



REGIONE SICILIANA

COMUNE TRAPANI (TP)

PIATTAFORMA TECNOLOGICA PER IL TRATTAMENTO E LA VALORIZZAZIONE  
DEI R.S.U. SITA IN C\DA BORRANEA NEL COMUNE DI TRAPANI

LOTTO 1: IMPIANTO DI DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI

CUP: G95I18000160001

**PERIZIA DI VARIANTE N. 2 in corso d'opera**

**L'ufficio della Direzione dei Lavori:**

Direttore dei lavori: Arch. Vincenza Di Marco

CSE e Direttore Operativo: Arch. Giacomo Lombardo

Direttore Operativo: Ing. Alessandro Amico

Direttore Operativo: Geol. Gian Vito Graziano

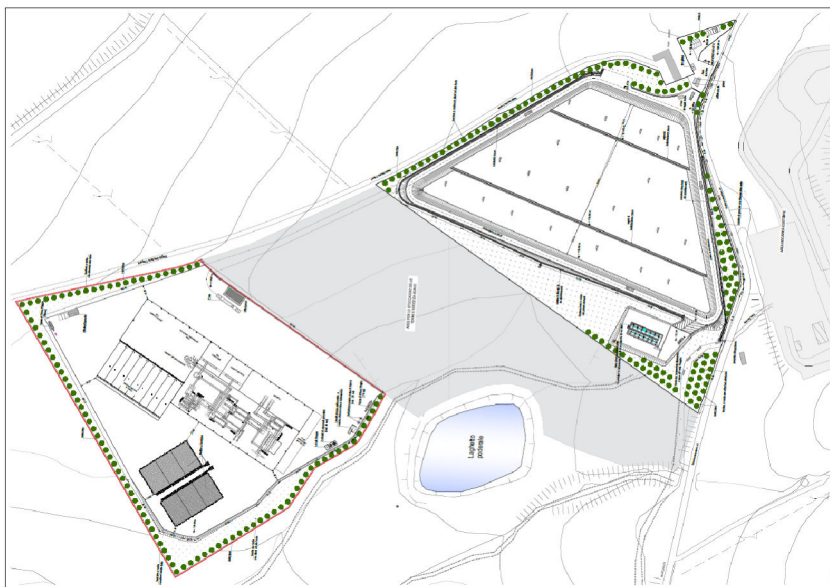
**Il Responsabile Unico del Procedimento:**

Arch. Pasquale Musso

**L'Impresa:**

CONPAT SCARL:

Il Procuratore Speciale: Sig. Mario Spina



N. ELABORATO:

**02**

TITOLO ELABORATO:

**RELAZIONE GEOLOGICA INDAGINI IN CORSO D'OPERA**

CODICE ELABORATO:

**03 PVT1 PV 01 RD 000002 A**

n. progressivo

lavoro

fase

lotto

tipo documento

numero elaborato

REV

SCALA:

**A**

prima emissione

Gennaio 2025

**B**

**C**

**D**

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

## PREMESSA

Nell'ambito dei lavori di cui alla realizzazione di una nuova vasca di abbancamento per lo smaltimento finale di rifiuti non pericolosi in seno alla piattaforma tecnologica per il trattamento e la valorizzazione dei r.s.u. in contrada Borraanea, nel territorio di Trapani, allo scrivente, legale rappresentante dello Studio Geologico Graziano e Masi, è stato affidato il servizio di *"Ufficio della direzione lavori, addetto con qualifica di direttore operativo GEOLOGO"*, ai sensi dell'art. 36 comma 2 lett. a) del D. Lgs. 50/2016 e s.m.i.

Le prestazioni professionali rese riguardano:

- il controllo in corso d'opera della rispondenza tra la caratterizzazione geologica e geotecnica assunta in progetto e la situazione effettiva;
- l'assistenza ai lavori sotto l'aspetto geologico con visite periodiche al cantiere, emanando in collaborazione con la Direzione dei Lavori le disposizioni per l'attuazione di interventi afferenti alla parte geologica e sorvegliandone la buona riuscita;
- assistenza ai collaudi.

Dopo aver acquisito il progetto esecutivo, completo delle relative autorizzazioni, lo scrivente ha svolto, quasi sempre in presenza della Direzione dei Lavori, numerosi sopralluoghi, ha sovrinteso alla realizzazione delle indagini integrative sui terreni e all'installazione di piezometri e inclinometri, ha analizzato i risultati delle nuove prove geotecniche in sito e in laboratorio, ha eseguito le verifiche di stabilità necessarie alla riconfigurazione delle sponde della vasca e ha redatto le relazioni geologiche e geotecniche di supporto alle perizie che si sono rese necessarie.

Tralasciando in questa sede i dettagli tecnici di queste attività, che, tra le altre cose, hanno portato anche alla riconfigurazione dei profili delle scarpate della vasca e alla realizzazione di alcune opere di presidio idraulico, estesamente descritti nelle relazioni geologiche precedenti, si vogliono esporre in questa sede alcune criticità di natura idrologica-idraulica emerse nel corso dei lavori, dopo che le sponde erano già state risagomate e dotate dei primi strati del cosiddetto "pacchetto" di impermeabilizzazione.

## CRITICITA' GEOMORFOLOGICHE E IDRAULICHE

Durante la 5<sup>a</sup> visita di collaudo effettuata in data 26.08.2024 la ditta esecutrice dei lavori ha segnalato un abbassamento del terreno in testa alla scarpata superiore della vasca di scarica, da poco provvista dei teli in HDPE di ricoprimento, accompagnato da uno speculare modesto rigonfiamento a valle, poco sopra la quota del fondo vasca: il fenomeno era localizzato nel settore prossimo alla vasca in cemento armato del bacino di contenimento dei silos per la raccolta del percolato.

Coadiuvata dai Direttori Operativi, la Direzione dei Lavori ha quindi invitato l'Impresa a scoprire da monte a valle la porzione di scarpata interessata dal fenomeno, aprendo temporaneamente i teli di copertura. Eseguite queste operazioni, in data 28.08.2024 si è potuto verificare che un tratto esteso circa 10 metri di scarpata risultava interessato da un dissesto il cui cinematismo era imputabile a uno scivolamento rotazionale, caratterizzato dalla neoformazione di alcune superfici di taglio arcuate, che si estendevano nella parte bassa della scarpata stessa.

Il movimento gravitativo è apparso superficiale e sembrava evolversi con movimento retrogrado con la formazione di fratture al suolo (*tension cracks*), che tuttavia non giungevano neanche a metà dell'altezza complessiva della scarpata. Quest'ultima, nel tratto interessato dal dissesto, era attraversata da monte a valle da diversi solchi di erosione dovuti al dilavamento delle acque superficiali, due dei quali appaiono certamente ragguardevoli per ampiezza e profondità delle incisioni.

La parte superiore della scarpata, ossia quella in cui era stato osservato l'abbassamento del terreno rispetto a quelli limitrofi, non appariva segnata da fratture al suolo significative, ma soltanto dai segni di un progressivo movimento dovuto al richiamo operato dal dissesto a valle.

La presenza dei solchi erosivi non lasciava dubbi circa l'avvenuto ruscellamento di acque superficiali sulla scarpata, ma per poter trovare le cause del dissesto in atto, in un contesto di ampie scarpate sagomate previe accurate verifiche di stabilità, si è ritenuto di procedere ad alcuni accertamenti tecnici, tra i quali l'esecuzione di una trincea esplorativa, profonda sino alle argille grigie impermeabili di substrato, nel tratto compreso tra la trincea drenante esistente e il

ciglio superiore della scarpata, con l'obiettivo di accertare la presenza eventuale di acqua sotterranea e di comprenderne la provenienza.

Questi accertamenti tecnici apparivano indispensabili, seppure il fenomeno apparisse localizzato ad un piccolo settore, oltretutto drenato a tergo da una trincea che decorre parallelamente al ciglio superiore della scarpata, in un contesto di assoluta stabilità, persino nelle sponde caratterizzate da altezze ben maggiori.



***Fig. 1: dissesto constatato in un tratto di scarpata lato Sud della vasca***

Eseguita la trincea esplorativa, non è stata rilevata alcuna presenza d'acqua, per cui si è proceduto ad estendere gli accertamenti spostando lo scavo a monte della trincea drenante esistente: tra il 5 e 6 settembre è stato eseguito un ampio scavo a pianta rettangolare, sempre in corrispondenza del segmento di scarpata oggetto di abbassamento, profondo circa m 7,00 ossia sino al raggiungimento delle argille grigie del substrato geologico.

In questo caso sono state rilevate delle modestissime presenze idriche sulle pareti di questo scavo, a circa m 5,00 di profondità, e si è constatato che il terreno scavato appariva palesemente umido, seppure non si sia riscontrata una vera e propria circolazione idrica.

Si è comunque ritenuto opportuno proseguire con le operazioni di scavo anche a monte della trincea drenante esistente, sino a contornare completamente il ciglio superiore del tratto di scarpata interessata dal locale fenomeno di dissesto; proseguite queste operazioni di scavo in trincea in continuità con quelle eseguite in precedenza, anche in questo ulteriore tratto non è stata rilevata alcuna presenza idrica, salvo locali tracce di umidità poco significative sulle pareti, a circa m 2,00 di profondità; ancora una volta insomma non si è riscontrata una vera e propria circolazione idrica.

Completati gli scavi di accertamento a contorno del ciglio superiore del tratto di scarpata interessata dal locale fenomeno di dissesto e non avendo accertato alcun'altra presenza d'acqua, se non quelle modeste presenze idriche a circa m 5,00 di profondità nel primo tratto scavato (già constatate nel sopralluogo del 6 settembre scorso), si è ritenuto di eseguire un ultimo approfondimento attraverso tomografie elettriche.

Sulla base delle indicazioni fornite dallo scrivente sono state eseguite due estese sezioni geoelettriche multipolari (tomografie elettriche), la prima lungo il settore compreso tra la vasca in cemento armato per la raccolta del percolato (Bacino di Contenimento dei Silos) e il ciglio superiore delle scarpate di monte della vasca di scarica, la seconda parallela alla prima ma a monte della stessa vasca per la raccolta del percolato, misurando in entrambi i casi i valori del campo elettrico in corrispondenza del relativo allineamento di elettrodi di misura equispaziati.

Sulla base delle sezioni verticali del terreno derivate dalla ricostruzione elettrostratigrafica del sottosuolo condotta sino al tetto delle argille grigie di base, è stato eseguito un ulteriore scavo a

trincea, profondo circa m 7,00 di profondità, lungo il tratto a monte della vasca di raccolta del percolato, ma ancora una volta non è stata rilevata alcuna presenza di acqua.

Considerato però che le presenze idriche, ancorché modeste (le acque raccolte apparivano chiare e pulite), rilevate a circa 5 metri nello scavo in testa al piccolo dissesto si erano manifestate dopo un lungo periodo siccitoso e tenuto conto che la trincea drenante realizzata in precedenza a presidio delle sponde in quel tratto è profonda soltanto m 3,20, dunque non intercetta le acque d'imbibizione poco più profonde, insieme alla Direttore dei Lavori si è ritenuto prudentiale realizzare in corrispondenza di questa porzione di terreno oggetto di accertamento tecnico un piccolo presidio idraulico, attraverso un pozzo drenante scavato sino alle argille di base, da collegare idraulicamente alla tubazione di raccolta in seno alla trincea drenante con una pompa di risalita.

Questa prudenza è stata messa in atto nonostante durante i sopralluoghi effettuati tra ottobre e novembre 2024 si fosse constatato che nello scavo eseguito, lasciato appositamente aperto per un lungo periodo di tempo, non si raccogliesse più altra acqua.

Va però evidenziato che nel frattempo, ai primi di settembre, l'impresa esecutrice segnalava telefonicamente l'improvvisa fuoriuscita di acqua, sempre in quantità modeste, in prossimità dell'arginello di terra che separa i settori 2 e 3 della vasca in costruzione, nel tratto in cui esso è interrotto per consentire il passaggio dei mezzi di lavoro. Nelle more di un urgente sopralluogo di verifica, veniva ordinato all'impresa esecutrice di procedere al prelievo di quest'acqua, da sottoporre ad analisi chimico-ambientali, per accertare la presenza eventuale di contaminazione. Il certificato di analisi avrebbe poi consentito di escludere che potesse trattarsi di acqua contaminata.

Giunti in cantiere in prossimità dell'arginello di terra si aveva modo di verificare che la fuoriuscita dell'acqua avveniva attraverso l'interfaccia tra l'argilla grigia naturale di base e lo strato basale bentonitico del superiore pacchetto di impermeabilizzazione. L'acqua non emanava alcun odore, ma presentava una tenue colorazione di beige, che sembrava riconducibile al contatto con le argille grigie sottostanti e con il telo bentonitico sovrastante. Era evidente che l'acqua

non provenisse dal sottosuolo, come dimostra il fatto che immediatamente a valle dell'arginello il fondo vasca appariva asciutto.

Per stabilire un eventuale collegamento tra le acque accumulate nello scavo eseguito in testa al tratto di scarpata interessato dal dissesto verificatosi ad agosto e quelle che fuoriuscivano attraverso l'interfaccia tra l'argilla grigia e lo strato basale bentonitico, si è sversato, quale tracciante, un colorante naturale rosso nello scavo in testa, onerando l'impresa verificare nei giorni successivi se il tracciante avesse raggiunto il sottostante settore dell'arginello che separa i settori 2 e 3 della vasca di scarica; nonostante le piogge dei giorni successivi abbiano parzialmente diluito le concentrazioni di colorante, è stato possibile riscontrare che le acque che fuoriuscivano dall'interfaccia tra l'argilla grigia naturale di base e lo strato basale bentonitico del superiore pacchetto di impermeabilizzazione non si sono mai colorate, potendosi dunque escludere una continuità idraulica con le acque intercettate nello scavo in testa alla scarpata.

Previa rimozione dei teli già messi in opera, un altro accertamento è stato eseguito al piede del tratto interessato dal dissesto di agosto: uno scavo di circa un metro di profondità, esteso per tutto il fronte interessato, ha permesso di escludere qualsiasi presenza d'acqua, potendo constatare in aggiunta che non vi fosse stata alcuna evoluzione geomorfologica del dissesto.

E' apparso chiaro a questo punto che le acque che fuoriuscivano in corrispondenza dell'arginello non erano alimentate dai settori a monte della vasca e non fuoriuscivano dai terreni di fondo vasca, peraltro in quel settore scavati in seno alle argille grigie di base, ma erano riconducibili esclusivamente alle acque di pioggia accumulate nel periodo transitorio tra l'ultimazione degli scavi e il completamento del pacchetto di impermeabilizzazione, durante il quale il telo bentonitico si è saturato d'acqua che verosimilmente è stata poi gradualmente rilasciata.





**Fig. 2: presenze d'acqua in seno alla vasca il 28 marzo (sopra) e il 18 maggio (sotto)**

A questo punto si è ordinato all'Impresa di completare il pozzo drenante, provvedendo a riempire con materiale inerte di adeguata pezzatura (ghiaia grossa) lo scavo aperto a monte del tratto di scarpata dissestato e collegando idraulicamente, con una pompa di sollevamento, il pozzo stesso alla tubazione della trincea drenante che decorre nei pressi.

Il sistema ovviamente dovrà essere munito di una centralina elettrica e di un sistema di sensori con galleggiante che attivino la pompa al raggiungimento di un battente idraulico di m 1,50.





**Fig. 3: pozzo drenante; lo scavo al suo intorno è stato riempito da pietrame**

Verificato infine che da agosto a dicembre non vi sia stata alcuna evoluzione del dissesto verificatosi nella scarpata, si è poi ordinato di ripristinare il relativo tratto della stessa scarpata, asportando il materiale mobilizzatosi e sagomando nuovamente, come da progetto, la scarpata; per quest'ultima operazione si è raccomandato l'utilizzo esclusivo di argilla grigia, provvedendo a rafforzare il piede della scarpata per strati successivi adeguatamente costipati, previa asportazione delle porzioni di terreno che si erano mobilizzate (presenti esclusivamente al piede della scarpata).

In ultimo si è ordinato, nelle more della definizione del pacchetto di impermeabilizzazione per tutta l'estensione della discarica, di sostituire il telo bentonitico ripiegato per il controllo della fuoriuscita dell'acqua nel tratto prossimo all'arginello tra la 2 e la 3 vasca.

## RIPRISTINO DELLA SCARPATA

L'intervento di ripristino della scarpata interessata dal dissesto è già stato in gran parte eseguito dopo la preventiva asportazione del materiale mobilizzatosi, scavato sino ad alcuni decimetri sotto la quota di base della stessa scarpata. La porzione asportata ha riguardato sia la parte

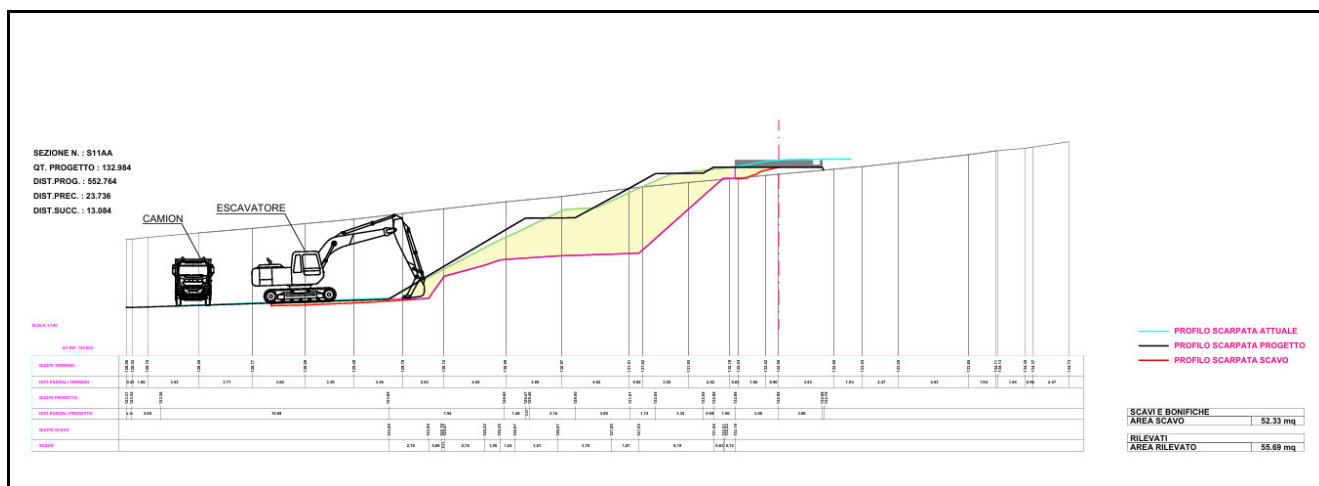


basale, che quella sommitale, sino al ciglio superiore. Per tutta l'altezza lo scavo è stato eseguito a strati orizzontali di 50 mc circa di spessore.

Il materiale scavato è stato conferito presso le apposite aree di abbancamento delle terre.



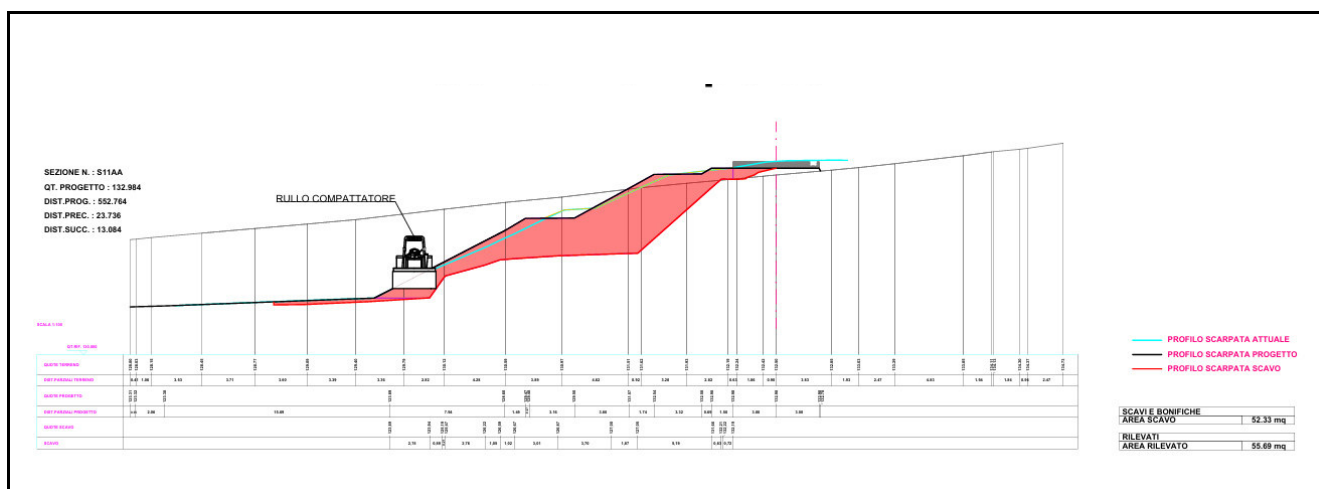
**Fig. 4: alcune fasi delle lavorazioni di rifacimento della scarpata franata**



**Fig. 5: sezione tipo di scavo**

Completate le operazioni di scavo è stato ricostituita la scarpata, secondo la sagoma di progetto, dunque senza modificare la geometria della vasca.

Previa compattazione del piano di posa del rilevato, sono stati stesi strati successivi di 30 centimetri di spessore di argilla griglia, progressivamente compattati in modo omogeneo mediante un rullo compattatore.



**Fig. 6: sezione tipo di ripristino (rilevato)**

Una volta completate le operazioni di rifacimento della scarpata, prima di rimettere in opera i teli del pacchetto di impermeabilizzazione, dovranno essere eseguite le prove di carico su piastra, sia in corrispondenza della berma intermedia, sia sopra il ciglio superiore delle stessa scarpata.



## MISURE AGLI INCLINOMETRI

Nei fori dei sondaggi *SI 1*, *SI 2* ed *SI 3* eseguiti nel corso dell'esecuzione dei lavori erano stati installati tubi inclinometrici, nei fori dei sondaggi *SP1*, *SP2*, *SP3*, *SP4* e *SP5* sono stati installati invece tubi piezometrici.

Per quanto riguarda quelli inclinometrici, il 14 marzo 2023 è stata eseguita una prima tornata di letture (lettura di zero), mediante sonda removibile, ma non si sono eseguiti rilievi all'inclinometro *SI 2* per la non adeguata cementazione della parte terminale (verso l'alto) della tubazione.



**Fig. 7: localizzazione di inclinometri e piezometri**

La seconda tornata di letture (lettura 1) è stata eseguita in data 14 aprile 2023, mentre per il citato inclinometro *SI 2* alla stessa data è stata eseguita la lettura di zero.

La terza tornata di letture (lettura 2) è stata eseguita in data 19 giugno 2023, mentre per l'inclinometro *SI 2* è stata eseguita la lettura n. 1.

La quarta tornata di letture (lettura 3) è stata eseguita in data 12 ottobre 2023, mentre per l'inclinometro *SI/ 2* è stata eseguita la lettura n. 2.

La quinta tornata di letture (lettura 4) è stata eseguita in data 23 luglio 2024, in fase di esecuzione delle opere per la viabilità interna, che hanno tranciato in testa l'inclinometro *SI/ 2*, la cui parte sommitale della tubazione si è riempita di fanghiglia e non è stata più utilizzabile.

La sesta tornata di letture è stata eseguita in data 19 novembre 2024.

Per gli inclinometri *SI/ 1* e *SI/ 3* si dispone dunque di quattro letture effettive, mentre per l'inclinometro *SI/ 2* di solo due letture.

Quelle fin qui eseguite non hanno messo in evidenza una cinematica degli spostamenti significativa, confermando che l'efficacia del banchinamento eseguito sui dissesti rilevati, che sembrano aver raggiunto un buon grado di stabilizzazione.

Nel caso dell'inclinometro *SI/ 1* si osserva un incremento dello spostamento misurato nei primi metri di profondità (da 2 a 4 mm circa) tra le letture di cui si dispone, ma su direzioni ruotate di circa 60° l'una rispetto all'altra. Si può ritenere che tale variazione sia legata alle attività di costruzione del rilevato in prossimità di esso e alla sua stabilizzazione nel tempo. Basti considerare che, tenuto conto che la direzione A0-A180 delle guide ha un azimut rispetto al Nord magnetico di 258°, la direzione risultante dello spostamento sarebbe diretta a  $258+111^\circ = 369-360 = 9^\circ$  e tale direzione non è compatibile con la direzione del fronte di scavo, in quanto nella zona è diretto a 330° rispetto al Nord.

Sono da evidenziare gli spostamenti evidenti rilevati il 23 luglio 2024 (oltre 250 mm in testa), verosimilmente connessi con l'esecuzione delle opere per la viabilità interna.

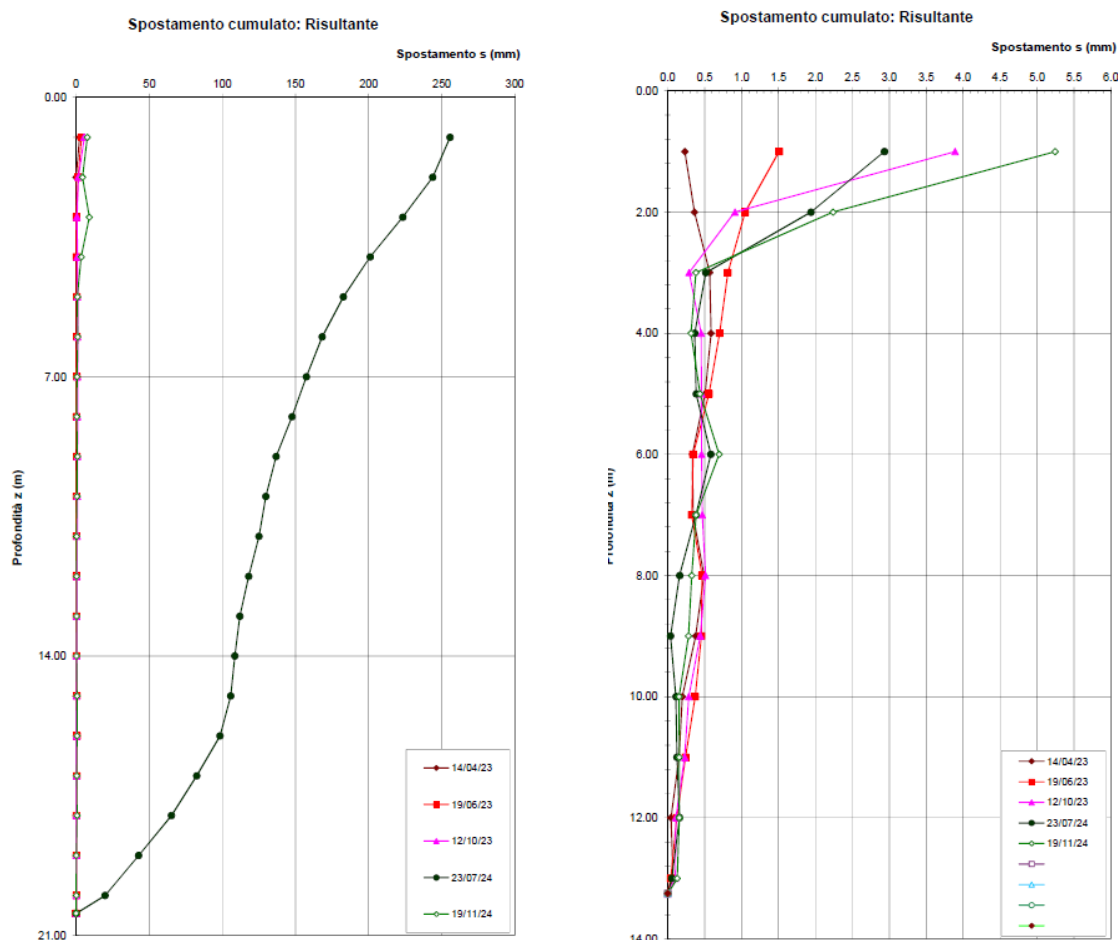
Analoghe considerazioni valgono per l'inclinometro *SI/ 2* per la ridotta rilevanza dell'intensità dello spostamento misurato (di poco superiore a 2 mm) e per la sua direzione (60° rispetto al Nord mentre la retta di massima pendenza del fronte di scavo è diretta a circa 300°N).

Nel caso dell'inclinometro *SI/ 3*, la direzione degli spostamenti è compatibile con il fronte (circa 240° rispetto al Nord) e gli spostamenti cumulati nel periodo di monitoraggio superano i 5 mm nel primo metro, mentre da 3 metri in poi sono contenuti entro 1 mm.



I grafici che seguono riportano in sintesi la risultante degli spostamenti cumulati misurati nei tubi inclinometrici.

Per il dettaglio delle misure di monitoraggio si rimanda all'elaborato specifico del laboratorio.



**Fig. 8: misure inclinometriche in SI 1 (a sx) e in SI 3 (a dx) - spostamenti cumulati**

Per quanto riguarda i tubi piezometrici, la progressione delle letture segue le stesse date di quelle inclinometriche, con la prima tornata di letture effettuata il 14 marzo 2023.

Va precisato che nella quarta tornata di letture è stato rilevato che il piezometro *SP1* era stato ricoperto con materiale per la sistemazione locale dell'area e che il vecchio piezometro *SP2* (a tubo aperto, profondo circa 30 metri, rinvenuto nei pressi del nuovo piezometro *S2*) era stato dismesso per la realizzazione della strada di coronamento. Nella quinta tornata di letture si è constatato che il pozzetto di protezione del piezometro *SP4* era stato danneggiato e che le relative tubazioni in pvc risultavano piegate, non consentendo più il passaggio della sonda. Allo stesso tempo il piezometro *SP5* era stato completamente ricoperto e non era più raggiungibile.

Infine nella sesta tornata di letture del 19 novembre scorso nel piezometro *SP1*, uno dei due tubi risultava piegato in testa, non permettendo il passaggio della sonda.

Di particolare interesse in questa sede risulta il rilievo dei livelli piezometrici nel piezometro *SP2*, prossimo al settore in cui ad agosto si è verificato il dissesto nella scarpata e in cui è stato posto come presidio un pozzo drenante.

Come si può osservare nella tabella riepilogativa che segue, nel vecchio piezometro a tubo aperto rinvenuto nei pressi del nuovo *SP2*, il livello freatico è stato misurato, dopo lo spurgo del 14 marzo 2023, a profondità comprese tra 3,30 e 4,00 metri circa.

Nelle celle piezometriche tipo Casagrande poste in *SP2* a m 3,00 e a m 6,70 non era stato inizialmente rilevato alcun livello freatico, poi a giugno 2023 erano stati misurati i livelli rispettivamente a m 3,00 e 3,70 di profondità; a ottobre 2023 e a luglio 2023 erano stati trovati nuovamente asciutti, mentre nell'ultima tornata di misurazioni dello scorso novembre è stato misurato nuovamente un livello freatico nella cella inferiore (m 6,70) a quasi 6,00 metri di profondità.

| PIEZOMETRO | TIPO STRUMENTO        | PROFONDITA' DI POSA (m) | DATA INSTALLAZIONE | DATA / MISURE (m) |          |          |           |           |                  |  |
|------------|-----------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|----------|----------|-----------|-----------|------------------|--|
|            |                       |                         |                    | 14/03/23          | 14/04/23 | 15/06/23 | 12/10/23  | 23/07/24  | 19/11/24         |  |
| SP 1       | Casagrande            | 3.20                    | 22/02/2023         | asciutto          | -1.85    | -1.39    | ricoperto | -1.78     | -0.70            |  |
|            | Casagrande            | 6.70                    |                    | asciutto          | -2.12    | -1.44    | ricoperto | -2.06     | Piegato in testa |  |
| SP 2       | tubo aperto (vecchio) | 30.00                   | sconosciuta        | -1.90             | ----     | ----     | ----      | ----      | ----             |  |
|            |                       |                         | spurgo del 14/3/23 | -3.35             | -4.04    | -3.98    | dismesso  | -2,20 (*) | dismesso         |  |
|            | Casagrande            | 3.00                    | 13/03/2023         | asciutto          | asciutto | -2.98    | asciutto  | asciutto  | asciutto         |  |
|            | Casagrande            | 6.75                    |                    | asciutto          | asciutto | -3.66    | asciutto  | asciutto  | -5.84            |  |
| SP 3       | Casagrande            | 2.20                    | 23/02/2023         | asciutto          | asciutto | asciutto | asciutto  | asciutto  | asciutto         |  |
|            | Casagrande            | 6.70                    |                    | -6.25             | -4.23    | -4.60    | -4.65     | -5.14     | -4.64            |  |
| SP 4       | Casagrande            | 1.25                    | 14/03/2023         | asciutto          | asciutto | asciutto | asciutto  | distrutto | distrutto        |  |
|            | Casagrande            | 7.00                    |                    | asciutto          | asciutto | -2.85    | -3.54     | distrutto | distrutto        |  |
| SP 5       | tubo aperto           | 16.20                   | 24/02/2023         | asciutto          | -15.37   | -1.30    | -2.70     | ricoperto | ricoperto        |  |

Note: (\*) : la profondità della falda si riferisce all'attuale quota della testa della tubazione che è posta allo stesso livello della quota del rilevato stradale.

**Fig. 9: tabella riepilogativa delle misurazioni dei livelli piezometrici**

Palermo, 10 gennaio 2025



**Gian Vito Graziano**  
Geologo