



COMUNE DI  
**LOVERE**  
uno fra 'I Borghi più belli d'Italia'

# COMUNE di LOVERE

## Settore IV - Opere Pubbliche

### OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DA SPROFONDAMENTO IN LOCALITA' TRELLO

### 1° LOTTO STRALCIO \_ OPERE PRESSO SORGENTE BIFF

## PROGETTO ESECUTIVO

#### Gruppo di Progettazione:

#### Gruppo di Progettazione:



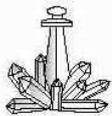
via Felice Cavallotti, n 1 tel 0331-549460 fax 0331-457130  
20025 - LEGNANO (MI) e-mail: tecnico@ingarc-lab.com

progettista dell'opera, delle strutture e  
coordinatore delle prestazioni specialistiche

**Rolando ing. CRESPI**  
Ordine Ingegneri Milano nr A18035

progettista dell'opere architettoniche

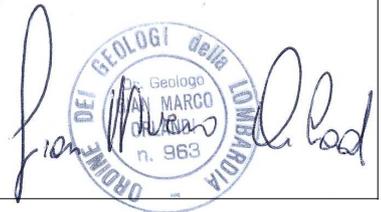
**Simona arch. VISCONTI**  
Ordine Architetti Milano nr 13735



Studio Associato di Geologia Spada di Orlandi G.M. e Bianchi S.  
Via Zuccala Locatelli 3 - Bergamo (BG)  
Tel: 035/516090 - fax: 035/513738 - e-mail: [info@studiogeospada.it](mailto:info@studiogeospada.it)



Swiss  
Certified  
ISO 9001



						per approvazione
02						
01	06-2022	Aggiornamento revisione prezzi				
00	08 - 2021	Emissione	--	--	--	
N°	DATA	REVISIONE	DIS	VER	APP	Responsabile del Procedimento

#### Titolo:

### RELAZIONE GEOLOGICA

DOC. N.

# 03

COMMESSA

FASE

DOC

PROGR.

REV.

3 1 1

PE

GE

0 0 3

0 0

SCALA

---

## **INDICE**

<i>1.0 PREMESSE, PROGRAMMA DI LAVORO E LIMITI .....</i>	<i>3</i>
<i>2.0 CRITICITA' E VINCOLISTICA GEOLOGICA.....</i>	<i>6</i>
<i>3.0 ELEMENTI DI CARATTERE GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO EMERSI DAGLI STUDI PREGRESSI.....</i>	<i>8</i>
<i>4.0 INTERVENTI PREGRESSI E PROBLEMATICHE.....</i>	<i>13</i>
<i>5.0 ULTERIORI ELEMENTI DI ATTENZIONE E CRITICITA' DA AFFRONTARE E GESTIRE NEL FUTURO .....</i>	<i>14</i>
<i>6.0 INDAGINI ED APPROFONDIMENTI PER IL PRESENTE PROGETTO: SONDAGGI A CAROTAGGIO CON PIEZOMETRI STRUMENTATI.....</i>	<i>17</i>
<i>7.0 ASSETTO E STRUTTRA GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA DELL'AREA DELLA SORGENTE BIFF .....</i>	<i>19</i>
<i>8.0 CONSIDERAZIONI E VALUTAZIONI IDROGEOLOGICHE SULL'AREA DELLA SORGENTE BIFF .....</i>	<i>23</i>
<i>9.0 CONSIDERAZIONI E INDICAZIONI PER LE OPERE DI MITIGAZIONE DEL PRESENTE PROGETTO.....</i>	<i>26</i>
<i>ALLEGATI GRAFICI .....</i>	<i>35</i>

## **1.0 PREMESSE, PROGRAMMA DI LAVORO E LIMITI**

La relazione è di supporto al progetto esecutivo dei lavori di *“mitigazione del rischio idrogeologico da sprofondamento nei pressi dell’area del Trello – 1° LOTTO STRALCIO – opere presso la sorgente Biff”*, in Comune di Lovere (BG) ed il grado attuale di progettazione è quello esecutivo.

La presente REV01 del progetto esecutivo è relativa al tema dell’aggiornamento dei prezzi per le motivazioni di cui alla relazione tecnica e l’unica modifica tecnica riguarda la modalità esecutiva dello scarico dei pozzi (con scavo in tradizionale in sostituzione della perforazione direzionale) La presente relazione riprende quindi integralmente quella redatta dagli scriventi a supporto del progetto esecutivo delle opere.

Le prescrizioni della conferenza dei servizi non hanno riguardato aspetti di carattere geologico ed idrogeologico e quindi nel presente grado esecutivo la presente relazione avrebbe potuto essere omessa.

Stante però la fondamentale importanza degli elementi geologici ed idrogeologici per l’intervento e le scelte progettuali, si è ritenuto di riproporla integralmente.

Il presente intervento è finanziato dalla Regione Lombardia con il “Programma Regionale 2019-2021 di interventi prioritari di manutenzione straordinaria nelle aree a rischio idrogeologico molto elevato” per un importo di € 600.000,00; la somma aggiuntiva, legata all’aumento dei prezzi, pari ad € 113.934,79 è coperta dall’Amministrazione Comunale con risorse proprie..

Si tratta di interventi di difesa del suolo, atti a mitigare il rischio da sprofondamento per sinkholes, nella zona urbanizzata del Trello, l’area è classificata a rischio idrogeologico molto elevato ex L. 267/98.

La situazione geologica, idrogeologica, idrochimica e geologico tecnica dell'area è estremamente complessa ed il contesto è stato oggetto, nel recente passato, di studi, approfondimenti ed opere di consolidamento delle aree.

Il proseguire di alcune dinamiche di cedimento, concentrate lungo le viabilità principali, richiede ulteriori interventi, finalizzati a ridurre la formazione delle cavità sotterranee ed a garantire una maggiore protezione rispetto a cedimenti improvvisi, sia delle reti dei sottoservizi sia delle viabilità.

Questo 1° lotto stralcio di intervento si propone di intervenire sull'assetto idrogeologico per rallentare il “motore” dei fenomeni di dissoluzione in continua evoluzione.

Una sintesi dei principali elementi di criticità, della cronistoria degli interventi pregressi, dello stato attuale dei luoghi e delle ultime indagini effettuate è contenuta nella relazione geologica di supporto al progetto definitivo-esecutivo del “1° stralcio delle opere urgenti per la messa in sicurezza delle sedi stradali di via 2 giugno e via IV novembre” cui si rimanda una serie di considerazioni in merito ad attività a carattere generale da attuare nell'area ai fini della mitigazione del rischio.

Per una maggiore comprensione dei fenomeni idrogeologici in atto al Trello, fenomeni che stanno ancora generando dissesti, cedimenti e sprofondamenti lungo alcune strade, sono stati affidati dall'Amministrazione Comunale due incarichi specifici al Politecnico di Milano – DICA –prof. Claudio Di Prisco ed all'Università degli Studi Milano Bicocca – Dip. di Geotecnologia –prof. Riccardo Castellanza.

Le prime analisi effettuate, concentrate principalmente sull'assetto idrogeologico e sull'interazione tra acqua e sottosuolo, sono sintetizzate nei due documenti di seguito citati ed allegati al progetto definitivo, cui si rimanda e precisamente:

- “Modellazione idro-geologica e chimica dei dissesti in località Trello (Lovere” – Fase di caratterizzazione – Campo prove – Report preliminare di fase 1” – DISAT – UNIMIB – maggio 2017;
- “Attività di supporto scientifico per lo studio del degrado e della dissoluzione di gessi e dei fenomeni di subsidenza in aree antropizzate presso il Comune di Lovere – area di Trello” – Politecnico di Milano, prof. Claudio Di Prisco, agosto 2017.

In aggiunta agli studi ed alle analisi sopra citate, a supporto del progetto definitivo è stato eseguito un piano di indagini geognostiche e monitoraggi mirati all’acquisizione di elementi geologici ed idrogeologici di dettaglio dell’area della sorgente Biff e delle aree limitrofe.

Il piano ha previsto l’esecuzione di n° 5 sondaggi a carotaggio continuo (vedi allegati da 1 a 11), ad una profondità variabile da circa 20 a 36 metri dal p.c., con la posa di tubazioni piezometriche e la messa in opera, di trasduttori di pressione, collegati ad un sistema di raccolta dati e trasmissione.

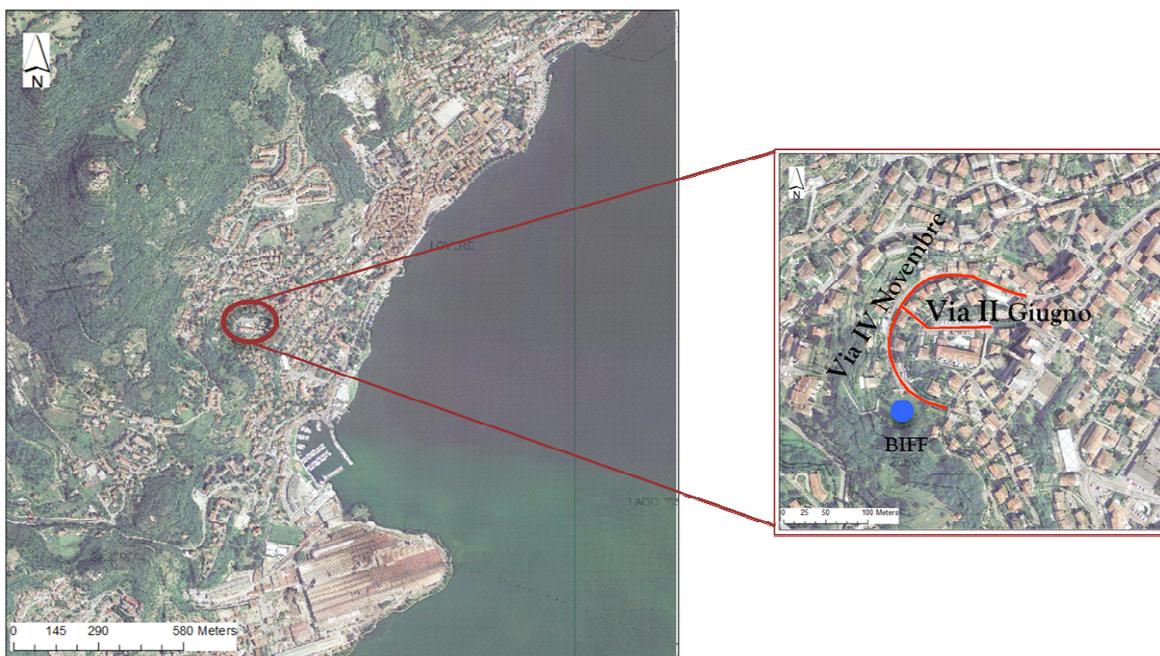
Lo scopo delle indagini è quindi stato duplice:

- affinare la conoscenza geologica del sottosuolo con particolare riferimento alla profondità del substrato gessoso ed alla stratigrafia dei depositi sovrastanti;
- acquisire importanti elementi conoscitivi sull’assetto idrogeologico, sia in fase di perforazione (presenza di acquiferi liberi e/o confinati, presenza di acquiferi sovrapposti, ecc.) che nel tempo con il monitoraggio dei livelli piezometrici.

I monitoraggi sono in automatico e proseguiranno nel tempo, anche nella fase operativa del cantiere, al fine di migliorare sempre di più la conoscenza del sistema idrogeologico di riferimento.

## **2.0 CRITICITA' E VINCOLISTICA GEOLOGICA**

La zona di intervento è localizzata nella porzione sud del territorio Comunale di Lovere, all'interno del comparto edificato: si tratta della località di Trello.



*Fig. 1: Ubicazione della località Trello ed individuazione dei principali elementi citati*

Il Trello è una porzione molto complessa e delicata del territorio Comunale, con la forma di un ampio avvallamento subpianeggiante, aperto verso il lago, legato verosimilmente a dinamiche molteplici (fenomeni carsici nel substrato gessoso, fenomeni di rilascio tensionale, effetti di sbarramenti temporanei in periodo glaciale e post glaciale, ecc.).

Tutta l'area, per la complessità e l'elevata vulnerabilità idrogeologica, è inclusa all'interno del sito a rischio idrogeologico molto elevato ex L. 267/98 "Trello e Cornasola".



*Fig. 2: Perimetrazione dell'area a rischio idrogeologico ex L. 267/98 che interessa la zona del Trello*

La perimetrazione indicata è ampia e comprende contesti geologicamente ed idrogeologicamente differenti: Trello, Lago e Cornasola.

Le opere del presente progetto ricadono nella zona del Trello e sono interamente ubicate nella porzione a maggiore rischio idrogeologico (zona 1) e precisamente:

- la zona del Trello in cui le problematiche principali sono connesse a fenomeni di cedimento e sprofondamento del suolo, con formazione di cavità e conseguenti problemi strutturali sugli edifici, per la presenza di un substrato evaporitico, con presenza di scorrimenti di acqua nel sottosuolo e con la soprastante presenza di depositi eterogenei, spesso con caratteristiche geotecniche scadenti.

### **3.0 ELEMENTI DI CARATTERE GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO EMERSI DAGLI STUDI PREGRESSI**

Le relazioni citate al paragrafo 1 ed in parte allegate al progetto definitivo dei presenti lavori, unitamente a quelle prodotte in precedenza da altri professionisti in relazione alle problematiche ed alle opere di mitigazione dell'area del Trello, contengono una sintesi di tutte le analisi, le misurazioni e le verifiche effettuate dal Gruppo di Lavoro a partire dal 2016.

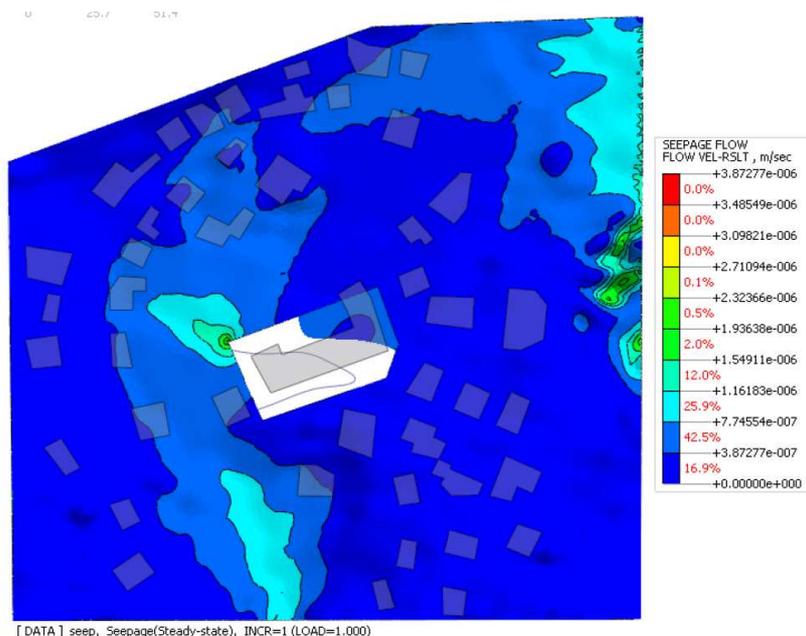
Tutti gli elementi disponibili sono andati a confluire nel modello geologico – idrogeologico 3D dell'area del Trello (e di un suo significativo intorno), messo a punto per la modellazione dei flussi sotterranei e dell'impatto degli stessi sul sottosuolo, con particolare attenzione alle aree suscettibili di cedimenti e sprofondamenti, per la formazione di vuoti e cavità.

Gli elementi salienti, dal punto di vista idrogeologico, che emergono da tutti gli studi e dalle modellazioni effettuate sono di seguito riepilogati (per maggiori dettagli si rimanda alle relazioni allegate):

- la circolazione idrica sotterranea dell'intera zona del Trello è condizionata dall'apporto idrico che arriva dalla zona della sorgente Biff.

L'area del Trello ha una forma naturale ad anfiteatro ed è sormontata da un versante carbonatico fratturato. In queste condizioni geologiche ed idrogeologiche è evidente che flussi e deflussi superficiali e sotterranei sono comunque distribuiti, ma la sorgente del Trello è un punto naturale di concentrazione e di recapito di molti di questi deflussi.

Questo dato qualitativo è stato confermato con le modellazioni idrogeologiche del Politecnico di Milano, di cui l'immagine seguente è uno stralcio, ed a cui si rimanda per maggiori dettagli (allegato B).



*Fig. 3: Contour delle velocità di filtrazione ricavato dal modello geologico-idrogeologico 3D del comparto di Trello (estratto di fig. 75 del report POLIMI)*

La struttura geologica-idrogeologica della zona Biff è estremamente complessa, con la presenza di una falda confinata in pressione (probabile paleoalveo) che alimenta i deflussi idrogeologici dell'intero comparto a valle.

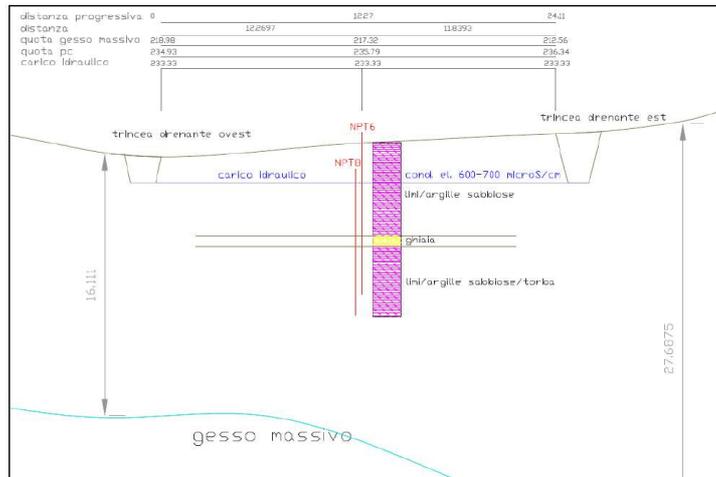
Questo aspetto è stato oggetto di specifici approfondimenti nell'ambito, del presente grado di progettazione, con l'esecuzione di n° 5 sondaggi a carotaggio continuo, con messa in opera di piezometri e trasduttori, come verrà descritto nel paragrafo seguente;

- nella zona del Trello, a valle dell'area della sorgente Biff, il deflusso sotterraneo, soprattutto nelle zone di alto del substrato gessoso, è fortemente irregolare. In molti

casi si tratta di uno scorrimento per ruscelli e corsi d'acqua sotterranei, più che di una vera falda omogenea. Questo aspetto è stato verificato direttamente durante i lavori di riduzione del rischio al Trello, negli scavi più profondi, sostenuti dai pali, in cui si sono potuti osservare fenomeni erosivi puntuali e scorrimenti pseudo-carsici (soprattutto nella zona di interfaccia tra i depositi ed il gesso alterato o negli stessi depositi con componente gessosa importante). Questo significa che gli andamenti delle portate e delle velocità (elementi fondamentali per la velocità di sviluppo dei processi di dissoluzione dei gessi) non sono omogenei in tutta l'area ma fortemente variabili e difficilmente prevedibili o individuabili a priori;

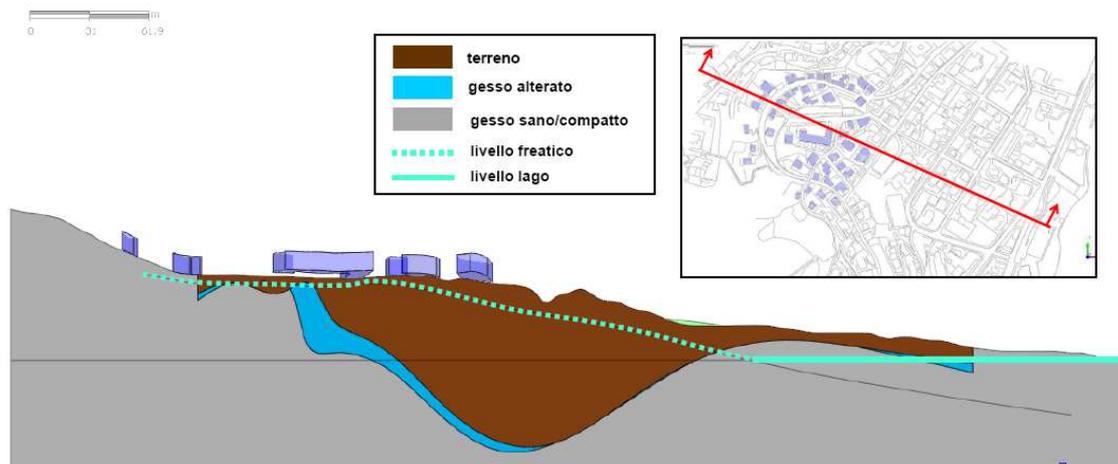
- a questa fortissima variabilità idrogeologica “naturale” si aggiungono tutti gli elementi di carattere antropico, che la condizionano e la rendono ulteriormente complessa. Sono presenti opere che creano ostacolo alle acque (edifici con interranti in acqua o strutture di protezione dalla stessa, come il diaframma che borda il condominio del Trello) ed altre che invece possono fungere da zone di deflusso preferenziali. Tra queste ultima si possono individuare i sottoservizi posati a quote tali da interferire con le acque oppure i micropali suborizzontali. Le attività di perforazione, con posa tubo ed iniezione hanno creato una discontinuità e l'interfaccia opera/terreno può diventare nel tempo una linea preferenziale di scorrimento delle acque (una sorta di dreno suborizzontale);

*Questi elementi suggeriscono la necessità di operare sulle acque (portate, velocità e chimismo) presso la zona di alimentazione della sorgente Biff. A valle il contesto idrogeologico e quello antropico rendono qualunque intervento “idrogeologico” complesso, di difficile realizzazione e potenzialmente di scarsa efficacia.*



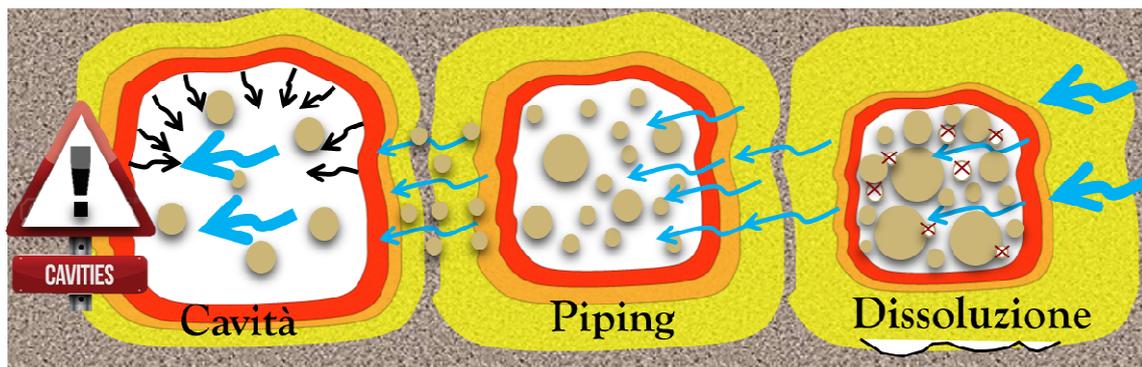
*Fig. 4: Sezione geologica attraverso la zona della sorgente Biff con evidenziazione della falda confinata in pressione (estratto di fig. 81 del report POLIMI)*

- vi è elevata coincidenza tra le aree di cedimento / sprofondamento attuale e le zone in cui la falda interferisce con lo strato di interfaccia tra gesso e depositi incoerenti di copertura e/o con zone di elevato valore di deflusso delle acque;



*Fig. 5: Sezione geologica schematica del Trello, ricavata dal modello 3D, in cui si possono evidenziare le zone vulnerabili per l'interferenza tra il livello di falda e l'interfaccia gesso-terreni*

- i fenomeni di tipo erosivo (piping) sono prevalenti nello sviluppo delle cavità rispetto ai fenomeni di dissoluzione chimica. Questi ultimi agiscono nelle fasi iniziali di attivazione del fenomeno, per la creazione dei primi vuoti e come elemento di potenziamento del piping.



## **SISTEMA VULNERABILE**

*Fig. 6: Schematizzazione del possibile sviluppo dei fenomeni di dissoluzione – piping e generazione cavità nell'area del Trello*

#### **4.0 INTERVENTI PREGRESSI E PROBLEMATICHE**

L'area del Trello è stata oggetto di imponenti interventi di consolidamento nel tempo, di cui il principale tra il 2009 ed il 2013 per una spesa di oltre 5M€.

Il perdurare di elementi di cedimento, principalmente su viabilità ed aree pubbliche, ha riportato l'attenzione su questa area e comportato la necessità di ulteriori interventi.

Un intervento in tal senso è stato completato nel 2018, sotto il coordinamento degli Scriventi, ed ha previsto attività di riempimento di cavità e vuoti in zone di cedimento delle sedi stradali, con il solo scopo di tamponare la situazione, in attesa di opere “più strutturate e coordinate”, come quelle del progetto globale di cui al precedente paragrafo e di cui il presente progetto rappresenta un primo stralcio particolarmente importante ed urgente.

Per cercare di rendere l'idea della complessità geologica, logistica, cantieristica, idrogeologica, infrastrutturale ecc. si evidenziano alcuni elementi di criticità emersi durante i lavori di tamponamento dei cedimenti stradali di via 2 giugno e IV novembre:

- diffusa presenza, spesso disordinata di sottoservizi, che impedisce di operare adeguatamente;
- scarsa conoscenza dei sottoservizi, con presenza di linee non mappate e di cui non sono disponibili dati (alimentazione acqua alle piscine e/o al supermercato dalla sorgente Biff);
- forte dinamicità del sistema con progressivo cedimento ed autoriempimento, con conseguente difficoltà di operare riempimenti, considerata anche l'impossibilità di iniettare a pressioni elevate stante il rischio di innescare ulteriori fenomeni ecc.

## **5.0 ULTERIORI ELEMENTI DI ATTENZIONE E CRITICITA' DA AFFRONTARE E GESTIRE NEL FUTURO**

Le esperienze precedenti e le analisi hanno messo in luce altri elementi di criticità / vulnerabilità /attenzione da affrontare:

1. i sottoservizi sono un elemento di grande attenzione e vulnerabilità nell'area in esame. In caso di cedimenti gli stessi possono venire coinvolti, con tutti i problemi conseguenti, anche di pubblica sicurezza in caso di reti quali il metano o la corrente elettrica. Inoltre eventuali cedimenti e/o rotture delle reti di smaltimento delle acque portano ad una accelerazione dei fenomeni in atto;
2. le strade e le viabilità sono un elemento di grande vulnerabilità in caso di fenomeni di sprofondamento. Vanno quindi adottate soluzioni adeguate di salvaguarda e protezione delle stesse nei confronti di possibili fenomeni improvvisi ed imprevedibili;
3. stante la complessità del contesto e dei fenomeni geologici, nonché l'elevata urbanizzazione delle aree, è fondamentale avere un sistema di monitoraggio di tutte le componenti presenti.

Il progetto è il 1° lotto stralcio di un intervento globale più ampio, che prevede un importo complessivo superiore ad 1,2M€.

I punti 1 e 2 (attività sui sottoservizi con realizzazione di un tunnel tecnologico ed interventi di tutela e protezione delle aree pubbliche quali viabilità e parcheggi con rinforzi in geogriglie strumentate) fanno parte dell'intervento globale di mitigazione del rischio nella zona del Trello progettato a livello preliminare dagli Scriventi nel gennaio 2018 e di cui il presente progetto è solamente un primo lotto.

Al momento è stata finanziata da Regione Lombardia sola la parte di interventi presso la sorgente Biff, per agire sul “motore idrogeologico” dei fenomeni di erosione, dissoluzione e dissesto.

*E’ però necessario che anche le altre opere previste dal progetto preliminare vengano finanziate e realizzate, per aumentare il livello di protezione del territorio e di mitigazione del rischio idrogeologico.*

Per quanto riguarda il monitoraggio (punto 3) dei vari parametri, si tratta di un processo ed un progetto in evoluzione.

Ad oggi sono operativi una serie di trasduttori per i livelli delle acque nel sottosuolo presso la sorgente Biff, una centralina meteo con un sistema di raccolta e trasmissione dati in tempo reale, un monitoraggio topografico delle aree con scansione periodica.

Ulteriori sviluppi del sistema di monitoraggio sono stati progettati con il presente progetto, in base all’efficacia dei parametri attualmente monitorati ed in base alle future necessità definite delle presenti analisi tecniche (vedi “Piano di monitoraggio” per maggiori dettagli).

*La complessità del problema e del contesto non consentono l’esecuzione di un intervento risolutivo di tutte le problematiche.*

*Le opere puntano a mitigare il fenomeno, a ridurre la velocità di sviluppo dei cedimenti, ma non è possibile ipotizzare una risoluzione del problema.*

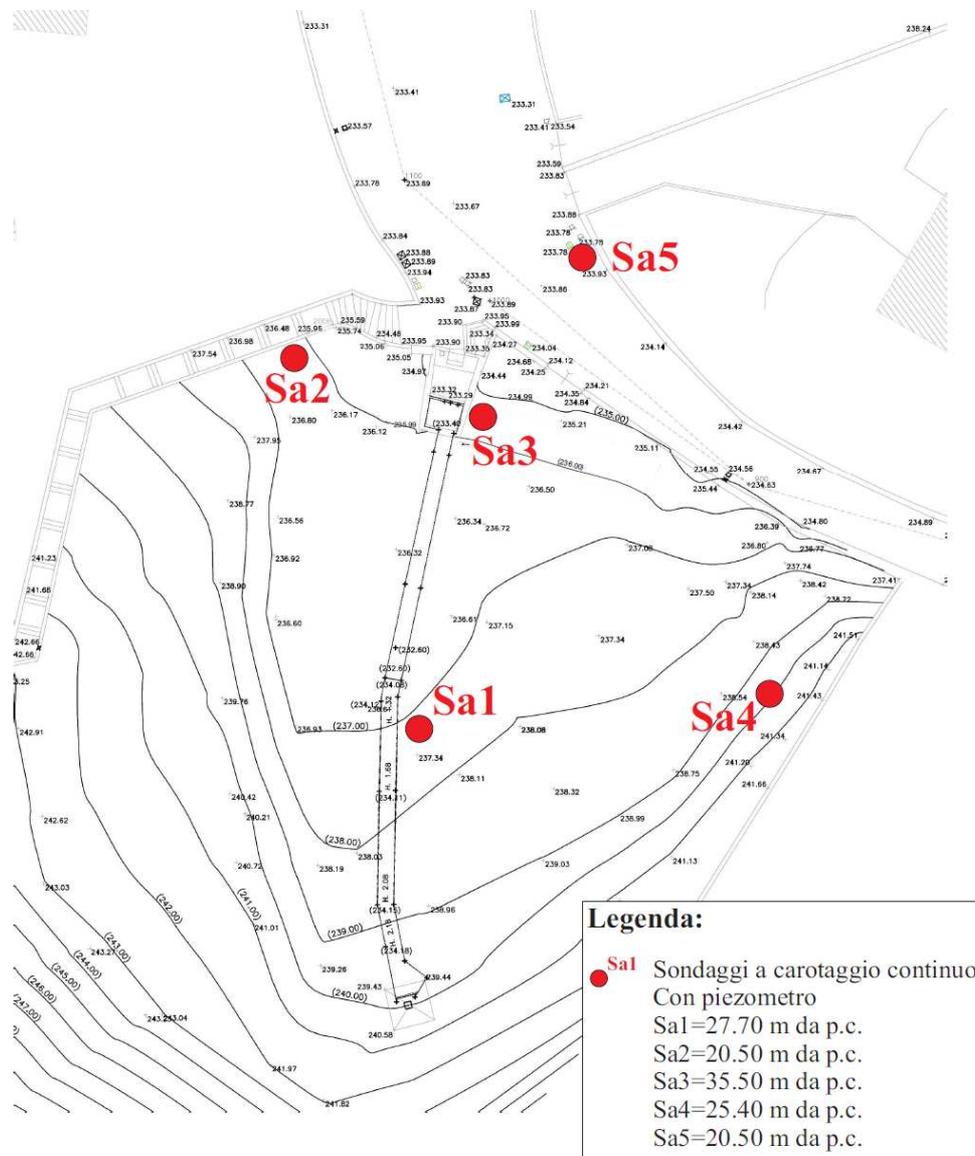
*Per quanto nel tempo sarà necessario:*

- 1. completare le opere per la salvaguardia dei sottoservizi e delle viabilità;*

2. *mantenere operativi i monitoraggi, per tenere sotto controllo l'evoluzione della situazione, l'efficacia delle opere e definire ulteriori necessità di intervento per il futuro.*

## **6.0 INDAGINI ED APPROFONDIMENTI PER IL PRESENTE PROGETTO: SONDAGGI A CAROTAGGIO CON PIEZOMETRI STRUMENTATI**

Alla luce degli elementi emersi dagli studi in precedenza descritti, con lo scopo di approfondire gli elementi ancora incerti, a supporto del presente grado di progettazione è stato eseguito un piano di indagini geognostiche e monitoraggi mirati all'acquisizione di elementi geologici ed idrogeologici di dettaglio dell'area della sorgente Biff.



*Fig. 7: Ubicazione indagini*

Il piano ha previsto l'esecuzione di n° 5 sondaggi a carotaggio continuo, ad una profondità variabile da 20,50 a 35,50 metri dal p.c..

I sondaggi sono stati eseguiti dalla Soc. Geocam, incaricata dal Comune, tra maggio e giugno 2019.

Le attività di coordinamento, verifica ed assistenza geologica in cantiere sono state effettuate dall'Università degli Studi Milano Bicocca, nell'ambito dell'incarico per il campo prove nella zona della sorgente Biff.

Tutti i fori di sondaggio sono stati attrezzati con tubazioni piezometriche del diametro di 4", con pozzetto carrale in testa.

All'interno di ogni tubazione è stato posizionato dalla Soc. Hortus, incaricata dal Comune delle attività di implementazione del sistema di monitoraggio, un trasduttore di pressione, con lo scopo di misurare in continuo i livelli di acqua all'interno dei fori.

Tutti i dati raccolti vengono inviati ad un datalogger di raccolta e sono trasmessi, in tempo reale, su una piattaforma web, accessibile tramite password.

Lo scopo delle indagini è quindi stato duplice:

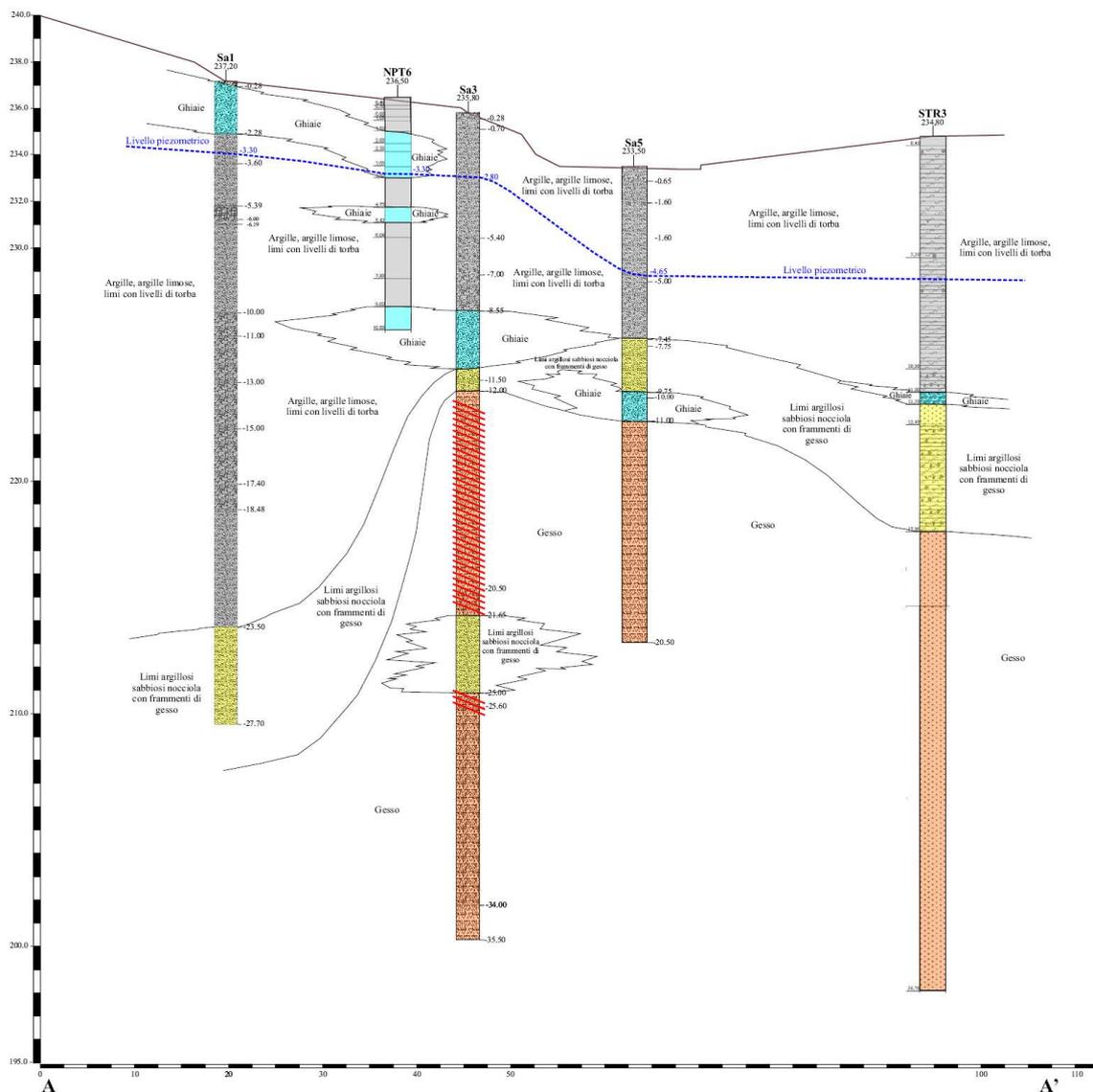
1. affinare la conoscenza geologica del sottosuolo con particolare riferimento alla profondità del substrato gessoso ed alla stratigrafia dei depositi sovrastanti;
2. acquisire importanti elementi conoscitivi sull'assetto idrogeologico, sia in fase di perforazione (presenza di acquiferi liberi e/o confinati, presenza di acquiferi sovrapposti, ecc.) che nel tempo con il monitoraggio dei livelli piezometrici.

Per quanto riguarda il punto 1 negli allegati grafici da 1 ad 11, cui si rimanda per tutti i dettagli, sono riportate le stratigrafie alla scala 1:100 dei sondaggi e la documentazione fotografica delle cassette portacampioni.

## 7.0 ASSETTO E STRUTTRA GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA DELL'AREA DELLA SORGENTE BIFF

L'assetto geologico ed idrogeologico dell'area circostante la sorgente Biff è visualizzato nelle tavole di progetto 2 e 3, che rappresentano le sezioni geologiche longitudinale e trasversale la zona della sorgente Biff.

La sezione geologica A-A' evidenzia alcuni elementi di grande interesse:



*Fig. 8: Sezione geologica A-A' che attraversa da monte a valle il prato della sorgente Biff (da Sa1 fino ad oltre Sa5 in fig. 7 – per ubicazione vedi tavola 2 di progetto)*

- nel sondaggio Sa1, nel prato vicino alla sorgente Biff, il gesso non è stato trovato fino a 27 metri dal p.c. La geologia è caratterizzata da presenza di argille limose, argille, limi con livelli di torbe e materiali organico. Si tratta chiaramente del riempimento di uno stagno / laghetto. I livelli ghiaiosi sono presenti in superficie o in sottili livelli nel sottosuolo;
- nei pressi del sondaggio Sa3, posto nella zona centrale al limite tra il prato e la strada, il gesso risale fino a 12 metri dal p.c. e crea un evidente soglia di sbarramento che ha consentito la formazione ed il riempimento del laghetto retrostante. Fino a circa 8 metri da p.c. dominano limi, argille con livelli di torba, mentre tra circa 8,5 ed 11 m. da p.c. è presente un potente livello di ghiaie con acqua (falda confinata, che tende a risalire fino a circa 3 metri dal p.c.). Il gesso è fortemente alterato e fratturato fino a 25 metri, ad indicare la forte pressione che la soglia subisce da parte delle acque retrostanti, presenti nel vecchio laghetto;
- Il sondaggio NPT6, molto vicino a Sa3 ma superfiale, aveva rinvenuto un livello ghiaioso con la falda in pressione a circa 5 metri dal p.c.: questo indica la possibilità di vari livelli acquiferi confinati nei depositi lacustri fini;
- Il sondaggio Sa5, sulla strada, evidenzia una situazione simile a Sa3: depositi fini che giungono a quasi 10 metri dal p.c., seguiti da ghiaie con forte componente gessosa. Da 11 metri da p.c. sono stati rinvenuti i gessi. La falda risulta ben confinata: fino a 8-9 metri dal p.c. il sondaggio risultava asciutto. L'acqua è stata ritrovata tra 9 e 12 metri dal p.c., con un livello risalito fino a 4,65 m. da p.c. I gessi si presentano sufficientemente compatti e poco alterati fin da subito.

- Nel sondaggio STR3, desunto da precedenti lavori ed ubicato nella proprietà Pina, il substrato gessoso è presente oltre i 17 metri. I depositi soprastanti sono a prevalente natura fine, con un sottile livello di ghiaie ad 11 metri.

Anche la sezione geologica B-B', perpendicolare alla precedente e compresa tra la proprietà Bertolini ed il ponte della vecchia tranvia, evidenzia alcuni elementi di grande interesse.

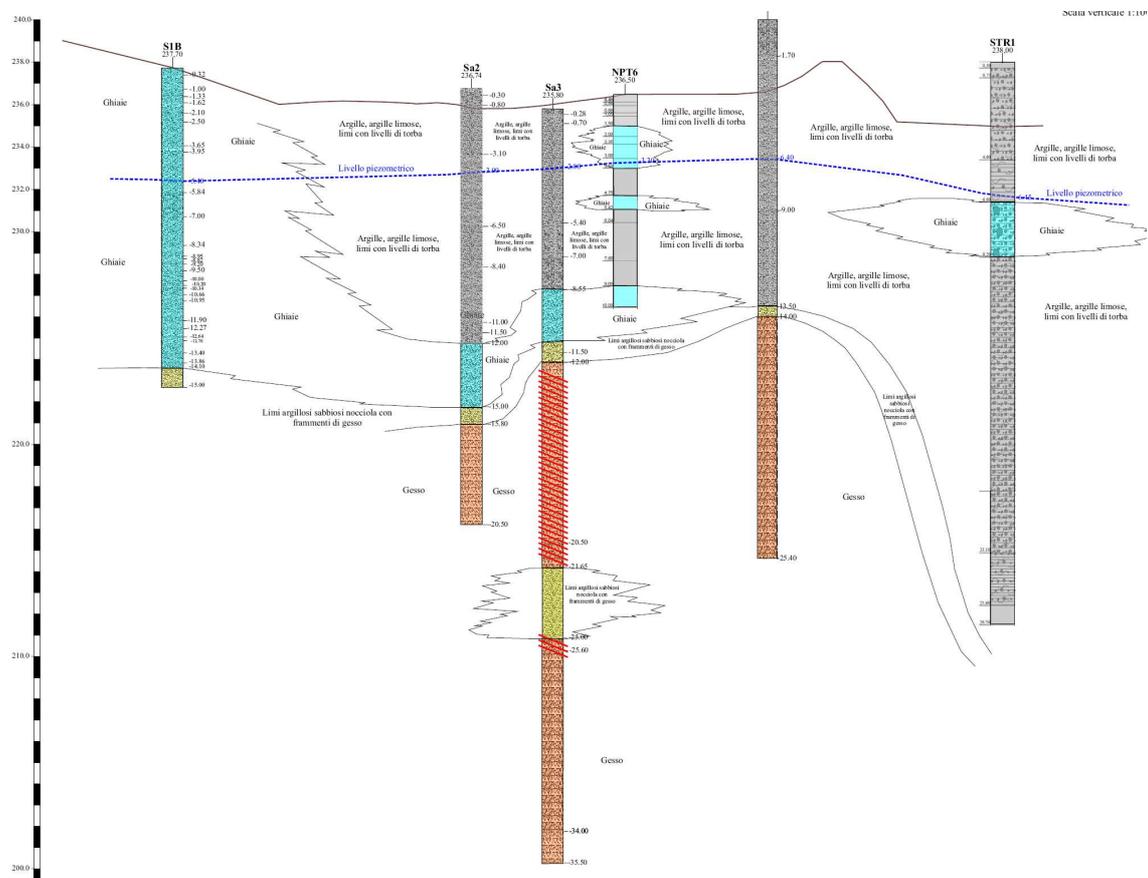


Fig. 9: Sezione geologica B-B'' (per ubicazione vedi tavola 3 di progetto)

I principali dati sull'assetto geologico sono i seguenti:

- Il substrato gessoso si trova ad una quota variabile tra 12 e 16 metri dal p.c. nella zona della sorgente Biff (Sa2 – Sa4) e tende ad abbassarsi oltre i 28 metri

e forse sparire completamente (forse per un contatto di tipo tettonico) verso STR1, presso il ponte della vecchia tranvia;

- Il sondaggio Sa4, presso il margine esterno del prato della Biff, è dominato dalla presenza di depositi fini (argille, argille limose, limi e torbe) senza la presenza di livelli ghiaiosi. Il gesso è stato rinvenuto da 14 fino a 25,40 m. da p.c. (massima profondità investigata): è in discrete condizioni, poco alterato e fratturato;
- La zona di passaggio tra i gessi ed i depositi del bacino lacustre è caratterizzata da un livello ghiaioso potente alcuni metri (Sa3 ed Sa2), che è sede dell'acquifero, che tende ad aumentare di potenza e spessore verso S1b;
- Il sondaggio S1b presenta alternanza di terreni ghiaiosi e sabbioso-limosi, ma senza la presenza di depositi di tipo lacustre.

*La soglia di gesso, che chiude il vecchio lago-stagno del Trello, è discontinua e quindi il sistema idrogeologico risulta non o poco confinato lateralmente. Attualmente il sistema ha trovato un suo equilibrio, con vie di deflusso preferenziali nella zona centrale, con il gesso fortemente alterato e fratturato.*

*La realizzazione di opere di sbarramento, anche parziale, del sistema idrogeologico, potrebbero comportare delle modifiche dello stesso, con un rischio significativo di spostamento della direzione di flusso preferenziale a nord-est di Sa2, nella zona in cui dominano le ghiaie, con conseguente spostamento e/o aggravamento dei problemi di dissoluzione in aree attualmente non o poco interessate dal fenomeno.*

## **8.0 CONSIDERAZIONI E VALUTAZIONI IDROGEOLOGICHE SULL'AREA DELLA SORGENTE BIFF**

Sulle sezioni è stata disegnata la linea del livello piezometrico, sulla base delle quote misurate in cantiere durante i lavori e di quelle disponibili per i sondaggi pregressi: si tratta di dati da considerare con attenzione, sia per il diverso riferimento temporale che per le possibili alterazioni apportate dalle attività di perforazione.

E' da considerare che per quanto verificato durante le attività di carotaggio, l'acquifero tende ad essere confinato nei livelli ghiaiosi nella zona della sorgente Biff, livelli che sono limitati dai terreni più fini (argille, argille limose limi e torbe di origine lacustre e di sbarramento).

Gli scorrimenti principali sembrano concentrarsi nella zona di transizione e di passaggio ai gessi e/o ai relativi terreni di alterazione, dove è generalmente presente una lente di ghiaie potente alcuni metri.

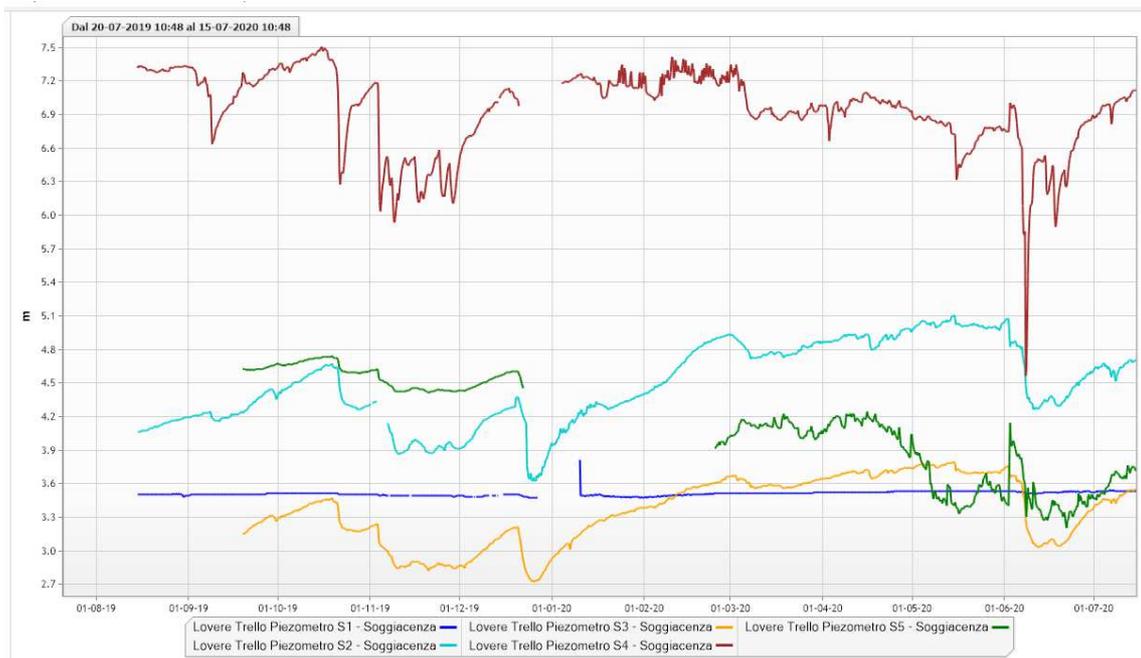
Livelli ghiaiosi di minore spessore e potenza, ma comunque con acquiferi confinati con la stessa pressione, possono essere localmente presenti lungo la verticale.

La struttura geologica ed idrogeologica dell'anfiteatro della sorgente Biff sembra essere confinata verso il sondaggio Sa4, caratterizzato dalla presenza di terreni prevalentemente fini fino a 13 metri e poi dai gessi.

Verso il sondaggio S1B la lente ghiaiosa acquifera presente sopra i gessi sembra aprirsi e la struttura dell'anfiteatro non risulta essere confinata in questa direzione.

Anche i depositi lacustri passano a depositi di versante e/o glaciali.

L'immagine seguente mostra il monitoraggio piezometrico dall'attivazione del sistema.



*Fig. 10: Dati del monitoraggio piezometrico*

I principali dati sono i seguenti:

- il livello dell'acqua nel piezometro Sa1 (ubicato nella parte centrale del paleo-lago, vicino alla captazione della sorgente) non si modifica mai, è assolutamente stabile e non evidenzia risposta né ai periodi di secca e nemmeno alle precipitazioni;
- anche il sondaggio Sa5, sulla strada, non sembra mostrare variazioni significative. La risposta sia alle precipitazioni che ai periodi di secca è estremamente ridotta;
- i piezometri Sa2 ed Sa3 mostrano un comportamento simile, quasi perfettamente sovrapponibile nel tempo (le forti oscillazioni di Sa2 sono legate a problemi del sensore ed è quindi stata ricostruita una linea con il trend in base ai dati affidabili). I due piezometri rispondono, con variazioni anche di 1 metro della soggiacenza, alle precipitazioni, con tempi di ritorno diluiti nel tempo;
- il sondaggio Sa4 mostra, invece, risposte rapide ed importanti alle precipitazioni, con veloci tempi di abbassamento e risposta ai trend di lungo periodo. Risposte così

rapide sembrano indicare, per questo piezometro, una maggiore influenza di alimentazioni superficiali, da monte, da porzioni ad elevata permeabilità (depositi superficiali ghiaiosi, brecce della Formazione di Castro, dolomie fortemente fratturate).

## **9.0 CONSIDERAZIONI E INDICAZIONI PER LE OPERE DI MITIGAZIONE DEL PRESENTE PROGETTO**

Alla luce di tutte le conoscenze ad oggi, degli ultimi approfondimenti eseguiti e dei rapporti del Politecnico di Milano e dell'Università degli Studi Bicocca, gli elementi da introdurre in un intervento di mitigazione sono certamente due:

- intercettazione e riduzione dell'apporto idrico (portate e velocità) dalla zona della sorgente Biff verso la zona del Trello;
- monitoraggio dell'area di studio idrogeologico, chimico, topografico ecc.

Per quanto riguarda la possibilità di un trattamento chimico, i principali dubbi sono legati alla possibile efficacia in relazione alle portate in gioco ed alla maggiore importanza dell'effetto di piping rispetto alla dissoluzione chimica, che risulta importante nelle fasi iniziali di sviluppo dei fenomeni.

*A parere degli Scriventi anche quello del trattamento chimico è un elemento da introdurre, certamente abbinato alla riduzione dei flussi verso valle, in modo da renderlo maggiormente efficace, a condizione di scegliere opzioni di intervento a basso impatto e prive di rischi per l'ambiente.*

*La complessità dei fenomeni del Trello, come già evidenziato più volte, è tale che non è ipotizzabile una soluzione univoca e definitiva ma saranno necessari interventi di mitigazione nel tempo, abbinati a monitoraggi e controlli.*

Anche nella scelta degli interventi del presente progetto è fondamentale avere in mente un elemento cardine: le opere NON devono avere impatti, anche solo potenziali, negativi sul contesto (come per esempio il possibile sbarramento dei flussi che potrebbe

comportare uno spostamento degli stessi). L'unico rischio accettabile, in un contesto così delicato, è quello della bassa efficacia delle opere stesse.

**In sintesi, mutuando dall'ambito medico "Primum non nocere".**

Il presente intervento deve quindi comprendere tre linee operative:

- 1) *riduzione dei flussi dalla zona della Biff verso il Trello,*
- 2) *trattamento chimico per ridurre l'aggressività delle acque*
- 3) *monitoraggio dei parametri idrochimici e degli spostamenti nel tempo.*

Si tratta di concetti semplici in linea generale, ma certamente complessi da attuare nel caso specifico.

1) **Riduzione dei flussi dalla zona della Biff verso il Trello,**

Un intervento di riduzione delle portate di deflusso dalla zona della sorgente Biff all'anfiteatro del Trello deve agire sulle oscillazioni a seguito delle precipitazioni.

In questi momenti le portate del sistema aumentano in modo impulsivo, importante, apportando al sistema acque molto aggressive chimicamente.

L'eliminazione di questi picchi di portata può apportare un significativo beneficio al sistema, riducendo le forti variazioni di portata e di velocità, nonché di chimismo, principali fattori che agiscono sulla dissoluzione del gesso.

Infatti, una eccessiva riduzione dei quantitativi di acqua verso il Trello potrebbe risultare negativa ed innescare cedimenti e/o sprofondamenti parziali (in alcune cavità la presenza e la spinta dell'acqua contribuiscono certamente al sostentamento).

Inoltre a valle i flussi divengono irregolari ed imprevedibili, con anche scorrimenti pseudo-carsici, e fortemente condizionati dagli effetti delle opere antropiche (edifici, barriere impermeabili, sottoservizi, micropali orizzontali, ecc.).

*La posizione per attuare questi interventi è lungo l'allineamento dei sondaggi Sa2-Sa3-Sa4, unici piezometri che tendono a reagire in modo significativo alle precipitazioni e che possono consentire di definire delle quote di drenaggio / emungimento delle acque, senza alterare il deflusso di base.*

*La riduzione dei flussi potrà avvenire sia per gravità, compatibilmente con le quote dell'acqua, che, per la maggior parte, con emungimento in pozzo.*

L'attuale punto di recapito è rappresentato dalla grande tubazione interrata (diametro 800 mm) che già adesso scarica le acque della sorgente Biff verso il lago.

Tale tubazione è posata a profondità variabili da 2,5 ad oltre 4 metri dal p.c. nell'area del Trello e quindi può consentire lo scarico delle acque in parte per gravità.

E' quindi fondamentale per la progettazione esecutiva delle presenti opere:

- verificare la profondità di posa del tubo per le quote di scarico;
- controllare con una videoispezione le condizioni della tubazione;
- verificare le portate massime scaricabili, nei momenti di pioggia.

Per intercettare le acque si potrebbe pensare di realizzare una serie di pozzi di grande diametro (1-1,5 metri), perforati fino a 12-16 metri di profondità (intestati nel gesso) e sostenuti ad un lamierino metallico, del tutto analoghi a quelli utilizzati per il drenaggio profondo dei pendii in frana.

In strutture di questo tipo, che non costituiscono ostacolo al flusso normale della falda per la loro natura permeabile, è possibile:

- realizzare un dreno di scarico per gravità delle acque verso il tubo di deflusso della sorgente Biff, alla minima quota possibile, per ridurre per gravità i picchi di innalzamento conseguenti alle piogge;

- inserire dei sistemi di pompaggio, controllati da un galleggiante, per emungere le acque in afflusso solamente nel momento in cui il livello delle stesse si inizia ad alzare nel sottosuolo, alle quote definite progettualmente.

La difficoltà del sistema è quella di definire le quote di attivazione dei pompaggi.

Per il dreno a gravità la quota è condizionata da quella del recettore.

Per il sistema di pompaggio la regolazione dei galleggianti potrà essere modificata nel tempo, in base ai controlli ed ai monitoraggi.

## **2) Trattamento chimico per ridurre l'aggressività delle acque**

L'effetto di dissoluzione chimica agisce verosimilmente nelle fasi iniziali del fenomeno di dissoluzione; nel seguito domina l'effetto di piping.

La possibilità di ridurre l'aggressività chimica delle acque deve, a parere degli Scriventi, essere affrontata in modo attento e soprattutto in abbinamento alla riduzione dei flussi (illustrata al punto precedente), in modo da aumentarne l'efficacia.

L'idea progettuale è di agire su due fronti:

- 1) aumentare il contenuto di solfati nelle acque per ridurre l'aggressività nei confronti delle rocce gessose;
- 2) cercare di spingere il sistema idrochimico e depositare sul fondo dei canali di deflusso un sale insolubile, che possa aiutare a ridurre i fenomeni di erosione nel tempo.

Il primo intervento può essere attuato in maniera relativamente semplice in modalità analoga a quello utilizzato nel campo prove dall'Università Bicocca: realizzare delle perforazioni nel sottosuolo, a profondità tali da interferire con l'acqua presente, e riempirle con materiale con elevato contenuto di solfato di calcio (frammenti di gesso).

Le acque sotterranee nel loro naturale deflusso sciolgono il gesso, aumentano il loro carico di solfati e divengono, in conseguenza, meno aggressive nei confronti del substrato gessoso.

Per potenziare l'efficacia di questo trattamento è necessario:

- realizzare una cortina molto fitta (per es. con perforazioni ravvicinate), con una profondità di 10-12 metri,
- localizzare la zona di trattamento con i solfati a valle dei pozzi di emungimento (nella zona compresa tra i pozzi e la strada), in modo da dover trattare dei quantitativi ridotti di acque sotterranee,
- utilizzare un solfato di calcio velocemente solubile, per esempio già ridotto in polvere oppure in soluzione.

Per il secondo punto l'idea progettuale è quella di utilizzare e forzare artificialmente il fenomeno della dissoluzione incongruente che si verifica naturalmente nelle grotte di gesso e che permette il naturale deposito di speleotemi ed incrostazioni di carbonato di calcio.

Quest'ultimo è un sale praticamente insolubile, che tende a ricoprire il gesso ed a "proteggerlo" nei confronti dell'erosione.

Le immagini seguenti illustrano il meccanismo della dissoluzione incongruente nelle grotte di gesso in natura.

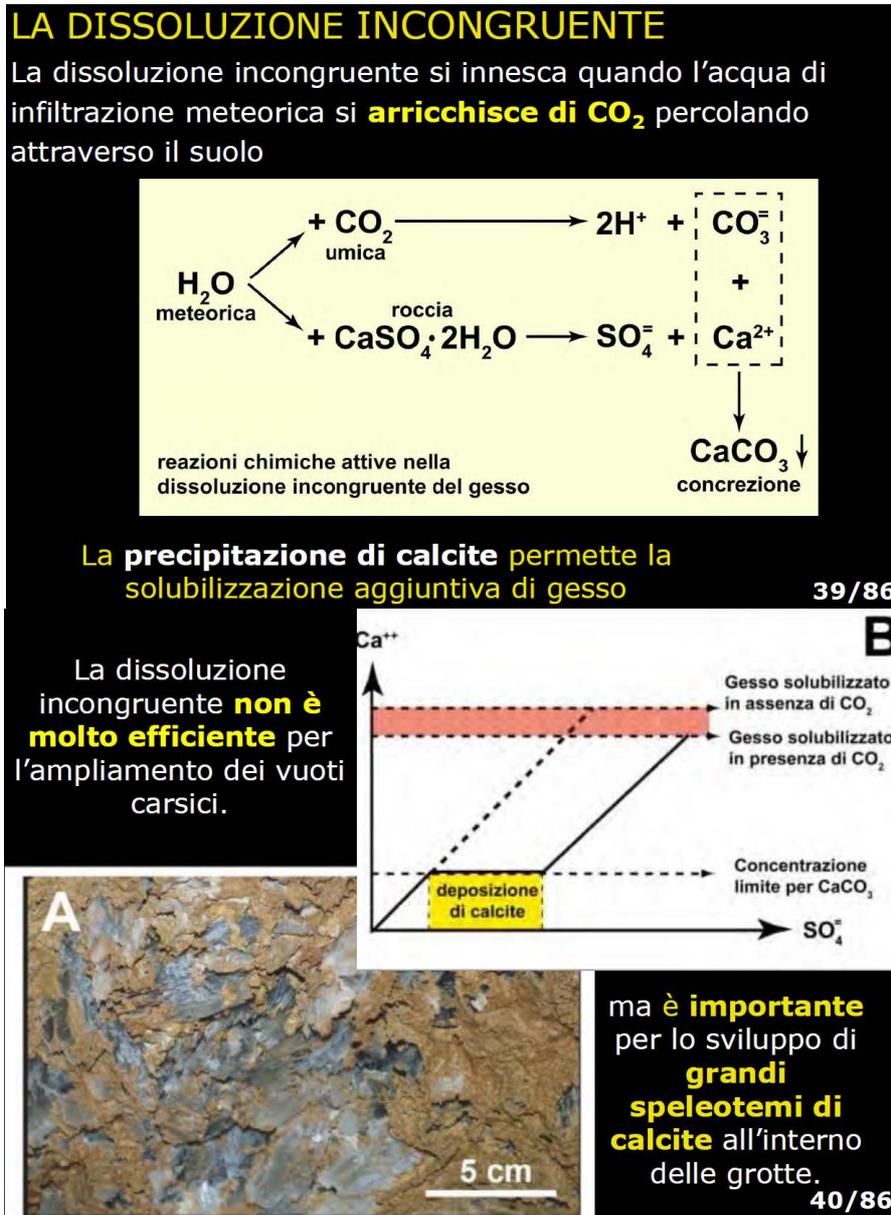


Fig. 11: Meccanismo della dissoluzione incongruente nelle grotte di gesso (da "Il carsismo delle evaporiti dell'Emilia Romagna - Forti P.")

Il fenomeno si innesca quando le acque meteoriche si arricchiscono in CO<sub>2</sub>: quando le acque solubilizzano solfato di calcio biidrato, sciogliendo il gesso, si saturano e depositano il carbonato di calcio.

L'idea progettuale è quindi quella di aggiungere la acqua di CO<sub>2</sub> (anidride carbonica): all'aumentare del contenuto in solfato di calcio le stesse dovrebbero depositare naturalmente carbonato di calcio.

Il trattamento potrebbe essere attuato o nei pozzi di emungimento presso i sondaggi Sa2-Sa3, sia nel pozzo esistente nel parcheggio di via IV novembre.

Dal punto di vista ambientale non si ravvisano problematiche specifiche: alle acque saranno aggiunte anidride carbonica e solfati, già naturalmente presenti, e non inquinanti o sostanze chimiche particolari.

Allo stato attuale non esistono esperienze specifiche di trattamento chimico analoghe a quelle sopra indicate ed anche le esperienze di laboratorio sono poco rappresentative, stante la complessità idrogeologica ed idrochimica dei sistemi naturali.

**Il cantiere sarà quindi impostato come un grande campo prove, per il trattamento chimico, monitorando i parametri delle acque a monte ed a valle delle opere, al fine di verificare l'efficacia degli stessi.**

**3) *Monitoraggio dei parametri idrochimici e degli spostamenti nel tempo.***

Il tutto sarà accompagnato da un potenziamento delle attività e dei sistemi di monitoraggio idrogeologico e dei movimenti del suolo, già in atto anche oggi, per verificare la funzionalità delle opere e la possibilità di integrarle nel tempo.

Il tema dei monitoraggi in questo contesto è fondamentale per acquisire maggiori elementi conoscitivi sul comportamento del sistema geologico-idrogeologico, verificare l'evoluzione dei fenomeni di dissesto, l'efficacia delle opere, le possibili necessità di intervento aggiuntive e le possibili criticità per strutture ed infrastrutture.

Il monitoraggio dovrà riguardare:

- assetto idrogeologico: monitoraggio dei livelli idrici nel sottosuolo, con un potenziamento del sistema di piezometri soprattutto a valle delle opere, monitoraggio dei livelli idrici nei pozzi e misura portate emunte per gravità e dai pompaggi;
- assetto idrochimico: misurazione di temperatura, conducibilità, PH ed ossigeno disciolto nei piezometri esistenti ed in quelli nuovi e campagne di campionamento delle acque con analisi chimica completa;
- deformazioni del suolo: realizzazione e messa in opera di nuovi estensimetri multibase da foro e proseguo dei controlli topografici tradizionali e con lasers-canner

*Le opere puntano a mitigare il fenomeno, a ridurre la velocità di sviluppo dei cedimenti, ma non è possibile ipotizzare una risoluzione del problema.*

*Nel tempo sarà necessario:*

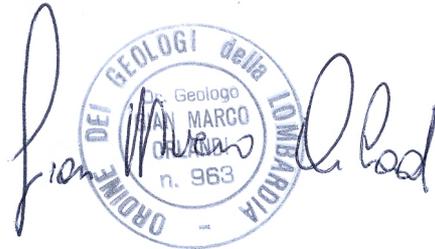
- *completare le opere per la salvaguardia dei sottoservizi e delle viabilità;*
- *consolidare eventuali cedimenti puntuali con miscele cementizie permeabili e leggere;*
- *mantenere operativi i monitoraggi, per tenere sotto controllo l'evoluzione della situazione, l'efficacia delle opere e definire ulteriori necessità di intervento per il futuro.*

***In particolare l'efficacia delle opere del presente progetto potrà essere monitorata nel tempo, stante il carattere fortemente sperimentale degli stessi.***

*Il cantiere dovrà essere gestito come una sorta di campo prove in scala reale, con un circolo progressivo tra trattamenti chimici, monitoraggi ed adeguamento delle attività.*

*Gli interventi, che hanno carattere puntuale, possono quindi essere depotenziati e/o potenziati in base alle necessità ed in base ai risultati del monitoraggio stesso.*

*Si tratta qui di opere modificabili ed eventualmente implementabili nel tempo, in base all'evoluzione dei fenomeni, in modo flessibile.*

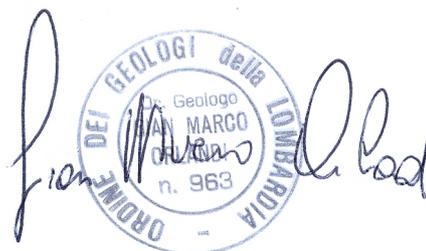


The image shows a handwritten signature in blue ink, which appears to be 'F. Spada'. Overlaid on the signature is a circular blue stamp. The stamp contains the text: 'ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA' around the perimeter, 'Dr. Geologo' at the top, 'M. MARCO' in the center, 'n. 963' at the bottom, and 'ORDINE' on the left side.

## **ALLEGATI GRAFICI**

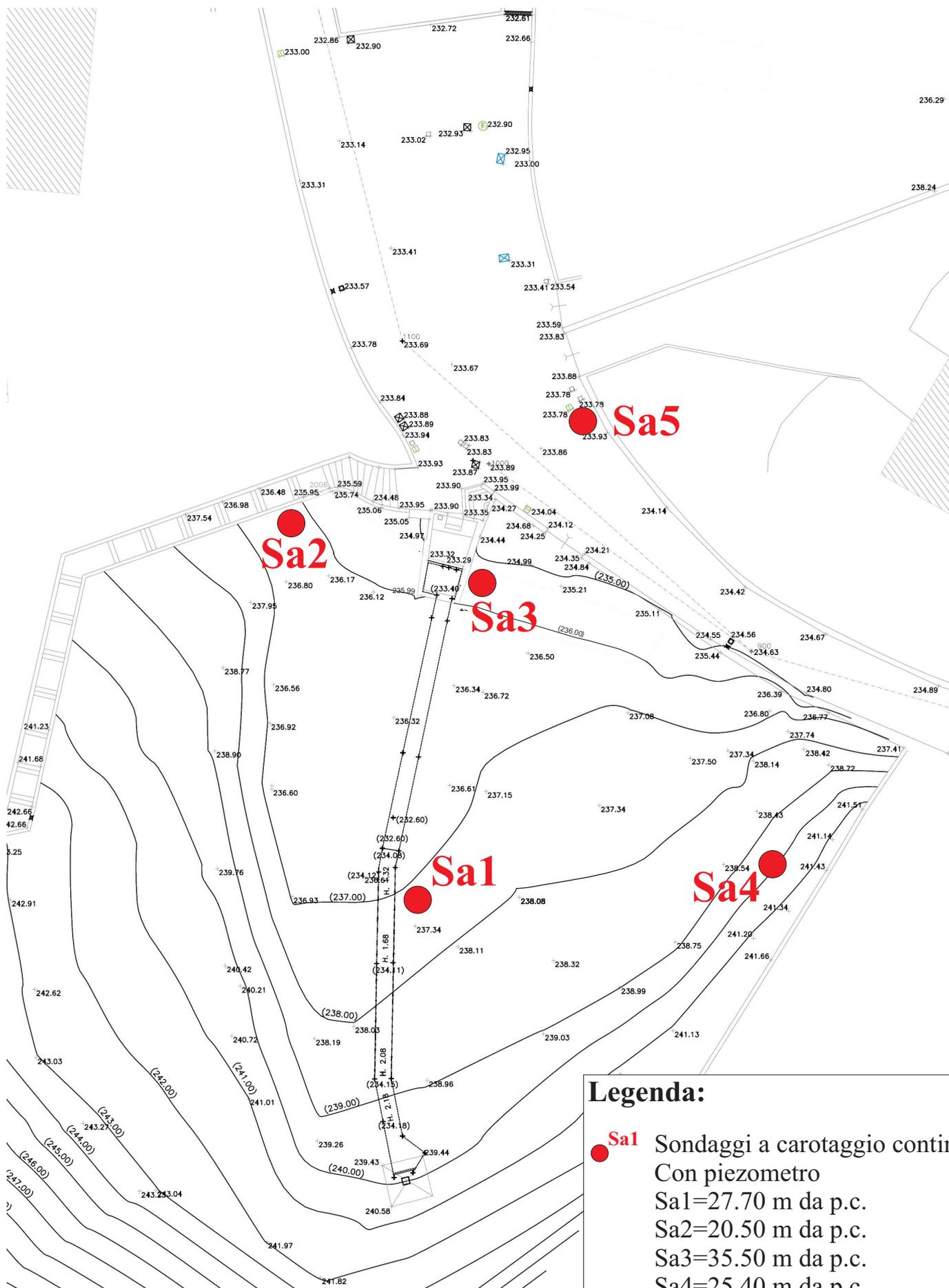
### **STRATIGRAFIE E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFIA DEI SONDAGGI**

- Allegato n° 1: Ubicazione indagini
- Allegato n° 2: Stratigrafia del sondaggio Sa1, scala 1:100
- Allegato n° 3: Documentazione fotografica del sondaggio Sa1
- Allegato n° 4: Stratigrafia del sondaggio Sa2, scala 1:100
- Allegato n° 5: Documentazione fotografica del sondaggio Sa2
- Allegato n° 6: Stratigrafia del sondaggio Sa3, scala 1:100
- Allegato n° 7: Documentazione fotografica del sondaggio Sa3
- Allegato n° 8: Stratigrafia del sondaggio Sa4, scala 1:100
- Allegato n° 9: Documentazione fotografica del sondaggio Sa4
- Allegato n° 10: Stratigrafia del sondaggio Sa5, scala 1:100
- Allegato n° 11: Documentazione fotografica del sondaggio Sa5



The image shows a handwritten signature in blue ink, which appears to be 'F. Spada'. Overlaid on the signature is a circular blue stamp. The stamp contains the text 'ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDA' around the perimeter. In the center, it reads 'Dr. Geologo AN MARCO Spada n. 963'.

# UBICAZIONE INDAGINI



## Legenda:

- Sa1 Sondaggi a carotaggio continuo  
Con piezometro  
Sa1=27.70 m da p.c.
- Sa2=20.50 m da p.c.
- Sa3=35.50 m da p.c.
- Sa4=25.40 m da p.c.
- Sa5=20.50 m da p.c.

## STRATIGRAFIA DEL SONDAGGIO Sa1

Scala 1:100

Prof. m.p.c.	Colonna Stratigrafica	Prof. da p.c.	Descrizione litologica	R.Q.D.		S.P.T.		Strumentazione installata	Livello Falda	Poket penet.		Van test	
				Prof.	%	Prof.	N° colpi			Prof.	Kg/cmq	Prof.	Kg/cmq
0.00		-0.28	Terreno limoso ed argilloso, marrone scuro con ciottoli e radici.										
-1.00			Ghiaia con clasti subangolosi poligenici con matrice limoso sabbiosa marrone.					Tubo cieco 3"					
-2.00		-2.28	Argilla limosa e limo marrone con presenza di clasti.										
-3.00		-3.60	Argilla limosa marrone grigiastra con clasti subangolosi.						-3.00	-3.30			
-4.00		-5.39	Torba nera con presenza di frammenti di legno.										
-5.00		-6.00	Argilla grigio celeste mista a torba.										
		-6.19											
			Argilla nocciola con spalmature argillose nerastre e presenza di clasti. Tra -8.14-8.30 e 8.75-9.33 materiale plastico.										
-10.00		-10.00	Argilla, argilla limosa grigio verdastra e nera con presenza di torba.										
		-11.00	Argilla, argilla limosa nocciola localmente con presenza di torba.										
		-13.00	Argilla grigia con annegati ciottoli e localmente presenza di torba.										
-15.00		-15.00	Argilla limosa nocciola grigio verde con presenza di clasti e materiale torboso.										
		-17.40	Argilla grigiastra con torba.										
		-18.48											
-20.00			Argilla nocciola con presenza di numerosi clasti subangolosi. Appare, in alcuni tratti, poco consistente e bagnata.										
		-23.50											
-25.00			Limo argilloso, argilla limosa nocciola grigio verde in spezzoni compatti con presenza di clasti. Tra 26.10-26.50 presenza di clasti e trovanti gessosi.										
-26.00		-27.70											
-27.00													
-28.00													
-29.00													
-30.00													

Data: 22-24 maggio 2019	Ditta: Geocam s.r.l. (BS)	Committente: Comune di Lovere
Operatore: Lorenzo Feriti	Diametro di perforazione: 101 mm	Strumentazione: piezometro 3" fino a -25.00 m
Metodo di perforazione: carotaggio continuo	Diametro rivestimento: 127 mm fino a -25.00 m dal p.c.	Acqua: -3.30 m da p.c.
Tipo di corona: vidiam	Profondità carotaggio: -27.70 m dal p.c.	
File: Lovere_Trello_indagini_S1_all_02	Sonda: Atlas Mustag 5F4	Note: Oltre i -27.70 m da p.c. La sonda si è incagliata.

**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA DEL  
SONDAGGIO Sa1**



Foto 1: Stratigrafia da -0.00 a -5.00 m da p.c.



Foto 2: Stratigrafia da -5.00 a -10.00 m da p.c.



Foto 3: Stratigrafia da -10.00 a -15.00 m da p.c.



Foto 4: Stratigrafia da -15.00 a -20.00 m da p.c.



Foto 5: Stratigrafia da -20.00 a -25.00 m da p.c.



Foto 6: Stratigrafia da -25.00 a -27.70 m da p.c.



## STRATIGRAFIA DEL SONDAGGIO Sa2

Scala 1:100

Prof. m.p.c.	Colonna Stratigrafica	Prof. da p.c.	Descrizione litologica	R.Q.D.		S.P.T.		Strumentazione installata	Livello Falda	Poket penet.		Van test	
				Prof.	%	Prof.	N° colpi			Prof.	Kg/cmq	Prof.	Kg/cmq
0.00		-0.30	Limo tendente al sabbioso marrone con annegati clasti da mm a cm e radici. Terreno superficiale.										
-1.00		-0.80	Limo tendente all'argilloso marrone con annegati clasti. Nella porzione terminale passante al marrone scuro/nerastro.										
-2.00		-3.10	Alternanza di spezzoni di carota compatti limoso argillosi con clasti annegati e spezzoni sciolti di limo tendente al sabbioso con un maggior quantitativo di clasti in genere cm e subangolosi.					Tubo cieco 3"					
-3.00		-3.10											
-4.00		-5.00	Limo argilloso, argilla limosa nocciola/ocraceo. Presenza di clasti da mm a cm annegati nella matrice. Plastico.										
-5.00		-6.50											
-6.50		-8.40	Argilla grigia con livelli con presenza di abbondanti clasti di gesso.										
-8.40		-10.00	Argilla nocciola, grigio verde con annegati clasti.										
-10.00		-11.00											
-11.00		-11.50	Argilla nocciola con presenza di numerosi clasti in genere mm.										
-11.50		-12.00	Argilla nocciola con annegati clasti.										
-12.00		-15.00	Ghiaia con clasti da mm a cm in genere subarrotondati con matrice limosa marrone nocciola.										
-15.00		-15.80	Limo argilloso marrone, compatto, con clasti da mm a cm da subangolosi ad arrotondati.										
-15.80		-20.50	Gesso, da 15.80 a 16.30 molto fratturato.					Tubo fenestrato 3"					
-20.00		-20.50											
-25.00													
-26.00													
-27.00													
-28.00													
-29.00													
-30.00													

Data: 30-31 maggio 2019	Ditta: Geocam s.r.l. (BS)	Committente: Comune di Lovere
Operatore: Lorenzo Feriti	Diametro di perforazione: 101 mm	Strumentazione: piezometro 3" fino a -20.00 m
Metodo di perforazione: carotaggio continuo	Diametro rivestimento: 127 mm fino a -20.00 m dal p.c.	Acqua: -3.90 m da p.c.
Tipo di corona: vidiam	Profondità carotaggio: -20.50 m dal p.c.	
File: Lovere_Trello_indagini_S2_all_04	Sonda: Atlas Mustag 5F4	Note:



Foto 1: Stratigrafia da -0.00 a -5.00 m da p.c.



Foto 2: Stratigrafia da -5.00 a -10.00 m da p.c.



Foto 3: Stratigrafia da -10.00 a -15.00 m da p.c.



Foto 4: Stratigrafia da -15.00 a -20.50 m da p.c.

**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA DEL  
SONDAGGIO Sa2**



## STRATIGRAFIA DEL SONDAGGIO Sa3

Scala 1:100

Prof. m.p.c.	Colonna Stratigrafica	Prof. da p.c.	Descrizione litologica	R.Q.D.		S.P.T.		Strumentazione installata	Livello Falda	Poker penet.		Van test	
				Prof.	%	Prof.	N° colpi			Prof.	Kg/cmq	Prof.	Kg/cmq
0.00		-0.28	Terreno superficiale marrone scuro con ciottoli e radici.										
-1.00		-0.70	Limo sabbioso compatto.										
-2.00													
-3.00			Limo argilloso marrone, grigiastro con presenza di numerosi clasti subangolosi anche cm.										
-4.00													
-5.00		-5.40	Argilla grigio piombo, compatta.										
		-7.00	Argilla grigia nerastra con torba.										
		-8.55											
-10.00			Ghiaietto con matrice limosa argillosa grigia con passate nocciola fino a marrone in quantità variabile.										
		-11.50	Argilla limosa nocciola con frammenti di gesso.										
		-12.00		-12.00	13.5								
				-13.00	23.5								
				-14.00									
-15.00			Gesso fortemente fratturato. Le fratture sono riempite da materiale argilloso nocciola. Tra -18.10-18.40 e 19.50-20.00 vuoto. Materiale perso durante la perforazione.	-15.00	10								
				-16.00	18								
				-17.00	20								
				-18.00	40								
				-19.00	12								
-20.00				-20.00									
		-20.50	Frammenti gessosi con numerosa matrice limosa argillosa nocciola biancastra.										
		-21.65	Spezzoni di carota argillosa, argilloso limosa nocciola con all'interno frammenti di gesso alterato.										
-25.00		-25.00	Frammenti gessosi con matrice limoso argillosa nocciola biancastra.										
		-25.60											
-26.00				-26.00	92								
-27.00				-27.00	55								
-28.00				-28.00	75								
-29.00			Gesso laminato con presenza di fratture subverticali riempite da materiale argilloso nocciola, marrone e grigiastro. Alcuni spezzoni presentano evidenti segni di erosione del gesso per circolazione delle acque.	-29.00	62								
-30.00				-30.00	32								
-31.00				-31.00	58								
-32.00				-32.00									
-33.00				-33.00									
-34.00		-34.00		-34.00									
-35.00			Gesso compatto.	-35.00	85								
-36.00		-35.50											

Data: 27-28 maggio 2019	Ditta: Geocam s.r.l. (BS)	Committente: Comune di Lovere
Operatore: Lorenzo Feriti	Diametro di perforazione: 101 mm	Strumentazione: piezometro 3" fino a -35.00 m
Metodo di perforazione: carotaggio continuo	Diametro rivestimento: 127 mm fino a -35.00 m dal p.c.	Acqua: -2.80 m da p.c.
Tipo di corona: vidiam	Profondità carotaggio: -35.50 m dal p.c.	
File: Lovere_Trello_indagini_S3_all_06	Sonda: Atlas Mustag 5F4	Note:

**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA DEL  
SONDAGGIO Sa3**



Foto 1: Stratigrafia da -0.00 a -5.00 m da p.c.



Foto 2: Stratigrafia da -5.00 a -10.00 m da p.c.



Foto 3: Stratigrafia da -10.00 a -15.00 m da p.c.



Foto 4: Stratigrafia da -15.00 a -20.00 m da p.c.

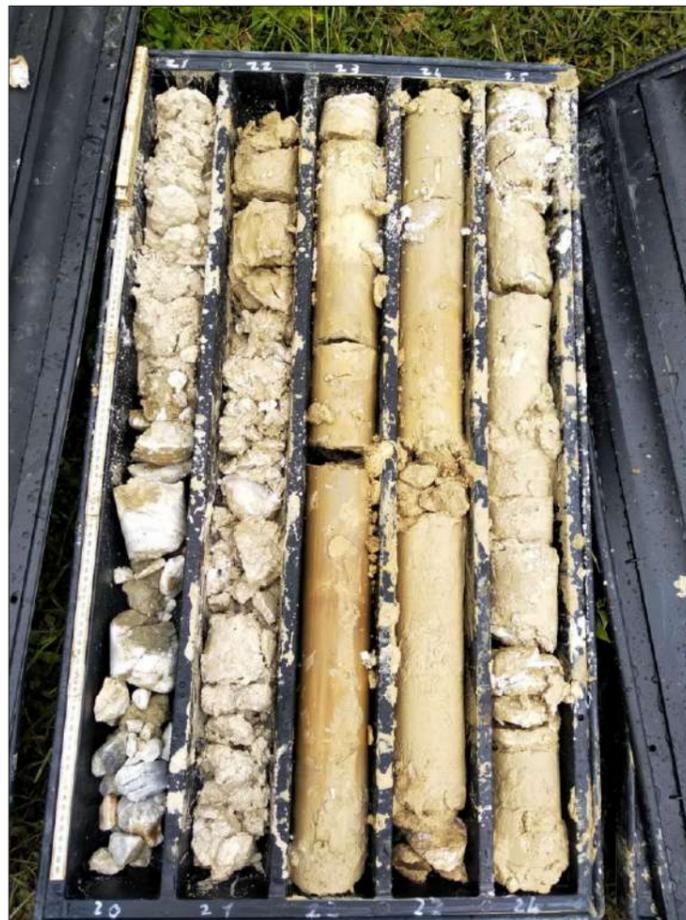


Foto 5: Stratigrafia da -20.00 a -25.00 m da p.c.



Foto 6: Stratigrafia da -25.00 a -30.00 m da p.c.



Foto 7: Stratigrafia da -30.00 a -35.50 m da p.c.



**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA DEL  
SONDAGGIO Sa4**



Foto 1: Stratigrafia da -0.00 a -5.00 m da p.c.



Foto 2: Stratigrafia da -5.00 a -10.00 m da p.c.



Foto 3: Stratigrafia da -10.00 a -15.00 m da p.c.



Foto 4: Stratigrafia da -15.00 a -20.00 m da p.c.



Foto 5: Stratigrafia da -20.00 a -25.00 m da p.c.



Foto 6: Stratigrafia da -25.00 a -25.40 m da p.c.





**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA DEL  
SONDAGGIO Sa5**



Foto 1: Stratigrafia da -0.00 a -5.00 m da p.c.

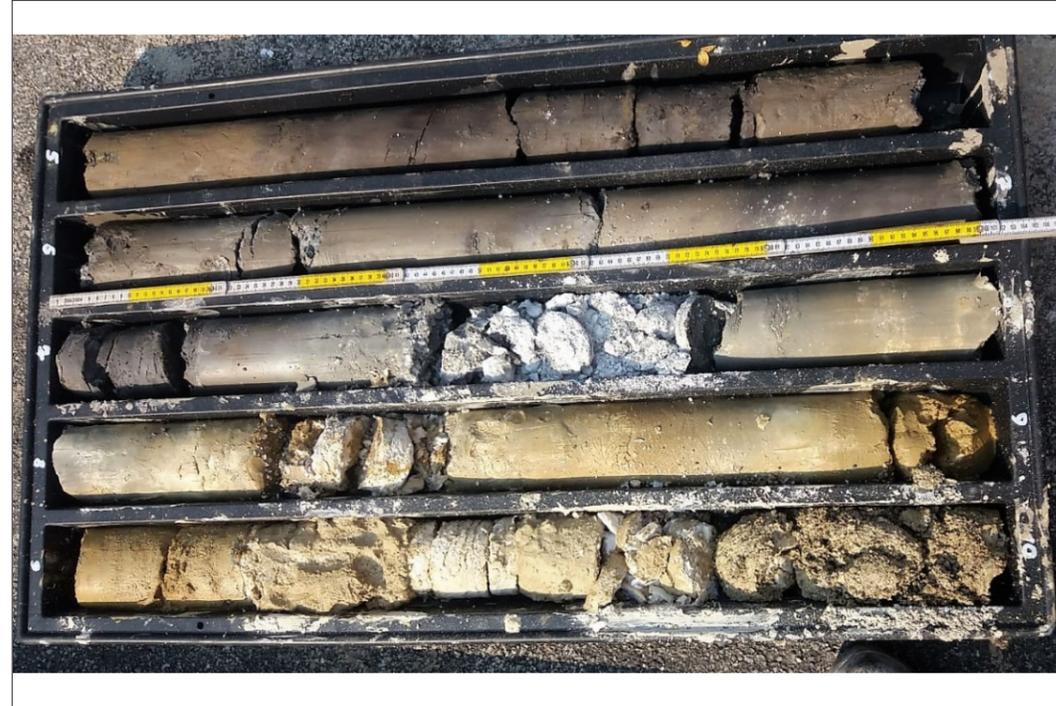


Foto 2: Stratigrafia da -5.00 a -10.00 m da p.c.



Foto 3: Stratigrafia da -10.00 a -15.00 m da p.c.



Foto 4: Stratigrafia da -15.00 a -20.50 m da p.c.

