

Figura 7.28 Sezione trasversale della discarica

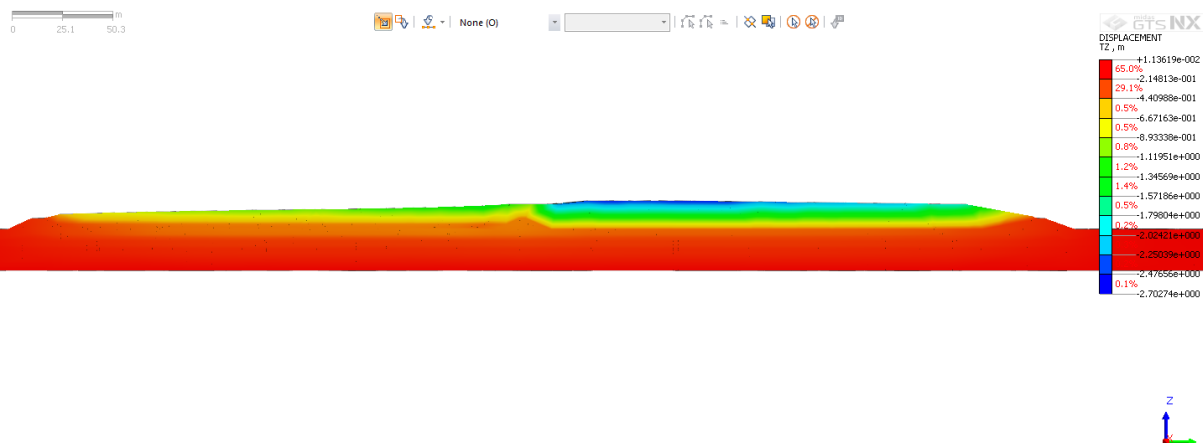


Figura 7.29 Sezione longitudinale sul Lotto Ovest

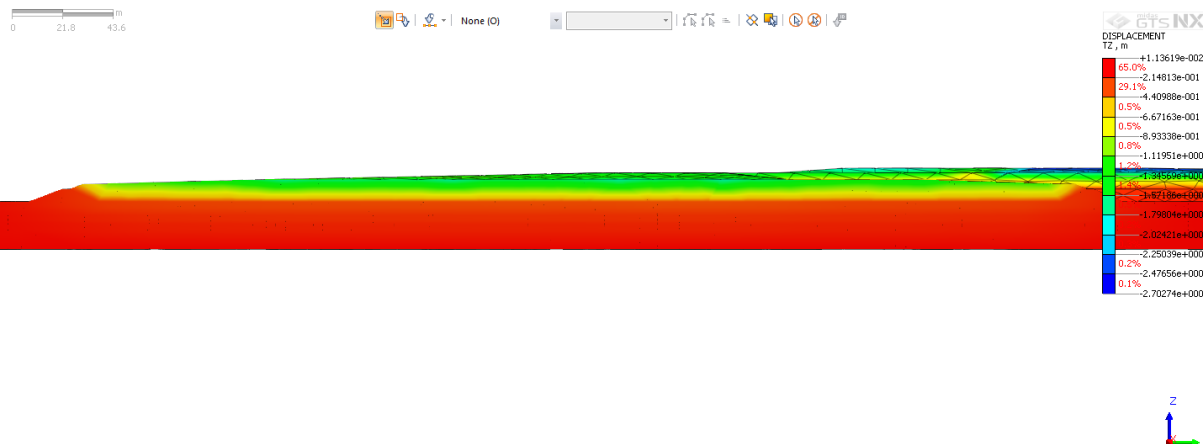


Figura 7.30 Sezione longitudinale sul Lotto Est

### 7.5.5 Fase 7: CONS FINALE

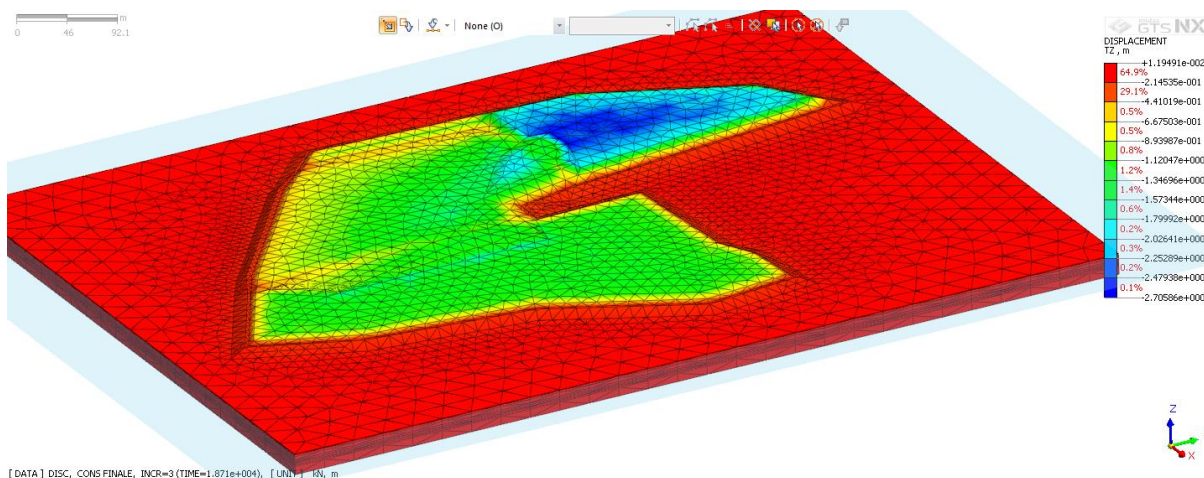


Figura 7.31 Vista globale a 30 anni

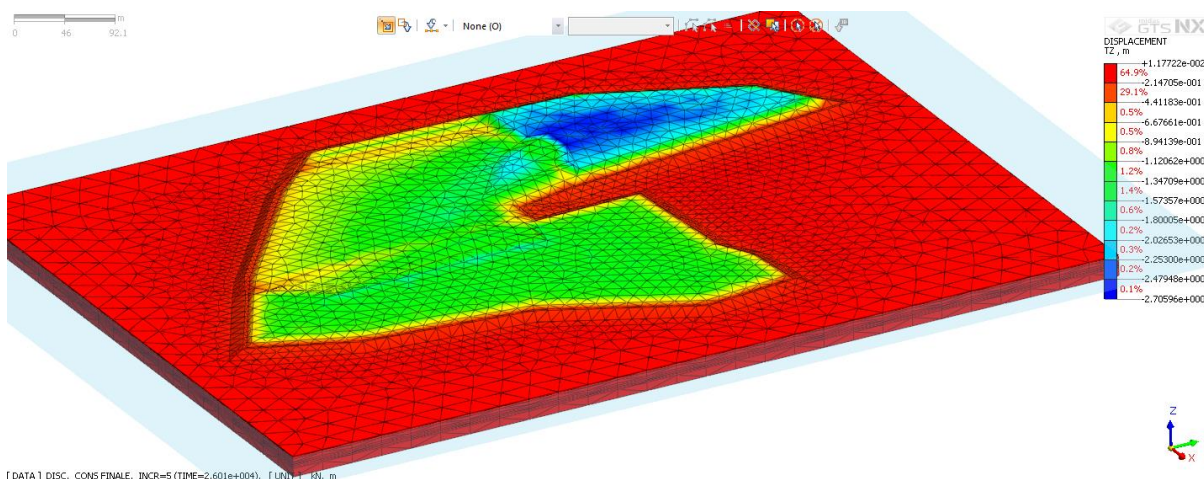


Figura 7.32 Vista globale a 50 anni

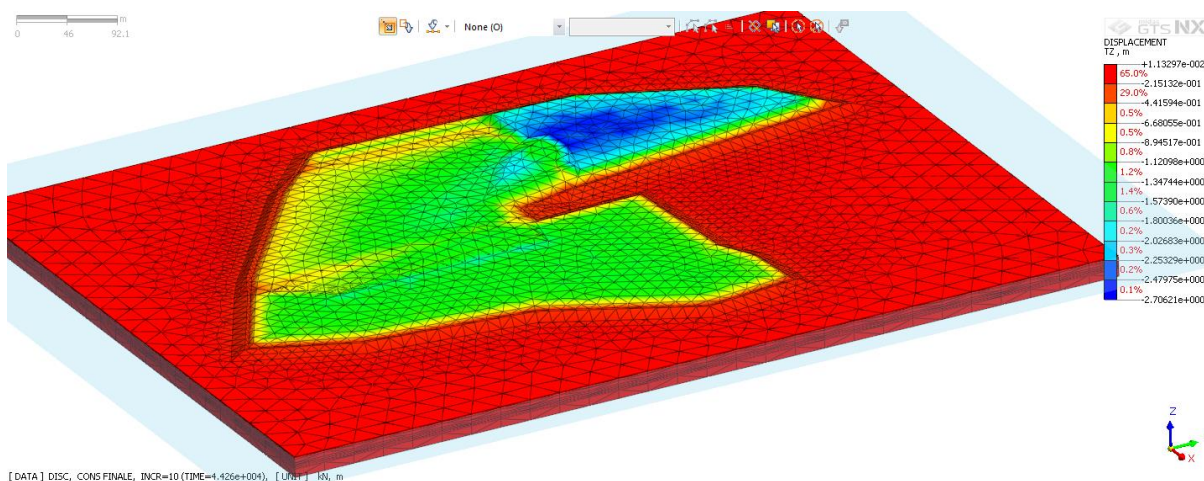


Figura 7.33 Vista globale a 100 anni

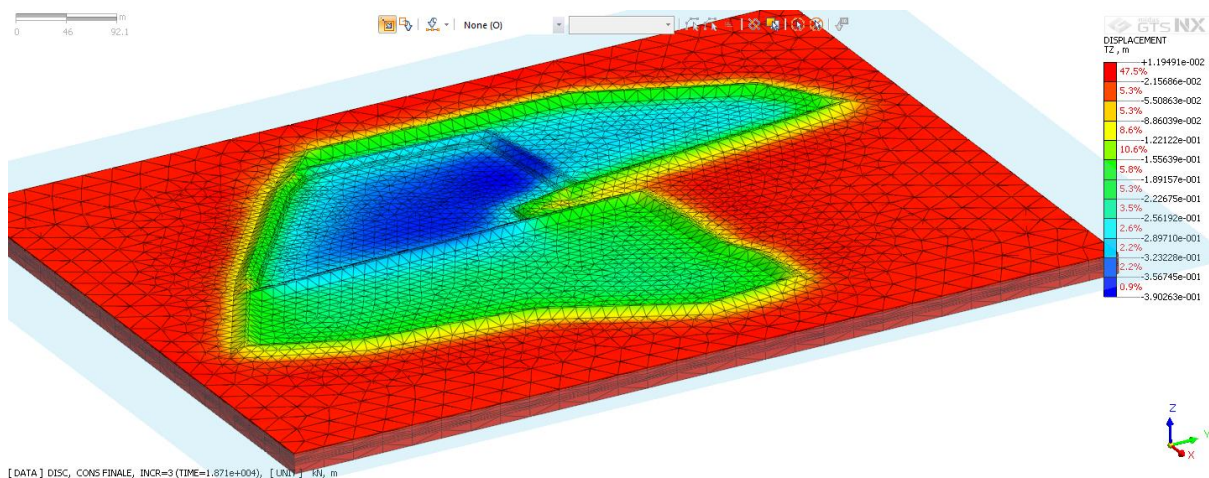


Figura 7.34 Particolare della Vista globale a 30 anni senza mesh RSU

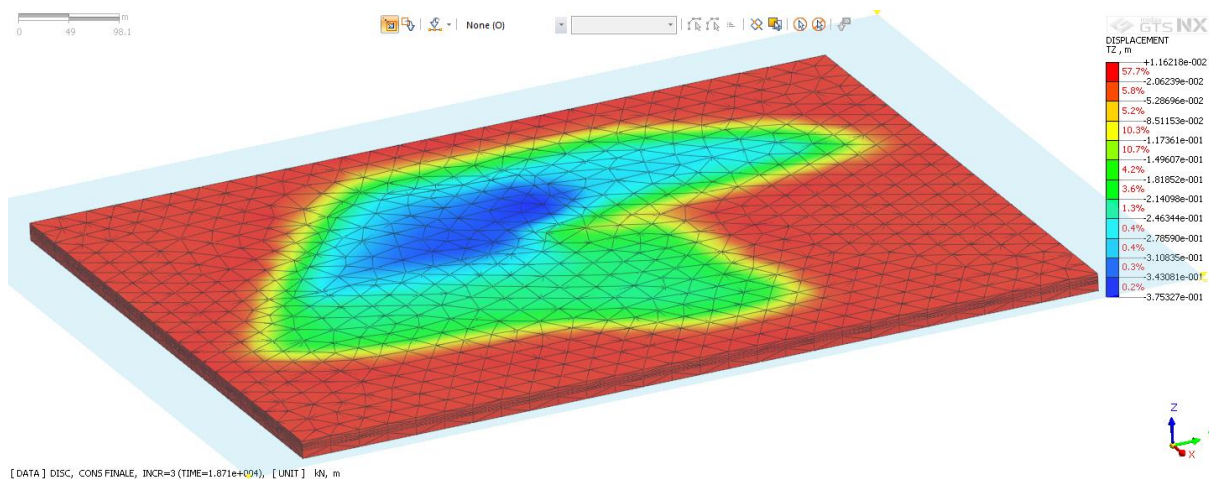


Figura 7.35 Particolare della Vista globale a 30 anni senza mesh RSU; argini e strato superiore di terreno

## 7.5.6 Cedimenti in alcuni punti interni alla discarica

### 7.5.6.1 Elaborato grafico 19.09.2017

Nel seguito si riportano i cedimenti in corrispondenza di alcuni punti interni alla discarica; per la localizzazione dei punti di interesse si fa riferimento all'elaborato grafico ricevuto in data 19-09-2017 e recante alcune sezioni di riferimento in corrispondenza dell'area di interesse. Nelle immagini sottostanti si riportano gli stralci planimetrici dell'elaborato grafico ricevuto e le sezioni di riferimento.

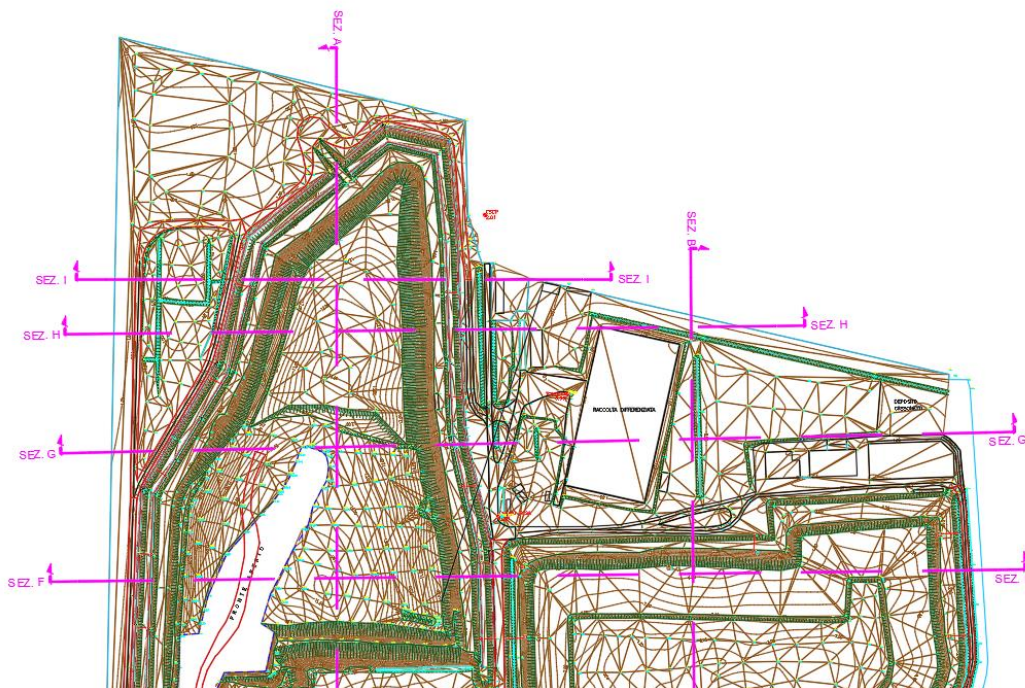


Figura 7.36 Stralcio planimetrico - Parte 1/2

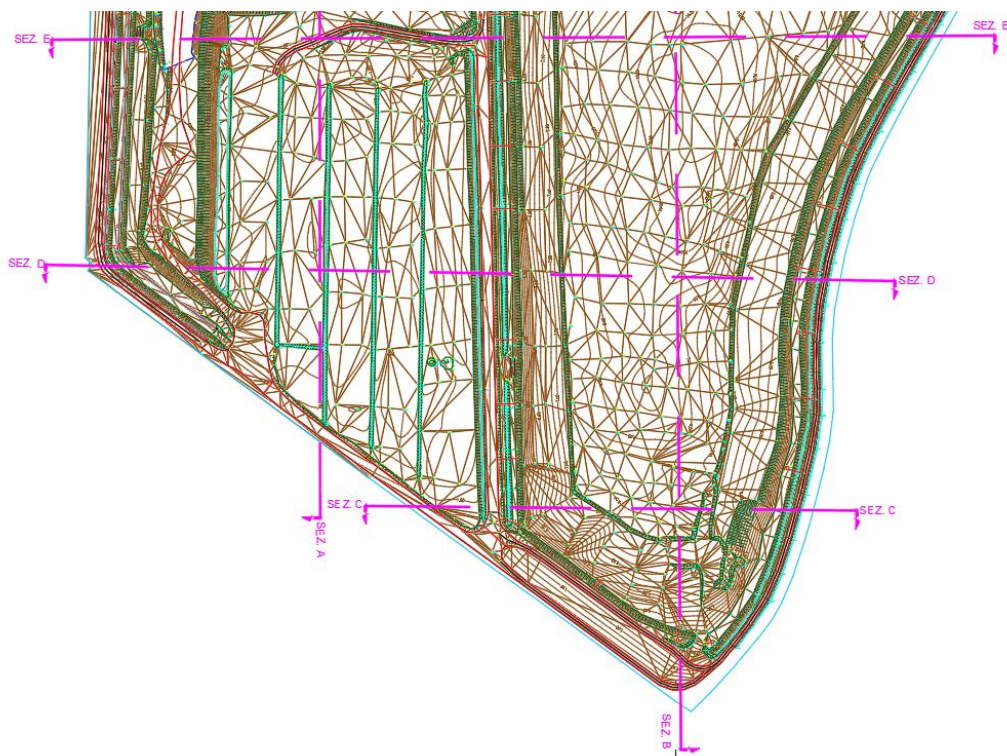


Figura 7.37 Stralcio planimetrico - Parte 2/2

Nell'immagine seguente invece si sovrappongono le sezioni di riferimento precedenti al modello di calcolo Midas GTS.

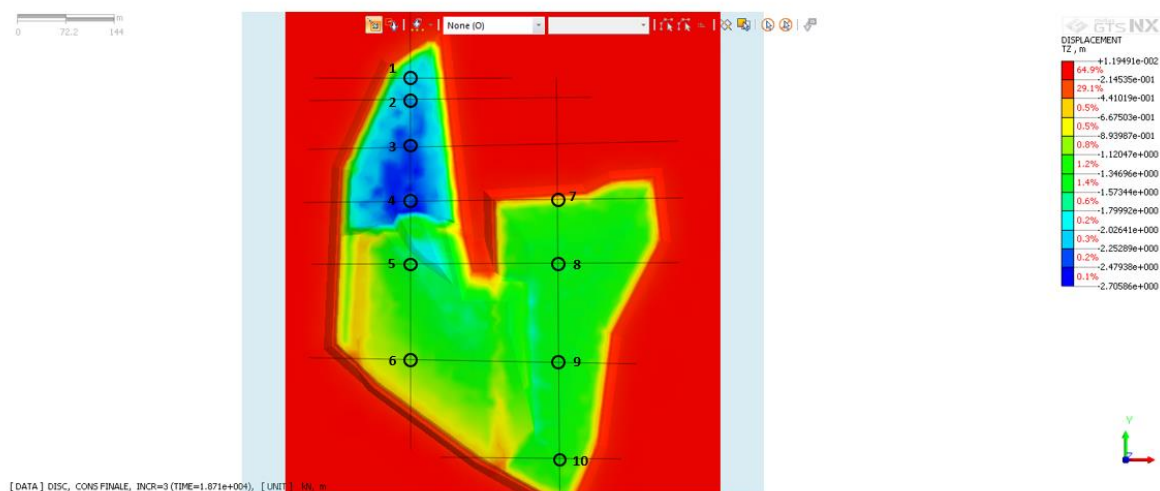


Figura 7.38 Sovrapposizione sezioni di riferimento a modello di calcolo Midas GTS

Tabella 7.1 Cedimenti verticali in corrispondenza dei punti di riferimento all'interno della discarica

Intersezione tra sezioni di riferimento	n° punto	Cedimento in sommità [m]
Sez. A – Sez. I	1	2.18
Sez. A – Sez. H	2	2.33
Sez. A – Sez. G	3	2.54
Sez. A – Sez. F	4	2.38
Sez. A – Sez. E	5	1.47
Sez. A – Sez. D	6	1.05
Sez. B – Sez. F	7	0.54
Sez. B – Sez. E	8	1.54
Sez. B – Sez. D	9	1.47
Sez. B – Sez. C	10	1.33

### 7.5.6.2 Elaborato grafico 15.12.2017

Nel seguito si riportano i cedimenti in corrispondenza di alcuni punti interni alla discarica; per la localizzazione dei punti di interesse si fa riferimento all'elaborato grafico ricevuto in data 15-12-2017 e recante alcune sezioni di riferimento in corrispondenza dell'area di interesse. Nelle immagini sottostanti si riportano gli stralci planimetrici dell'elaborato grafico ricevuto.

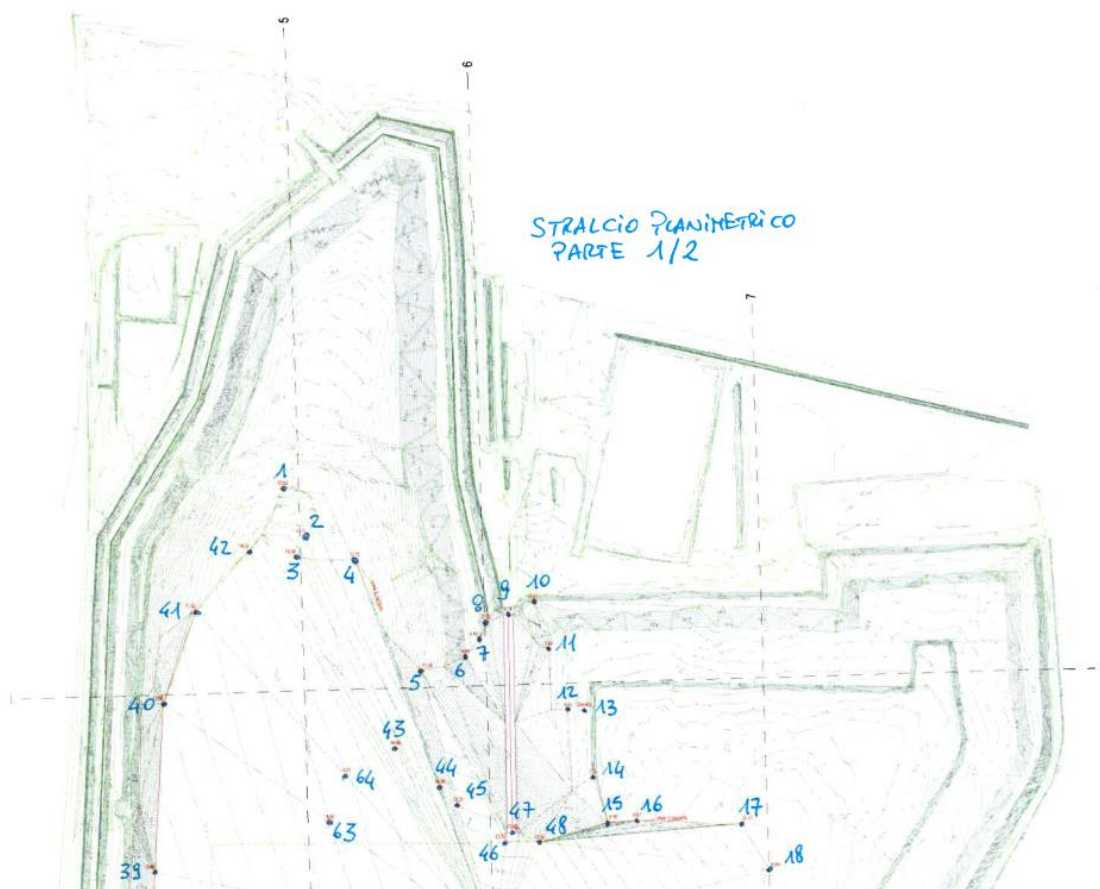


Figura 7.39 Stralcio planimetrico - Parte 1/2

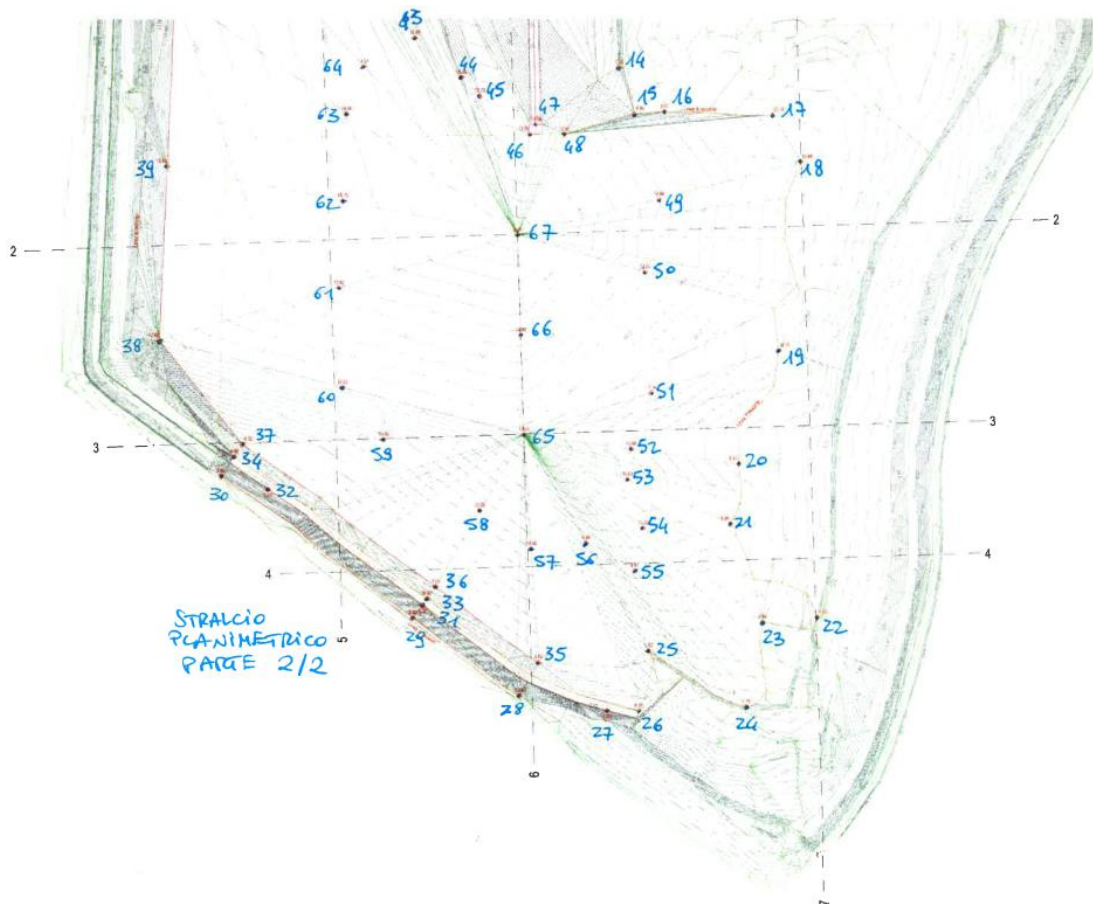


Figura 7.40 Stralcio planimetrico – Parte 2/2

Nell'immagine seguente invece si sovrappongono i punti definiti nelle immagini precedenti al modello di calcolo Midas GTS.

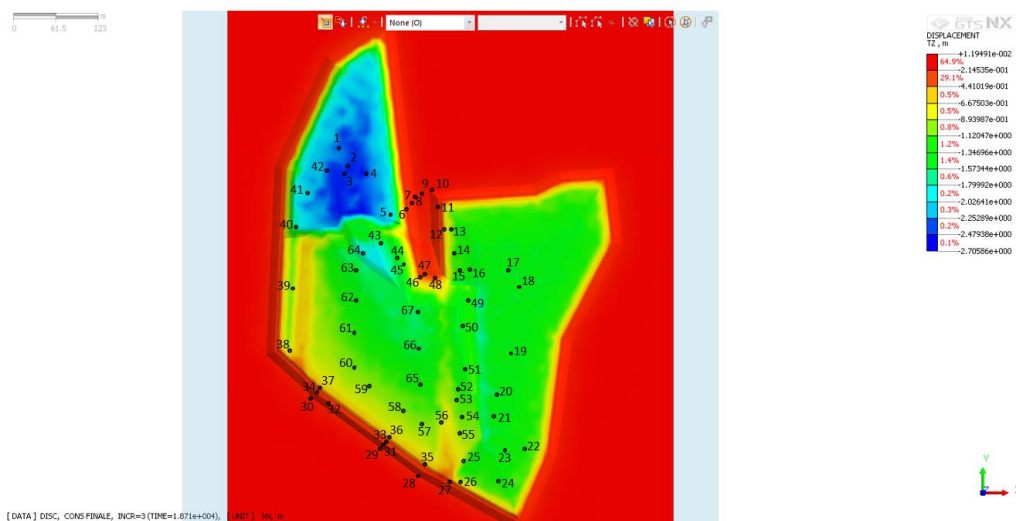


Figura 7.41 Sovrapposizione punti di riferimento a modello di calcolo Midas GTS

**Tabella 7.2 Cedimenti verticali in corrispondenza dei punti di riferimento all'interno della discarica**

n° punto	Cedimento in sommità [m]	n° punto	Cedimento in sommità [m]
1	2.40	35	0.47
2	2.52	36	0.46
3	2.56	37	0.45
4	2.50	38	0.75
5	2.03	39	0.90
6	0.20	40	1.67
7	0.15	41	2.12
8	0.10	42	2.37
9	0.05	43	1.60
10	0.08	44	1.48
11	0.14	45	1.53
12	0.48	46	0.27
13	0.82	47	0.18
14	1.26	48	0.18
15	1.17	49	1.35
16	1.14	50	1.39
17	1.41	51	1.33
18	1.36	52	1.27
19	1.38	53	1.11
20	1.58	54	1.06
21	1.40	55	0.90
22	1.22	56	0.83
23	1.43	57	0.98
24	1.29	58	0.99
25	1.01	59	0.98
26	0.79	60	1.04
27	0.22	61	1.18
28	0.09	62	1.43
29	0.08	63	1.50
30	0.09	64	1.95
31	0.15	65	1.22
32	0.15	66	1.56
33	0.17	67	1.62
34	0.16		

### 7.5.7 Commenti

Al termine della fase 7, trascorsi 100 anni dall'applicazione del sistema di copertura, il cedimento massimo calcolato è pari a 2.71m. Dai risultati ottenuti si evince che già dopo 30 anni dal riempimento completo della discarica e dalla realizzazione della copertura (fine fase 6), si raggiungono i cedimenti finali. I cedimenti che maturano dai 30 ai 100 anni sono talmente piccoli da considerarsi praticamente esauriti (differenziale tra i cedimenti nei due periodi citati pari a circa 1mm).



Tabelle ed immagini seguenti riportano gli andamenti dei cedimenti relativi a due punti significativi nella zona di interesse:

- punto 4: in corrispondenza della colmata di rifiuti allo stato attuale o comunque precedente alla colmata di progetto dalla Fase 3 alla Fase 7;
- punto 5: in corrispondenza della nuova colmata di rifiuti di progetto dalla Fase 5 alla Fase 7.

**Tabella 7.3 Cedimenti per il punto 4**

$S_{MAX}$ [m]	t [gg]	t [anni]
0.000	0.00	0.00
-0.258	730.00	2.00
-0.516	1460.00	4.00
-0.773	2190.00	6.00
-1.028	2920.00	8.00
-1.283	3650.00	10.00
-1.282	3657.50	10.02
-1.282	3665.00	10.04
-1.283	3672.50	10.06
-1.283	3680.00	10.08
-1.282	3710.16	10.16
-1.282	3800.66	10.41
-1.283	3951.49	10.83
-1.284	4162.65	11.40
-1.285	4434.13	12.15
-1.287	4765.95	13.06
-1.288	5158.10	14.13
-1.290	5610.58	15.37
-1.292	6123.39	16.78
-1.295	6696.53	18.35
-1.298	7330.00	20.08
-1.836	7512.50	20.58
-2.378	7695.00	21.08
-2.381	11345.00	31.08
-2.381	14994.98	41.08
-2.381	18644.98	51.08
-2.381	22294.98	61.08
-2.382	25944.98	71.08
-2.382	29594.98	81.08
-2.382	33244.98	91.08
-2.382	36894.98	101.08
-2.382	40544.98	111.08
-2.382	44194.98	121.08

**Tabella 7.4 Cedimenti per il punto 5**

$S_{MAX}$ [m]	t [gg]	t [anni]
0.000	0.00	0.00
-0.010	30.16	0.08
-0.026	120.66	0.33
-0.054	271.49	0.74
-0.093	482.65	1.32
-0.143	754.13	2.07
-0.204	1085.95	2.98
-0.276	1478.10	4.05
-0.359	1930.58	5.29
-0.452	2443.39	6.69
-0.556	3016.53	8.26
-0.671	3650.00	10.00
-1.049	3832.50	10.50
-1.445	4015.00	11.00
-1.475	7665.00	21.00
-1.475	11314.98	31.00
-1.475	14964.98	41.00
-1.475	18614.98	51.00
-1.474	22264.98	61.00
-1.474	25914.98	71.00
-1.474	29564.98	81.00
-1.474	33214.98	91.00
-1.473	36864.98	101.00
-1.473	40514.98	111.00

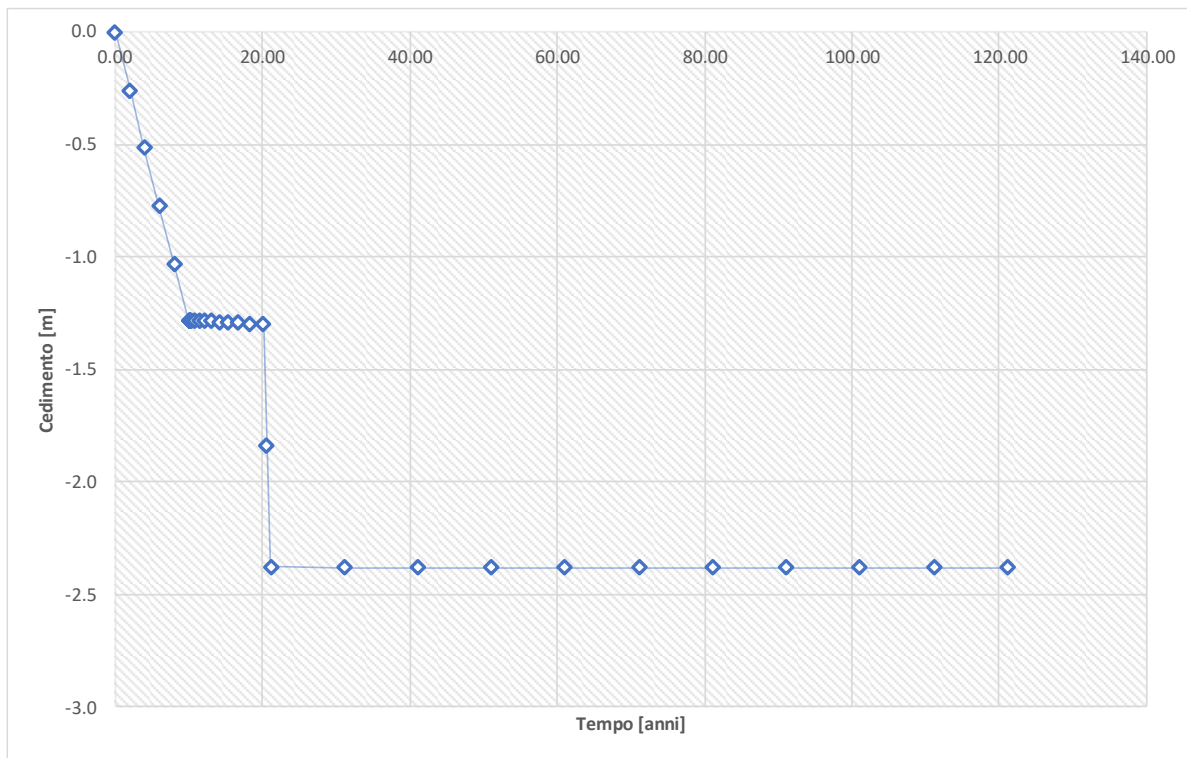


Figura 7.42 Andamento dei cedimenti nel tempo per il punto 4 (dalla Fase 3 alla Fase 7)

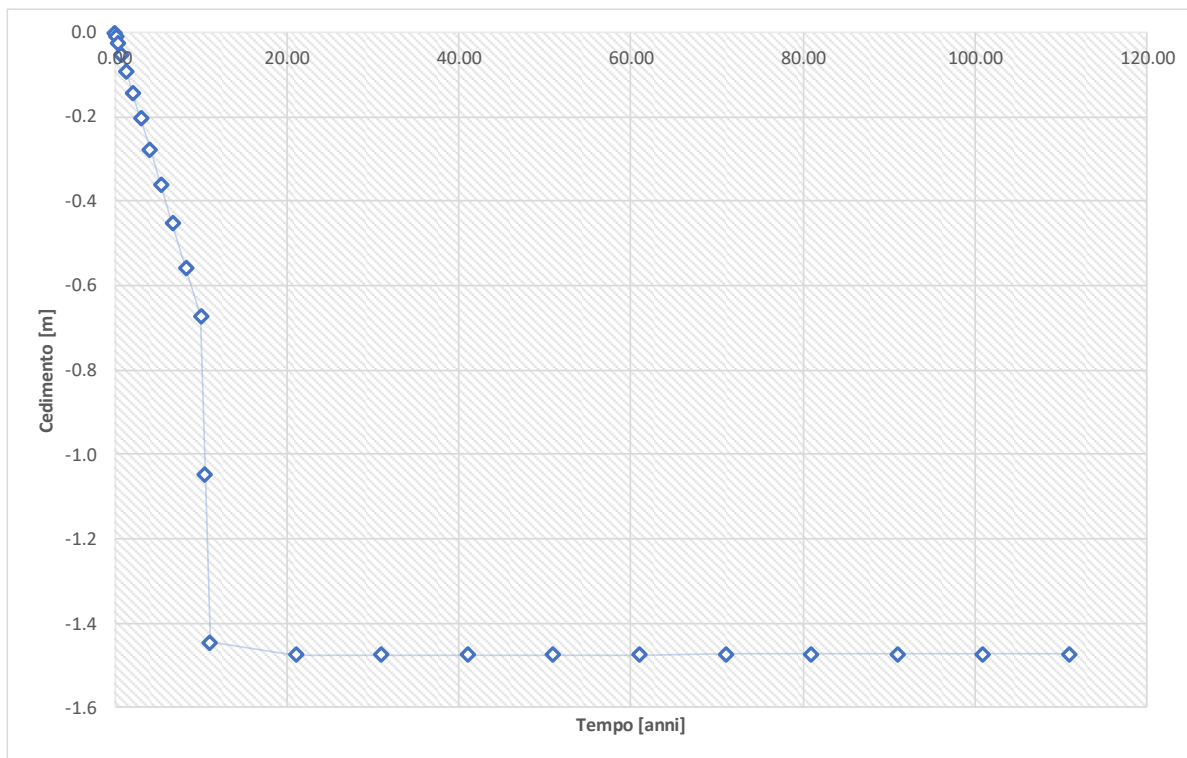


Figura 7.43 Andamento dei cedimenti nel tempo per il punto 5 (dalla Fase 5 alla Fase 7)

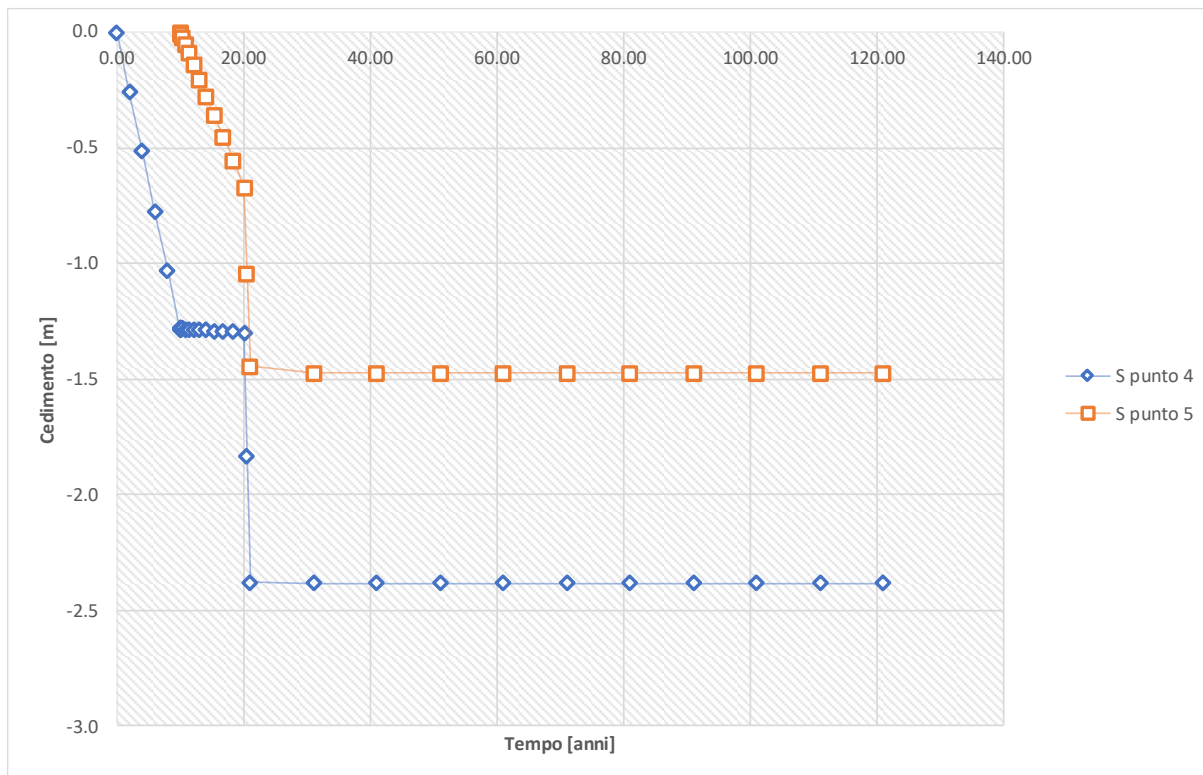


Figura 7.44 Sovrapposizione cedimenti dei punti 4 e 5

Nel grafico sopra riportato il punto di partenza coincide con l'inizio della Fase 3, ovvero quella per cui si ha la coltivazione dei rifiuti allo stato attuale; per il punto 4 si registra quindi un primo abbassamento, fino a circa 1.28m. Tale cedimento si mantiene pressoché costante nella fase successiva di costruzione degli Argini Nord e Sud (Fase 4). A partire dal termine di questa fase, si procede alla coltivazione dei rifiuti allo stato di progetto (Fase 5), registrando quindi un progressivo incremento dei cedimenti in corrispondenza del punto 5. La coltivazione dei nuovi rifiuti non incide significativamente sui cedimenti del punto 4, sufficientemente lontano da non risentire l'effetto dell'incremento del nuovo carico. La fase 6 di realizzazione del sistema di copertura (applicazione di un carico uniformemente distribuito) influisce sull'andamento dei cedimenti per entrambi i punti di riferimento. Infine nella fase di consolidazione finale (Fase 7) i cedimenti primari si possono considerare maturati dopo circa 30 anni di vita utile, e si mantengono inalterati nel tempo.

## 7.6 Cedimenti secondari

L'analisi svolta con il codice di calcolo Midas GTS non ha consentito di calcolare i cedimenti dovuti alla consolidazione secondaria. Per questo motivo, nel seguente capitolo, si calcolano tali cedimenti per via

teorica, considerando, come dati di partenza, i risultati dell'analisi con il software di calcolo e corrispondenti alla fase finale.

### 7.6.1 Teoria

Il cedimento secondario si calcola per i primi tre strati di terreno, fino ad una profondità di 7.5m dal p.c., utilizzando la formulazione di Sowers (1973):

$$S_s = C_\alpha \cdot H \cdot \log(t_2/t_1)$$

Dove:

- $C_\alpha$  è il coefficiente di consolidazione secondaria valutato pari a  $C_\alpha = 0.06$ ;
- $H$  è lo spessore dell'unità stratigrafica considerata;
- $t_1$  e  $t_2$  sono i tempi di riferimento per il calcolo, ed in particolare  $t_2 > t_1$  con  $t_1$  che indica il tempo necessario affinché si sviluppi completamente la consolidazione primaria.

I cedimenti secondari sono deformazioni differite nel tempo e che si verificano anche a tensioni costanti a causa della viscosità dei terreni. Tali cedimenti si sviluppano al termine del processo di consolidazione primaria (dal tempo  $t_1$ ) e possono essere molto rilevanti in terreni coesivi, come argille e torbe. Nel caso dei rifiuti i cedimenti secondari sono dovuti alla degradazione biologica della sostanza organica, a cui segue la produzione di percolato e di biogas. I cedimenti secondari possono durare molto nel tempo, fino alla stabilizzazione completa del rifiuto.

In questa trattazione non si considera la componente di biodegradazione dei rifiuti, per cui, nei calcoli proposti, si impiega un coefficiente  $C_\alpha$  relativo solo al contributo del cedimento meccanico; i cedimenti ricavati si considerano quindi valori minimi.

Per ogni strato si considera un cedimento secondario  $s_i$  funzione dello spessore dello strato  $H_i$  determinato in accordo con i cedimenti totali calcolati nell'analisi FEM. Il cedimento secondario viene calcolato sulle sezioni qui di seguito esposte:

- Sezione Nord-Sud;
- Sezione Est-Ovest;
- Argine Nord;
- Argine Sud;

- Argine Est;
- Argine Ovest.

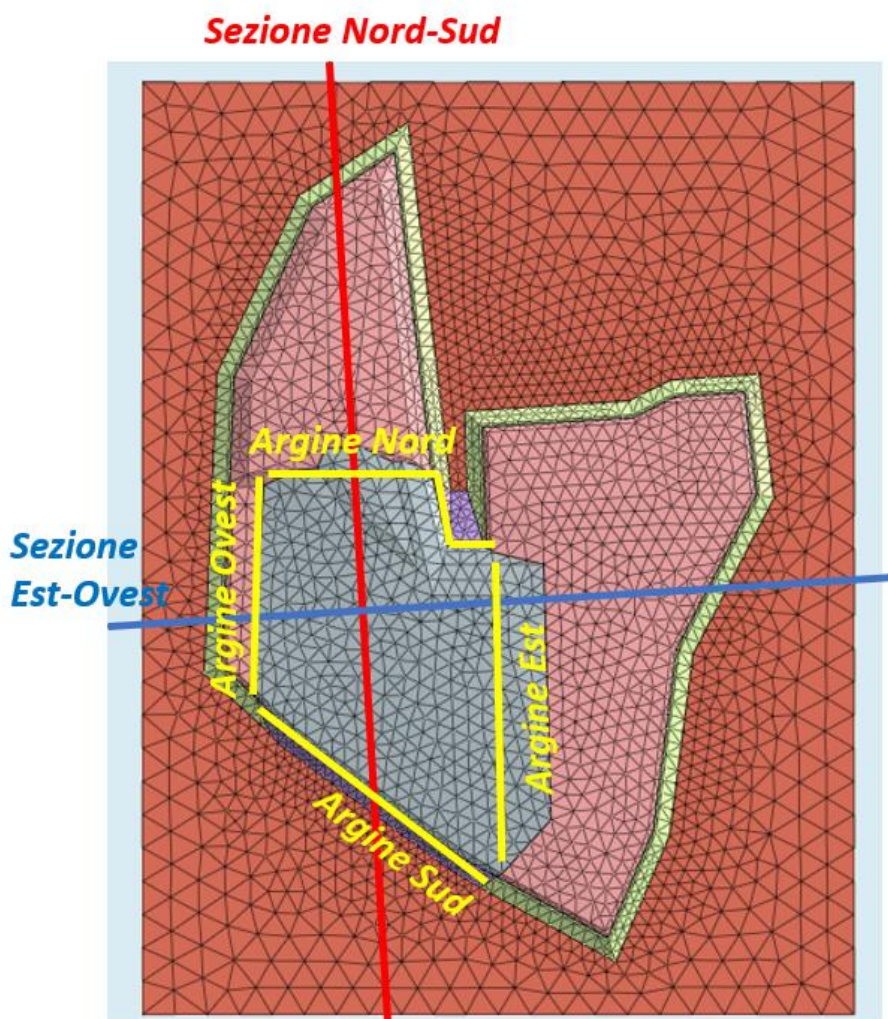


Figura 7.45 Sezioni di riferimento per il calcolo dei cedimenti secondari

Si fa notare che le sezioni Nord-Sud ed Est-Ovest tagliano volumi di terreno di fondazione differenti, in funzione della presenza o meno dello strato di rifiuti posto al di sotto del p.c. e localizzato nel solo Lotto Sud-Ovest della discarica; in particolare tale strato si colloca nella seconda parte della Sezione Nord-Sud e nella prima parte della Sezione Est-Ovest. Lo strato di terreno formato da vecchi rifiuti sarà contraddistinto da un indice dei vuoti posto a cautelativamente pari a  $e_0 = 2.0$ . Nelle tabelle sottostanti si raccolgono i principali parametri impiegati per il calcolo dei cedimenti secondari.

<b>CEDIMENTO SECONDARIO Sez N-S Parte 1/2</b>				
STRATO	e0	C <sub>α</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
RSU SDF	2.0	0.120	10	40
S1	0.5	0.030	10	40
S2	0.5	0.030	10	40
S3	0.5	0.030	10	40

Figura 7.46 Parametri per il calcolo del cedimento secondario per la Sezione Nord-Sud Parte 1/2

<b>CEDIMENTO SECONDARIO Sez N-S Parte 2/2</b>				
STRATO	e0	C <sub>α</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
RSU SDP	2.0	0.120	10	40
S1	0.5	0.030	10	40
RSU SDP	2.0	0.120	10	40
S3	0.5	0.030	10	40

Figura 7.47 Parametri per il calcolo del cedimento secondario per la Sezione Nord-Sud Parte 2/2

<b>CEDIMENTO SECONDARIO Sez E-O Parte 1/2</b>				
STRATO	e0	C <sub>α</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
RSU SDP	2.0	0.120	10	40
S1	0.5	0.030	10	40
RSU SDP	2.0	0.120	10	40
S3	0.5	0.030	10	40

Figura 7.48 Parametri per il calcolo del cedimento secondario per la Sezione Est-Ovest Parte 1/2

<b>CEDIMENTO SECONDARIO Sez E-O Parte 2/2</b>				
STRATO	e0	C <sub>α</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
RSU SDF	2.0	0.120	10	40
S1	0.5	0.030	10	40
S2	0.5	0.030	10	40
S3	0.5	0.030	10	40

Figura 7.49 Parametri per il calcolo del cedimento secondario per la Sezione Est-Ovest Parte 2/2

## 7.6.2 Risultati

Nel seguito si riportano i valori del cedimento secondario (S<sub>s</sub>) e del relativo cedimento totale (S<sub>tot</sub>), dato dalla somma tra il secondario e quello ricavato dall'analisi FEM.

$$S_{tot} = S_{FEM} + S_s$$

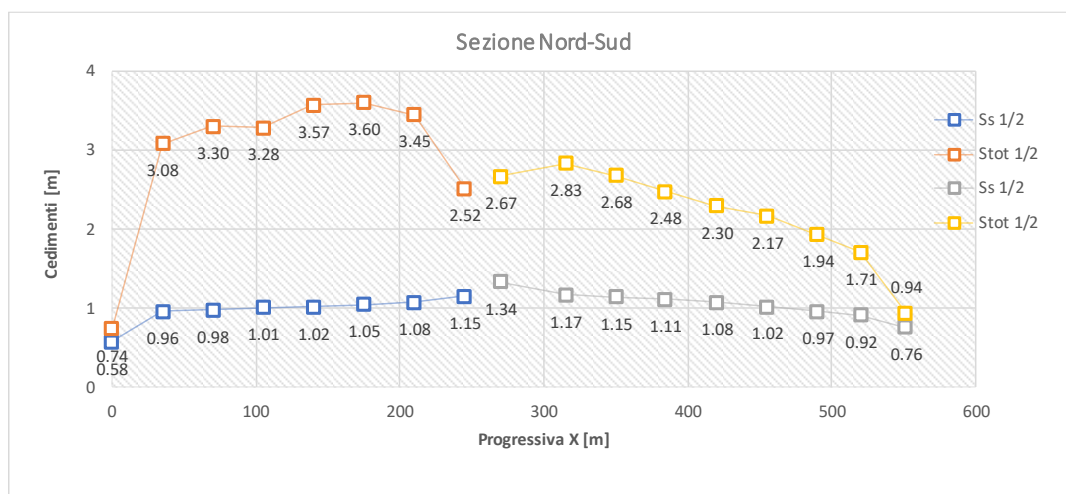


Figura 7.50 Cedimenti secondario e totale lungo la Sezione Nord-Sud

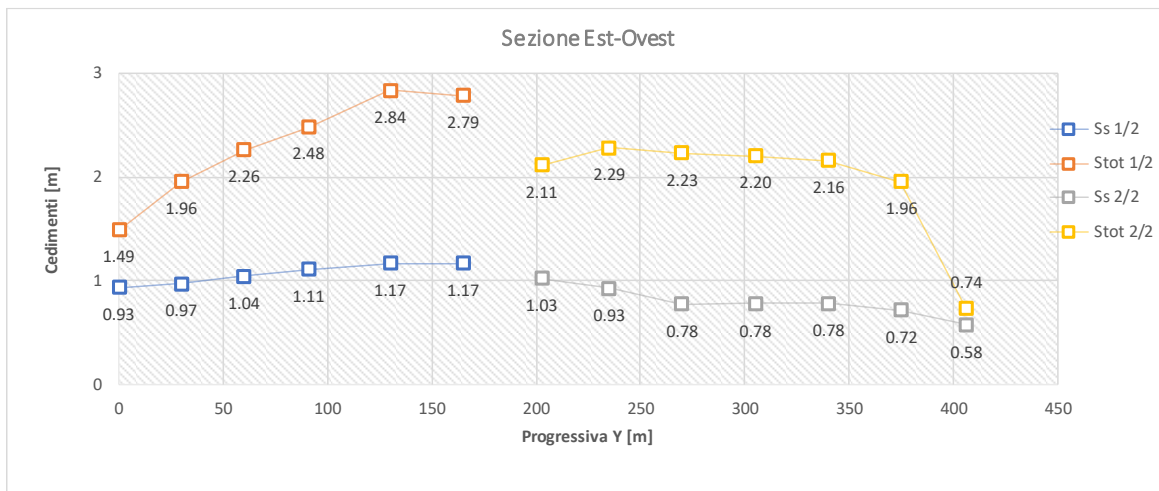


Figura 7.51 Cedimenti secondario e totale lungo la Sezione Est-Ovest

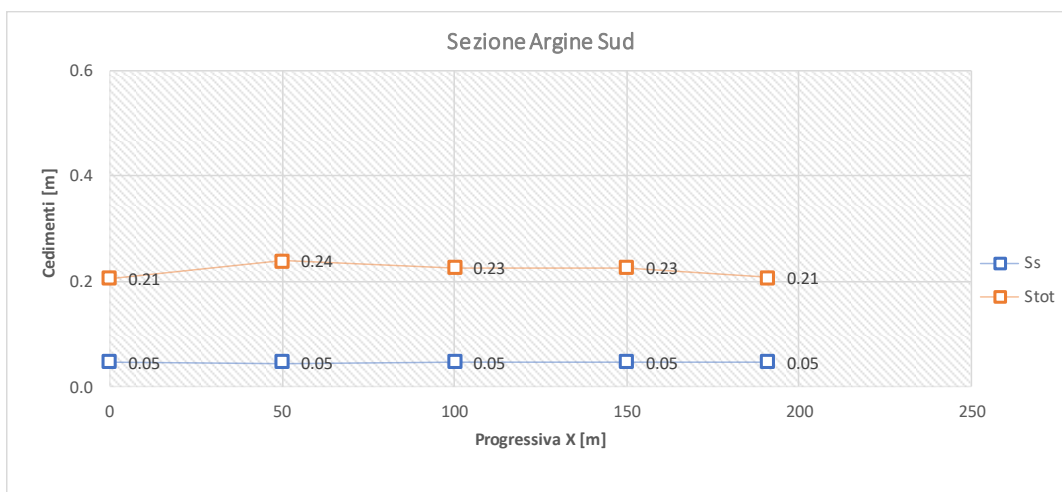


Figura 7.52 Cedimenti secondario e totale lungo la Sezione Argine Sud

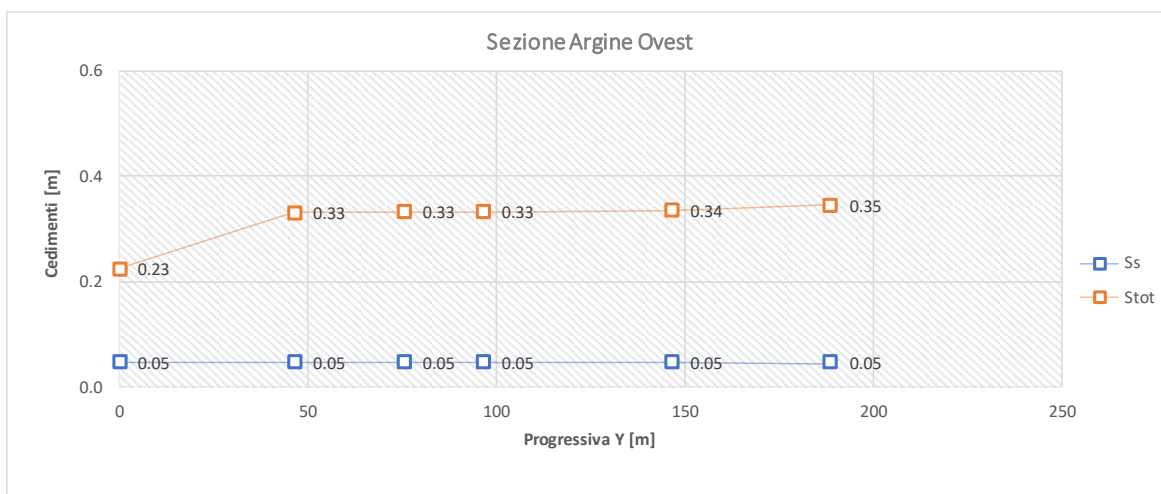


Figura 7.53 Cedimenti secondario e totale lungo la Sezione Argine Ovest

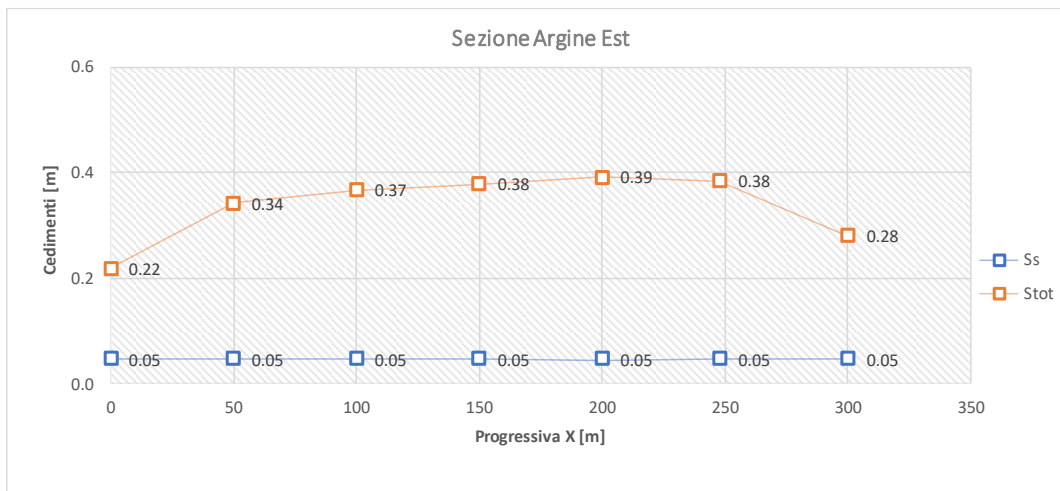


Figura 7.54 Cedimenti secondario e totale lungo la Sezione Argine Est

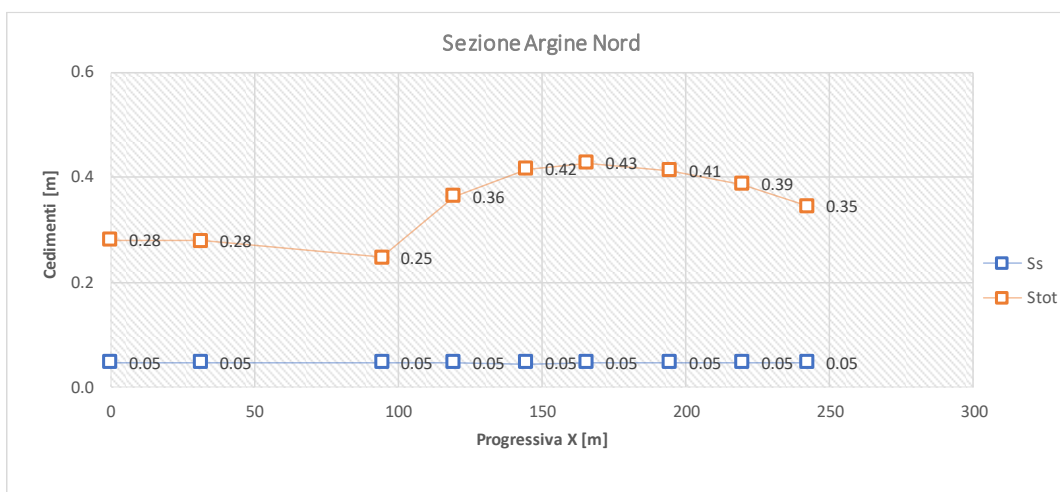


Figura 7.55 Cedimenti secondario e totale lungo la Sezione Argine Nord

Prendendo come riferimento la Sezione Nord-Sud, si osserva, passando in corrispondenza della linea di demarcazione dai rifiuti allo SDF e quelli allo SDP, ovvero tra le progressive 200m e 300m, una sensibile riduzione nell'andamento dei cedimenti calcolati (circa 80cm). Tale riduzione è dovuta al fatto che il nuovo incremento di carico dovuto agli RSU dello SDP interessa delle porzioni di terreno che hanno già scontato una parte di cedimenti di natura primaria, per cui sono meno influenzate dallo stato tensionale indotto proprio dal corpo stesso della discarica. Tale considerazione vale solo per quelle zone di confine tra vecchi e nuovi RSU, mentre, nelle zone "vergini", non interessate da precedenti carichi di consolidazione, si registra un incremento dei cedimenti totali.

I cedimenti sono anche funzione del volume di rifiuti coltivato: nella prima parte della Sezione Nord-Sud, da 0 a 200m circa, la quota sommitale del cumulo di rifiuti dello SDF passa rapidamente da +6.0m a



+15.0 circa sul p.c. (al netto del sistema di copertura), mentre nella seconda parte della stessa Sezione, da 250 a 550m, la quota sommitale dei RSU dello SDP decresce con altrettanta rapidità da +15.0m a +6.0m in corrispondenza dell'argine Sud di progetto.

Analoghe considerazioni possono essere estese anche alla Sezione Est-Ovest: i cedimenti, funzione di terreno di fondazione e volume di carico raggiunto, aumentano nella prima parte, da 0 a 150m, per poi leggermente decrescere nella seconda sino ai 400m in corrispondenza del sistema arginale dello SDF.

## 8 VERIFICA DI STABILTA' DELLA SCARPATA CORPO RIFIUTI

### 8.1 Premessa

In ogni discarica la capacità di contenimento dei rifiuti è strettamente legata alle quote sommitali raggiunte e alle pendenze delle scarpate di progetto; maggiori sono le pendenze e le quote sommitali, maggiore sarà l'invaso per la raccolta del materiale. Tuttavia, quando le pendenze sono troppo accentuate, lo strato protettivo di copertura della discarica può risultare instabile, con conseguente distacco e scivolamento del pacchetto stesso di terreno verso valle. Nel presente documento si riporta il calcolo per la verifica del capping (ovvero il sistema di copertura).

### 8.2 Descrizione dello stato di progetto

La copertura del cumulo è costituita da strati di materiali eterogenei aventi tra loro diverse caratteristiche; in particolare si distingue la zona in scarpata, dove è necessario prevedere l'utilizzo di geocompositi in grado di garantire la stabilità della parete inclinate, e le aree in piano, dove tali elementi non si rendono necessari.

*Copertura delle superfici in piano dal basso verso l'alto:*

- strato di regolarizzazione con terreno di riporto;
- geotessile non tessuto da 250gr/m<sup>2</sup>;
- strato drenante per il biogas di spessore 50cm;
- geotessile non tessuto da 250gr/m<sup>2</sup>;
- argilla compattata di spessore 50cm;
- geotessile non tessuto da 250gr/m<sup>2</sup>;
- strato drenante per il biogas di spessore 50cm;
- geotessile non tessuto da 250gr/m<sup>2</sup>;
- terreno vegetale di spessore 100cm.

*Copertura delle superfici inclinate dal basso verso l'alto:*

- strato di regolarizzazione con terreno di riporto;

- geotessile non tessuto da 250gr/m<sup>2</sup>;
- geocomposito bentonitico;
- geocomposito drenante;
- geostuoia tridimensionale grimpante;
- terreno vegetale di spessore 100cm.

La geostuoia grimpante si dovrà estendere in sommità per un tratto sufficientemente lungo tale da garantire l'ancoraggio della geostuoia stessa nel terreno. Per una migliore comprensione dei dettagli appena descritti si rimanda alle tavole di progetto.

### 8.3 Calcolo delle azioni e verifica di scorrimento

Le verifiche di sicurezza agli SLU si effettuano secondo l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2). Nel seguito si riportano le tabelle estrapolate dalle NTC 2008 con i coefficienti parziali da applicare sulle azioni, sui parametri geotecnici del terreno e sulle resistenze.

Tabella 8.1 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tabella 8.2 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tabella 8.3 Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1

Nel calcolo delle azioni stabilizzanti ed instabilizzanti si considerano i parametri di input riportati nella seguente tabella e relativi alla sezione di riferimento critica, dove la pendenza della scarpata dei rifiuti è più accentuata. A favore di sicurezza si assume un angolo di attrito critico tra geocomposito bentonitico e geocomposito drenante pari a  $10^\circ$ .

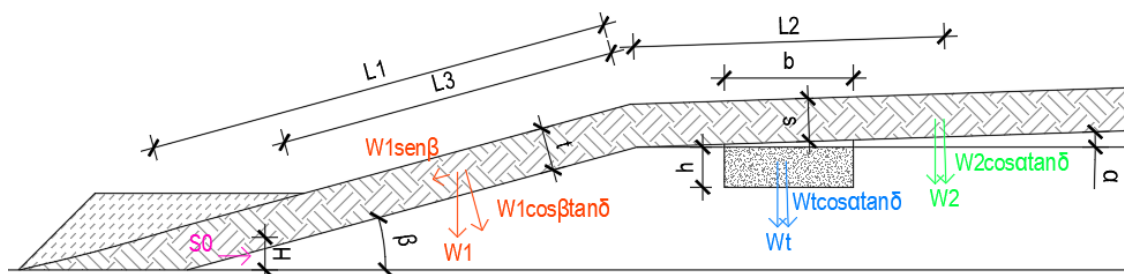


Figura 8.1 Sezione tipo e forze computate

Tabella 8.4 parametri di input per il calcolo delle forze instabilizzanti e stabilizzanti

SEZIONE DI RIFERIMENTO		
Peso specifico terreno bagnato	$\gamma_{sat}$ [kN/mc]	19
Peso specifico terreno alleggerito	$\gamma_d$ [kN/mc]	18
Angolo sommità	$\alpha$ [°]	1.9
Angolo scarpata	$\beta$ [°]	12
Spessore di terreno in scarpata	t [m]	1
Spessore di terreno in sommità	s [m]	1
Altezza cuneo di spinta a riposo	H [m]	0
Lunghezza scarpata con berma	L1 [m]	12
Lunghezza berma	L [m]	0
Lunghezza ancoraggio in sommità	L2 [m]	10
Lunghezza scarpata	L3 [m]	12
Angolo di attrito cuneo di spinta	$\Phi$ [°]	20
Coeff di spinta a riposo	K0 [-]	0.66
Angolo di attrito crit. geoc./geoc.	$\delta$ [°]	10
Larghezza trincea	b [m]	0
Altezza trincea	h [m]	0

Le azioni instabilizzanti sono rappresentate dalla sola forza di scivolamento  $F_s$  agente lungo la scarpata e strettamente dipendente dalle caratteristiche geometriche della scarpata stessa. La forza  $F_s$  si calcola

a partire dal peso della porzione di terreno saturo in scarpata e si moltiplicata per il coefficiente  $\gamma_{G1,(A2)} = 1.0$ , valido per carico permanente sfavorevole.

$$F_{S,d} = W1_{sat} \cdot \sin\beta \cdot \gamma_{G1(A2)}$$

La forza stabilizzante totale  $F_{tot}$  è invece data dalla somma di tre contributi e opportunamente ridotta con il coefficiente  $\gamma_{R2} = 1.1$ :

- Forza di attrito in sommità:  $F_1 = (W2_d + W_t) \cdot \cos\alpha \cdot \tan\delta$ ;
- Forza di attrito in corrispondenza della scarpata:  $F_2 = W1_d \cdot \cos\beta \cdot \tan\delta$ ;
- Resistenza del cuneo di terreno a riposo ai piedi della scarpata:  $F_p = 0.5 \cdot \gamma_d \cdot H^2 \cdot K_0$ .

$$F_{tot,d} = (F_1 + F_2 + F_p) / \gamma_{R2}$$

Con i termini  $W$  si indicano i pesi dei terreni che incidono nella verifica a scorrimento; il pedice “t” si riferisce al peso del terreno in trincea;  $H$  è l'altezza del cuneo di terreno a riposo ai piedi della scarpata. Nell'immagine seguente si riportano i pesi delle porzioni di terreno calcolati e le relative verifiche.

**Tabella 8.5 Calcolo delle forze instabilizzanti, stabilizzanti e relative verifiche**

Pesi delle porzioni di terreno		
Peso scarpata satura	$W1_{sat}$ [kN/m]	228.00
Peso scarpata alleggerita	$W1_d$ [kN/m]	216.00
Peso sommità satura	$W2_{sat}$ [kN/m]	190.00
Peso sommità alleggerita	$W2_d$ [kN/m]	180.00
Peso trincea	$W_t$ [kN/m]	0.00
Coefficienti da normativa		
Coefficiente A2 da NTC	$\gamma_{A2}$ [-]	1
Coefficiente R2 da NTC	$\gamma_{R2}$ [-]	1.1
Verifiche		
Forza di scivolamento scarpata	$F_{sd}$ [kN/m]	47.40
Forza resistente totale	$F_{ttd}$ [kN/m]	62.71
Fattore di sicurezza ulteriore	$FS$ [-]	1.1
$F_{sd} / F_{ttd}$	[-]	1.32
Verifica	verificato	

Come si evince dalla tabella sopra riportata la verifica risulta soddisfatta.

In accordo con l'azione di scorrimento calcolata, e considerando un opportuno coefficiente di sicurezza posto cautelativamente pari a 2, si prescrive l'adozione di geocompositi aventi una resistenza a trazione longitudinale uguale o superiore a 120kN/m.

## 9 STABILITA' DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Il calcolo della capacità portante è stato effettuato considerando parametri geotecnici mediati nei primi 10m di terreno al di sotto del corpo discarica. Si considera una superficie quadrata di lato pari a 10m in corrispondenza del corpo discarica, laddove si raggiunge la quota massima di abbancamento rifiuti.

Il carico verticale agente sul piano di imposta della discarica, dovuto alla presenza dei rifiuti e allo strato di copertura di spessore rispettivamente pari a 12.0m e 2.5m è pari a circa 143.5kPa.

La capacità portante ammissibile di progetto è stata calcolata con la teoria di Vesic, considerando un coefficiente di sicurezza FS pari a 3.0 e in condizioni drenate quindi a lungo termine.

Tabella 9.1 Calcolo della capacità portante secondo Vesic

VESIC DRENATE					
c' [kN/mq]	4.9	q' [kN/mq]	0	0.5gB [kN/mq]	78.12
Nc [-]	18.3	Nq [-]	8.8	N <sub>γ</sub> [-]	8.4
sc [-]	1.483	sq [-]	1.428	sg [-]	0.6
dc [-]	1.14	dq [-]	1.042	dg [-]	1
ic [-]	1	iq [-]	1	ig [-]	1
gc [-]	1	gq [-]	1	gg [-]	1
bc [-]	1	bq [-]	1	bg [-]	1
	<b>150.4</b>		<b>0.0</b>		<b>394.7</b>
				<b>qult [kPa]</b>	<b>545.1</b>
				<b>FS [-]</b>	<b>3.0</b>
				<b>qamm [kPa]</b>	<b>181.7</b>

Dai calcoli condotti si evince che la verifica a capacità portante risulta soddisfatta, essendo  $q_{amm} > Q_{agente}$ .

## 10 VERIFICA DELLA GEOMEMBRANA DI IMPERMEABILIZZAZIONE

In relazione ai cedimenti registrati alla base della discarica si deducono gli sforzi agenti sulle geomembrane in HDPE e se ne verifica la conformità con i parametri di resistenza dei manti sintetici ricavati sulla base delle caratteristiche tecniche del materiale. In particolare si sceglie una geomembrana avente le seguenti proprietà fisiche:

- modulo elastico  $E = 200\text{MPa}$ ;
- tensione allo snervamento  $\sigma_y = 15\text{MPa}$ ;
- allungamento allo snervamento  $\epsilon_y > 9\%$ ;
- tensione a rottura  $\sigma_r = 26\text{MPa}$ ;
- allungamento a rottura  $\epsilon_r > 700\%$ .

A favore della sicurezza si considera un cedimento complessivo massimo pari a 500mm; considerando una lunghezza della geomembrana pari a circa 30m sulla sezione più corta, si ricava una deformazione pari a:

$$\epsilon = (\Delta z/L) \cdot 100 = 0.5 / 30 \cdot 100 = 1.67\%$$

Si ricava quindi il seguente sforzo tensionale:

$$\sigma_{\text{ced}} = (\Delta z/L) \cdot E = 3.33\text{MPa}.$$

Le deformazioni e gli sforzi calcolati sono inferiori rispetto ai valori caratteristici di resistenza della geomembrana e non danneggiano la tenuta dei manti impermeabilizzanti. I giunti di collegamento tra i teli di geomembrana dovranno essere opportunamente realizzati per garantire la resistenza allo sforzo tensionale calcolato.

## 11 CONCLUSIONI

Dai risultati ricavati con i codici di calcolo 2D non si evidenziano particolari stati di instabilità del sistema formato dal corpo arginale e dal corpo rifiuti. In particolare nel codice di calcolo Slide i valori di FS nelle fasi statica e sismica sono tutti maggiori di 1.1, coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza di opere in materiali sciolti e fronti di scavo secondo l'Approccio 1 Combinazione 2 delle NTC 2008. Anche i valori di FS ottenuti con Plaxis 2D sono sufficienti ai fini della stabilità del sistema, essendo in ogni fase di costruzione maggiori del FS minimo posto, a favore di sicurezza, pari a 1.54.

Nelle tabelle seguenti, a titolo riassuntivo, si riportano i minimi coefficienti di sicurezza ottenuti dalle modellazioni svolte.

Tabella 11.1 Coefficienti di sicurezza minimi ottenuti con Slide

Sezione di studio	FS di sicurezza minimo
Argine Sud – Statica	1.218
Argine Sud – Sismica	1.196
Argine Nord – Statica	3.615
Argine Nord – Sismica	4.047
Argine di contenimento - Statica	1.360
Argine di contenimento - Sismica	1.313

Tabella 11.2 Coefficienti di sicurezza minimi ottenuti con Plaxis 2D

Sezione di studio	FS di sicurezza minimo
Argine Sud	1.661
Argine Nord	2.388
Argine di contenimento	1.822

I cedimenti ricavati dal modello FEM risultano, infine, compatibili con il tipo di opera e la destinazione d'uso.

L'analisi tridimensionale evidenzia che il completamento della discarica non influisce in modo rilevante sulle opere attualmente presenti nell'area di interesse. La presenza del banco di rifiuti fortemente compressibili nel Lotto Sud-Ovest della discarica determina un cedimento maggiore del piano campagna rispetto alle zone circostanti. I cedimenti primari calcolati con il codice di calcolo si possono considerare in fase di esaurimento a distanza di 30 anni dalla chiusura della discarica.