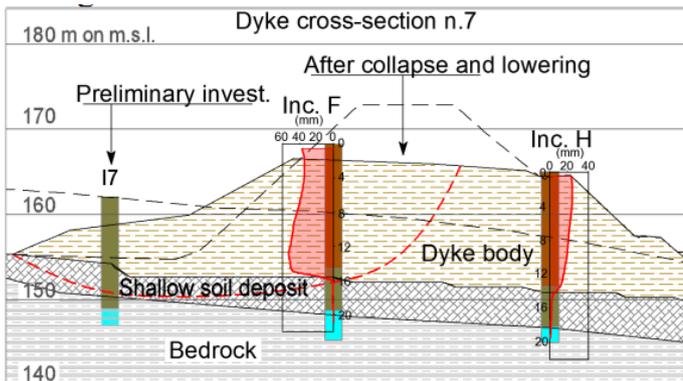


## ASA S.r.l. AZIENDA SERVIZI AMBIENTALI

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

#### RAPPORTO n.3 – APRILE 2021

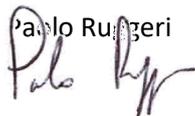


**Consulenti tecnici:** Dott. Ing. David Segato  
 Dott. Ing. Alessandro Vita

**Consulenti scientifici:** Prof. Giuseppe Scarpelli  
 Dott. Ing. Paolo Ruggeri

Il Responsabile Scientifico

Ing. Paolo Ruggeri



Il Direttore Tecnico GES

Ing. David Segato



Ns.RIF.	Revisione	Data
2020-ASA_3	EMISSIONE	21-06-2021



## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>SINTESI DELLE ATTIVITA' DI CONSOLIDAMENTO DELL'ARGINE .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>ESITO DEL SOPRALLUOGO .....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>EVOLUZIONE DEL RIEMPIMENTO DELLA DISCARICA .....</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>RISULTATI AGGIORNATI DEL MONITORAGGIO IN CORSO .....</b>	<b>10</b>
6.1	MONITORAGGIO INCLINOMETRICO .....	10
6.2	MONITORAGGIO PIEZOMETRICO.....	18
6.3	MONITORAGGIO DELLE PORTATE EMUNTE DAI POZZI DI PICCOLO DIAMETRO .....	23
6.4	MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI LOCALI DI 2 PALI DEI SETTI A PETTINE .....	28
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI E SUGGERIMENTI PER IL PROSIEGUO DEL MONITORAGGIO .....</b>	<b>34</b>

**APPENDICE 1 - PIANO DI MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI VERTICALI DELL'ARGINE**

**APPENDICE 2 - PIANO DI MONITORAGGIO SULLA RISPOSTA AL CARICO DELLA FORMAZIONE PLIOCENICA**



## 1 PREMESSA

Con ordine n. 806/RP/ma del 18/06/2020 l'ASA S.r.l. - Azienda Servizi Ambientali di Corinaldo ha affidato alla GES – Geotechnical Engineering Services s.r.l. 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.

In data 10 settembre 2020 è stato consegnato il RAPPORTO n.1 – AGOSTO 2020.

In data 28 dicembre 2020 è stato consegnato il RAPPORTO n.2 – DICEMBRE 2020.

La presente relazione, che costituisce il **RAPPORTO n.3 – APRILE 2021**, conclude l'incarico affidatoci.

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 2021);
- monitoraggio piezometrico (Aprile/Maggio 2021);
- monitoraggio delle portate emunte dai pozzi di piccolo diametro (Maggio 2021);
- monitoraggio delle deformazioni locali di 2 pali dei setti a pettine (Maggio 2021);
- rilievo della discarica (Aprile 2021).

La data di invio della presente relazione risente del tempo necessario all'acquisizione dei dati necessari alla sua redazione.



## 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 2021
- iii. Report mensili del monitoraggio piezometrico (a cura della ISOGEA S.r.l.) aggiornato ad Aprile 2021
- iv. Letture delle celle piezometriche elettriche (Portale Monitoraggi Datalogger della O.T.R. S.r.l. di Piacenza) aggiornato al 20 Maggio 2021
- v. Letture agli estensimetri installati nei pali sei setti a pettine (Portale Monitoraggi Datalogger della O.T.R. S.r.l. di Piacenza) aggiornato al 20 Maggio 2021
- vi. Dati relativi alle portate emunte dai pozzi verticali di piccolo diametro (a cura di ASA S.r.l.) aggiornato al 15 Maggio 2021
- vii. Rilievo plano-altimetrico della discarica da drone (a cura del Geom. Luigi Prussiani) aggiornato ad Aprile 2021.

### 3 SINTESI DELLE 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 che permetteva la 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.

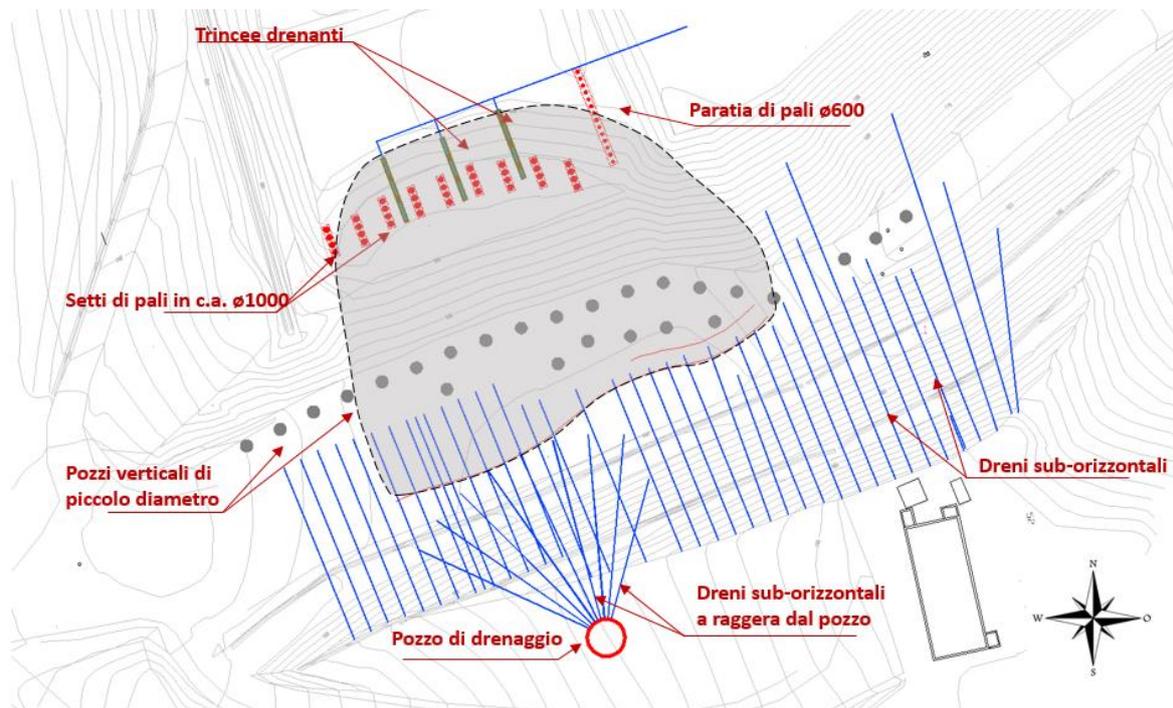


Figura 1 – Planimetria dell'area con indicazione degli interventi di consolidamento

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  $\phi 1000$  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  $\phi 600$ , 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 cinatismi 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 tenere in considerazione 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 e dreni sub-orizzontali a raggiera: **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 **19 maggio 2021** l'ing. Paolo Ruggeri e l'ing. Alessandro Vita hanno eseguito il previsto sopralluogo presso l'argine della discarica.

In Figura 2 è mostrata una fotografia scattata dalla sommità ovest dell'argine e orientata verso est, lungo la cresta dell'argine. Dal confronto con le foto precedenti, dell'agosto 2020 e del dicembre 2020, si rileva che non sono stati abbancati ulteriori rifiuti in prossimità dell'argine.

Da un'ispezione della sommità dell'argine non sono risultate aperte fessure nel terreno a meno di fessure superficiali da ritiro.

I dreni sub-orizzontali sul paramento esterno dell'argine apparivano tutti asciutti. I dreni a raggiera realizzati dal pozzo strutturale di valle non sembravano portare acqua anche se macchie umide erano presenti in corrispondenza del boccaforo di diversi elementi.



**Figura 2 – Fotografia della sommità dell'argine presa nel sopralluogo del 19-05-2021**

## 5 EVOLUZIONE DEL RIEMPIMENTO DELLA DISCARICA

Ai fini di una lettura ragionata delle 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 mostra l'evoluzione del riempimento della discarica nell'area di interesse per l'arginatura. In sintesi:

- al 29-09-2019 (Figura 3 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 3 dx): sversati circa altri 5 m di rifiuti in vasca alta (vasca ovest) fino a ridosso dell'argine;
- al 24-05-2020 (Figura 4 sx): ulteriore bancata in vasca bassa fino a  $Q=170$  m l.m.m.
- al 6-09-2020 (Figura 4 dx): ampliamento della bancata in vasca bassa ( $Q=170$  m l.m.m.)
- al 5-04-2021 (Figura 5): ampliamento della discarica verso Nord, non ci sono variazioni significative a ridosso dell'argine.

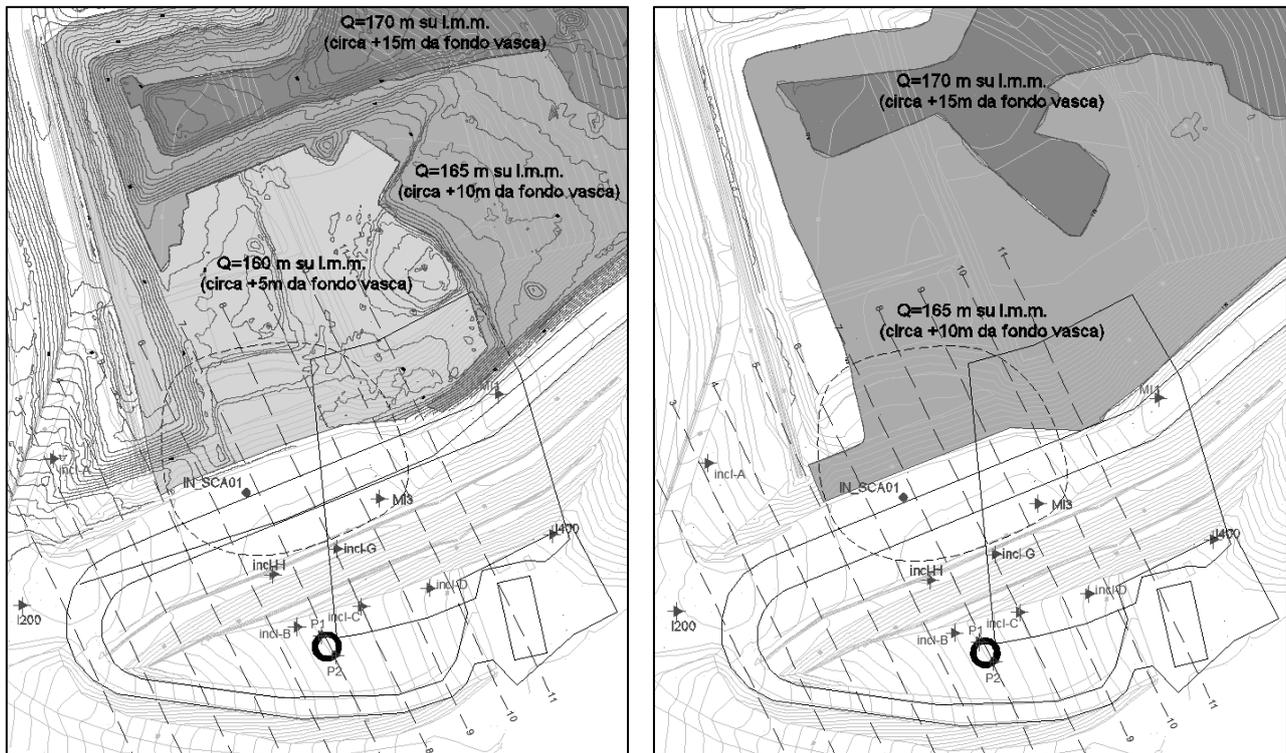


Figura 3 – Rilievo piano-altimetrico della discarica al 29-09-2019 (a sx) e al 15-12-2019 (a dx)

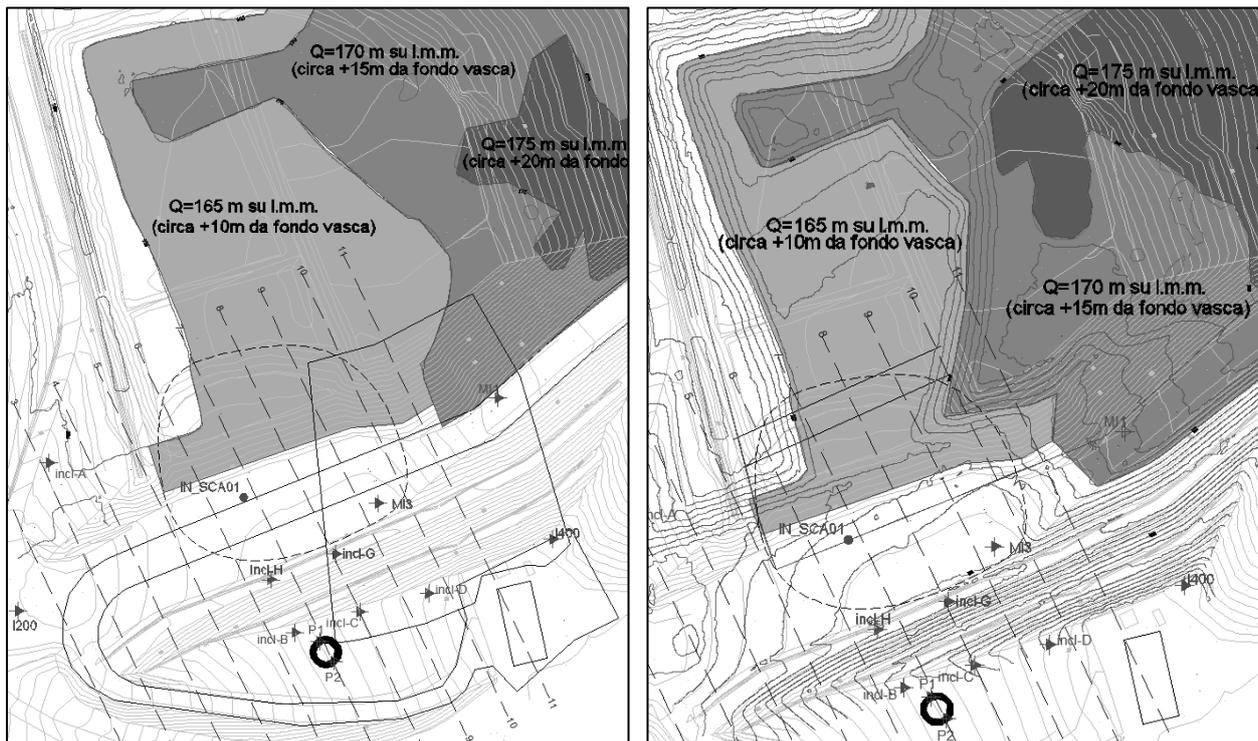


Figura 4 – Rilievo plano-altimetrico della discarica al 24-05-2020 (a sx) e al 6-09-2020 (a dx)



Figura 5 – Rilievo plano-altimetrico della discarica al 5-04-2021

## 6 RISULTATI AGGIORNATI DEL MONITORAGGIO IN CORSO

Il sistema di monitoraggio in essere può contare su misure di spostamento in profondità (verticali inclinometriche), sulla misura di pressioni interstiziali (piezometri con cella Casagrande ed elettrici a corda vibrante), sulla misura della portata emunta dai pozzi di piccolo diametro sulla sommità dell'argine e sulla misura delle deformazioni locali di 2 pali appartenenti ai setti a pettine (pali strumentati con strain-gauges).

### 6.1 Monitoraggio inclinometrico

Il sistema di monitoraggio inclinometrico dell'arginatura è attivo già dal dicembre 2016, poco dopo la fase parossistica del dissesto, per cercare di comprenderne la cinematica del fenomeno e per monitorarne l'evoluzione nel tempo. I dati ottenuti dagli inclinometri hanno permesso di valutare con accuratezza l'efficacia del sistema di consolidamento del dissesto così da consentire l'esercizio della discarica nelle aree in prossimità dell'argine.

Con il progressivo riempimento della discarica anche a ridosso dell'argine non è più significativo osservare gli spostamenti del dissesto originario, la cui cinematica prevedeva uno spostamento proprio verso l'interno della vasca. È invece significativo valutare la risposta deformativa dell'argine verso valle, determinata dalla spinta dei rifiuti.

Ad oggi continuano ad essere attivi 15 tubi inclinometrici sull'arginatura, la cui disposizione è indicata in Figura 6 e le cui caratteristiche più importanti sono dettagliate in Tabella 1.

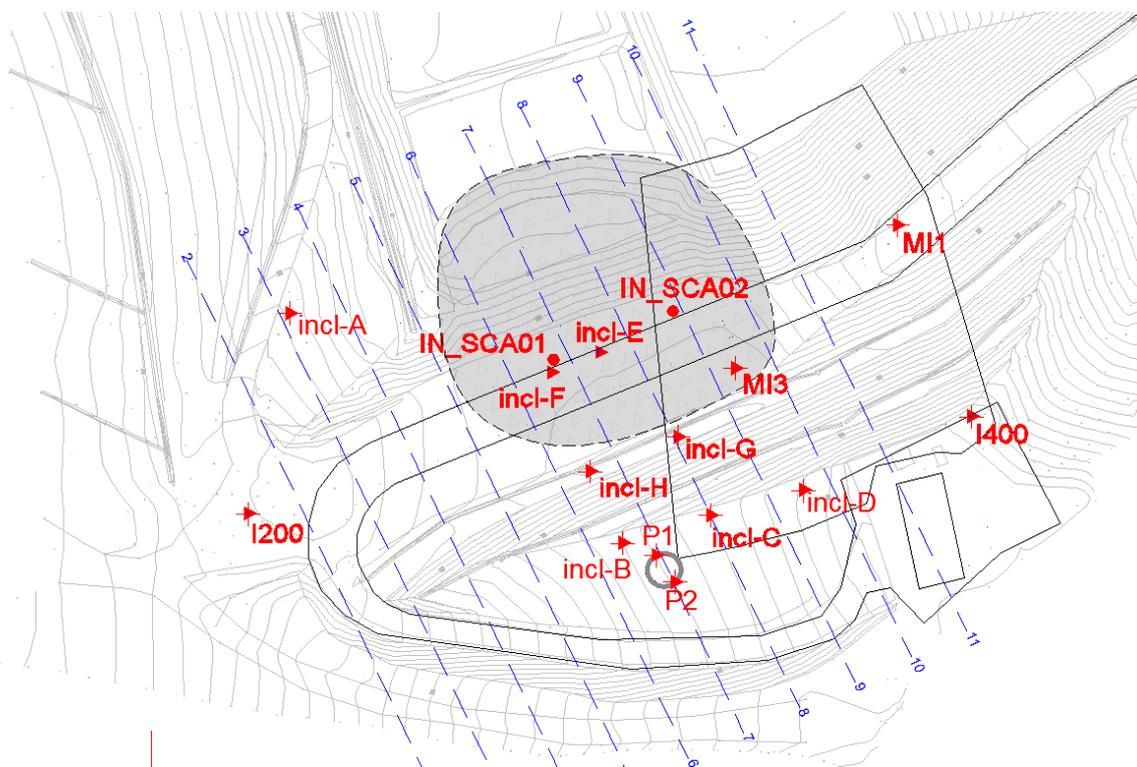


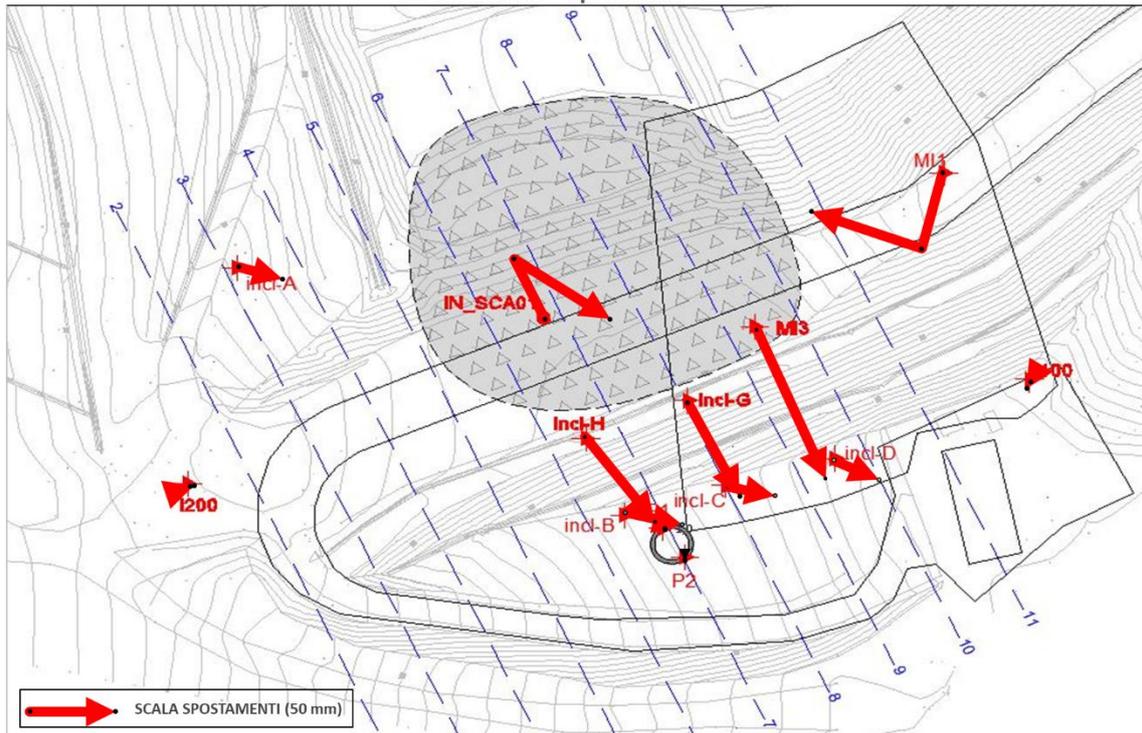
Figura 6 – Planimetria dell'argine con indicazione degli inclinometri operativi ad APRILE 2021

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

Codice	L (m)	DATA lettura 0	Letture (apr. 2021)	STATO	Commento
I200	13,50	19-07-2017	45	Attivo	
I400	13,50	18-05-2017	52	Attivo	
A	9,50	17-05-2017*	52	Attivo	Deformaz. a z=5,5 m
B	14,50	18-05-2017*	52	Attivo	Deformaz. a z=4 e 8m
C	7,00	18-05-2017*	52	Attivo	Def. diffusa tra 0 e 4 m
D	7,00	18-05-2017*	52	Attivo	Def. diffusa tra 0 e 3 m
E	13,00	17-05-2017	52	Attivo	<b>Interrotto a 13 m</b>
F	21,00	13-12-2016	12	<b>NON ATTIVO da Giu 2017</b>	<b>Interrotto a 16 m</b>
G	16,00	18-05-2017*	52	Attivo	Deformaz. a z=3 e 12 m
H	19,50	18-05-2017*	52	Attivo	Deformaz. a z=14 m
M1	29,00	23-11-2016*	12+15	<b>NON ATTIVO da Ago 2018</b>	Deformaz. a z=13 - 17 m
M1-bis	30,00	31-10-2018	35	Attivo	Deformaz. a z=16 e 23 m
M3	20,50	31-10-2018	35	Attivo	Def. diffusa tra 6 e 16 m
SCA01	23,50	19-04-2018	4	<b>NON ATTIVO da Ago 2018</b>	<b>Interrotto a z=15 m</b>
SCA01-bis	23,50	31-10-2018	35	Attivo	Deformaz. a z=14 m
SCA02	24,00	19-04-2018	41	Attivo	<b>Interrotto a z=13,5 m</b>
P2 (pozzo, l. sud)	14,50	28/06/2019	20	Attivo	
P1 (pozzo, l. nord)	14,50	28/06/2019	20	Attivo	
*tubi che hanno anche campagne di lettura precedenti					

La Figura 7 mostra gli spostamenti inclinometrici in superficie registrati nell'intero periodo di monitoraggio dell'attuale campagna di indagine, che copre il periodo ottobre 2018 – aprile 2021. In questo periodo sono stati realizzati gli interventi di consolidamento e si è riempita in maniera consistente la discarica anche a ridosso dell'argine. Dalla figura si può osservare che gli spostamenti accumulati dall'argine sono stati significativi, dell'ordine dei 60-80 mm per gli inclinometri collocati in sommità (spostamento massimo di 103 mm in M3). Si risente nettamente dell'effetto del riempimento della discarica sugli inclinometri H, G ed M3.

Spostamenti inclinometrici in sommità  
ottobre 2018 - aprile 2021

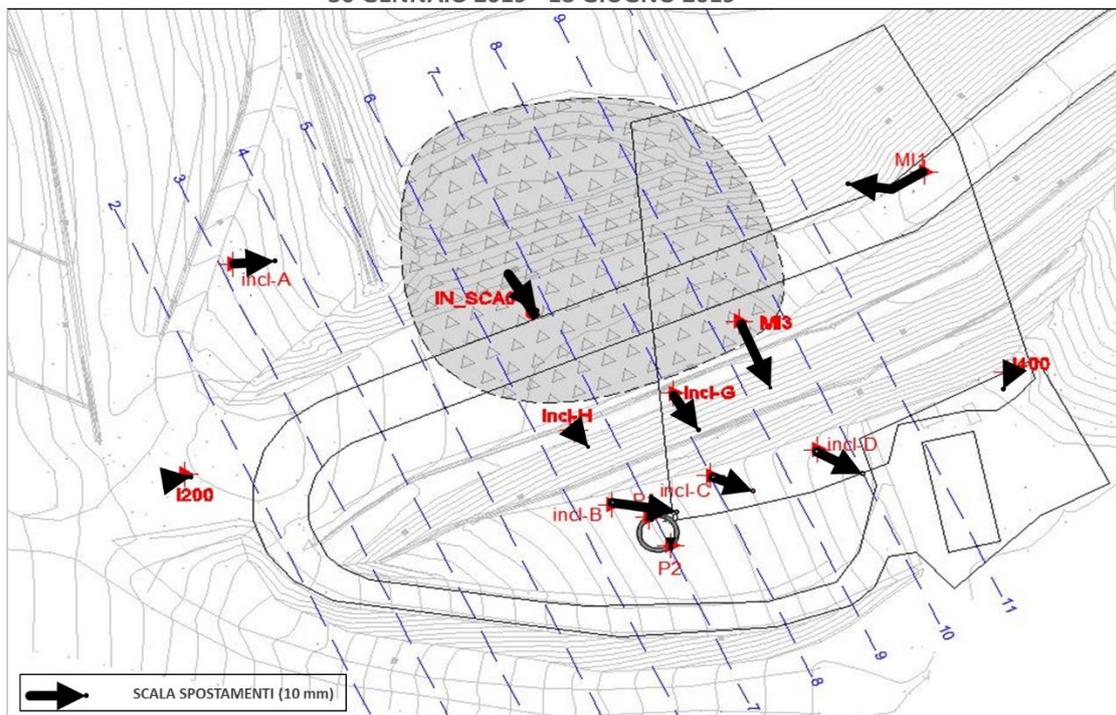


**Figura 7 – Spostamenti inclinometrici nel periodo OTTOBRE 2018 – APRILE 2021**

Per valutare con migliore accuratezza l'evoluzione deformativa recente si è provveduto a scomporre l'intero periodo considerato in cinque "semestri" consecutivi, Gennaio-Giugno 2019, Giugno 2019 - Gennaio 2020, Gennaio-Giugno 2020, Giugno-Novembre 2020 e Novembre 2020 - Aprile 2021. In Figura 8, Figura 9 e Figura 10 sono riportate le planimetrie dell'argine con i vettori spostamento polare indicati dagli inclinometri rappresentati in scala omogenea nelle cinque figure. 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 dell'argine, 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 il contributo del riempimento del settore est, che ha portato lo spessore dei rifiuti a circa 20 m dal fondo vasca, che 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 ed H. Nel periodo più recente, novembre 2020 – aprile 2021, spostamenti degni di nota sono stati riscontrati solo negli inclinometri MI1 ed MI3. Non essendoci stato sversamento di rifiuti in prossimità dell'argine, tali incrementi possono forse essere ricondotti al passaggio dei mezzi pesanti diretti verso la zona

più arretrata della discarica, ad ulteriore conferma della sensibilità dell'argine ad ogni variazione dei carichi applicati; risulta pertanto opportuno continuare a seguire l'evoluzione della situazione.

Spostamenti inclinometrici in sommità  
30 GENNAIO 2019 - 18 GIUGNO 2019



Spostamenti inclinometrici in sommità  
18 GIUGNO 2019 - 23 GENNAIO 2020

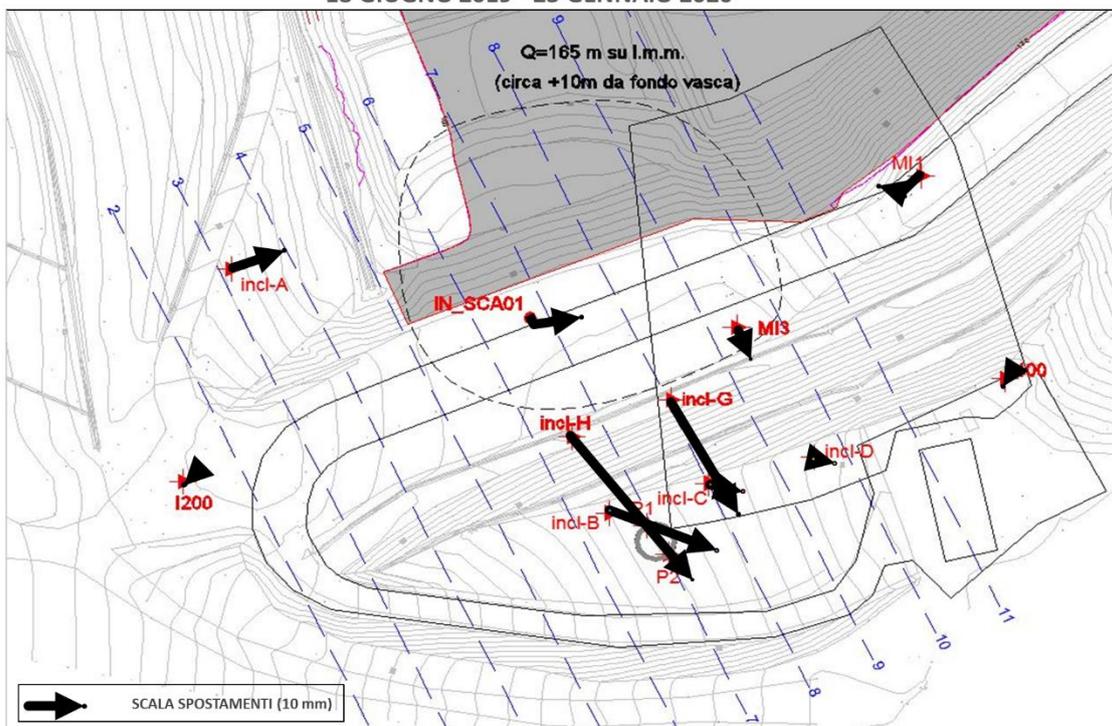
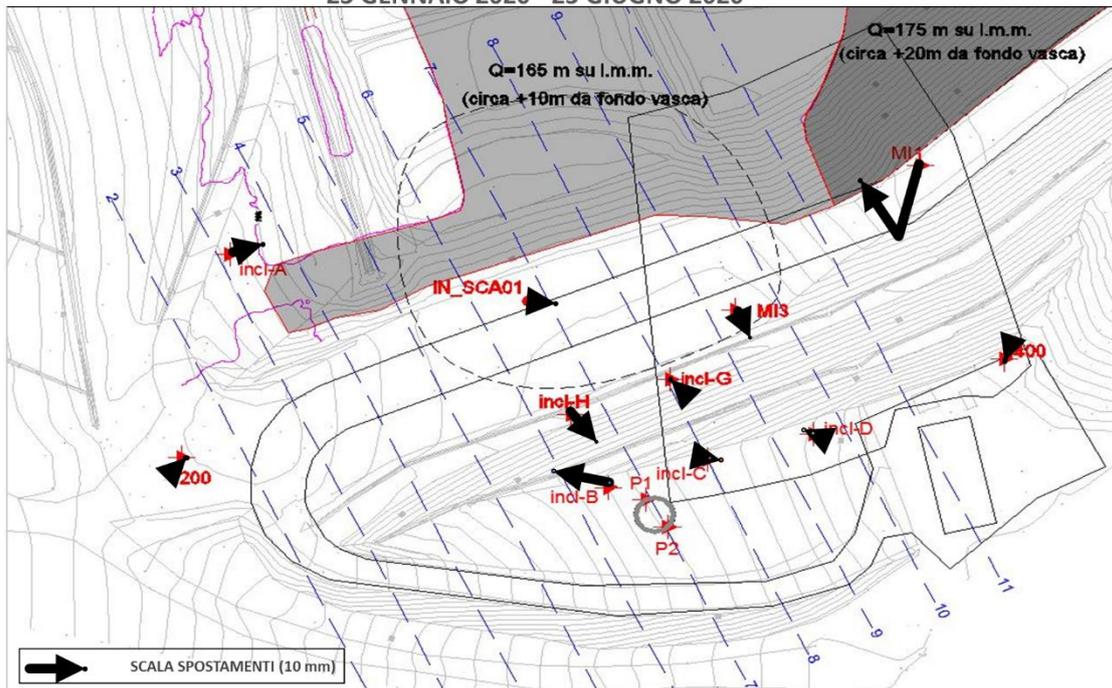


Figura 8 – Spostamenti inclinometrici GEN -GIU 2019 e GIU 2019 – GEN 2020

Spostamenti inclinometrici in sommità  
23 GENNAIO 2020 - 23 GIUGNO 2020



Spostamenti inclinometrici in sommità  
23 GIUGNO 2020 - 24 NOVEMBRE 2020

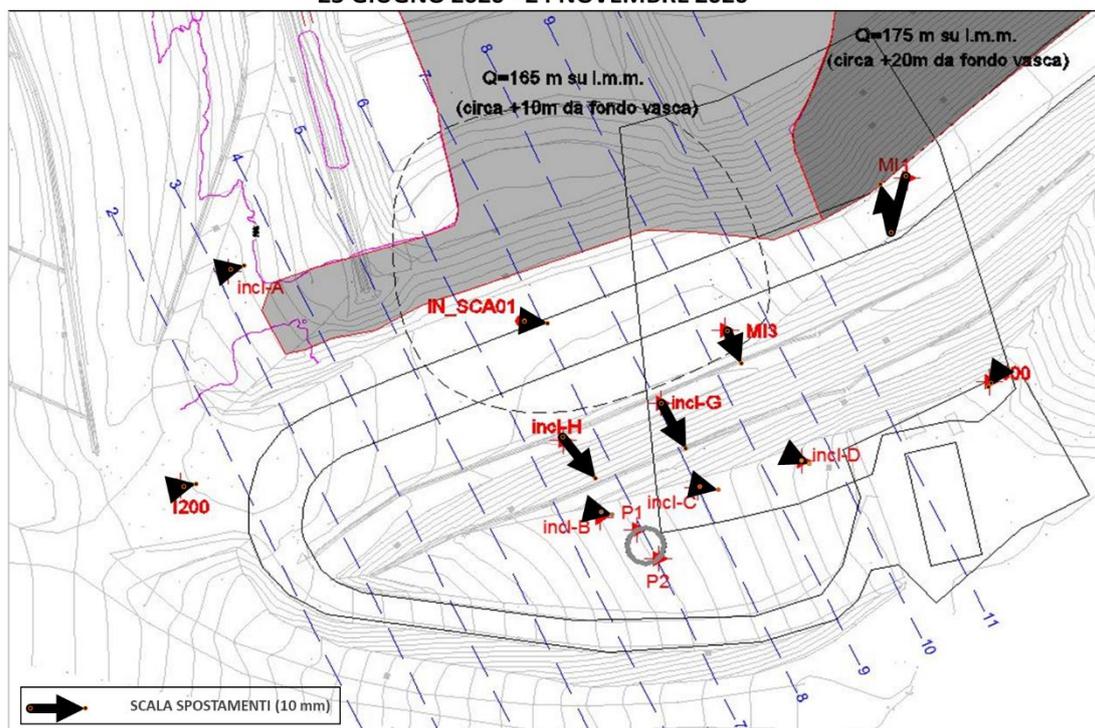


Figura 9 – Spostamenti inclinometrici GEN -GIU 2020 e GIU -NOV 2020

Spostamenti inclinometrici in sommità  
 24 NOVEMBRE 2020 - 27 APRILE 2021

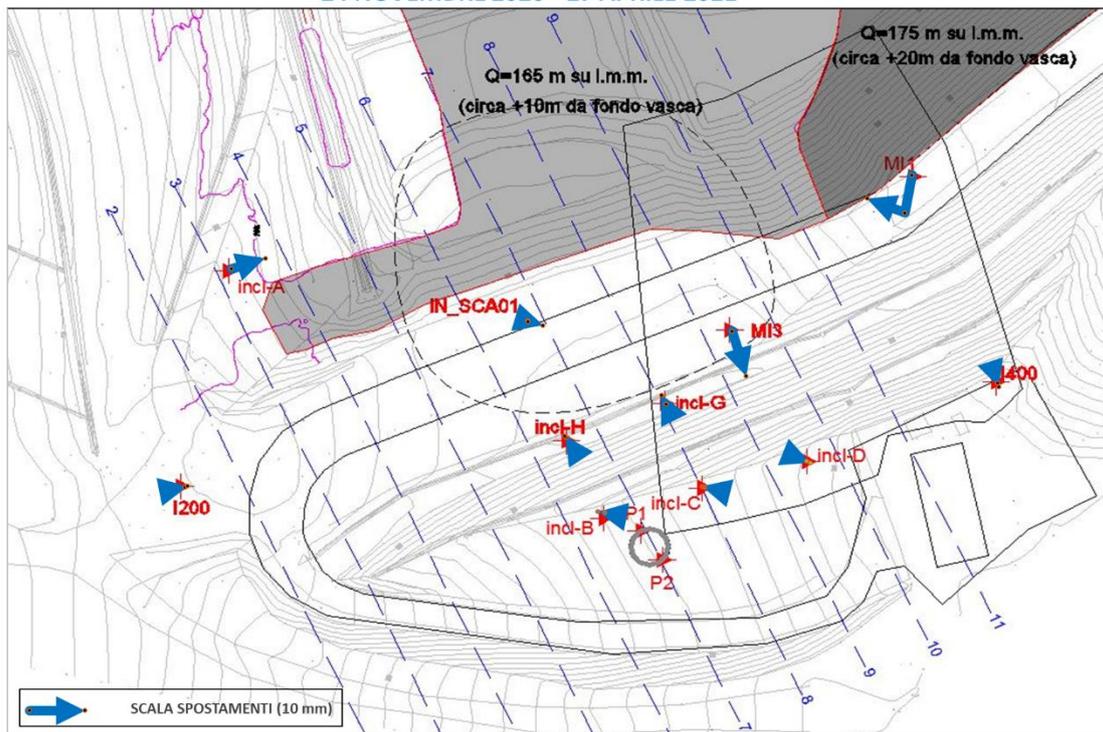
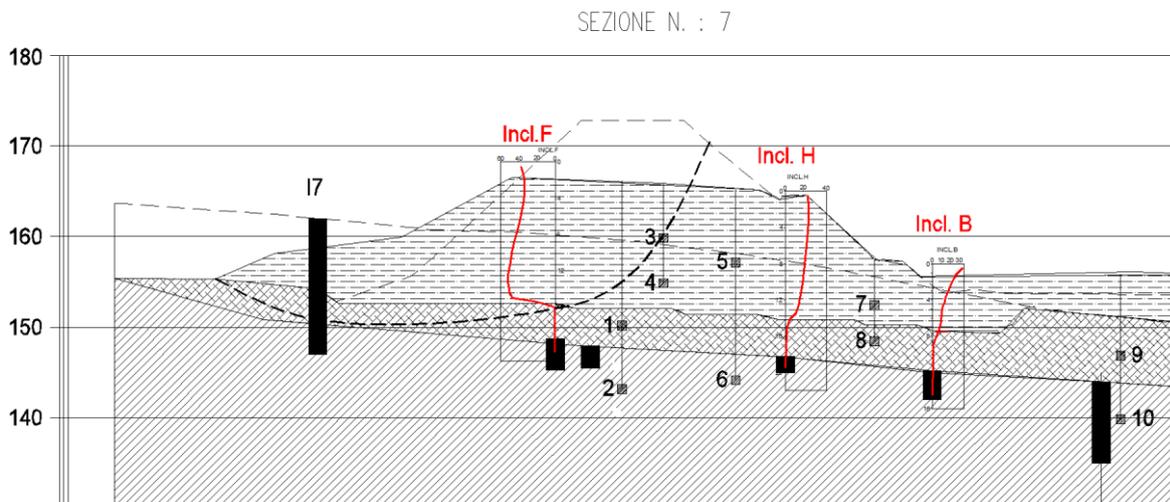
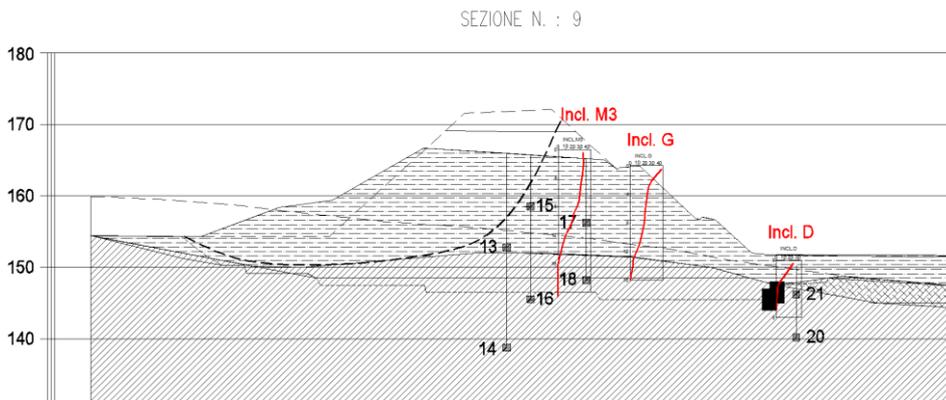


Figura 10 – Spostamenti inclinometrici NOV 2020 – APR 2021

In Figura 11 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 (dove presente), mentre la formazione di base è sempre stabile.

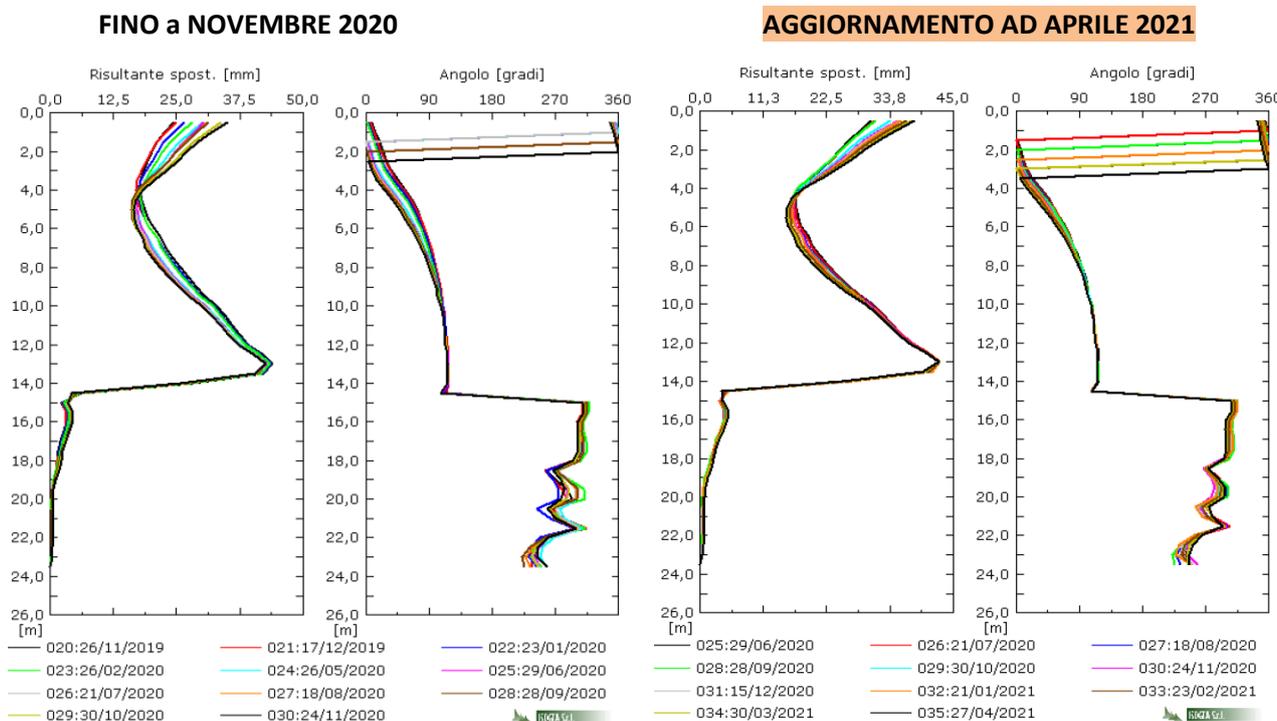




**Figura 11 – Forma delle deformate inclinometriche più significative delle sezioni n.7 e n.9 dell'argine**

L'inclinometro SCA01, collocato nel cuore del dissesto, è lo strumento più adatto per verificare eventuali evoluzioni dell'originario fenomeno di instabilità. Le letture recenti di tale strumento confermano (Figura 12) l'interruzione dello spostamento al livello della superficie di scorrimento (13-14 m di profondità) ed un'inflessione della porzione di tubo nel corpo arginale che risente della spinta originata dai rifiuti.

In Figura 13 e Figura 14 sono rappresentate le deformate degli inclinometri H e M3, indicative della risposta deformativa dell'argine verso valle. Si osservano dei modesti incrementi di deformazione, specialmente su M3, piuttosto distribuite sull'intera altezza dell'argine per entrambi gli inclinometri. Anche se non ci sono stati ulteriori accumuli 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 transitano proprio in prossimità dell'argine.



**Figura 12 – Inclinometro SCA01 (zero al 31-10-2018): deformata differenziale integrale dal basso e azimut**

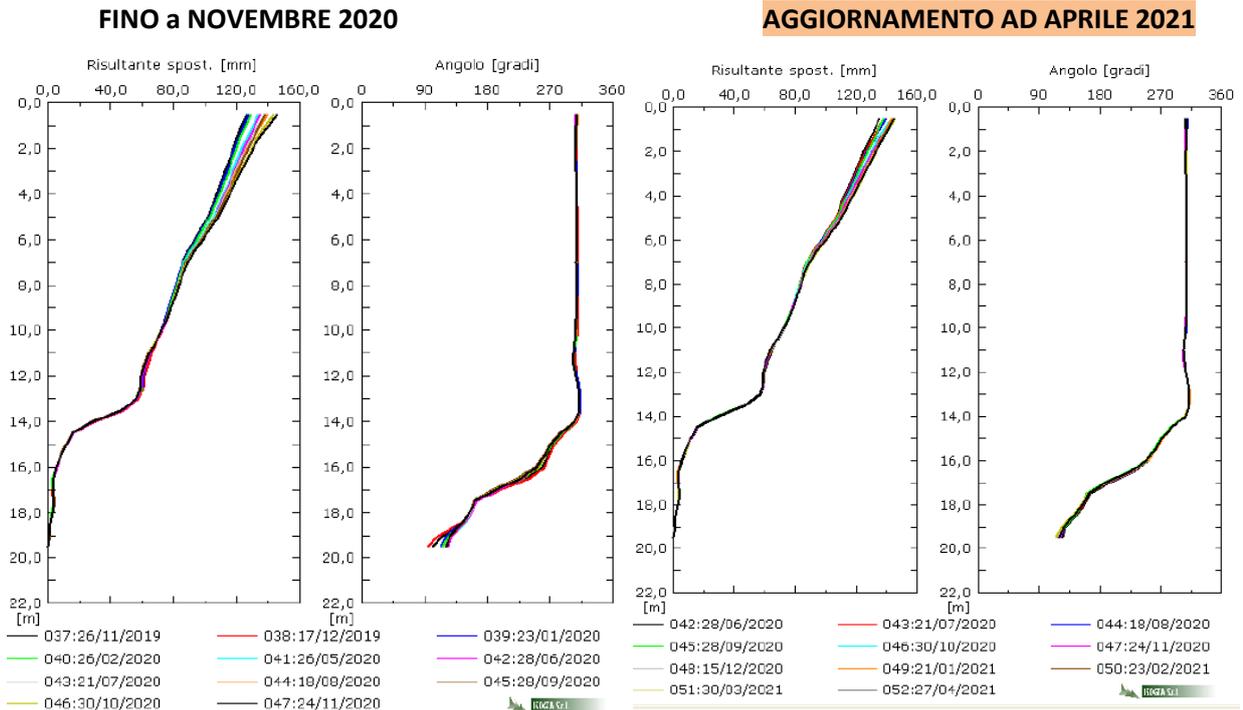


Figura 13 – Inclinometro H (zero al 18-05-2017): deformata differenziale integrale dal basso e azimut

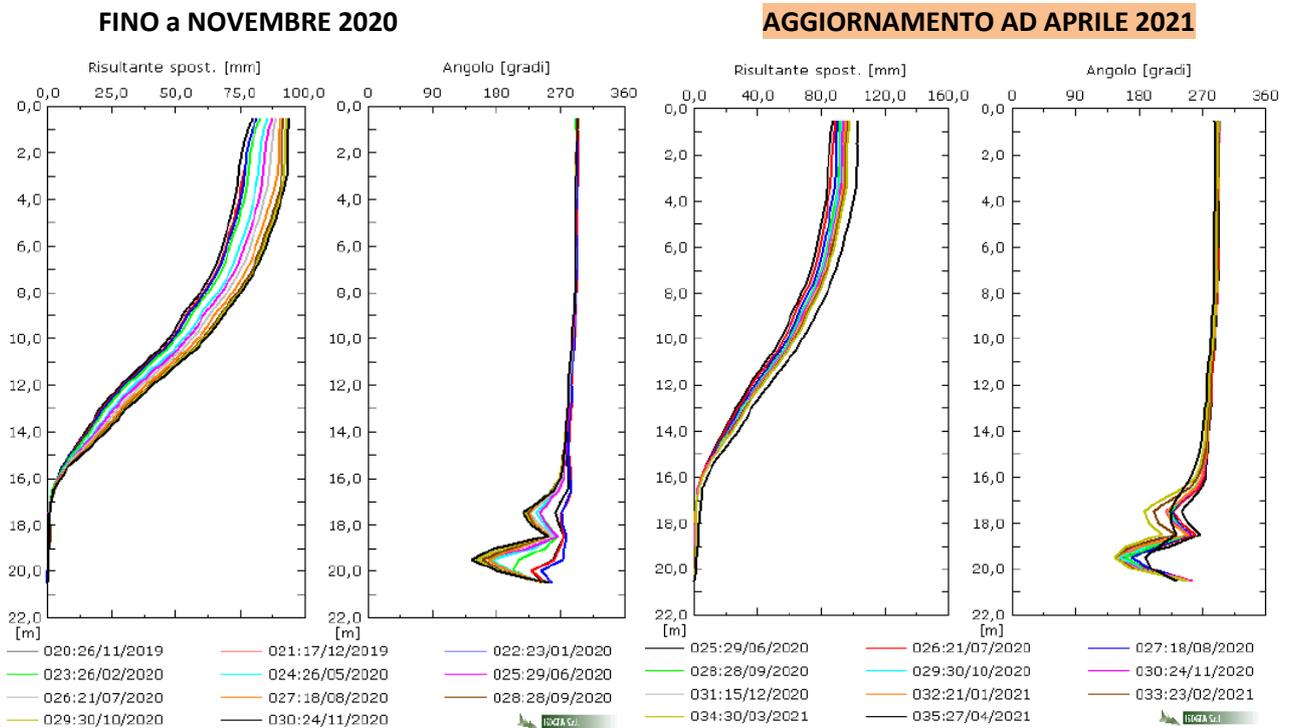


Figura 14 – Inclinometro e M3 (zero al 31-10-2018): deformata differenziale integrale dal basso e azimut

## 6.2 Monitoraggio piezometrico

La planimetria di Figura 15 mostra la disposizione planimetrica degli strumenti di monitoraggio piezometrico. Si tratta di piezometri a tubo aperto (PA, PB, PC, ASV), piezometri Casagrande (codice PC) e 22 celle piezometriche elettriche, 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 16.

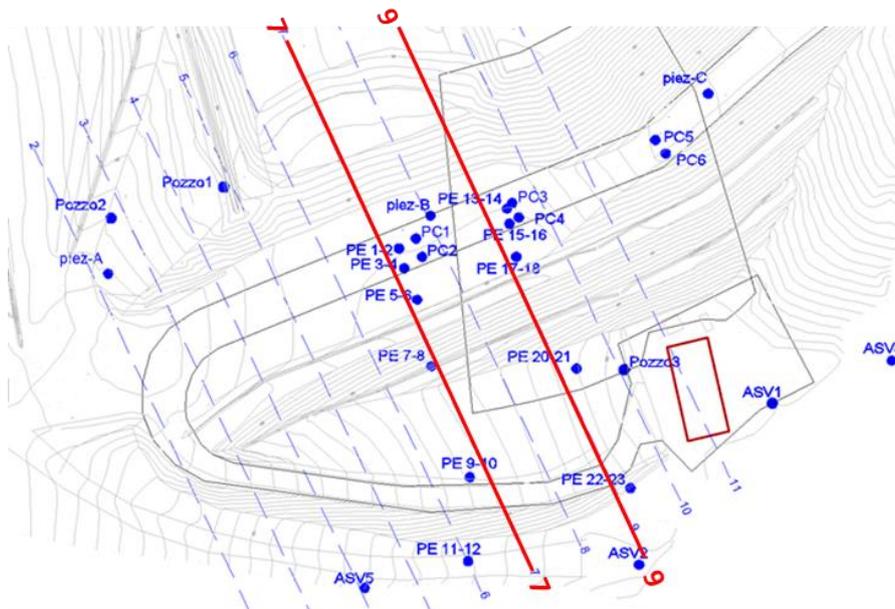


Figura 15 – Planimetria dell'argine con indicazione delle verticali di monitoraggio piezometrico

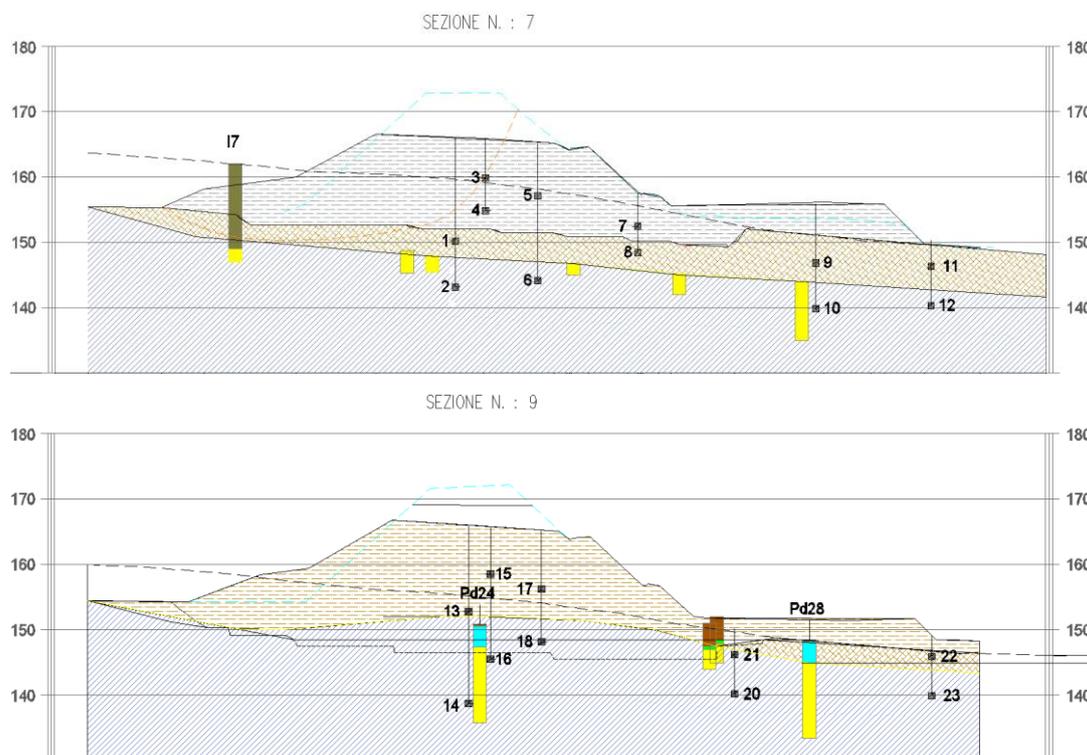


Figura 16 – Sezioni n.7 e n.9 dell'argine con indicazione della posizione delle celle piezometriche elettriche

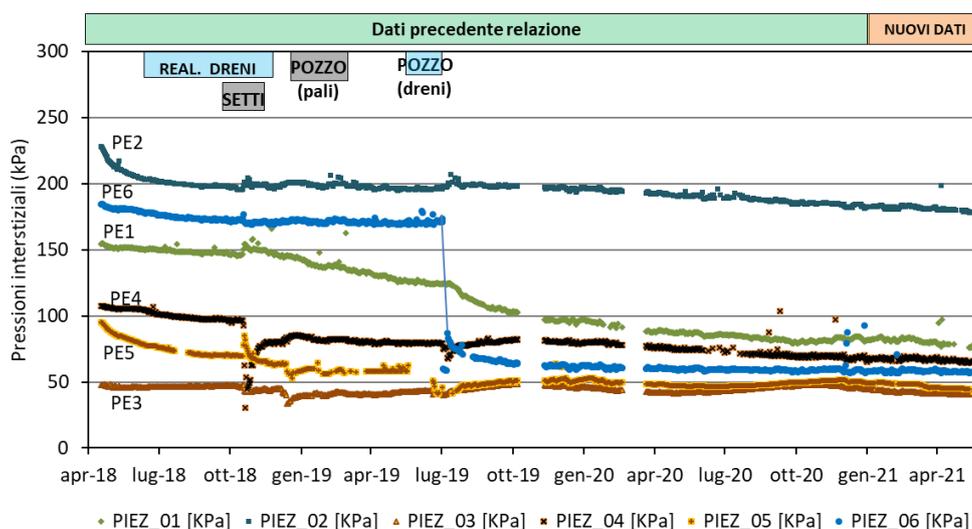
Il sistema di monitoraggio con celle elettriche si è dimostrato un valido strumento di controllo della piezometria dell'argine anche se ha manifestato alcuni problemi di stabilità del segnale elettrico che ha determinato la non perfetta continuità delle letture su tutti gli strumenti e la necessità di un filtraggio dei molti valori spuri.

Come mostrato analiticamente in Tabella 2, risultano ad oggi funzionanti 17 sensori su 22.

**Tabella 2 – Dettaglio dei piezometri elettrici installati**

Piezometro	Tipo	Terreno	Profondità cella [m da p.c.]	Data installazione	STATO (al MAGGIO 2021)
PE1	C. Elettrica	Coltre eluvio-colluviale	16,00	3-04-2018	ATTIVO
PE2	C. Elettrica	Argille grigio-azzurre	23,00	4-04-2018	ATTIVO
PE3	C. Elettrica	Corpo arginale	6,00	4-04-2018	ATTIVO
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	ATTIVO
PE8	C. Elettrica	Coltre eluvio-colluviale	9,00	4-04-2018	ATTIVO
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	ATTIVO
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	ATTIVO

L'andamento nel tempo delle pressioni interstiziali misurate nelle celle elettriche è mostrato in Figura 17 e Figura 18. 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 3 anni.



**Figura 17 – Andamento nel tempo delle pressioni interstiziali misurate dalle celle PE1-PE6**

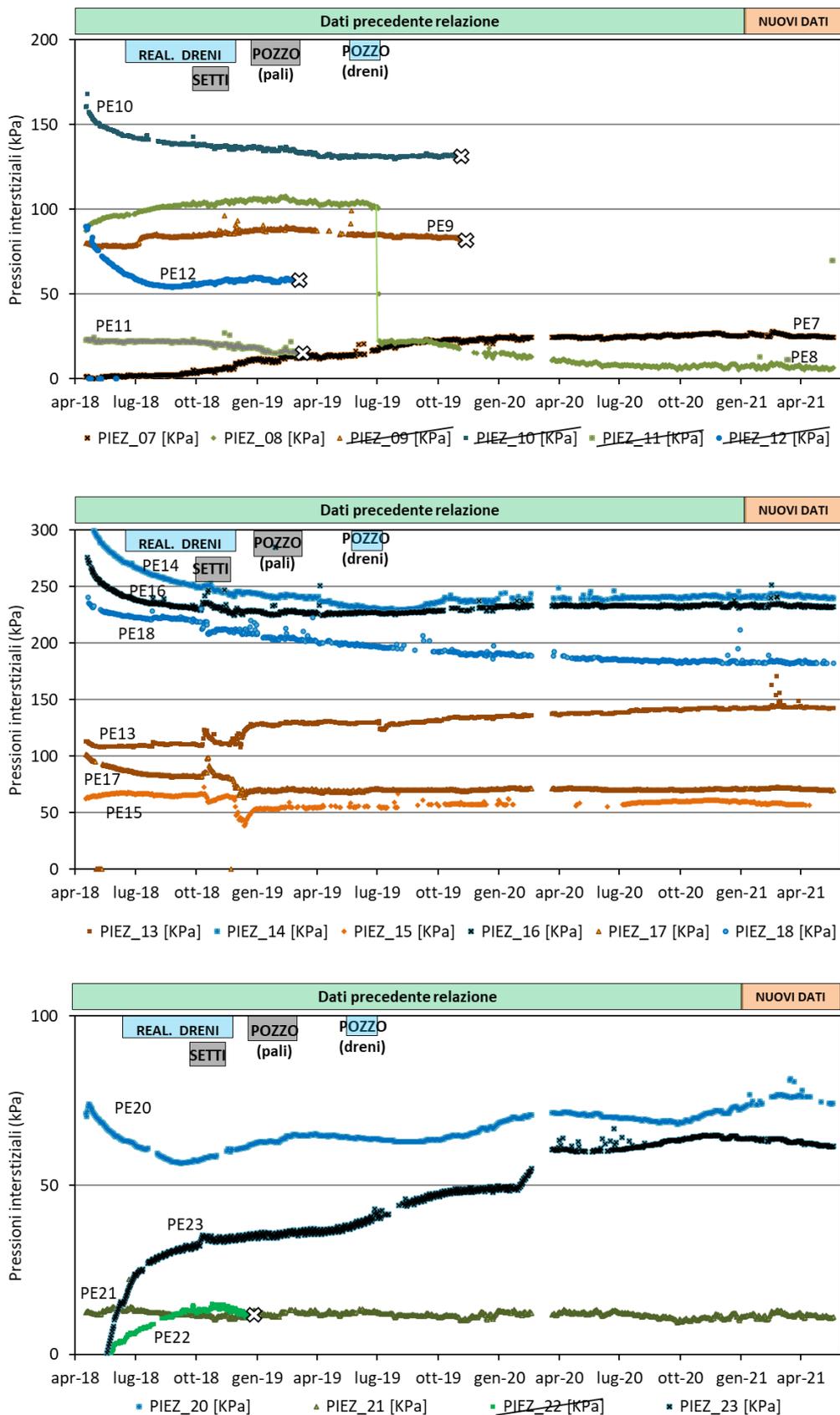


Figura 18 – Andamento nel tempo delle pressioni interstiziali misurate dalle celle PE7-PE23

Dai grafici aggiornati non si rilevano novità rispetto alle osservazioni del passato, con effetti degli interventi di drenaggio sulle sovrappressioni interstiziali che si manifestano molto lentamente. 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).

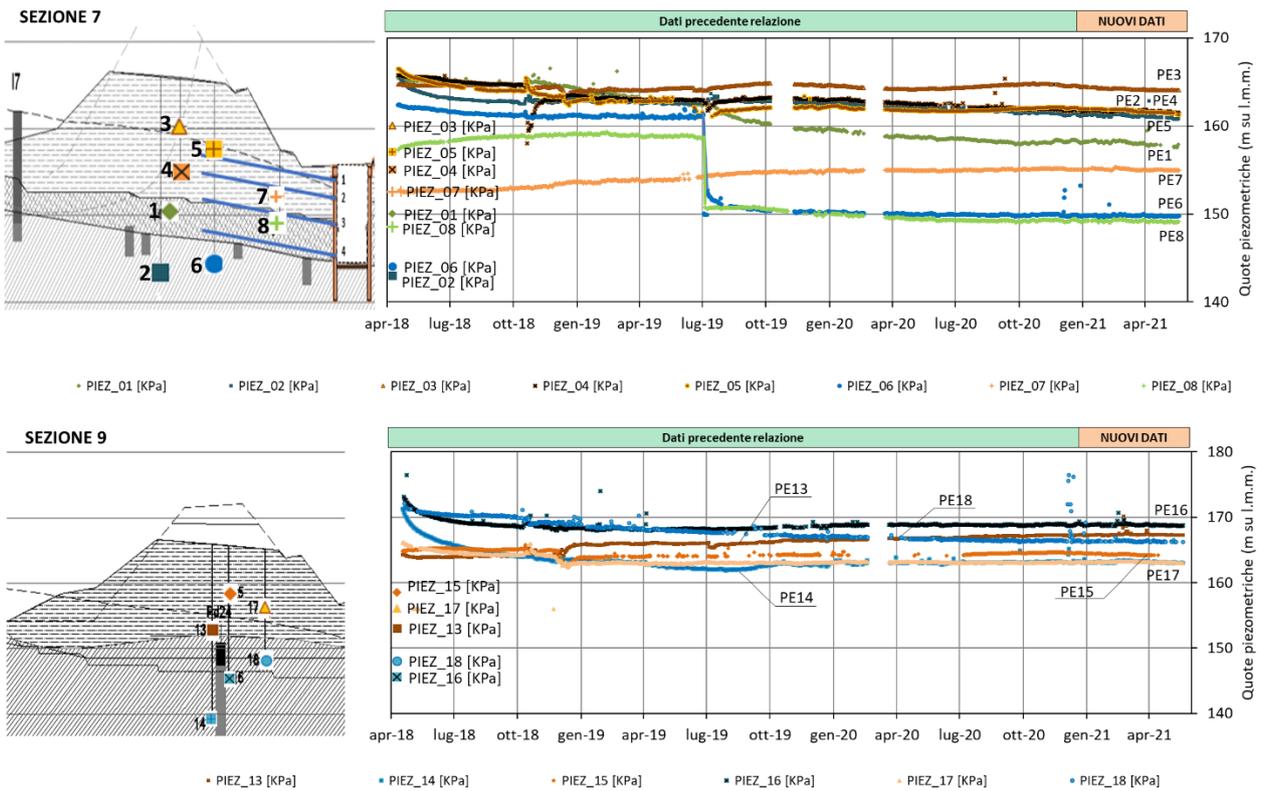
Si ricorda che l'incremento di pressione misurato nella cella PE23, collocata nel substrato marnoso a valle dell'argine, ha colmato i valori stranamente bassi ed anomali registrati nel primo periodo di attività e le misure più recenti indicano una convergenza con le misure della cella PE20, posta in prossimità e nella medesima litologia.

Osservando i trend di lungo termine si può fare qualche osservazione sulle celle più profonde (PE2, PE14, PE16, PE18) collocate nella formazione Pliocenica. Mentre le celle PE2 e PE18 mostrano un trend decrescente nel lungo termine (10-15 kPa ogni anno), PE14 e PE16 sembrano mantenere gli elevati valori di pressione interstiziale raggiunti. Può forse essere significativo osservare che PE2 e PE18 sono le celle più superficiali delle 4 considerate e quindi interpretare il comportamento dei 4 piezometri come un processo di dissipazione estremamente lento delle pressioni interstiziali generate nella formazione argillosa dal peso della costruzione dell'argine.

La Figura 19 mostra le medesime letture, espresse in termini di quota piezometrica, per i sensori più significativi della sezione n.7 e n.9 dell'argine. Dalla figura si confermano le osservazioni precedenti e precisamente che:

- molte celle elettriche indicano il permanere di elevate pressioni interstiziali sull'arginatura, con quote prossime all'attuale sommità dell'argine, sia su celle poste nel corpo arginale stesso (PE3, 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, PE6, PE8).

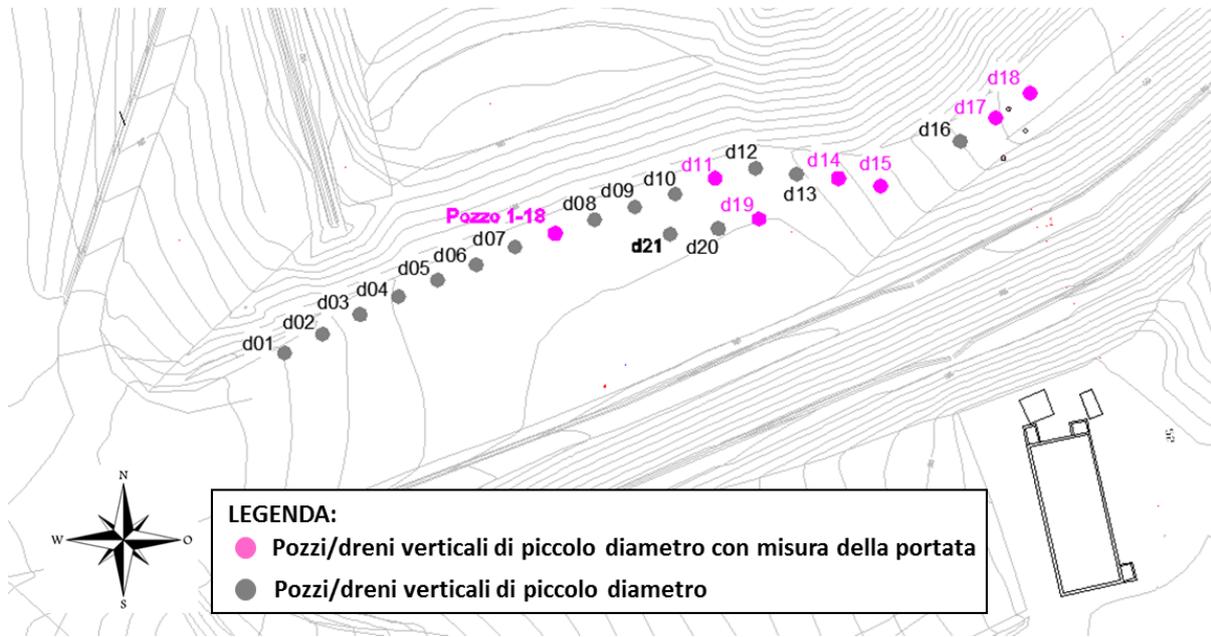
La presenza di perduranti ed elevate pressioni interstiziali nel corpo arginale è peraltro confermata dagli elevati valori di carico idraulico misurati su alcune celle Casagrande.



**Figura 19 – Andamento nel tempo delle quote piezometriche più significative nelle sez. 7 e 9 dell'argine**

### 6.3 Monitoraggio delle portate emunte dai pozzi di piccolo diametro

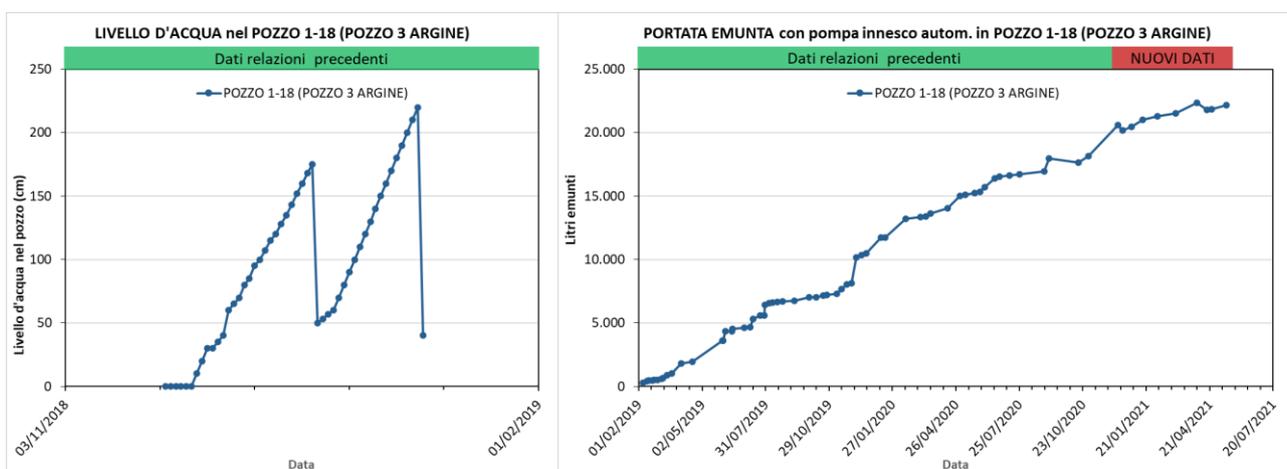
Per migliorare il drenaggio della porzione nord dell'argine non raggiunta dai drenaggi sub-orizzontali, sono stati realizzati alcuni pozzi di piccolo diametro, sfinestrati per l'intero spessore dell'argine ed estesi per alcuni metri nella formazione argillosa di base. In Figura 20 è indicata la posizione 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

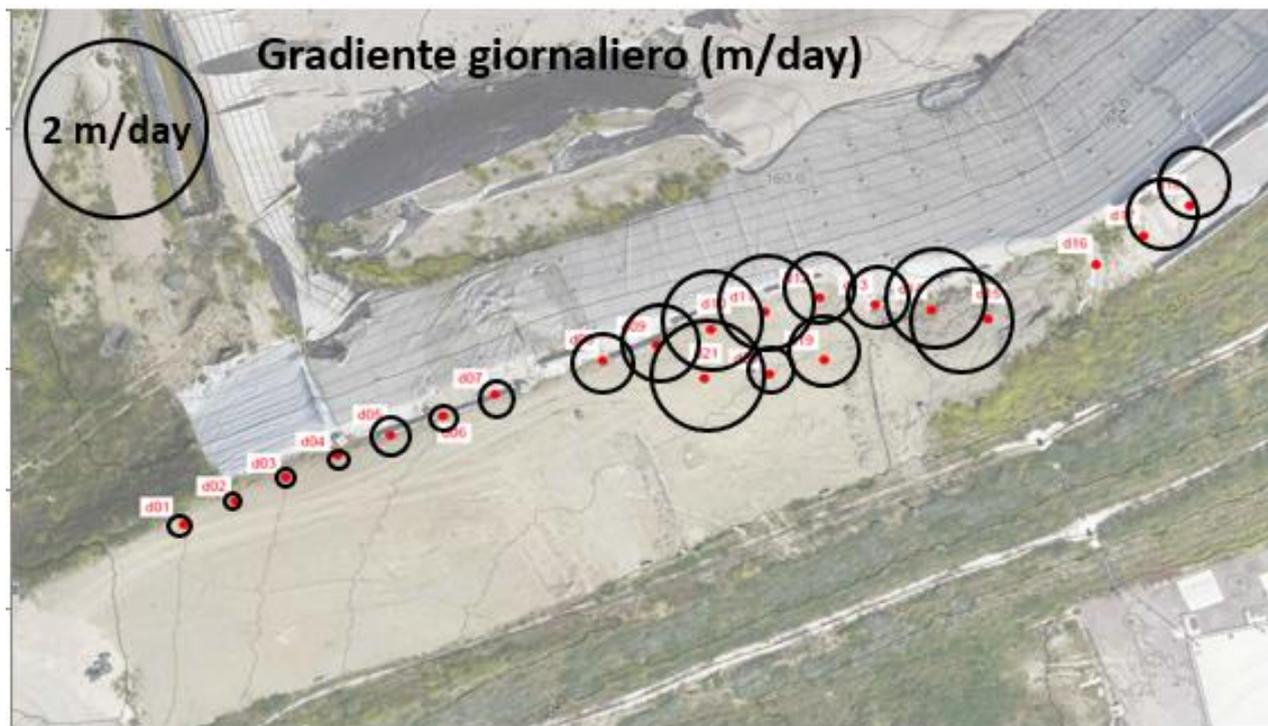
Figura 20 – Planimetria dell'argine con indicazione della posizione dei pozzi verticali di piccolo diametro e geometria dei pozzi di piccolo diametro

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 1,5-2,0m. Dal febbraio 2019 nel pozzo è stata installata una pompa sommersa ad avviamento automatico con misura del volume d'acqua emunto. In Figura 21 sono mostrati gli andamenti del livello nel pozzo nel primo periodo di funzionamento e poi la portata emunta con la pompa ad innesco automatico. Come si può osservare la capacità di emungimento del pozzo è risultata buona, tanto da giustificare l'installazione di un sistema automatico. Negli oltre due anni di funzionamento del sistema di emungimento si può osservare una portata emunta media di circa **26 litri/giorno**, significativa per un pozzo collocato in un terreno completamente argilloso e solo blandamente influenzata dai cicli stagionali.



**Figura 21 – Portata emunta dal POZZO 1-18**

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 22 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 dalla diga.



**Figura 22 – Planimetria con indicazione della velocità di riempimento dei pozzi prima della loro automazione**

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 23 è mostrato l'andamento nel tempo delle portate emunte dai diversi pozzi dotati di pompaggio automatizzato. Si osserva che nel periodo ottobre 2019 – aprile 2021 sono stati complessivamente estratti circa 80 m<sup>3</sup> d'acqua (pari a circa **150 l/giorno**) e che da 3 pozzi (POZZO 1-18, d14 e d18) venga emunto oltre il 60% del volume d'acqua totale.

In Figura 24 le portate complessive emunte da ogni pozzo nel periodo ottobre 2019 – aprile 2021 sono rappresentate su una planimetria dell'argine.

In Figura 25 le portate emunte per quadrimestri successivi sono rappresentate sulla planimetria dell'argine. Si osserva un andamento delle portate poco influenzato dalla stagione.

In relazione al significativo periodo di monitoraggio, dai dati esposti si evince che gli elevati quantitativi d'acqua emunti sono difficilmente riconducibili a soli fenomeni di espulsione d'acqua per consolidazione dei terreni dell'argine ed è invece ragionevole ricondurli ad una pur modesta circolazione sotterranea che porta le acque infiltranti sui versanti collinari alla base dell'argine che è oggi il punto più basso della formazione argillosa per la sezione di interesse. Le misurazioni nel tempo ed il progressivo riempimento della discarica (con la sua progressiva impermeabilizzazione) potranno dare maggiori elementi di interpretazione di questo fenomeno che meriterebbe di essere meglio investigato.

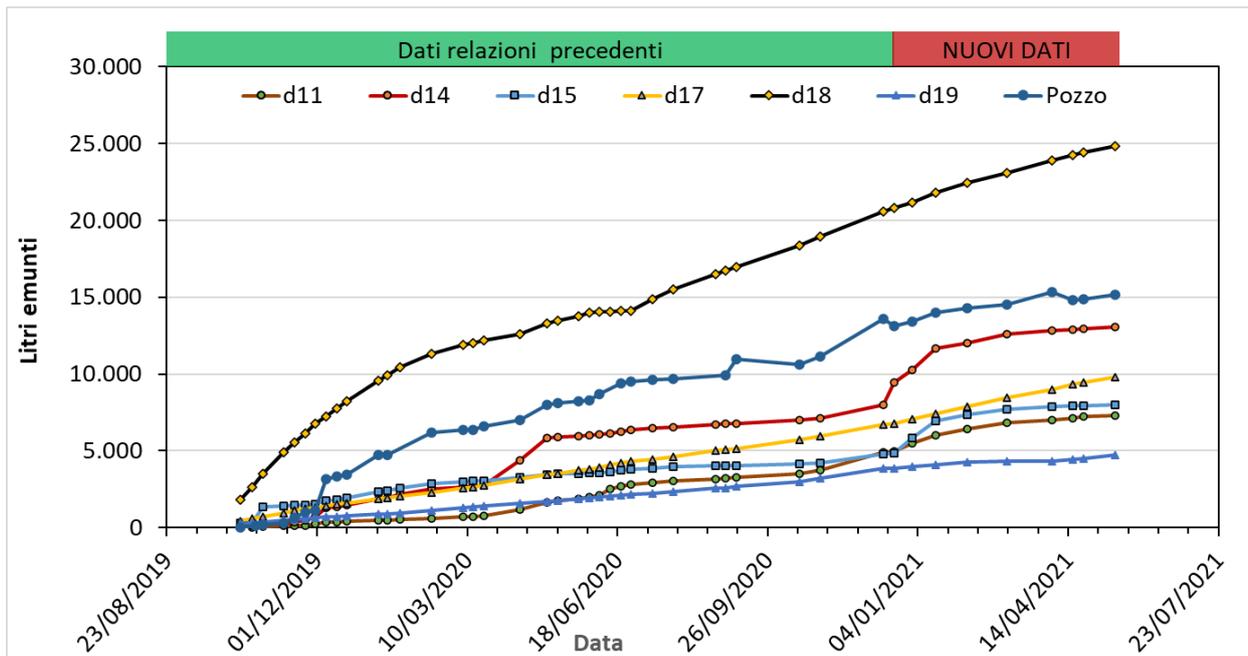


Figura 23 – Portate emunte dai pozzi dotati di pompaggio automatico

### Portata emunta OTT2019 - APR2021

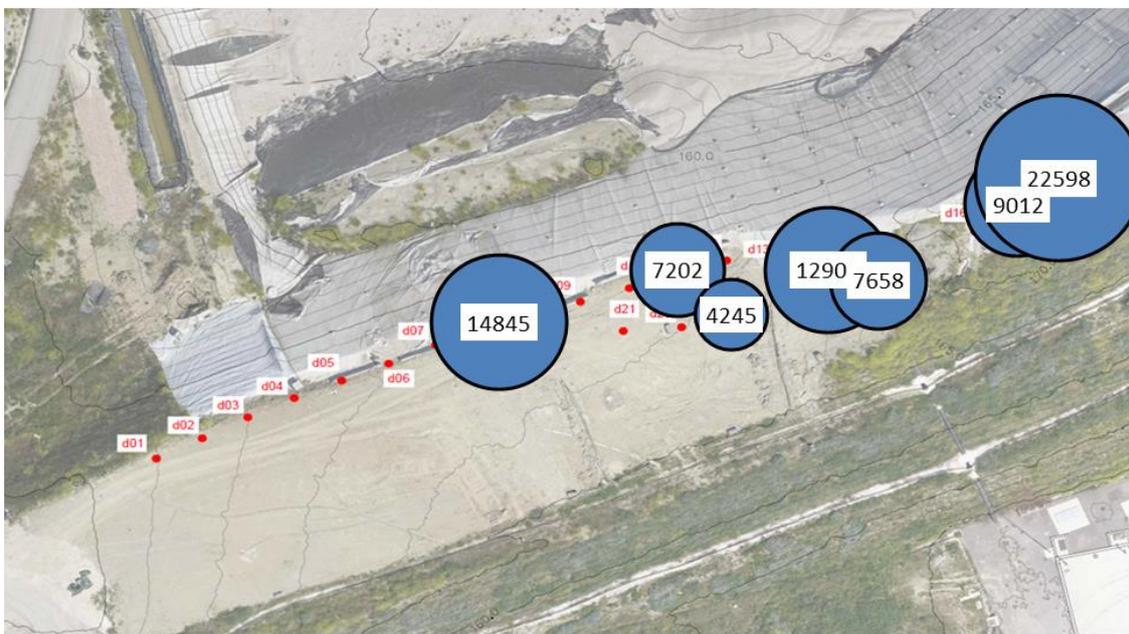


Figura 24 – Rappresentazione grafica delle portate emunte nel periodo OTTOBRE 2019 – APRILE 2021

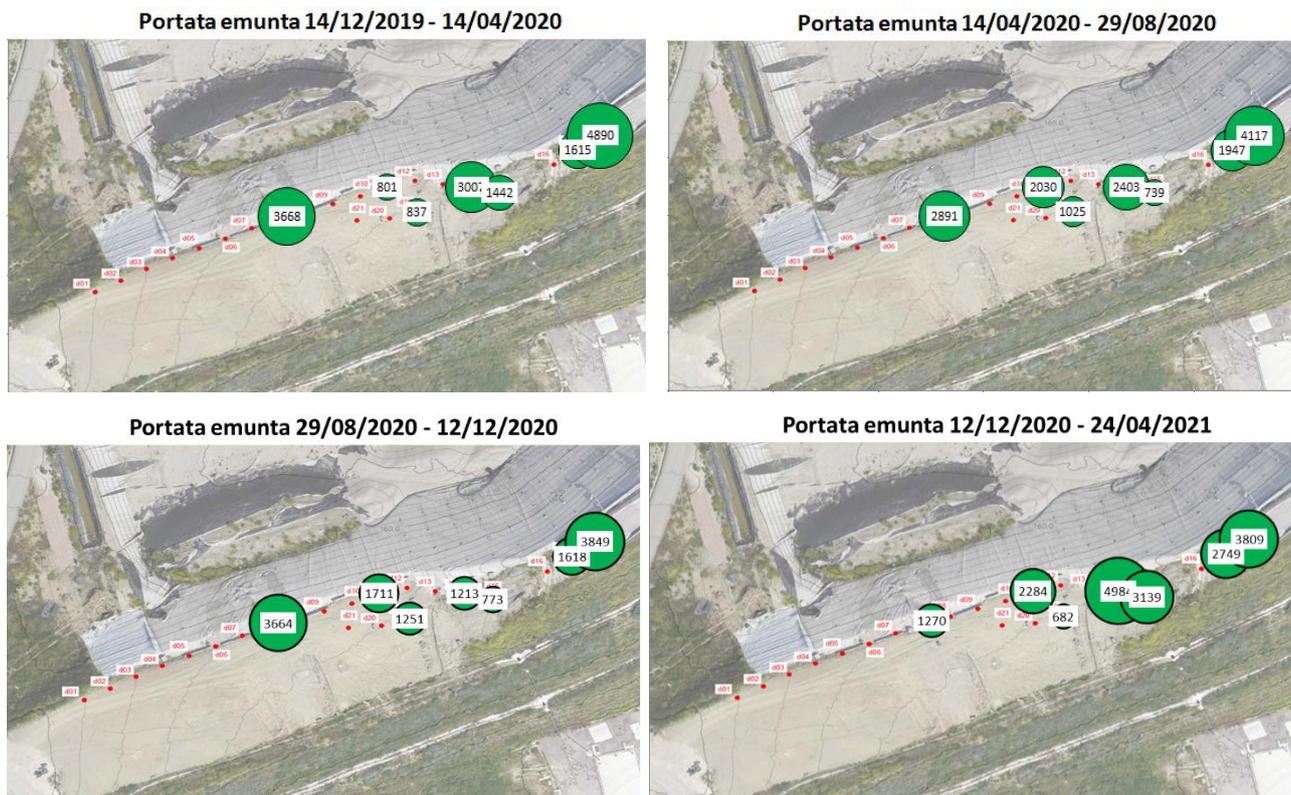
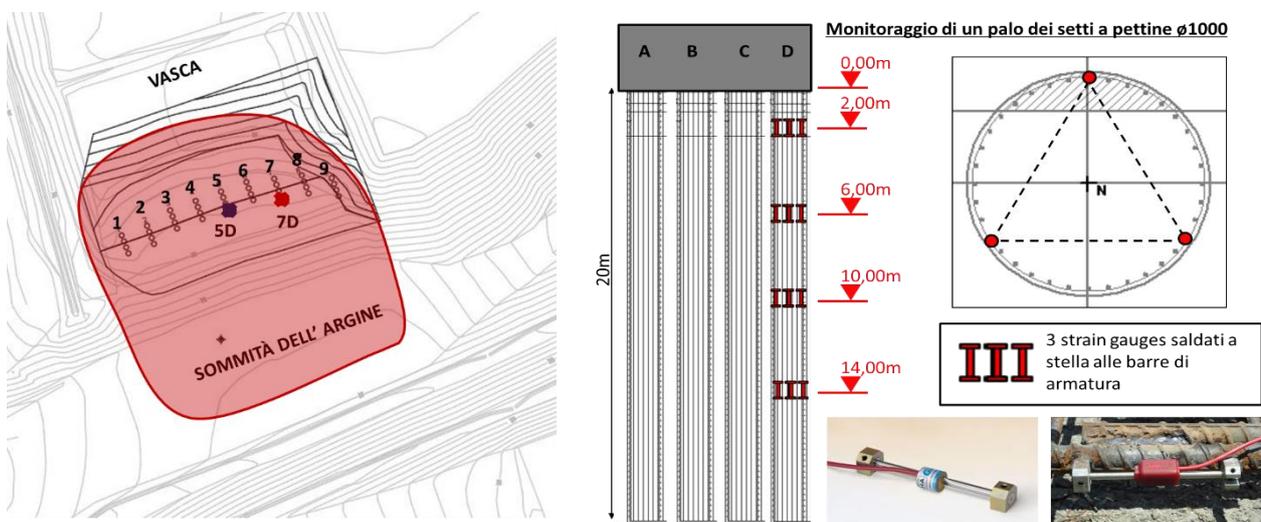


Figura 25 – Rappresentazione grafica delle portate emunte per quadrimestri successivi

## 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 26 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 stati danneggiati dalle operazioni di getto e non hanno mai fornito lettura, mentre gli altri 20 sono tuttora correttamente funzionanti.



**Figura 26 – Posizione dei pali strumentati con strain-gauges e disposizione degli strumenti**

Gli strain-gauges forniscono una misura della deformazione subita dalla barra di armatura a cui sono collegati: 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 27 e Figura 28 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 4 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 un primo periodo dove la risposta delle due strutture è molto simile, mentre qualche differenza è emersa durante la fase di riempimento della discarica a ridosso dell'argine, probabilmente a causa della asimmetria del riempimento a ridosso dell'argine (oggi la quota di riempimento è più alta nel settore est – PALO 7 che nel settore ovest – PALO 5). In particolare:

- da febbraio a maggio 2019:
  - si osserva una entrata in carico del palo per azione prevalentemente flettente, 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.
- 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 (NUOVI DATI):

- 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).

In sintesi, i valori registrati dagli strain-gauges sui pali rispecchiano con accuratezza il succedersi degli eventi: in una prima fase i pali risentono del dissesto dell'argine, subendo una spinta verso Nord; poi il riempimento della discarica nel settore corrispondente all'unghia del dissesto determina un'inversione della spinta, ora agente verso Sud; quindi il riempimento ulteriore del settore est a ridosso dell'argine aggiunge una componente di spinta diretta da est verso ovest alle azioni precedentemente agenti sui pali.

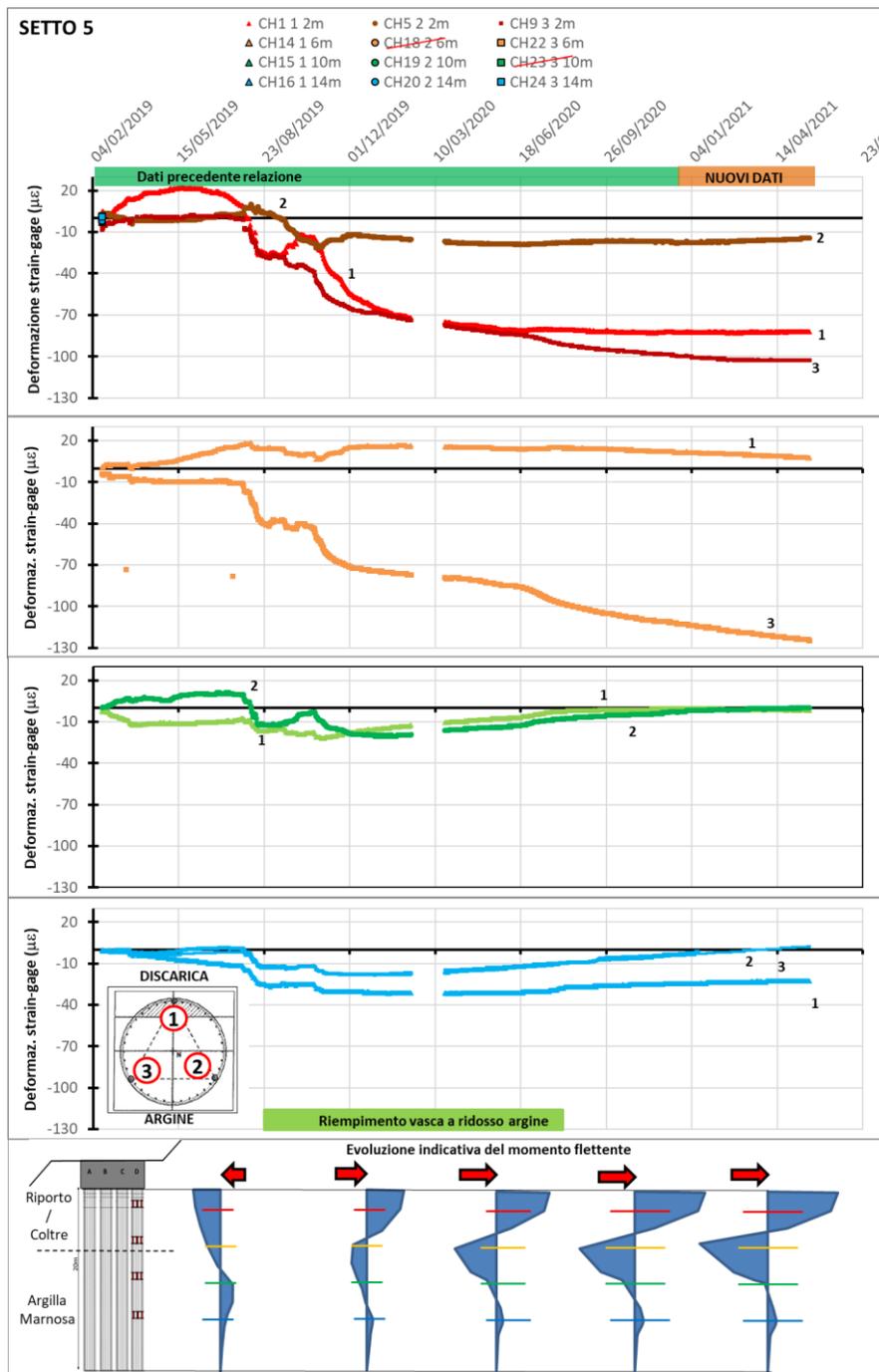


Figura 27 – Andamento temporale della lettura agli 3 strain-gauges del palo D su setto n.5

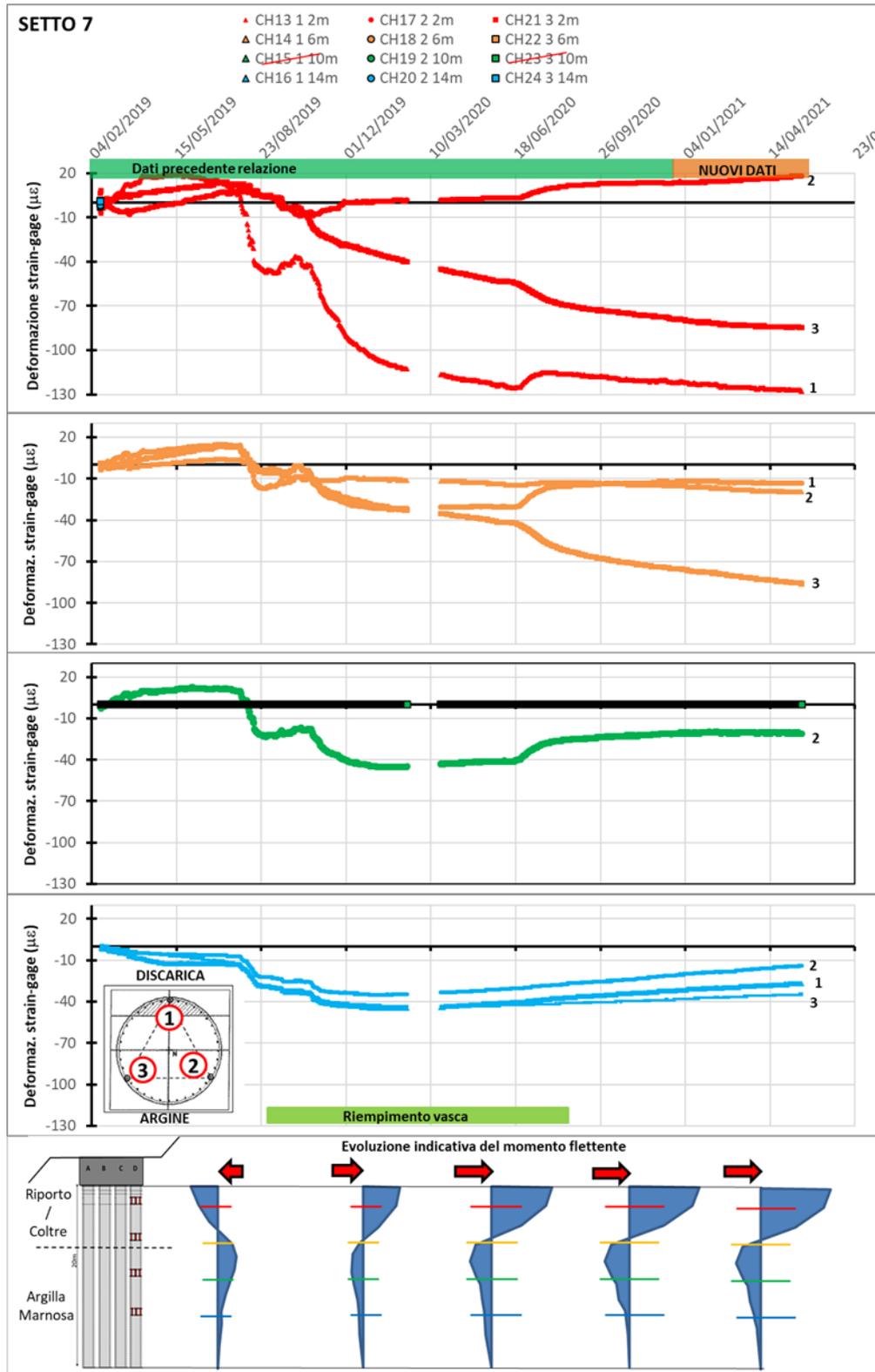


Figura 28 – Andamento temporale della lettura agli strain-gauges del palo D su setto n.7

Un interessante elemento che è stato evidenziato recentemente è l'aumento della temperatura misurato da alcuni sensori posti all'interno dei pali. Dato che per compensare termicamente la lettura agli strain-gauges 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 29 e Figura 30 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 dai rifiuti, in maniera sostanzialmente identica nei due pali. Oggi la temperatura dei sensori a 2 m di profondità si è circa stabilizzata sui 26 °C.

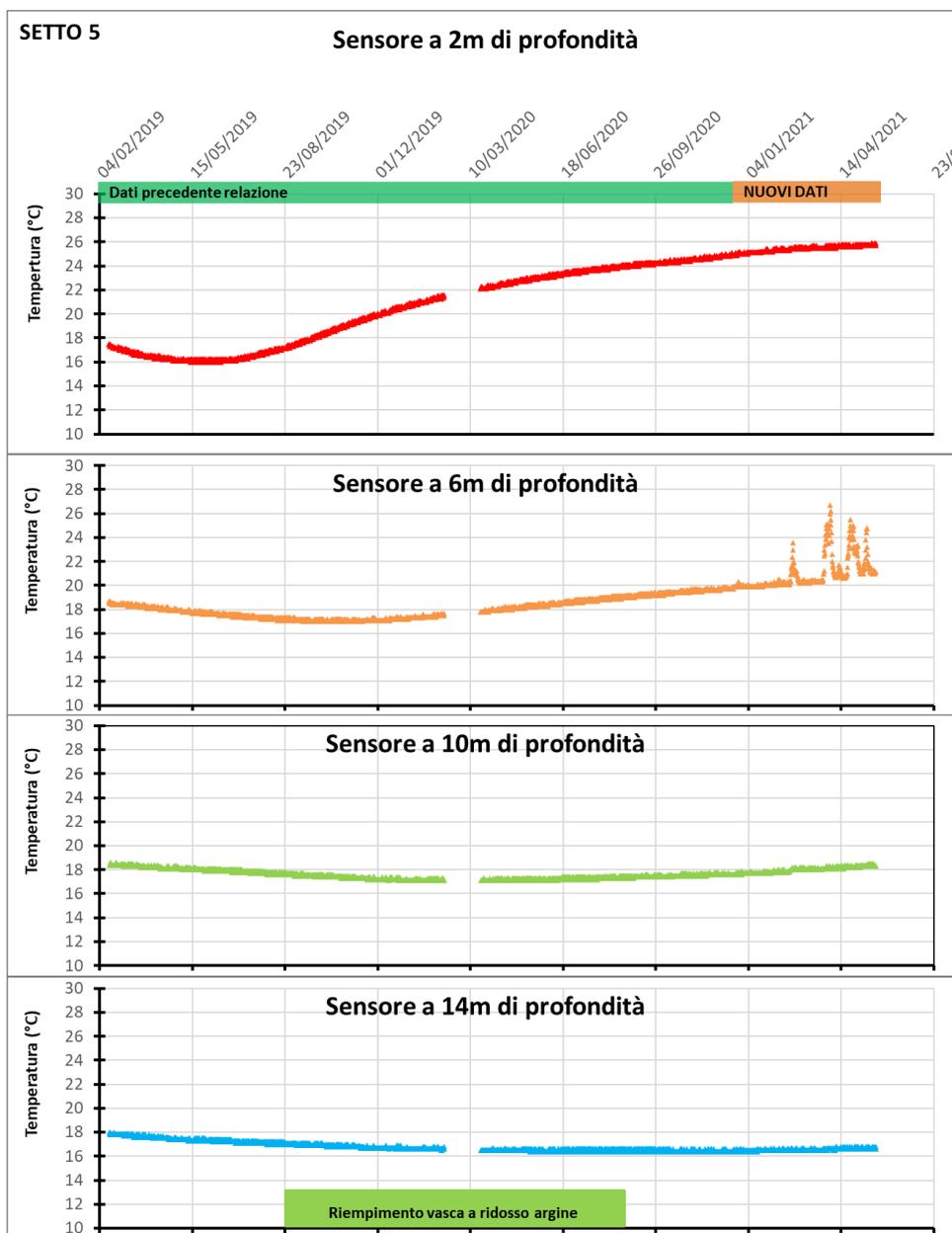


Figura 29 – Andamento temporale della temperatura nei pali D del setto n.5

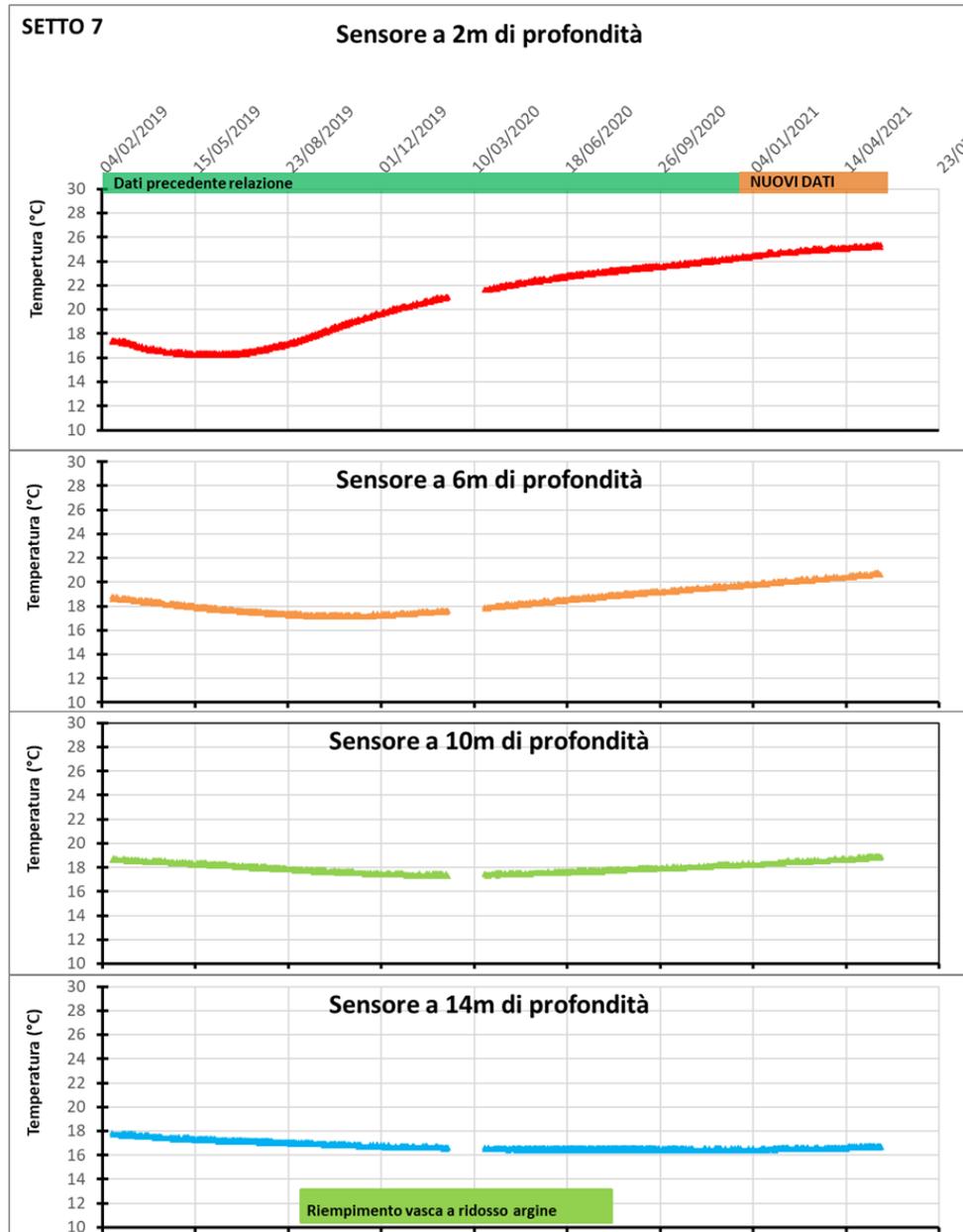


Figura 30 – Andamento temporale della temperatura nei pali D del setto n.7

## **7 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, senza evidenza di reazioni anomale rispetto ai carichi applicati.

Il livello di riempimento della discarica in prossimità dell'argine inibisce qualunque evoluzione del dissesto originario che aveva interessato il paramento interno dell'opera. I dati strumentali, sia inclinometrici che di monitoraggio delle deformazioni dei pali di consolidamento dell'argine, confermano infatti un'inversione dei trend deformativi, oggi orientati verso sud, coerentemente alla spinta esercitata dai rifiuti accumulati nella discarica.

La prosecuzione del monitoraggio dell'argine è quindi oggi orientata al controllo della risposta deformativa alle spinte esercitate dal progressivo riempimento della discarica. I dati inclinometrici disponibili indicano modesti incrementi della deformazione dell'argine nel settore Est, la porzione dell'opera attualmente di maggiore altezza e a tergo della quale il livello del riempimento della discarica è maggiore. Anche se nell'ultimo periodo non vi è stato accumulo di rifiuti a tergo dell'argine, l'accesso dei mezzi alle aree più interne della discarica avviene transitando in prossimità dell'arginatura che quindi continua ad evidenziare un'elevata sensibilità a qualunque variazione di carico. E' pertanto opportuno continuare a tenere sotto controllo la situazione con la cadenza attuale delle letture inclinometriche.

Dopo tre anni di monitoraggio della piezometria dell'argine permangono elevate pressioni interstiziali sia nel corpo arginale che nel substrato pliocenico, che risentono solo molto lentamente degli intensi interventi messi in campo per il drenaggio dell'opera, tra cui dreni sub-orizzontali e pozzi di emungimento di piccolo diametro.

L'elevata portata d'acqua che continua ad essere emunta dai pozzi verticali di piccolo diametro, se da un lato garantisce il mantenimento di un drenaggio efficace della fondazione dell'argine, dall'altro indica ormai con elevata probabilità la presenza di una, seppur modesta, circolazione idrica sotterranea alla scala locale dei versanti, più sostenuta di quanto si potesse ipotizzare vista la natura argillosa dei terreni presenti. Va ricordato infatti che la fondazione dell'argine è il punto più basso della formazione pliocenica di bassissima permeabilità rispetto a tutta l'area circostante. Quindi l'acqua che viene continuamente emunta può provenire sia da un'infiltrazione lungo le pendici esposte alle piogge della valle sia dall'acqua eventualmente infiltrata sottotelo che non riesce ad essere raccolta dalle apposite tubazioni, schermate da diverse decine di centimetri di argilla compattata.

Si è già detto e si conferma anche ora che la permanenza di elevati gradienti idraulici sia nella formazione pliocenica che nel corpo arginale dopo tre anni di monitoraggio non era facilmente prevedibile ed è pertanto un fenomeno meritevole di qualche ulteriore approfondimento.

Per il corpo arginale, una possibile spiegazione potrebbe essere legata alla combinazione tra la bassa permeabilità e l'elevata deformabilità dell'argilla compattata dell'argine. In sostanza, la progressiva espulsione d'acqua per consolidazione da parte del terreno dell'argine non determina un trasferimento di significative quantità di carico sullo scheletro solido del terreno cosicché l'argine cede senza che si osservino chiare riduzioni della pressione interstiziale.

Per la formazione pliocenica sottostante, che pure mostra le medesime elevate pressioni interstiziali ma con uno scheletro solido molto più rigido di quello dell'argine, potrebbe invece mancare una via di drenaggio delle pressioni interstiziali proprio per la presenza dell'argine soprastante.

Per approfondire il tema si conferma il suggerimento di mettere in campo le seguenti azioni:

- per la deformazione del corpo arginale:
  - continuare con un rilievo dei target topografici collocati sull'argine, a cadenza almeno annuale;
  - installare 2 verticali assestometriche sull'argine, con anelli magnetici, per monitorare l'evoluzione dei cedimenti dell'argine anche interni all'argine stesso;
- per le argille plioceniche di base:
  - monitorare il comportamento delle pressioni interstiziali al variare del carico dei rifiuti nella formazione pliocenica, in un'area dove questa non è stata ancora caricata dai rifiuti.

Per il dettaglio di questi due interventi di indagine e monitoraggio si rimanda alle Appendici della precedente relazione, nel seguito riportate per comodità.

Si suggerisce inoltre un intervento di manutenzione su due piezometri Casagrande posti sull'argine che forniscono valori anomali delle pressioni interstiziali: PC-4, il cui pozzetto è permanentemente allagato, e il PC-5 le cui due celle sono vuote da tempo; si propone di procedere ad una loro pulizia tramite un intervento di 'spurgo'.

Infine, relativamente al tema dell'elevato apporto idrico sui pozzi di emungimento, si propone di investigare l'origine di tale fenomeno tramite il coinvolgimento di specialisti idrogeologi. Una migliore conoscenza dell'origine di tale apporti potrebbe forse indicare una modalità di intervento tendente ad evitare un flusso d'acqua così consistente fino alla fondazione dell'argine.



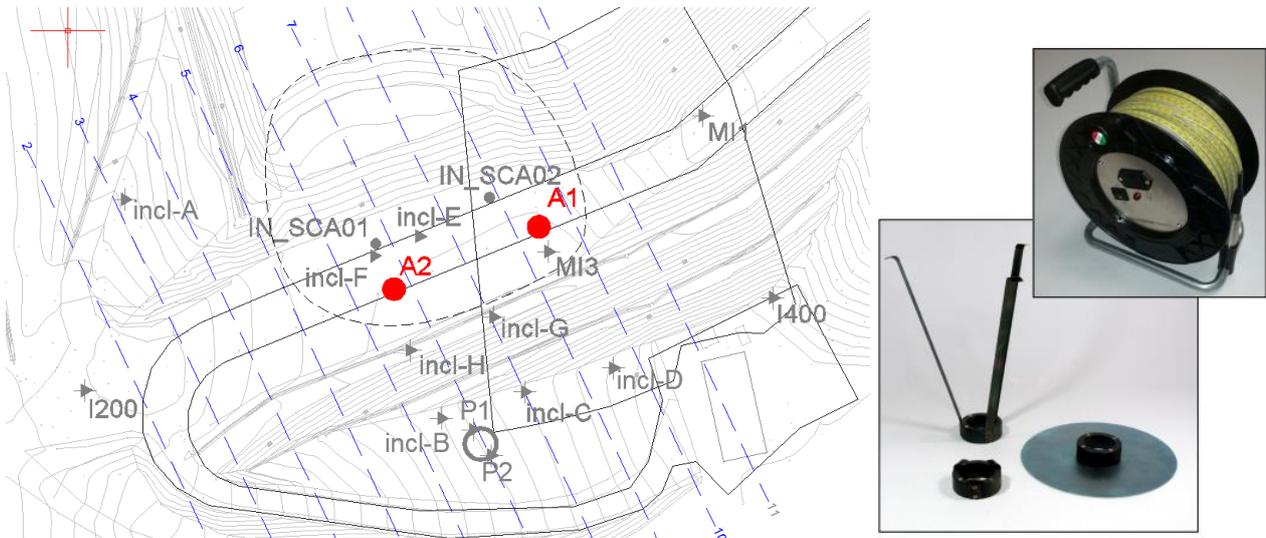
# APPENDICE 1

## PIANO DI MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI VERTICALI DELL'ARGINE

## PIANO DI MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI VERTICALI DELL'ARGINE

Per approfondire la conoscenza della distribuzione delle deformazioni verticali che avvengono in profondità nel corpo arginale si propone di installare due verticali assestometriche ad anelli magnetici.

Una colonna assestometrica è dotata di una serie di punti di misura (anelli magnetici), la cui posizione, rilevata per mezzo della sonda di lettura, consente di conoscere gli abbassamenti relativi a ciascun tratto compreso tra due anelli e l'abbassamento totale rispetto ad un punto di riferimento. Gli anelli magnetici, per mezzo di molle in acciaio, sono solidali al terreno e quindi si spostano in conseguenza di compattazioni o spinte del terreno. Le letture vengono eseguite facendo scendere la sonda all'interno del tubo guida: essa permette perciò di rilevare la posizione assunta dagli anelli magnetici dopo gli assestamenti. Quando la sonda entra nella zona di campo magnetico di un anello, si chiude un circuito e si attiva un segnale acustico e visivo. L'operatore può quindi registrare la profondità cui si trova la sonda misurando il valore sul cavo centimetrato. Si prevede di installare due verticali (A1 e A2), di lunghezza L=22 m e con 10 anelli di misura per ogni verticale (alle profondità di 2-4-6-8-10-12-14-16-18-20 m dalla sommità), mentre gli ultimi 2 m garantiranno un punto di misura fisso nella formazione pliocenica. Si prevede di eseguire misure trimestrali degli abbassamenti.



A titolo esemplificativo, si allega la descrizione tecnica della strumentazione di interesse proposta dalla ditta "Gestecno srl".



## APPENDICE 2

# PIANO DI MONITORAGGIO SULLA RISPOSTA AL CARICO DELLA FORMAZIONE PLIOCENICA

## PIANO DI MONITORAGGIO SULLA RISPOSTA AL CARICO DELLA FORMAZIONE PLIOCENICA

In relazione alle misure di sovrappressione interstiziale nelle argille plioceniche di base eseguite sulla fondazione dell'argine, si propone di mettere in opera dei sensori nei terreni di fondazione di una zona della discarica in fase di ampliamento. L'obiettivo è di posizionare nei terreni naturali al disotto del pacchetto di impermeabilizzazione di base della discarica dei sensori per la misura del carico totale e dei piezometri elettrici. Tali strumenti, attivati prima dell'inizio del riempimento della discarica, permetteranno di capire la risposta della formazione pliocenica, in termini di sviluppo e dissipazione di sovrappressioni interstiziali, al carico indotto dallo stoccaggio dei rifiuti.

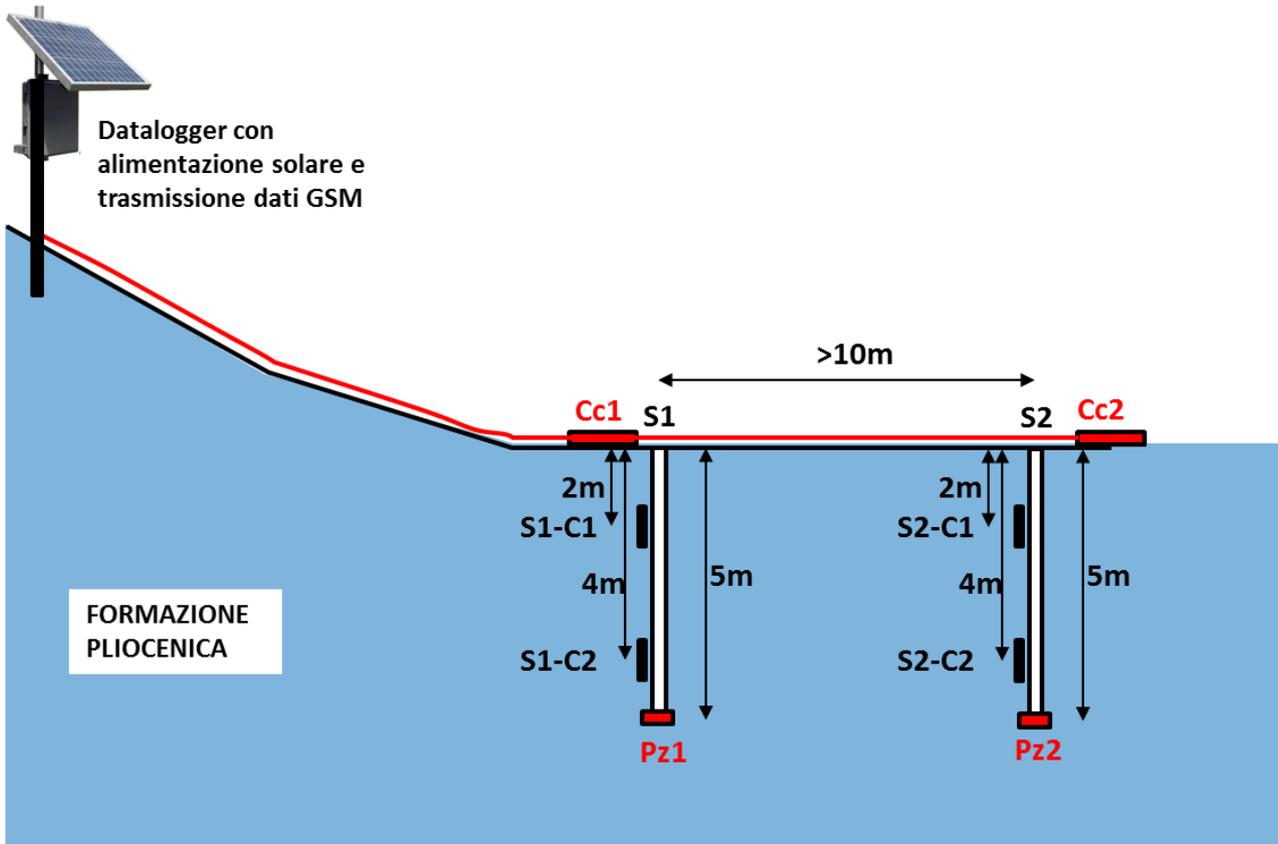
L'area scelta è indicata nella figura seguente e corrisponde all'ultimo settore ancora non impermeabilizzato dell'originario fondo della vallecchia su cui è stata realizzata la nuova discarica.



Il piano di monitoraggio consiste in:

- realizzazione di due sondaggi a carotaggio continuo (S1 e S2) della lunghezza di 5 m con prelievo di 4 campioni indisturbati (S1-C1, S1-C2, S2-C1 e S2-C2);
- posizionamento a 5 m di profondità di due piezometri elettrici resistivi (Pz1 e Pz2) e sigillatura del foro soprastante;
- posizionamento sul piano campagna di due celle di pressione totale (Cc1 e Cc2);
- collegamento elettrico dei 4 sensori a datalogger con alimentazione solare e trasmissione dati GSM

La figura seguente mostra la disposizione indicativa della strumentazione.



I campioni S1-C1 e S1-C2 saranno conservati in cella frigorifera per almeno 1 anno in attesa di valutare eventuali prove geotecniche. Sui campioni S2-C1 e S2-C2 si determineranno:

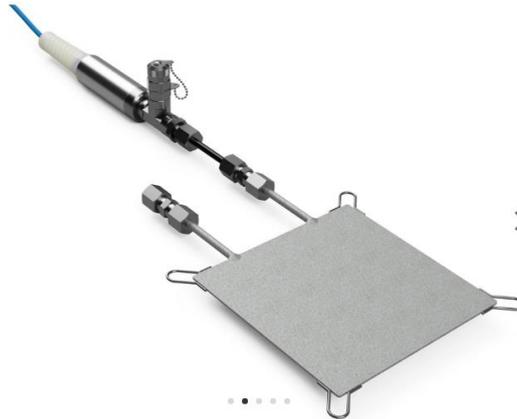
- descrizione del campione e fotografia;
- curva granulometrica completa (setacciatura e sedimentazione);
- misura del contenuto in acqua;
- limiti di Atterberg;
- prova edometrica a deformazione controllata (CRS) al fine di determinare il grado di sovraconsolidazione di terreni fortemente sovraconsolidati;
- contenuto di carbonati;
- prova di permeabilità.

## DETTAGLI SULLA STRUMENTAZIONE

### CELLA DI PRESSIONE TOTALE

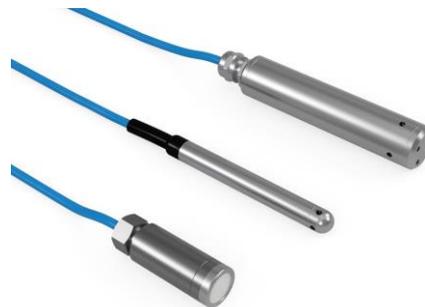
Le celle di pressione NATM vengono utilizzate per il controllo delle pressioni agenti al contatto tra una opera di sostegno (ad esempio una centinatura in galleria) e un terreno spingente.

La cella è costituita da un polmone d'acciaio di forma rettangolare riempito da un olio speciale e collegato ad un trasduttore elettrico che trasforma ogni variazione di pressione agente sul polmone in una variazione di segnale elettrico con uscita standard 4÷20 mA.



### PIEZOMETRO ELETTRICO RESISTIVO

Il piezometro elettrico resistivo è un trasduttore di pressione che viene utilizzato per misurare la pressione interstiziale nel terreno (versione assoluta) oppure per determinare l'altezza piezometrica all'interno di piezometri (versione relativa). Nella sua versione relativa, all'interno del cavo di collegamento un tubicino mette in comunicazione la camera di riferimento del sensore con l'atmosfera, in modo tale che eventuali variazioni di pressione ambientale agiscano contemporaneamente sia sulla superficie piezometrica che sulla camera di riferimento: ciò permette di misurare la sola pressione piezometrica e quindi il livello dell'acqua.



Di seguito, a titolo esemplificativo, si allegano le descrizioni tecniche della strumentazione di interesse predisposta dalla ditta "Gestecno srl".