cava. Da tale data non si è più monitorato tale punto.

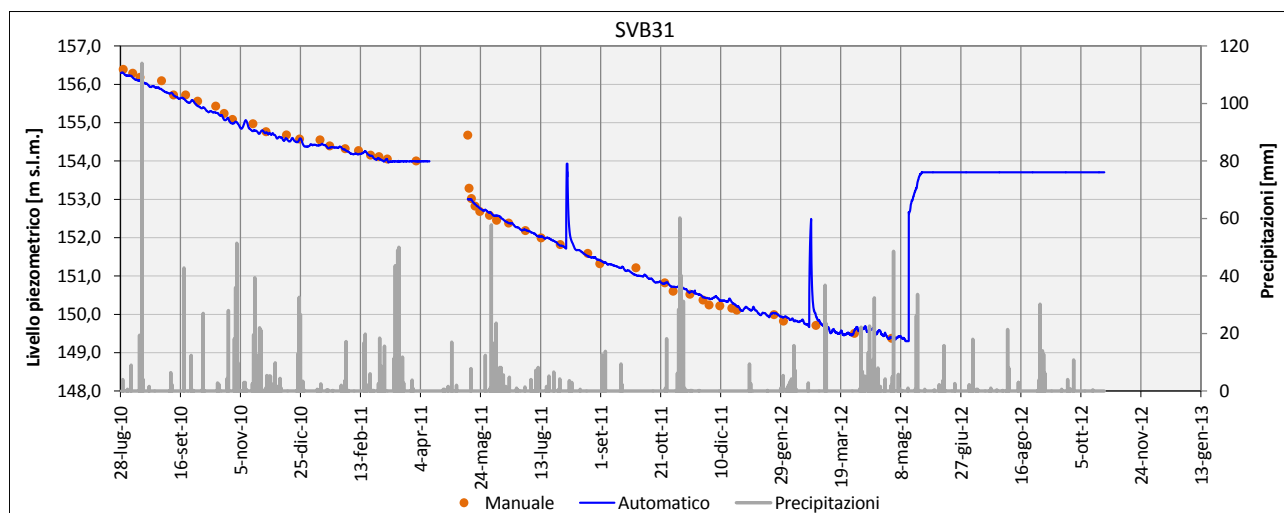


Figura 104: Andamento dei livelli nel sondaggio SVB31 (periodo luglio '10 – ottobre '12) in relazione alle precipitazioni

Nelle Figura 105 è riportato il grafico dei livelli idrici e delle precipitazioni registrate presso il piezometro **SN2** dal 28.04.06 al 21.10.13. Come si può ben osservare, i livelli idrici a partire dalla data di installazione dello strumento fino al dicembre '07 subiscono un lento ma continuo abbassamento a cui non è stato possibile dare una plausibile interpretazione. Si è poi verificata un'interruzione dell'acquisizione dei dati dal 02.04.08 al 23.12.08 a causa di un guasto della strumentazione. Dalla ripresa delle registrazioni dei dati fino al 22.09.10 si osservano una serie di incrementi e decrementi dei livelli idrici in un range di circa 0,7 m, condizionati dall'andamento meteorologico con un trend molto simile a quelli presenti nello Stramazzo 2 e in S4. A partire dal mese di luglio '10 si osservano una serie di rapidi decrementi dei livelli idrici alternati a periodi con valori piuttosto costanti seguiti da un rapido incremento (fino a quota di 193 m s.l.m. circa) a

partire dal 30.08.10 che riporta i livelli stessi a quote ordinarie. A questo repentino incremento di livello segue poi, fino al guasto della strumentazione (aprile 2011), una relativa costanza dei livelli idrici che si sono attestati intorno ad una quota di 184 m s.l.m.. A partire dalla ripresa delle acquisizioni dati (marzo 2012) fino ad ottobre 2013, i livelli si sono mantenuti molto costanti nel tempo intorno ad una quota di 182 m s.l.m., nonostante il verificarsi di una serie di eventi piovosi relativamente intensi nel periodo primaverile.

Sulla base dei dati attuali non è possibile formulare ipotesi relative a tale comportamento che potrebbe essere legato ad un mal funzionamento della strumentazione.

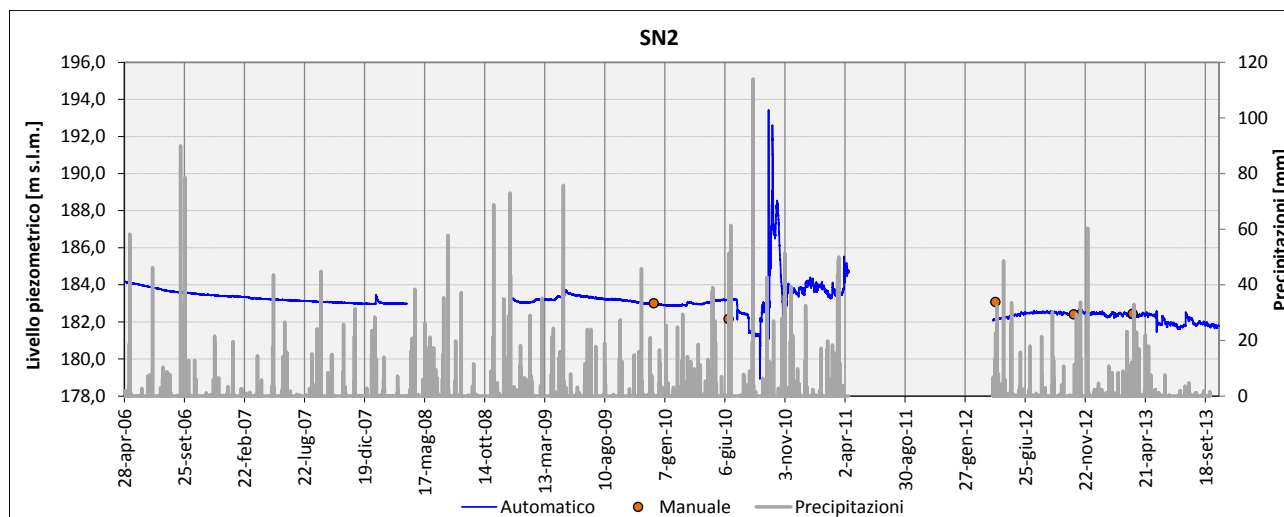


Figura 105: Andamento dei livelli nel piezometro SN2 (periodo aprile '06 – ottobre '13) in relazione alle precipitazioni

Nel piezometro **SN1** i dati sono limitati ad un periodo piuttosto ristretto compreso tra dicembre '05 e giugno '08 a causa del guasto dell'apparecchiatura di registrazione. Anche in questo grafico (Figura 106) si osserva un decremento dei livelli idrici fino a dicembre '07 e, successivamente, un progressivo incremento di circa 2 m alla fine dell'acquisizione.

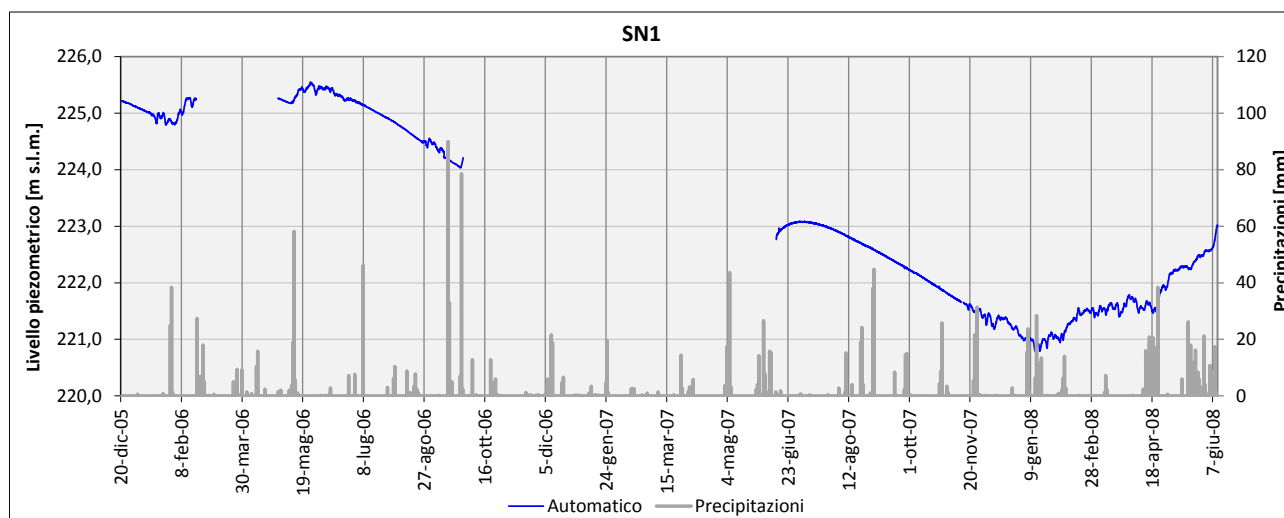


Figura 106: Andamento dei livelli nel piezometro SN1 (periodo dicembre '05 – giugno '08) in relazione alle precipitazioni – misure eseguite con acquisitore automatico



Nel periodo successivo (giugno '10 – ottobre '13) i dati sono limitati alle sole misure manuali (Figura 107 (Longinelli & S, 1999)). Tali misure mostrano un graduale decremento del livello piezometrico che è passato da 225.1 m s.l.m. (giugno '10) a 222.1 m s.l.m. (marzo '13). Segue poi un incremento del livello legato alle precipitazioni primaverili ed un successivo decremento.

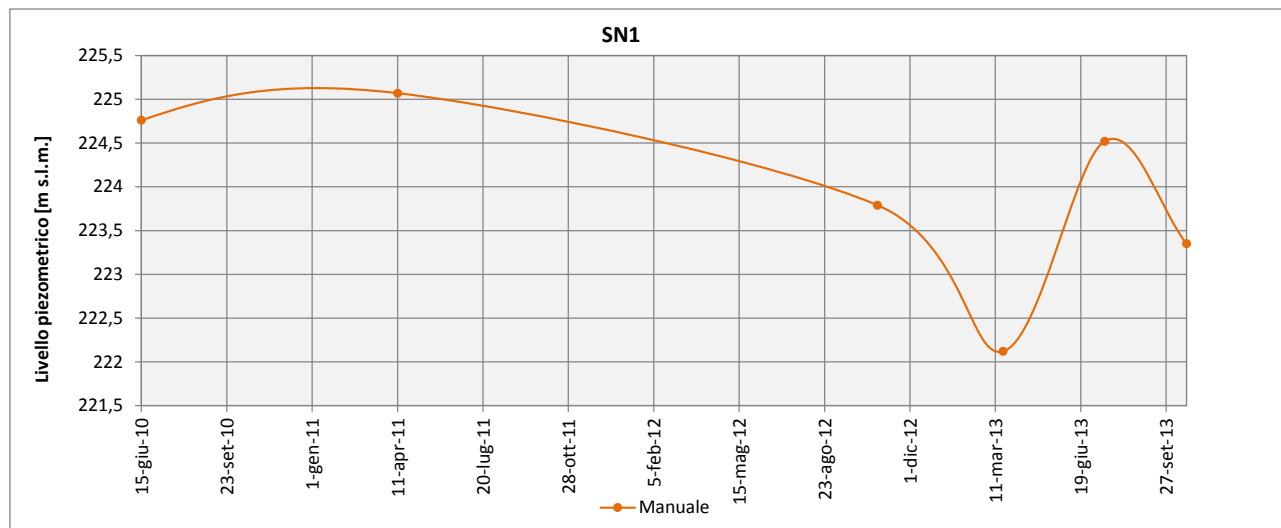


Figura 107: Andamento dei livelli nel piezometro SN1 (periodo giugno '10 – ottobre '13) in relazione alle precipitazioni – misure eseguite manualmente

Nel piezometro **S30** si osservano una serie di oscillazioni piuttosto contenute dei livelli idrici con picchi massimi di circa 1 m che si verificano in seguito ai principali eventi infiltrativi nei periodi primaverile e autunnale (Figura 108). In tali situazioni l'incremento dei livelli idrici si verifica circa dopo 4 giorni dall'evento infiltrativo evidenziando la ridotta permeabilità dell'acquifero intercettato dal piezometro (Figura 109). Le quote piezometriche rimangono piuttosto costanti fino all'inizio del mese di novembre 2012 quando, nell'arco di pochi giorni, si assiste ad un improvviso decremento dei livelli idrici che porta all'asciutto il sensore di livello impedendone il funzionamento. Il controllo manuale che viene effettuato attraverso sondino piezometrico ha evidenziato un abbassamento dei livelli di 13 m.

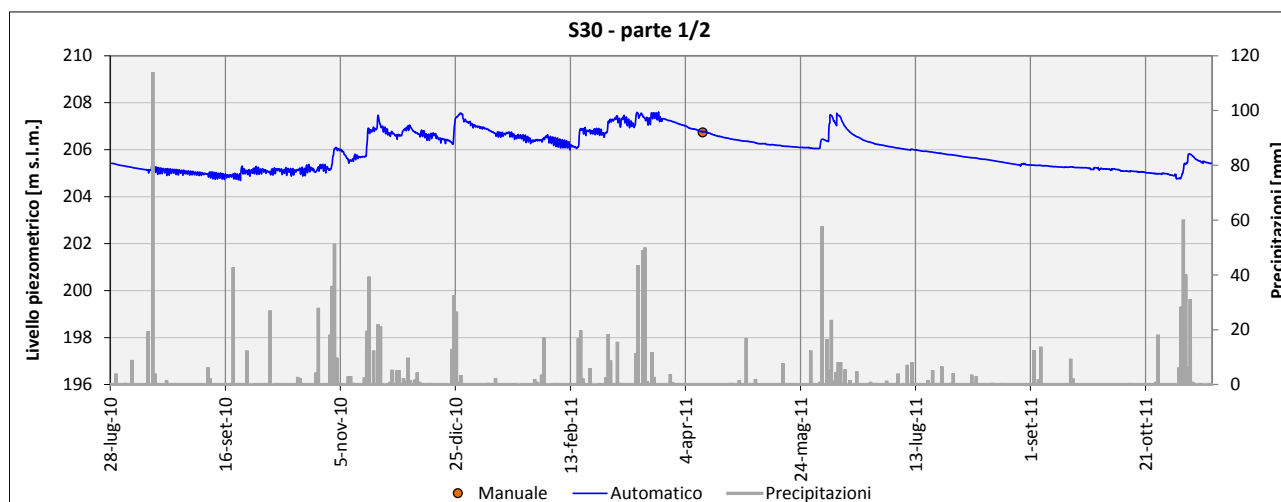


Figura 108: Andamento dei livelli nel piezometro S30 (periodo luglio '10 – novembre '11) in relazione alle precipitazioni

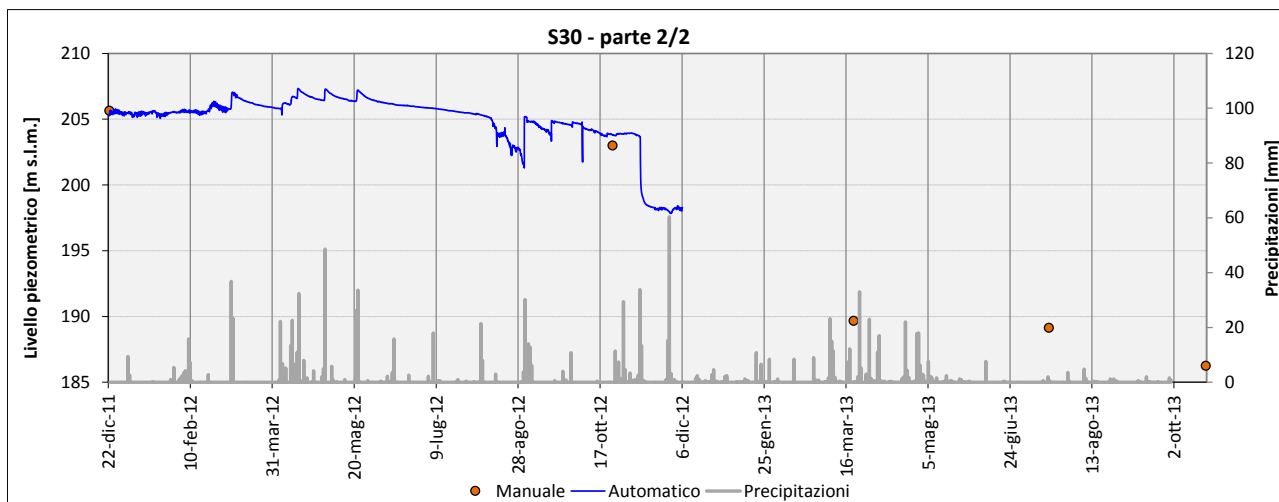


Figura 109: Andamento dei livelli nel piezometro S30 (periodo dicembre '11 – ottobre '13) in relazione alle precipitazioni

Nel piezometro **S31** si osserva un andamento dell'idrogramma caratterizzato da una serie di incrementi e decrementi dei livelli idrici (superiori anche a 5 m) strettamente connesso con gli apporti infiltrativi (Figura 110 e Figura 111). In seguito a periodi particolarmente umidi la risposta dell'acquifero è più rilevante mentre in estate o, più in generale, dopo periodi particolarmente asciutti, gli incrementi dei livelli idrici sono contenuti a causa dei processi di evapotraspirazione e/o per la saturazione degli orizzonti più superficiali dell'acquifero. Più in dettaglio, osservando la risposta a un evento infiltrativo (Figura 112), si può notare come gli incrementi dei livelli idrici si registrino dopo 4 giorni dall'evento stesso evidenziando un notevole ritardo correlato alla ridotta permeabilità della copertura dell'ammasso gessoso. Simile situazione è stata osservata nel piezometro S30. Le interruzioni relative a maggio '13 – ottobre '13 sono dovute a guasti strumentali.

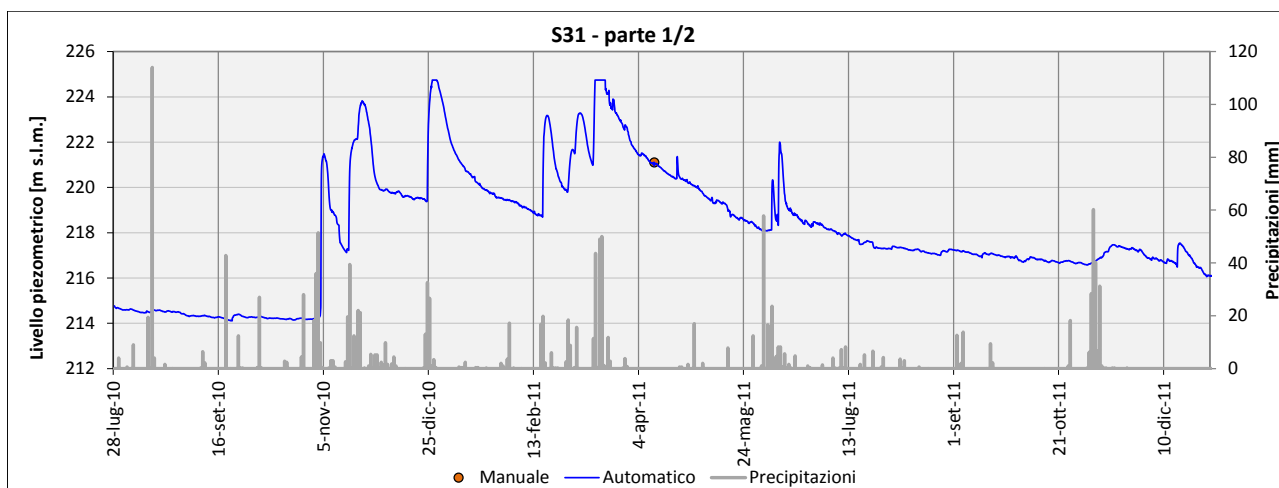


Figura 110: Andamento dei livelli nel piezometro S31 (periodo luglio '10 – dicembre '11) in relazione alle precipitazioni

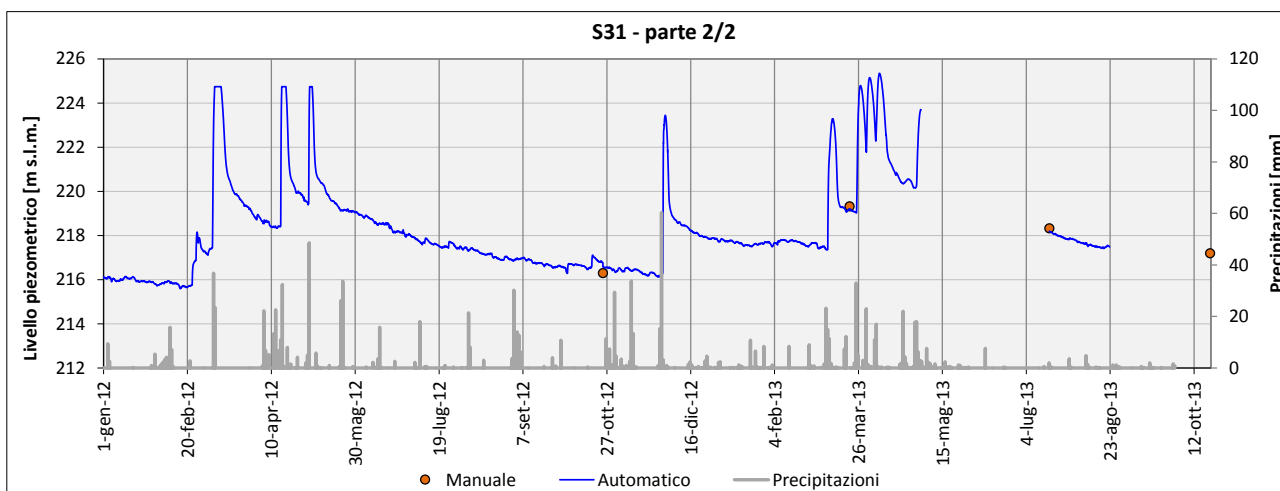


Figura 111: Andamento dei livelli nel piezometro S31 (periodo gennaio '11 – ottobre '13) in relazione alle precipitazioni

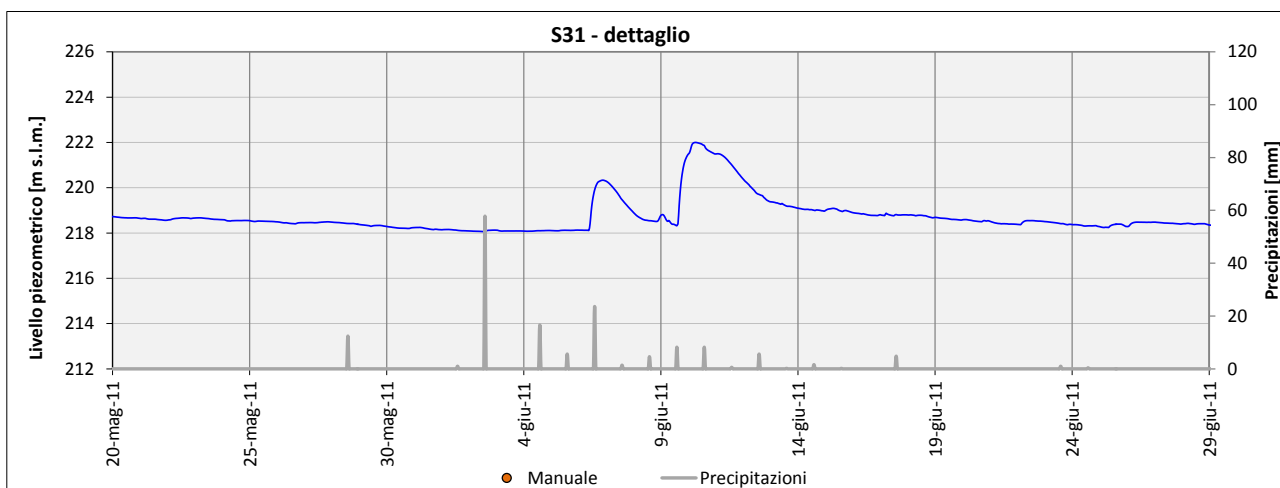


Figura 112: Particolare che evidenzia i rapporti tra le precipitazioni e gli incrementi dei livelli idrici in S31

### 8.1.7.2. RETE DI CONTROLLO CHIMICO-FISICO DELLE ACQUE

La rete di controllo chimico-fisico delle acque (Figura 113) consiste in una serie di punti di campionamento delle acque sotterranee intercettate dalle gallerie di cava. I punti di campionamento sono cambiati nel tempo in quanto alcune venute prima campionate ora sono completamente asciutte.

In tale rete di controllo non sono stati inclusi gli scarichi della cava in quanto, questi, saranno trattati a parte.

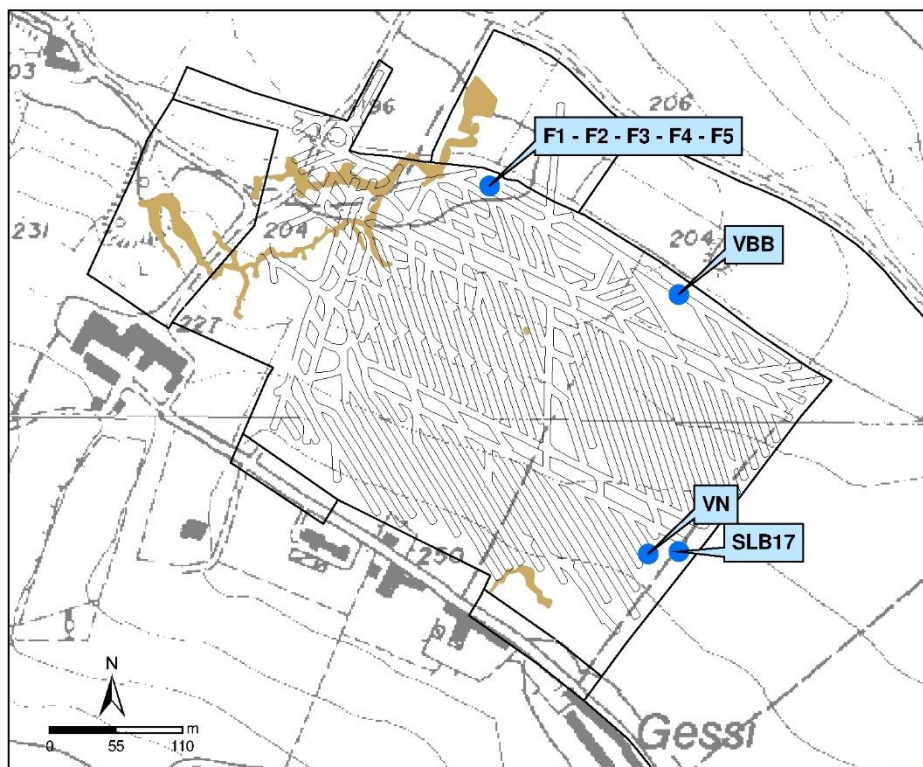


Figura 113: Rete di controllo chimico-fisico delle acque sotterranee

Tale rete è stata modificata nel tempo in quanto alcune venute si sono asciugate del tutto (Venuta frattura VF, Venuta Calcarea VC) mentre altre sono state intercettate (SLB17, VN):

- **Venuta Bassa Bassa (VBB):** è l'acqua defluente da un sondaggio eseguito in prossimità della Venuta Bassa a quota 129 m s.l.m.;
- **Venuta Foro 1 (F1):** è l'acqua proveniente dal foro con il maggior deflusso idrico ubicato nella vasca di calma dello Stramazzo 2 a quota 130,50 m s.l.m.;
- **Venuta Foro 2 (F2):** è l'acqua proveniente dal foro ubicato in prossimità dello Stramazzo 2 a quota 130,50 m.s.l.m.;
- **Venuta Foro 3 (F3):** è l'acqua proveniente da un foro prossimo ad F2;
- **Venuta Foro 4 (F4):** è l'acqua proveniente da un foro prossimo ad F2;
- **Venuta Foro 5 (F5):** è l'acqua proveniente dal foro ubicato più in alto rispetto allo Stramazzo 2 a quota 132 m s.l.m.;
- **SLB17:** è l'acqua proveniente da un foro di sondaggio orizzontale che ha intercettato una nuova porzione dell'acquifero nell'ammasso gessoso ubicata ai confini sud orientali della cava.
- **Venuta Frattura (VF):** è l'acqua proveniente da una frattura intercettata presso il fronte del livello 3 a una quota di 150 m s.l.m., con una portata inferiore a 0.5 l/s. Attualmente la portata si è annullata;