



AIPO

Agenzia Interregionale per il fiume Po



COMUNE DI STAGNO LOMBARDO
Provincia di Cremona

SETTORE POLITICHE ENERGETICHE PATRIMONIO AMBIENTE SERVIZI LAVORI PUBBLICI

Commessa:

CR-E-815 Rifacimento chiavica del Fossadone sull'Argine Maestro sinistro del fiume Po in Comune di Stagno Lombardo (CR) - Cod OPERA 936 - CUP B53H19000290002 - CIG 82186558A7

Livello di progettazione

PROGETTO ESECUTIVO

STRALCIO 1



©I.S.I. Ingegneria e Ambiente
Ing. Gian Lorenzo Bernini - Ing. Rosaria Ragazzini
Via Martiri della Liberazione, 36 - 43126 Vicofertile (PR)
cod.fisc. e P.I. 02577010347
Tel. 0521 941229 - info@isiingegneriaeambiente.it

Progettazione

Ing. Gian Lorenzo Bernini
Ing. Rosaria Ragazzini

Titolo

Verifica di stabilità arginale

Numero

2020-815-CR-IDRR3

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
02	28.08.2020	Aut. Paesaggistica	RR	RR	FA
03	23.12.2020	Progetto Definitivo	RR	RR	FA
04	31.03.2021	Progetto Esecutivo	RR	RR	FA
05	25.05.2021	Validazione	RR	RR	FA

Tutti i diritti sono riservati a norma di legge, di questo elaborato è vietata la riproduzione e la cessione a terzi senza esplicita autorizzazione

Sommario

1	PREMESSA	2
1.1	Interventi previsti	3
1.2	Caratterizzazione geologica e geomorfologica del sito	4
2	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E STRATIGRAFIA DI CALCOLO	5
3	STIMA DEL CEDIMENTO DEL RILEVATO ARGINALE	6
3.1	Descrizione del metodo di calcolo	6
3.2	Stima del cedimento – SCENARIO 1 ($mv=0.0226\text{cm}^2/\text{daN}$)	6
3.2.1.	<i>Descrizione della fondazione.</i>	6
3.2.2.	<i>Risultati.</i>	7
3.3	Stima del cedimento – SCENARIO 2 ($mv=0.0954\text{cm}^2/\text{daN}$)	9
3.3.1.	<i>Descrizione della fondazione.</i>	9
3.3.2.	<i>Risultati.</i>	9
4	VERIFICHE DI STABILITÀ ARGINALE	11
4.1	Metodo di calcolo	11
4.2	Carichi agenti	12
4.3	Sezione di calcolo ed analisi	12
5	MONITORAGGIO	15
6	CONCLUSIONI	16

1 PREMESSA

Nella presente relazione è riportata la stima dei cedimenti verticali del rilevato arginale di progetto in affiancamento a quello esistente la cui realizzazione è prevista nell'ambito dei lavori di adeguamento dell'attuale sistema di compartimentazione dell'attraversamento del cavo Fossadone con l'argine maestro di Po con un nuovo manufatto di regolazione e pompaggio a monte dell'esistente.

Nell'assetto attuale lo scarico del Fossadone in Po è regolato da una chiavica a tre luci, ognuna di 2,0 m di larghezza, presidiate da un semplice ordine di paratoie metalliche manuali.

La quota arginale in corrispondenza della chiavica è pari a circa 38,10 m s.l.m., inferiore di circa 1,0 m rispetto alla sommità arginale adiacente, e per tale motivo l'impostazione del piano del manufatto esistente risulta ad una quota arginale non adeguata agli eventi di piena registrati negli anni 1951-1994-2000.

Il sito d'intervento è posizionato in prossimità della sezione 27B del Catasto delle Arginature Maestre del Fiume Po con quota idrometrica di riferimento PAI per TR200 pari a 38,17 m s.l.m..

La sommità arginale adiacente al manufatto presenta, infatti, quota 39,20 m s.l.m. adeguata al livello idrometrico TR200 con 1,0 m di franco. Il progetto di adeguamento e potenziamento della struttura prevederà:

- **L'adeguamento della sommità arginale anche nel tratto in corrispondenza del manufatto esistente;**
- L'inserimento di una nuova struttura di contenimento dotata di tre luci di passaggio, in allineamento con le esistenti, regolate da tre paratoie installate con la possibilità di comando automatico da remoto;
- L'allestimento di un impianto di sollevamento per lo smaltimento delle portate del cavo Fossadone in caso di piena del Po (ed eliminazione del rischio di allagamento per rigurgito delle campagne a monte – come evidenziato dal PGT comunale nella perimetrazione delle aree di rischio idrico).
- La predisposizione di fabbricato di alloggiamento del gruppo elettrogeno di alimentazione del sistema o, in alternativa, di punto di consegna di fornitura MT e relativa trasformazione in BT.
- **Il ringrosso e rialzo arginale funzionale all'inclusione della nuova struttura di regolazione con quota sommitale adeguata al livello idrometrico del PAI per TR200 con franco di 1,0 m.**

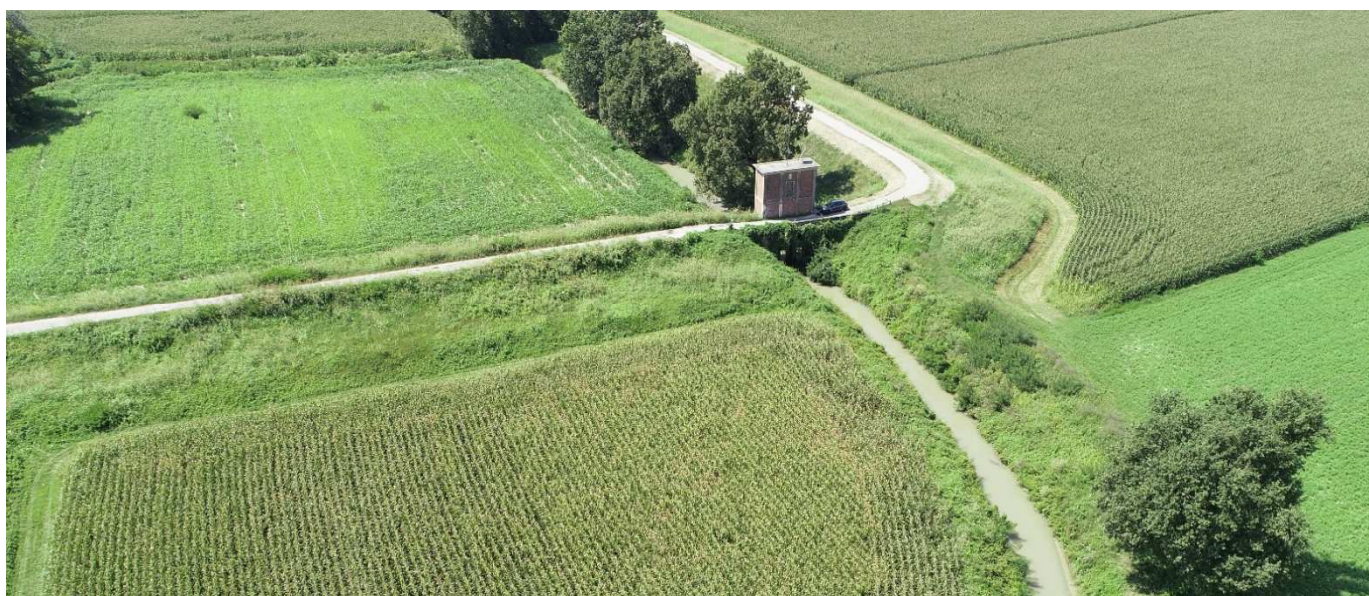


Figura 1: Struttura di regolazione – Stato di fatto: vista da monte



Figura 2: Struttura di regolazione – Stato di progetto: vista da monte con l'intervento di ringrosso e rialzo arginale

1.1 Interventi previsti

Al fine di evitare fenomeni di sormonto o filtrazione arginale, oltre che di attivare la capacità di scarico meccanico nel Po, sono previsti interventi funzionali alla sicurezza dell'impianto e all'attivazione della capacità di scarico delle portate del Fossadone in condizioni di rigurgito.

PER MIGLIORARE LA SICUREZZA FUNZIONALE DEL NODO IDRAULICO e della chiavica esistente sono stati individuati i seguenti interventi:

- ✓ Realizzazione di un nuovo manufatto di monte per l'alloggiamento di ulteriori tre paratoie in linea con le esistenti, con movimentazione e regolazione a motore, anche da remoto, così da garantire un doppio scudo di compartimentazione sull'arginatura maestra. Il sistema di paratoie esistenti avrà così funzione di riserva per maggiore sicurezza del nodo idraulico del Fossadone.
- ✓ Inserimento di un impianto di sollevamento delle portate del cavo Fossadone con installazione di una coppia di pompe sommerse (1 + 1) da 1.000 l/s alloggiate in apposite camere di aspirazione posizionate in sponda sinistra del cavo Fossadone, e protette da griglie selettive inclinate;
- ✓ Formazione di un rilevato arginale di ringrosso e rialzo dell'esistente, in affiancamento a quest'ultimo, con deviazione della pista di sommità arginale in corrispondenza del nuovo impalcato carrabile di pertinenza della struttura in progetto;
- ✓ Allestimento di un impianto di monitoraggio dei livelli di Po e di Fossadone con installazione di misuratori di livello corredati da un impianto di trasmissione delle letture.

PER L'ATTIVAZIONE DELLA CAPACITÀ DI SCARICO sono previsti in linea generale:

- ✓ Realizzazione sulla banca sinistra del Fossadone di un edificio, annesso al nuovo manufatto chiavicale principale, con impianto di sollevamento per 2 pompe sommerse, ciascuna con portata di 1,0 m³/s, inserite in una camera di aspirazione protetta da griglia selettiva e con piano di manovra di sommità arginale;
- ✓ Allestimento di fabbricato di pertinenza del nuovo impianto per l'inserimento di cabina MT/BT oppure di gruppo elettrogeno di alimentazione del sistema.

Si osserva che i lavori per la costruzione della nuova chiavica e dell'annesso impianto di sollevamento con relativo ringrosso arginale, interesseranno per la maggior parte aree di pertinenza privata e pertanto dovranno essere attuate le necessarie procedure espropriative. A tale riguardo è unito il piano particolare (Elaborati serie ESP) con l'individuazione delle ditte interessate e la stima preliminare delle indennità derivanti dalle occupazioni permanenti.

Elaborati grafici di 2020-815-CR-IDR1/2/3/4/5 illustrano il progetto di rialzo e ringrosso arginale con riferimento a:

- Planimetria di tracciamento
- Profili altimetrici di progetto
- Sezioni tipologiche di rialzo e ringrosso arginale
- Sezioni tecniche
- Planimetria di progetto delle sistemazioni esterne

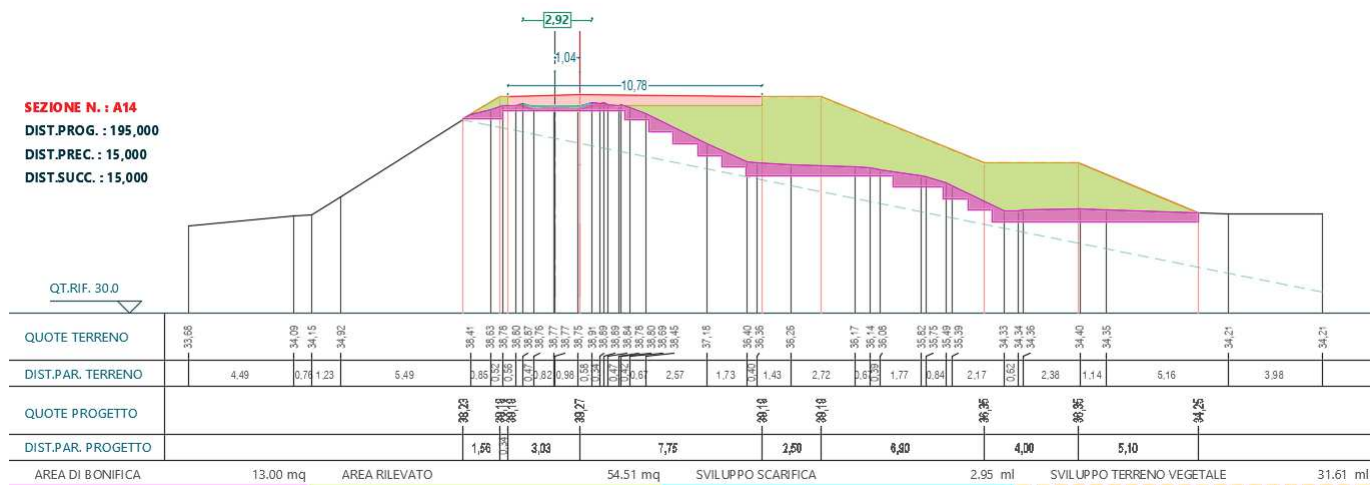


Figura 3: Sezione tecnica di rialzo e ringrosso arginale

1.2 Caratterizzazione geologica e geomorfologica del sito

L'area si situa nella fascia di meandreggiamento olocenica del Po costituita da un sistema di terrazzi alluvionali.

Essenzialmente la stratigrafia dedotta dalle indagini in sito è correlabile alla presenza di sedimenti fini prevalentemente concentrati nella parte sommitale con depositi sabbiosi e localmente ghiaiosi sottostanti.

In particolare i depositi con sabbia grossolana prevalente e livelli ghiaiosi sono correlabili con ambienti di canale fluviale abbandonato; i depositi con sabbia medio-fine prevalente sono stati correlati ad un ambiente deposizionale di argine prossimale mentre i depositi con limo sabbioso prevalente sono correlabili ad un ambiente di argine distale. Infine i depositi con argilla limosa e argilla prevalente sono stati correlati ad un ambiente di piana inondabile.

Sono inoltre presenti delle argille con prevalente contenuto organico che sono state associate a un ambiente palustre. Questi depositi hanno uno spessore di circa 1,3-1,8 metri e com'è possibile notare dalle sezioni vanno in eteropia di facies con argille prevalenti di piana inondabile. Va sottolineato come a circa 14-15 metri di profondità vi sia una base netta di sabbie grossolane, con verso l'alto anche passate di livelli ghiaiosi, probabilmente correlabile con la base di un canale fluviale. Al di sotto sono ancora presenti depositi di argine prossimale e più raramente di argine distale.

Le indagini condotte hanno pertanto permesso di caratterizzare i parametri fisici e geomeccanici dei sedimenti attraversati per permettere un preliminare dimensionamento dell'opera in progetto.

2 Caratterizzazione geotecnica e stratigrafia di calcolo

Si riporta di seguito il modello geotecnico assunto.

A Rilevato Arginale –embk (sopra la p.c.)

γ : peso specifico	= 19.5kN/m ³ ;
c' : coesione	= 10 kPa;
ϕ' : angolo di attrito	= 11°
C_u : coesione non drenata	= 35kPa
E	= 11MPa.

B UGB - unità coesiva (da p.c. a 5.5m da p.c.)

γ : peso specifico	= 19.5kN/m ³ ;
c' : coesione	= 8.5 kPa;
ϕ' : angolo di attrito	= 8.5°
C_u : coesione non drenata	= 30kPa
E	= 8.5MPa.

C UGC1 - unità incoerente (da 5.5 da p.c. a 15.5m da p.c.)

γ : peso specifico	= 19.5kN/m ³ ;
c' : coesione	= 0 kPa;
ϕ' : angolo di attrito	= 27.5°
E :	= 25MPa.

C UGC2 - unità incoerente (da 15.5 da p.c.)

γ : peso specifico	= 19.5kN/m ³ ;
c' : coesione	= 0 kPa;
ϕ' : angolo di attrito	= 32.5°
E :	= 35MPa.

Il rilevato arginale in affiancamento è pertanto poggianti sull'unità geotecnica UGB.

In base ai dati disponibili si considerano ai fini della stima del cedimento verticale atteso **due valori del modulo di compressione volumetrica mv**, corrispondenti alla tensione verticale di prova di 50 kPa:

- **mv=2,26 E-5 cm²/daN**
- **mv=9,54 E-5 cm²/daN**

La falda è considerata a 5m dal p.c.

3 Stima del cedimento del rilevato arginale

Si considera un rilevato arginale in affiancamento delle seguenti dimensioni

Altezza : 3.5m

Larghezza : 7,7m

Sezione di riferimento: A15

Imposta rilevato: -0.2m da p.c.

Considerando un peso di volume pari a 19 kN/mc si ha che:

N max= 512 kN

Si stima quindi il cedimento verticale sul piano d'impasta del rilevato sottoposto al suo stesso peso proprio.

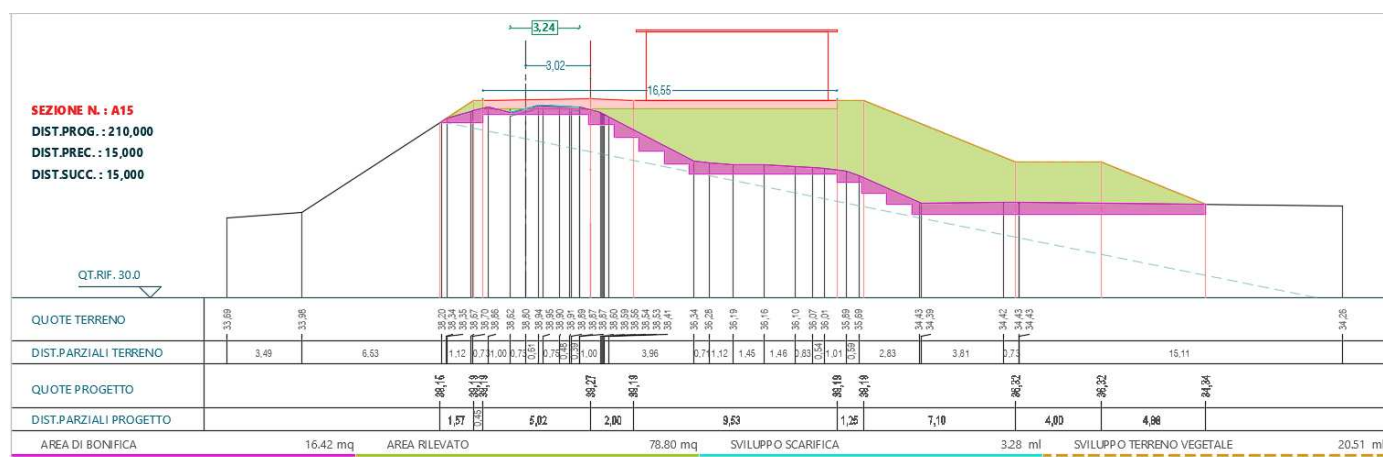


Figura 4: Sezione tecnica di rialzo e ringrosso arginale

3.1 Descrizione del metodo di calcolo

Viene valutato il cedimento di una fondazione rettangolare con distribuzione delle pressioni uniformi sul terreno. La deformazione verticale viene calcolata in funzione del coefficiente di compressibilità del terreno e dell'incremento della pressione verticale efficace, valutato secondo il modello elastico. Lo stato di sforzo verticale dovuto al carico viene valutato lungo la verticale al di sotto del centro della fondazione, dove è massimo. Da questo valore viene sottratta la tensione verticale efficace geostatica corrispondente alla quota dello scavo. Le deformazioni sono quindi funzione dell'incremento di carico netto. Il terreno viene suddiviso in una serie di strisce con altezza massima pari a 10.0 cm, ed il cedimento edometrico totale è dato dalla somma delle deformazioni su ciascuna porzione per il relativo spessore. Questo procedimento è noto come "metodo monodimensionale" (Terzaghi, 1943).

3.2 Stima del cedimento – SCENARIO 1 ($m_v=0.0226\text{cm}^2/\text{daN}$)

3.2.1. Descrizione della fondazione.

Segue la caratterizzazione della stratigrafia:

Nome	Quota iniziale [cm]	γ_d [daN/cm ³]	γ_t [daN/cm ³]	OCR	m_v [cm ² /daN]
argilla	0	0.00195	0.00195	1.00	0.0226
sabbia	-550	0.00195	0.00195	1.00	0

La falda si trova alla quota di -500 [cm].

Segue la descrizione della fondazione:

Larghezza [cm]	770
Profondità [cm]	100
Quota [cm]	-20

Segue la tabella delle condizioni di carico:

Numero	Nome	N [daN]
1	N	51200

3.2.2. Risultati.

Segue l'elenco dei cedimenti corrispondenti a ciascuna condizione di carico.

Cond.	Cedimento [cm]
1	2.18

La tabella successiva riassume i risultati del calcolo utilizzando la seguente legenda:

$z_{m,rel}$ = quota media della striscia relativa al piano di posa,

Δh = altezza della striscia,

σ_v = tensione verticale totale geostatica (alla quota media),

u = pressione neutra (alla quota media),

σ'_v = tensione verticale efficace geostatica (alla quota media),

q = sovraccarico (alla quota media),

q_n = sovraccarico netto (alla quota media),

ε = deformazione locale,

Δs = cedimento locale,

z = quota assoluta superiore della striscia,

s_{tot} = cedimento totale (alla quota superiore).

$z_{m,rel}$ [cm]	Δh [cm]	σ_v [daN/cm ²]	u [daN/cm ²]	σ'_v [daN/cm ²]	q [daN/cm ²]	q_n [daN/cm ²]	ε [%]	Δs [cm]	z [cm]	s_{tot} [cm]
5	10	0.049	0	0.049	0.665	0.626	14.14	0.14	-20	2.18
15	10	0.068	0	0.068	0.658	0.619	13.99	0.14	-30	2.04
25	10	0.088	0	0.088	0.638	0.599	13.54	0.14	-40	1.9
35	10	0.107	0	0.107	0.605	0.566	12.80	0.13	-50	1.77
45	10	0.127	0	0.127	0.565	0.526	11.89	0.12	-60	1.64
55	10	0.146	0	0.146	0.523	0.484	10.94	0.11	-70	1.52
65	10	0.166	0	0.166	0.482	0.443	10.01	0.1	-80	1.41
75	10	0.185	0	0.185	0.444	0.405	9.15	0.09	-90	1.31
85	10	0.205	0	0.205	0.41	0.371	8.38	0.08	-100	1.22
95	10	0.224	0	0.224	0.379	0.34	7.68	0.08	-110	1.13
105	10	0.244	0	0.244	0.352	0.313	7.07	0.07	-120	1.06
115	10	0.263	0	0.263	0.327	0.288	6.52	0.07	-130	0.99
125	10	0.283	0	0.283	0.306	0.267	6.03	0.06	-140	0.92
135	10	0.302	0	0.302	0.287	0.248	5.60	0.06	-150	0.86
145	10	0.322	0	0.322	0.269	0.23	5.20	0.05	-160	0.81
155	10	0.341	0	0.341	0.254	0.215	4.85	0.05	-170	0.75
165	10	0.361	0	0.361	0.24	0.201	4.53	0.05	-180	0.7
175	10	0.38	0	0.38	0.227	0.188	4.24	0.04	-190	0.66
185	10	0.4	0	0.4	0.215	0.176	3.98	0.04	-200	0.62
195	10	0.419	0	0.419	0.204	0.165	3.74	0.04	-210	0.58
205	10	0.439	0	0.439	0.195	0.156	3.52	0.04	-220	0.54
215	10	0.458	0	0.458	0.186	0.147	3.31	0.03	-230	0.5
225	10	0.478	0	0.478	0.177	0.138	3.12	0.03	-240	0.47
235	10	0.497	0	0.497	0.169	0.13	2.95	0.03	-250	0.44
245	10	0.517	0	0.517	0.162	0.123	2.78	0.03	-260	0.41

$Z_{m,rel}$ [cm]	Δh [cm]	σ_v [daN/cm ²]	u [daN/cm ²]	σ'_v [daN/cm ²]	q [daN/cm ²]	q_n [daN/cm ²]	ε [%]	Δs [cm]	z [cm]	s_{tot} [cm]
255	10	0.536	0	0.536	0.155	0.116	2.63	0.03	-270	0.38
265	10	0.556	0	0.556	0.149	0.11	2.49	0.02	-280	0.36
275	10	0.575	0	0.575	0.143	0.104	2.35	0.02	-290	0.33
285	10	0.595	0	0.595	0.138	0.099	2.23	0.02	-300	0.31
295	10	0.614	0	0.614	0.132	0.093	2.11	0.02	-310	0.29
305	10	0.634	0	0.634	0.127	0.088	2.00	0.02	-320	0.26
315	10	0.653	0	0.653	0.123	0.084	1.89	0.02	-330	0.24
325	10	0.673	0	0.673	0.118	0.079	1.79	0.02	-340	0.23
335	10	0.692	0	0.692	0.114	0.075	1.70	0.02	-350	0.21
345	10	0.712	0	0.712	0.11	0.071	1.61	0.02	-360	0.19
355	10	0.731	0	0.731	0.106	0.067	1.52	0.02	-370	0.17
365	10	0.751	0	0.751	0.103	0.064	1.44	0.01	-380	0.16
375	10	0.77	0	0.77	0.099	0.06	1.36	0.01	-390	0.15
385	10	0.79	0	0.79	0.096	0.057	1.29	0.01	-400	0.13
395	10	0.809	0	0.809	0.093	0.054	1.22	0.01	-410	0.12
405	10	0.829	0	0.829	0.09	0.051	1.15	0.01	-420	0.11
415	10	0.848	0	0.848	0.087	0.048	1.09	0.01	-430	0.1
425	10	0.868	0	0.868	0.084	0.045	1.03	0.01	-440	0.08
435	10	0.887	0	0.887	0.082	0.043	0.97	0	-450	0.07
445	10	0.907	0	0.907	0.079	0.04	0.91	0	-460	0.06
455	10	0.926	0	0.926	0.077	0.038	0.86	0	-470	0.06
465	10	0.946	0	0.946	0.075	0.036	0.81	0	-480	0.05
475	10	0.965	0	0.965	0.072	0.033	0.76	0	-490	0.04
485	10	0.985	0.005	0.98	0.07	0.031	0.71	0	-500	0.03
495	10	1.004	0.015	0.99	0.068	0.029	0.66	0	-510	0.02
505	10	1.024	0.025	0.999	0.066	0.027	0.62	0	-520	0.02
515	10	1.043	0.034	1.009	0.065	0.026	0.58	0	-530	0.01
525	10	1.063	0.044	1.019	0.063	0.024	0.54	0	-540	0
535	10	1.082	0.054	1.028	0.061	0.022	0.00	0	-550	0
545	10	1.102	0.064	1.038	0.059	0.02	0.00	0	-560	0
555	10	1.121	0.074	1.048	0.058	0.019	0.00	0	-570	0
565	10	1.141	0.083	1.057	0.056	0.017	0.00	0	-580	0
575	10	1.16	0.093	1.067	0.055	0.016	0.00	0	-590	0
585	10	1.18	0.103	1.077	0.053	0.014	0.00	0	-600	0
595	10	1.199	0.113	1.086	0.052	0.013	0.00	0	-610	0
605	10	1.219	0.123	1.096	0.051	0.012	0.00	0	-620	0
615	10	1.238	0.132	1.106	0.049	0.01	0.00	0	-630	0
625	10	1.258	0.142	1.116	0.048	0.009	0.00	0	-640	0
635	10	1.277	0.152	1.125	0.047	0.008	0.00	0	-650	0
645	10	1.297	0.162	1.135	0.046	0.007	0.00	0	-660	0
655	10	1.316	0.172	1.145	0.045	0.006	0.00	0	-670	0
665	10	1.336	0.181	1.154	0.044	0.005	0.00	0	-680	0
675	10	1.355	0.191	1.164	0.043	0.004	0.00	0	-690	0
685	10	1.375	0.201	1.174	0.042	0.003	0.00	0	-700	0
695	10	1.394	0.211	1.183	0.041	0.002	0.00	0	-710	0
705	10	1.414	0.221	1.193	0.04	0	0.00	0	-720	0

Il cedimento stimato e' pari a 2.18 [cm].

3.3 Stima del cedimento – SCENARIO 2 ($m_v=0.0954\text{cm}^2/\text{daN}$)

3.3.1. Descrizione della fondazione.

Segue la caratterizzazione della stratigrafia:

Nome	Quota iniziale [cm]	γ_d [daN/cm ³]	γ_s [daN/cm ³]	OCR	m_v [cm ² /daN]
argilla	0	0.00195	0.00195	1.00	0.0954
sabbia	-550	0.00195	0.00195	1.00	0

La falda si trova alla quota di -500 [cm].

Segue la descrizione della fondazione:

Larghezza [cm]	770
Profondità [cm]	100
Quota [cm]	-20

Segue la tabella delle condizioni di carico:

Numero	Nome	N [daN]
1	N	51200

3.3.2. Risultati.

Segue l'elenco dei cedimenti corrispondenti a ciascuna condizione di carico.

Cond.	Cedimento[cm]
1	9.21

Il cedimento è quindi stimato pari a 9.21 [cm].

La tabella successiva riassume i risultati del calcolo con parametri come da legenda di paragrafo precedente.

$z_{m,rel}$ [cm]	Δh [cm]	σ_v [daN/cm ²]	u [daN/cm ²]	σ'_v [daN/cm ²]	q [daN/cm ²]	q_n [daN/cm ²]	ϵ [%]	Δs [cm]	z [cm]	S_{tot} [cm]
5	10	0.049	0	0.049	0.665	0.626	59.69	0.6	-20	9.21
15	10	0.068	0	0.068	0.658	0.619	59.06	0.59	-30	8.62
25	10	0.088	0	0.088	0.638	0.599	57.14	0.57	-40	8.03
35	10	0.107	0	0.107	0.605	0.566	54.02	0.54	-50	7.45
45	10	0.127	0	0.127	0.565	0.526	50.19	0.5	-60	6.91
55	10	0.146	0	0.146	0.523	0.484	46.16	0.46	-70	6.41
65	10	0.166	0	0.166	0.482	0.443	42.26	0.42	-80	5.95
75	10	0.185	0	0.185	0.444	0.405	38.64	0.39	-90	5.53
85	10	0.205	0	0.205	0.41	0.371	35.36	0.35	-100	5.14
95	10	0.224	0	0.224	0.379	0.34	32.44	0.32	-110	4.79
105	10	0.244	0	0.244	0.352	0.313	29.83	0.3	-120	4.46
115	10	0.263	0	0.263	0.327	0.288	27.52	0.28	-130	4.17
125	10	0.283	0	0.283	0.306	0.267	25.46	0.25	-140	3.89
135	10	0.302	0	0.302	0.287	0.248	23.62	0.24	-150	3.64
145	10	0.322	0	0.322	0.269	0.23	21.97	0.22	-160	3.4
155	10	0.341	0	0.341	0.254	0.215	20.48	0.2	-170	3.18
165	10	0.361	0	0.361	0.24	0.201	19.14	0.19	-180	2.98
175	10	0.38	0	0.38	0.227	0.188	17.92	0.18	-190	2.78
185	10	0.4	0	0.4	0.215	0.176	16.80	0.17	-200	2.6
195	10	0.419	0	0.419	0.204	0.165	15.79	0.16	-210	2.44
205	10	0.439	0	0.439	0.195	0.156	14.85	0.15	-220	2.28
215	10	0.458	0	0.458	0.186	0.147	13.99	0.14	-230	2.13
225	10	0.478	0	0.478	0.177	0.138	13.19	0.13	-240	1.99
235	10	0.497	0	0.497	0.169	0.13	12.44	0.12	-250	1.86
245	10	0.517	0	0.517	0.162	0.123	11.75	0.12	-260	1.73
255	10	0.536	0	0.536	0.155	0.116	11.11	0.11	-270	1.62

265	10	0.556	0	0.556	0.149	0.11	10.50	0.11	-280	1.51
275	10	0.575	0	0.575	0.143	0.104	9.94	0.1	-290	1.4
285	10	0.595	0	0.595	0.138	0.099	9.41	0.09	-300	1.3
295	10	0.614	0	0.614	0.132	0.093	8.90	0.09	-310	1.21
305	10	0.634	0	0.634	0.127	0.088	8.43	0.08	-320	1.12
315	10	0.653	0	0.653	0.123	0.084	7.99	0.08	-330	1.03
325	10	0.673	0	0.673	0.118	0.079	7.56	0.08	-340	0.95
335	10	0.692	0	0.692	0.114	0.075	7.16	0.07	-350	0.88
345	10	0.712	0	0.712	0.11	0.071	6.78	0.07	-360	0.81
355	10	0.731	0	0.731	0.106	0.067	6.42	0.06	-370	0.74
365	10	0.751	0	0.751	0.103	0.064	6.08	0.06	-380	0.67
375	10	0.77	0	0.77	0.099	0.06	5.75	0.06	-390	0.61
385	10	0.79	0	0.79	0.096	0.057	5.44	0.05	-400	0.56
395	10	0.809	0	0.809	0.093	0.054	5.14	0.05	-410	0.5
405	10	0.829	0	0.829	0.09	0.051	4.86	0.05	-420	0.45
415	10	0.848	0	0.848	0.087	0.048	4.59	0.05	-430	0.4
425	10	0.868	0	0.868	0.084	0.045	4.33	0.04	-440	0.36
435	10	0.887	0	0.887	0.082	0.043	4.08	0.04	-450	0.31
445	10	0.907	0	0.907	0.079	0.04	3.85	0.04	-460	0.27
455	10	0.926	0	0.926	0.077	0.038	3.62	0.04	-470	0.23
465	10	0.946	0	0.946	0.075	0.036	3.40	0.03	-480	0.2
475	10	0.965	0	0.965	0.072	0.033	3.19	0.03	-490	0.16
485	10	0.985	0.005	0.98	0.07	0.031	2.99	0.03	-500	0.13
495	10	1.004	0.015	0.99	0.068	0.029	2.80	0.03	-510	0.1
505	10	1.024	0.025	0.999	0.066	0.027	2.61	0.03	-520	0.07
515	10	1.043	0.034	1.009	0.065	0.026	2.44	0.02	-530	0.05
525	10	1.063	0.044	1.019	0.063	0.024	2.27	0.02	-540	0.02
535	10	1.082	0.054	1.028	0.061	0.022	0.00	0	-550	0
545	10	1.102	0.064	1.038	0.059	0.02	0.00	0	-560	0
555	10	1.121	0.074	1.048	0.058	0.019	0.00	0	-570	0
565	10	1.141	0.083	1.057	0.056	0.017	0.00	0	-580	0
575	10	1.16	0.093	1.067	0.055	0.016	0.00	0	-590	0
585	10	1.18	0.103	1.077	0.053	0.014	0.00	0	-600	0
595	10	1.199	0.113	1.086	0.052	0.013	0.00	0	-610	0
605	10	1.219	0.123	1.096	0.051	0.012	0.00	0	-620	0
615	10	1.238	0.132	1.106	0.049	0.01	0.00	0	-630	0
625	10	1.258	0.142	1.116	0.048	0.009	0.00	0	-640	0
635	10	1.277	0.152	1.125	0.047	0.008	0.00	0	-650	0
645	10	1.297	0.162	1.135	0.046	0.007	0.00	0	-660	0
655	10	1.316	0.172	1.145	0.045	0.006	0.00	0	-670	0
665	10	1.336	0.181	1.154	0.044	0.005	0.00	0	-680	0
675	10	1.355	0.191	1.164	0.043	0.004	0.00	0	-690	0
685	10	1.375	0.201	1.174	0.042	0.003	0.00	0	-700	0
695	10	1.394	0.211	1.183	0.041	0.002	0.00	0	-710	0
705	10	1.414	0.221	1.193	0.04	0	0.00	0	-720	0

4 Verifiche di stabilità arginale

4.1 Metodo di calcolo

Nel presente paragrafo sono riportate le verifiche di stabilità arginale del rilevato in affiancamento all'esistente. La sezione di verifica più sfavorevole è la **A19** con un'altezza massima dal piano campagna pari a circa 3,6m.

Per quanto riguarda il modello geotecnico si veda il capitolo 2 della presente relazione. Le analisi, data la presenza di materiale coesivo (UGB) sono condotte a breve e a lungo termine e in condizioni sismiche.

La verifica di stabilità globale statica viene effettuata secondo l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2) utilizzando i coefficienti riportati nelle tabelle 6.2.I e 6.2.II per i parametri geotecnici e le azioni, mentre per quanto riguarda i coefficienti parziali per le verifiche agli stati limite ultimi (γ_R) si fa riferimento alla Tabella 6.8.I delle NTC (in cui R2=1.1).

COEFFICIENTI PARZIALI PER LE AZIONI		
Azione	Coeff. parziale γ	
	A1	A2
Permanente sfavorevole	1,30	1,00
Permanente favorevole	1,00	1,00
Permanente non strutt. sfavorevole	1,50	1,30
Permanente non strutt. favorevole	0,00	0,00
Variabile sfavorevole	1,50	1,30
Variabile favorevole	0,00	0,00

COEFFICIENTI PARZIALI PER I PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO			
Parametro al quale applicare il coefficiente parziale		Coeff. Parziale γ_m	
		M1	M2
Angolo d'attrito	$\tan \phi$	1,00	1,25
Coesione efficace	c'	1,00	1,25
Resistenza non drenata	c_u	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	1,00	1,00

La verifica in condizioni sismiche è effettuata considerando $k_h = 0.078 = (\beta * a_{max}/g)$ in cui :

$$\beta = 0,38$$

$$a_g/g = 0.138,$$

$$a_{max} = S_s \times S_t \times a_g = 2 \text{ m/sec}^2$$

In condizioni sismiche il coefficiente R2 è pari a 1.2.

Le verifiche di stabilità globale sono eseguite mediante il programma VSP di Paratie Plus (Harpaceas).

Le analisi di stabilità sono state condotte mediante il metodo di Bishop semplificato, individuando la superficie di scivolamento globale con fattore di sicurezza minore.

4.2 Carichi agenti

Viene considerato un sovraccarico pari a 10 Kpa agente sulla cresta del rilevato.

4.3 Sezione di calcolo ed analisi

La sezione di calcolo individuata per le analisi è la sezione A19, di seguito riportata:

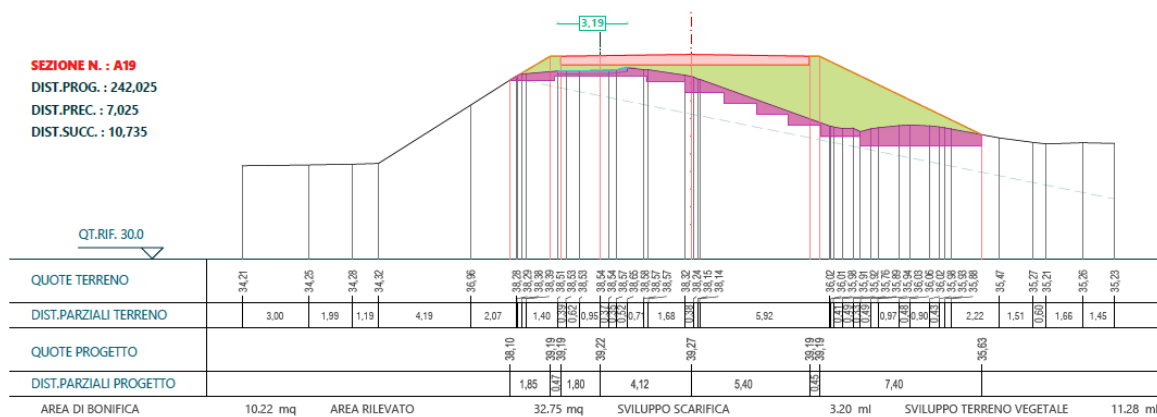


Figura 5: sezione di calcolo rilevato

La sezione è riprodotta nel programma di calcolo ed è quindi determinata la superficie di potenziale scivolamento con fattore di sicurezza minimo. Di seguito sono riportate immagine del modello, superficie di scivolamento con fattore di sicurezza minimo e maglia dei centri con fattori di sicurezza.

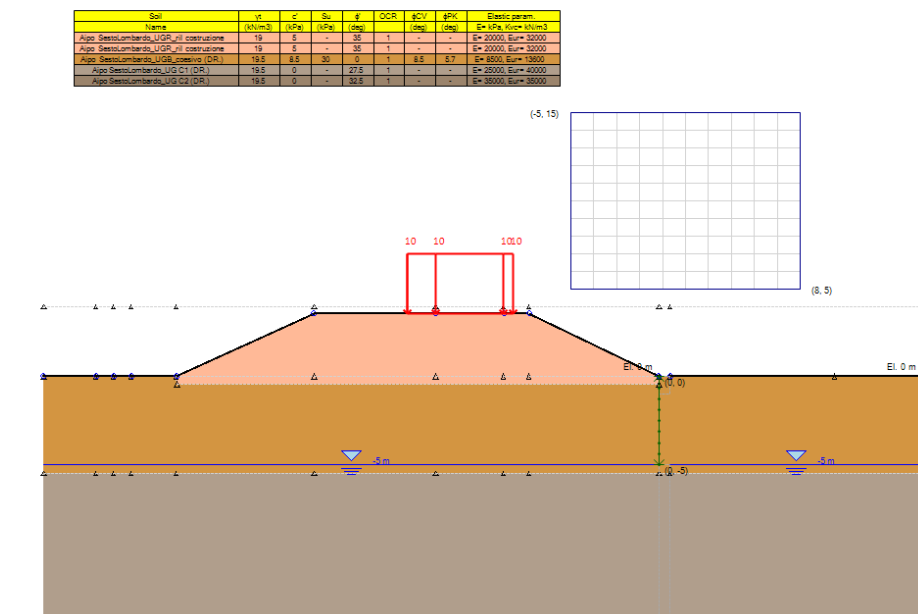


Figura 6: modello di analisi

0: DM18_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1(PARENT: Design Section)

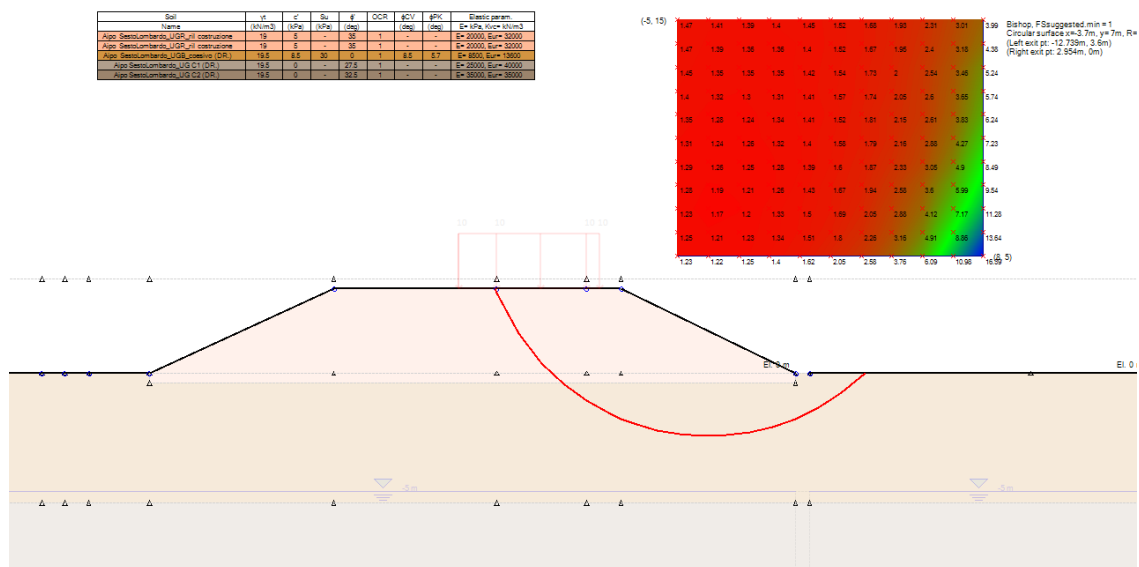


Figura 7: maglia dei centri

0: DM18_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1(PARENT: Design Section)

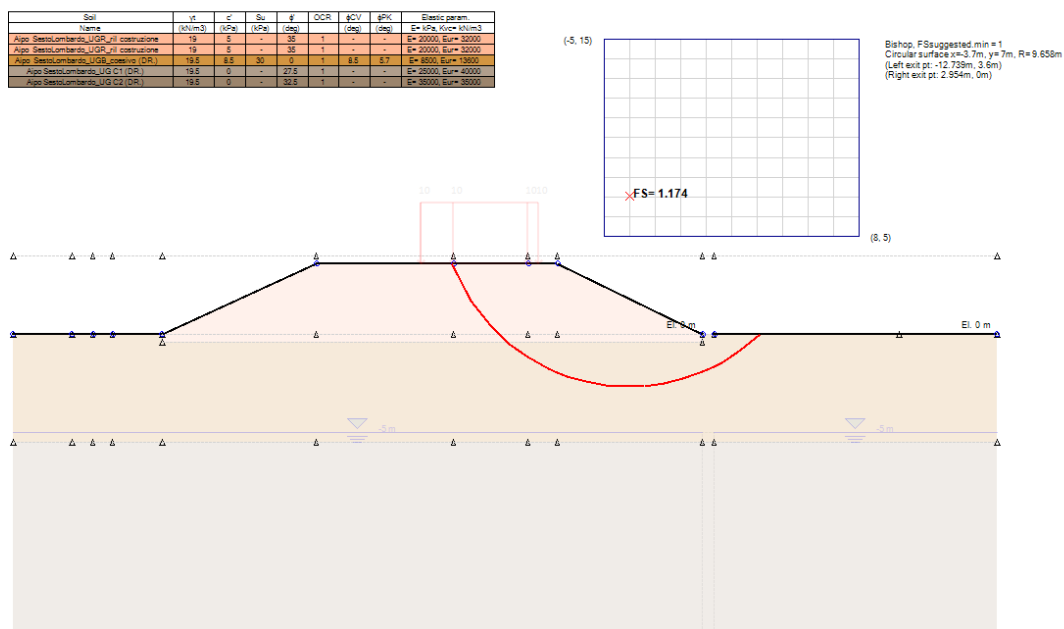


Figura 8: superficie di scivolamento con fattore di sicurezza minimo

Il fattore di sicurezza in condizioni statiche è pari a $1.17 > 1.1$. La verifica è pertanto soddisfatta.

Come si evince dalla verifica sotto riportata in condizioni sismiche il fattore di sicurezza ottenuto è superiore e pertanto

EQK STR(PARENT: Design Section)

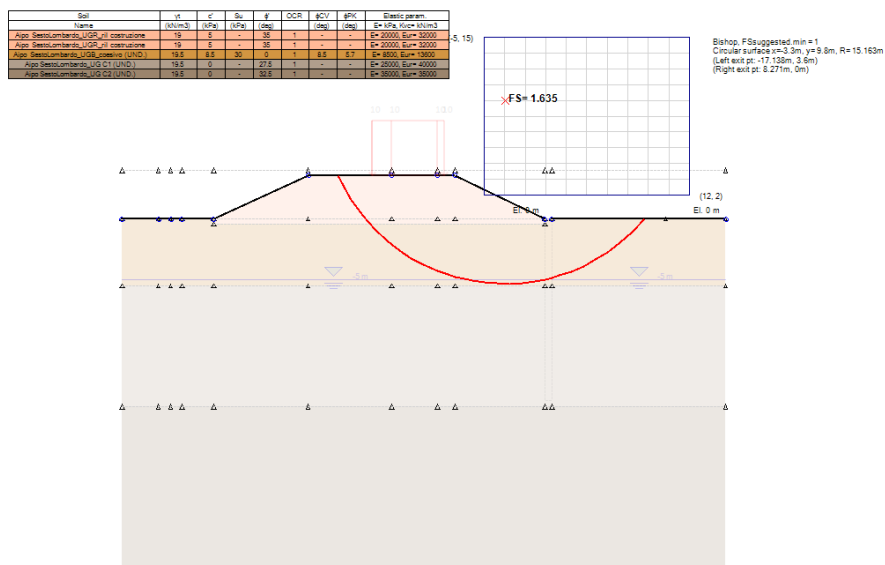


Figura 9: superficie di scivolamento con fattore di sicurezza minimo

la verifica è soddisfatta.

5 MONITORAGGIO

In fase di indagini geognostiche (relative alla campagna di indagini 2020) è stata posizionata entro i **entro i fori di sondaggio di colonna inclinometrica- assestimetrica magnetica**, costituita da tubo in ABS di diametro interno maggiore o uguale a 60 mm, anelli magnetici, compresi tappo di fondo e di testa ed ogni parte e/o accessorio necessario per garantire l'installazione a regola d'arte e la funzionalità dello strumento, nonché la lettura assestimetrica di zero e la verifica di verticalità inclinometrica con passo di lettura in piedi (circa 60 cm). Nella immagine seguente è indicata la posizione dell'elemento su cui verrà effettuata a cura della SA la lettura **assestimetrica con apposita centralina**.

Tale attività è già iniziata in fase ante operam e verrà continuata durante l'intero svolgimento dei lavori.

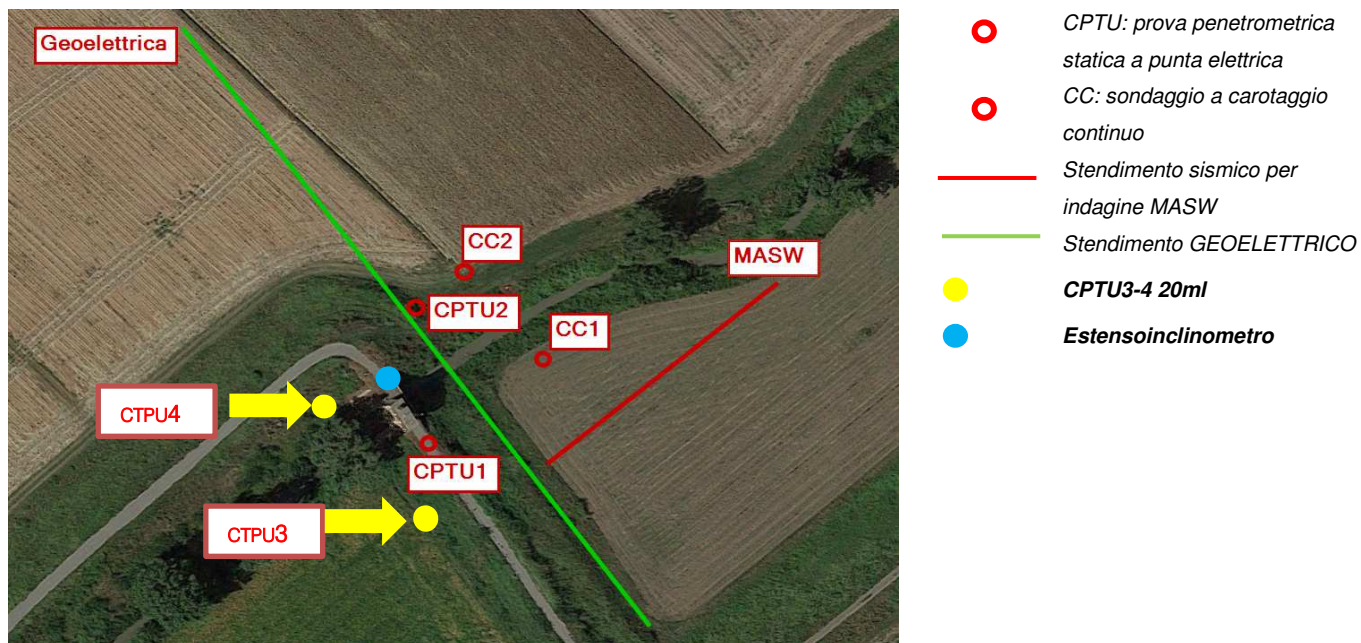


Figura 10: Schema ubicazione indicativa delle indagini geognostiche integrative (in giallo e azzurro)

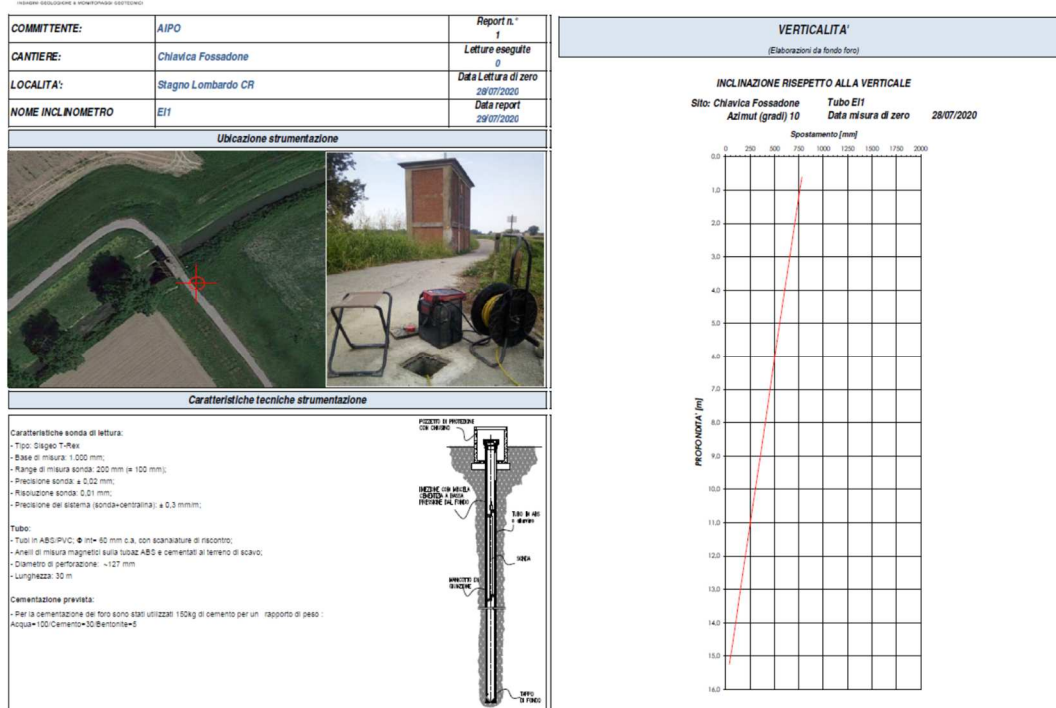


Figura 11: Specifiche dell'estensimetro incrementale (rid. Elab. 2020-815-CR-GEO2)

Le letture effettuate serviranno a monitorare l'andamento dei cedimenti e a definire valori di soglia sia in termini assoluti che incrementali, prima dell'inizio dei lavori. L'attuale valore assoluto di soglia del valore di cedimento in sommità arginale è posto pari a 2.2cm, pari al minimo valore di cedimento atteso sul rilevato di ringrosso.

6 CONCLUSIONI

La stima del cedimento del rilevato di affiancamento arginale è condotta in ambito elastico con applicazione del metodo monodimensionale (Terzaghi) con riferimento alla sezione A15 in quanto maggiormente sollecitata e caratterizzata da una altezza di abbancamento pari a 3.5ml per una larghezza al piede del ringrosso arginale pari a 7.7ml.

La falda è considerata a quota -5ml da piano campagna ed il terreno di rilevato è stimato omogeneo con peso specifico costante pari a 19kN/mc.

Le simulazioni di calcolo del cedimento verticale alla base del rilevato sono condotti secondo **due possibili scenari a cui sono associati due differenti valori del modulo di compressione volumetrica m_v** , corrispondenti alla tensione verticale di prova di 50 kPa:

- **$m_v=2,26 \text{ E-5 cm}^2/\text{daN}$**
- **$m_v=9,54 \text{ E-5 cm}^2/\text{daN}$**

Tale approccio è giustificato dalle risultanze acquisite sulla campagna geognostica di caratterizzazione del terreno in sito. La stima del cedimento nelle condizioni estreme dell'intervallo di valori del modulo di compressione volumetrica m_v ottenuto dalle indagini in sito, definisce un range di valori massimo e minimo entro cui prevedere il cedimento, ossia tra **2.2cm e 9.2cm**. Anche nello scenario peggiore (ossia cedimento massimo di 9.2cm), la deformabilità del sistema è compatibile con le ipotesi di progetto e, in particolare con la realizzazione a 2° Stralcio lavori :

- del fabbricato di alloggiamento dei quadri elettrici e delle dotazioni impiantistiche
- della installazione delle tubazioni di mandata dell'impianto di sollevamento.

Le verifiche di di stabilità sono soddisfatte sia con riferimento alle condizioni statiche che dinamiche.