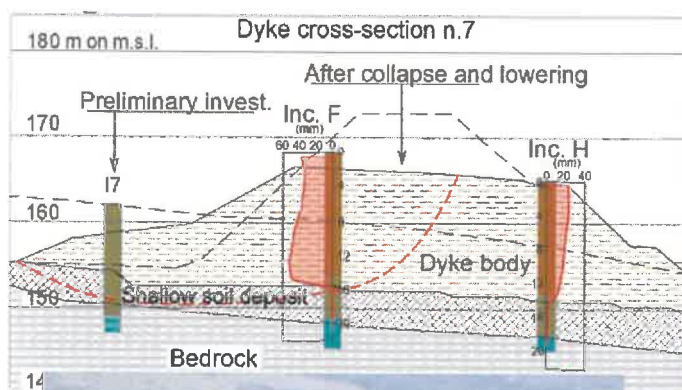




ASA S.r.l. AZIENDA SERVIZI AMBIENTALI

Analisi dei dati di monitoraggio dell'argine di valle della Zona di Ampliamento della Discarica di Corinaldo (AN)

RAPPORTO n.11 **Aggiornamento ad APRILE 2025**



Consulenti tecnici: Dott. Ing. David Segato
Dott. Ing. Alessandro Vita

Consulenti scientifici: Prof. Giuseppe Scarpelli
Prof. Paolo Ruggeri

Il Responsabile Scientifico

Ing. Paolo Ruggeri

Il Direttore Tecnico GES

Ing. David Segato

Ns.RIF.	Revisione	Data
2023-ASA_6	EMISSIONE	11-7-2025



Sommario

1	PREMESSA	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
3	SINTESI DELLE PREGRESSE ATTIVITA' DI CONSOLIDAMENTO DELL'ARGINE	5
4	ESITO DEL SOPRALLUOGO.....	7
5	EVOLUZIONE DEL RIEMPIMENTO DELLA DISCARICA	10
6	RISULTATI AGGIORNATI DEL MONITORAGGIO IN CORSO	16
6.1	MONITORAGGIO INCLINOMETRICO	16
6.2	MONITORAGGIO PIEZOMETRICO	32
6.3	MONITORAGGIO DELLE PORTATE EMUNTE DAI POZZI DI PICCOLO DIAMETRO.....	40
6.4	MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI LOCALI DI 2 PALI DEI SETTI A PETTINE	50
6.5	MONITORAGGIO DEGLI ESTENSIMETRI MULTIBASE SULL'ARGINE	60
6.6	MONITORAGGIO PIEZOMETRICO E CON CELLE DI CARICO TOTALE DELLA RISPOSTA DEL SUBSTRATO PLIOCENICO AL CARICO DEI RIFIUTI	62
7	CONCLUSIONI E SUGGERIMENTI PER IL PROSEGUITO DEL MONITORAGGIO	64



1 PREMESSA

Con ordine n. 746/RP/ma del 8/06/2023 l'ASA S.r.l. - Azienda Servizi Ambientali ha affidato alla GES – Geotechnical Engineering Services s.r.l. la prosecuzione di un incarico specialistico finalizzato all'analisi dei dati di monitoraggio geotecnico dell'argine di valle della Zona di Ampliamento della Discarica di Corinaldo (AN).

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 nel quadro della sicurezza geotecnica dell'argine.

La presente relazione, che costituisce il **RAPPORTO n.11 e completa l'incarico affidatoci**, include l'aggiornamento dei dati registrati nel quadrimestre **GENNAIO-APRILE 2025**. Nell'elaborato, dopo un breve richiamo alle attività di consolidamento realizzate sull'arginatura, viene presentato l'esito del sopralluogo e lo stato aggiornato del monitoraggio in corso con particolare riferimento a:

- monitoraggio inclinometrico (aprile 2025);
- monitoraggio piezometrico (aprile 2025);
- monitoraggio delle portate emunte dai pozzi di piccolo diametro (aprile 2025);
- monitoraggio delle deformazioni locali di 2 pali dei setti a pettine (aprile 2025);

Il documento è stato completato con i dati ricevuti a giugno 2025 e comprende l'aggiornamento dei dati pluviometrici della stazione meteo localizzata in area impianto. Inoltre, sono stati inseriti anche i primi dati dei nuovi strumenti installati, costituiti da 2 estensimetri multibase sull'argine e 2 celle di carico totale e 2 piezometri nell'area di nuova espansione a nord della discarica.

2 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. Report mensili del monitoraggio inclinometrico (a cura della ISOGEA S.r.l.) aggiornato ad **Aprile 2025**
- iii. Report mensili del monitoraggio piezometrico (a cura della ISOGEA S.r.l.) aggiornato ad **Aprile 2025**
- iv. Letture delle celle piezometriche elettriche (Portale Monitoraggi della O.T.R. S.r.l. di Piacenza) da Aprile 2018 a Marzo 2024
- v. Letture delle celle piezometriche elettriche (Portale Monitoraggi ME.MO. measures & monitoring del Geol. Marco Ugolotti) aggiornati al **30 Aprile 2025**
- vi. 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
- vii. Letture delle celle piezometriche elettriche (Portale Monitoraggi ME.MO. measures & monitoring del Geol. Marco Ugolotti) aggiornati al **30 Aprile 2025**
- viii. Dati relativi alle portate emunte dai pozzi verticali di piccolo diametro (a cura di ASA S.r.l.) aggiornato al **26 Aprile 2025**
- ix. Rilievo plano-altimetrico della discarica da drone (a cura del Geom. Luigi Prussiani) aggiornato al **30 Marzo 2025**
- x. Dati pluviometrici relativi alla stazione meteorologica situata presso la discarica di Corinaldo (a cura di ASA S.r.l.) aggiornati ad **Aprile 2025**
- xi. Letture agli estensimetri installati sull'argine aggiornati a **Giugno 2025** (Portale monitoraggi GESTECNO)
- xii. Letture alle celle di carico totale e piezometri in area di nuova espansione a nord della discarica aggiornati a **Giugno 2025** (Portale monitoraggi GESTECNO)

3 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 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.

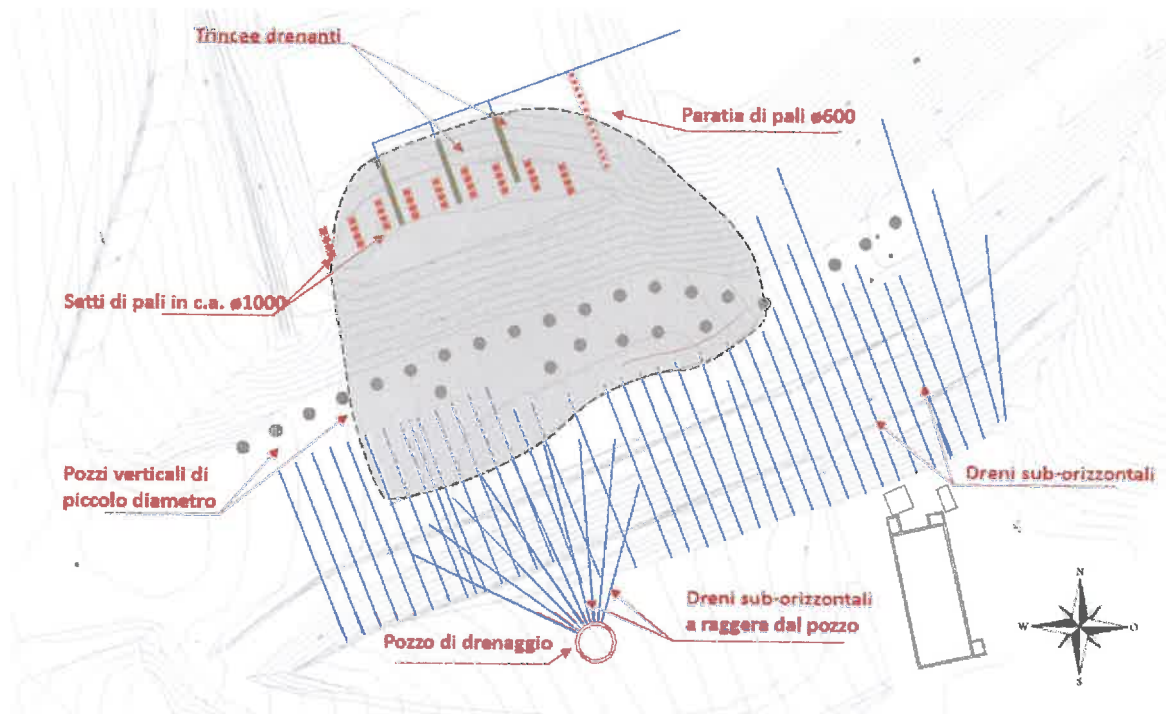


Figura 1 – Planimetria dell'area con indicazione degli interventi di consolidamento

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 metà 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 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 |

4 ESITO DEL SOPRALLUOGO

In data **20 maggio 2025** l'ing. Paolo Ruggeri e l'ing. Pierluigi Alesiani, accompagnati dal Capo Cantiere sig. Corrado Paniconi, hanno eseguito un sopralluogo presso l'argine della discarica.

In Figura 2 sono mostrate tre fotografie della zona arginale e una fotografia del pozzo di valle. Non ci sono stati abbancamenti recenti in prossimità dell'argine e non risultano aspetti particolari da segnalare rilevabili dal sopralluogo. Alcuni dreni del pozzo drenante presentano un modesto stillicidio, analogamente a quanto tipicamente osservato nei precedenti sopralluoghi.



Figura 2 – Fotografie della sommità dell'argine, del fronte di valle e del pozzo drenante prese il 20-5-2025

Il pozzetto di un piezometro Casagrande sulla sommità arginale, che risultava interrato da tempo, è stato pulito ed è ora possibile eseguirne la lettura. Come si osserva in osserva in figura, il pozzetto è pieno d'acqua. Non è escluso che, come avvenuto in passato, sia il piezometro stesso a portare l'acqua nel pozzetto. Le prossime misure nel periodo estivo daranno conferma di questo particolare comportamento.



Figura 3 – Fotografia del pozzetto di un piezometro Casagrande presa il 20-5-2025

Continua l'indagine idrogeologica dell'arginatura a cura del prof. Tazioli dell'Università Politecnica delle Marche. Come si può vedere dalle fotografie di Figura 4, sulla sommità arginale è stata posizionata una stazione di campionamento delle acque meteoriche; la composizione dell'acqua piovana raccolta verrà confrontata con l'acqua prelevata dal pozzo di piccolo diametro D21 per una valutazione della circolazione idrica nel corpo arginale. Inoltre, è in corso una misura con sonda fissa nel pozzo D21.

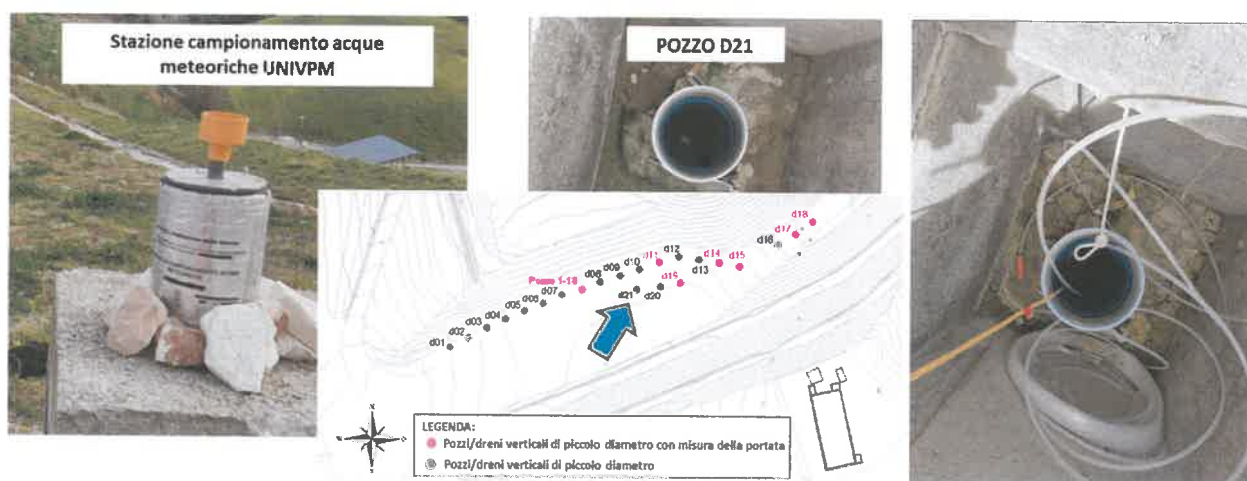


Figura 4 – Fotografie della stazione di campionamento acque meteoriche UNIVPM e pozzo di piccolo diametro D21 con sonda in lettura

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

- 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.

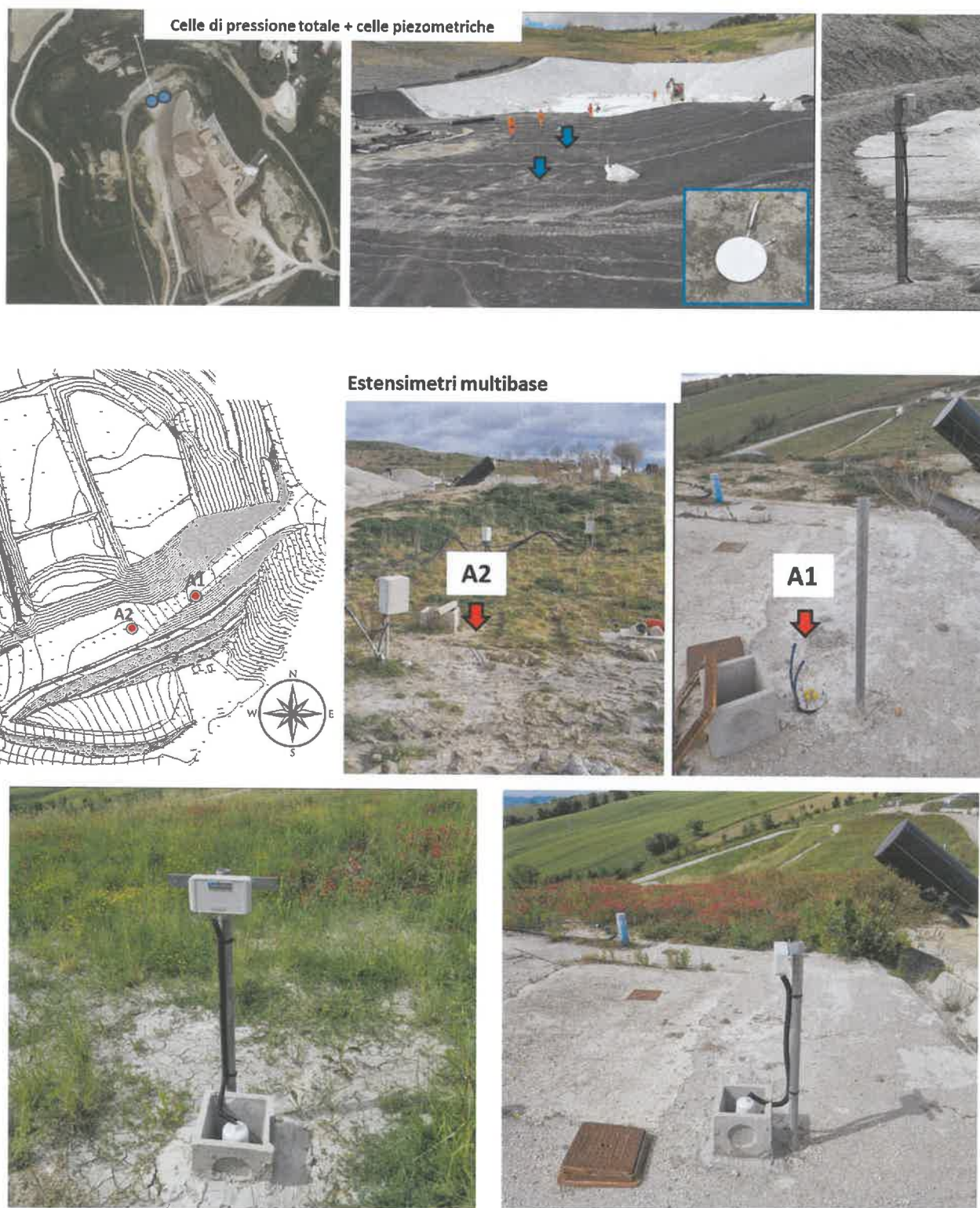


Figura 5 – Fotografie degli strumenti integrativi di monitoraggio installati

5 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.

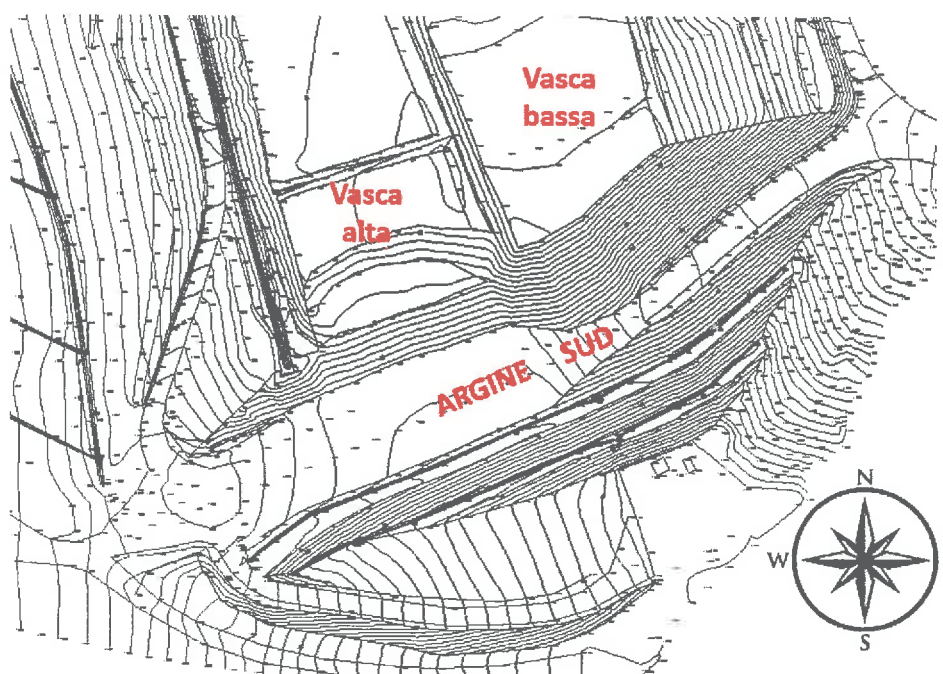


Figura 6 – Rilievo della discarica in prossimità dell'argine sud con la distinzione di “vasca alta” e “vasca bassa” in relazione alla quota del fondo

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).**

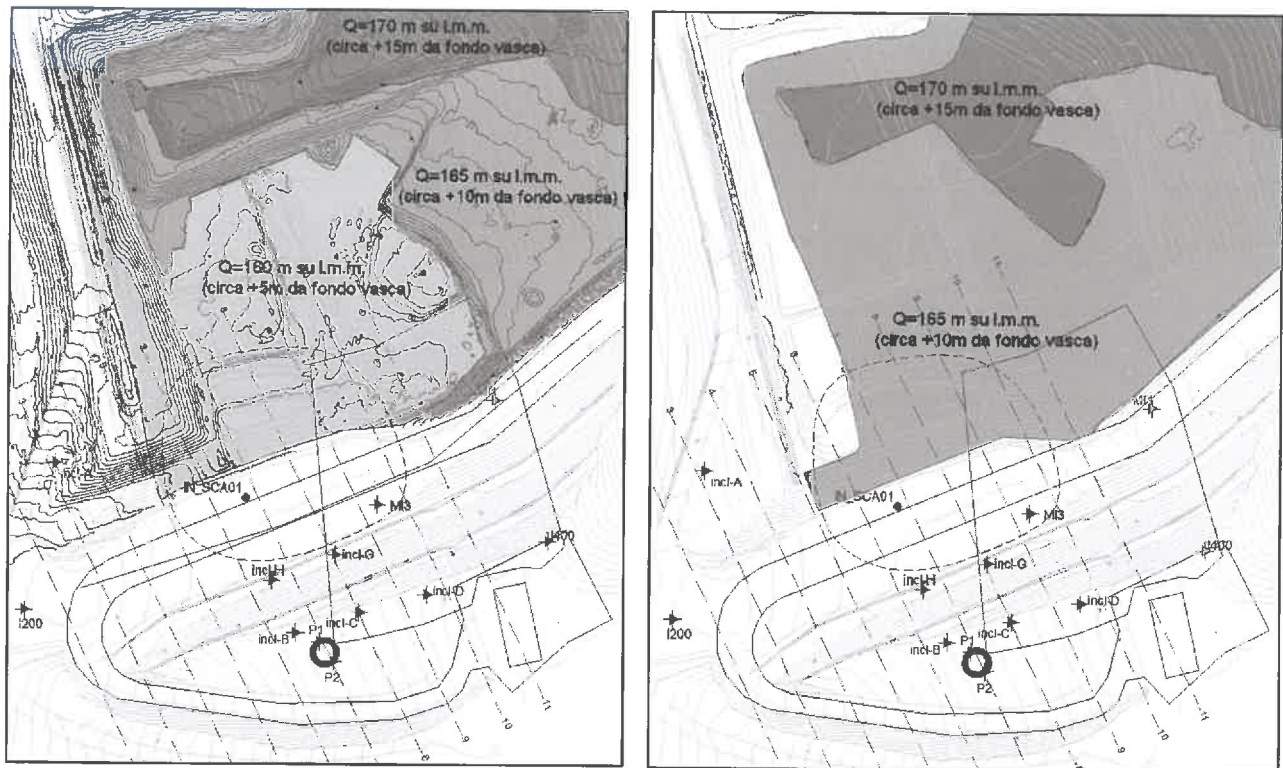


Figura 7 – Rilievo plano-altimetrico della discarica al 29-09-2019 (a sx) e al 15-12-2019 (a dx)



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

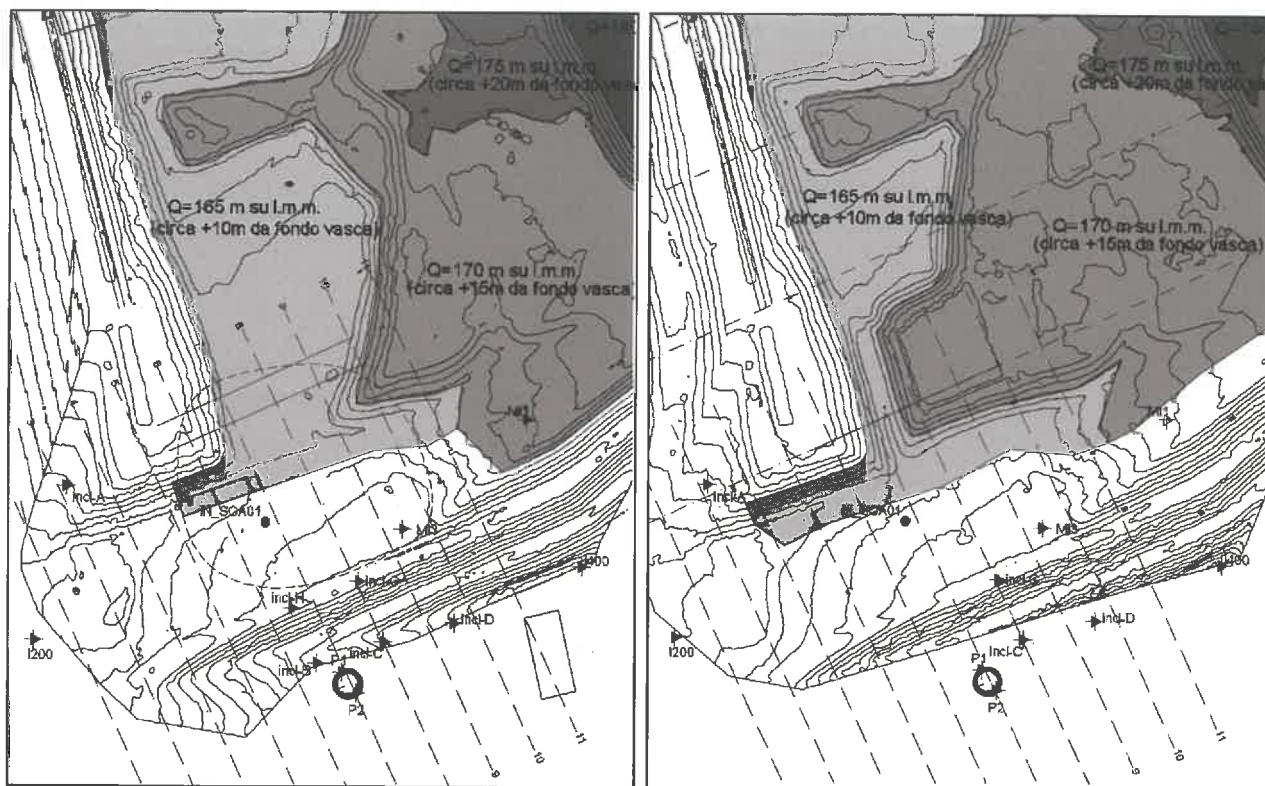


Figura 9 – Rilievo plano-altimetrico della discarica al 05-04-2021 (a sx) e al 26-09-2021 (a dx)

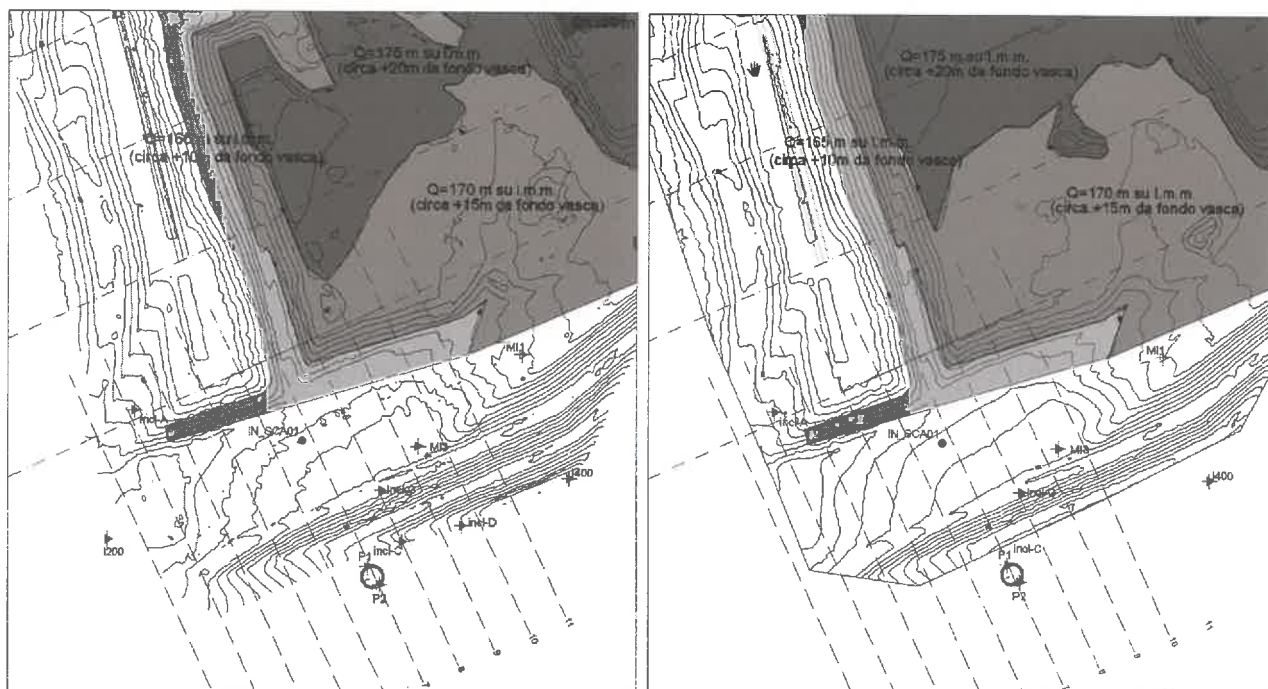


Figura 10 – Rilievo plano-altimetrico della discarica al 12-04-2022 (a sx) e al 12-2022 (a dx)

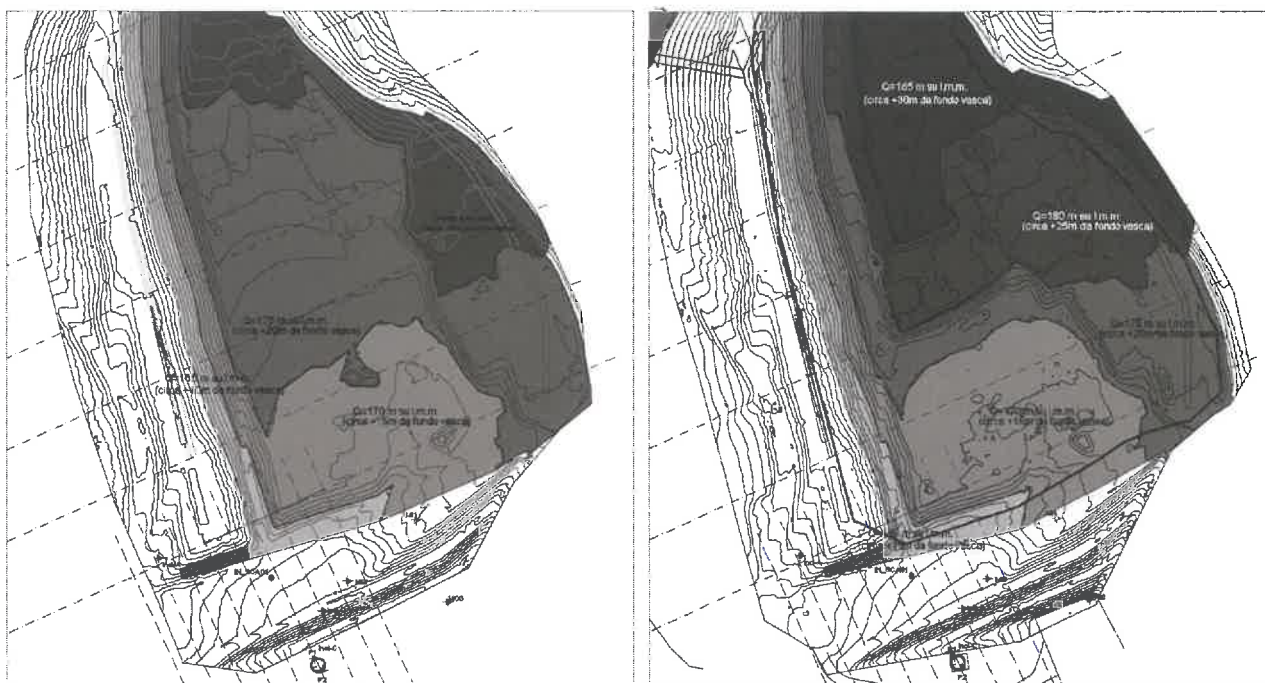


Figura 11 – Rilievo plano-altimetrico della discarica al 12-2022 (a sx) e al 1-10-2023(a dx), esteso a monte

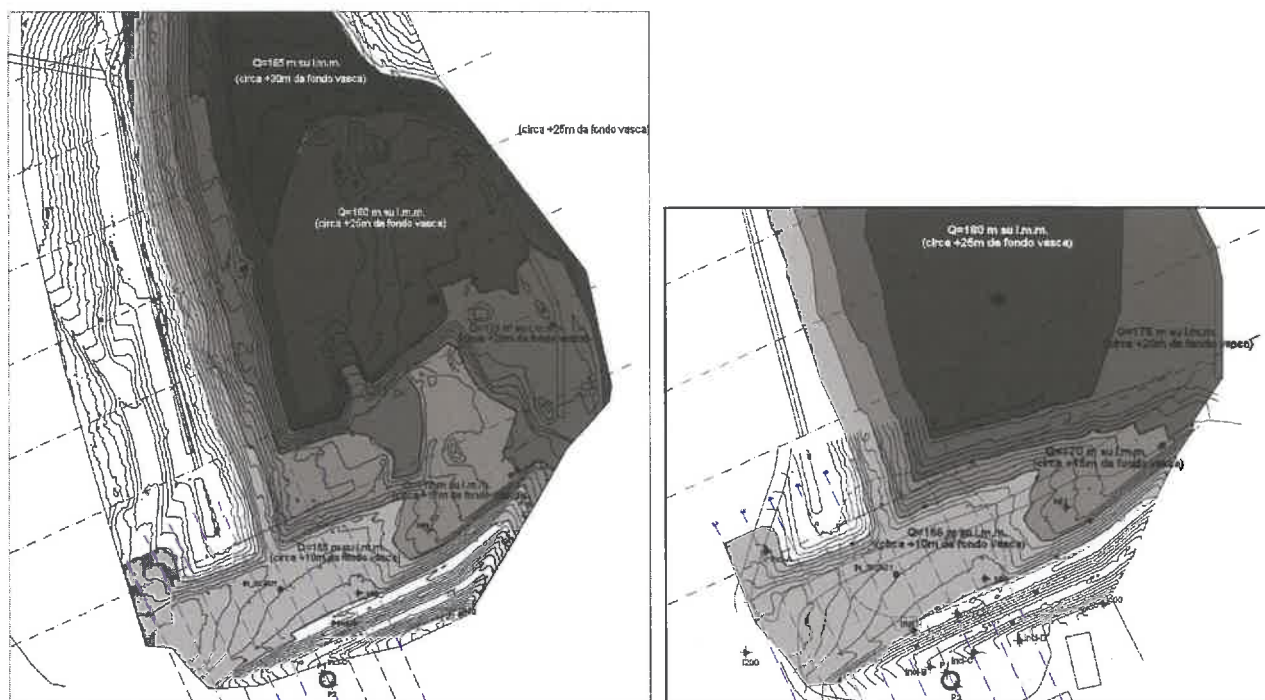


Figura 12 – Rilievi plano-altimetrici della discarica al 30-3-2024 e al 20-12-2024

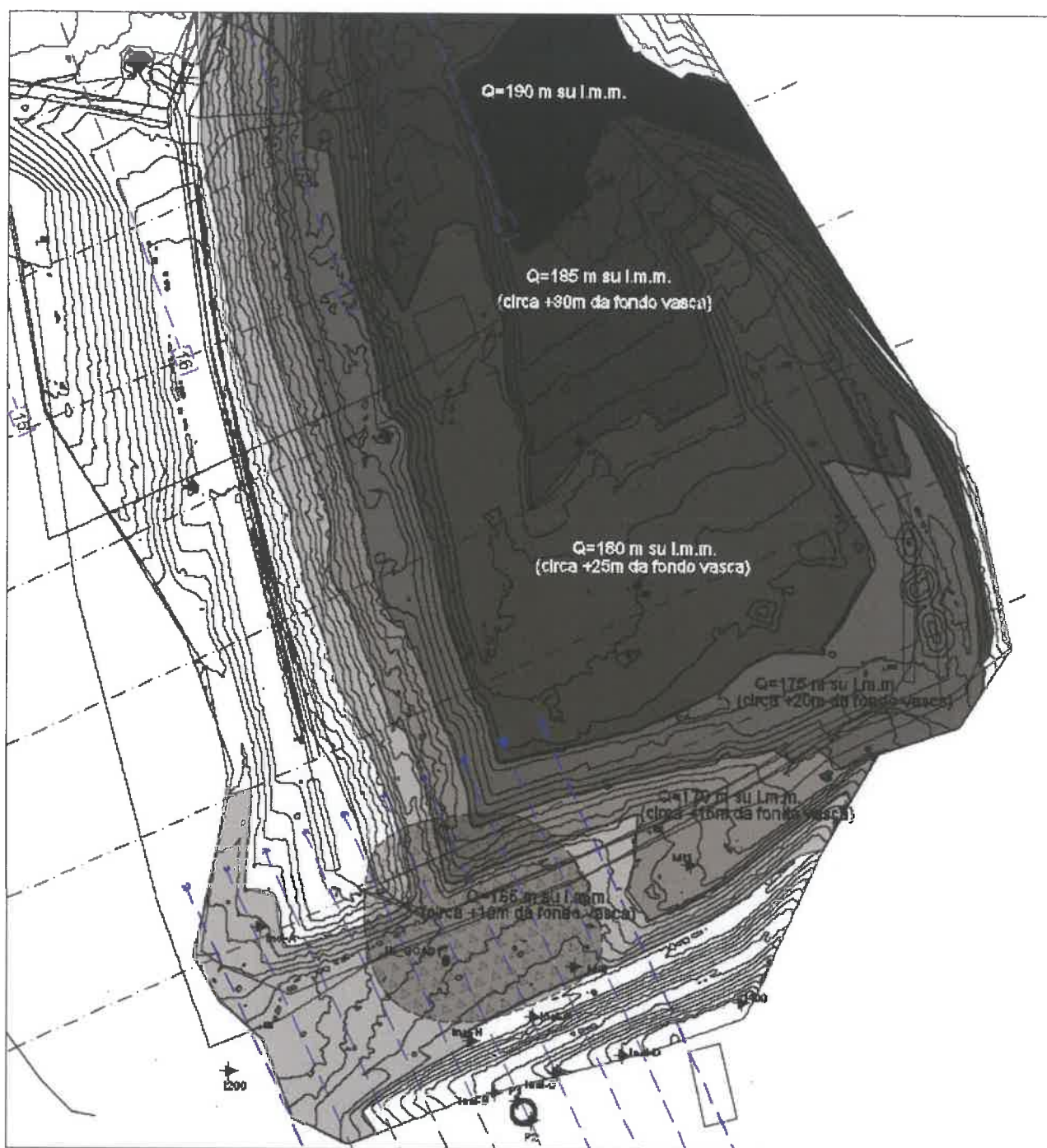


Figura 13 – Rilievo plano-altimetrico della discarica al 30-3-2025

6 RISULTATI AGGIORNATI DEL MONITORAGGIO IN CORSO

Il sistema di monitoraggio attualmente operativo fornisce misure di spostamento in profondità (verticali inclinometriche), 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-gauges). Dal presente report sono stati aggiunti anche i monitoraggi di 2 assestimetri multibase sull'argine e di 2 celle di carico totale e 2 piezometri collocati nell'area di espansione a nord di coltivazione della discarica.

6.1 Monitoraggio inclinometrico

Il monitoraggio inclinometrico dell'arginatura è attivo da dicembre 2016, appena poco 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 14; le caratteristiche della strumentazione installata sono dettagliate in Tabella 1.

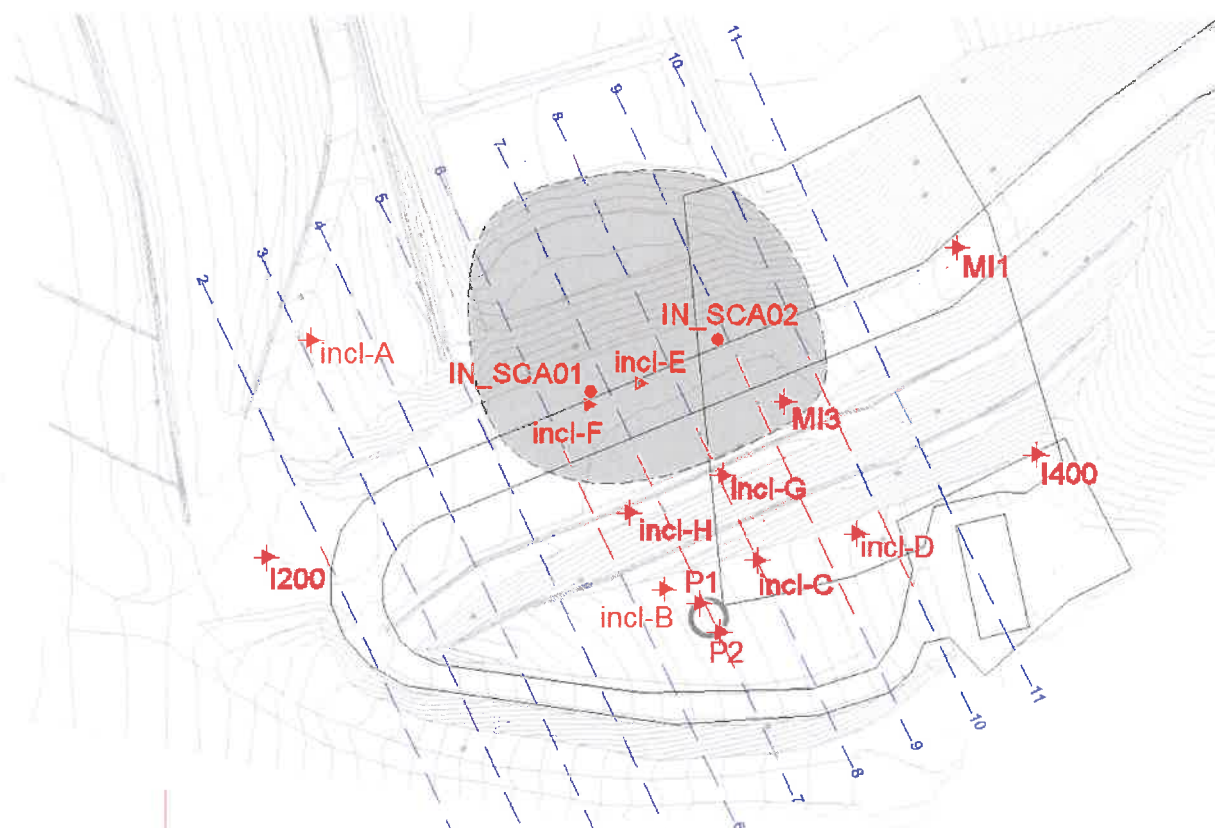


Figura 14 – Planimetria dell'argine con indicazione degli inclinometri operativi ad APRILE 2025

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

Codice	L (m)	DATA lettura 0	Lecture APR.2025	STATO	Commento
I200	13,50	19-07-2017	93	Attivo	
I400	13,50	18-05-2017	100	Attivo	
A	9,50	17-05-2017*	99	Attivo	Deformaz. a z=5,5 m
B	14,50	18-05-2017*	100	Attivo	Deformaz. a z=4 e 8m
C	7,00	18-05-2017*	100	Attivo	Def. diffusa tra 0 e 4 m
D	7,00	18-05-2017*	100	Attivo	Def. diffusa tra 0 e 3 m
E	13,00	17-05-2017	100	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*	100	Attivo	Deformaz. a z=3 e 12 m
H	19,50	18-05-2017*	100	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	82	Attivo	Deformaz. a z=16 e 23 m
M3	20,50	31-10-2018	82	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	83	Attivo	Deformaz. a z=14 m
SCA02	24,00	19-04-2018	87	Attivo	Interrotto a z=13,5 m
P2 (pozzo, l. sud)	14,50	28/06/2019	68	Attivo	
P1 (pozzo, l. nord)	14,50	28/06/2019	68	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 15 mostra gli spostamenti orizzontali alla quota del piano campagna registrati nel periodo **ottobre 2018 – aprile 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 140 mm in M1 e M3). L'effetto del riempimento della discarica sugli inclinometri H, G ed M3 risulta sempre evidente.

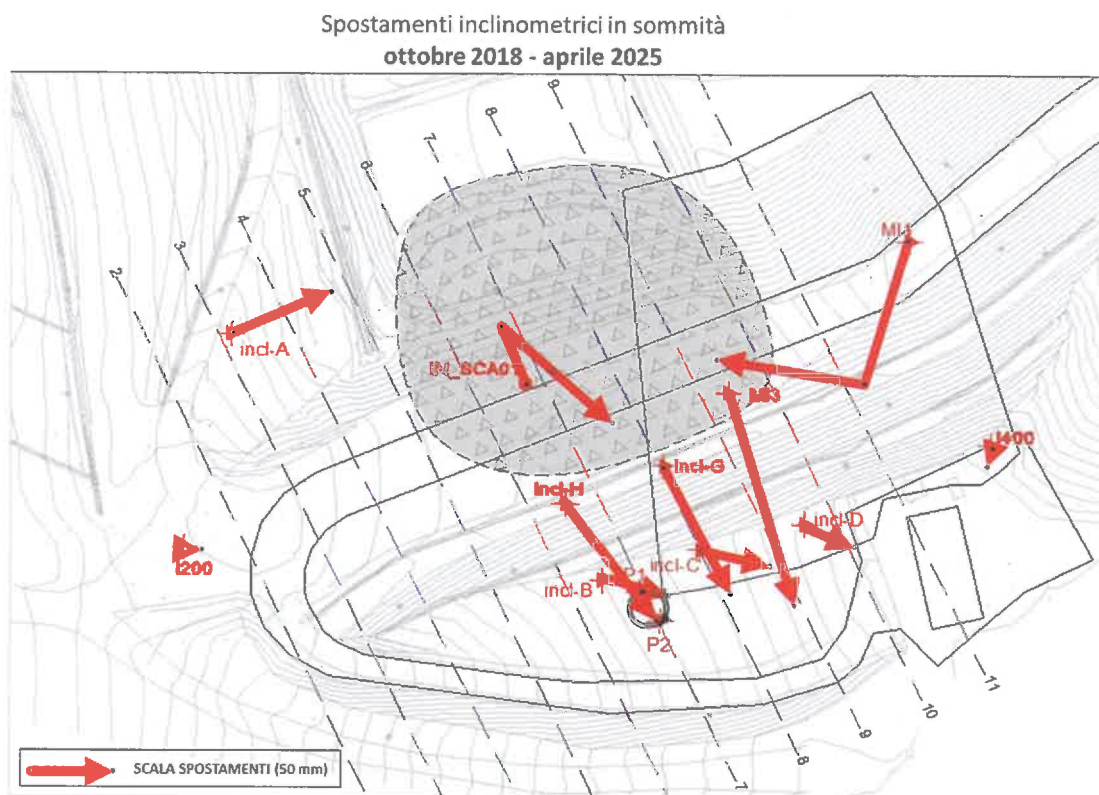


Figura 15 – Spostamenti inclinometrici nel periodo OTTOBRE 2018 – APRILE 2025

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 a cui si è aggiunto il **dettaglio dello spostamento dell'ultimo quadrimestre DICEMBRE 2024 – APRILE 2025** (Figura 22). In Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19 e Figura 20 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 M11 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).

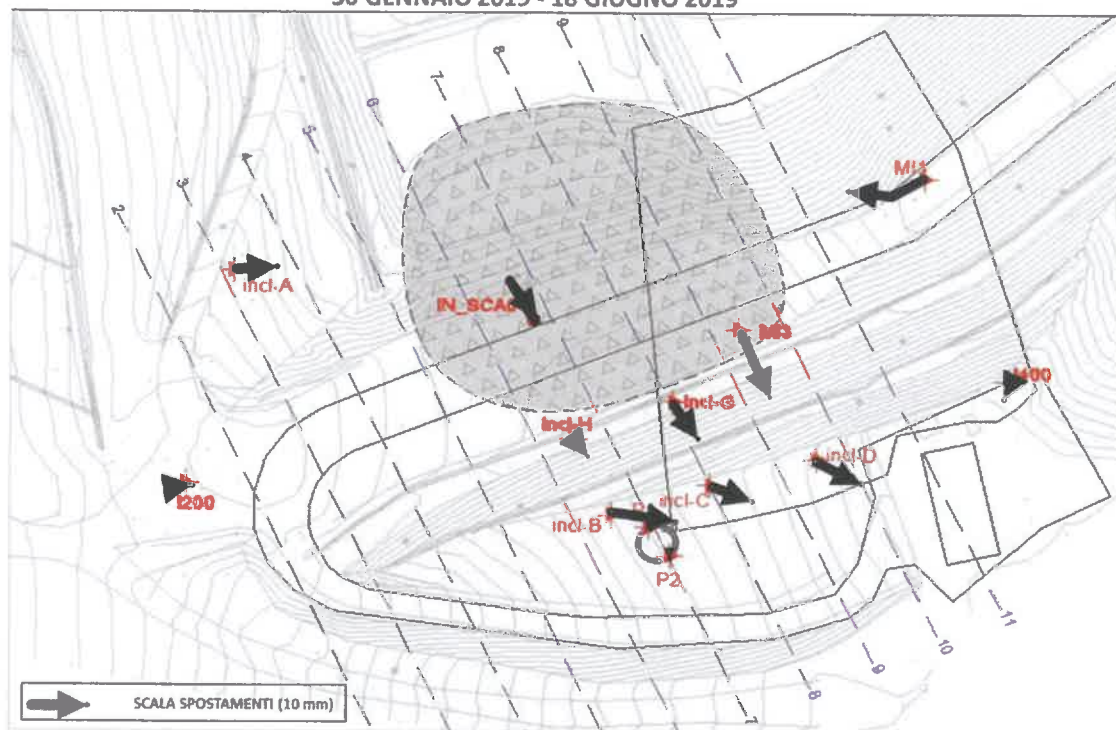
Nel semestre giugno - dicembre 2023 si osserva la prosecuzione dei trend deformativi precedentemente evidenziati. Si osserva in particolare che gli inclinometri sulla cresta arginale (G-H-M3) mostrano degli spostamenti in superficie di alcuni millimetri pur in assenza di cause perturbatrici chiaramente 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.

Nell'ultimo quadrimestre dicembre 2024 – aprile 2025, si osserva una situazione quasi totalmente immutata rispetto al periodo precedente. Gli unici spostamenti di rilievo sono un incremento di 2 mm in M3 ed un incremento di 7 mm in M1, sui trend precedenti.

Spostamenti inclinometrici in sommità
30 GENNAIO 2019 - 18 GIUGNO 2019



Spostamenti inclinometrici in sommità
18 GIUGNO 2019 - 23 GENNAIO 2020

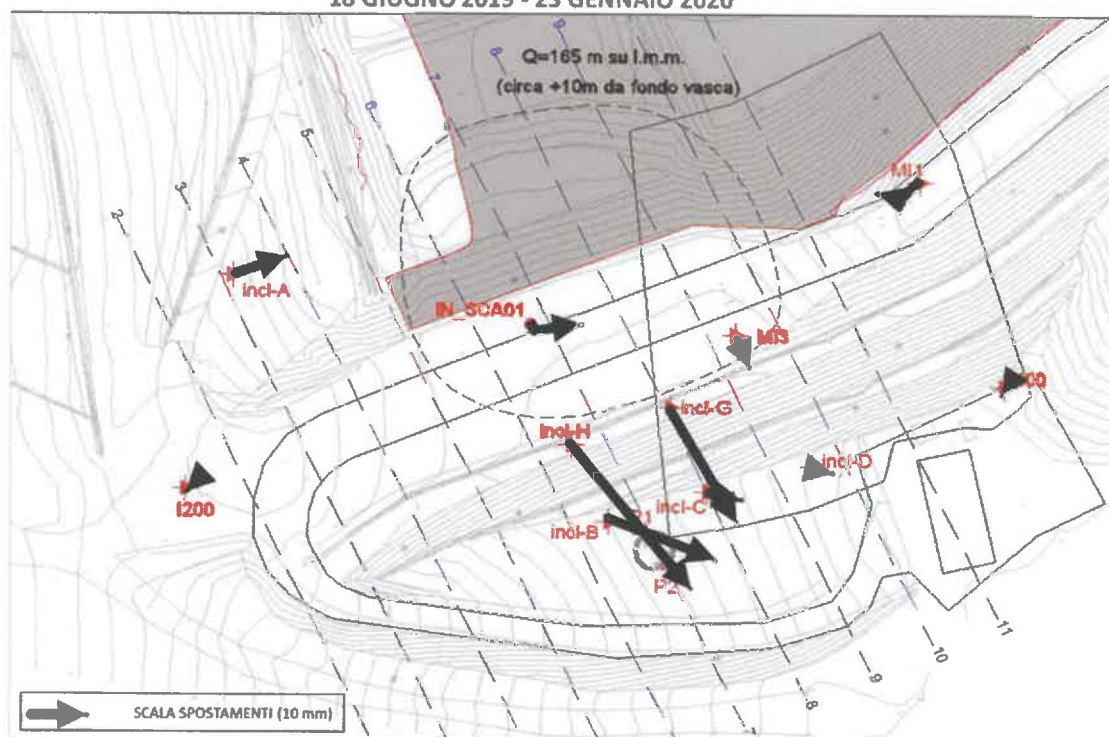
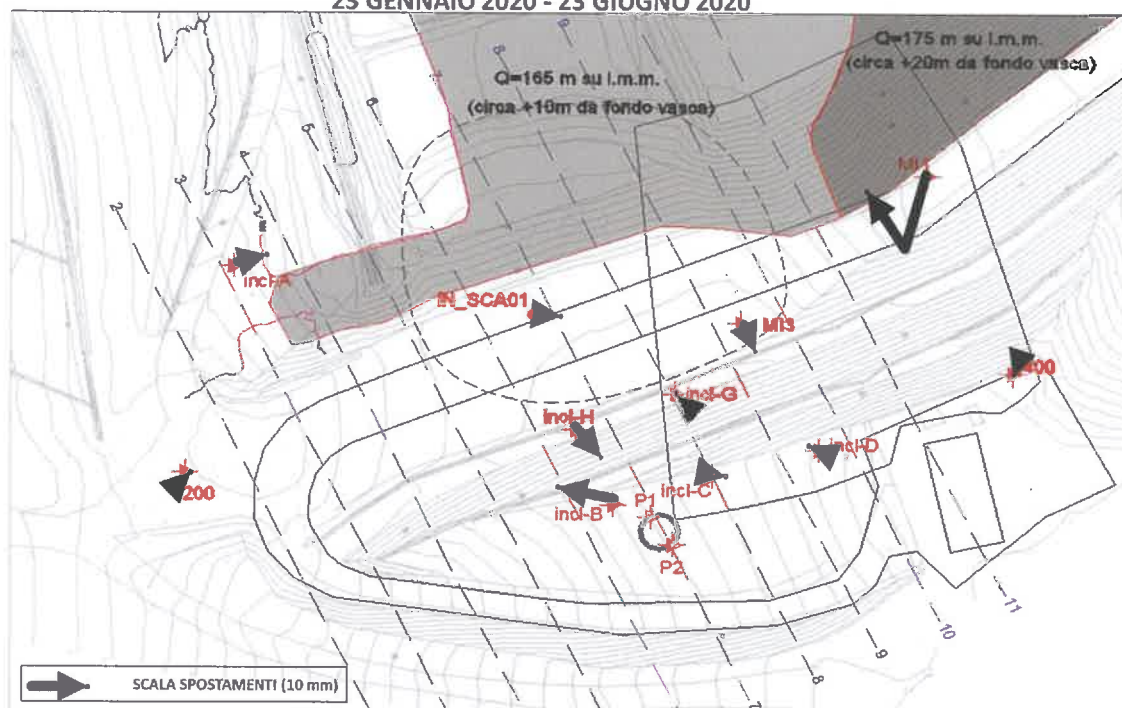


Figura 16 – Spostamenti inclinometrici GEN - GIU 2019 e GIU 2019 – GEN 2020

Spostamenti inclinometrici in sommità
23 GENNAIO 2020 - 23 GIUGNO 2020



Spostamenti inclinometrici in sommità
23 GIUGNO 2020 - 20 GENNAIO 2021

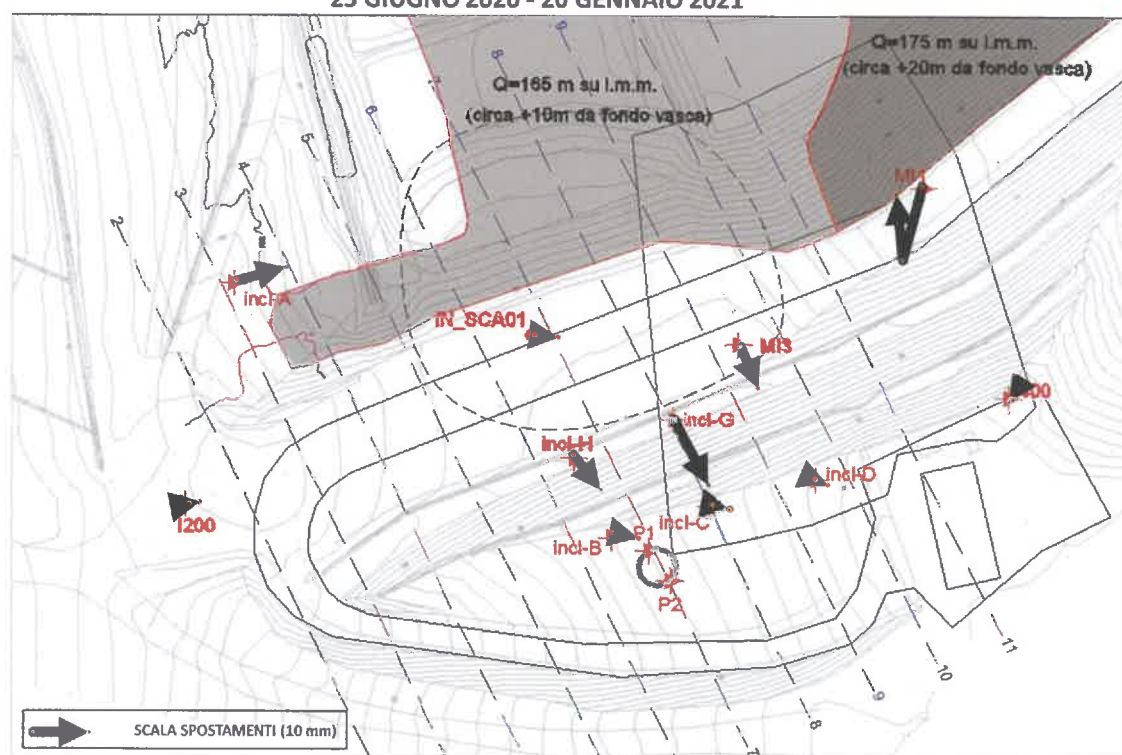
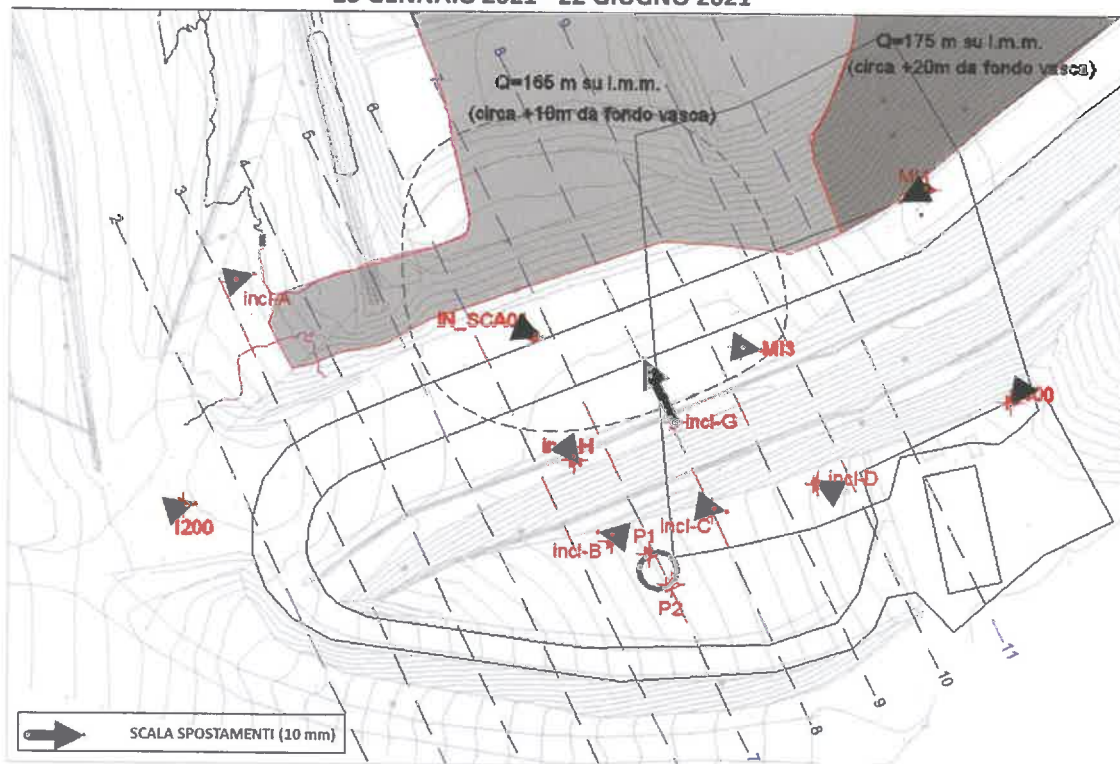


Figura 17 – Spostamenti inclinometrici GEN - GIU 2020 e GIU 2020 - GEN 2021

Spostamenti inclinometrici in sommità
20 GENNAIO 2021 - 22 GIUGNO 2021



Spostamenti inclinometrici in sommità
22 GIUGNO 2021 - 4 GENNAIO 2022

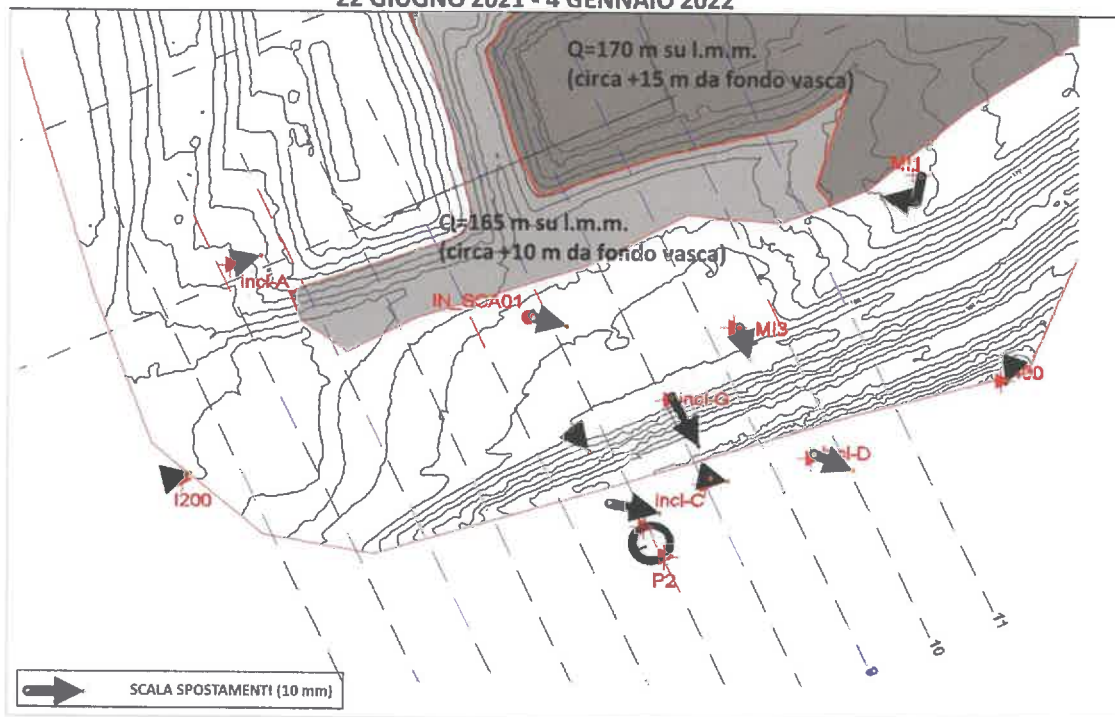


Figura 18 – Spostamenti inclinometrici GEN – GIU 2021 e GIU 2021 – GEN 2022

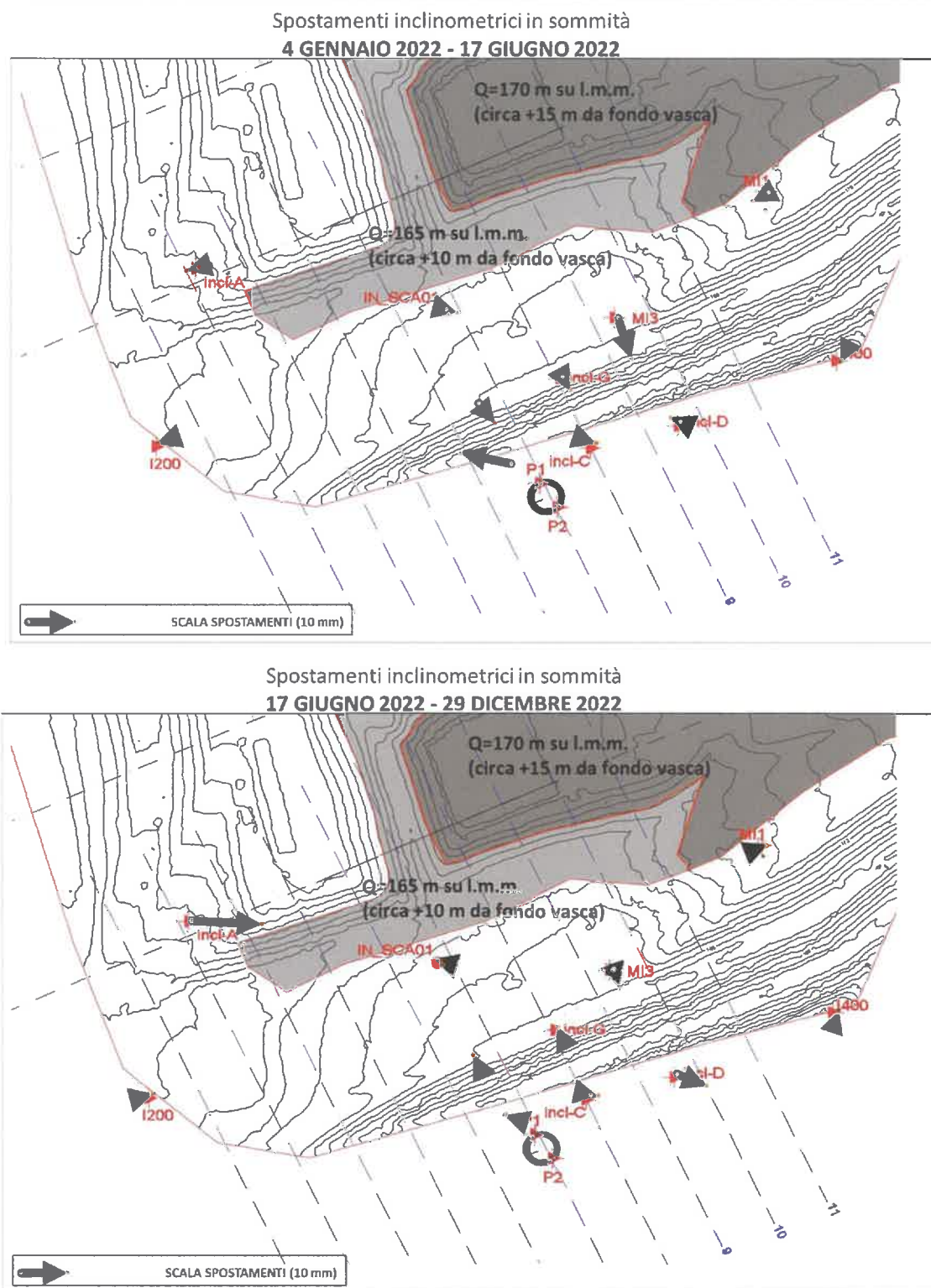
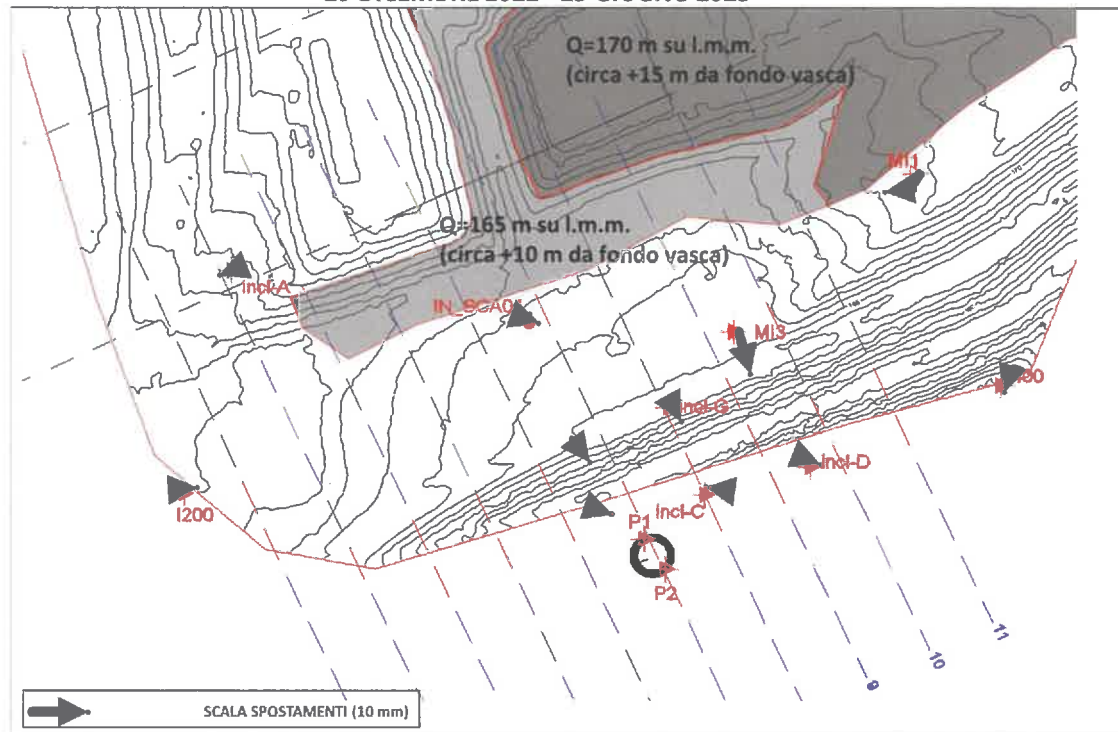


Figura 19 – Spostamenti inclinometrici GEN – GIU 2022 e GIU – DIC 2022

Spostamenti inclinometrici in sommità
29 DICEMBRE 2022 - 29 GIUGNO 2023



Spostamenti inclinometrici in sommità
29 GIUGNO 2023 - 20 DICEMBRE 2023

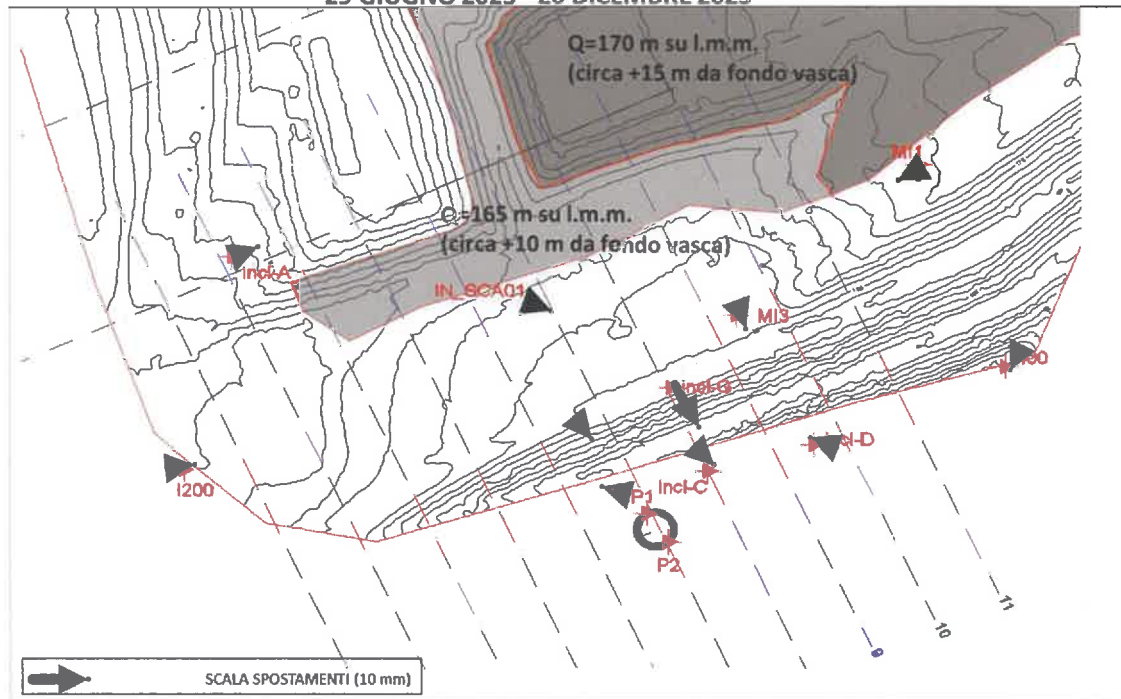
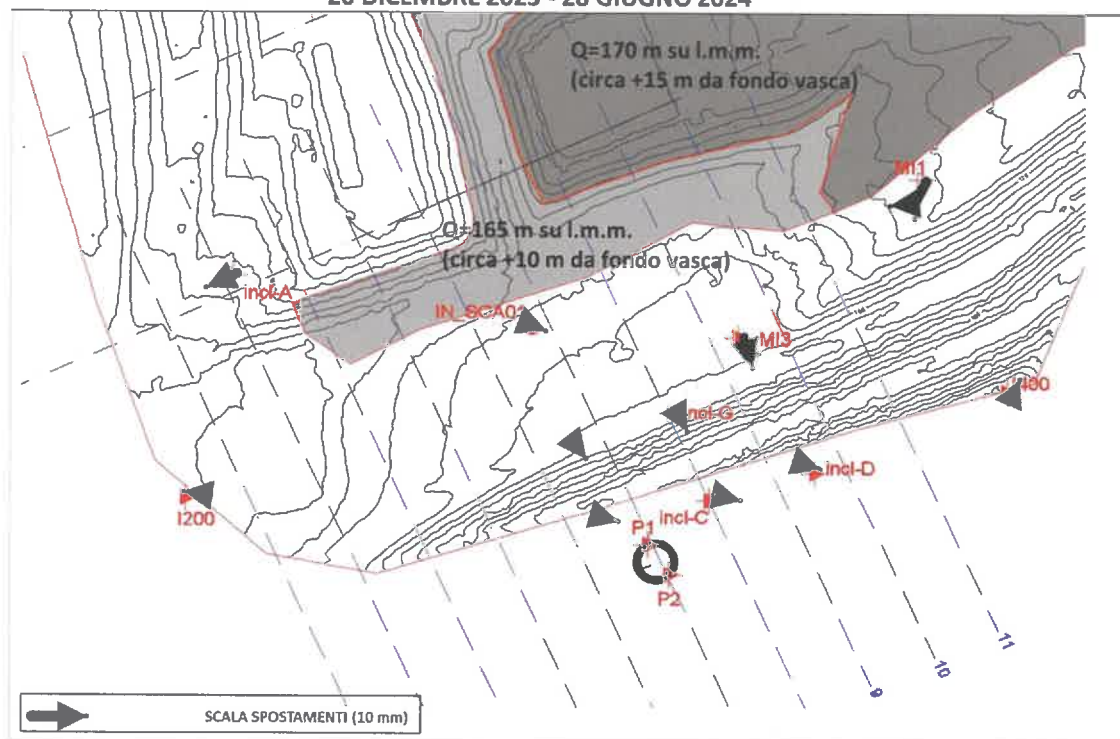


Figura 20 – Spostamenti inclinometrici DIC 2022 – GIU 2023 e GIU - DIC 2023

Spostamenti inclinometrici in sommità
20 DICEMBRE 2023 - 28 GIUGNO 2024



Spostamenti inclinometrici in sommità
28 GIUGNO 2024 - 27 DICEMBRE 2024

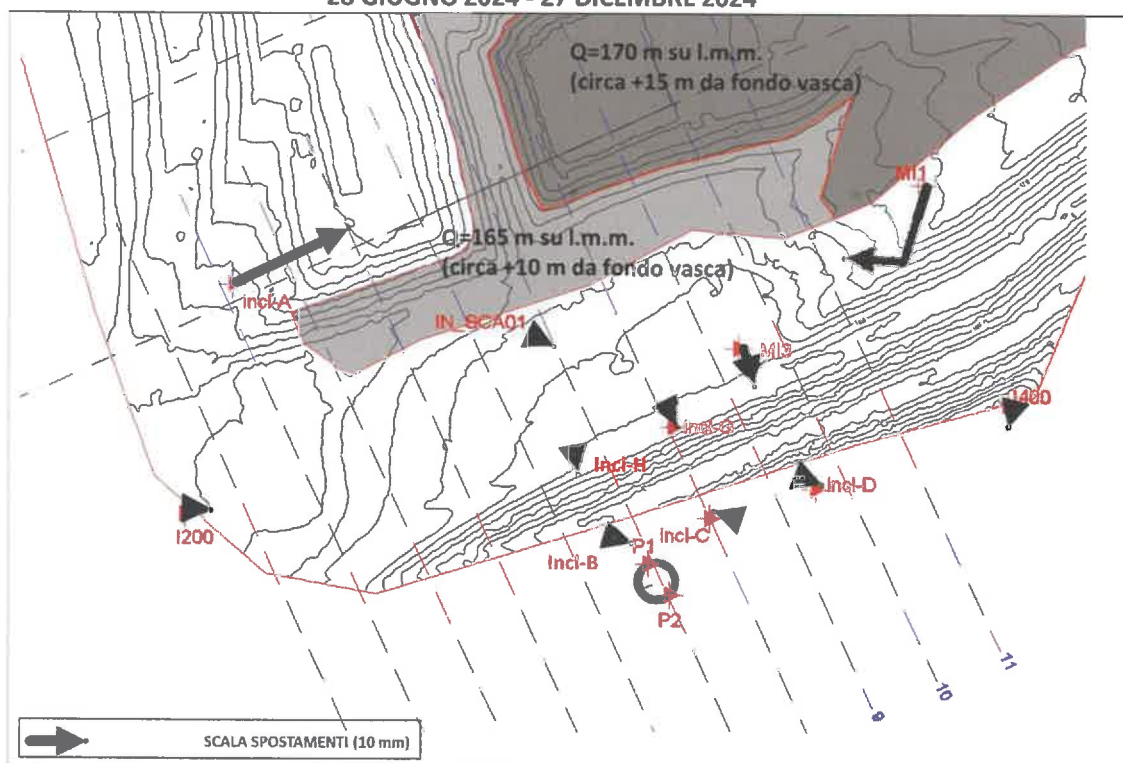


Figura 21 – Spostamenti inclinometrici DIC 2023 – GIU 2024 e GIU - DIC 2024

Spostamenti inclinometrici in sommità
27 DICEMBRE 2024 - 23 APRILE 2025

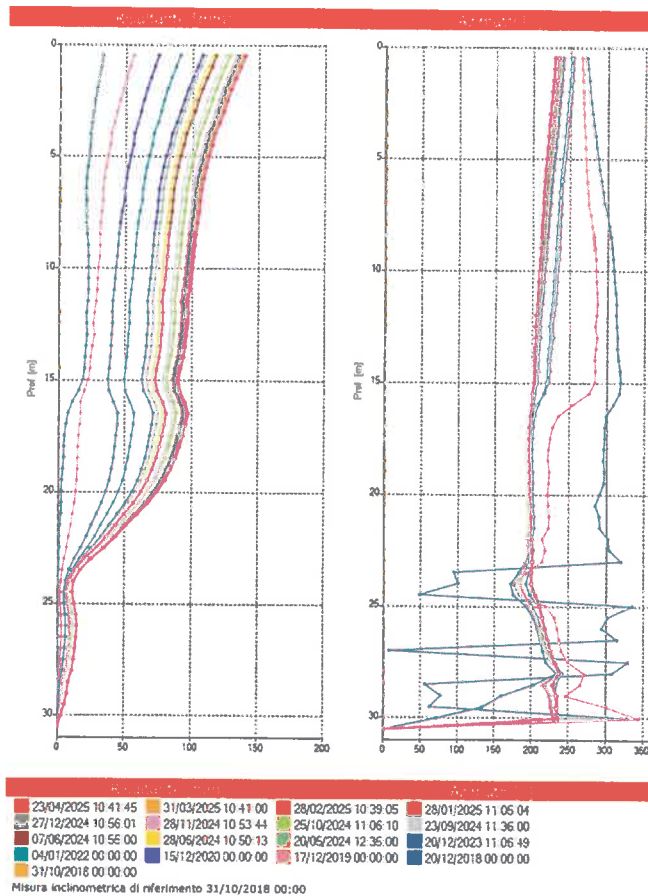
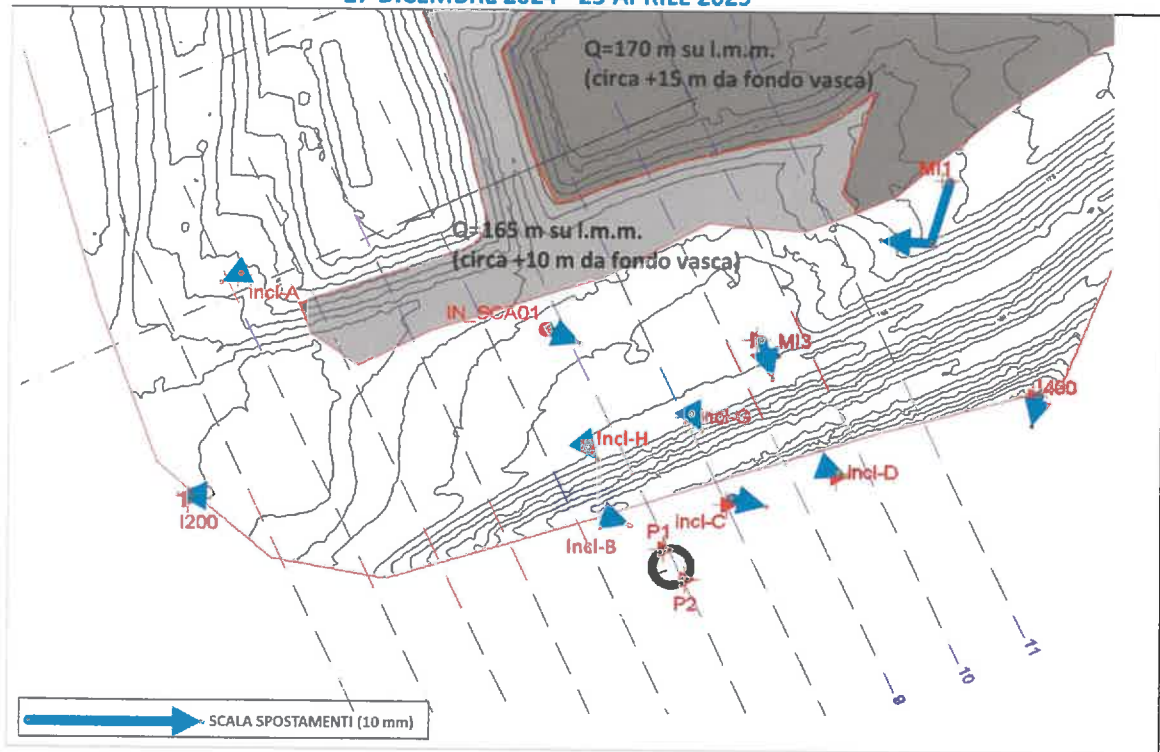


Figura 22 – Spostamenti inclinometrici DIC 2024 – APR 2025 (in scala di rappresentazione amplificata) e deformate inclinometriche della verticale M1

In Figura 23 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.

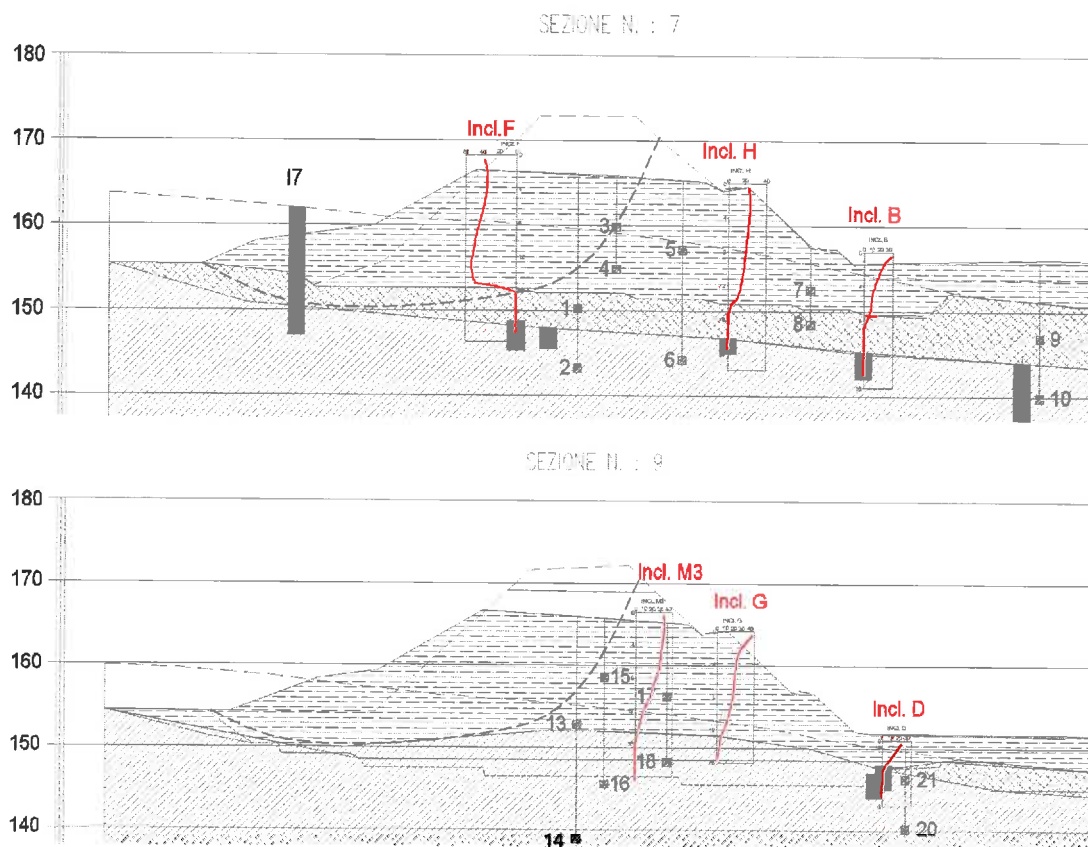


Figura 23 – Forma delle deformate inclinometriche più significative delle sezioni n.7 e n.9 dell'argine

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 24, identificavano il cinematismo 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 tergo 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.

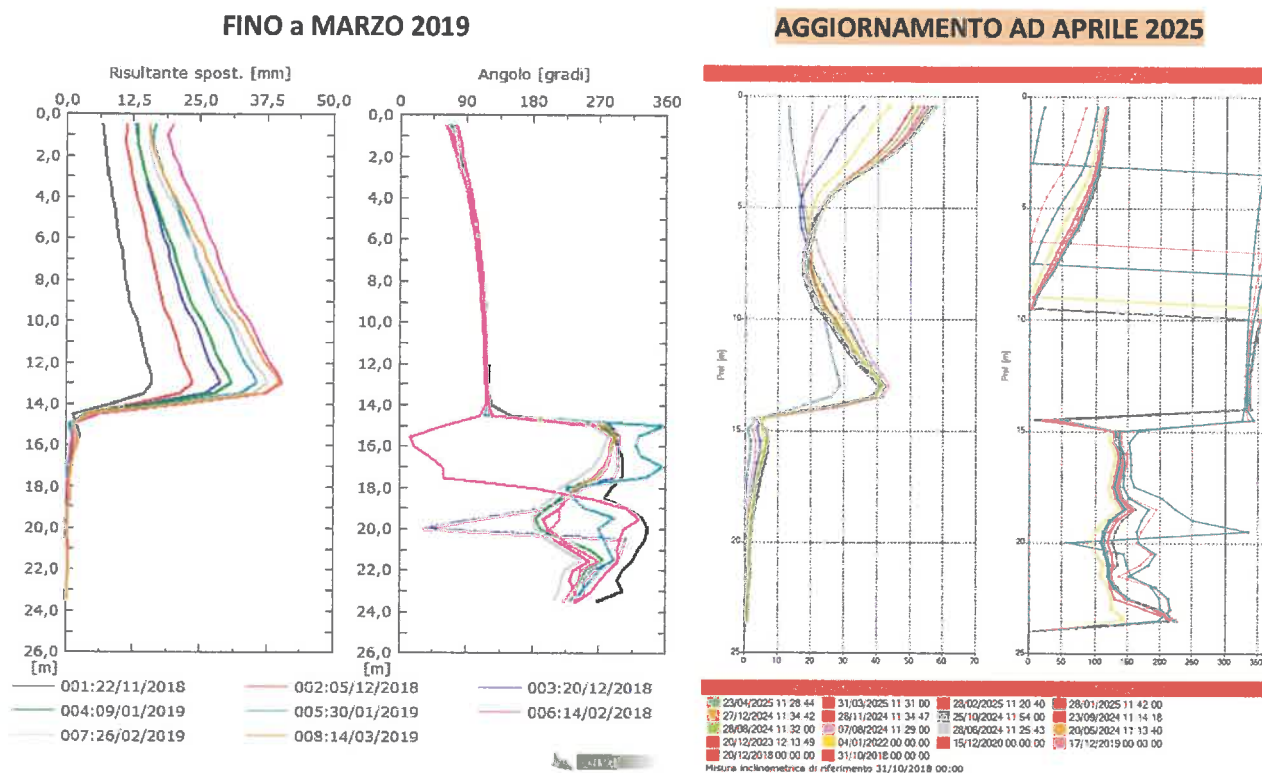


Figura 24 – Inclinometro SCA01 (zero al 31-10-2018): deformata differenziale integrale dal basso e azimut nel periodo iniziale con il dissesto interno attivo (a sx) e nel periodo più recente (a dx)

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 25), maggiormente indicativi della risposta dell'opera alle lavorazioni nel periodo di osservazione.



Figura 25 – Inclinometri selezionati per il monitoraggio dell'argine durante il riempimento della discarica

In Figura 26 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 (NUOVI DATI): nell'ultimo periodo la velocità di deformazione è stata quasi nulla sugli inclinometri G e H, mentre l'inclinometro M3 prosegue sul blando trend deformativo precedente; nel seguito si propone un approfondimento su questi strumenti.

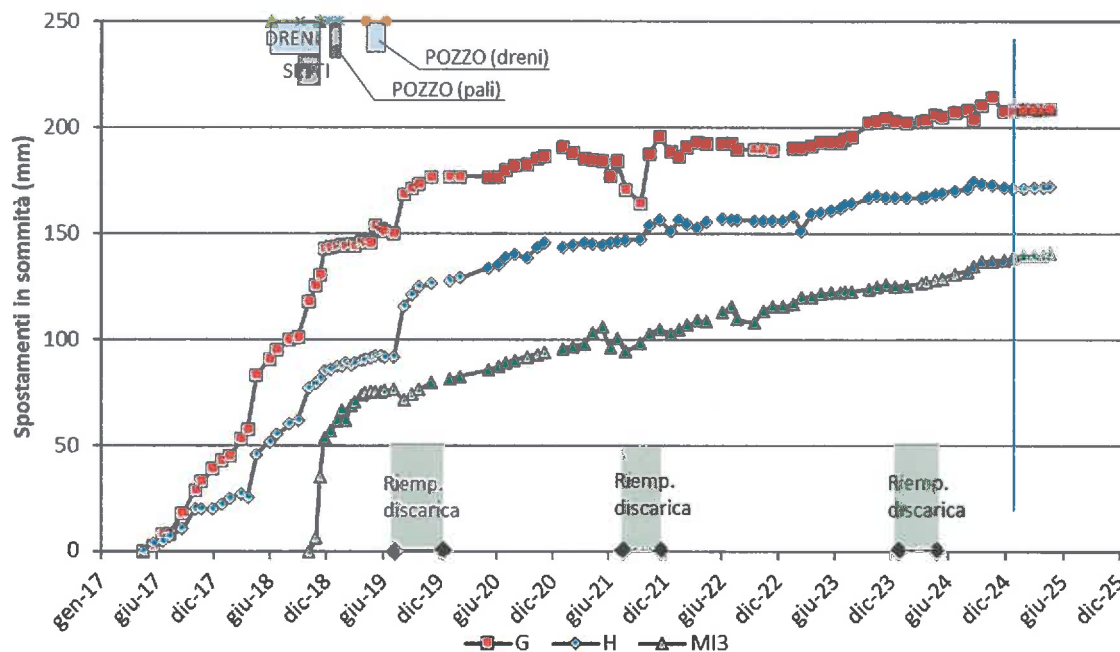


Figura 26 – Andamento nel tempo degli spostamenti in sommità degli Inclinometri G, H e M3

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 27 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. **Nell'ultimo 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 "schiacciamento" del tubo originato da un abbassamento del rilevato. Nel prosieguo del

monitoraggio si presterà attenzione a questo aspetto, specialmente appena saranno disponibili i dati dei nuovi assestimetri collocati sull'arginatura.

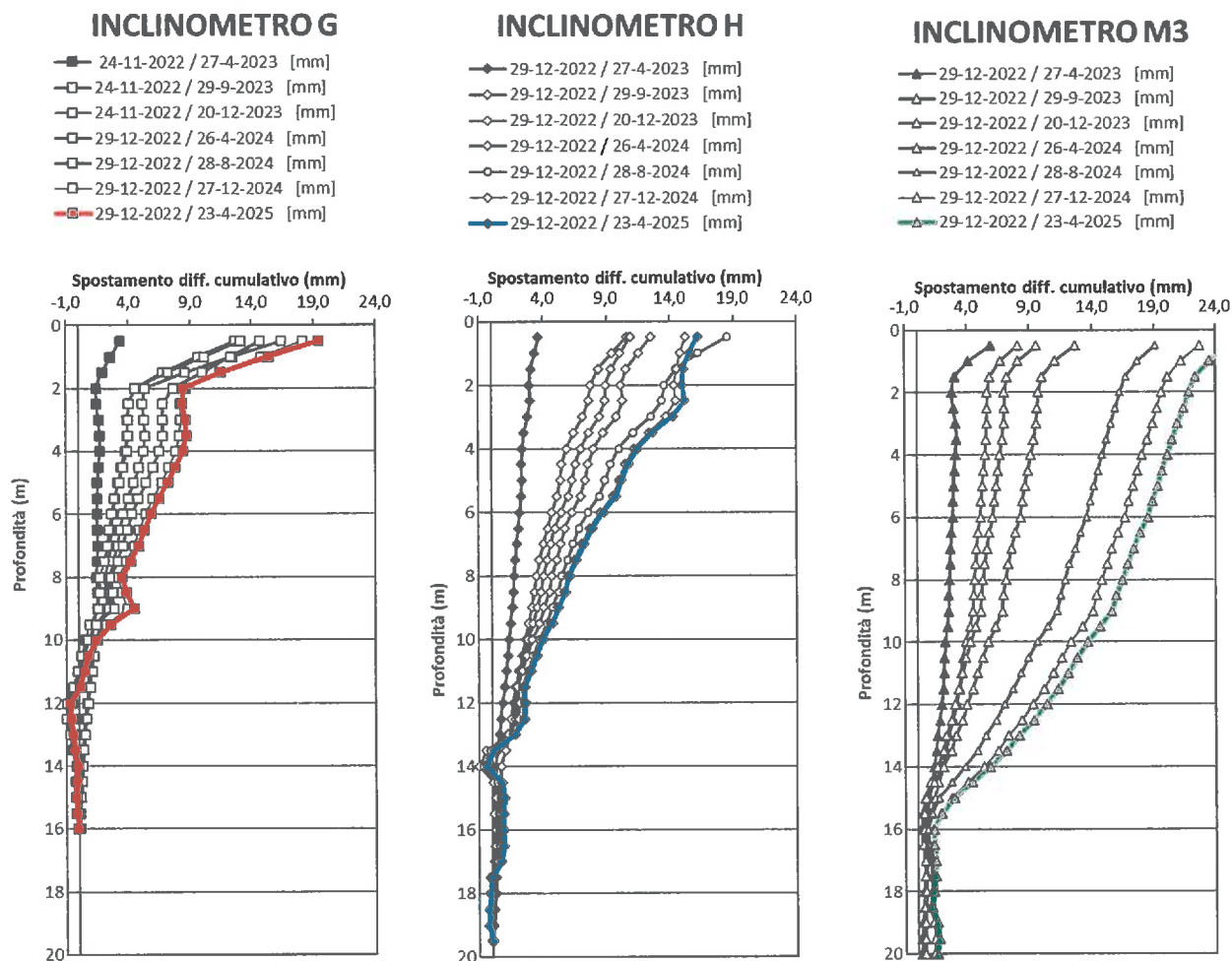


Figura 27 – Inclinatori G (zero al 24-11-2022), H (zero al 29-12-2022) e M3 (zero al 29-12-2022): deformata differenziale integrale dal basso per quadriestri successivi

6.2 Monitoraggio piezometrico

La planimetria di Figura 28 mostra la disposizione planimetrica degli strumenti di monitoraggio piezometrico. Si tratta di piezometri a tubo aperto (PA, PB, PC e 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 29.

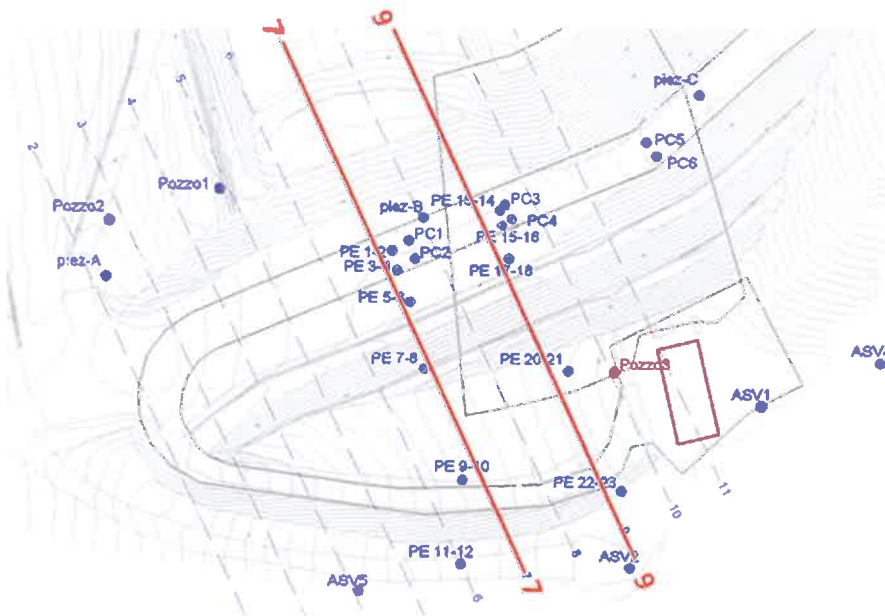


Figura 28 – Planimetria dell'argine con indicazione delle verticali di monitoraggio piezometrico

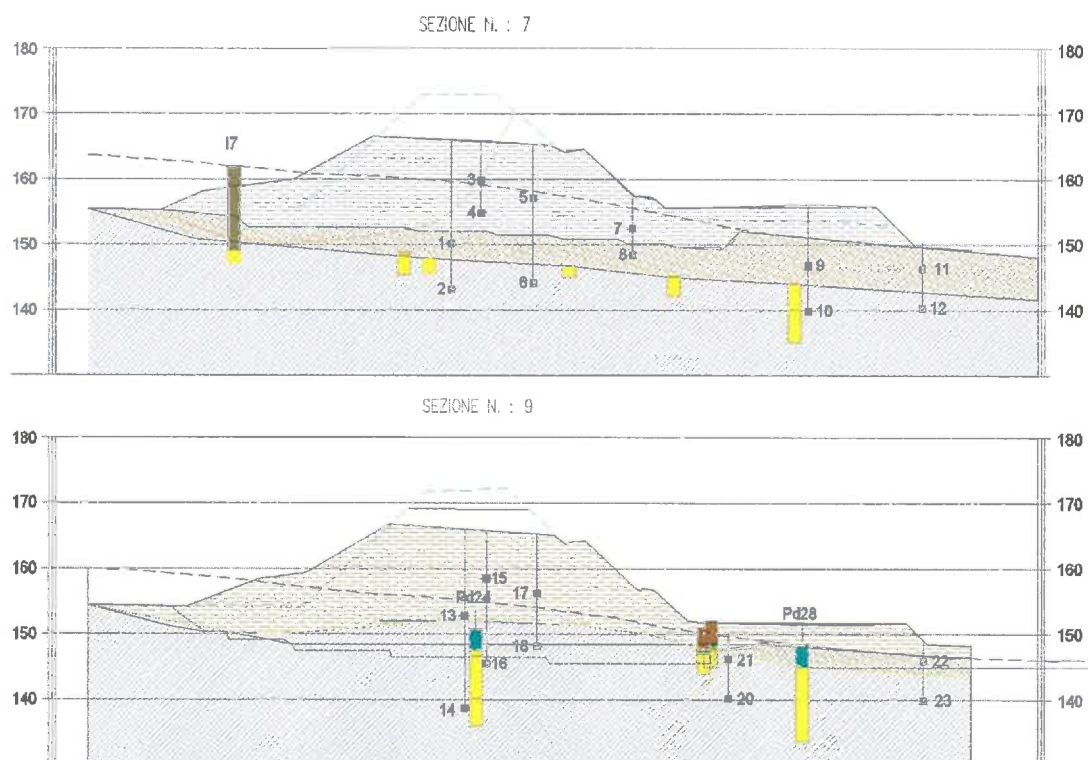


Figura 29 – Sezioni n.7 e n.9 dell'argine con indicazione della posizione delle celle piezometriche elettriche

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 APRILE 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 (APRILE 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 30 e Figura 31. 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 a **7 anni esatti**.

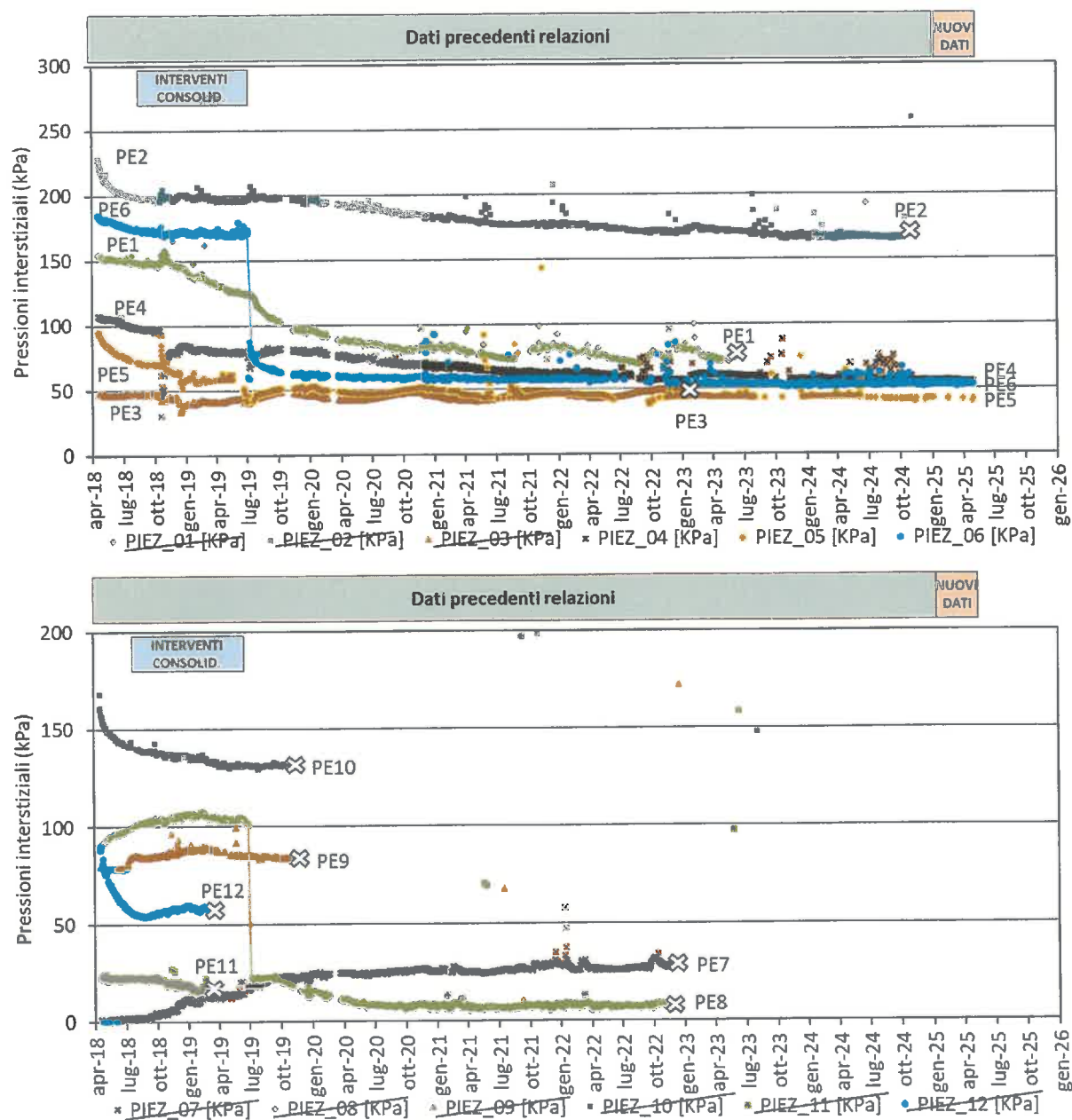


Figura 30 – Andamento nel tempo delle pressioni interstiziali misurate dalle celle PE1-PE12

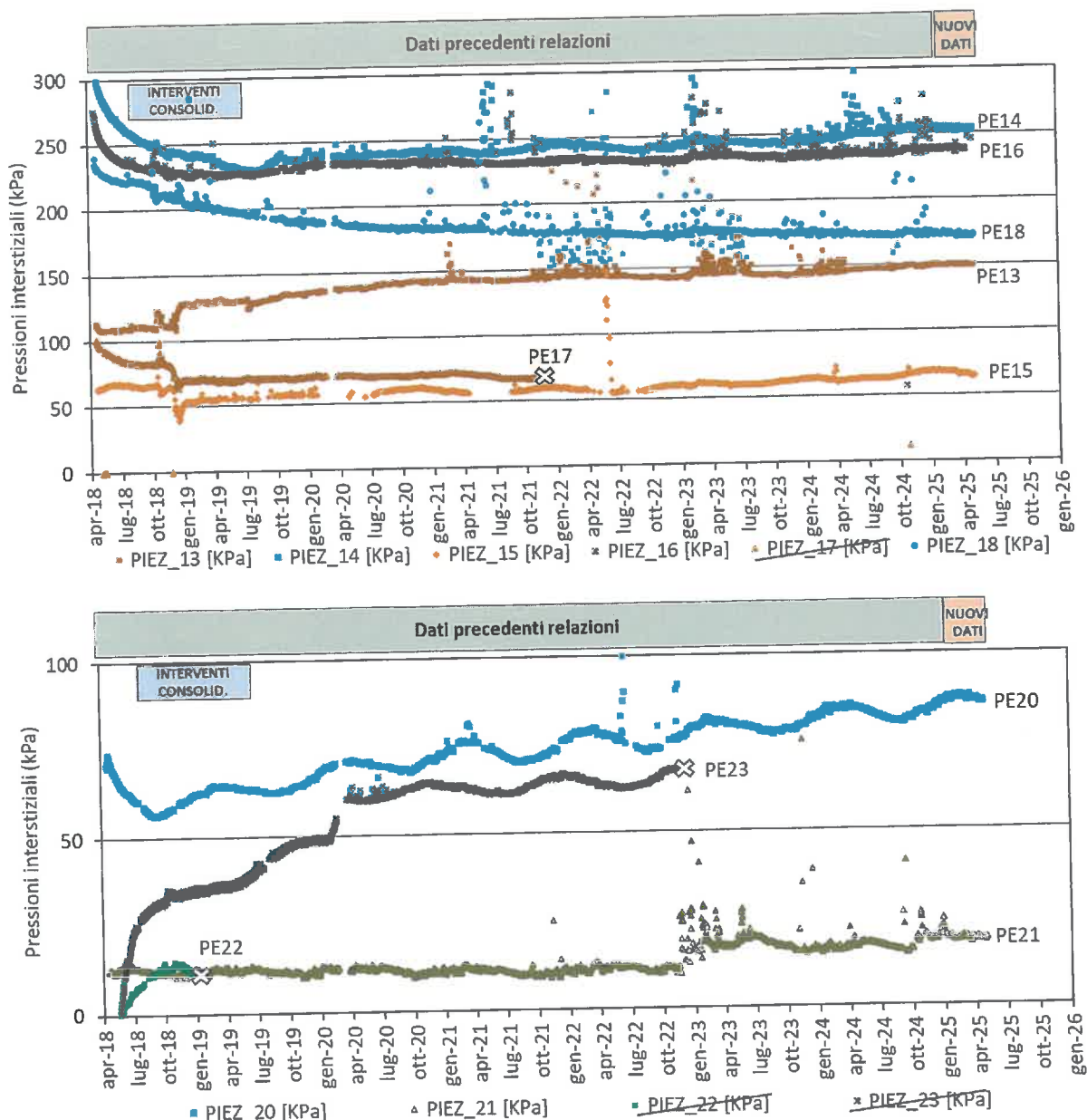


Figura 31 – Andamento nel tempo delle pressioni interstiziali misurate dalle celle PE13-PE23

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 32 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, 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).

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.

In Figura 33 e Figura 34 sono rappresentate le altezze piezometriche misurate dai piezometri elettrici attivi sulle sezioni arginali n.7 e n.9, confrontando le misure del 12 giugno 2018 con quelle aggiornate al 31 agosto 2023 (ancora rappresentative della situazione attuale). Si può osservare che le pressioni interstiziali nella sezione n.7 mostrano una generalizzata e significativa diminuzione tra il 2018 ed il 2022, mentre tale riduzione è molto più limitata nella sezione n.9. È anche evidente la riduzione dei sensori attivi nel periodo recente, specialmente nella sezione n.7.

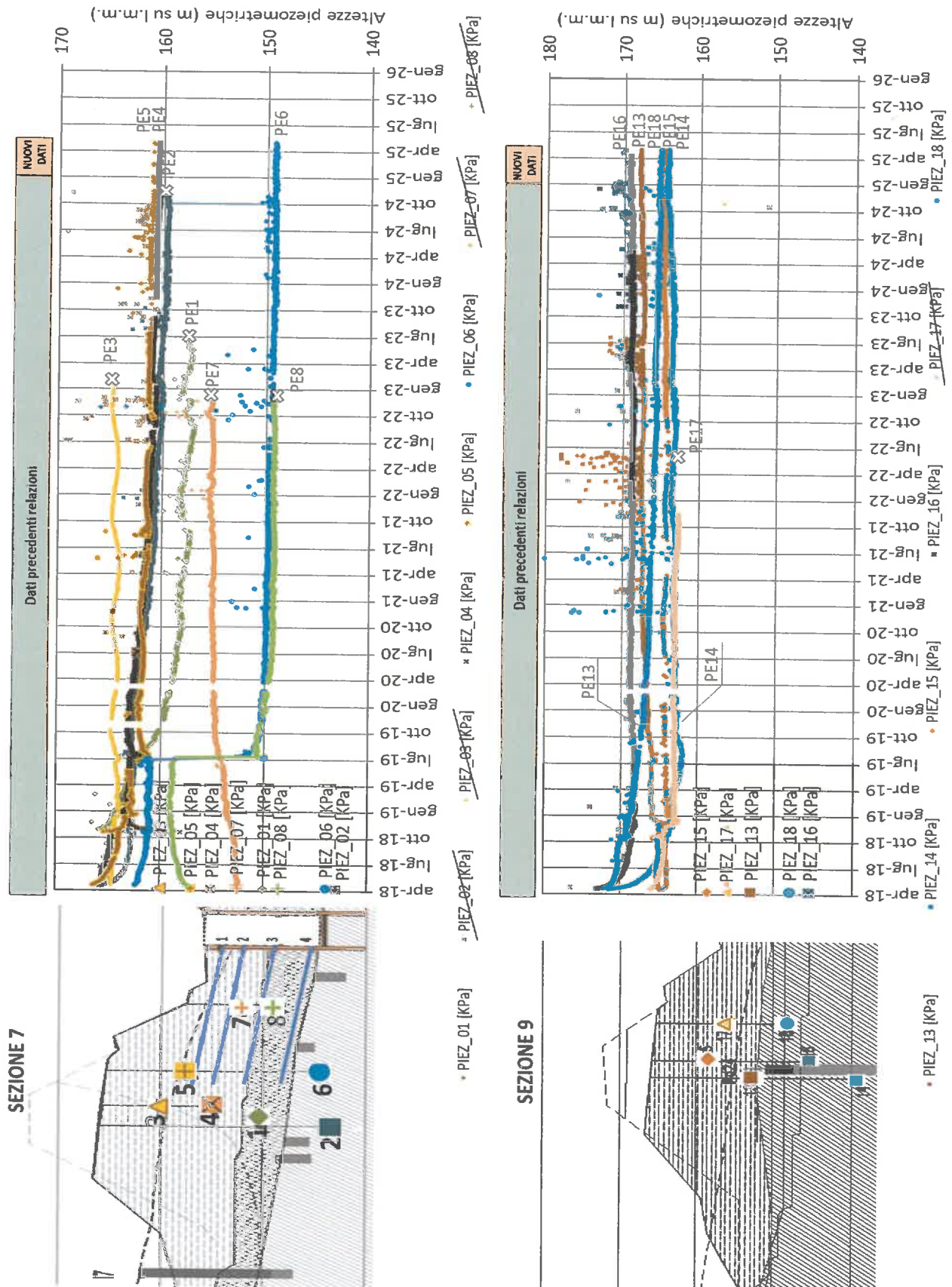
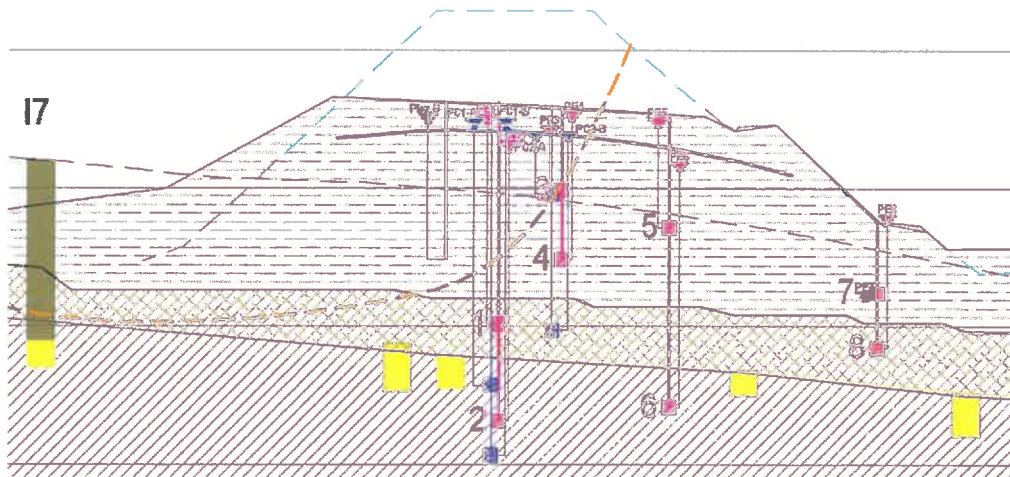


Figura 32 – Andamento nel tempo delle altezze piezometriche più significative nelle sez. 7 e 9 dell'argine

SEZIONE N.7 Letture al 12-06-2018



SEZIONE N.7 Letture al 31-08-2023

-aggiornamento 31-08-2023

SEZIONE N. : 7

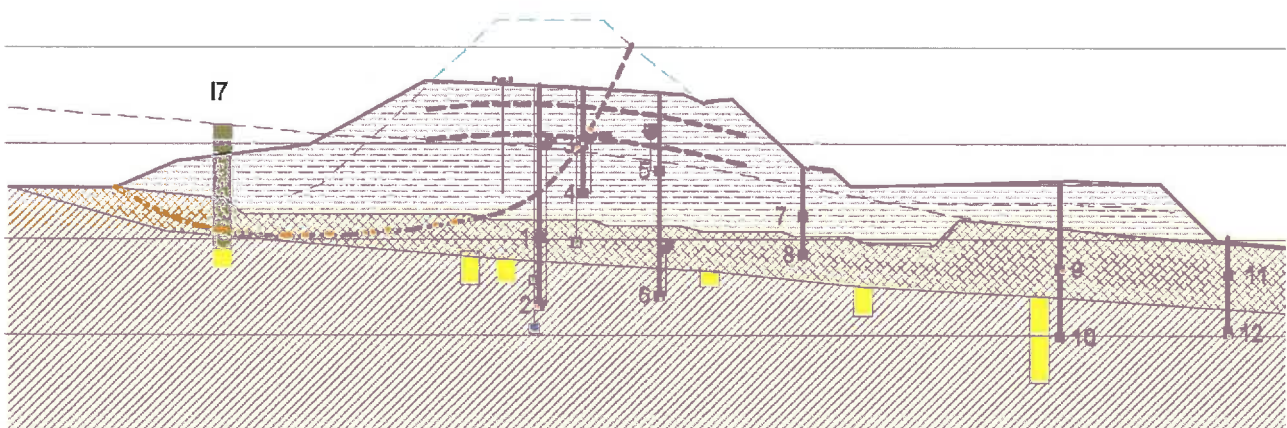
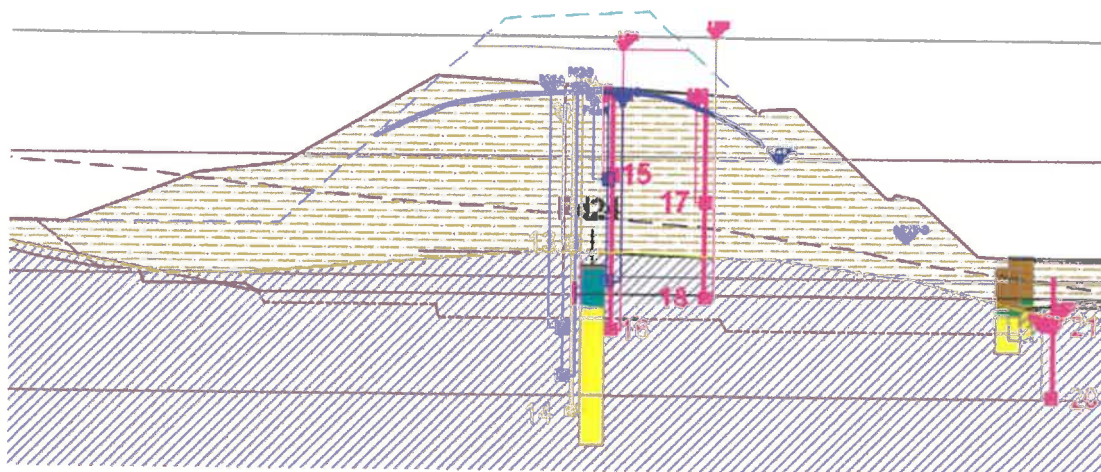


Figura 33 – Confronto tra le altezze piezometriche misurate nel 2018 e nel 2023 nella sezione arginale n.7

SEZIONE N.9 Letture al 12-06-2018



SEZIONE N.9 Letture al 31-08-2023

-aggiornamento 31-08-2023

SEZIONE N. : 9

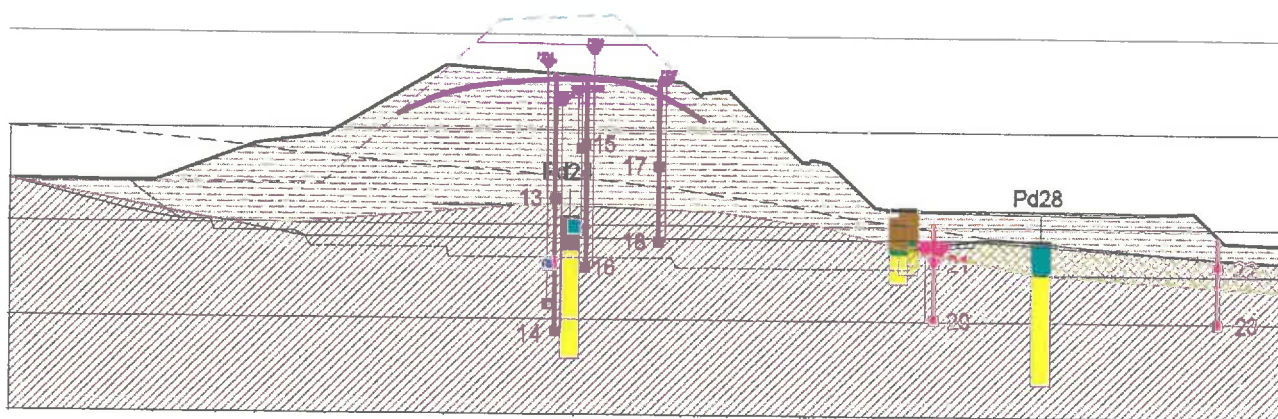
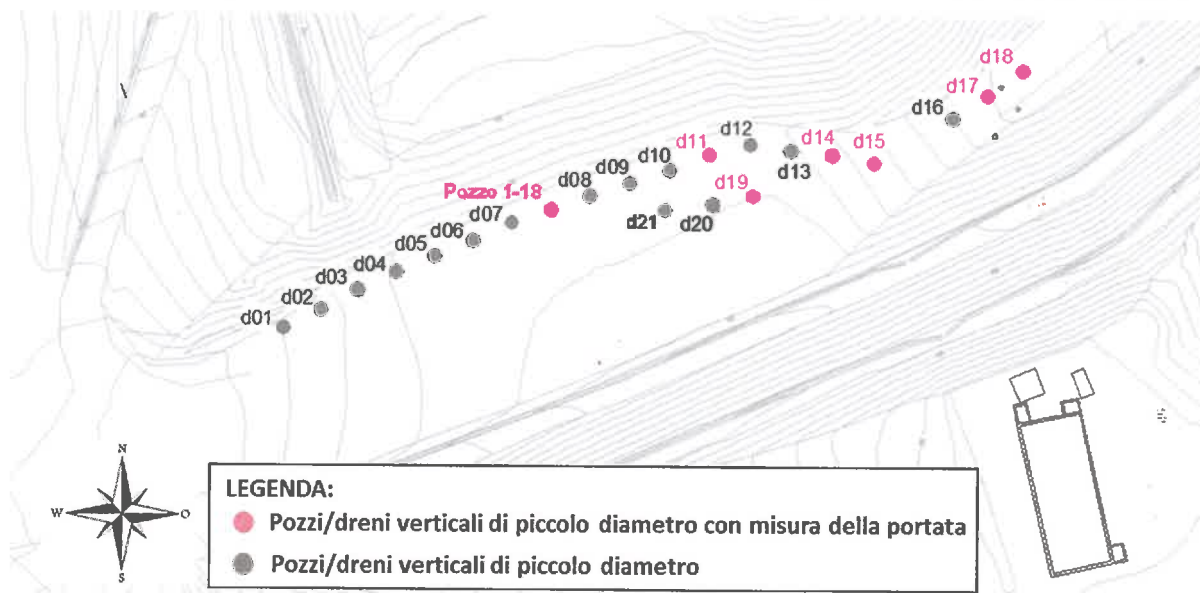


Figura 34 – Confronto tra le altezze piezometriche misurate nel 2018 e nel 2023 nella sezione arginale n.9

6.3 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 **aprile 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 **19 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 si collocano a **16 litri/giorno**.

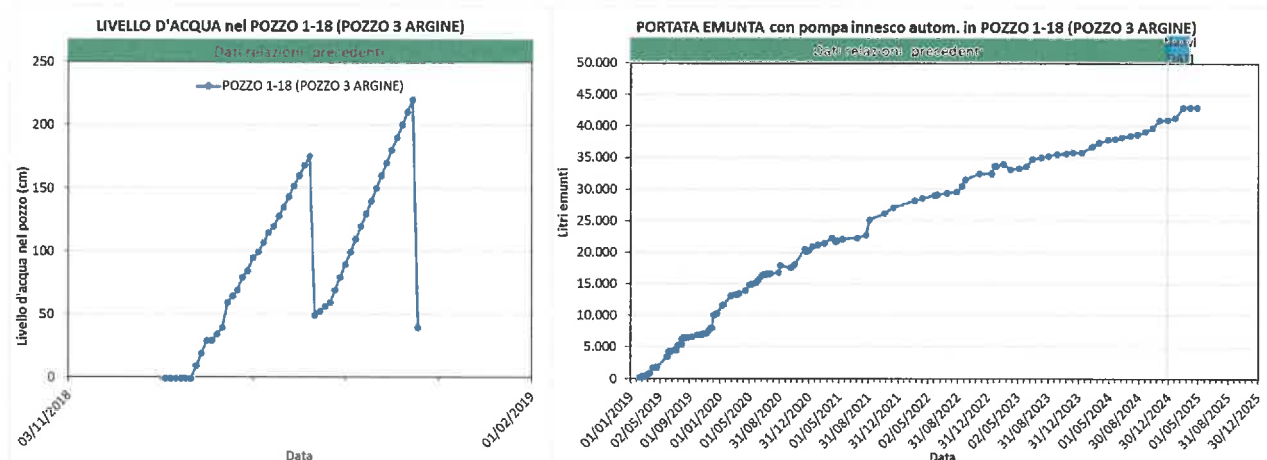


Figura 36 – Portata emunta dal POZZO 1-18 (fino ad APRILE 2025)

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 scavo dell'imbasamento dell'opera in quanto corrispondente all'asta del fosso originario intercettato dal rilevato.

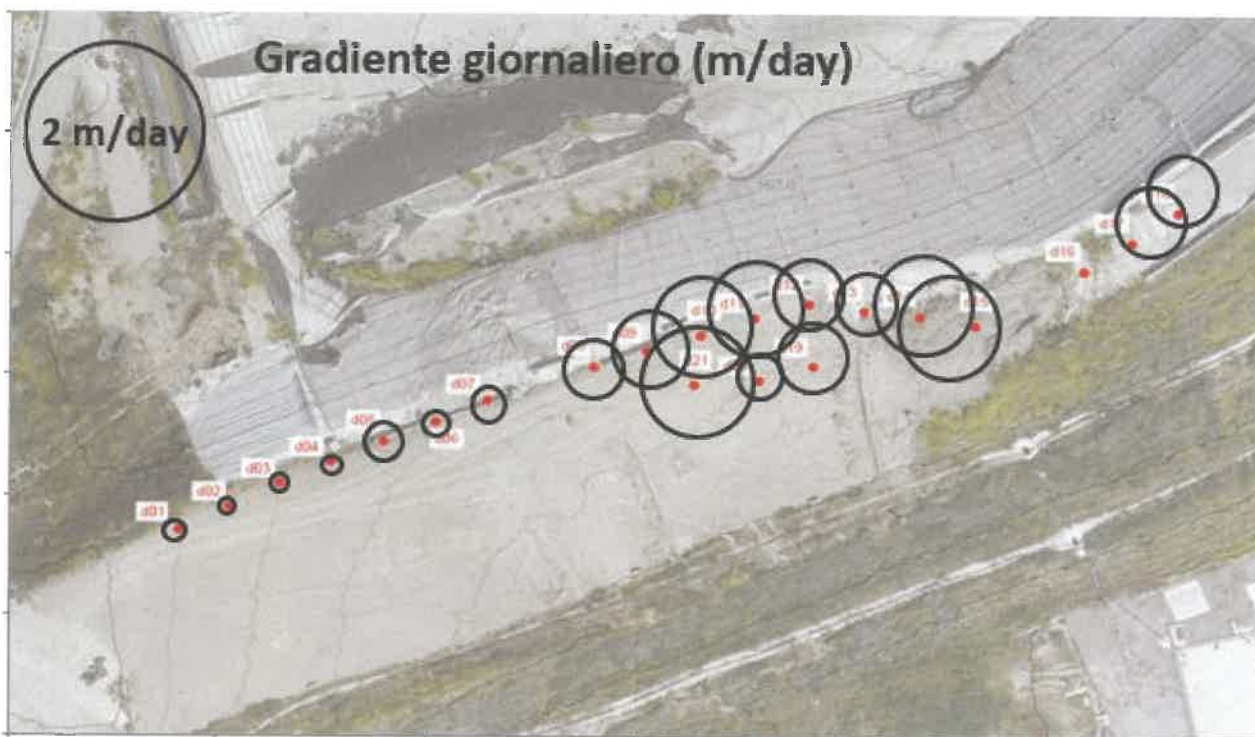


Figura 37 – Planimetria con indicazione della velocità di riempimento dei pozzi prima della loro automazione nell'ottobre 2019

Dall'analisi di questo comportamento si è deciso di dotare i 6 pozzi di maggiore afflusso (d11, d14, d15, d17, d18, d19) di pompe ad immersione ad innesco automatico e di monitorare i valori della portata emunta.

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. **Nel primo 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 – aprile 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). **Anche l'ultimo periodo, gennaio-aprile 2025, vede una portata complessiva emunta più bassa rispetto ad analoghi periodi primaverili precedenti.**

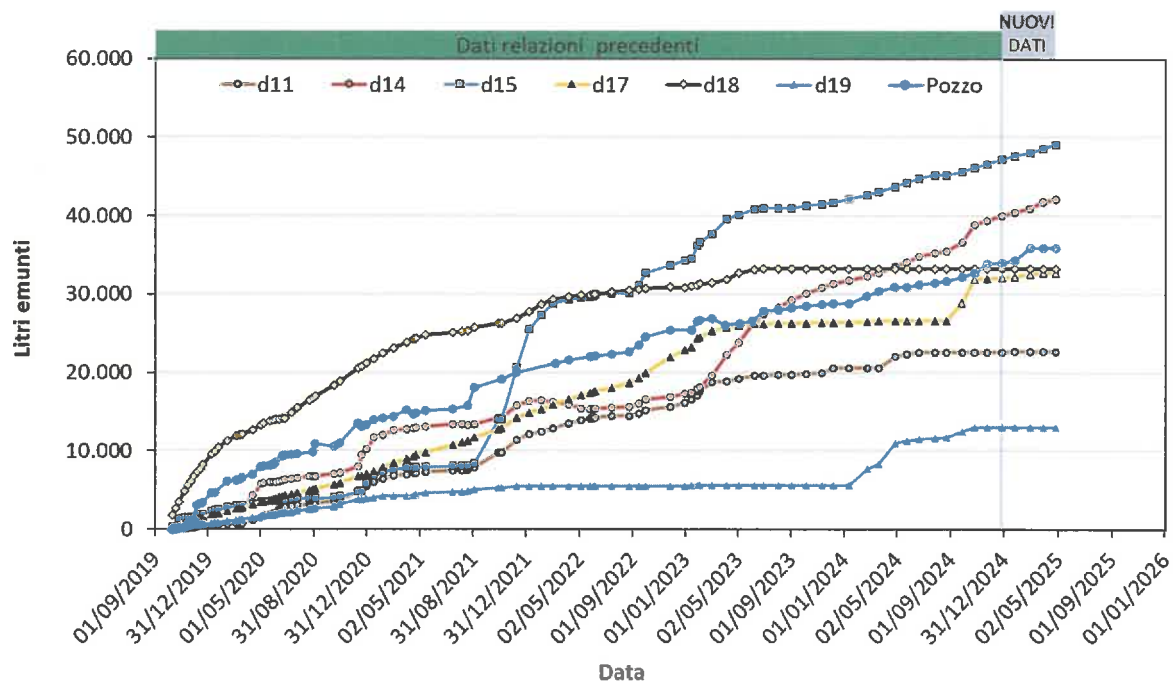


Figura 38 – Portate emunte dai pozzi dotati di pompe ad innesco automatico

Portata emunta OTT2019 - APR2025



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

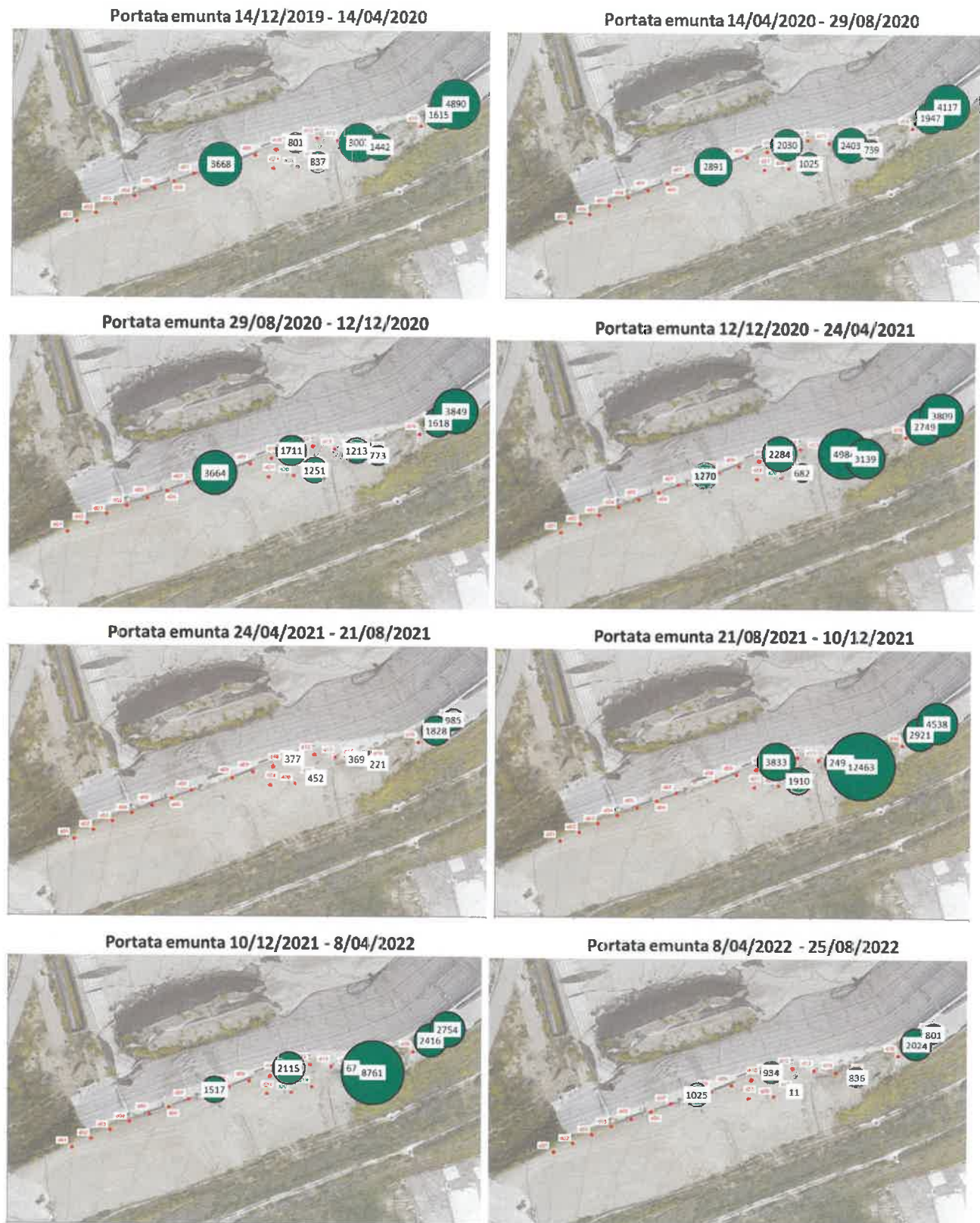


Figura 40 – Rappresentazione grafica delle portate emunte per quadrimestri successivi

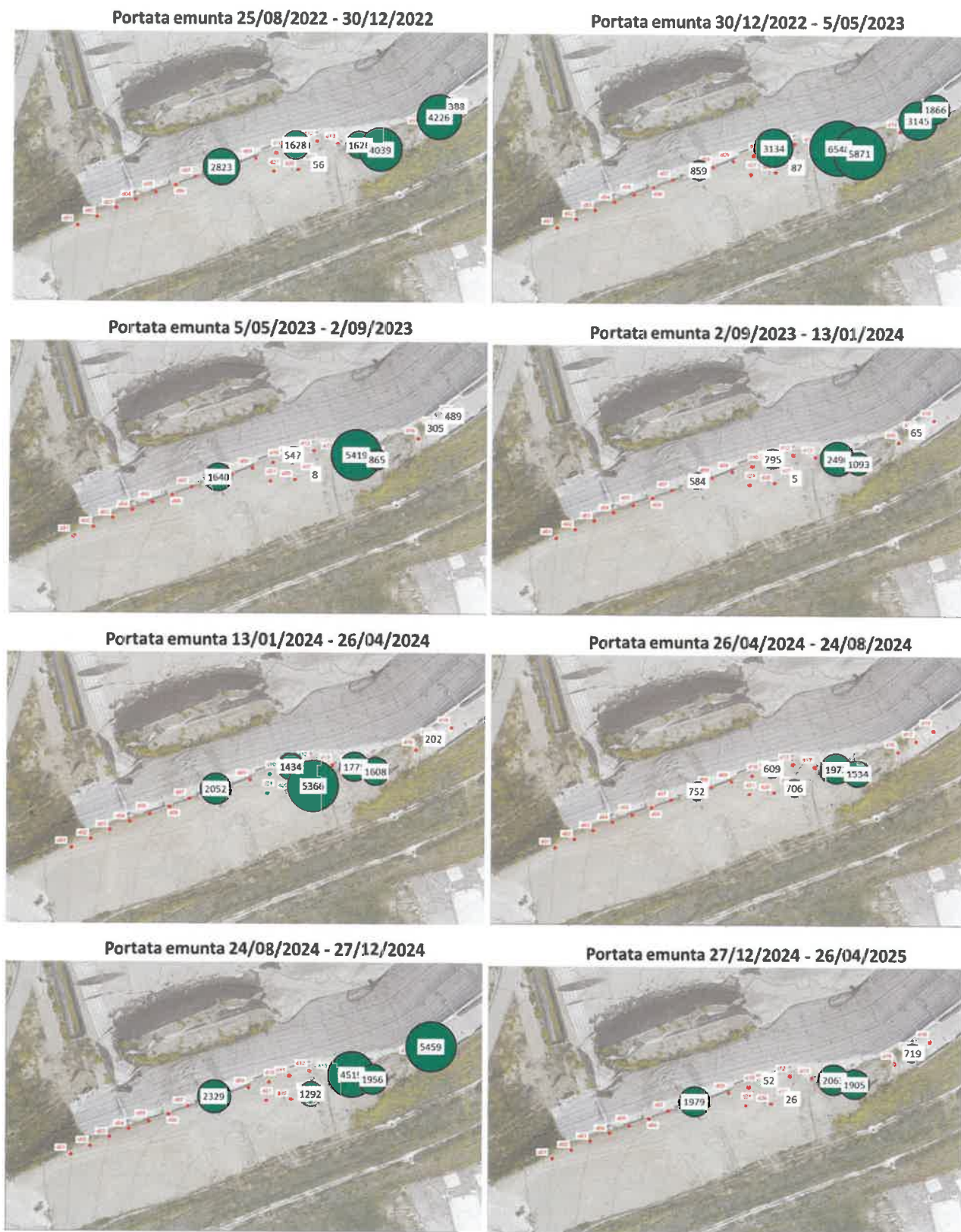


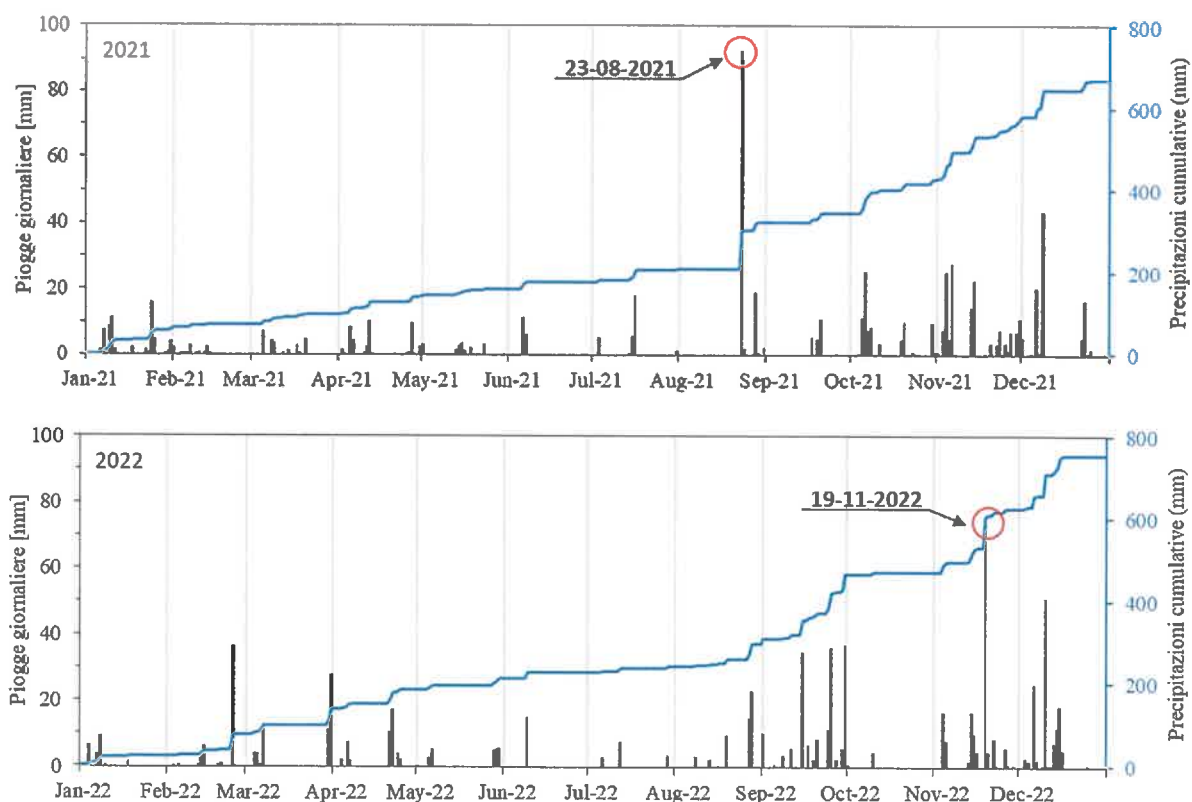
Figura 41 – Rappresentazione grafica delle portate emunte per quadrimestri successivi

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		

Figura 42 – Portate emunte dal sistema di drenaggio, 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 e 2024 registrate nella stazione meteo presso l'impianto stesso (vedi Figura 43). 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) e il 20 dicembre 2024 (40 mm).



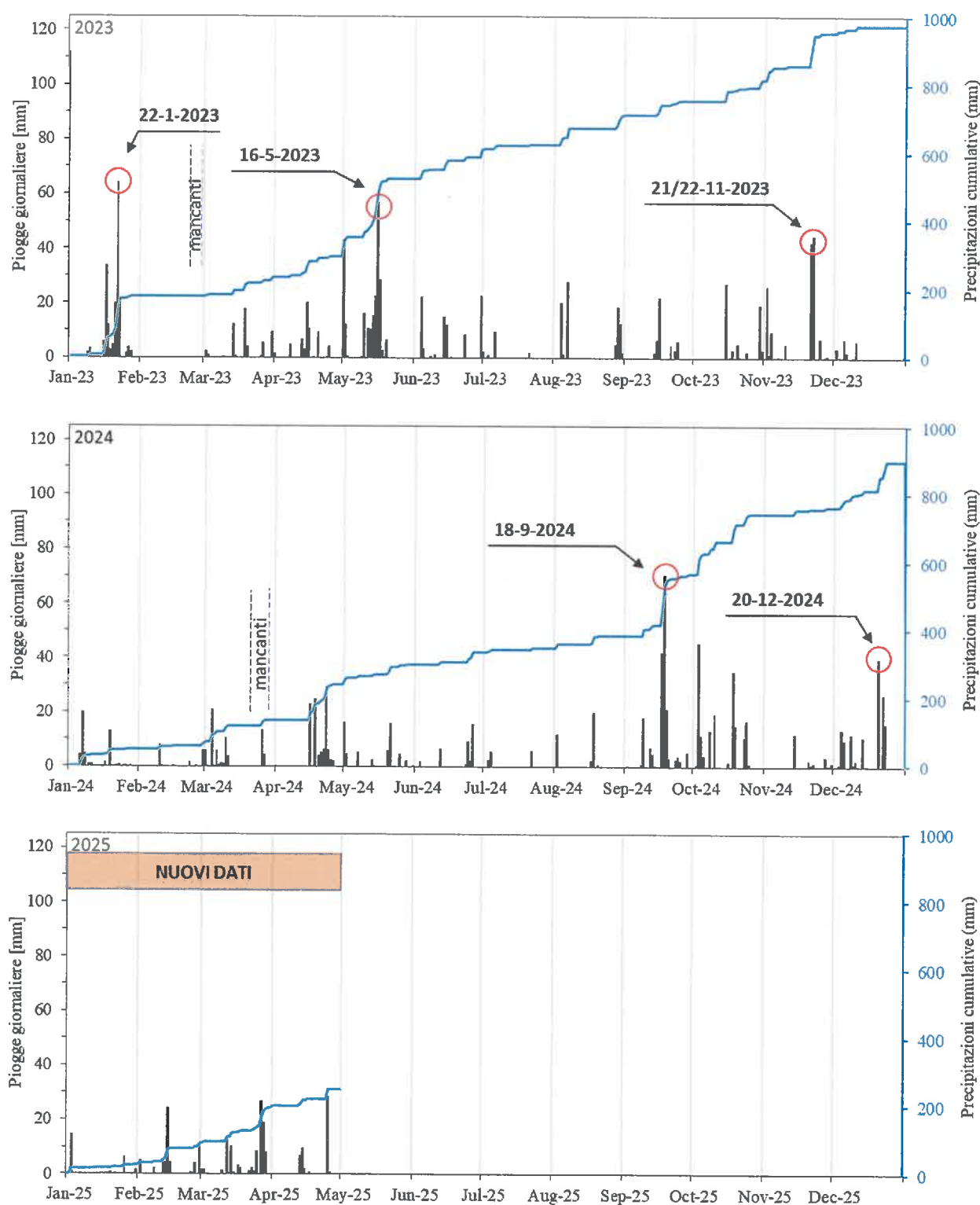


Figura 43 – Precipitazioni giornaliere e cumulative presso l'impianto di Corinaldo dal 01-2021 al 4-2025

Come mostrato in Figura 44, 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.**

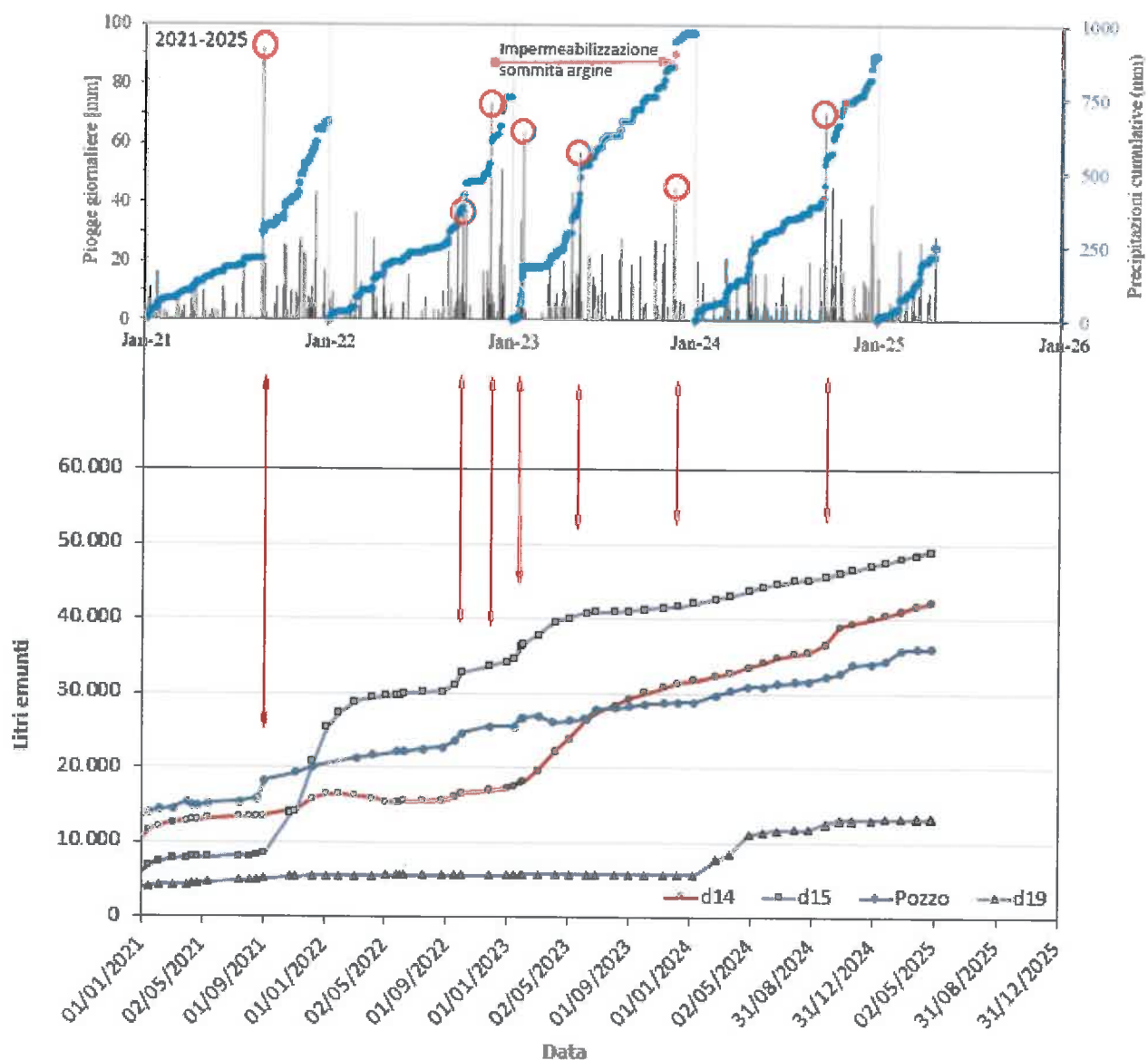


Figura 44 – Precipitazioni giornaliere e cumulative dal 01-2021 al 4-2025 e corrispondenti andamenti della portata emunta dai pozzi più significativi

6.4 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 45 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. Da tale data mancano le letture di tutti i sensori. 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 46). 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 non è certo sia riconducibile ad una variazione effettiva della sollecitazione sui pali.

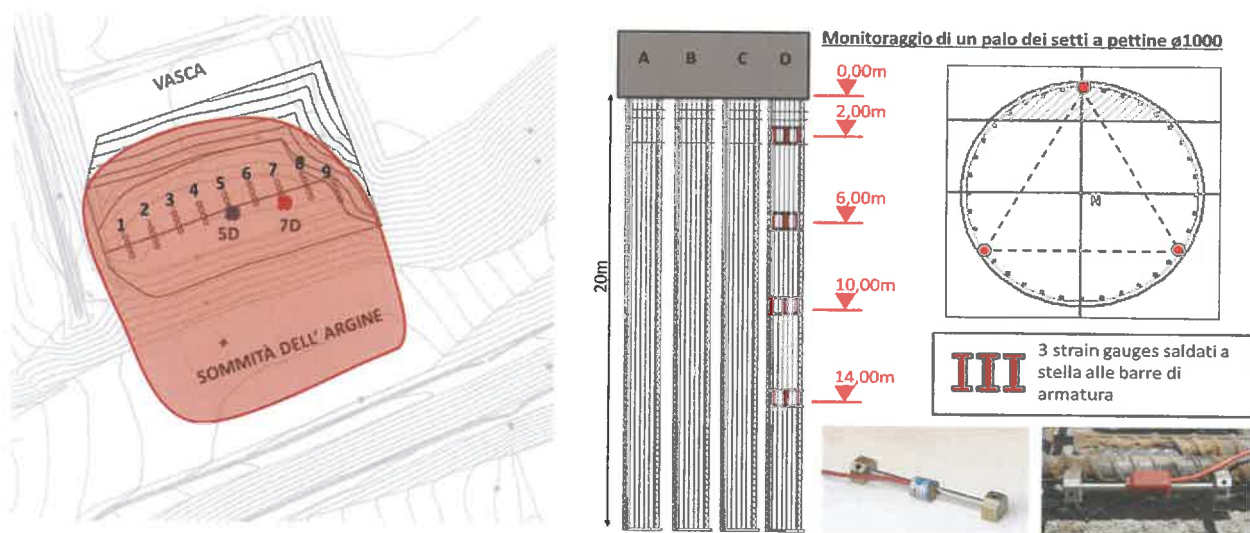


Figura 45 – Posizione dei pali strumentati con strain-gages e disposizione degli strumenti

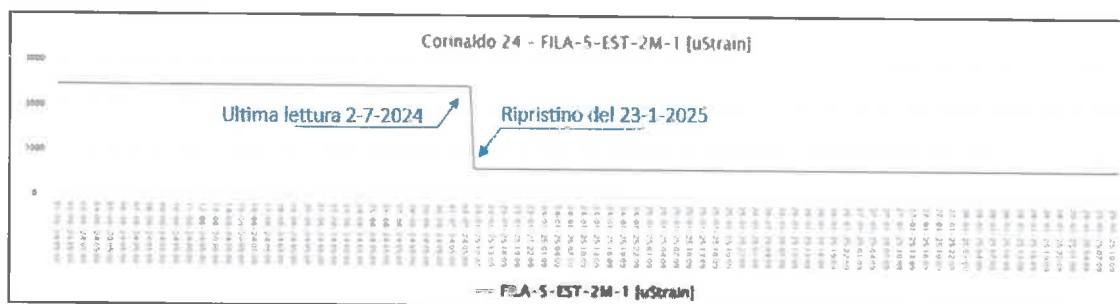


Figura 46 – Lettura del sensore 5D-1 a 2 m di profondità

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 47 e Figura 48 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 particolare:

- da febbraio a maggio 2019:
 - si osserva una entrata in carico del palo per azione prevalentemente flettente diretta verso nord (coerente al dissesto), con sensori che indicano trazione e sensori che indicano compressione;
- da maggio a luglio 2019:
 - si osserva una stabilizzazione delle letture;
- da luglio a settembre 2019:
 - si osserva una forte inversione delle letture per tutti i sensori che manifestano accorciamenti;
 - si noti che i sensori 1 vicino alla testa palo (in rosso nelle figure), che nel primo periodo indicavano trazione, diventano adesso compressi, ad indicare un'inversione dell'inflessione del palo (cioè si osserva la conseguenza di uno spostamento verso sud – verso l'argine).
- da settembre 2019 a giugno 2020:
 - il trend avviato nel periodo precedente prosegue con minore velocità ad indicare un aumento del carico dei rifiuti che viene avvertita dai pali come un aumento del carico assiale e un aumento della spinta verso l'argine (verso sud);
- da giugno 2020 a agosto 2020:

- si osserva un cambio di pendenza dei trend deformativi registrati dai sensori con un incremento della compressione sulla fibra 3 ed un aumento di trazione sulla fibra 2, più pronunciato sul setto 7 e meno evidente sul setto 5; queste misure indicano un incremento di spinta sulla struttura da est verso ovest e corrisponde al recente riempimento del settore più a est della discarica, a ridosso dell'argine;
- da agosto 2020 a dicembre 2020:
 - si mantengono i trend deformativi osservati nel periodo precedente; unica nota di rilievo il blando aumento del momento flettente a 6 m di profondità e una leggera riduzione dello sforzo di compressione nei sensori a 10 e 14 m di profondità che si registra sia nel palo 5 che nel palo 7;
- da dicembre 2020 ad aprile 2021:
 - si mantengono e vanno stabilizzandosi i trend deformativi osservati in precedenza (d'altra parte in questo periodo non sono avvenute lavorazioni particolari a ridosso dell'arginatura);
- da aprile 2021 a dicembre 2021:
 - fino ad agosto 2021 le letture sono stabili;
 - da agosto 2021 si osserva una nuova evidente risposta all'aumento dei carichi in discarica, con divaricazione delle letture sulle fibre tesa e compressa ad indicare un aumento del momento flettente agente sui pali. Quindi si osserva una risposta delle strutture ad uno spostamento verso sud, coerente con l'aumento della quota della discarica in prossimità dell'argine;
- da dicembre 2021 ad aprile 2022:
 - prosegue il trend iniziato nell'agosto 2021 che vede un incremento del momento flettente sui pali (divaricazione dei valori misurati tra fibra tesa e fibra compressa), con uno spostamento complessivo che quindi volge verso sud; si noti che i valori misurati sul palo del setto 7 sono più elevati di quelli misurati sul palo del setto 5, coerentemente all'accumulo dei rifiuti che procede da est verso ovest;
- da aprile 2022 ad agosto 2022:
 - rallenta il trend iniziato nell'agosto 2021 che vede un incremento del momento flettente sui pali (divaricazione dei valori misurati tra fibra tesa e fibra compressa), che tende ora a stabilizzarsi. Si continua a notare uno stato di sollecitazione sul palo del setto 7 superiore a quello del palo sul setto 5.
Si rileva inoltre la perdita di funzionalità di un sensore nel palo del setto 5;
- da agosto 2022 a dicembre 2022:

- l'aumento del momento flettente sui pali, evidenziato dalla divaricazione dei valori tra fibra tesa e fibra compressa, si è quasi stabilizzato (permane ancora un blando trend incrementale nei sensori posti a 6 m di profondità).

La differenza nello stato di sollecitazione tra il palo del setto 7 e quella del palo sul setto 5 rimane evidente;

- da dicembre 2022 a aprile 2023:

- il setto 5 mostra valori piuttosto stabili rispetto alla lettura precedente, con un modesto aumento registrato solo dai sensori a 6 m di profondità;
- il setto 7 mostra un trend leggermente incrementale a 2 e 6 m, dimostrato dalla ulteriore divaricazione dei valori tra fibra tesa e fibra compressa.

La differenza nello stato di sollecitazione tra il palo del setto 7 e quella del palo sul setto 5 rimane significativa, con il setto 7 più caricato dell'altro;

- da maggio 2023 ad agosto 2023:

- il setto 5 mostra valori piuttosto stabili rispetto alla lettura precedente, con un ulteriore modesto aumento registrato solo dai sensori a 6 m di profondità;
- il setto 7 mostra ancora un trend in leggero incremento sia a 2 e che a 6 m, dimostrato dalla ulteriore divaricazione dei valori tra fibra tesa e fibra compressa.

Si conferma la differenza nello stato di sollecitazione tra il palo del setto 7 e quella del palo sul setto 5, con il setto 7 più caricato dell'altro;

- da agosto 2023 a dicembre 2023:

- il setto 5 conferma il trend precedente, con un ulteriore modesto aumento registrato dai sensori a 2 m e un aumento più marcato nei sensori a 6 m di profondità;
- il setto 7 conferma il trend precedente con un leggero incremento a 2, 6 e 10 m.

Si conferma la differenza nello stato di sollecitazione tra il palo del setto 7 e quella del palo sul setto 5, con il setto 7 più caricato dell'altro;

- da dicembre 2023 ad aprile 2024:

In generale si conferma la situazione precedente, con il setto 7 più caricato del setto 5. Si registra un modesto incremento delle sollecitazioni su entrambi i setti per i sensori a 2 m e 6 m di profondità, da correlare all'avvicinamento all'argine della coltivazione della discarica.

- da aprile 2024 ad agosto 2024:

Da maggio 2024 si è registrato un netto cambio di tendenza ai sensori di entrambi i setti 5 e 7, con incrementi della sollecitazione risentita fino al sensore a 10 m di profondità e molto pronunciata sui sensori a 2 m e 6 m. Sul palo del setto 7, che ha tutti e 3 i sensori attivi alla

profondità di 2 m, si osserva un incremento significativo della deformazione sul sensore in posizione 2 fino al 2 luglio 2024 quando l'acquisizione di tutti i segnali risulta interrotta. Vista la posizione del sensore, è plausibile un effetto significativo di spinta orientata da est verso ovest (cioè parallelamente all'argine) probabilmente da ricondurre all'abbancamento dei rifiuti solo sulla porzione est della discarica.

- da settembre 2024 a dicembre 2024:

Nel periodo è presente solo la lettura puntuale del 14 ottobre 2024. Tale lettura è sufficiente per indicare un ulteriore aumento del trend deformativo osservato dal maggio 2024, seppur con una velocità minore rispetto al quadrimestre precedente. L'incremento di deformazione si risente nei sensori a 2 m e 6 m di profondità da testa palo ed è più pronunciato sul setto 7 che sul setto 5.

- da dicembre 2024 ad aprile 2025:

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.

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.

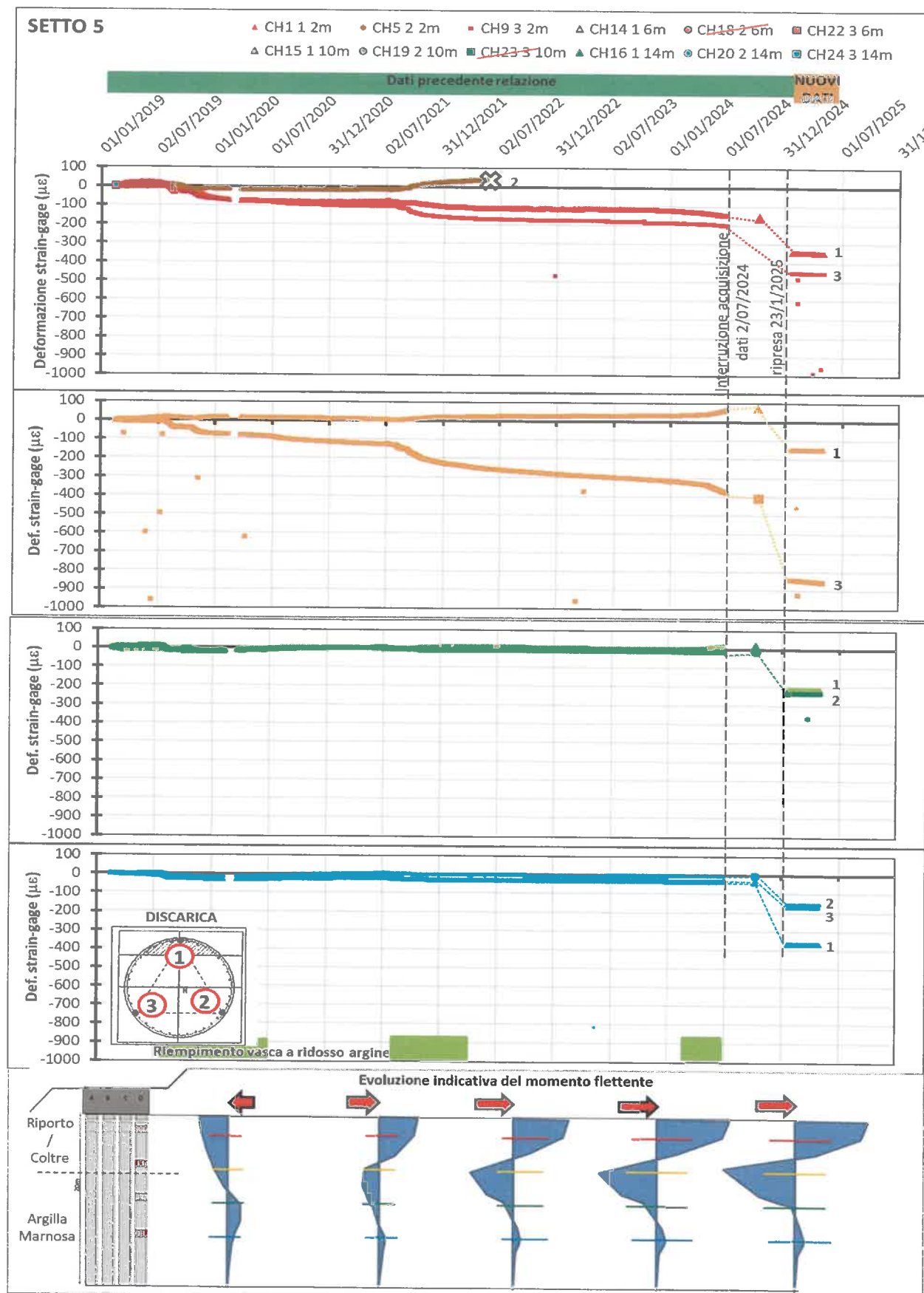


Figura 47 – Andamento temporale della lettura agli strain-gages del palo D su setto n.5

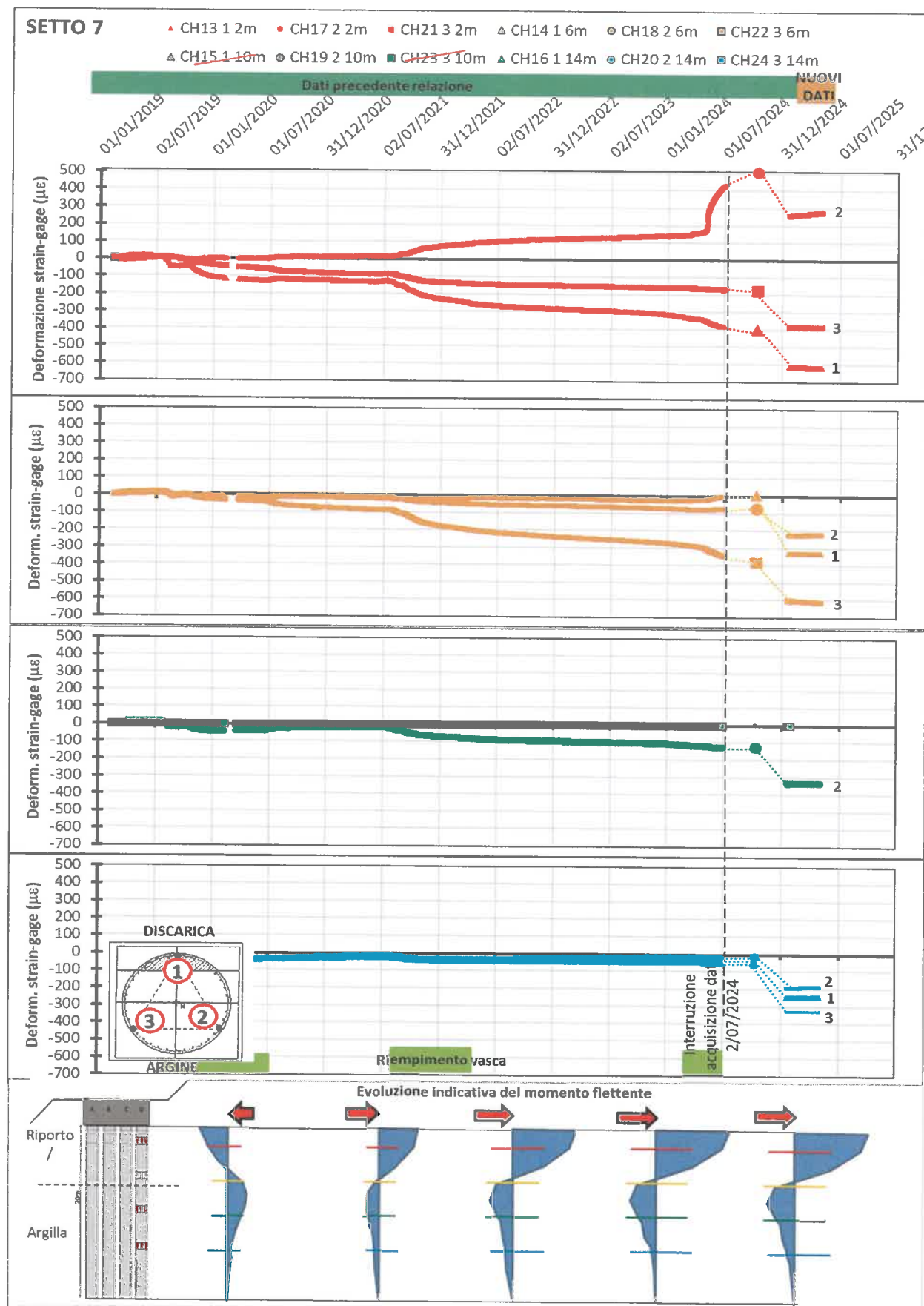


Figura 48 – Andamento temporale della lettura agli strain-gages del palo D su setto n.7



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 49 e Figura 50 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 trend precedenti. Al 30 aprile 2025 abbiamo 28°C sul palo del setto 7

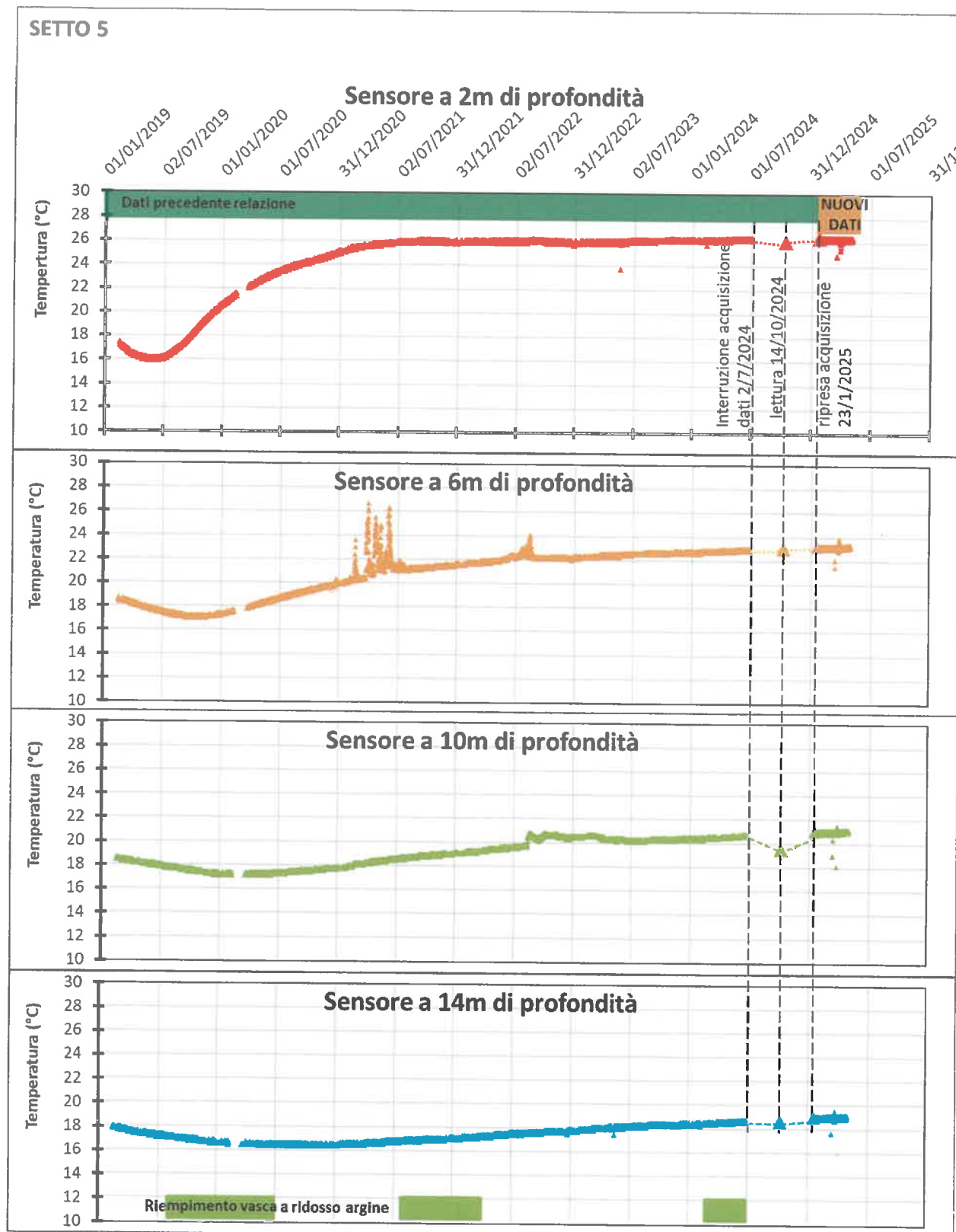


Figura 49 – Andamento temporale della temperatura nei pali D del setto n.5

SETTO 7

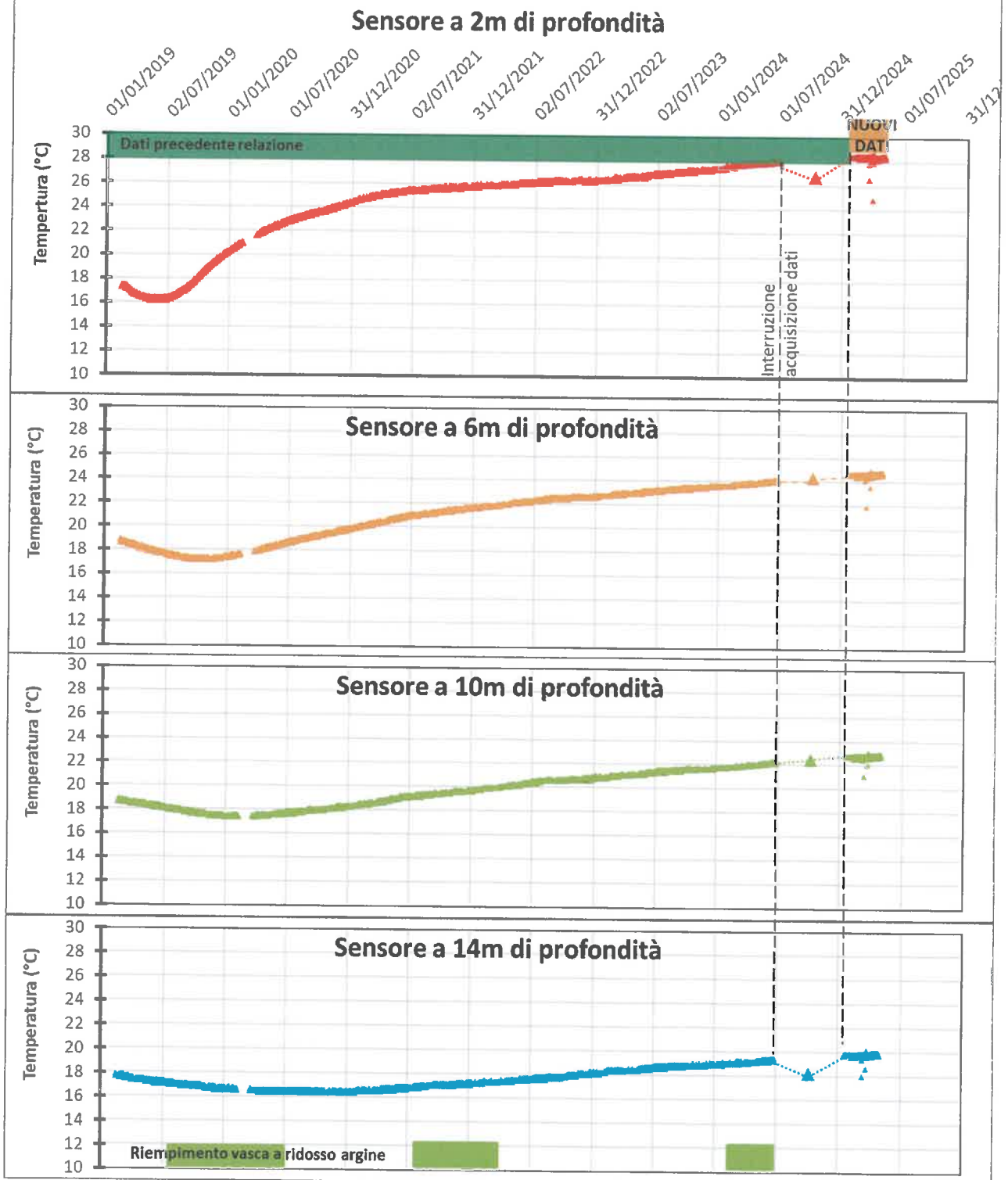


Figura 50 – Andamento temporale della temperatura nei pali D del setto n.7

6.5 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 51. 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

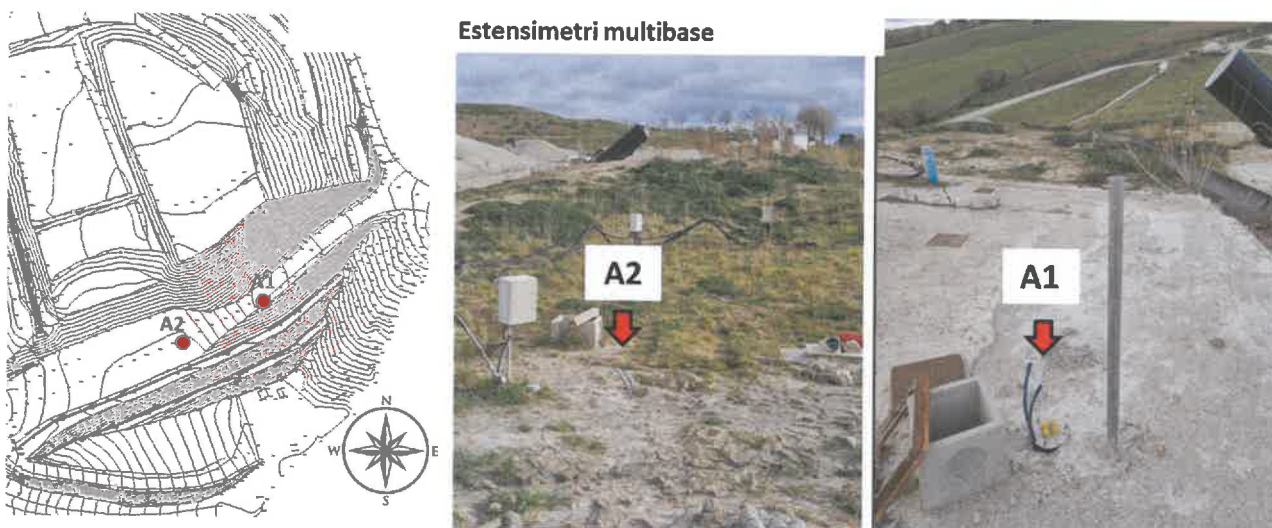


Figura 51 – Posizione delle verticali estensimetriche

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 52 sono presentati i risultati ottenuti per le due verticali disponibili. Mentre per l'estensimetro A1 le misure non sono al momento di facile interpretazione, le letture all'estensimetro A2 sono in linea con le aspettative: le basi più in alto cedono di più delle basi più profonde. In particolare notiamo che la base a 4,5 m di profondità, ha maturato un cedimento di 1,3 mm da marzo a giugno rispetto alla base più profonda. Si rimanda alle prossime letture un commento più specifico, ma rileva osservare come la strumentazione permetta valutazioni di grande precisione.

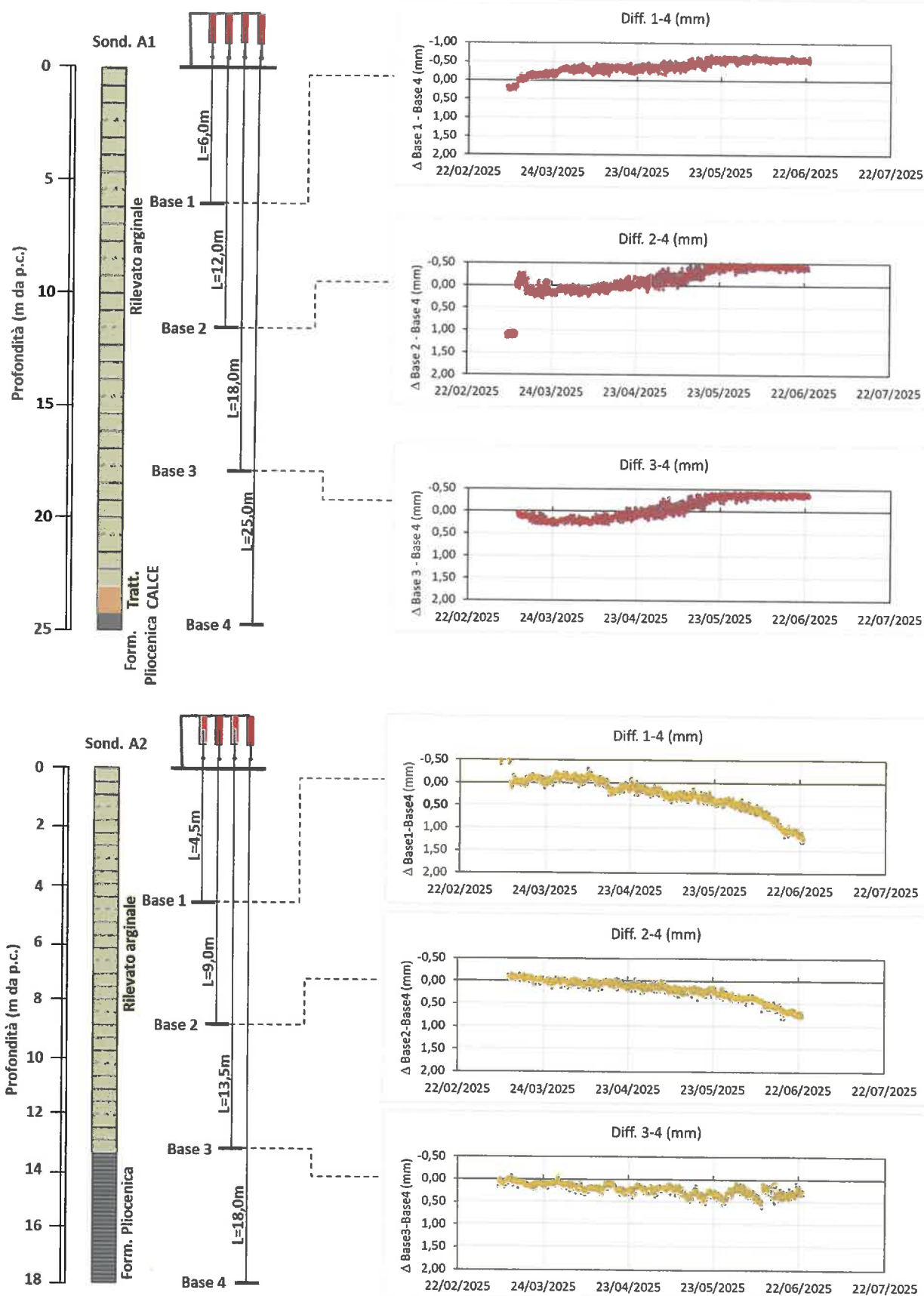


Figura 52 – Cedimenti differenziali rispetto alla Base 4 degli estensimetri A1 e A2

6.6 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 53 si può osservare la posizione degli strumenti in planimetria, mentre la tabella seguente riassume le profondità e le modalità di installazione degli strumenti.

Sond.	Carotaggio Continuo		Utilizzo rivestimento Φ 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

In Figura 54 si riportano i primi risultati delle misure. 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 al 30 marzo 2025.

Le letture nel primo periodo delle celle piezometriche (marzo 2025) indicano un carico idraulico di 5 m, 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 negativi. 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 circa 220 kPa a giugno 2025. I valori appaiono molto elevati in relazione al peso dei rifiuti abbancati. Infatti, tenendo conto che le esperienze dell'impianto indicano un peso medio del materiale abbancato di 10 kN/m^3 , si può stimare un carico verticale complessivo di circa 110 kPa, ottenuto considerando il peso dei rifiuti e una pressione di 7,5 kPa dovuta ai 50 cm di ghiaia presenti sopra al telo, e questo era l'ordine di grandezza della pressione che si stimava di leggere al sensore. Nei prossimi periodi si vedrà l'evoluzione delle letture.

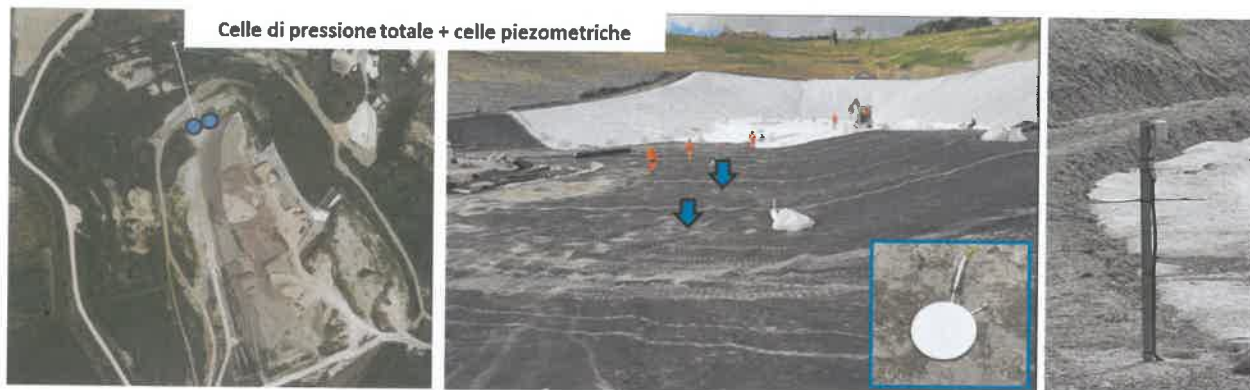


Figura 53 – Posizione delle celle di carico totale e dei piezometri

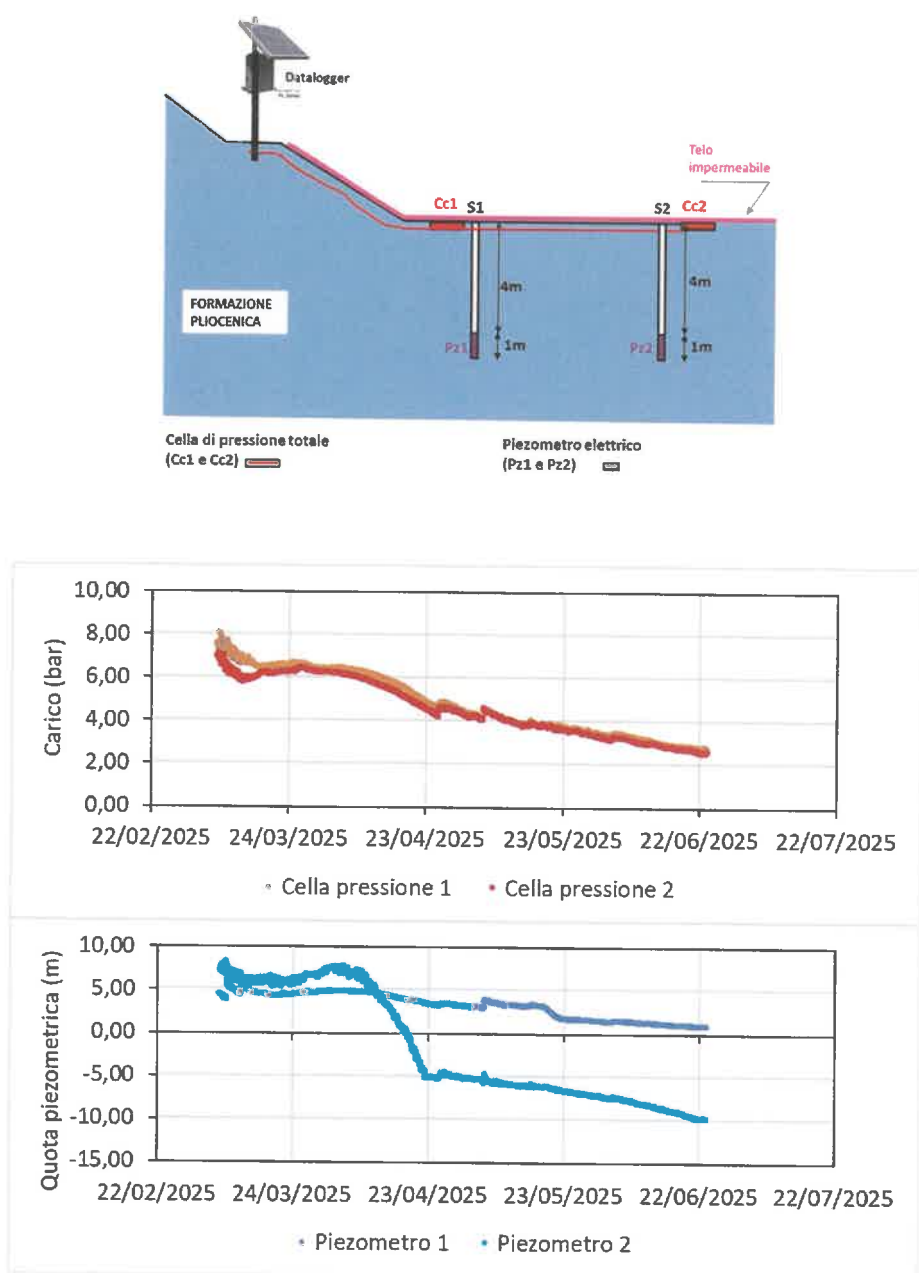


Figura 54 – Schema di installazione degli strumenti e letture alle celle di carico totale e dei piezometri

7 CONCLUSIONI E SUGGERIMENTI PER IL PROSIEGUO 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. Si risentono anche nell'ultimo quadrimestre alcuni effetti, in fase di riduzione, dell'abbancamento in prossimità dell'arginatura (sovrizzo della porzione est). 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 appare ridotta la 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. Le misure più recenti, nel **periodo dicembre 2024 – aprile 2025** indicano - seppure nell'ultimo quadrimestre in maniera più blanda del passato - il perdurare del trend deformativo distribuito sull'intera altezza del corpo arginale che, pur escludendo i primi 2 m più superficiali, ha prodotto nel periodo di osservazione spostamenti cumulati di diversi millimetri degli inclinometri G, H, M1 ed M3, con un valore di ulteriori 2 mm in M3 ed un valore massimo di 7 mm in M1. 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. Il quadro complessivo suggerisce l'opportunità di proseguire un monitoraggio inclinometrico a cadenza mensile.

Nell'ultimo periodo, coerentemente con l'abbancamento dei rifiuti, si sono registrati degli **incrementi di deformazione sui pali dei setti monitorati**. Il quadro risultante è quello di un aumento di spinta della massa dei rifiuti orientato da est verso ovest, coerentemente con il fatto che l'abbancamento interessa solo la porzione est della discarica. L'acquisizione dei dati si è purtroppo interrotta il 2 luglio 2024. In data 14 ottobre 2024 si è verificata la possibilità di riparare il guasto e si è eseguita una misurazione puntuale dei sensori. Tale misura singola ha permesso di osservare la prosecuzione del trend incrementale precedente, seppur con una velocità ridotta. **Dal 23 gennaio 2025 il sistema è stato ripristinato, ma i nuovi trend registrati non risultano in continuità con i precedenti e non è al momento chiaro il motivo di tale disallineamento.**

Dopo **esattamente 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. Le misure recenti hanno peraltro segnalato la perdita di un ulteriore piezometro elettrico (PE2), cosicché il monitoraggio dell'argine può contare ora su 10 sensori attivi dei 22 originariamente installati. In occasione del sopralluogo del **20 maggio 2025** si è constatata la pulizia del pozzetto del piezometro Casagrande PC-4 che risulta ora attivo; si rileva peraltro che il pozzetto è pieno d'acqua che, se proveniente dal piezometro stesso (come già avvenuto in passato), confermerebbe anche 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, pur inferiore nell'ultimo quadrimestre rispetto alle quantità primaverili, 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 si attendono i risultati dell'indagine idrogeologica in corso per interpretare meglio il 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, permetterà di disporre di nuovi elementi che si auspica possano contribuire a chiarire le cause della permanenza di elevate pressioni interstiziali nel corpo arginale e nel substrato.