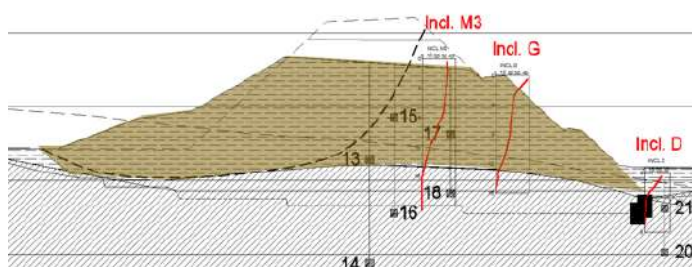




Convenzione del 28/5/2025 tra
ASA – Azienda Servizi Ambientali srl e Dipartimento SIMAU

**ATTIVITA' DI CONSULENZA SPECIALISTICA IN AMBITO GEOTECNICO PER
L'ANALISI DATI DI MONITORAGGIO ARGINE DI VALLE ZONA
AMPLIAMENTO DISCARICA DI CORINALDO**

Report quadrimestrale n.1
Dati di monitoraggio aggiornati ad **Agosto 2025**



Ancona, 31 ottobre 2025

Il responsabile SIMAU

prof. ing. Paolo Ruggeri

PREMESSA	3
1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2 SINTESI DELLE PREGRESSE ATTIVITA' DI CONSOLIDAMENTO DELL'ARGINE	5
3 ESITO DEL SOPRALLUOGO	7
4 EVOLUZIONE DEL RIEMPIMENTO DELLA DISCARICA	10
5 RISULTATI AGGIORNATI DEL MONITORAGGIO IN CORSO	17
5.1 MONITORAGGIO INCLINOMETRICO	17
5.2 MONITORAGGIO PIEZOMETRICO.....	34
5.3 MONITORAGGIO DELLE PORTATE EMUNTE DAI POZZI DI PICCOLO DIAMETRO	40
5.4 MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI LOCALI DI 2 PALI DEI SETTI A PETTINE	50
5.5 MONITORAGGIO DEGLI ESTENSIMETRI MULTIBASE SULL'ARGINE.....	58
5.6 MONITORAGGIO PIEZOMETRICO E CON CELLE DI CARICO TOTALE DELLA RISPOSTA DEL SUBSTRATO PLIOCENICO AL CARICO DEI RIFIUTI 60	
6 CONCLUSIONI E SUGGERIMENTI PER IL PROSIEGUO DEL MONITORAGGIO	63

PREMESSA

Con la Convenzione sottoscritta in data 28 maggio 2025, la ASA – Azienda Servizi Ambientali s.r.l., con sede nel comune di Corinaldo (AN), ha affidato al Dipartimento di Scienze e Ingegneria della Materia, dell'Ambiente e dell'Urbanistica (SIMAU) dell'Università Politecnica delle Marche, sotto la responsabilità del Prof. Paolo Ruggeri, un incarico di consulenza specialistica in ambito geotecnico. L'attività riguarda l'analisi dei dati di monitoraggio dell'argine di valle della discarica di Corinaldo, interessato da un dissesto nell'autunno 2016, subito dopo la conclusione della sua costruzione, e successivamente oggetto di misure di consolidamento realizzate mediante interventi di tipo geotecnico e strutturale.

In particolare, l'incarico prevede un sopralluogo con cadenza quadrimestrale e la redazione di un rapporto tecnico con l'elaborazione dei dati di monitoraggio raccolti nel periodo, il confronto con i dati storici e l'interpretazione delle misure al fine di fornire un quadro d'insieme aggiornato della situazione.

La presente relazione, che costituisce il **RAPPORTO n.1** dell'incarico affidato al Dipartimento, riferisce dell'esito del sopralluogo ed esamina i dati di monitoraggio registrati nel quadrimestre **maggio – agosto 2025**, con particolare riferimento a:

- monitoraggio inclinometrico (agosto 2025);
- monitoraggio con estensimetri multibase dei cedimenti dell'argine (agosto 2025)
- monitoraggio piezometrico (agosto 2025);
- monitoraggio delle portate emunte dai pozzi di piccolo diametro (agosto 2025);
- monitoraggio delle deformazioni locali di 2 pali dei setti a pettine (agosto 2025).

Il documento, completato con i dati ricevuti il 21 ottobre u.s., comprende anche l'aggiornamento dei dati pluviometrici della stazione meteo localizzata in area impianto e le letture delle celle di carico totale e dei piezometri nell'area di nuova espansione a nord della discarica per valutare la risposta della formazione pliocenica all'abbancamento dei rifiuti.

1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- i. Rapporto finale sull'esito dell'intervento sulla base del monitoraggio post-operam e valutazione dello stato finale dell'argine della discarica (Università Politecnica delle Marche, Dip. SIMAU, 11 Novembre 2019)
- ii. Rapporti quadrimestrali di analisi dei dati di monitoraggio dell'argine di valle della Zona di Ampliamento della Discarica di Corinaldo (AN), GES – Geotechnical Engineering Services srl, periodo 2020-2025
- iii. Report mensili del monitoraggio inclinometrico (a cura della ISOGEA S.r.l.) aggiornato ad **Agosto 2025**
- iv. Report mensili del monitoraggio piezometrico (a cura della ISOGEA S.r.l.) aggiornato ad **Agosto 2025**
- v. Letture delle celle piezometriche elettriche (Portale Monitoraggi della O.T.R. S.r.l. di Piacenza) da Aprile 2018 a Marzo 2024
- vi. Letture delle celle piezometriche elettriche (Portale Monitoraggi ME.MO. measures & monitoring del Geol. Marco Ugolotti) aggiornati al **30 Agosto 2025**
- vii. Letture agli estensimetri installati nei pali sei setti a pettine (Portale Monitoraggi Datalogger della O.T.R. S.r.l. di Piacenza) da Febbraio 2019 a Marzo 2024
- viii. Letture delle celle piezometriche elettriche (Portale Monitoraggi ME.MO. measures & monitoring del Geol. Marco Ugolotti) aggiornati al **30 Agosto 2025**
- ix. Dati relativi alle portate emunte dai pozzi verticali di piccolo diametro (a cura di ASA S.r.l.) aggiornato al **29 Agosto 2025**
- x. Rilievo plano-altimetrico della discarica da drone (a cura del Geom. Luigi Prussiani) aggiornato al **11 Ottobre 2025**
- xi. Dati pluviometrici relativi alla stazione meteorologica situata presso la discarica di Corinaldo (a cura di ASA S.r.l.) aggiornati ad **Agosto 2025**
- xii. Letture agli estensimetri multibase installati sull'argine aggiornati ad **Agosto 2025** (Portale monitoraggi GESTECNO)
- xiii. Letture alle celle di carico totale e piezometri in area di nuova espansione a nord della discarica aggiornati ad **Agosto 2025** (Portale monitoraggi GESTECNO)

2 SINTESI DELLE PREGRESSE ATTIVITA' DI CONSOLIDAMENTO DELL'ARGINE

Le opere di consolidamento dell'arginatura si sono rese necessarie per fronteggiare il dissesto che, nel novembre 2016, aveva interessato la porzione ovest - lato nord dell'opera di sbarramento della vallata propedeutica alla realizzazione dell'ampliamento della discarica. Avendo individuato nella presenza in fondazione di un paleoalveo colmato da terreni colluviali poco consistenti ("Paleo riverbed" in figura) e nell'insorgenza di elevate sovrappressioni interstiziali nel corpo arginale le cause principali del dissesto, le attività di stabilizzazione e consolidamento hanno previsto interventi combinati di tipo strutturale ed idraulico. Gli interventi realizzati sono indicati nella planimetria di Figura 1.

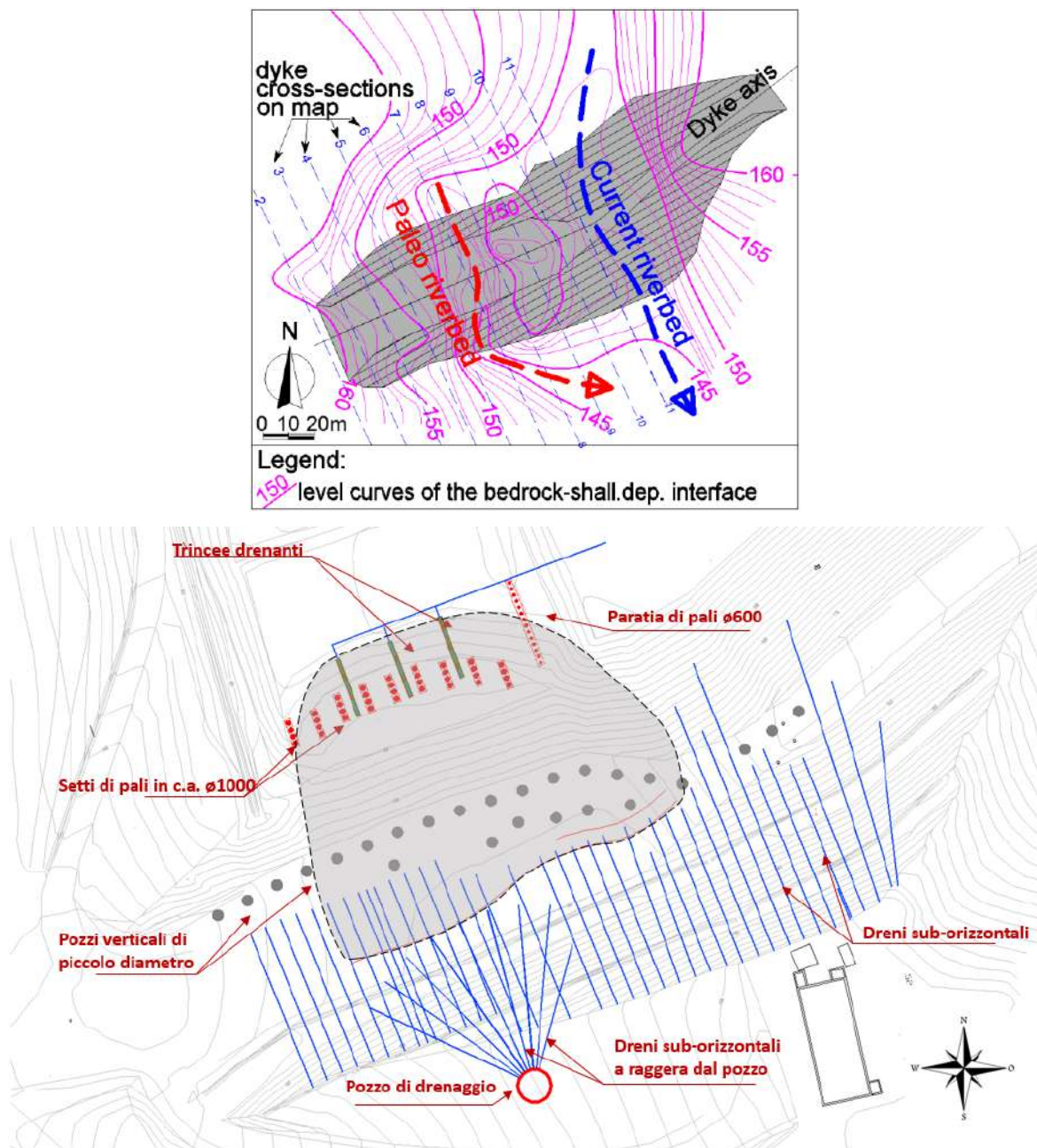


Figura 1 – Planimetria dell'area con indicazione del Paleolake e degli interventi di consolidamento

Gli interventi sono consistiti in:

- a monte dell'argine (lato nord):
 - o 9 setti disposti a pettine, costituiti ciascuno da gruppi di 4 pali affiancati $\varnothing 1000$ collegati in sommità da una trave di coronamento, con il compito di realizzare un rinforzo al piede di monte dell'argine, nell'area più critica del dissesto;
 - o una paratia di pali $\varnothing 600$, concepita come opera provvisoria, per consentire l'abbancamento in sicurezza dei rifiuti nella vasca bassa, nell'area est dell'impianto e non interessata dal dissesto;
 - o trincee drenanti sull'unghia del dissesto, allineate ai setti di pali, collegate al drenaggio sotto telo già presente;
- a valle dell'argine (lato sud):
 - o una fitta rete di drenaggi sub-orizzontali che attraversano il rilevato arginale per una lunghezza media di circa 30 m, così da drenare la porzione esterna del corpo arginale;
 - o un pozzo strutturale di grande diametro, collocato in asse al paleoalveo, da cui sono stati realizzati a ventaglio 4 livelli di dreni sub-orizzontali; quest'opera è particolarmente significativa sia come presidio di stabilità rispetto a possibili cinematismi verso valle sia perché ha permesso il drenaggio dei terreni di fondazione dell'argine;
- dalla sommità dell'argine:
 - o pozzi verticali di drenaggio da cui estrarre, mediante pompaggio, le acque presenti nella porzione dell'argine non raggiunta dai dreni sub-orizzontali.

Per interpretare correttamente i dati di monitoraggio presentati nel seguito è utile individuare i periodi in cui sono stati realizzati gli interventi di consolidamento:

- | | |
|--|-------------------------|
| • dreni sub-orizzontali dal paramento di valle dell'argine: | LUG. - DIC. 2018 |
| • setti di pali $\varnothing 1000$ a pettine: | OTT. - DIC. 2018 |
| • pozzo strutturale di grande diametro: | GEN. – FEB. 2019 |
| • pozzi verticali di piccolo diametro dalla sommità dell'argine: | MAR. – APR. 2019 |
| • dreni sub-orizzontali a raggiera dal pozzo di grande diametro: | MAG. – LUG. 2019 |

3 ESITO DEL SOPRALLUOGO

In data **19 settembre 2025** l'ing. Paolo Ruggeri, accompagnato dal Direttore Geol. Lorenzo Magi Galluzzi, ha eseguito un sopralluogo presso l'impianto di Corinaldo.

In Figura 2 sono mostrate due fotografie della zona arginale, una fotografia del pozzo di valle e una presa dalla zona di espansione a nord della discarica (si nota sullo sfondo l'argine di valle). Non ci sono stati abbancamenti recenti in prossimità dell'argine e non risultano aspetti particolari da segnalare rilevabili dal sopralluogo. I dreni del pozzo sono generalmente asciutti, salvo alcuni che presentano tracce di umidità senza stillicidio evidente.



Figura 2 – Fotografie della sommità dell'argine, del pozzo drenante e della zona di attuale abbancamento prese il 19-9-2025

Il pozzetto di un piezometro Casagrande sulla sommità arginale, che è stato pulito in primavera, è mostrato in Figura 3. Si osserva che il pozzetto è tuttora pieno d'acqua ed è probabile che, come avvenuto in passato, sia il piezometro stesso a portare l'acqua nel pozzetto dato che alla fine della stagione estiva la situazione è praticamente invariata.



Figura 3 – Confronto tra foto del 20-5 e foto del 19-9-2025 del pozzetto di un piezometro Casagrande

Continua l'indagine idrogeologica dell'arginatura a cura del prof. Tazioli dell'Università Politecnica delle Marche, come si può vedere dalla fotografia di Figura 4 che mostra la stazione di campionamento delle acque meteoriche posta sulla sommità arginale.



Figura 4 – Fotografie della stazione di campionamento acque meteoriche UNIVPM

In Figura 5 sono rappresentati gli strumenti integrativi di monitoraggio che sono stati recentemente installati:

- 2 celle di pressione totale con 4 piezometri elettrici volti a valutare la risposta del substrato pliocenico al carico dei rifiuti;
- 2 verticali estensimetriche multibase sul corpo arginale per il monitoraggio degli abbassamenti verticali.

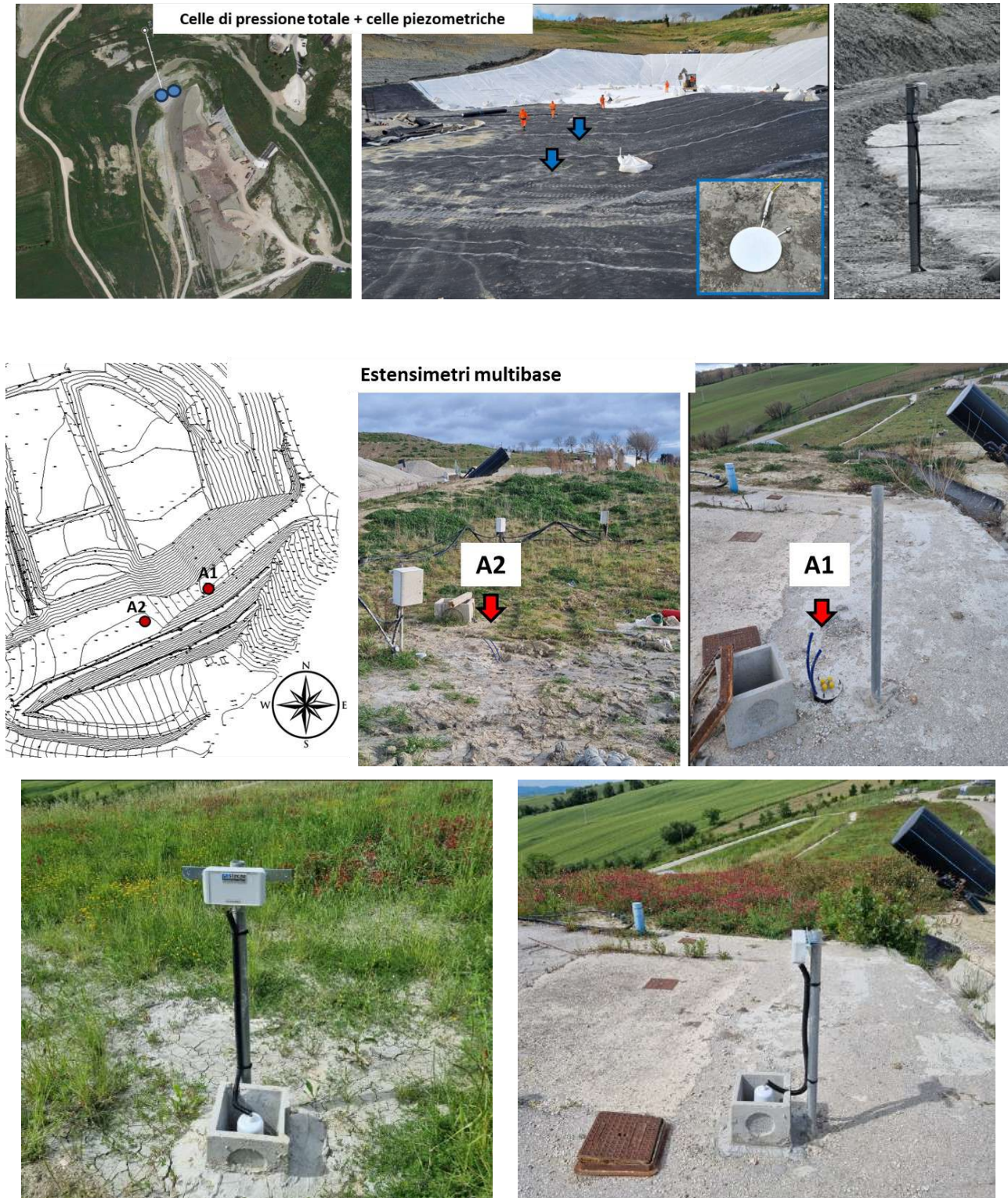


Figura 5 – Fotografie degli strumenti integrativi di monitoraggio installati

4 EVOLUZIONE DEL RIEMPIMENTO DELLA DISCARICA

Per interpretare le risultanze del monitoraggio, è utile tenere conto che la discarica è da tempo in pieno esercizio e che parte delle aree a ridosso dell'argine sono state oggi colmate dai rifiuti. Utilizzando i rilievi aerei realizzati da drone, in questo paragrafo si rappresenta l'evoluzione del riempimento della discarica nell'area di interesse per l'arginatura. In Figura 6 è riportata una planimetria della discarica in prossimità dell'argine sud, al momento di inizio dello sversamento dei rifiuti: si notano le due vasche a monte, definite "vasca alta" e "vasca bassa" in relazione alla quota del fondo delle stesse.

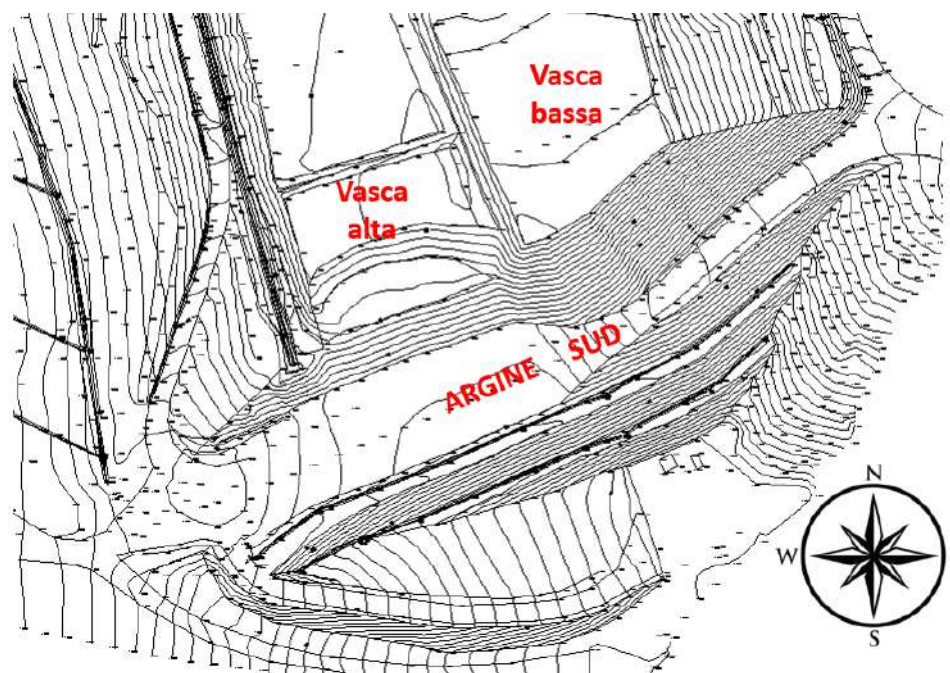


Figura 6 – Rilievo della discarica in prossimità dell'argine sud con la distinzione di "vasca alta" e "vasca bassa" in relazione alla quota del fondo

In sintesi risulta:

- al 29-09-2019 (Figura 7 sx): ci sono circa 10 m di rifiuti in vasca bassa (vasca est) a ridosso dell'argine, mentre nella vasca alta (vasca ovest) la quota del riempimento è circa pari alla quota dell'unghia interna (5 m circa);
- al 15-12-2019 (Figura 7 dx): sversati circa altri 5 m di rifiuti in vasca alta (vasca ovest) fino a ridosso dell'argine;
- al 24-05-2020 (Figura 8 sx): ulteriore bancata in vasca bassa fino a Q=170 m l.m.m.
- al 6-09-2020 (Figura 8 dx): ampliamento della bancata in vasca bassa (Q=170 m l.m.m.)
- al 5-04-2021 (Figura 9 sx): ampliamento della discarica verso Nord, non ci sono variazioni significative a ridosso dell'argine;
- al 26-09-2021 (Figura 9 dx): estensione della bancata a quota Q=170 m su l.m.m. in prossimità dell'argine;

- al 12-04-2022 (Figura 10 sx): estensione verso ovest della bancata a quota Q=175 m su l.m.m., in una porzione un po' arretrata rispetto all'argine;
- al 12-10-2022, non risultano ulteriori abbancamenti in prossimità dell'argine, la coltivazione della discarica sta proseguendo in posizione più arretrata;
- al 12-2022 un nuovo rilievo (Figura 10 a dx e Figura 11 a sx): non ci sono abbancamenti in prossimità dell'argine, la coltivazione della discarica prosegue nella porzione nord;
- al 4-2023, pur non disponendo di un nuovo rilievo, le fotografie delle attività in corso evidenziano che la coltivazione della discarica avviene in posizione molto arretrata rispetto alla posizione dell'argine;
- al 1-10-2023, il rilievo evidenzia che la coltivazione della discarica prosegue nella porzione a nord, distante dall'argine Figura 11 (a dx);
- al 30-3-2024, il rilievo evidenzia che la coltivazione della discarica si sta avvicinando all'argine, con un sovrizzo della porzione centrale (Figura 12, a sx);
- al 20-12-2024 il rilievo evidenzia che la coltivazione della discarica ha interessato l'area immediatamente a ridosso dell'argine, con un sovrizzo che tra marzo e dicembre ha raggiunto la quota di circa 180 m l.m.m., con una variazione di altezza tra 5 e 10 m rispetto alla situazione precedente; lo stato attuale mostra che la coltivazione recente è più arretrata rispetto all'arginatura (Figura 12 , a dx)
- al 30-3-2025 il rilievo non indica variazioni morfologiche in prossimità dell'argine, coerentemente al fatto che la coltivazione è tutta spostata nella porzione più a nord (vedi Figura 13);
- **al 11-10-2025 il rilievo conferma l'assenza di variazioni morfologiche in prossimità dell'argine coerentemente al fatto che la coltivazione avviene nella porzione nord dell'impianto (vedi Figura 14).**

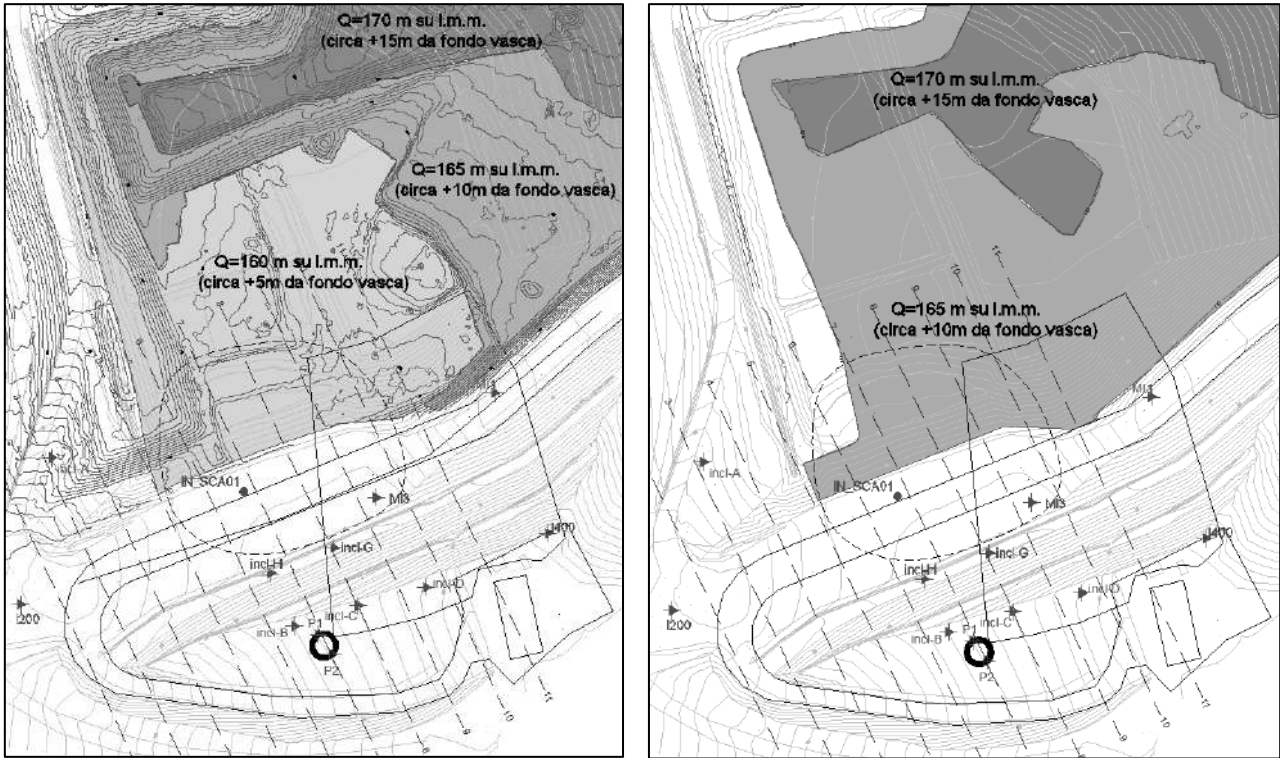


Figura 7 – Rilievo plano-altimetrico della discarica al 29-09-2019 (a sx) e al 15-12-2019 (a dx)



Figura 8 – Rilievo plano-altimetrico della discarica al 24-05-2020 (a sx) e al 6-09-2020 (a dx)

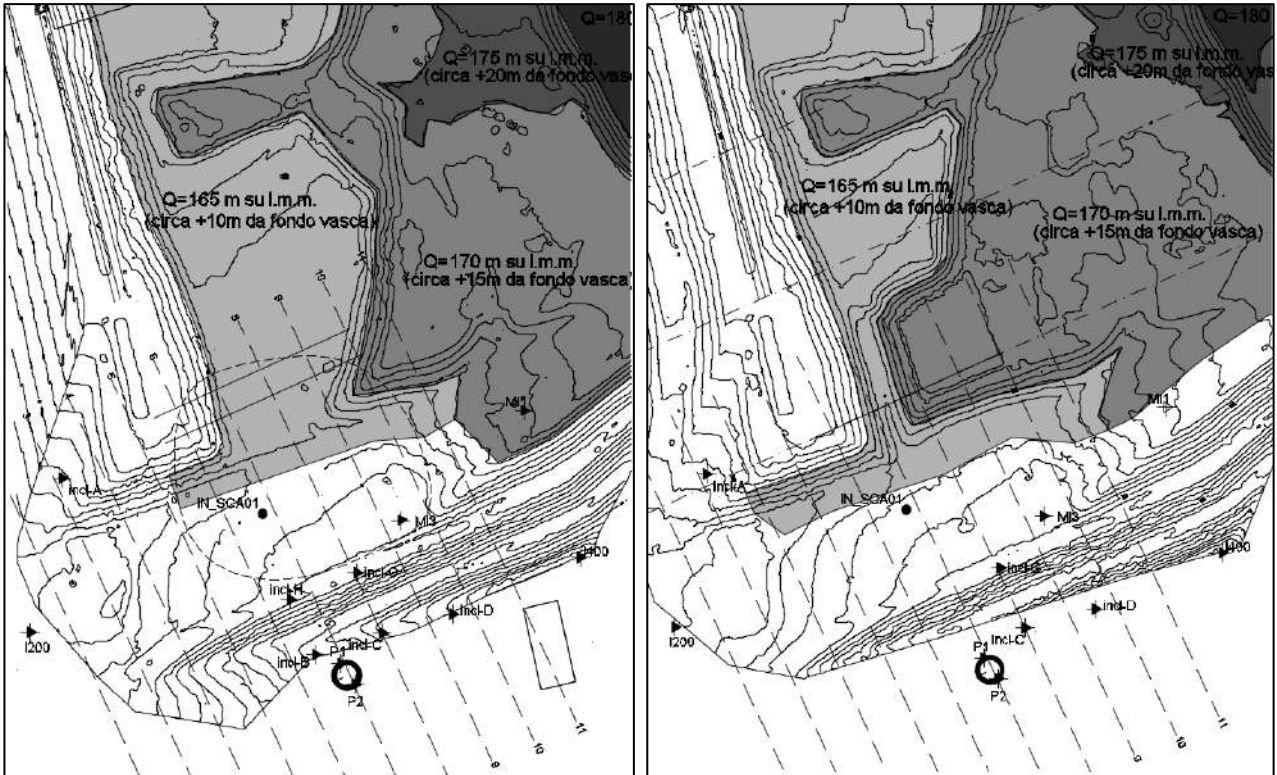


Figura 9 – Rilievo plano-altimetrico della discarica al 5-04-2021 (a sx) e al 26-09-2021 (a dx)

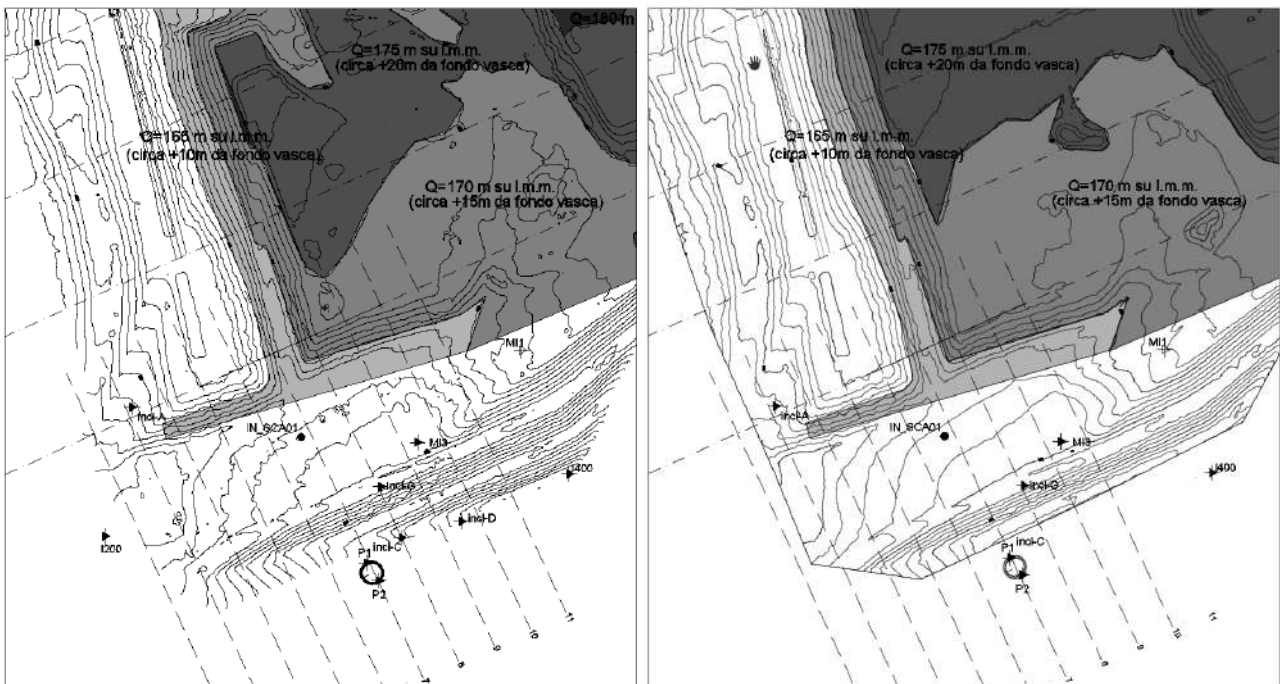


Figura 10 – Rilievo plano-altimetrico della discarica al 12-04-2022 (a sx) e al 12-2022 (a dx)

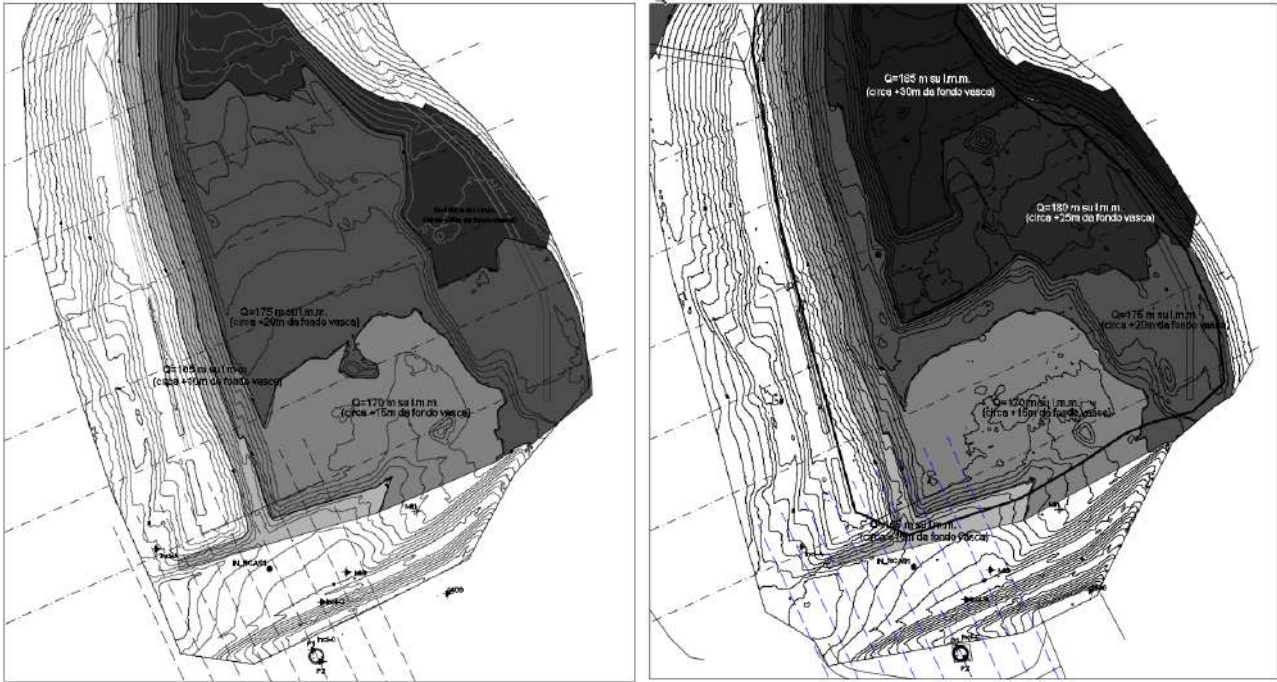


Figura 11 – Rilievo plano-altimetrico della discarica al 12-2022 (a sx) e al 1-10-2023(a dx), esteso a monte

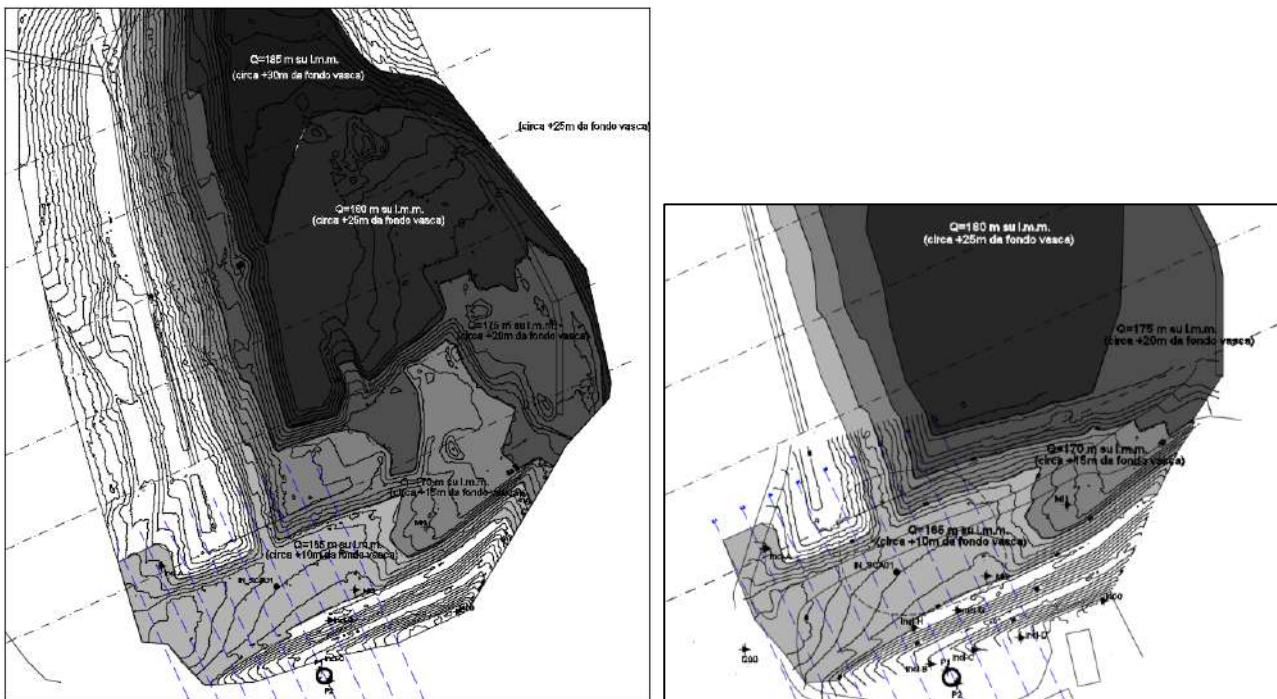


Figura 12 – Rilievi plano-altimetrici della discarica al 30-3-2024 e al 20-12-2024

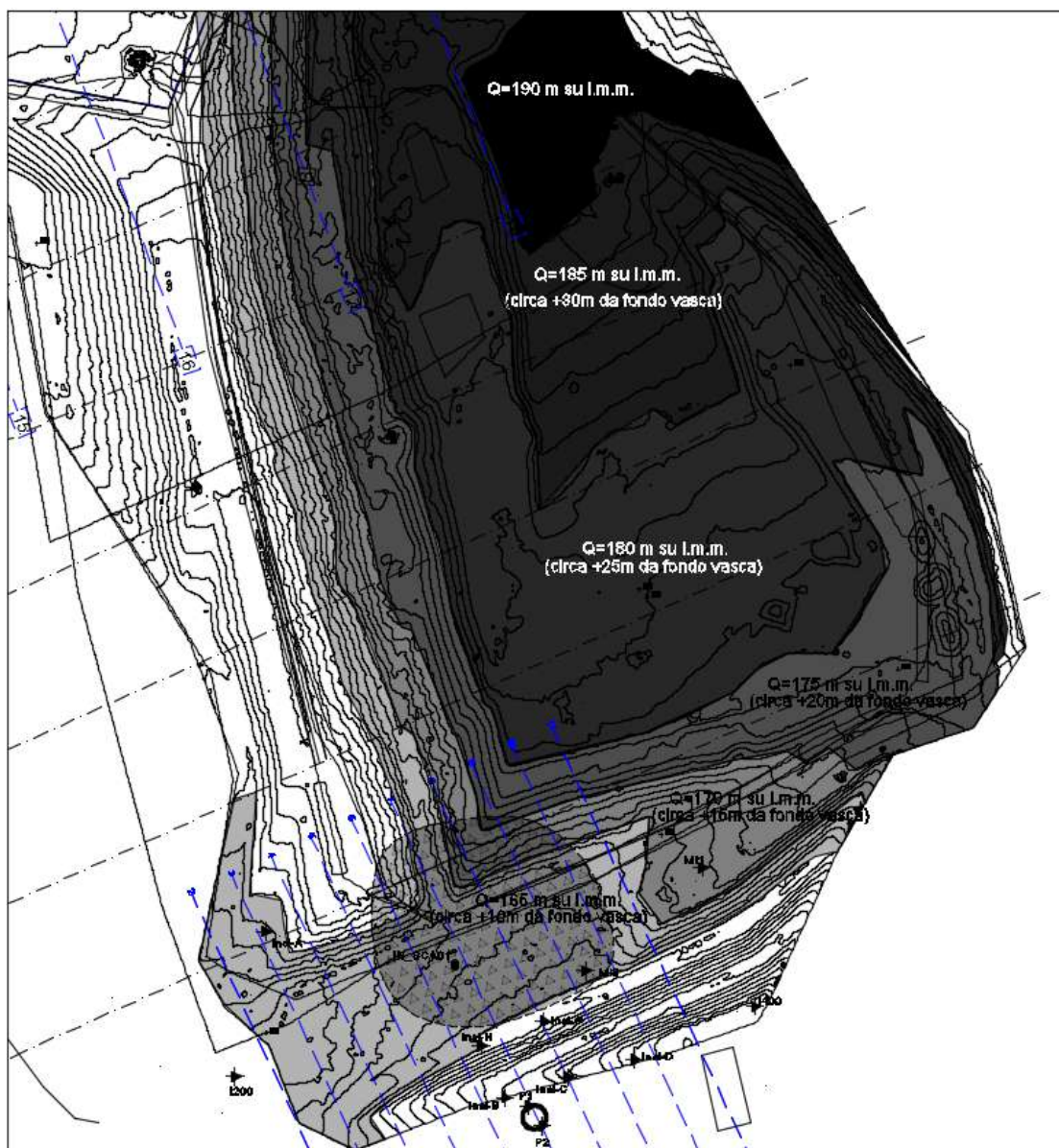


Figura 13 – Rilievo plano-altimetrico della discarica al 30-3-2025

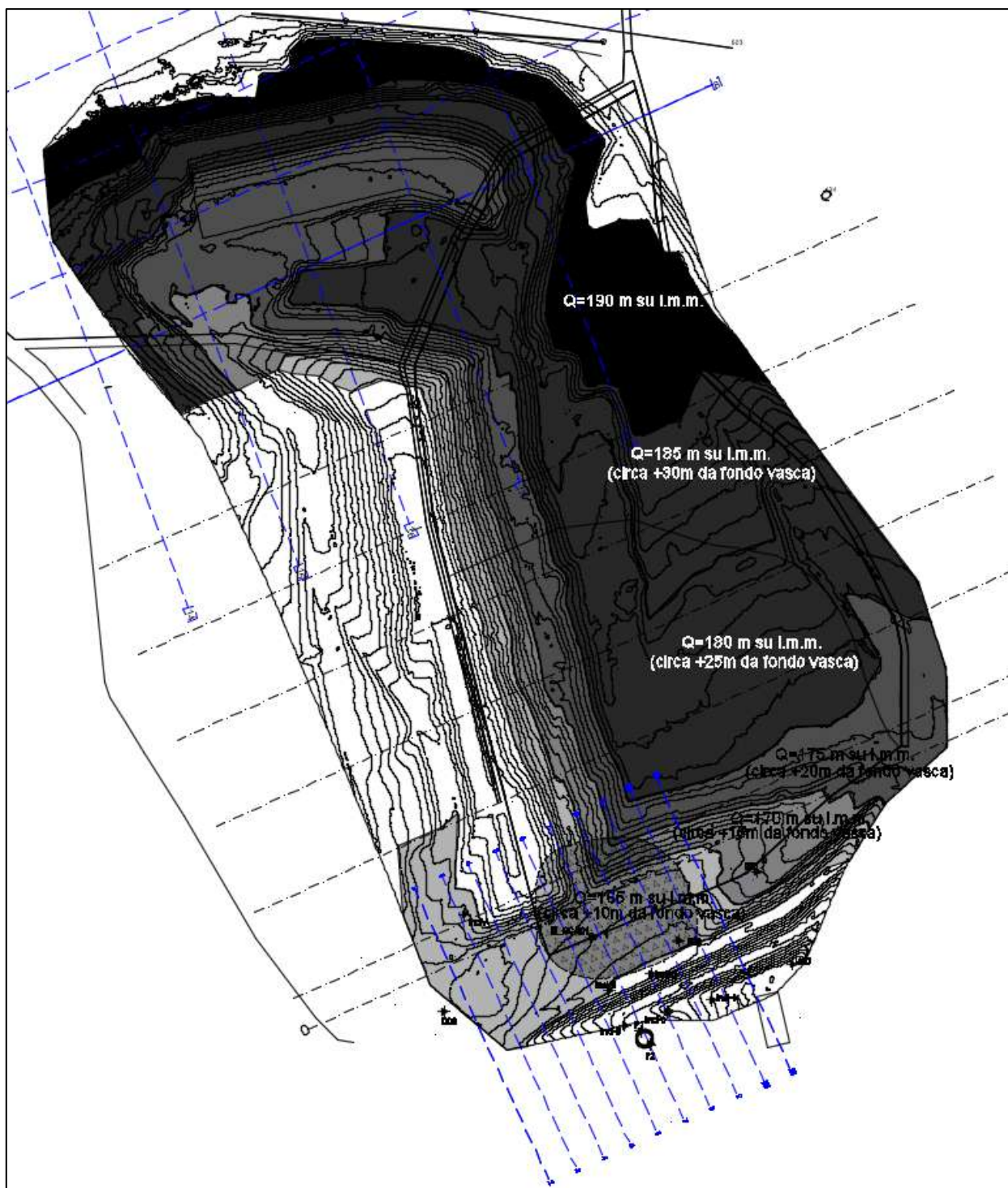


Figura 14 – Rilievo plano-altimetrico della discarica al 11-10-2025

5 RISULTATI AGGIORNATI DEL MONITORAGGIO IN CORSO

Il sistema di monitoraggio attualmente operativo sull'argine fornisce misure di spostamento in profondità (verticali inclinometriche e assestimetri multibase), misure di pressione interstiziale (piezometri con cella Casagrande ed elettrici a corda vibrante), misure della portata emunta dai pozzi di piccolo diametro sulla sommità dell'argine e misure delle deformazioni locali in corrispondenza di 2 pali appartenenti ai setti a pettine (pali strumentati con strain-gages). Inoltre sono stati aggiunti anche i monitoraggi di 2 celle di carico totale e 2 piezometri collocati nell'area di espansione a nord di coltivazione della discarica con l'obiettivo di valutare la risposta al carico della formazione pliocenica.

5.1 Monitoraggio inclinometrico

Il monitoraggio inclinometrico dell'arginatura è attivo da dicembre 2016, appena dopo la fase parossistica del dissesto, allo scopo di comprenderne la cinematica e monitorarne l'evoluzione nel tempo. I dati ottenuti dagli inclinometri hanno permesso di valutare con accuratezza l'efficacia dell'intervento di consolidamento del dissesto così da consentire l'esercizio della discarica anche nelle aree prossime all'argine.

Con il progressivo riempimento della discarica anche a ridosso dell'argine gli spostamenti verso l'interno della vasca si sono ovviamente annullati, mentre quelli verso valle risultano intensificati.

Ad oggi sono presenti i **15 tubi inclinometrici** rappresentati in Figura 15; le caratteristiche della strumentazione installata sono dettagliate in Tabella 1.

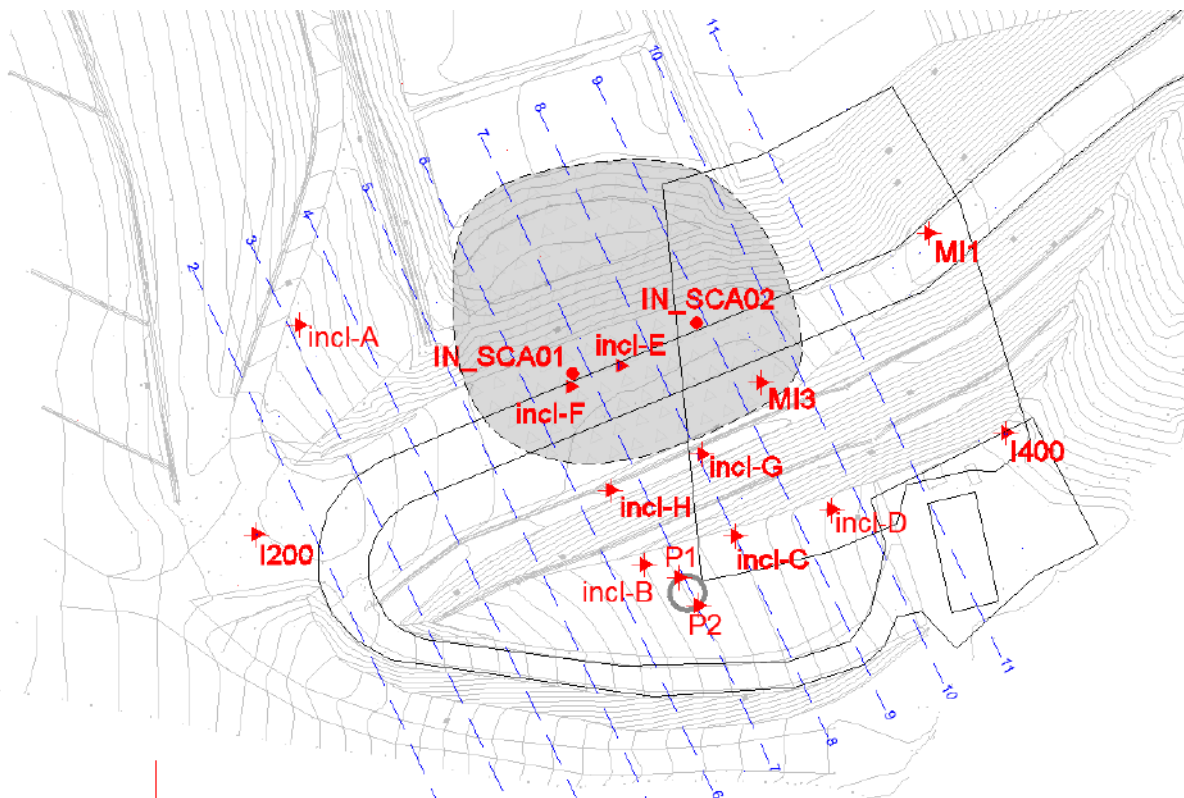


Figura 15 – Planimetria dell'argine con indicazione degli inclinometri operativi ad AGOSTO 2025

Tabella 1 – Dettaglio degli inclinometri attivi nell'area dell'argine

Codice	L (m)	DATA lettura 0	Letture AGO.2025	STATO	Commento
I200	13,50	19-07-2017	97	Attivo	
I400	13,50	18-05-2017	104	Attivo	
A	9,50	17-05-2017*	103	Attivo	Deformaz. a z=5,5 m
B	14,50	18-05-2017*	104	Attivo	Deformaz. a z=4 e 8m
C	7,00	18-05-2017*	104	Attivo	Def. diffusa tra 0 e 4 m
D	7,00	18-05-2017*	104	Attivo	Def. diffusa tra 0 e 3 m
E	13,00	17-05-2017	104	Attivo	Interrotto a 13 m
F	21,00	13-12-2016	12	NON ATTIVO da Giu 2017	Interrotto a 16 m
G	16,00	18-05-2017*	104	Attivo	Deformaz. a z=3 e 12 m
H	19,50	18-05-2017*	104	Attivo	Deformaz. a z=14 m
M1	29,00	23-11-2016*	12+15	NON ATTIVO da Ago 2018	Deformaz. a z=13 - 17 m
M1-bis	30,00	31-10-2018	86	Attivo	Deformaz. a z=16 e 23 m
M3	20,50	31-10-2018	86	Attivo	Def. diffusa tra 6 e 16 m
SCA01	23,50	19-04-2018	4	NON ATTIVO da Ago 2018	Interrotto a z=15 m
SCA01-bis	23,50	31-10-2018	87	Attivo	Deformaz. a z=14 m
SCA02	24,00	19-04-2018	91	Attivo	Interrotto a z=13,5 m
P2 (pozzo, l. sud)	14,50	28/06/2019	72	Attivo	
P1 (pozzo, l. nord)	14,50	28/06/2019	72	Attivo	
*tubi che hanno anche campagne di lettura precedenti					

Si ricorda che nel Dicembre 2022 la società **Isogea** che esegue le misure inclinometriche nell'impianto di Corinaldo ha rinnovato la sonda inclinometrica. Per dare continuità al monitoraggio e consentire di leggere la storia e la progressione degli spostamenti inclinometrici, è stata eseguita una lettura con la vecchia sonda il 29 novembre 2022 ed è stata ripetuta la lettura con la nuova sonda il 6 dicembre 2022. Ipotizzando nulli gli spostamenti tra il 29 novembre ed il 6 dicembre, si è utilizzata la lettura del 6 dicembre come "correzione" da applicare alle misure successive ottenute con la nuova sonda per renderle confrontabili con le vecchie letture ottenute con la sonda dismessa. Pur essendo tale procedura non prevista dalle norme internazionali di riferimento (ISO 18674-3) si condivide l'approccio adottato al fine di dare continuità al monitoraggio in corso.

La Figura 16 mostra gli spostamenti orizzontali alla quota del piano campagna registrati nel periodo **ottobre 2018 – agosto 2025** a seguito degli interventi di consolidamento e del riempimento in maniera consistente della discarica anche a ridosso dell'argine. Dalla figura si può osservare che gli spostamenti cumulati sono stati significativi, dell'ordine di 100 mm per gli inclinometri collocati in sommità arginale (spostamento massimo di 145 mm in M1 e M3). L'effetto del riempimento della discarica sugli inclinometri H, G ed M3 risulta sempre evidente.

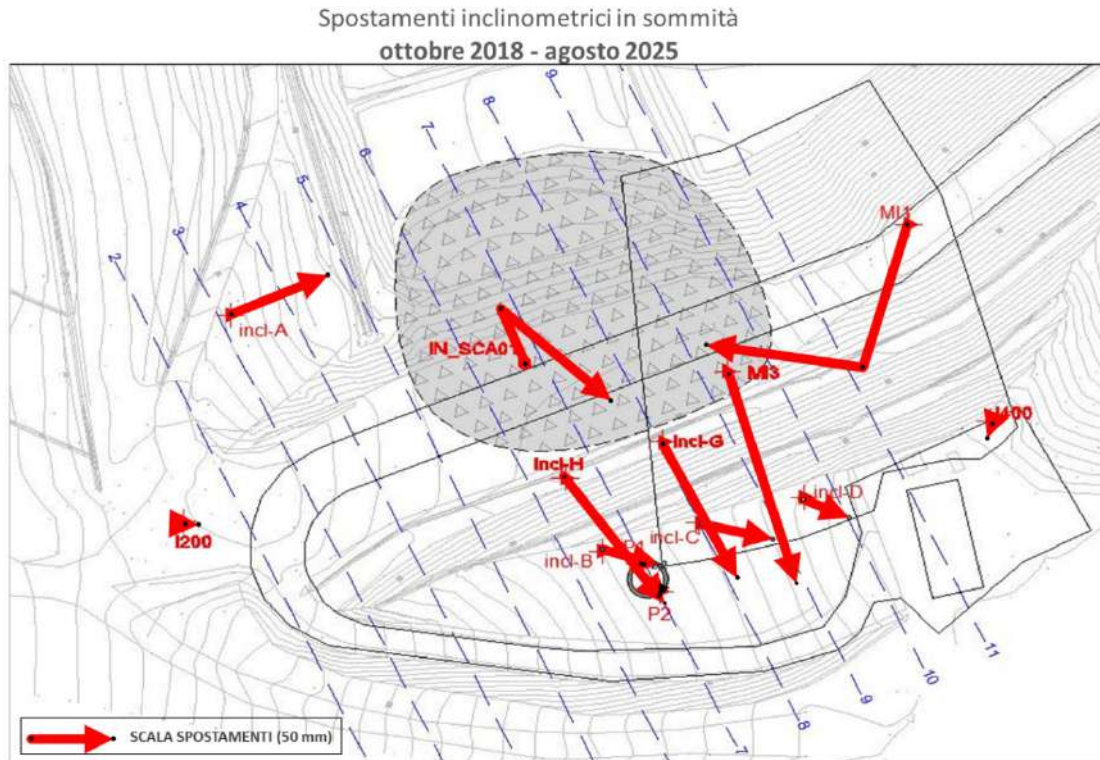


Figura 16 – Spostamenti inclinometrici nel periodo OTTOBRE 2018 – AGOSTO 2025

Per mettere in relazione spostamenti e lavorazioni nell'impianto si è provveduto a scomporre l'intervallo temporale in "semestri" consecutivi, Gennaio-Giugno 2019, Giugno 2019 - Gennaio 2020, Gennaio-Giugno 2020, Giugno 2020 - Gennaio 2021, Gennaio-Giugno 2021 e Giugno 2021 - Gennaio 2022, Gennaio-Giugno 2022, Giugno-Dicembre 2022, Gennaio-Giugno 2023, Giugno-Dicembre 2023, Dicembre 2023 - Giugno 2024, Giugno-Dicembre 2024 e **Dicembre 2024 – Giugno 2025**, a cui si è aggiunto il **dettaglio dello spostamento dell'ultimo quadrimestre APRILE 2025 – AGOSTO 2025** (Figura 24). In Figura 17, Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22 e Figura 23 sono riportate le planimetrie dell'argine con i vettori orientati dello spostamento rilevato dagli inclinometri rappresentati in tutte le figure nella medesima scala. Si osserva che nel semestre giugno 2019 – gennaio 2020 si concentra buona parte della deformazione complessiva dell'argine e che tali spostamenti possono essere ben correlati al riempimento della discarica a ridosso del rilevato, con uno spessore di rifiuti pari a circa 10 m. Nel semestre successivo, dove la quota dei rifiuti è aumentata solo nel settore est, si osserva infatti che l'entità degli spostamenti diminuisce drasticamente. Osservando con attenzione si può individuare che il contributo del riempimento nel settore est, che ha portato lo spessore dei rifiuti a circa 20 m dal fondo vasca, ha determinato gli incrementi di spostamento dell'inclinometro MI1 verso sud-ovest nel periodo gennaio-giugno 2020. Nel successivo periodo giugno-novembre 2020, a fronte di un modesto aumento delle quote dei rifiuti a monte dell'argine, si è osservato un incremento della deformazione di circa 10 mm negli inclinometri G e H. Nel periodo successivo, novembre 2020 – giugno 2021, spostamenti degni di nota sono stati riscontrati solo negli inclinometri MI1 ed MI3. Non

essendoci stato abbancamento di rifiuti in prossimità dell'argine, tali incrementi possono probabilmente essere ricondotti al passaggio dei mezzi pesanti diretti verso la zona più arretrata della discarica, ad ulteriore conferma della sensibilità dell'argine alle azioni esterne. Nel periodo giugno 2021-gennaio 2022 è ripreso l'abbancamento di rifiuti a tergo dell'argine e si sono registrati nuovi incrementi della velocità spostamento negli inclinometri G, H ed M3.

Nel successivo semestre, gennaio – giugno 2022, non si evidenziano situazioni degne di nota, se non un blando proseguimento dei trend deformativi principali già evidenziati in precedenza.

Nel semestre giugno – dicembre 2022 l'elaborazione, che ha richiesto un raccordo con le misure precedenti per il cambio di sonda inclinometrica, mostra una situazione stabile. Fa eccezione l'inclinometro A che, posizionato poco a monte della spalla destra dell'argine, mostra un movimento della coltre superficiale del versante.

Nel semestre dicembre 2022 – giugno 2023 la situazione si mantiene piuttosto stabile se paragonata alle velocità di deformazione osservate nei periodi corrispondenti allo sversamento dei rifiuti a ridosso dell'argine. Aumentando la scala di rappresentazione dei vettori si osservano spostamenti di diversi millimetri verso valle degli inclinometri in cresta arginale (G-H-M3 ed M1).

Nel semestre giugno - dicembre 2023 si osserva la prosecuzione dei trend deformativi precedentemente evidenziati. Si osserva in particolare che gli inclinometri sulla cresta arginale (G-H-M3) mostrano degli spostamenti in superficie di alcuni millimetri pur in assenza di cause perturbatrici chiaramente identificabili – a meno del transito dei mezzi pesanti -, a conferma dell'elevata deformabilità del corpo arginale (si noti che, come si evidenzierà in seguito, lo spostamento esibito dall'inclinometro G è per gran parte concentrato nei primi 2 m di profondità).

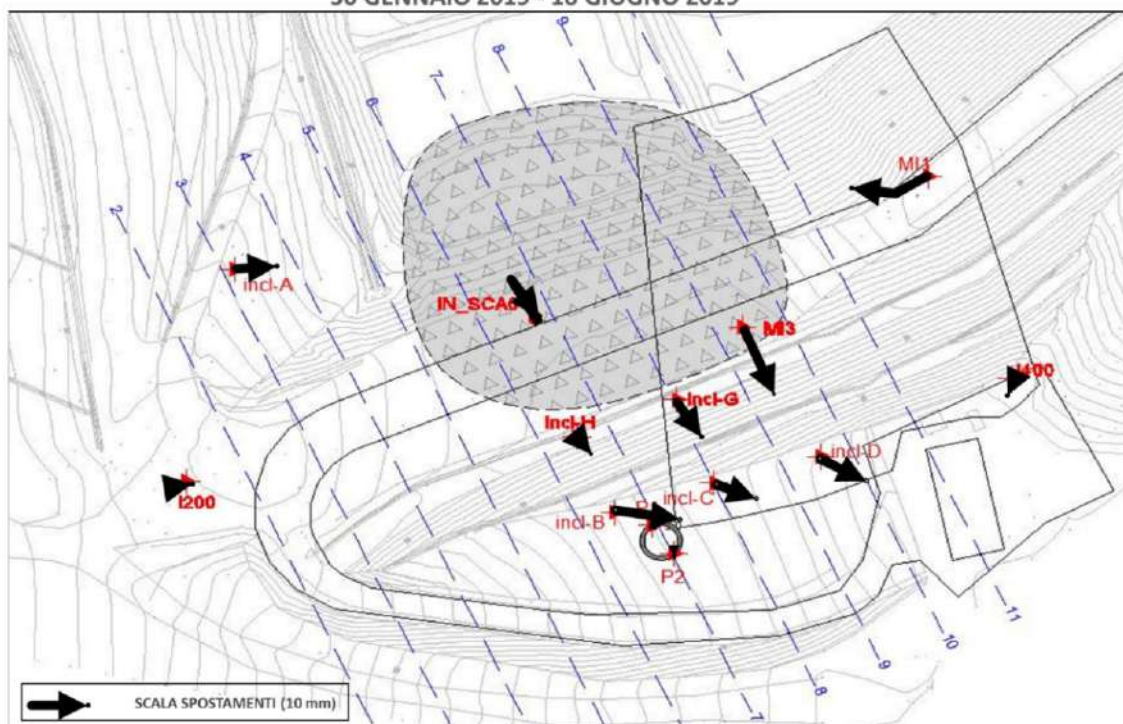
Nel semestre dicembre 2023 – giugno 2024 si confermano i trend deformativi ormai chiaramente delineati nel consistente periodo di osservazione.

Nel semestre giugno – dicembre 2024 si osserva la generale prosecuzione dei trend deformativi precedenti, in cui spiccano gli spostamenti dell'inclinometro A, collocato nel pendio al di fuori dell'argine che ha manifestato uno spostamento di circa 2 cm nei primi 3 m di coltre e l'inclinometro M1 che ha manifestato uno spostamento di circa 1,5 cm distribuito su 8 m di altezza (tra le profondità di 16 e 24 m) risentendo con ogni probabilità dell'incremento di carico a monte dell'arginatura che si è avuto nell'ultimo anno.

Nel semestre dicembre 2024 -giugno 2025 si osserva una situazione generalmente stazionaria ad eccezione delle verticali M1 (10 mm) ed M3 (3 mm).

Nell'ultimo quadrimestre aprile 2025 – agosto 2025, si osserva un incremento degli spostamenti sugli inclinometri in cresta (H 9 mm; G 9 mm; M1 10 mm; M3 4 mm) che è superiore a quello dei periodi immediatamente precedenti. In Figura 24 sono riportate le deformate inclinometriche di queste 3 verticali, da cui si può osservare che NON vi sono quote a cui si concentra la deformazione (vedi anche nel seguito).

Spostamenti inclinometrici in sommità
30 GENNAIO 2019 - 18 GIUGNO 2019



Spostamenti inclinometrici in sommità
18 GIUGNO 2019 - 23 GENNAIO 2020

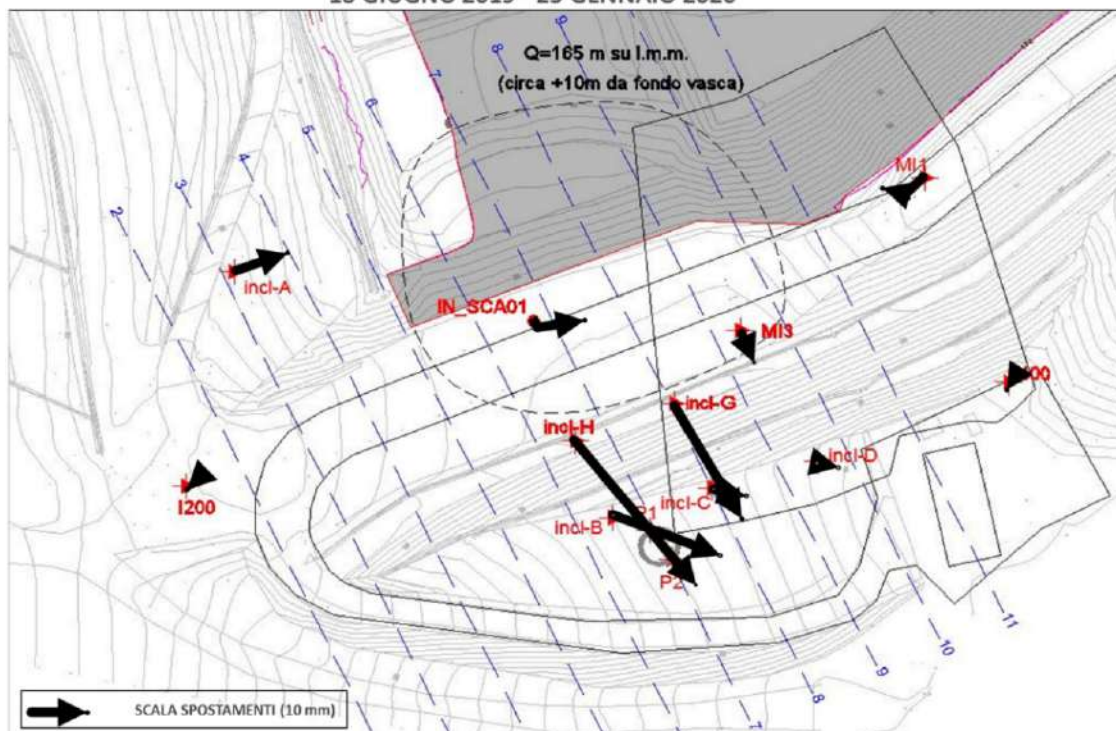
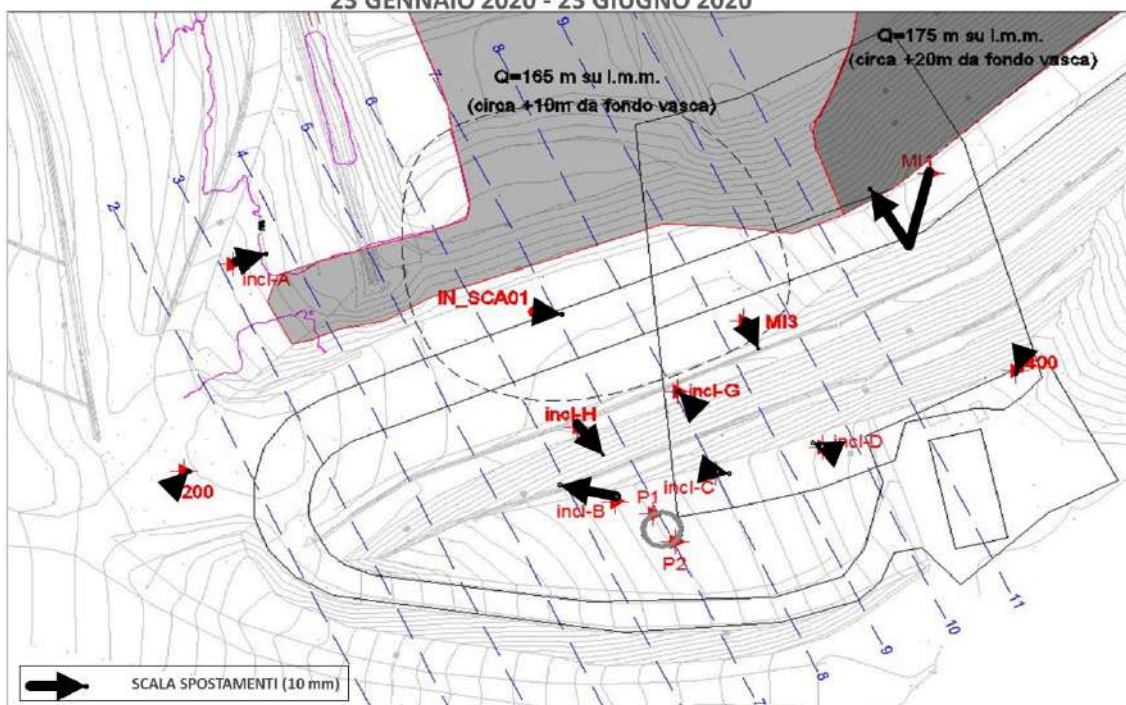


Figura 17 – Spostamenti inclinometrici GEN - GIU 2019 e GIU 2019 – GEN 2020

Spostamenti inclinometrici in sommità
23 GENNAIO 2020 - 23 GIUGNO 2020



Spostamenti inclinometrici in sommità
23 GIUGNO 2020 - 20 GENNAIO 2021

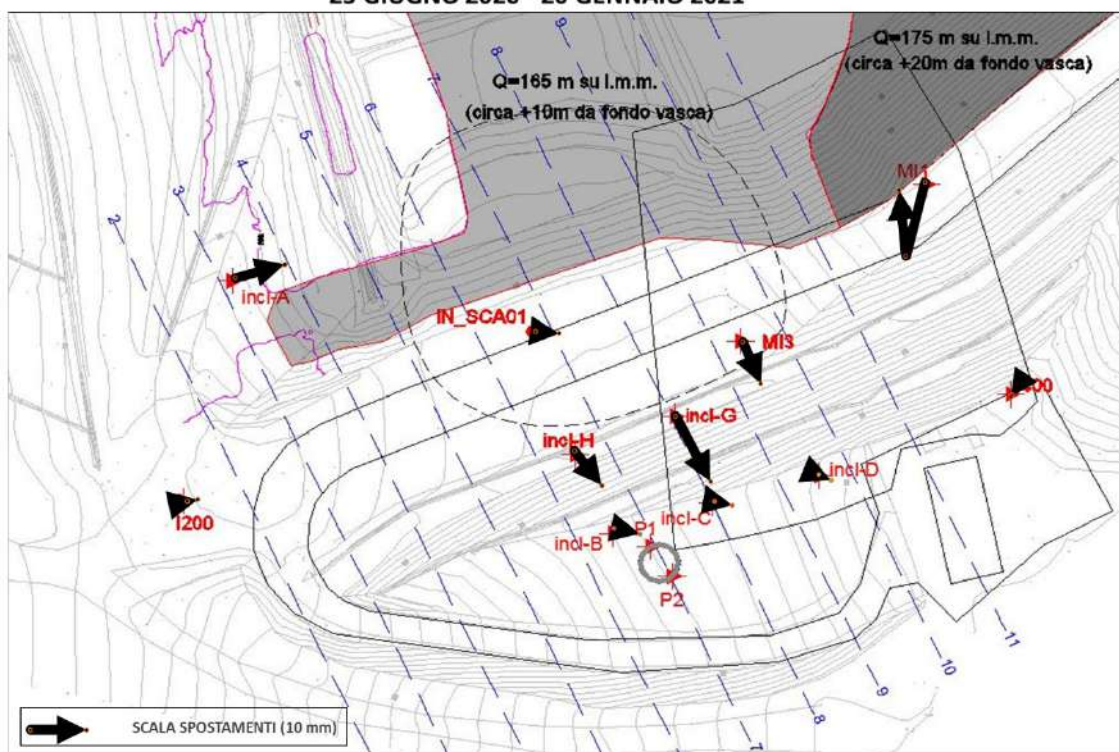
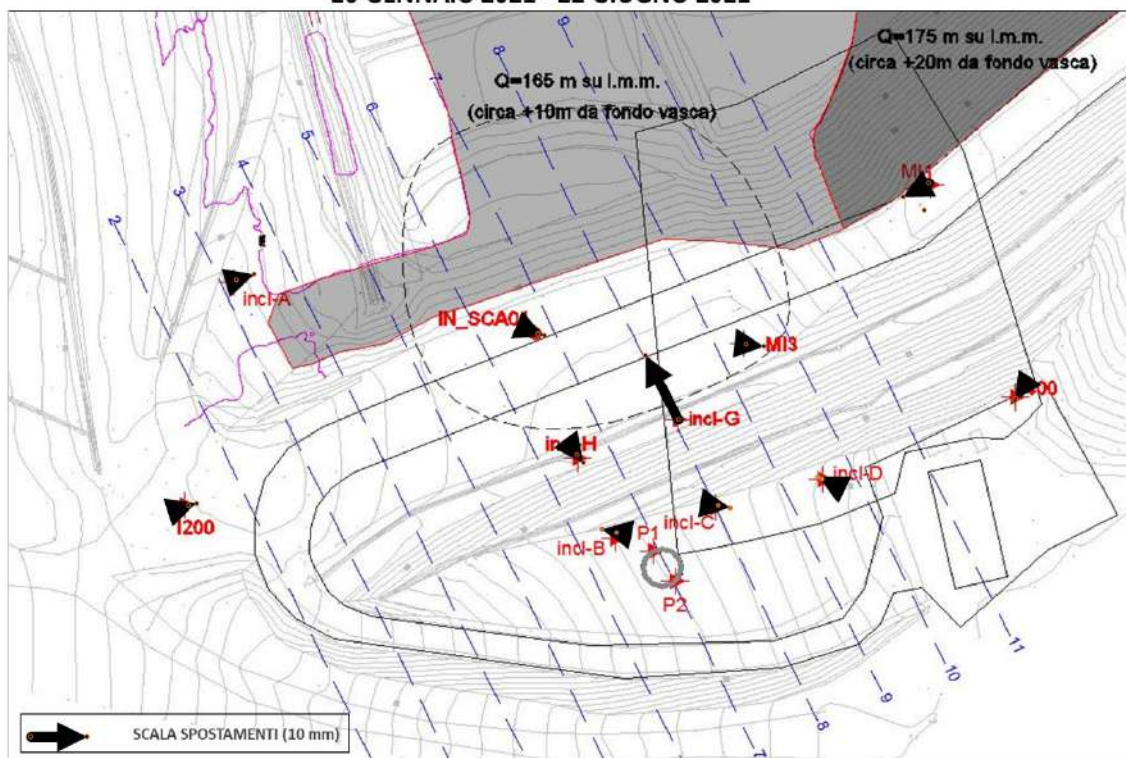


Figura 18 – Spostamenti inclinometrici GEN - GIU 2020 e GIU 2020 - GEN 2021

Spostamenti inclinometrici in sommità
20 GENNAIO 2021 - 22 GIUGNO 2021



Spostamenti inclinometrici in sommità
22 GIUGNO 2021 - 4 GENNAIO 2022

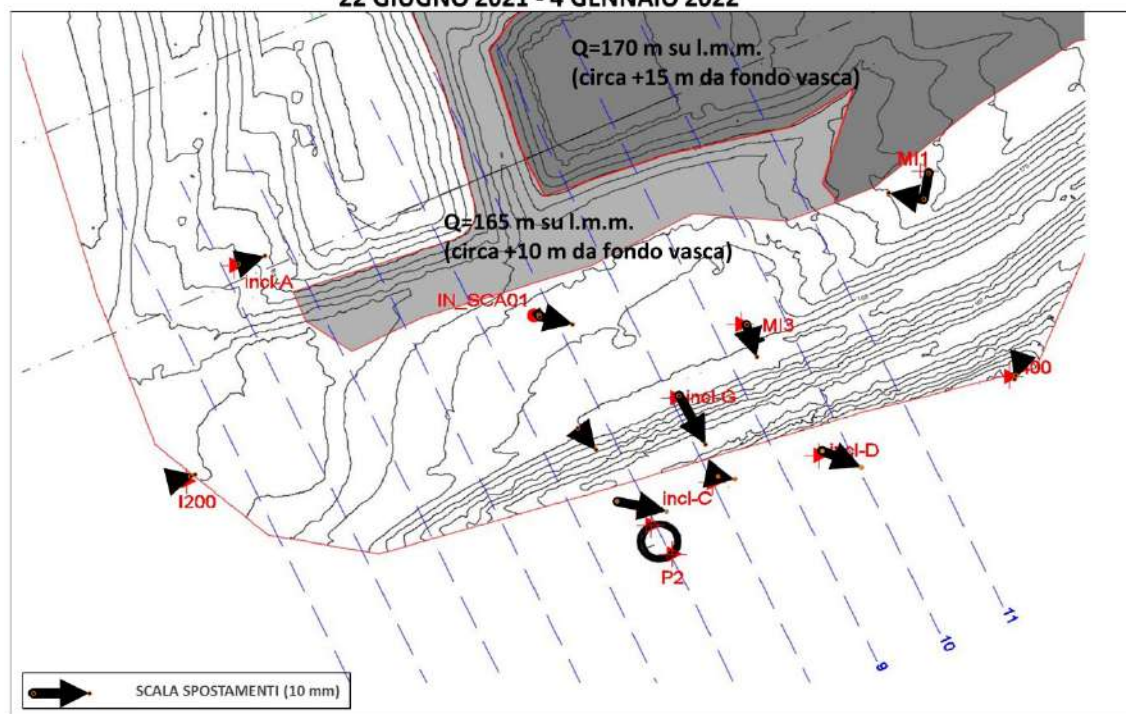


Figura 19 – Spostamenti inclinometrici GEN – GIU 2021 e GIU 2021 – GEN 2022

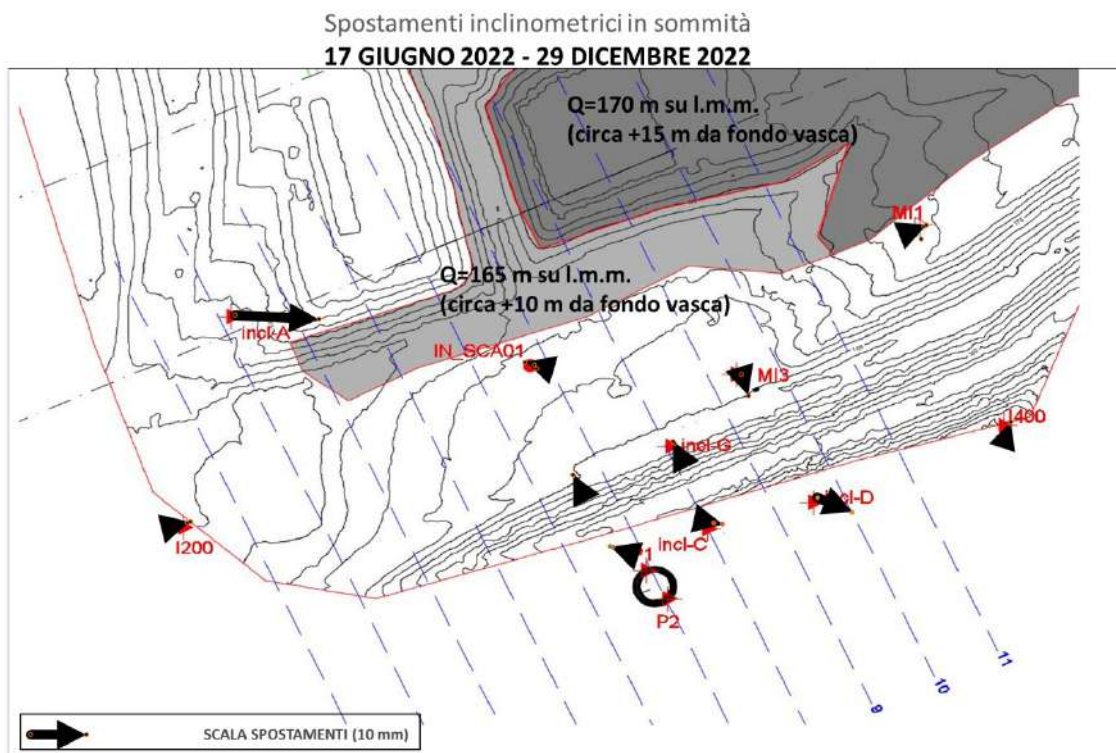
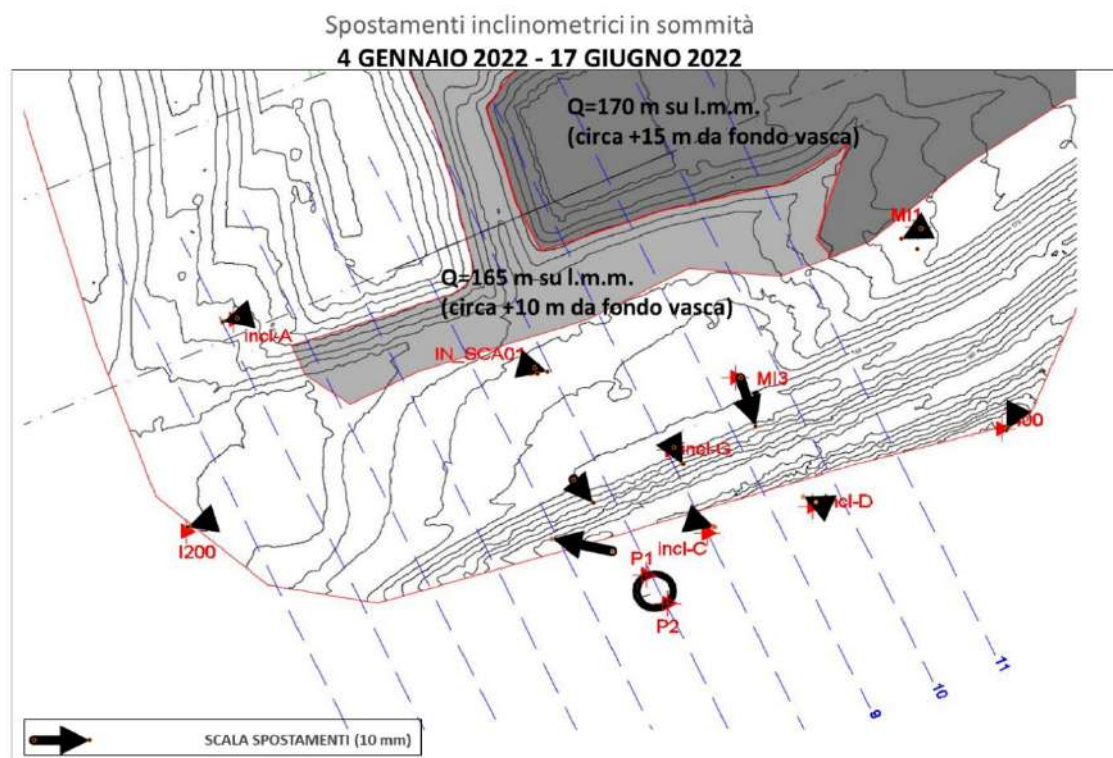
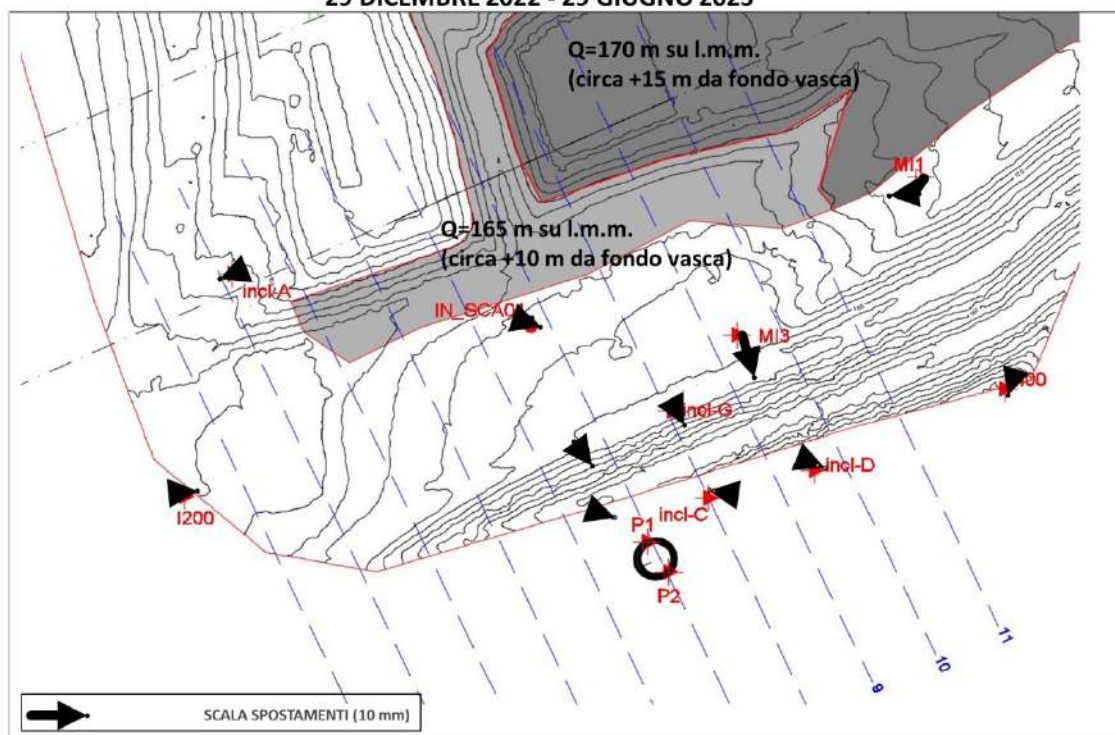


Figura 20 – Spostamenti inclinometrici GEN – GIU 2022 e GIU – DIC 2022

Spostamenti inclinometrici in sommità
29 DICEMBRE 2022 - 29 GIUGNO 2023



Spostamenti inclinometrici in sommità
29 GIUGNO 2023 - 20 DICEMBRE 2023

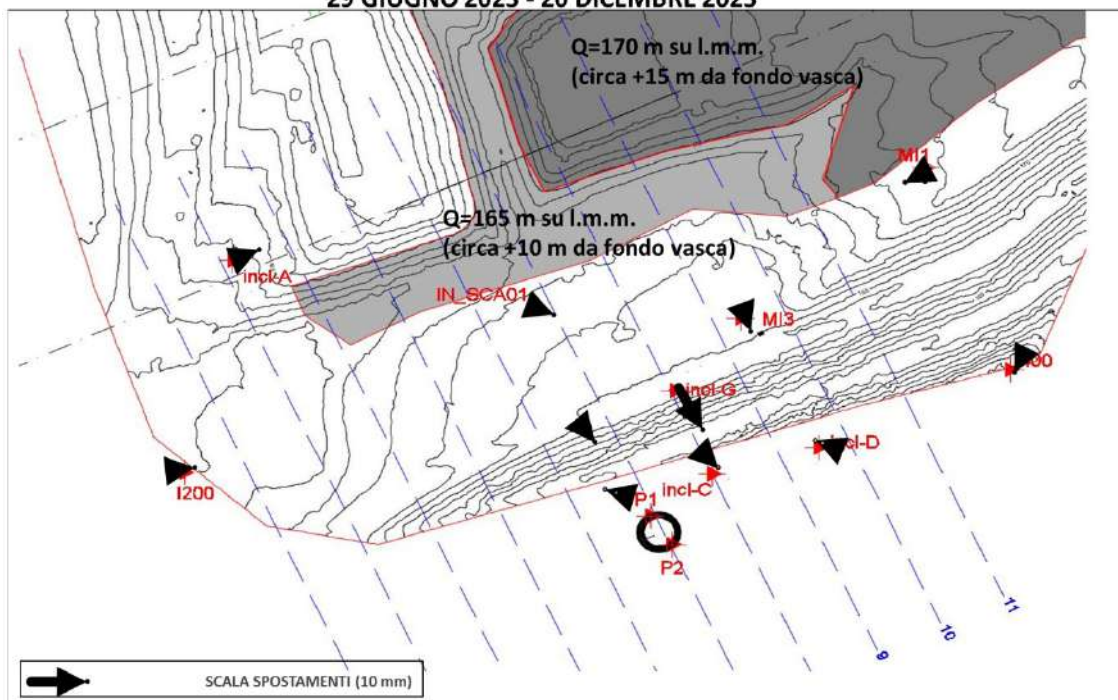


Figura 21 – Spostamenti inclinometrici DIC 2022 – GIU 2023 e GIU - DIC 2023

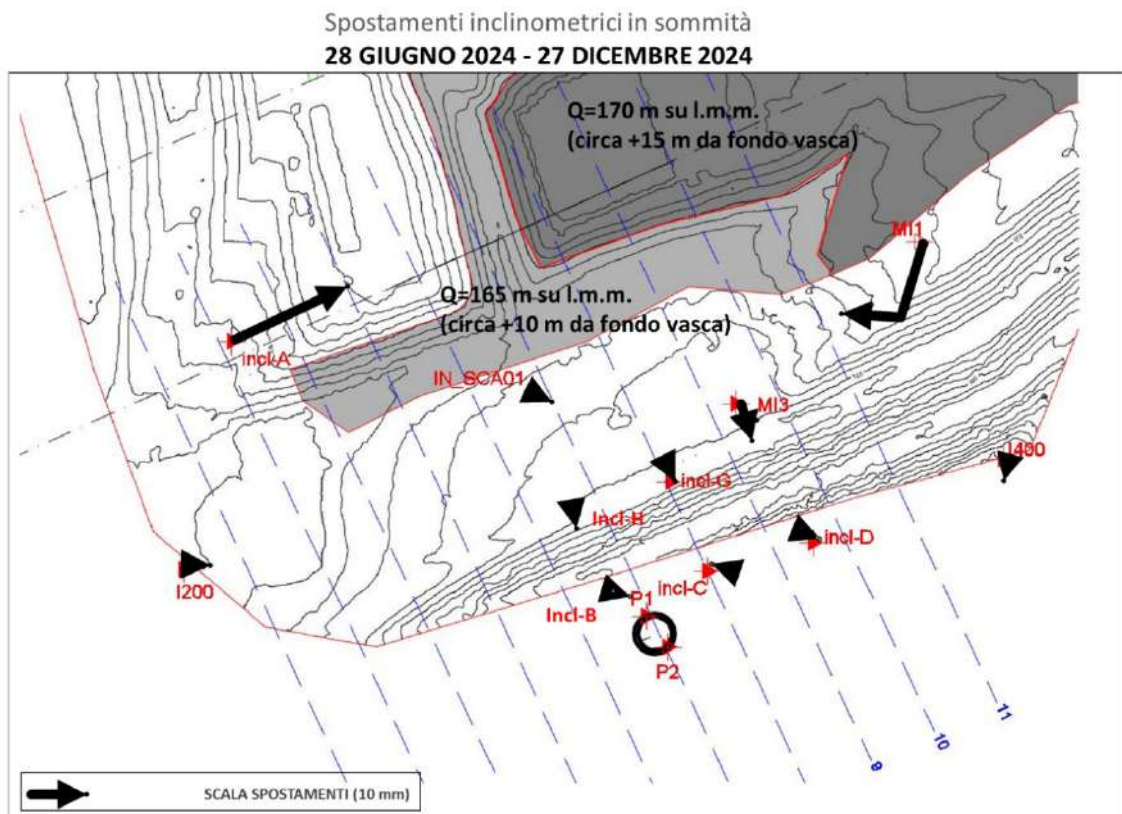
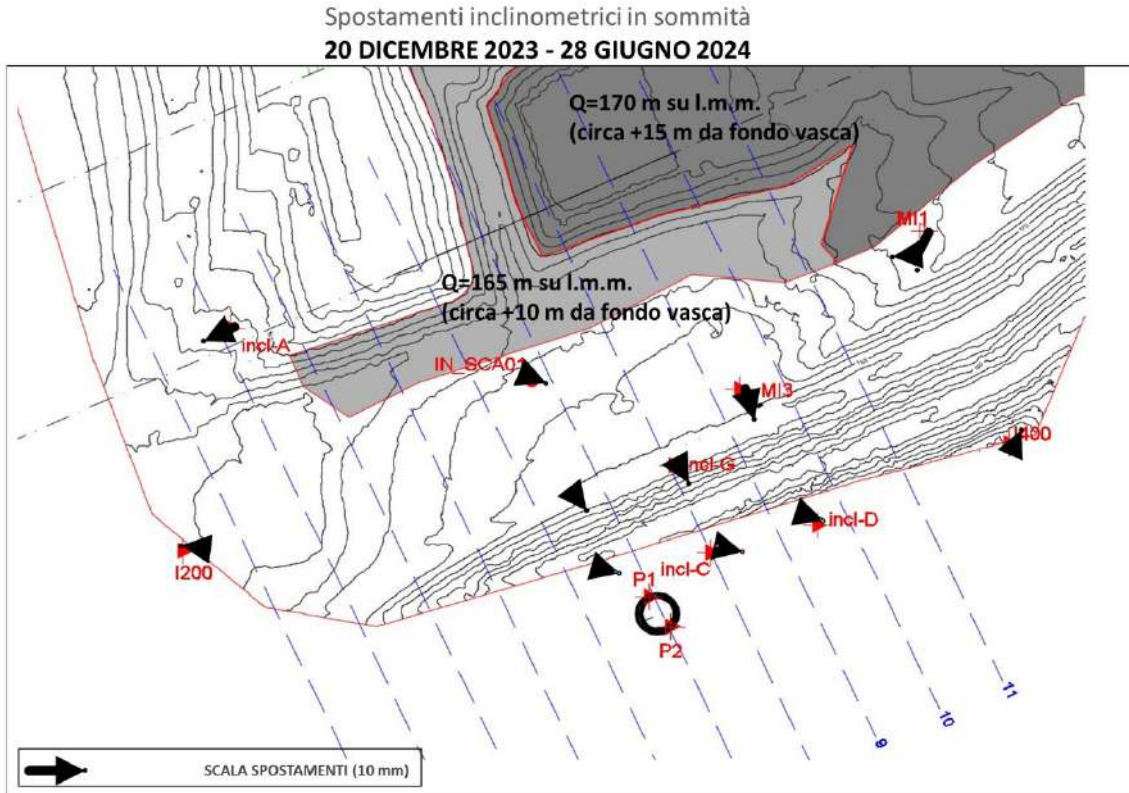


Figura 22 – Spostamenti inclinometrici DIC 2023 – GIU 2024 e GIU - DIC 2024

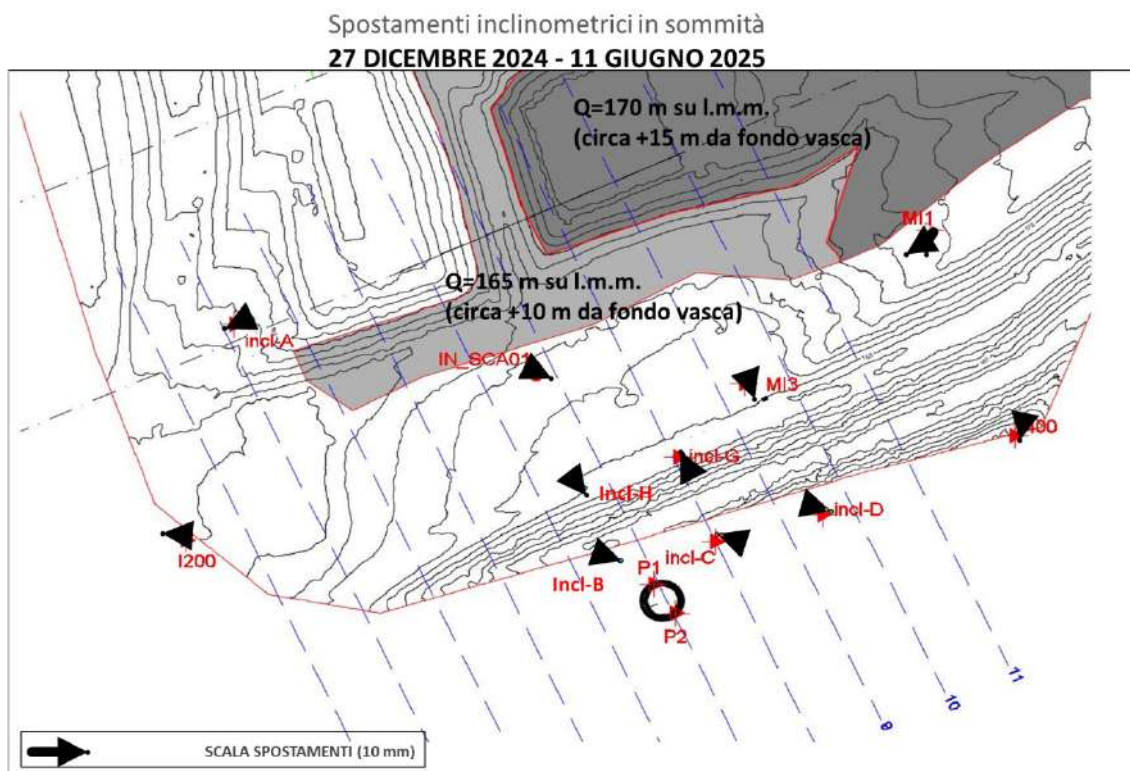


Figura 23 – Spostamenti inclinometrici DIC 2024 – GIU 2025

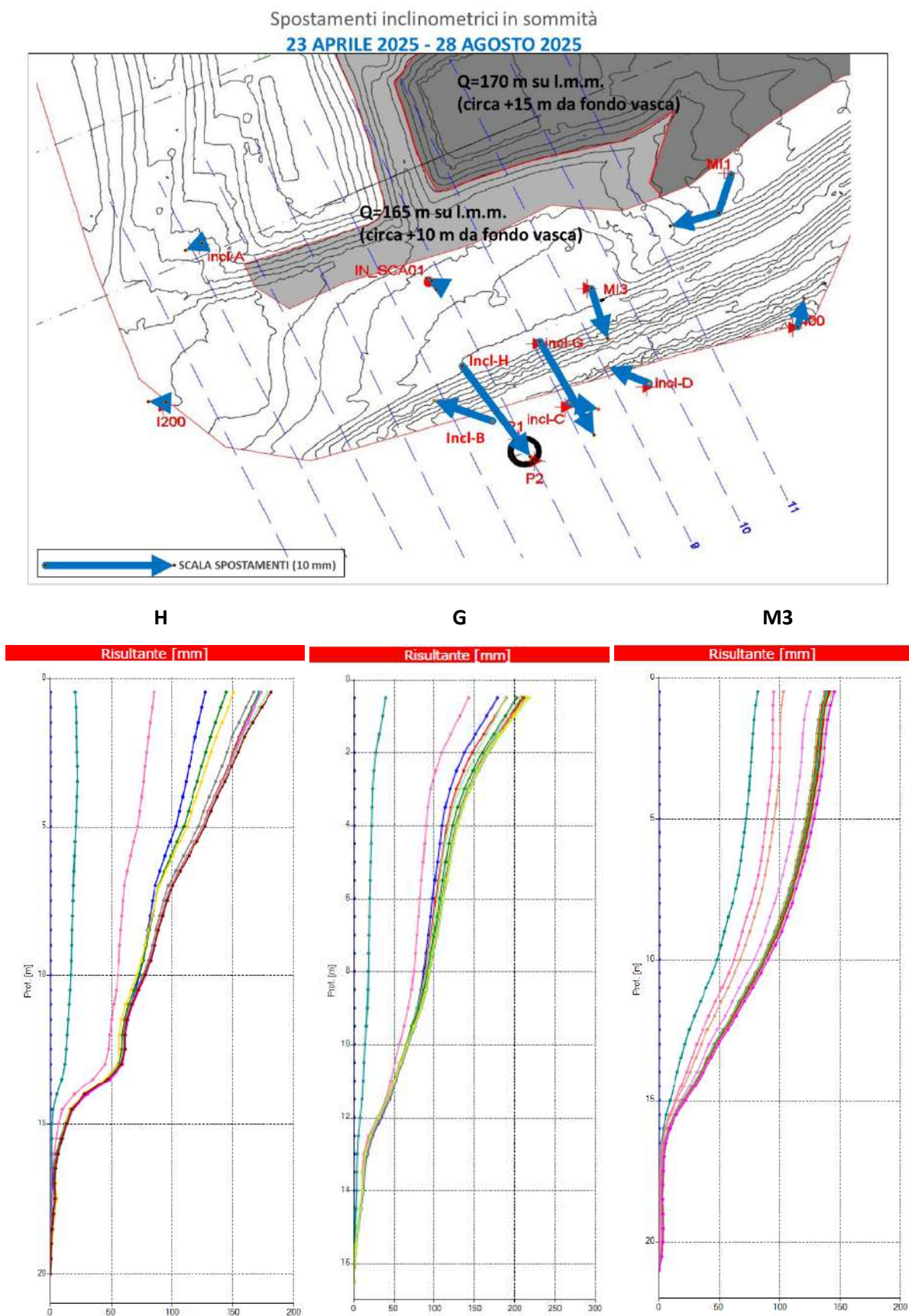


Figura 24 – Spostamenti inclinometrici APR – AGO 2025 (in scala di rappresentazione amplificata) e deformate inclinometriche complessive delle verticali H, G, M3

In Figura 25 sono riportate le deformate inclinometriche più significative registrate nel corso del monitoraggio lungo le sezioni trasversali dell'argine n.7 e n.9. Si può osservare come buona parte della deformazione si sia concentrata nel corpo arginale medesimo e nei terreni della coltre eluvio-colluviale sottostante (quando presente), mentre la formazione di base è sempre risultata stabile.

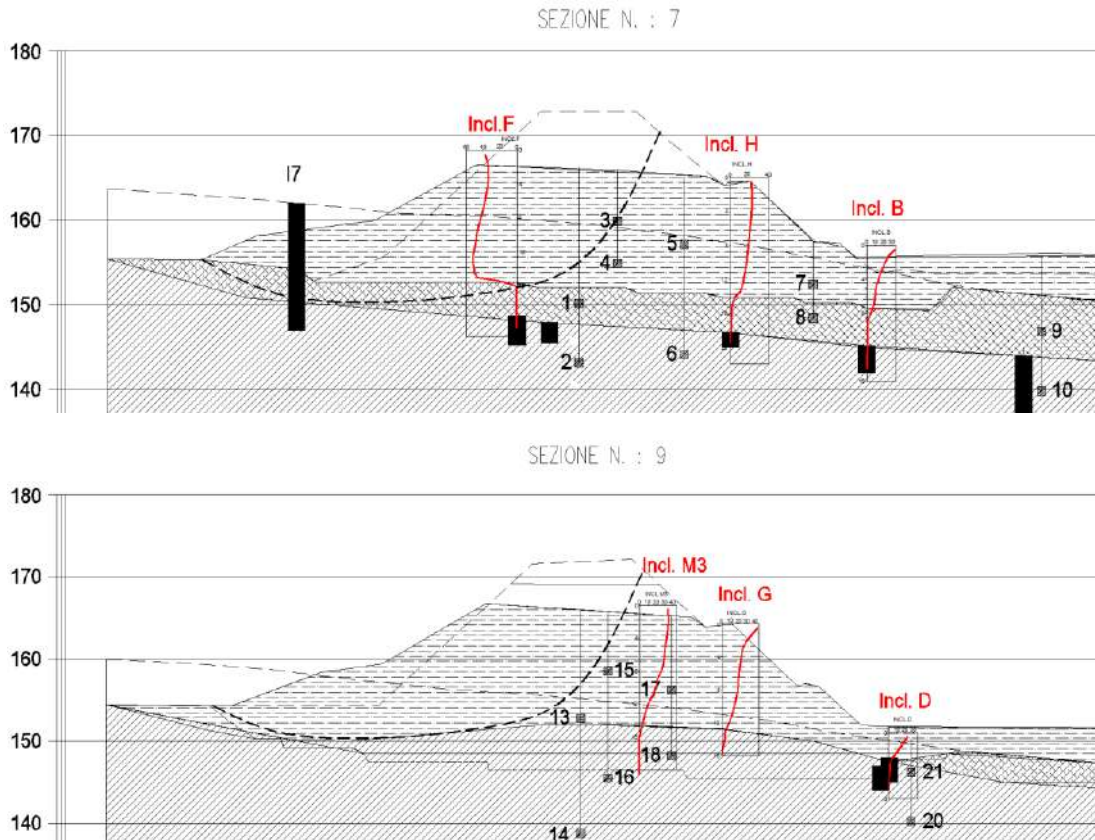


Figura 25 – Forma delle deformate inclinometriche più significative delle sezioni n.7 e n.9 dell'argine

Il dissesto originario, diretto verso l'interno della discarica, è stato monitorato prima dall'**inclinometro F** e poi dall'**inclinometro SCA01**. Le letture realizzate su tale strumento, mostrate in Figura 26, identificavano il cinematisma iniziale con superficie di scorrimento a 13-14 m di profondità, poi stabilizzato dagli interventi di consolidamento messi in atto nel 2018, il cui successo è evidenziato dall'arresto di ogni progressione dello spostamento alla quota di scorrimento del dissesto. Peraltro, il completamento dell'accumulo dei rifiuti a ridosso dell'arginatura rende chiaramente nullo qualunque rischio di progressione del fenomeno in tale direzione. Al contrario, le letture più recenti continuano ad indicare una deformazione verso valle dalla testa dell'inclinometro fino a 6 metri di profondità.

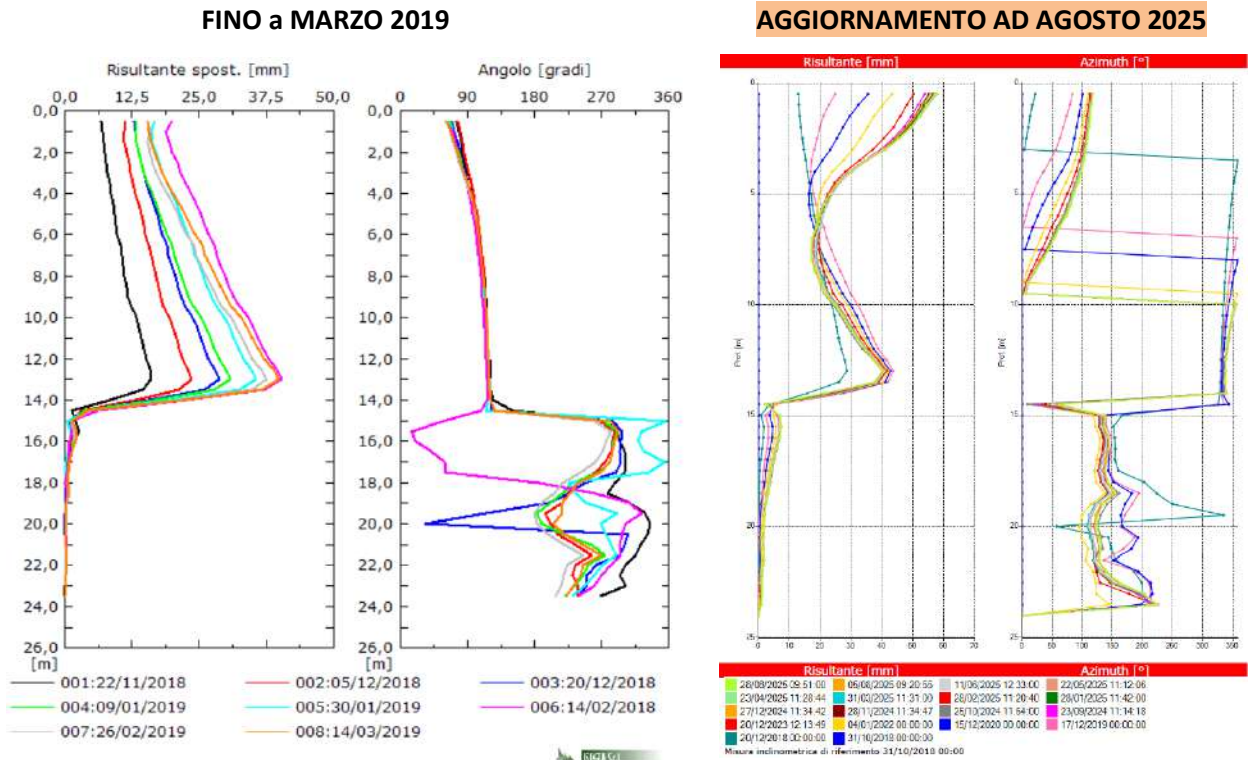


Figura 26 – Inclinometro SCA01 (zero al 31-10-2018): deformata differenziale integrale dal basso e azimuth nel periodo iniziale con il dissesto interno attivo (a sx) e nel periodo più recente (a dx)

Con il riempimento della discarica è dunque rilevante valutare la risposta dell'argine alla spinta dei rifiuti. Per questo si sono considerati in dettaglio gli spostamenti misurati dai tre inclinometri G, H ed MI3, collocati sulla sommità dell'argine (vedi planimetria di Figura 27), maggiormente indicativi della risposta dell'opera alle lavorazioni nel periodo di osservazione.

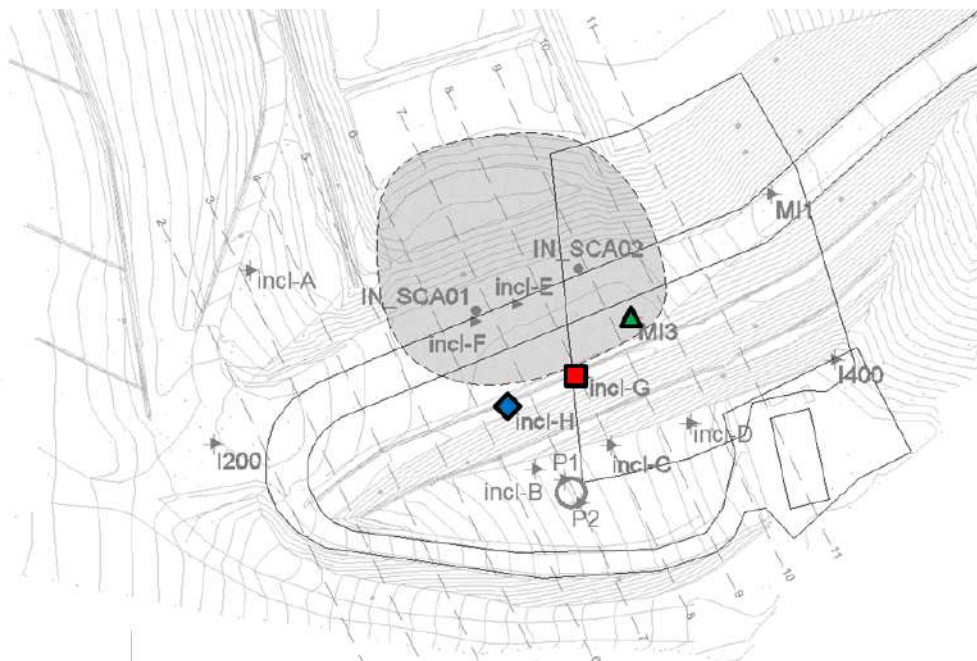


Figura 27 – Inclinometri selezionati per il monitoraggio dell'argine durante il riempimento della discarica

In Figura 28 è mostrato l'andamento nel tempo degli spostamenti in sommità registrati dai 3 inclinometri. Si osservano:

- spostamenti significativi fino a dicembre 2018, quando l'insieme degli interventi di consolidamento risulta efficace per stabilizzare l'argine ed arrestare la progressione delle deformazioni;
- nell'estate 2019 un nuovo aumento degli spostamenti a seguito dell'abbancamento di rifiuti a ridosso dell'argine:
- dal dicembre 2019 all'estate 2021 un modesto incremento degli spostamenti con velocità di circa 1,5 mm/mese, uniforme sui tre inclinometri considerati. Anche se non ci sono stati ulteriori abbancamenti di rifiuti a ridosso dell'argine, ci sono da considerare i lenti processi di consolidazione in corso nonché il fatto che per l'abbancamento nell'area più interna della discarica, oggi in uso, i camion transitavano proprio in prossimità dell'argine;
- da agosto 2021 una ulteriore variazione della velocità di spostamento riconducibile ad una nuova fase di abbancamento dei rifiuti a ridosso dell'argine;
- da dicembre 2021 ad aprile 2022 l'andamento degli spostamenti è tornato ad una situazione di sostanziale stabilità, con spostamenti modesti ma non nulli;
- da aprile 2022 ad agosto 2022 non si osservano variazioni di rilievo;
- da agosto 2022 a dicembre 2022 non si osservano variazioni di rilievo;
- da dicembre 2022 ad aprile 2023: non si osservano variazioni di rilievo, M3 prosegue su un trend crescente con velocità di circa 12 mm/anno;
- da aprile 2023 a settembre 2023: non si osservano variazioni di rilievo, tutti e tre gli inclinometri proseguono su un trend crescente di spostamento;
- da ottobre 2023 a dicembre 2023: non si osservano variazioni di rilievo, gli inclinometri indicano il permanere del precedente trend incrementale di spostamento in sommità (12mm/anno per M3; 6-7mm/anno per G ed H);
- da dicembre 2023 ad aprile 2024: proseguono i trend deformativi indicati in precedenza;
- da aprile 2024 ad agosto 2024: proseguono i trend deformativi indicati in precedenza; nell'ultimo periodo le velocità di deformazione degli inclinometri H ed M3 appaiono leggermente più elevate dei periodi precedenti;
- da agosto 2024 a dicembre 2024: nel periodo la velocità di deformazione dell'inclinometro M3 risulta ancora leggermente superiore al trend storico, l'inclinometro G è rientrato nel trend storico mentre l'inclinometro H mostra una velocità di deformazione ridotta; la variabilità dei trend deformativi tra i tre inclinometri riflette il fatto che la coltivazione della discarica interessa solo la porzione est dell'arginatura;

- da dicembre 2024 ad aprile 2025: nel periodo la velocità di deformazione è stata quasi nulla sugli inclinometri G e H, mentre l'inclinometro M3 prosegue sul blando trend deformativo precedente;
- da aprile 2025 ad agosto 2025 (NUOVI DATI): nell'ultimo periodo di osserva un incremento del trend deformativo delle verticali G ed H, mentre la verticale M3 prosegue il trend deformativo precedente. Nel seguito si propone un approfondimento su questi strumenti.

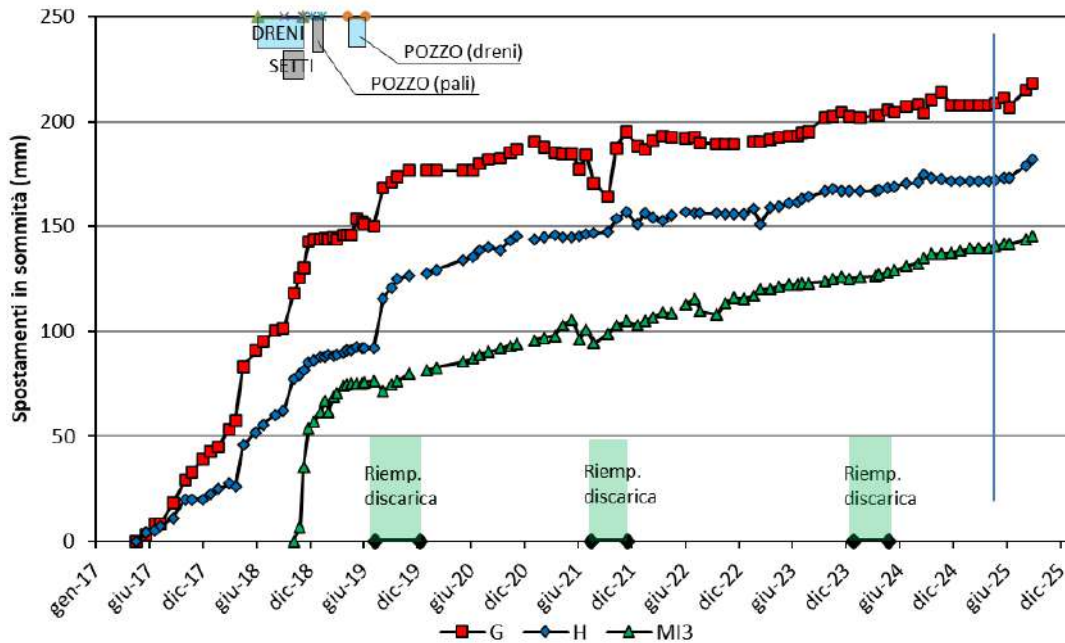


Figura 28 – Andamento nel tempo degli spostamenti in sommità degli Inclinometri G, H e M3

In ragione della non trascurabile velocità di deformazione in sommità, si è analizzata nel dettaglio l'evoluzione recente della deformazione con la profondità degli inclinometri G, H ed M3. In Figura 29 sono mostrate le deformate inclinometriche maturate nell'ultimo periodo nelle tre verticali inclinometriche. Si può osservare la porzione di inclinometro infissa nel substrato pliocenico (tra 14 e 16 m di profondità) che rimane stabile, quindi una modesta deformazione distribuita sull'intera altezza dell'argine ed una concentrazione nei primi due metri di profondità. Escludendo tale deformazione superficiale, poco significativa ai fini della sicurezza dell'arginatura, lo spostamento si attesta a circa 4-10 mm/anno, valore non trascurabile ma al momento non preoccupante perché diffuso su tutta l'altezza del corpo arginale. Ad una osservazione attenta del 2024, si rileva uno spostamento nel quadrimestre aprile-agosto 2024 più pronunciato rispetto ai quadrimestri precedenti, fatto che va ricondotto all'abbancamento dei rifiuti in prossimità dell'argine. Tanto è vero che nel quadrimestre, settembre-dicembre 2024, con l'allontanamento dell'abbancamento dall'argine, le velocità di deformazione sono diminuite. Nel quadrimestre, dicembre 2024 – aprile 2025, si rileva l'assenza di spostamenti nei verticali G e H ed uno spostamento di 2 mm in M3 distribuiti lungo un'elevata porzione della verticale, senza concentrazioni delle deformazioni in punti specifici. Appare degno di nota osservare che gli inclinometri G ed H al passaggio nella formazione confermano la deformata "ad S" del tubo

inclinometrico. Tale forma, che si conferma nel tempo, può essere ricondotta ad uno “schacciamento” del tubo originato da un abbassamento del rilevato.

Nell'ultimo quadrimestre, aprile 2025 – agosto 2025, si è osservato un incremento della velocità di deformazione che appare concentrata nei 6 m sommitali per le verticali G ed H e diffusa all'intera altezza del corpo arginale per la verticale M3. Tale fenomeno si presenta nel periodo estivo ed in assenza di abbancamenti in prossimità dell'argine, né risultano lavorazioni in prossimità dello stesso. Non si ha pertanto una spiegazione convincente della recente osservazione, se non notare che un fenomeno analogo era occorso in H nelle estati 2023 e 2024 ed in M3 nell'estate 2024 e quindi ipotizzare un qualche effetto di stagionalità.

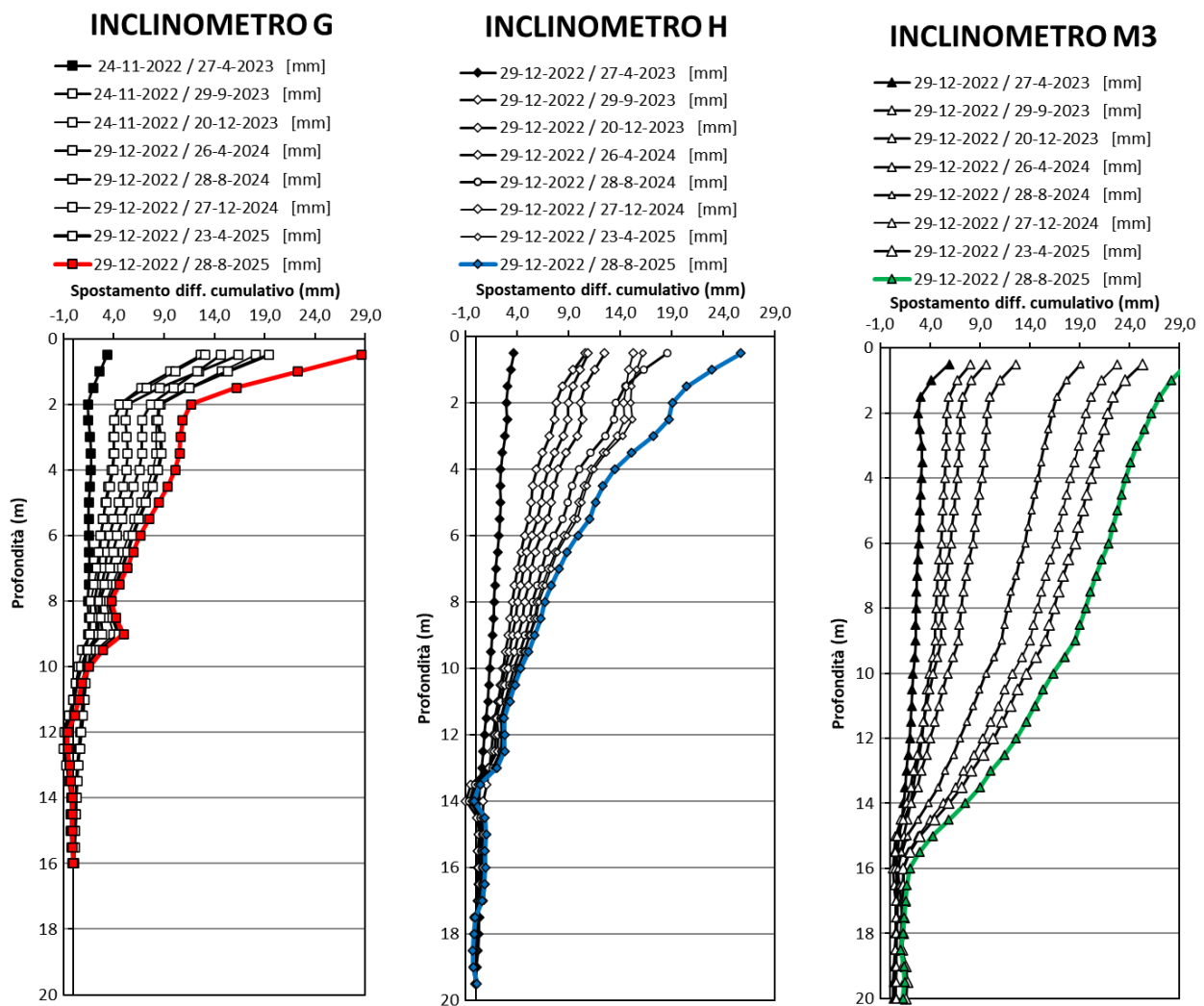


Figura 29 – Inclinometri G (zero al 24-11-2022), H (zero al 29-12-2022) e M13 (zero al 29-12-2022): deformata differenziale integrale dal basso per quadrimestri successivi

5.2 Monitoraggio piezometrico

La planimetria di Figura 30 mostra la disposizione planimetrica degli strumenti di monitoraggio piezometrico. Si tratta di piezometri a tubo aperto (PA, PB, PC e strumenti con codice ASV), piezometri Casagrande (codice PC) e 22 celle piezometriche elettriche (codice PE), attive dall'aprile 2018. Le celle elettriche, che registrano i dati con cadenza oraria, sono collocate lungo le sezioni 7 e 9 come indicato in Figura 31.

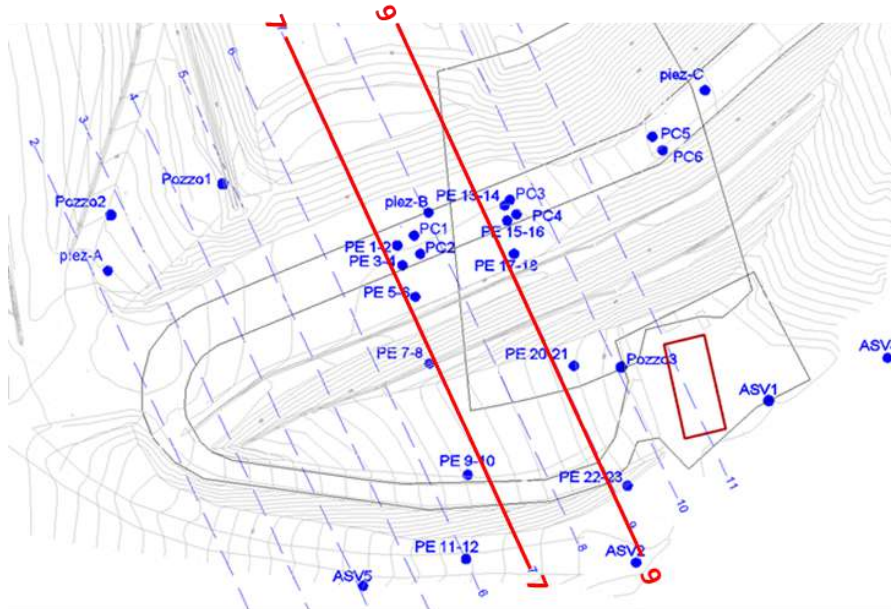


Figura 30 – Planimetria dell'argine con indicazione delle verticali di monitoraggio piezometrico

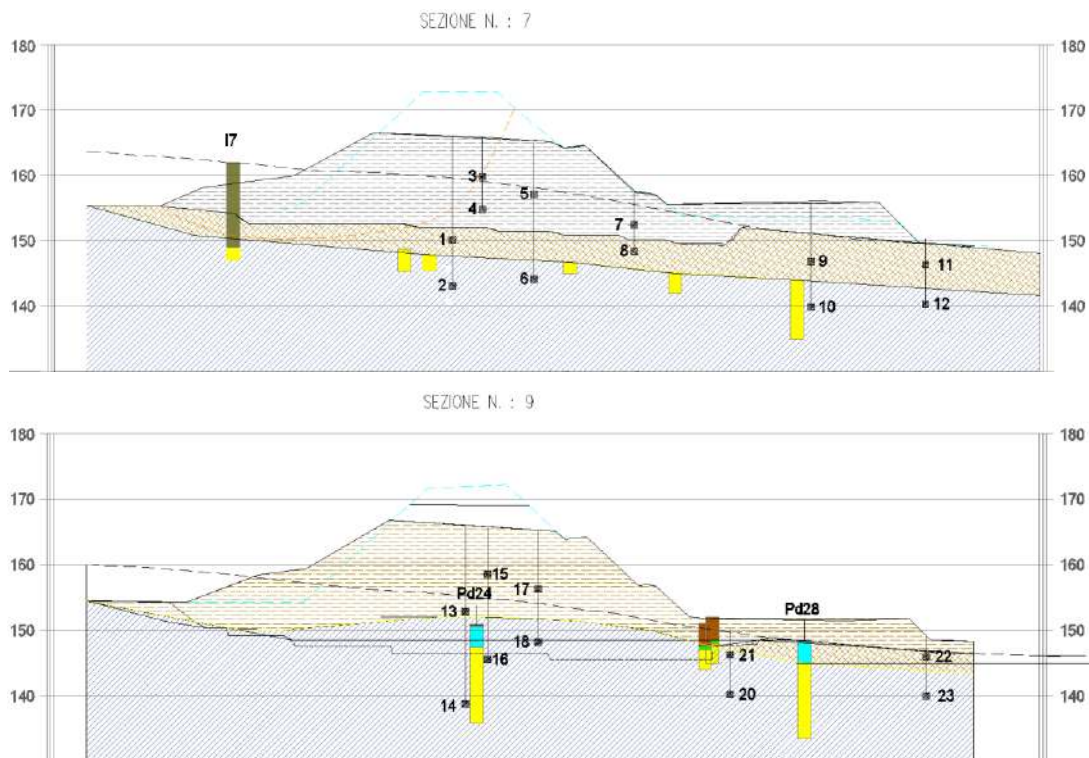


Figura 31 – Sezioni n.7 e n.9 dell'argine con indicazione della posizione delle celle piezometriche elettriche

Il sistema di monitoraggio con celle elettriche si è dimostrato un valido strumento di controllo della piezometria dell'argine anche se ha manifestato fin da subito alcuni problemi di stabilità del segnale elettrico che ha determinato la non perfetta continuità delle letture su tutti gli strumenti e la necessità di un filtraggio di molti valori spuri. Dal 8 marzo 2024 è stato rinnovato il sistema di acquisizione automatizzato, senza però osservare un miglioramento nella stabilità del dato acquisito.

Come mostrato analiticamente in Tabella 2, il sistema di monitoraggio si è piuttosto depauperato nel tempo risultando, ad AGOSTO 2025, funzionanti 10 sensori su 22.

Tabella 2 – Dettaglio dei piezometri elettrici installati

Piezometro	Tipo	Terreno	Profondità cella [m da p.c.]	Data installazione	STATO (AGOSTO 2025)
PE1	C. Elettrica	Coltre eluvio-colluviale	16,00	3-04-2018	DATI NON VALIDI dal 15/6/2023
PE2	C. Elettrica	Argille grigio-azzurre	23,00	4-04-2018	DATI NON VALIDI dal 14/11/2024
PE3	C. Elettrica	Corpo arginale	6,00	4-04-2018	DATI NON VALIDI dal 12/1/2023
PE4	C. Elettrica	Corpo arginale	11,00	4-04-2018	ATTIVO
PE5	C. Elettrica	Corpo arginale	8,00	4-04-2018	ATTIVO
PE6	C. Elettrica	Argille grigio-azzurre	21,00	4-04-2018	ATTIVO
PE7	C. Elettrica	Corpo arginale	5,00	4-04-2018	DATI NON VALIDI dal 27/11/2022
PE8	C. Elettrica	Coltre eluvio-colluviale	9,00	4-04-2018	DATI NON VALIDI dal 27/11/2022
PE9	C. Elettrica	Coltre eluvio-colluviale	9,00	5-04-2018	DATI NON VALIDI dal 5/11/2019
PE10	C. Elettrica	Argille grigio-azzurre	16,00	5-04-2018	DATI NON VALIDI dal 5/11/2019
PE11	C. Elettrica	Coltre eluvio-colluviale	4,00	6-04-2018	DATI NON VALIDI dal 1/03/2019
PE12	C. Elettrica	Argille grigio-azzurre	10,00	6-04-2018	DATI NON VALIDI dal 4/03/2019
PE13	C. Elettrica	Corpo arginale	13,00	10-04-2018	ATTIVO
PE14	C. Elettrica	Argille grigio-azzurre	27,00	10-04-2018	ATTIVO
PE15	C. Elettrica	Corpo arginale	7,00	11-04-2018	ATTIVO
PE16	C. Elettrica	Argille grigio-azzurre	20,00	11-04-2018	ATTIVO
PE17	C. Elettrica	Corpo arginale	9,00	13-04-2018	DATI NON VALIDI 11/11/2021
PE18	C. Elettrica	Argille grigio-azzurre	17,00	13-04-2018	ATTIVO
PE20	C. Elettrica	Argille grigio-azzurre	10,00	16-04-2018	ATTIVO
PE21	C. Elettrica	Argille grigio-azzurre	4,00	16-04-2018	ATTIVO
PE22	C. Elettrica	Coltre eluvio-colluviale	3,00	16-04-2018	DATI NON VALIDI dal 17/12/2018
PE23	C. Elettrica	Argille grigio-azzurre	9,00	16-04-2018	DATI NON VALIDI dal 9/11/2022

L'andamento nel tempo delle pressioni interstiziali misurate nelle celle elettriche efficienti è mostrato in Figura 32 e Figura 33. Nelle stesse figure sono indicati i periodi di realizzazione dei principali interventi di consolidamento dell'arginatura. Si tratta di un periodo di osservazione molto significativo, pari ad oltre **7 anni**.

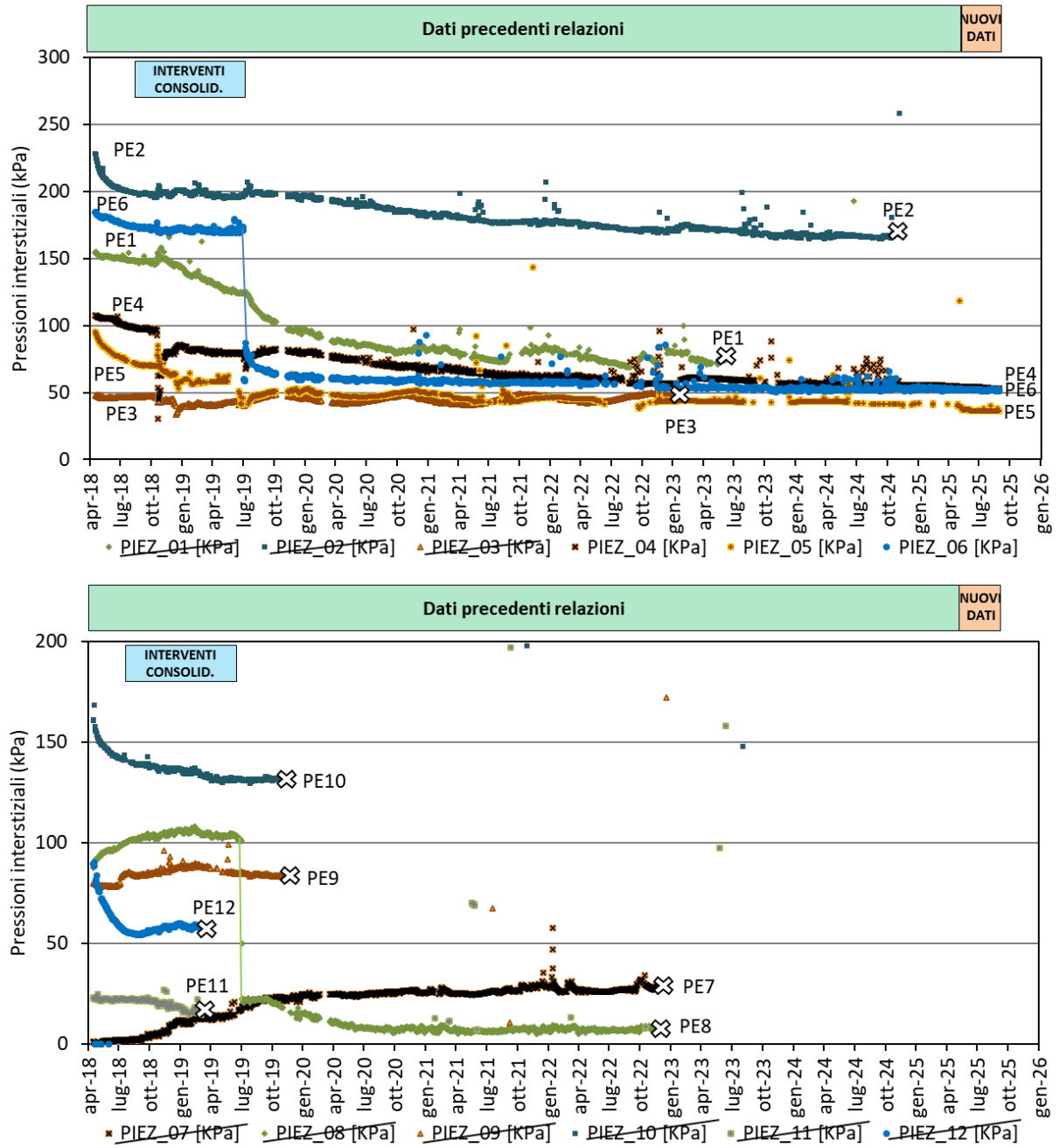


Figura 32 – Andamento nel tempo delle pressioni interstiziali misurate dalle celle PE1-PE12

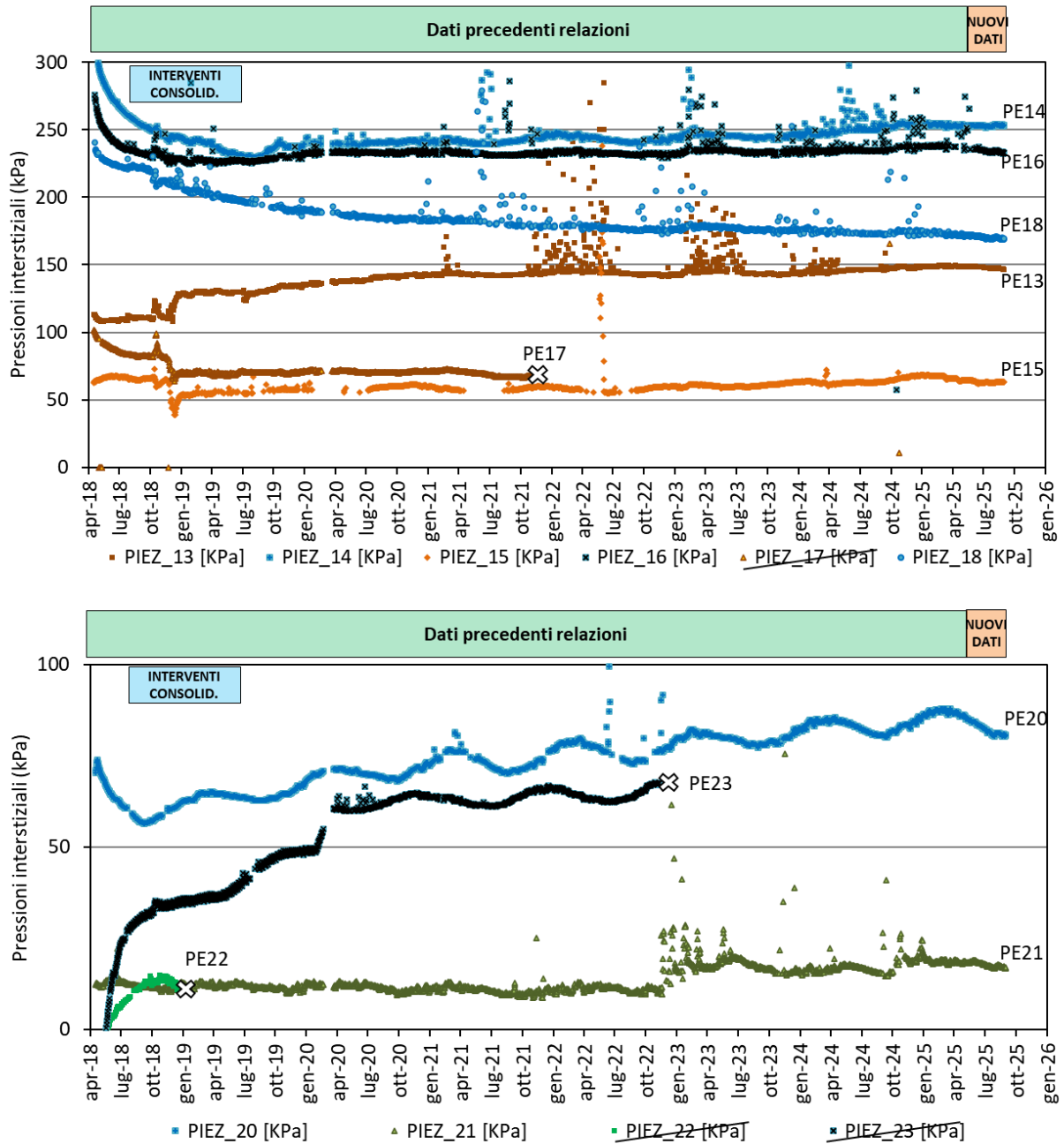


Figura 33 – Andamento nel tempo delle pressioni interstiziali misurate dalle celle PE13-PE23

Dai grafici aggiornati non si rilevano novità rispetto alle osservazioni del passato, con effetti degli interventi di drenaggio sulle sovrappressioni interstiziali che sembrano essersi esauriti od evolvere con estrema lentezza. Si è già osservato che solo la realizzazione dei dreni sub-orizzontali dall'interno del pozzo drenante di valle ha prodotto degli effetti evidenti sulle pressioni interstiziali rilevate dalle celle più vicine alle aste drenanti (PE6 e PE8) e la progressiva riduzione del carico idraulico su altre celle prossime all'area di intervento (PE1 e PE5).

La cella PE23, collocata nel substrato marnoso a valle dell'argine, ha colmato i valori stranamente bassi ed anomali registrati nel primo periodo di attività e le misure indicano una convergenza con le misure della cella PE20, posta in prossimità e nella medesima litologia. Dal novembre 2022, tuttavia, la cella PE23 ha cessato di fornire dati validi.

Osservando i trend di lungo termine si conferma che le celle più profonde (PE2-fino a nov.2024, PE14, PE16, PE18), collocate nella formazione Pliocenica, mostrano un comportamento differenziato: mentre le celle PE2 e PE18 mostrano un trend decrescente nel lungo termine (circa 10 kPa ogni anno), PE14 e PE16 mantengono gli elevati valori di pressione interstiziale raggiunti.

La Figura 34 mostra le medesime letture alle celle elettriche, espresse in termini di altezza piezometrica, per i sensori più significativi della sezione n.7 e n.9 dell'argine. **Dalla figura si confermano anche con il presente aggiornamento le osservazioni precedenti e precisamente che:**

- **molte celle elettriche indicano il permanere di elevate pressioni interstiziali nell'argine, con altezze piezometriche prossime all'attuale sommità dell'argine, sia su celle poste nel corpo arginale stesso (PE4, PE5, PE13) che su celle collocate nei terreni di fondazione (PE2, PE14, PE16, PE18);**
- **sono significativi gli effetti di riduzione del carico idraulico nella sezione n.7 ottenuti grazie alle aste drenanti del pozzo di valle (PE1 fino a giugno 2023, PE6, PE8 fino a dicembre 2022);**
- **le celle elettriche profonde nella formazione PE14 e PE18 hanno raggiunto la medesima quota piezometrica.**

La presenza di perduranti ed elevate pressioni interstiziali nel corpo arginale è peraltro confermata dagli elevati valori delle altezze piezometriche misurate su alcune celle Casagrande nonché sulle letture sui pozzi verticali di piccolo diametro non attrezzati con pompa di emungimento.

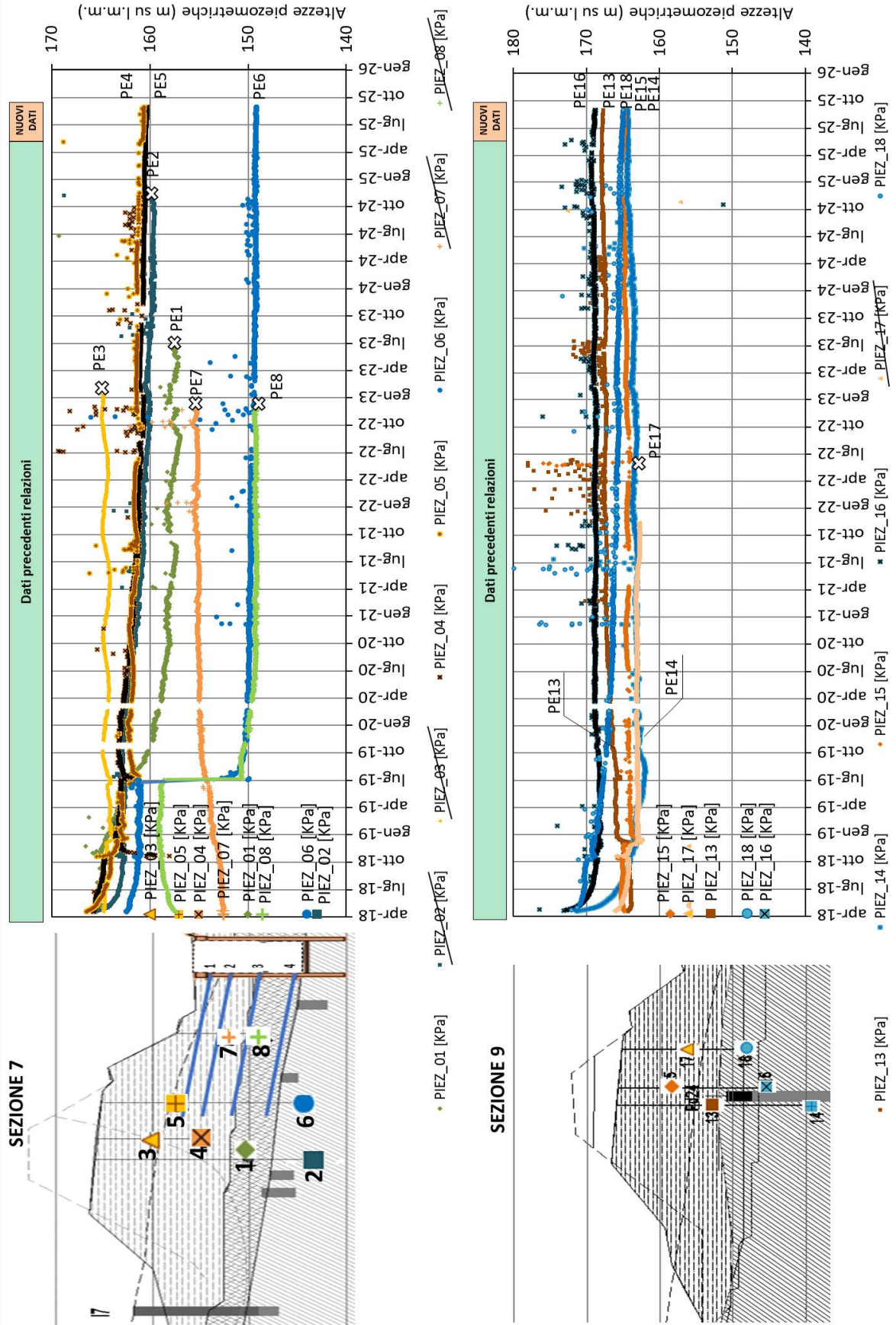
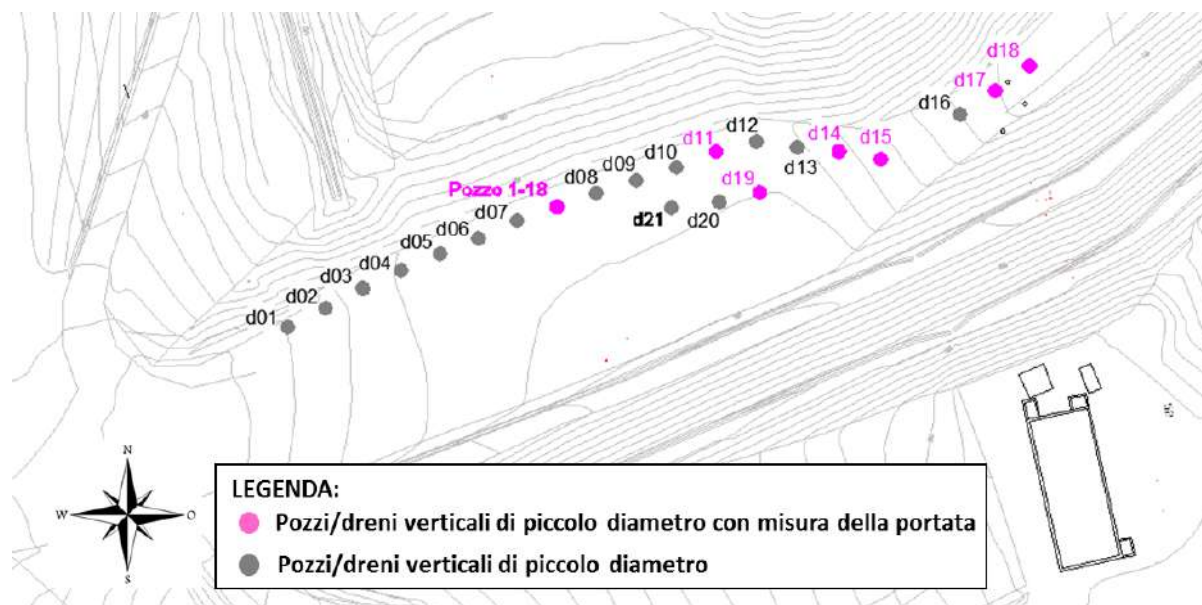


Figura 34 – Andamento nel tempo delle altezze piezometriche più significative nelle sez. 7 e 9 dell'argine

5.3 Monitoraggio delle portate emunte dai pozzi di piccolo diametro

Per risolvere il problema della permanenza di pressioni interstiziali elevate all'interno del corpo arginale, è stato progettato ed attuato un intervento di drenaggio della scarpata nord dello stesso che non era stata raggiunta dai drenaggi sub-orizzontali. Tale drenaggio è stato realizzato per mezzo di alcuni pozzi di piccolo diametro rivestiti con tubi sfinestrati estesi dalla sommità dell'argine fino ad alcuni metri nella formazione argillosa di base. In Figura 35 è indicata la posizione e le caratteristiche geometriche dei pozzi realizzati.



Codice	Data perforazione	Quota testa tubo [m su l.m.m.]	Quota base tubo [m su l.m.m.]	Lunghezza pozzo [m]	Profondità formazione marnosa [m]	Quota formazione marnosa [m su l.m.m.]
d1	27-03-2019	169,77	151,27	18,50	14,00	155,27
d2	27-03-2019	169,05	150,05	19,00	14,00	154,55
d3	28-03-2019	168,63	149,63	19,00	15,00	153,13
d4	28-03-2019	168	146,50	21,50	16,50	151,00
d5	28-03-2019	167,67	145,67	22,00	17,00	150,17
d6	29-03-2019	167,55	144,55	23,00	17,50	149,55
d7	29-03-2019	167,30	143,30	24,00	19,50	147,30
POZZO 1-18	22-11-2018	167,88	145,28	22,60	18,60	148,38
d8	01-04-2019	167,40	143,40	24,00	19,50	147,40
d9	01-04-2019	167,11	145,11	22,00	17,00	149,61
d10	03-04-2019	167,12	145,12	22,00	16,50	150,12
d11	03-04-2019	166,91	145,91	21,00	16,50	149,91
d12	03-04-2019	166,85	145,85	21,00	16,50	149,85
d13	02-04-2019	166,66	144,66	22,00	17,50	148,66
d14	02-04-2019	167,26	145,26	22,00	17,50	149,26
d15	02-04-2019	167,36	145,36	22,00	17,50	149,36
d16	Non realizzato					
d17	25-03-2018	172,09	143,09	29,00	24,00	147,59
d18	26-03-2019	172,37	143,37	29,00	24,00	147,87
d19	04-04-2019	165,78	144,28	21,50	16,50	148,78
d20	04-04-2019	166,26	144,76	21,50	16,50	149,26
d21	04-04-2019	166,64	145,14	21,50	16,20	149,94

Figura 35 – Planimetria dell'argine con indicazione della posizione dei pozzi verticali di piccolo diametro e geometria dei pozzi di piccolo diametro

Si può notare che il POZZO 1-18, di medio diametro, è stato realizzato alcuni mesi prima dei pozzi di piccolo diametro (d1÷d21), per verificare l'efficacia di tale sistema di drenaggio. Dal novembre 2018 al febbraio 2019 si monitorava la quota raccolta nel pozzo e si procedeva al suo svuotamento con pompa rimuovibile quando l'accumulo raggiungeva 1,5-2,0 m. Dal febbraio 2019 nel pozzo è stata installata una pompa sommersa ad avviamento automatico con misura del volume d'acqua emunto. In Figura 36 sono mostrati gli andamenti del livello nel pozzo nel primo periodo di funzionamento e poi la portata emunta con la pompa ad innesco automatico (dati aggiornati ad **agosto 2025**). Come si può osservare la capacità di emungimento del pozzo è risultata buona, tanto da giustificare l'installazione di un sistema automatico. Nei **6 anni** di funzionamento del sistema di emungimento si può osservare una portata emunta media di circa **18 litri/giorno**, significativa per un pozzo collocato in un terreno completamente argilloso. Si osserva che nel 2024 le portate emunte sono aumentate (**14,7 litri/giorno gen-dic 2024**) rispetto ad un 2023 che aveva visto delle portate in notevole riduzione (**6 litri/giorno gen-dic 2023**). Nel primo quadrimestre 2025 le portate sono risultate pari a **16 litri/giorno** mentre nel secondo quadrimestre 2025 sono diminuite a soli **5 litri/giorno**.

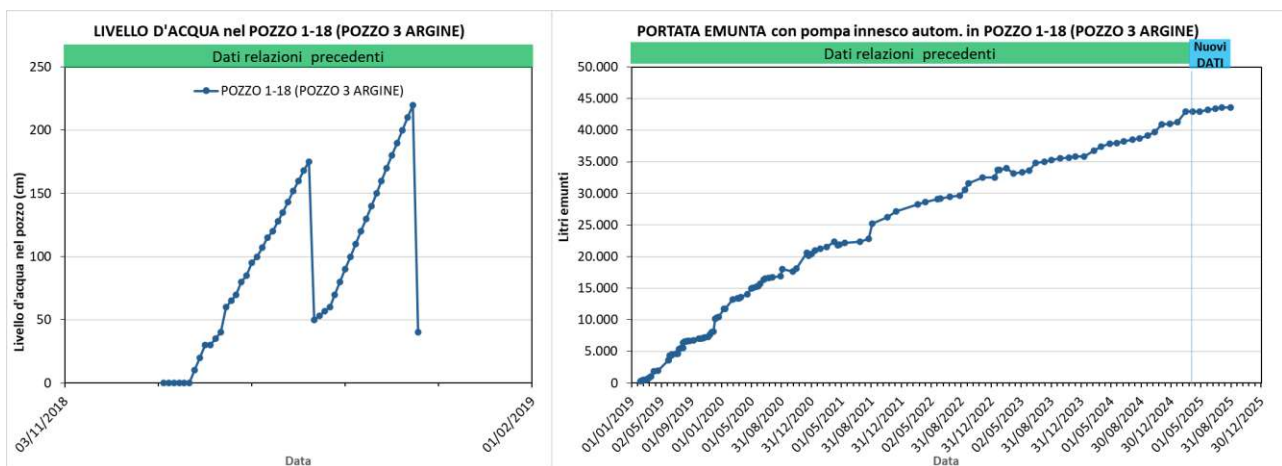


Figura 36 – Portata emunta dal POZZO 1-18 (fino ad AGOSTO 2025)

I significativi risultati del POZZO 1-18 hanno permesso di procedere con l'installazione del sistema drenante più ampio costituito dai pozzi d1÷d21. Anche in questo caso nel primo periodo di funzionamento del sistema si eseguivano misure giornaliere del livello idrico nei pozzi per poi procedere al loro svuotamento tramite pompe ad immersione di piccola dimensione calate sul fondo. Questa fase iniziale ha permesso di osservare che i diversi pozzi presentavano capacità di captazione delle acque sotterranee molto diverse. Questo fenomeno è evidenziato graficamente in Figura 37 dove la dimensione dei cerchi è proporzionale alla velocità di riempimento giornaliero osservata sui diversi pozzi. Si osserva che la gran parte dell'acqua viene intercettata dai pozzi posti sulla porzione est dell'argine, che corrisponde alla zona di massimo ribasso dell'imbasamento dell'opera in quanto corrispondente all'asta del fosso originario intercettato dal rilevato.

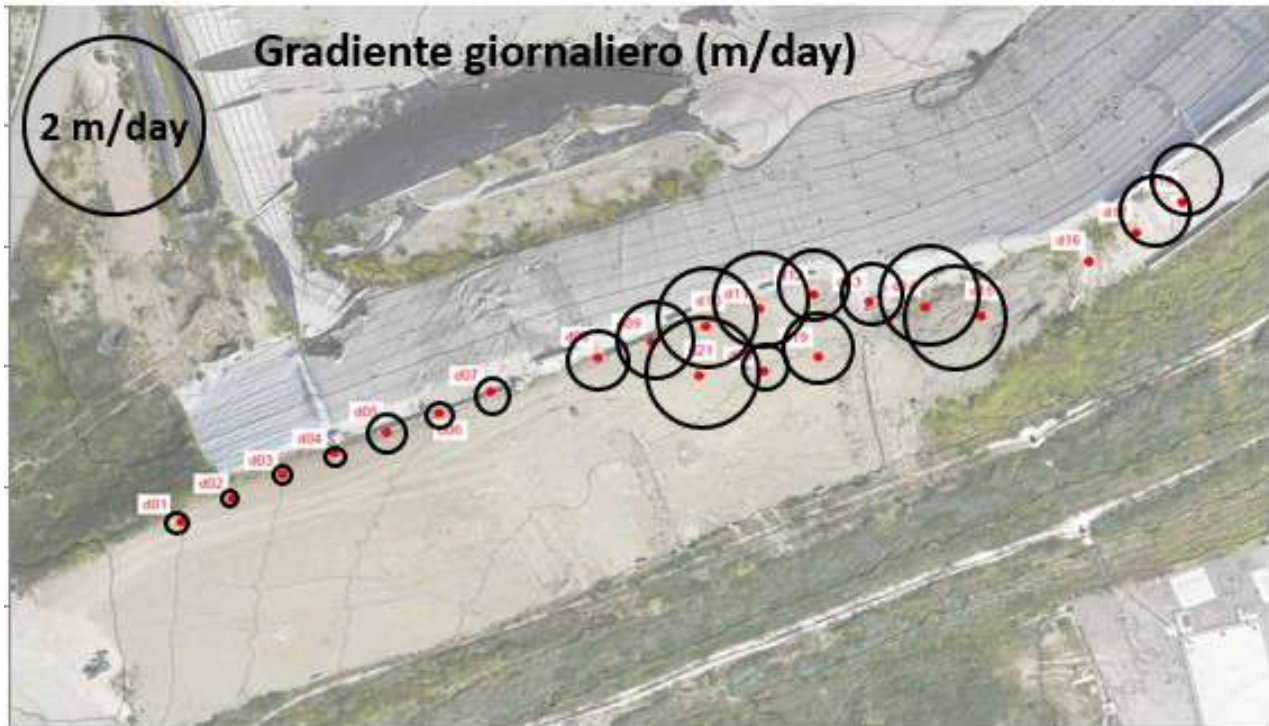


Figura 37 – Planimetria con indicazione della velocità di riempimento dei pozzi prima della loro automazione nell'ottobre 2019

Dall'analisi di questo comportamento è stato valutato opportuno dotare i 6 pozzi di maggiore portata (d11, d14, d15, d17, d18, d19) di pompe ad immersione ad innesco automatico e di monitorare i valori dei volumi emunti.

In Figura 38 è mostrato l'andamento nel tempo delle portate emunte dai diversi pozzi dotati di pompaggio automatizzato. Dai dati risulta che nel periodo **ottobre 2019 – aprile 2015** sono stati complessivamente estratti quasi 240 m³ d'acqua (pari a circa **120 l/giorno**). Con un periodo di osservazione di 6 anni si osserva una variabilità stagionale della portata di emungimento più pronunciata per alcuni pozzi e meno per altri. Significativo l'evento dell'autunno 2021 che ha visto un forte aumento della portata del pozzo d15 collocato nell'area est dell'argine in concomitanza dello stillicidio di dreni sub-orizzontali e dell'impantanamento d'acqua in superficie. È quindi probabile che questo pozzo possa aver risentito di un apporto diretto per infiltrazione d'acqua dalla superficie. Sono stati ripristinati i misuratori di portata dei pozzi d11, d18 e d19 che avevano fornito letture non attendibili alla fine del 2022. All'inizio del 2024 si è osservata una notevole portata d'acqua emunta dal pozzo d19 che invece negli ultimi 3 anni non aveva mai mostrato portate significative. Nell'ultimo quadrimestre del 2024 è il pozzo d17 che invece ha mostrato un aumento delle portate emunte rispetto al trend del 2023. **Sia nel primo che nel secondo quadrimestre del 2025 i pozzi che hanno drenato più acqua sono stati il d14 e il d15.**

In Figura 39 le portate complessive emunte da ogni pozzo nel periodo **ottobre 2019 – agosto 2025** sono rappresentate su una planimetria dell'argine, mentre in Figura 40 e Figura 41 le portate emunte sono distinte

per quadrimestri successivi. Il comportamento degli ultimi anni ha evidenziato una stagionalità delle portate che non era stato rilevato inizialmente. Tale aspetto è evidenziato nella tabella di Figura 42 che riporta le portate medie giornaliere per quadrimestre, su un intervallo temporale di oltre 5 anni. Si osserva che il 2021, 2022, 2023 ed il 2024 hanno evidenziato un drastico calo estivo dei volumi emunti, con una situazione che appare oggi piuttosto stabile che si ripete negli anni (fa eccezione il 4° quadrimestre 2023 che aveva registrato una portata complessiva particolarmente bassa rispetto agli anni precedenti). **Il periodo gennaio-aprile 2025 vede una portata complessiva emunta più bassa rispetto ad analoghi periodi primaverili precedenti e il quadrimestre estivo maggio-agosto 2025 si colloca in linea con le estati degli ultimi anni.**

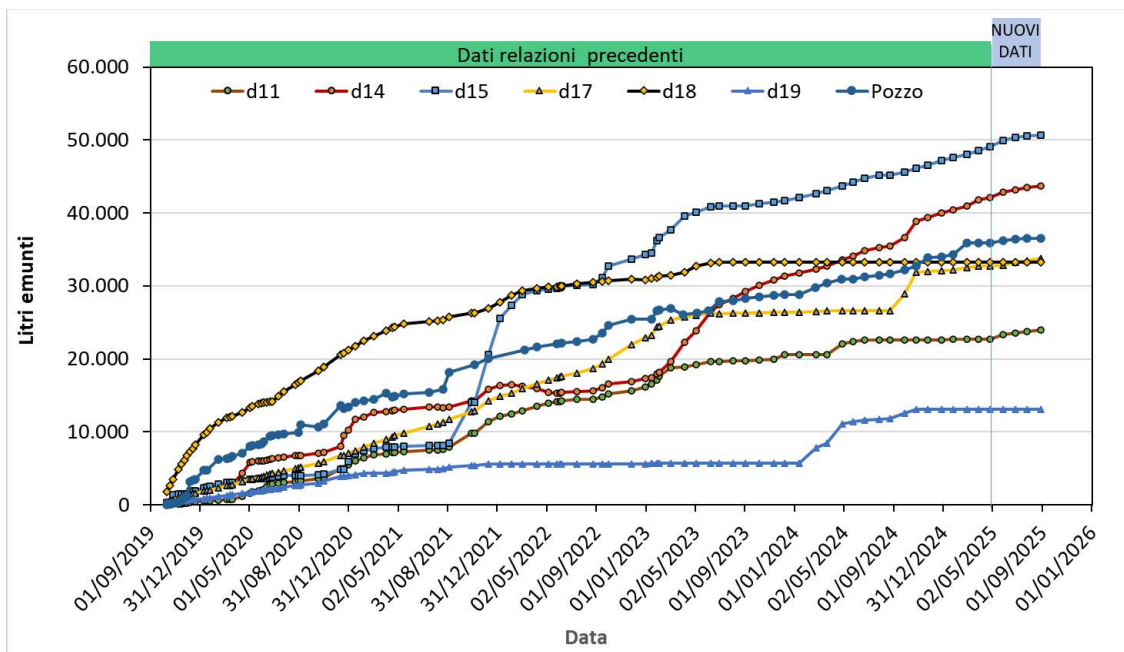


Figura 38 – Portate emunte dai pozzi dotati di pompe ad innesco automatico

Portata emunta OTT2019 - AGO2025

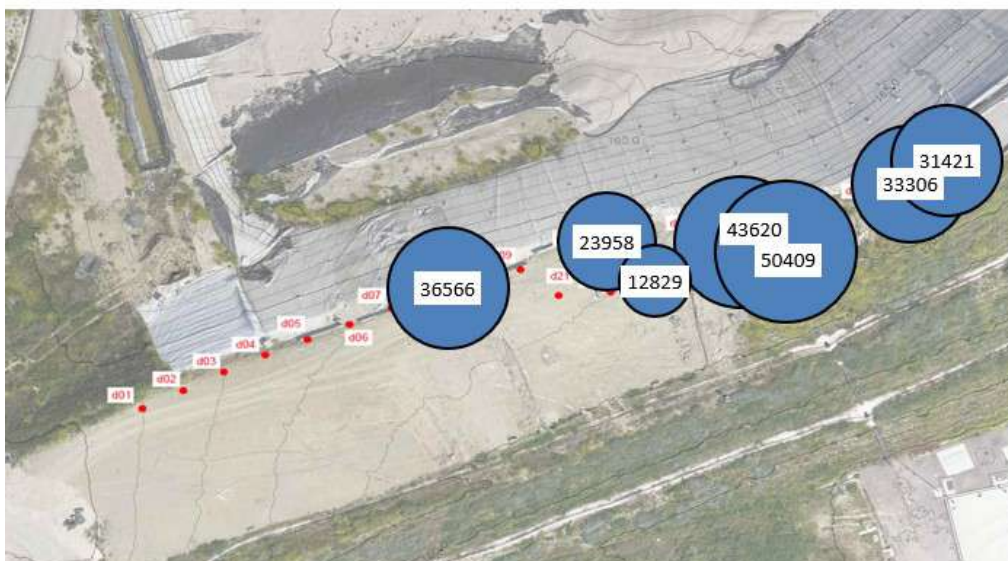


Figura 39 – Rappresentazione grafica delle portate emunte nel periodo OTTOBRE 2019–AGOSTO 2025



Figura 40 – Rappresentazione grafica delle portate emunte per quadrimestri successivi

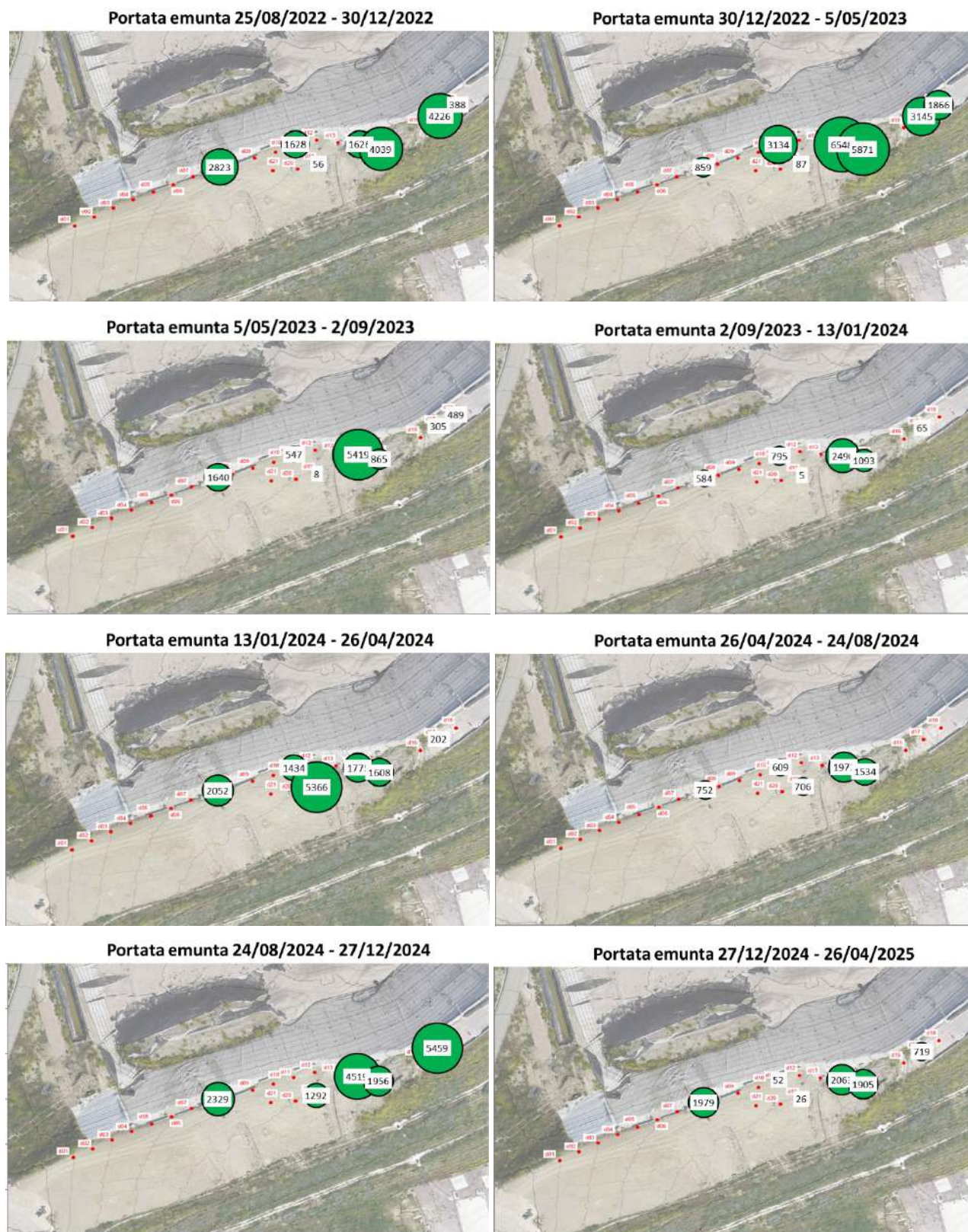


Figura 41 – Rappresentazione grafica delle portate emunte per quadrimestri successivi

Portata emunta 26/04/2025- 29/08/2025

PORTATA EMUNTA DAI POZZI (l/giorno)			
ANNO	Quadrimestre		
	I	II	III
	(GEN-APR)	(APR-AGO)	(AGO-DIC)
2020	133	111	134
2021	142	44	253
2022	148	39	116
2023	171	80	38
2024	120	46	126
2025	56	49	

Figura 42 – Portata emunta nell'ultimo quadrimestre dal sistema di drenaggio e portata complessiva per quadrimestri successivi

In relazione al significativo periodo di monitoraggio oggi disponibile si evince che gli elevati quantitativi d'acqua emunti siano riconducibili ad una pur modesta circolazione sotterranea che conduce le acque infiltranti dalla superficie dei versanti collinari alla base dell'argine (visto che tale area è il punto più depresso della formazione argillosa nella zona) nonché, almeno in alcuni episodi del passato, precedenti all'impermeabilizzazione della sommità arginale, ad un'infiltrazione diretta dalla sommità arginale.

Per verificare tale ipotesi si sono considerate le piogge giornaliere e cumulative negli anni 2021, 2022, 2023, 2024 e 2025 registrate nella stazione meteo presso l'impianto stesso (vedi Figura 43 e Figura 44). Dai dati, si osservano fenomeni di particolare intensità giornaliera il 23 agosto 2021 (circa 92 mm di pioggia), il 18 novembre 2022 (74 mm), il 22 gennaio 2023 (64 mm), il 16 maggio 2023 (57 mm), il 22/23 novembre 2023 (85 mm), il 18 settembre 2024 (71 mm), il 20 dicembre 2024 (40 mm), il 29 luglio 2025 (50 mm).

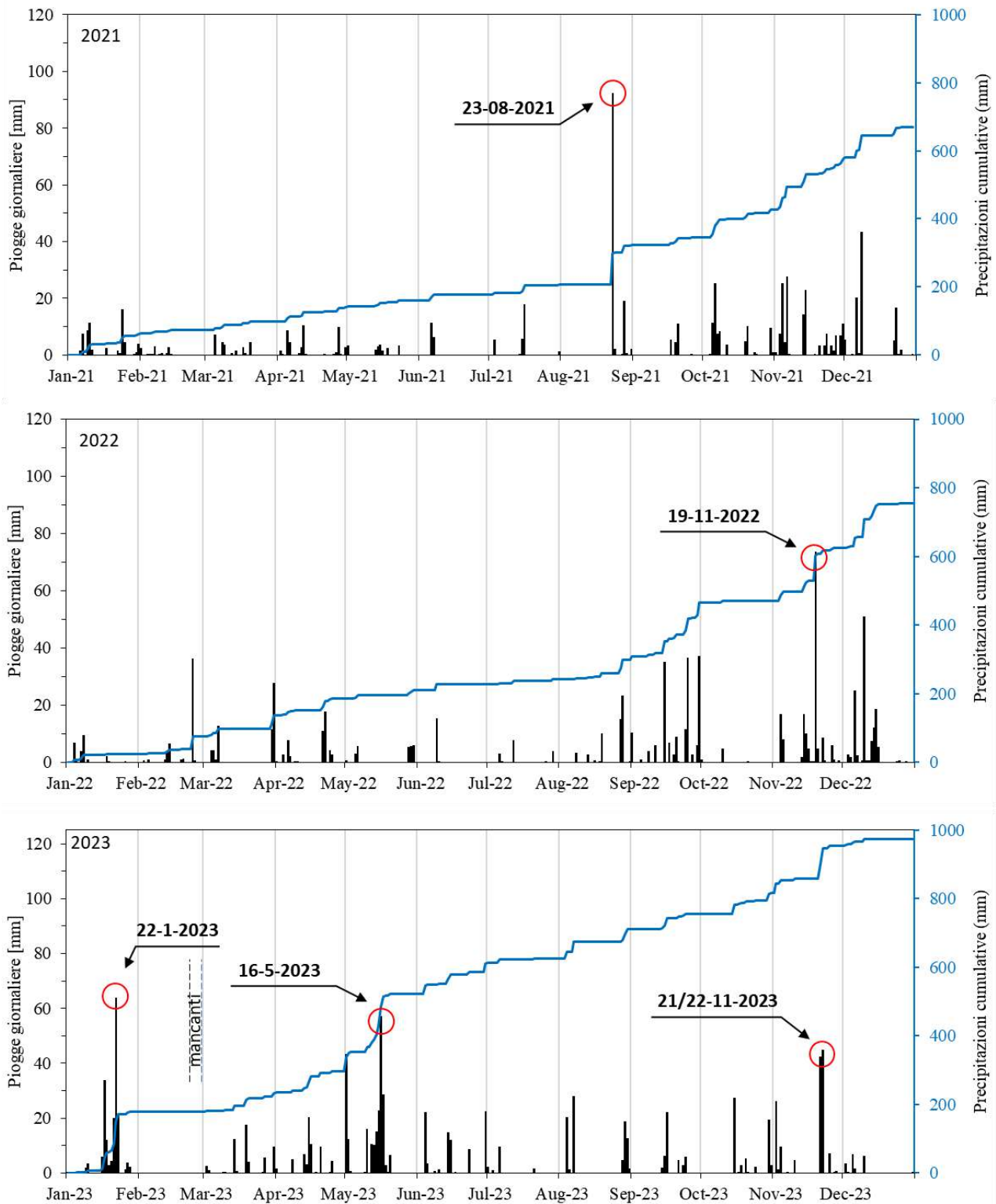


Figura 43 – Precipitazioni giornaliere e cumulative presso l’impianto di Corinaldo dal 01-2021 al 12-2023

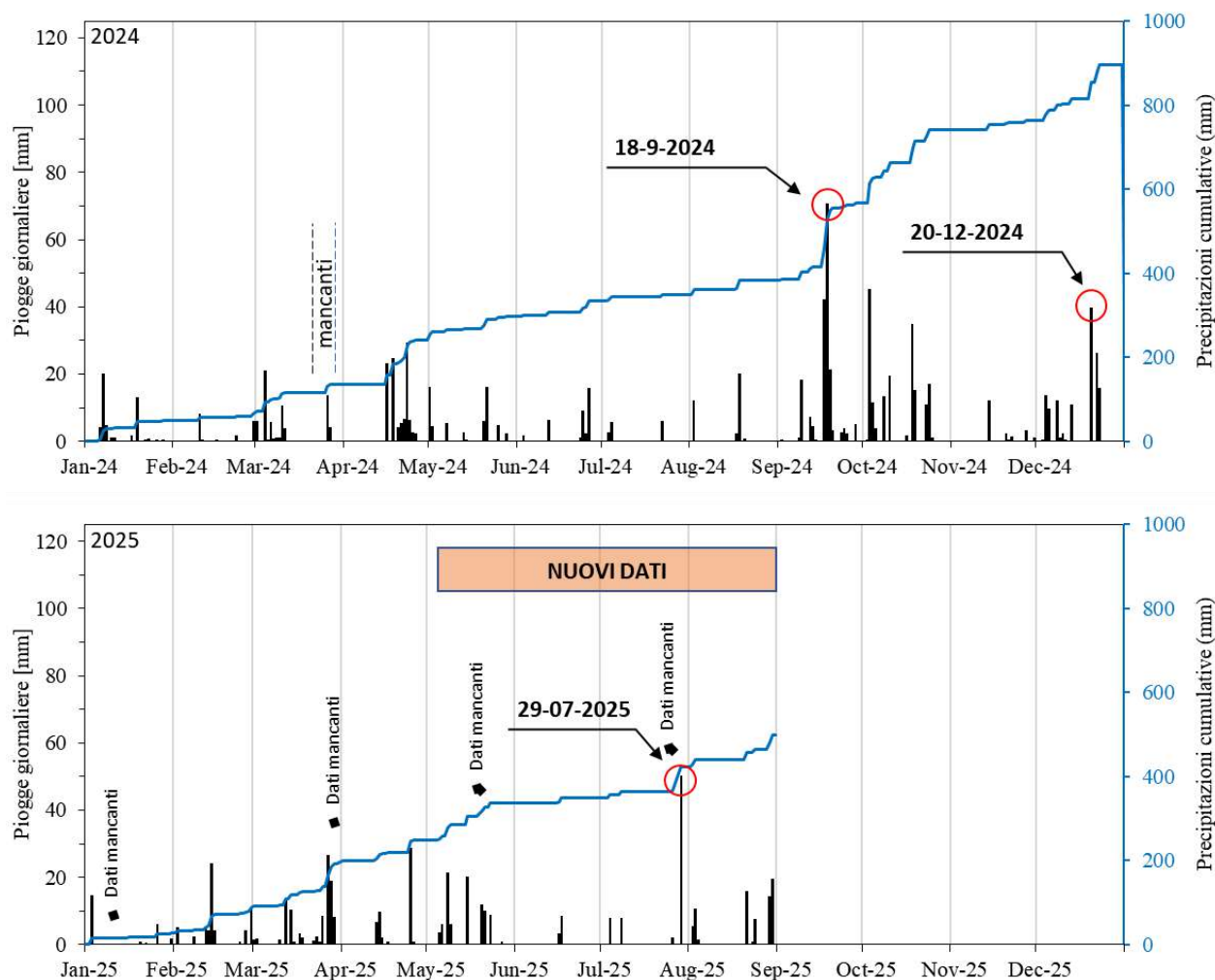


Figura 44 – Precipitazioni giornaliere e cumulative presso l’impianto di Corinaldo dal 01-2024 al 8-2025

Come mostrato in Figura 45, in corrispondenza del picco pluviometrico dell’agosto 2021 si osserva un immediato aumento della portata emunta dal pozzo di grande diametro sull’argine ed un successivo forte aumento della portata sui pozzi d14 e d15 che si protrae per tutto il periodo autunnale ed invernale 2021-2022. Un nuovo aumento delle portate si verifica con l’inizio delle piogge nel settembre 2022, mentre non si ha nessuna risposta apprezzabile all’evento piovoso del novembre 2022. **A novembre 2022 è stata impermeabilizzata la sommità arginale.** Una risposta si osserva di nuovo all’evento del gennaio 2023, mentre non sembrano significativi gli effetti della pioggia del maggio e del novembre 2023. Dal gennaio 2024 si osserva un generale aumento delle portate nonché il netto cambio di trend del pozzo d19 senza che risultino chiare correlazioni con le piogge. **Al forte impulso di pioggia del settembre 2024 è corrisposto invece un aumento temporaneo della portata sui pozzi d14 e d15.**

Quindi, sembra rafforzarsi l’ipotesi che prima dell’impermeabilizzazione della sommità dell’argine ci fosse un’infiltrazione diretta delle piogge dall’alto, avvenuta almeno in alcune occasioni. **Dopo oltre 2 anni di**

osservazioni dall'impermeabilizzazione della sommità arginale si può dire che permane una risposta relativamente rapida alle piogge nel mese successivo all'evento meteorico. Pertanto una circolazione idrica sotterranea in grado di portare maggiori quantitativi d'acqua in profondità in tempi relativamente brevi è confermata. I test idrogeologici in corso permetteranno auspicabilmente di chiarire meglio il fenomeno.

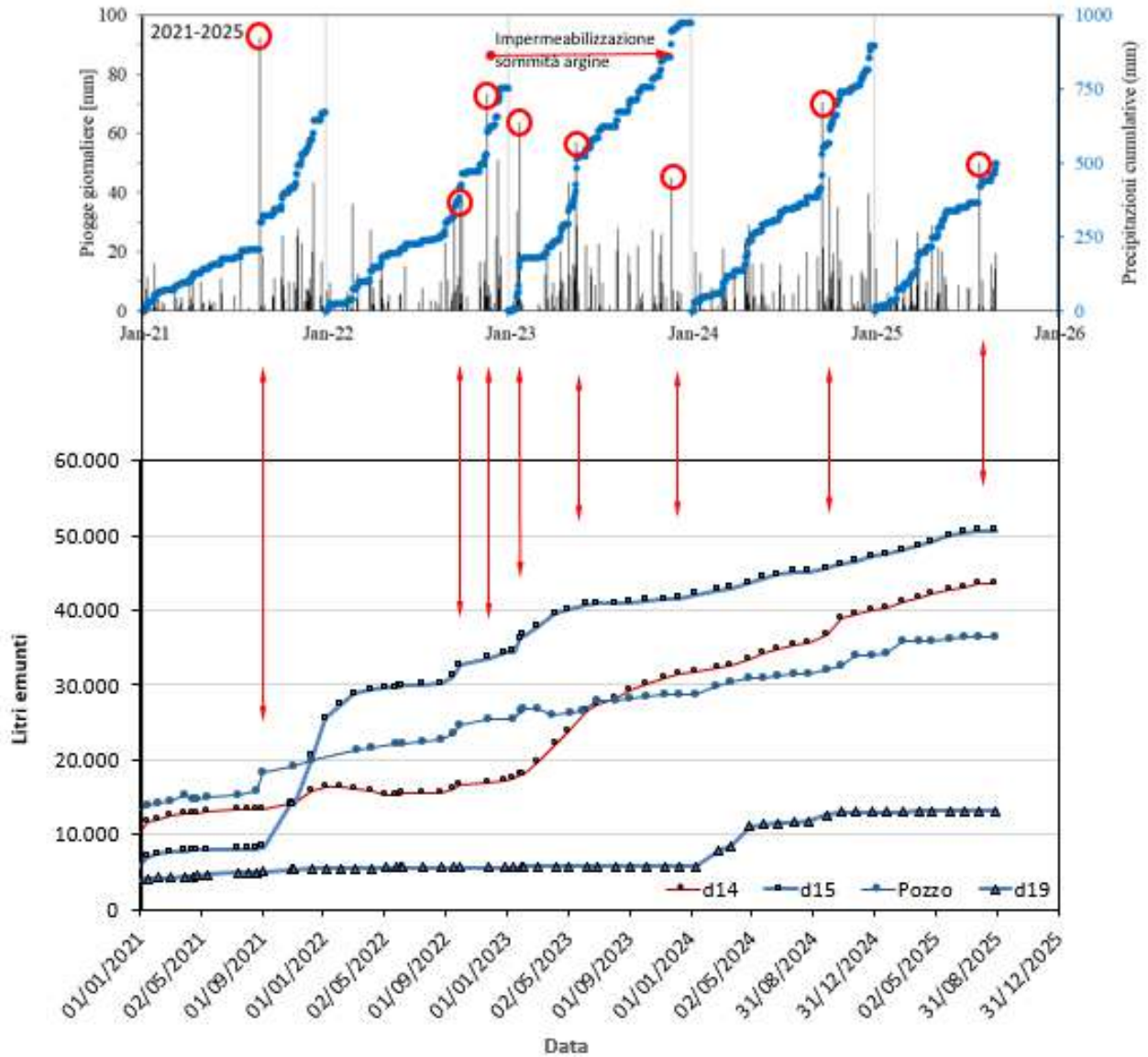


Figura 45 – Precipitazioni giornaliere e cumulative dal 01-2021 al 8-2025 e corrispondenti andamenti della portata emunta dai pozzi più significativi

5.4 Monitoraggio delle deformazioni locali di 2 pali dei setti a pettine

Due pali lato argine dei setti n.5 e n.7 sono stati strumentati con 12 estensimetri ciascuno saldati alle barre di armatura. Come mostrato in Figura 46 gli estensimetri sono disposti in numero di 3 per ogni livello (disposizione a stella) e collocati a 4 profondità diverse (2 m, 6 m, 10 m e 14 m da testa palo). L'installazione dei sensori è avvenuta nel novembre 2018, contestualmente alla realizzazione dei pali, ma le letture sono iniziate solo nel febbraio 2019 quando è stato possibile connettere i sensori alla centralina di acquisizione. Dei 24 sensori installati, 4 sono andati persi durante le operazioni di getto ed 1 non fornisce più letture valide dal maggio 2022, mentre gli altri 19 hanno fornito letture fino al 2 luglio 2024, data nella quale le letture si sono interrotte. Da una verifica tecnica a cura del laboratorio che aveva provveduto all'installazione della strumentazione, eseguita il 14 ottobre 2024, è risultato che il problema fosse riconducibile all'alimentazione della centralina, tanto che sono state acquisite le letture dei sensori nel giorno del sopralluogo. Il sistema è stato ripristinato in data 23 gennaio 2025, ma mancava la conversione tra la lettura in Hertz ed i Micro-strain (Figura 47). Successivamente la correzione è stata inserita e l'acquisizione è ripresa anche se, come si vedrà, si è registrata una differenza rispetto ai trend precedenti che – comunque - non pare riconducibile ad una variazione effettiva della sollecitazione sui pali.

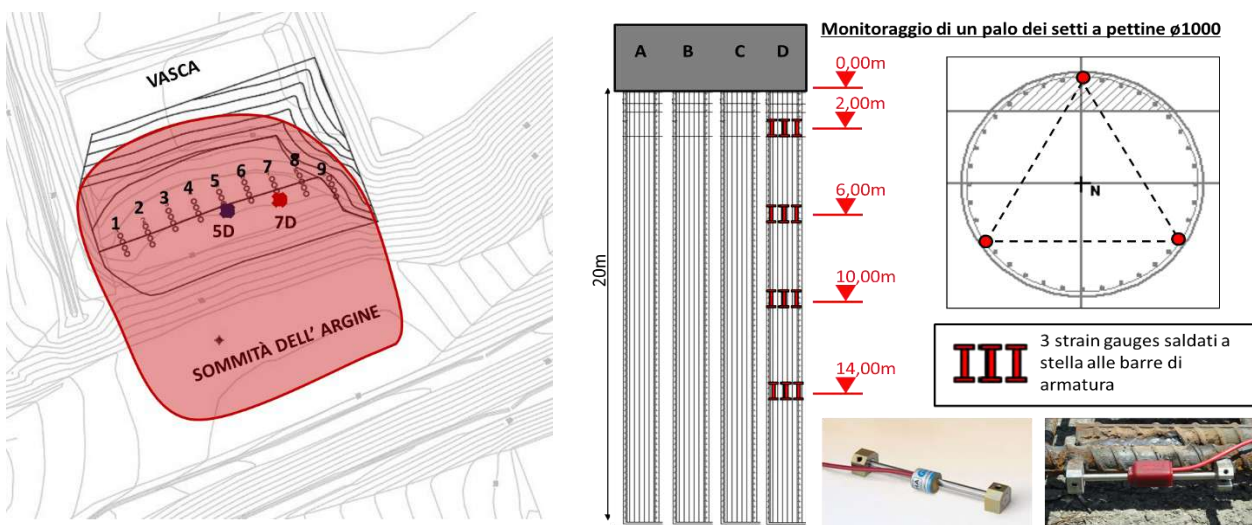


Figura 46 – Posizione dei pali strumentati con strain-gages e disposizione degli strumenti

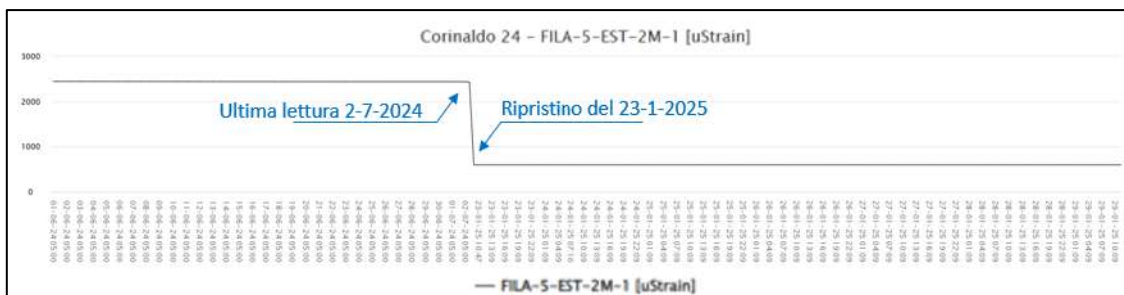


Figura 47 – Lettura del sensore 5D-1 a 2 m di profondità

Gli strain-gages forniscono una misura della deformazione subita dalla barra di armatura a cui sono collegati. Si noti che ad una deformazione di allungamento corrisponde un valore positivo della lettura del sensore, viceversa ad un accorciamento corrisponde un valore negativo.

Nel caso in esame, mancando la lettura di zero al momento dell'installazione, la deformazione misurata dai sensori va interpretata in senso differenziale rispetto alla prima misura disponibile che è avvenuta nel febbraio 2019, in occasione dell'attivazione dell'acquisizione automatizzata. Ne consegue che non è possibile ricostruire l'intera storia deformativa dei pali, mentre è possibile valutare gli incrementi di deformazione successivi al febbraio 2019.

In Figura 48 e Figura 49 è riportato l'andamento nel tempo della deformazione agli estensimetri misurata sui pali lato argine (posizione D) dei setti n. 5 e n.7. Per interpretare le letture è utile tenere presente che la disposizione dei sensori nel palo, come riportato nelle figure, vede i sensori 1 collocati lato discarica (nord) mentre i sensori 2 e 3 lato argine, con i sensori 2 lato est ed i sensori 3 lato ovest. Inoltre, si tenga presente che il valore medio misurato dai sensori corrisponde allo sforzo assiale, mentre la distanza tra i valori registrati ai diversi sensori identifica il momento flettente agente sulla sezione del palo.

Dall'andamento delle letture ai sensori sui pali dei setti n.5 e n.7 si può osservare una risposta simile delle due strutture; qualche differenza è emersa solo durante la fase di riempimento della discarica a ridosso dell'argine, probabilmente a causa della asimmetria del carico rispetto alla posizione dei pali (cioè il riempimento è stato eseguito da est verso ovest, quindi prima sul PALO 7 e poi sul PALO 5).

In sintesi, i valori registrati dagli strain-gages sui pali hanno rispecchiato con accuratezza il succedersi degli eventi: in una prima fase i pali hanno risentito del dissesto dell'argine, subendo una spinta verso Nord; poi il riempimento della discarica nel settore corrispondente all'unghia del dissesto ha determinato un'inversione della spinta, ora agente verso Sud; quindi il riempimento ulteriore del settore est a ridosso dell'argine ha aggiunto una componente di spinta diretta da est verso ovest alle azioni precedentemente agenti sui pali; con l'allontanamento della zona di abbancamento dall'argine la situazione è diventata relativamente stazionaria. La nuova recente fase di abbancamento in prossimità dell'argine ha invece mostrato chiari effetti su entrambi i setti, con tendenze analoghe alle precedenti, cioè con effetti più pronunciati sul setto 7 (interessato direttamente dall'abbancamento) e trend deformativi diretti verso est, lungo la direzione debole del setto, che infatti risente di deformazioni pronunciate sulle armature del palo monitorato.

Dal 2 luglio 2024 si è interrotta l'acquisizione dati. Un sopralluogo della ditta che aveva installato la strumentazione ha dimostrato la possibilità di riparare il guasto ed ha acquisito 1 dato puntuale su tutti i sensori nella data del sopralluogo che ha evidenziato un ulteriore sviluppo del trend deformativo precedentemente osservato in seguito all'abbancamento dei rifiuti. Oggi i trend sono nuovamente stabilizzati anche se nelle misure è presente un "salto" che indicherebbe un aumento dello sforzo normale.

Dal 23 gennaio 2025 il sistema di acquisizione è stato ripristinato e, successivamente, è stata introdotta la conversione tra Herz e Micro-strain. Le nuove misure hanno indicato una differenza significativa rispetto ai trend precedenti, con una generale traslazione verso il basso delle misure che potrebbero indicare un incremento di sforzo normale sui pali. Tale trend, generalizzato, è oggetto di qualche approfondimento. In ogni caso, i trend recenti sembrano stabilizzati, coerentemente all'allontanamento della coltivazione della discarica dalla zona arginale.

Nell'ultimo periodo, aprile 2025 – agosto 2025, si osserva una situazione essenzialmente stazionaria, coerente con il fatto che la coltivazione della discarica è lontana dall'argine. Il "salto" di tutte le misure al ripristino della strumentazione permane, ma non è stato possibile trovare una spiegazione convincente del fenomeno

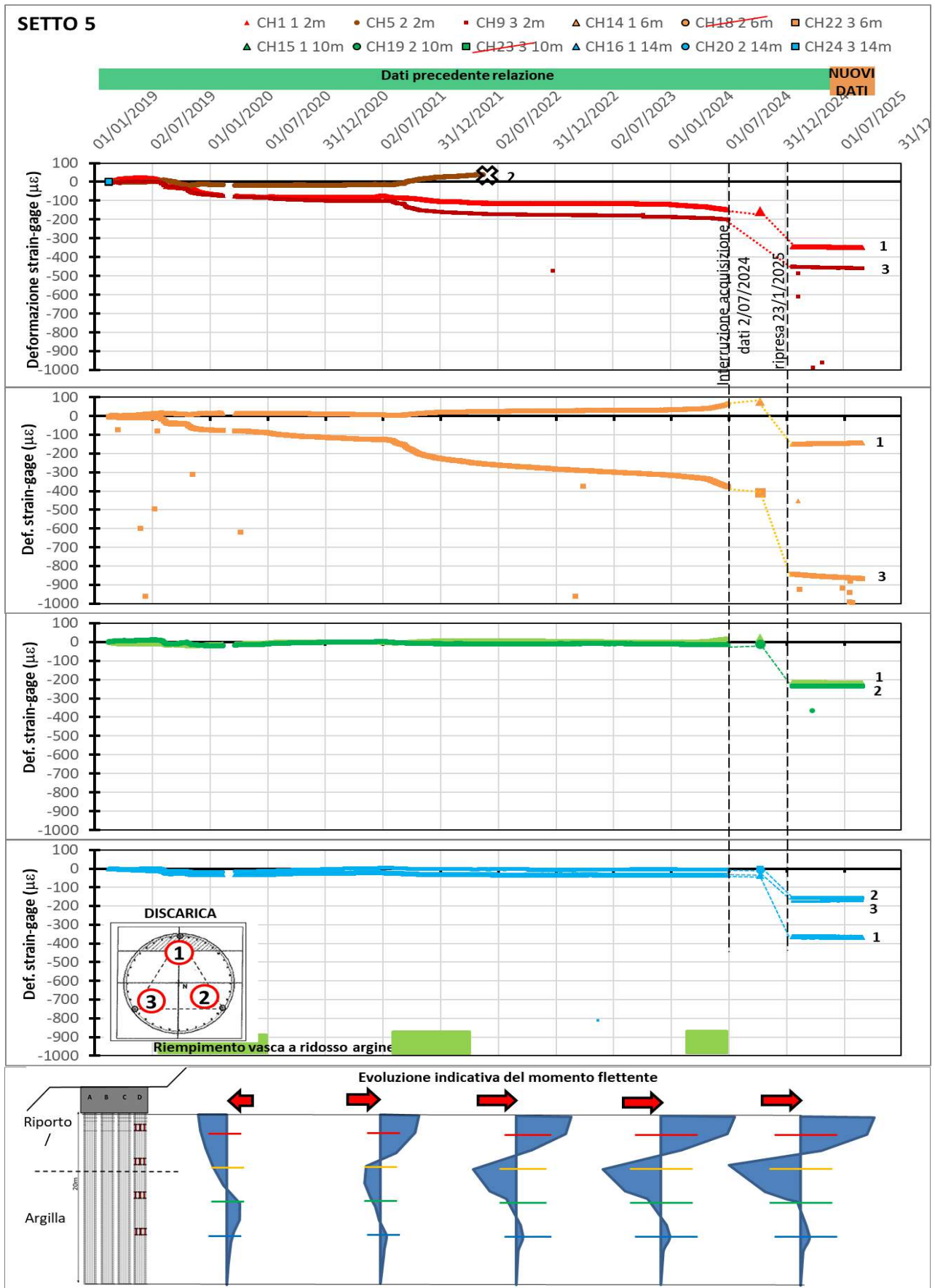


Figura 48 – Andamento temporale della lettura agli strain-gages del palo D su setto n.5

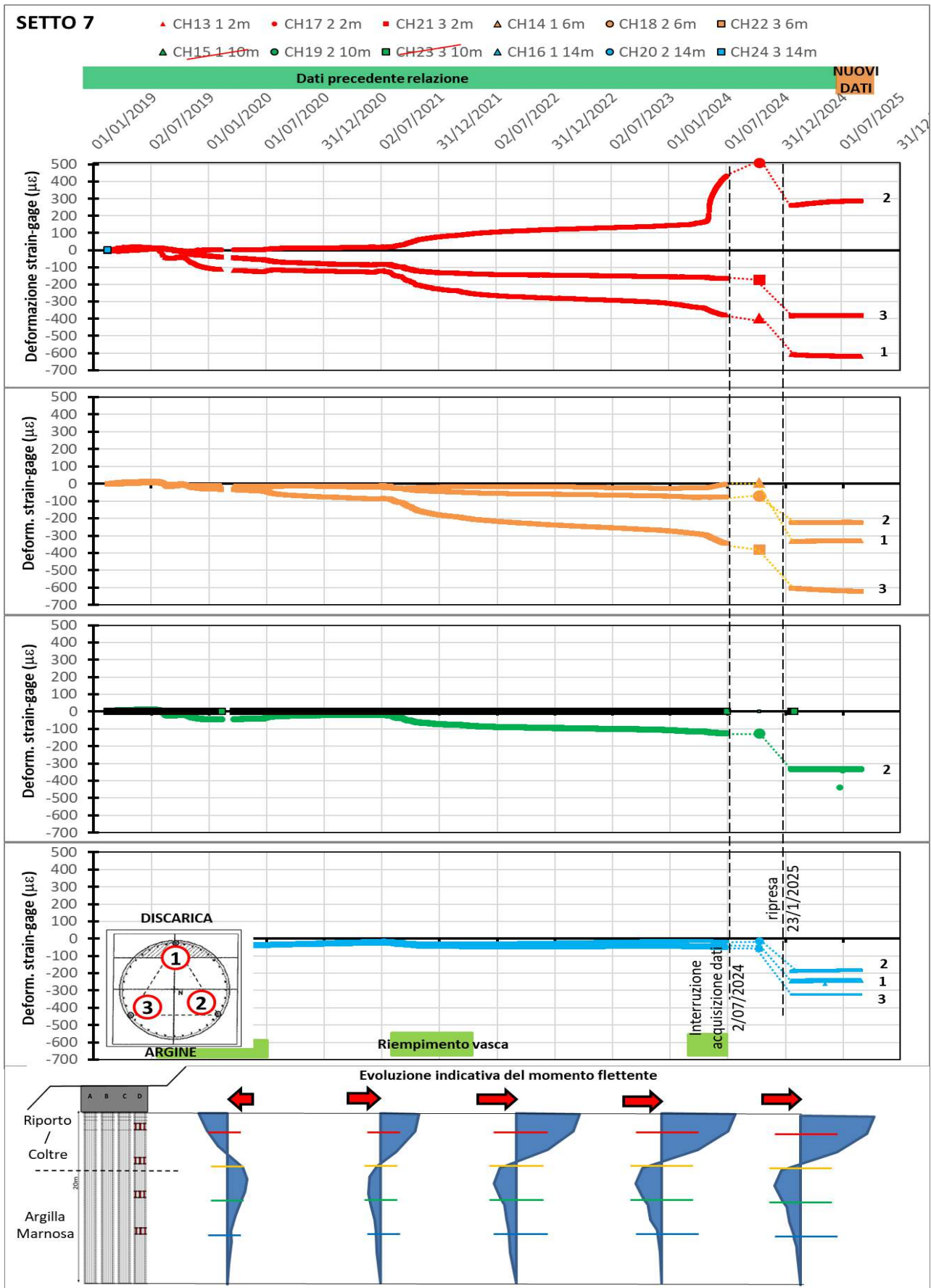


Figura 49 – Andamento temporale della lettura agli strain-gages del palo D su setto n.7

Si continua a monitorare l'andamento della temperatura tramite alcuni sensori posti all'interno delle strutture in c.a. Dato infatti che per compensare termicamente la lettura agli strain-gages sono presenti dei sensori di temperatura e avendo alcuni canali della centralina disponibili, sono stati acquisiti anche i dati di temperatura alle 4 profondità a cui sono posti i sensori. In Figura 50 e Figura 51 le letture di temperatura sono mostrate per l'intero periodo di monitoraggio. Si osserva chiaramente che la temperatura iniziale si collocava per tutti i sensori a 16-18°C. Con l'inizio del riempimento della discarica a ridosso dell'argine, i sensori a 2 m e 6 m dalla testa del palo, iniziano a risentire del riscaldamento prodotto dalla degradazione in ambiente anaerobico della parte organica dei rifiuti, in maniera sostanzialmente identica nei due pali. Oggi la temperatura dei sensori a 2 m di profondità si è stabilizzata a 26 °C nel setto 5 mentre nel setto 7, dopo essersi stabilizzata a 26° C per diverso tempo, dal gennaio 2023 mostra un nuovo trend leggermente crescente che ha portato la temperatura a 28°C a giugno 2024. Anche queste letture si interrompono il 2 luglio 2024.

La lettura del 14 ottobre 2024, unica disponibile dell'ultimo quadrimestre, sembra indicare una leggera riduzione di temperatura rispetto ai valori raggiunti in precedenza.

Dal 23 gennaio 2025 l'acquisizione delle misure è ripresa normalmente ed i trend di temperatura sono tornati sui valori precedenti. Al 31 agosto 2025 si rilevano valori massimi pari a 26° sul palo del setto 5 e 29°C sul palo del setto 7

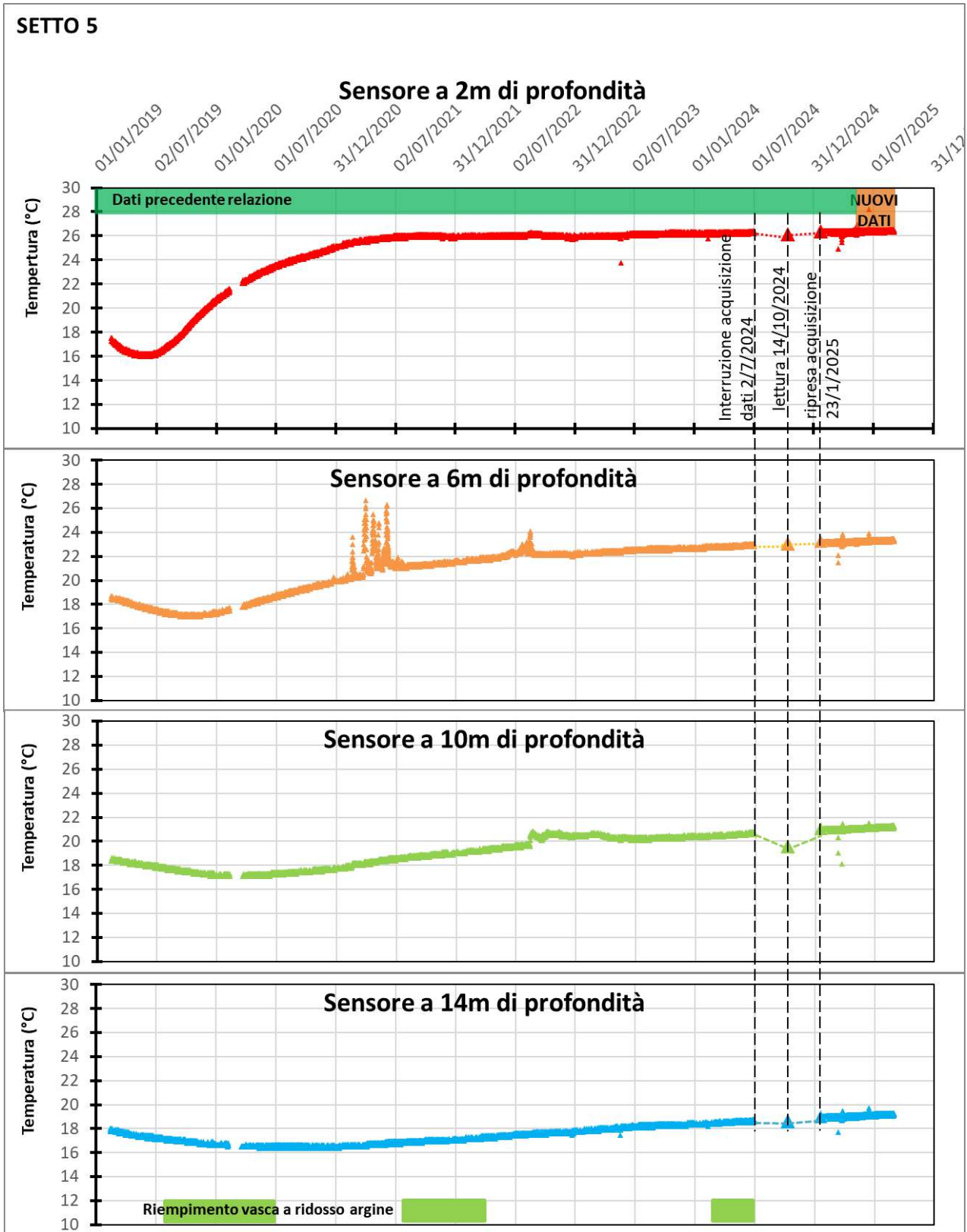


Figura 50 – Andamento temporale della temperatura nei pali D del setto n.5

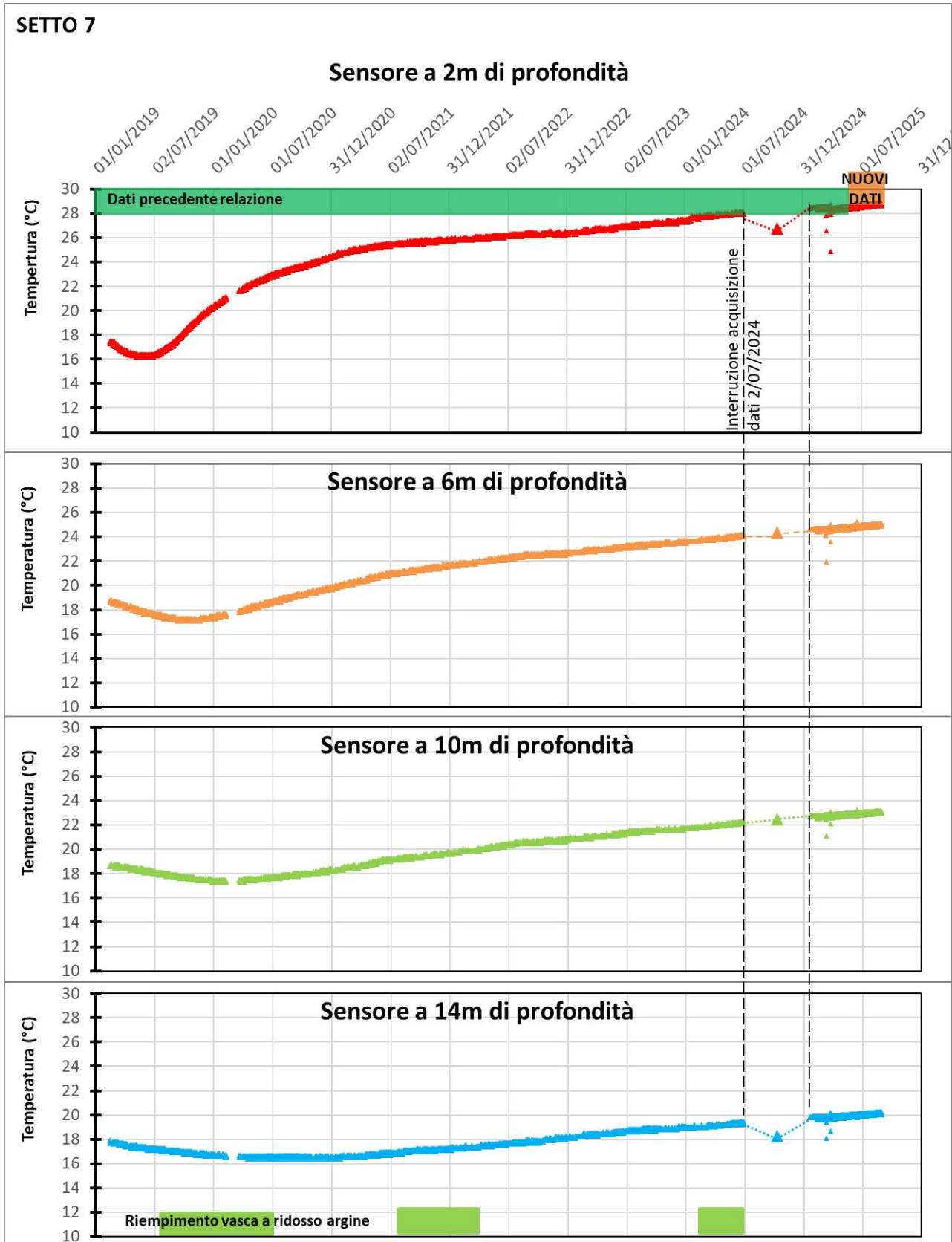


Figura 51 – Andamento temporale della temperatura nei pali D del setto n.7

5.5 Monitoraggio degli estensimetri multibase sull'argine

Per il monitoraggio degli assestamenti verticali del corpo arginale sono stati installati 2 estensimetri multibase (A1 e A2) con 4 basi ciascuno, nelle posizioni indicate in Figura 52. L'installazione, previa esecuzione di due sondaggi a carotaggio continuo, è avvenuta nel mese di novembre 2024 e la tabella seguente riassume le caratteristiche delle due nuove verticali strumentate. La lettura degli strumenti è iniziata a marzo 2025.

Sond.	Carotaggio Continuo		Utilizzo rivestimento Φ 127mm (m)	Strumentazione installata	Data
	da	a			
S3	0,00	25,00	20,00	Estensimetro A1: lunghezza L=25 m, basi di misura alle profondità di 6m, 12m, 18m, 25 m	20-21/11/24
S4	0,00	18,00	15,00	Estensimetro A2: lunghezza L=18 m, basi di misura alle profondità di 4,5m, 9m, 13,5m e 18m	22-23/11/24

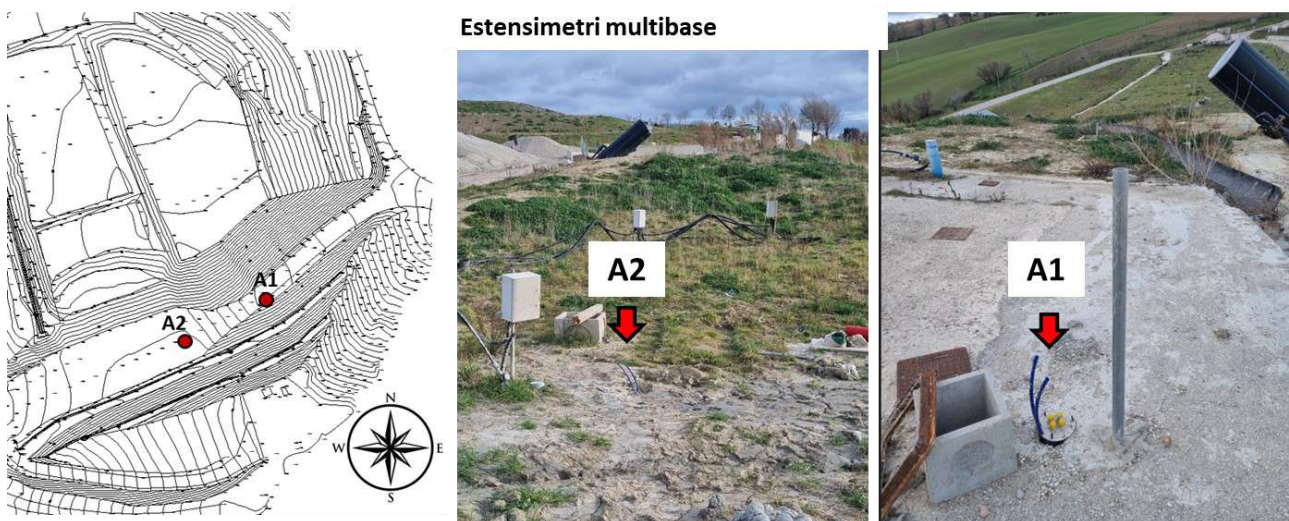


Figura 52 – Posizione delle verticali estensimetriche

L'elaborazione più interessante delle misure estensimetriche è la valutazione dei cedimenti differenziali delle diverse basi rispetto alla base più approfondita, considerata stabile. Procedendo in questo modo, in Figura 53 sono presentati i risultati ottenuti per le due verticali disponibili.

La verticale A1, collocata sulla strada, si mostra essenzialmente stabile, con spostamenti contenuti entro 0,50 mm.

La verticale A2, collocata sul terreno, pur con valori contenuti, mostra un comportamento classico, con una deformazione progressivamente più elevata all'avvicinarsi alla cresta dell'argine. In particolare notiamo che la base a 4,5 m di profondità, ha maturato un cedimento di 1,6 mm da marzo ad agosto rispetto alla base più profonda.

Si conferma l'elevata precisione delle misure effettuate con la strumentazione installata.

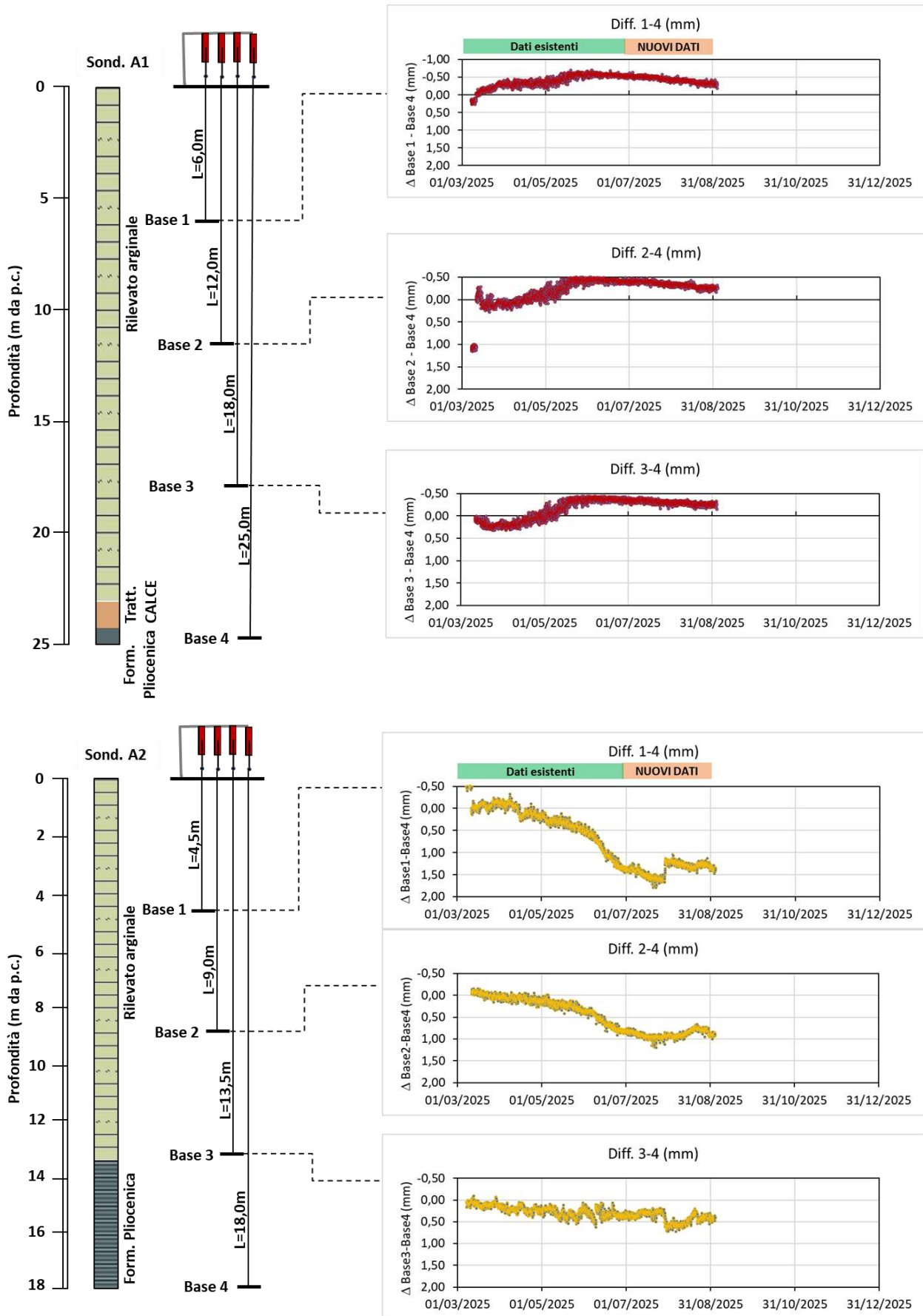


Figura 53 – Cedimenti differenziali rispetto alla Base 4 degli estensimetri A1 e A2

5.6 Monitoraggio piezometrico e con celle di carico totale della risposta del substrato pliocenico al carico dei rifiuti

Per valutare la risposta del substrato pliocenico al carico dei rifiuti sono state installate nell'area di nuova espansione della discarica, nel settore nord dell'impianto, 2 celle di carico totale e 2 celle elettriche per la misura delle pressioni interstiziali. In Figura 54 si può osservare la posizione degli strumenti in planimetria, mentre la tabella seguente riassume le profondità e le modalità di installazione degli strumenti. La quota del fondo della vasca è pari a 164 m su l.m.m.

Sond.	Carotaggio Continuo		Utilizzo rivestimento Ø 127mm (m)	Strumentazione installata	Data
	da	a			
S1	0,00	5,00	-	Datalogger: 0-4 m cementazione; 4-5 m ghiaietto	19/11/24
S2	0,00	5,00	-	Datalogger: 0-4 m cementazione; 4-5 m ghiaietto	19/11/24

Nella stessa Figura 54 si può apprezzare anche la progressione della quota dei rifiuti: al 9 gennaio 2025 l'area era vuota, al 20 maggio 2025 l'altezza dei rifiuti aveva raggiunto i 6 m, al 19 settembre 2025 l'altezza è arrivata a circa 13 m sopra il telo di fondo.



Figura 54 – Posizione delle celle di carico totale e dei piezometri e progressione dell'abbancamento

In Figura 55 è riportato lo schema di installazione della strumentazione.

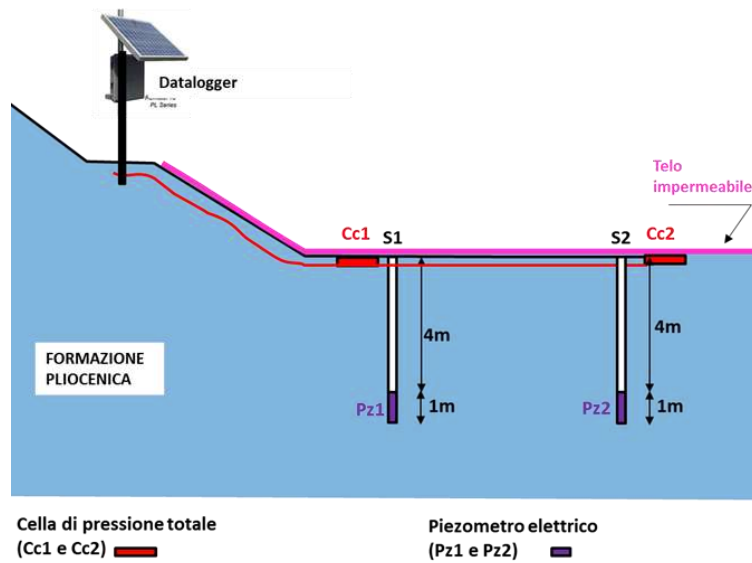


Figura 55 – Schema di installazione degli strumenti

In Figura 56 si riportano i risultati delle misure alle celle di carico totale e ai piezometri. Rileva osservare che l'installazione è avvenuta a novembre 2024 e che a marzo 2025, quando sono iniziate le misurazioni, la coltivazione del lotto era già iniziata e l'abbancamento aveva raggiunto la quota di 170 m su l.m.m (rilievo drone del 30 marzo 2025).

Le letture nel primo periodo delle celle piezometriche (marzo 2025) indicano un carico idraulico di 5 m circa, pari alla profondità di installazione dei sensori. Per motivi al momento non identificabili, nei mesi successivi si osserva un decremento delle pressioni interstiziali, fino a valori anche fortemente negativi (in valore relativo). L'evoluzione dei dati piezometrici potrebbe essere stata condizionata dalla storia tensionale del deposito che ha visto un forte scarico tensionale per realizzare la vasca di deposito dei rifiuti.

Le letture alle celle di carico totale indicano valori coerenti tra i due sensori e pari a 6 bar (600 kPa) fino a fine marzo 2025, poi è iniziato un trend decrescente fino a valori di 260 kPa a fine giugno 2025. Nel mese di luglio 2025 i valori rimangono essenzialmente stabili, quindi la cella di pressione 1 sale fino a 278 kPa mentre la cella di pressione 2 rimane a 242 kPa.

Assumendo una pressione di 7,5 kPa per 50 cm di ghiaia sopra al telo e un peso dei rifiuti abbancati tra 10 e 13 kN/m³, si ha che:

- 6 m abbancamento: $7,5 + 10(13) \times 5,5 = 63-79$ kPa
- 9 m abbancamento: $7,5 + 10(13) \times 8,5 = 93-118$ kPa
- 13 m abbancamento: $7,5 + 10(13) \times 12,5 = 133-170$ kPa

Anche tenendo conto che la lettura della cella di carico totale scarica non è nullo (a causa della pressione dell'olio in fase di carica) e può essere stimato in 50 kPa, la storia delle letture iniziali non appare giustificabile. Le letture più recenti sembrano invece allinearsi a valori consoni con il carico applicato. Vedremo quindi l'evolversi delle letture nel prosieguo del monitoraggio.

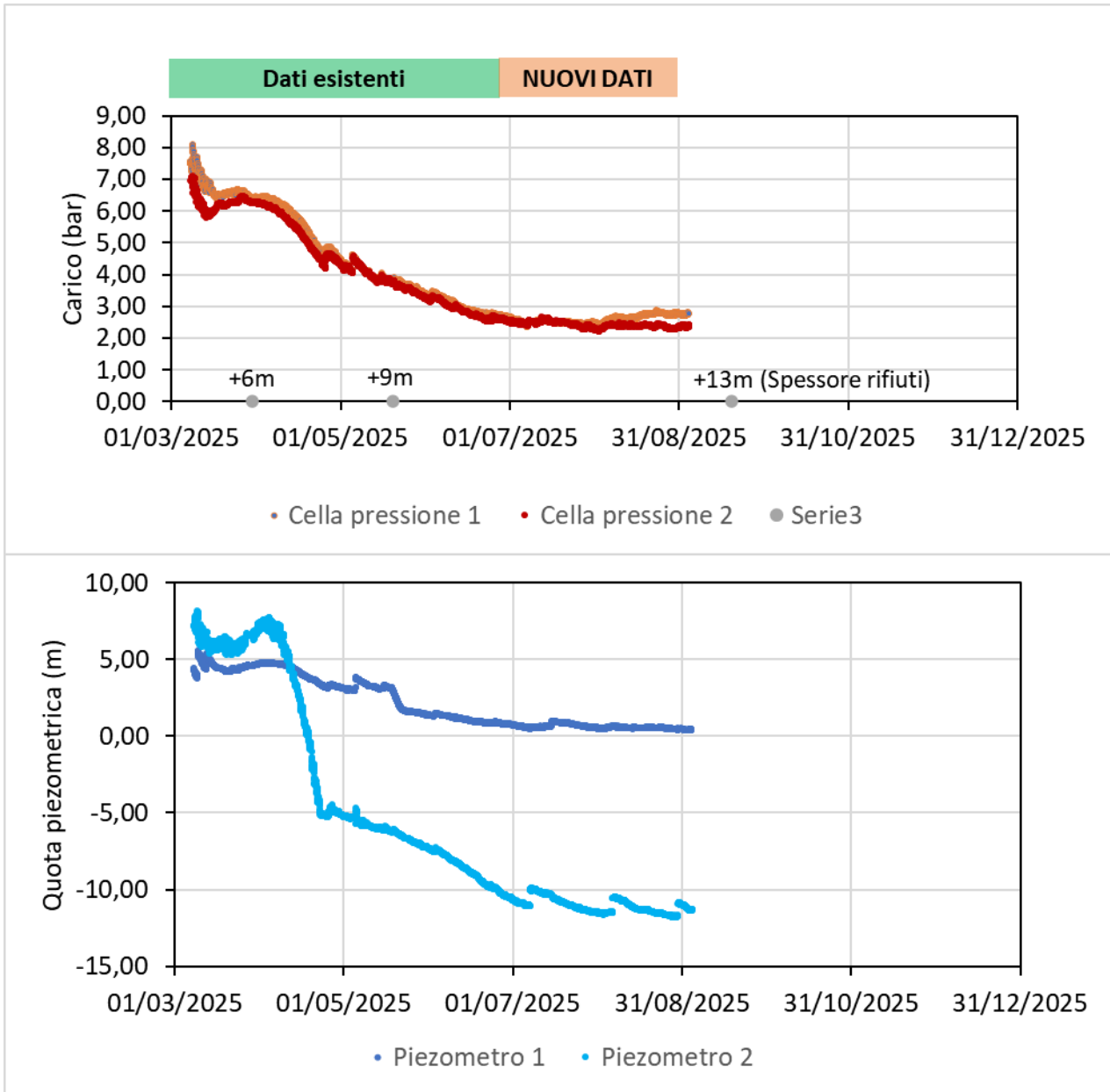


Figura 56 – Misure alle calle di carico totale e ai piezometri elettrici

6 CONCLUSIONI E SUGGERIMENTI PER IL PROSEGUITO DEL MONITORAGGIO

I dati aggiornati di monitoraggio dell'argine confermano il perdurare di un comportamento dell'opera complessivamente soddisfacente, anche se il quadro delle pressioni interstiziali si mantiene sostanzialmente immutato - ad indicare il parziale raggiungimento degli obiettivi di drenaggio previsti - e gli inclinometri più significativi continuano a mostrare una progressione della deformazione distribuita sull'intera altezza dell'argine, anche in assenza di abbancamenti in prossimità dello stesso. L'intervento di impermeabilizzazione della sommità arginale (nov. 2022) non ha mostrato effetti di rilievo sui valori delle pressioni interstiziali registrati con sonde elettriche, anche se si conferma una minore correlazione tra portate emunte e piogge abbondanti.

Dato il livello dei rifiuti in prossimità dell'argine, il monitoraggio è oggi rivolto al controllo della risposta deformativa dell'opera alle spinte esercitate dal progressivo abbancamento a monte.

I **dati inclinometrici**, ottenuti con una nuova sonda dal dicembre 2022 e raccordati alle letture precedenti per dare una continuità al monitoraggio, evidenziano una situazione complessivamente stazionaria con qualche modesta evoluzione. Le misure più recenti, nel **periodo aprile – agosto 2025** indicano – con un trend più pronunciato del recente passato - il perdurare del quadro già noto che vede una distribuzione della deformazione sull'intera altezza del corpo arginale e che, pur escludendo i primi 2 m più superficiali, ha prodotto nel periodo di osservazione spostamenti cumulati di diversi millimetri degli inclinometri G (+3 mm), H (+4 mm), M3 (+4 mm). È inoltre confermata la deformata "ad S" degli inclinometri G ed H al passaggio tra l'argine e la formazione correlabile ad un carico assiale sui tubi di misura per assestamenti verticali del corpo arginale. Si conferma quindi l'opportunità di proseguire il monitoraggio inclinometrico a cadenza mensile.

Nell'ultimo periodo, coerentemente con il fatto che l'abbancamento dei rifiuti avviene lontano dall'argine, **non si sono registrati incrementi di deformazione sui pali dei setti monitorati**. Si evidenzia che dal 23 gennaio 2025 il sistema è stato ripristinato, ma i nuovi valori registrati non risultano in continuità con i precedenti e non tuttora chiaro il motivo di tale disallineamento.

Superati i 7 anni di monitoraggio della piezometria dell'argine permangono tuttora elevate pressioni interstiziali sia nel corpo arginale che nel substrato pliocenico – specialmente nella porzione est del rilevato (sez. 9) -, condizione anomala che non si è modificata né a seguito del continuo drenaggio dell'opera, né in conseguenza dell'incremento dei carichi dei rifiuti (che pure hanno prodotto deformazioni dell'argine), né a seguito dell'impermeabilizzazione della sommità arginale. Il monitoraggio dell'argine può contare su 10 sensori ancora attivi dei 22 originariamente installati. In occasione del sopralluogo del **19 settembre 2025** si è constatata la costante presenza d'acqua nel pozzetto del piezometro Casagrande PC-4, acqua che, con elevata probabilità, proviene dal piezometro stesso (come già avvenuto in passato) e che conferma visivamente il perdurare delle elevate sovrappressioni interstiziali nel corpo arginale.

La relativamente significativa portata d'acqua che continua ad essere emunta dai **pozzi verticali** di piccolo diametro garantisce il mantenimento di un drenaggio efficace della fondazione dell'argine ed indica una, seppur modesta, circolazione idrica sotterranea alla scala locale dei versanti. Le osservazioni confermano una stagionalità delle portate, con un emungimento che in estate si riduce rispetto agli altri periodi dell'anno. La portata dei diversi pozzi varia anche negli anni a conferma della complessità dell'idraulica sotterranea dell'arginatura. Sul tema anche i primi risultati dell'indagine idrogeologica sembrano non fornire facili interpretazioni del fenomeno osservato.

La **recente entrata in funzione di due nuovi estensimetri multibase sul corpo arginale** per la misura delle deformazioni verticali nel tempo **e delle celle di carico totale e dei piezometri** per il monitoraggio della risposta della formazione pliocenica all'abbancamento dei rifiuti, inizia a dare delle letture significative, ma richiede un tempo di osservazione più lungo per poter trarre informazioni di carattere generale.