

ALL. A01BIS.4

**VERIFICHE ALLO SCHIACCIAMENTO DELLE CONDOTTE
DI RACCOLTA DEL PERCOLATO**

1 VERIFICHE ALLO SCHIACCIAMENTO CONDOTTE DI RACCOLTA DEL PERCOLATO

Il sistema di raccolta del percolato prevede tubazioni in PEAD (Polietilene ad alta densità) fessurate e del diametro di 200 mm (tubazioni secondarie per il drenaggio) e tubazione non fessurata del diametro di 400 mm (tubazione principale di drenaggio) ubicate sul fondo della cava e posate sopra lo strato di argilla di impermeabilizzazione dello spessore di circa 1 m (fra condotte e strato di argilla è prevista la posa di un geotessile di protezione).

Le condotte impiegate sono in materiale plastico e possono essere classificate secondo l'usuale distinzione in "condotte flessibili", tubazioni cioè che possono giungere a deformazioni significative prima di giungere alla rottura.

La verifica convenzionale a schiacciamento delle condotte interrato consiste nel confrontare il carico di rottura reale Q_r , ottenuto moltiplicando il carico di rottura Q verificato da prove di carico in laboratorio per il coefficiente di posa k per tenere conto delle effettive condizioni di carico e di posa (si veda schema riportato nella figura seguente), con il carico statico Q_{st} agente alla quota della generatrice superiore della condotta dovuto al peso del terreno soprastante.

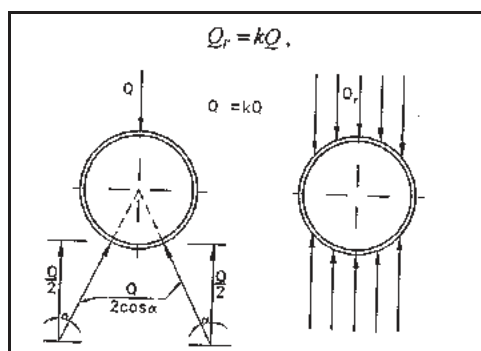


Figura 1: Prova di carico di schiacciamento e carico reale (da Da Deppo et al – Acquedotti, ed. Cortina)

Le formule di utilizzo comune per determinare il fattore k e il carico Q_{est} fanno riferimento principalmente a condotte interrato in trincea e sono quindi basate su ipotesi e assunzioni che mal si adattano al caso in esame.

Inoltre la presenza dello strato di ghiaia nell'intorno delle condotte rende di ancor più difficile applicazione tali formule.

Per tale motivo al fine di condurre le verifiche allo schiacciamento delle tubazioni per effetto del peso dei rifiuti e del manto di copertura è stato sviluppato un modello bidimensionale agli elementi finiti (codice di calcolo PLAXIS - Delft University of Technology), che permette di tenere conto del comportamento del terreno di tipo elastoplastico seguendo, per fasi successive, la variazione dello stato tensionale e deformativo degli elementi strutturali (condotte) e nei vari punti dell'ammasso. Tale codice di calcolo, sviluppato per specifiche esigenze di tipo geotecnico, permette di esaminare casi di stato piano di deformazione.

L'analisi è stata condotta con riferimento alle sezioni più gravose con piano di appoggio delle tubature alla quota di +35.0 s.l.m.m. circa e sommità del corpo della discarica (rifiuti più strato di copertura) alla quota massima di +68.5÷70.0 circa; nella seguente figura si riporta il dettaglio della mesh di calcolo nell'intorno della condotta di diametro 400 mm.

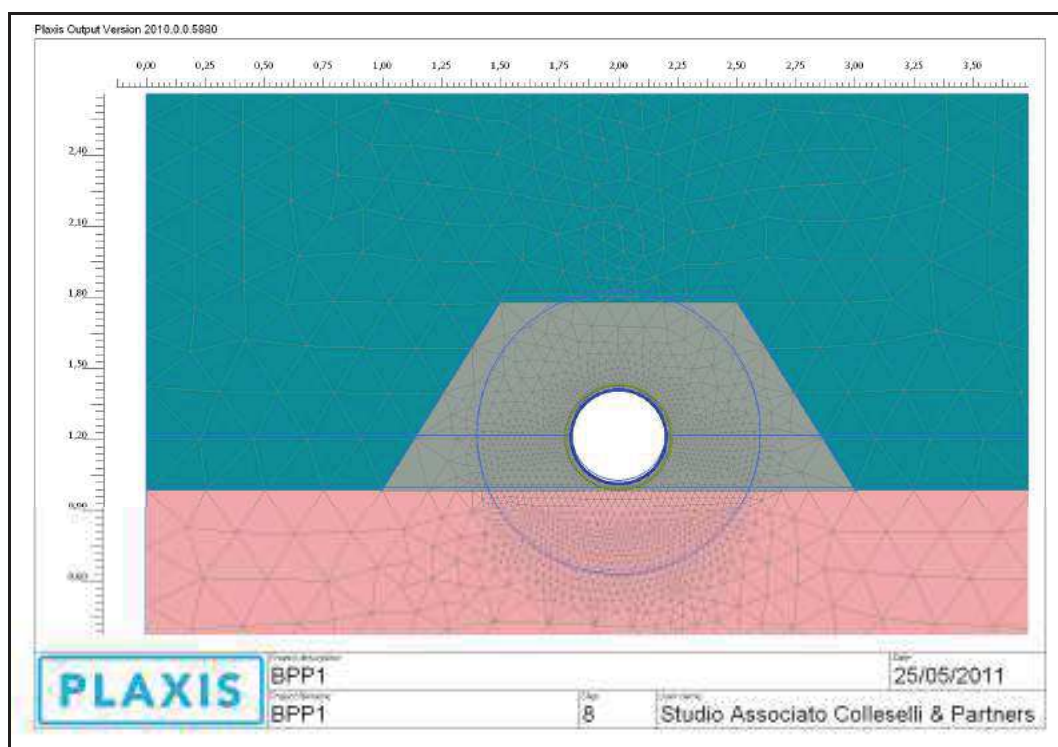


Figura 2: Particolare mesh di calcolo nell'intorno della condotta da 400 mm; in

verde è riportato il rifiuto, in grigio la ghiaia e in rosa il fondo in argilla.

Nel modello sono state simulate le fasi corrispondenti all'installazione delle tubature ed il successivo conferimento dei rifiuti e copertura.

La base del modello è stata assunta in corrispondenza del tetto dello strato di ghiaia addensata presente al di sotto dello strato di argilla di confinamento di 1 m.

Nella seguente tabella sono riassunti i parametri geotecnici e strutturali utilizzati nel modello di calcolo.

Materiale	γ [kN/m ³]	E [MPa]	ϕ'	c'
Rifiuti	17.5	10	30	10
Strato di argilla di impermeabilizzazione	19.0	15	20	25
Ghiaia attorno alla tubazione	20	100	45	0

Per quanto riguarda le condotte si è fatto riferimento a PEAD (polietilene ad alta densità) 100 con modulo elastico E di 1000 MPa circa, resistenza a snervamento di 24 MPa; alla luce dei notevoli spessori di copertura sono state previste condotte di spessore pari a 36 mm per il diametro 400 mm e 27 mm per il 200 mm.

Nel modello è stato indagato lo stato di sollecitazione della condotta sottoposta a carico nel suo piano considerata come lastra cilindrica con elementi beam con momento di inerzia $I = s^3/12$.

Nelle seguenti figure si riporta lo stato di deformazione nell'intorno della condotta da 400 mm determinate a fine coltivazione della discarica.

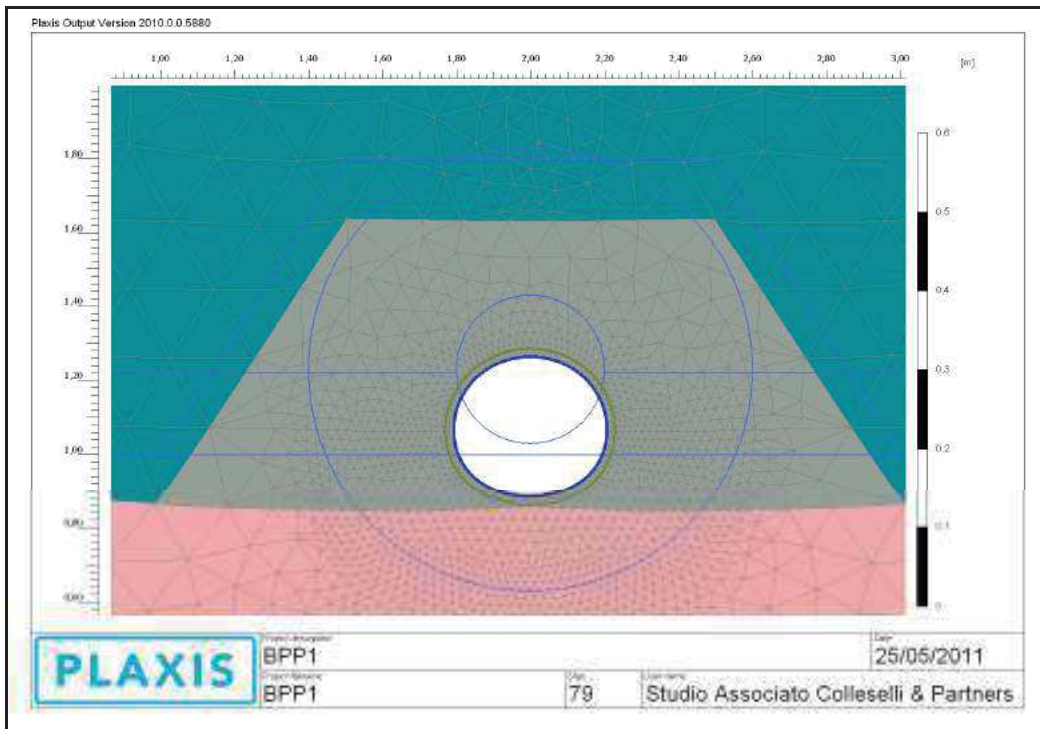


Figura 3: Mesh deformata nell'intorno della condotta da 400 mm a fine coltivazione discarica

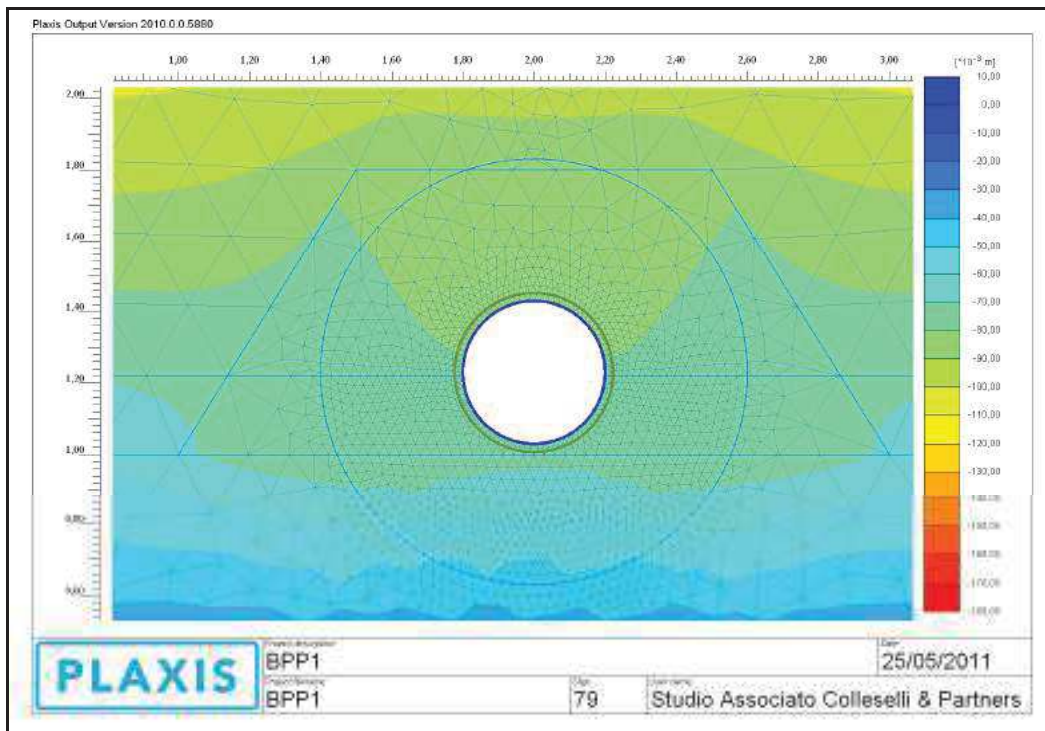


Figura 4: Deformazioni verticali nell'intorno della condotta da 400 mm a fine

coltivazione discarica

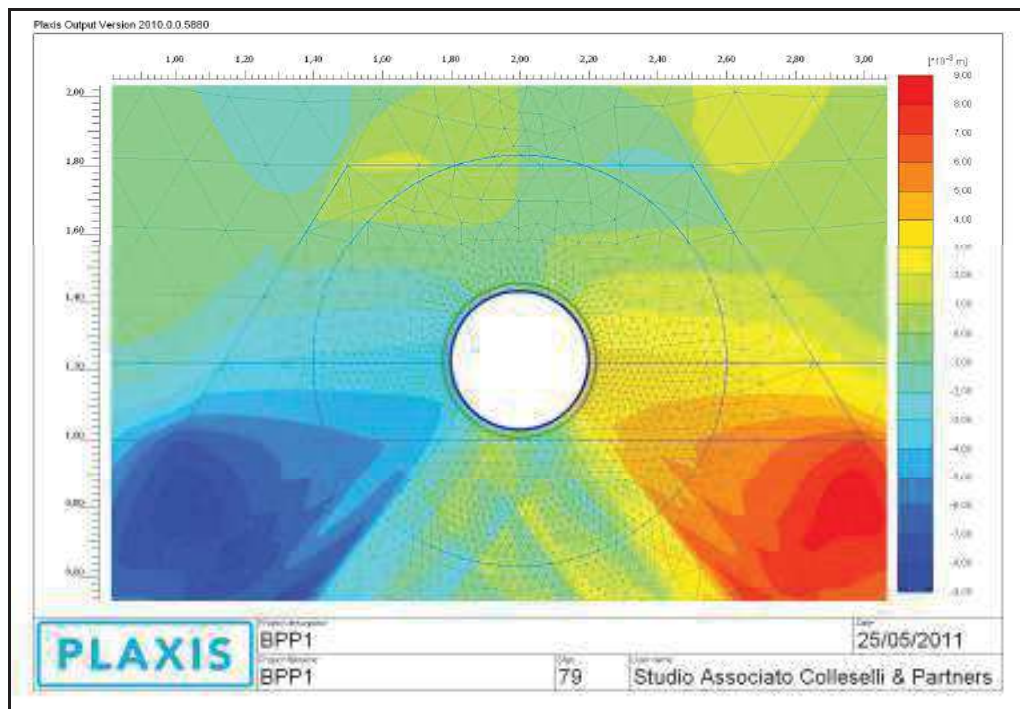


Figura 5: Deformazioni orizzontali nell'intorno della condotta da 400 mm a fine coltivazione discarica

Nella figura seguente si riportano le sollecitazioni sulla condotta da 400 mm determinate a fine coltivazione.

La massima sollecitazione agente sulla condotta è data da:

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{N}{A} \approx 8 \text{ Mpa} + 3.5 \text{ MPa} = 11.5 \text{ MPa}$$

Dove:

- M è il momento agente sulla lastra cilindrica pari a 1.6 kNm/m
- W è il modulo di resistenza pari a $s^2/6$
- N è la forza di compressione assiale pari a 122 kN/m
- A area della sezione pari a 0.036 m²/m

Si tratta di un valore senz'altro accettabile in quanto pari a meno della metà della tensione di snervamento del materiale.

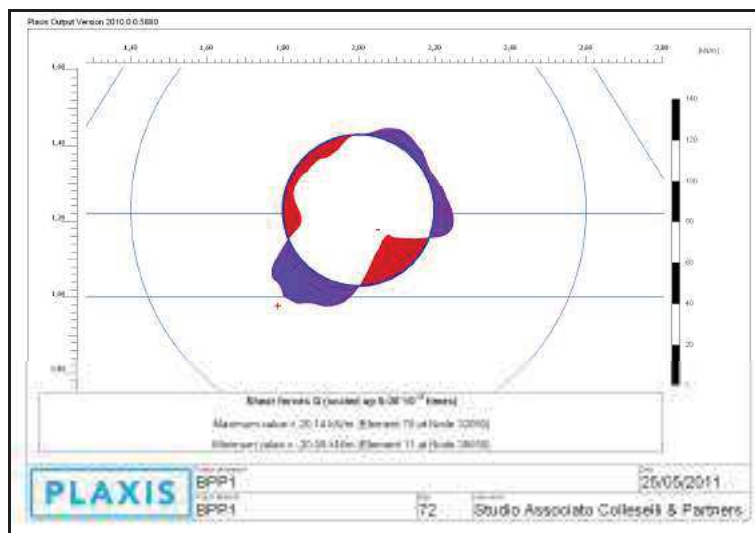
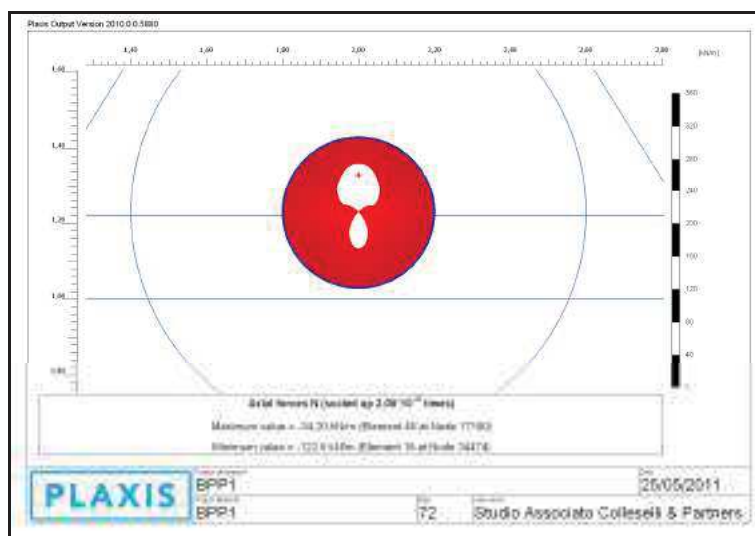
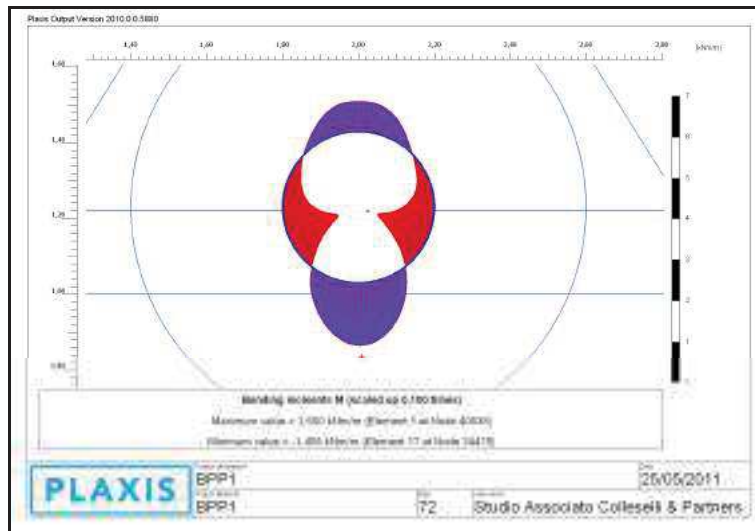


Figura 6: Stato di sollecitazione indotta sulla condotta da 400 mm a fine

coltivazione discarica

Di seguito sono riportate le verifiche condotte per tubazioni di diametro 200 mm: in questo caso le tubazioni sono fessurate e nasce quindi il non semplice problema di definire il momento di inerzia I e di resistenza W della sezione; prescrivendo l'utilizzo di tubazioni drenanti con superficie drenante formata da fessure perpendicolari all'asse e dell'ordine del 10 % circa del totale, si può assumere, in prima approssimazione, che vi sia una pari riduzione del modulo di inerzia e del modulo di rigidezza.

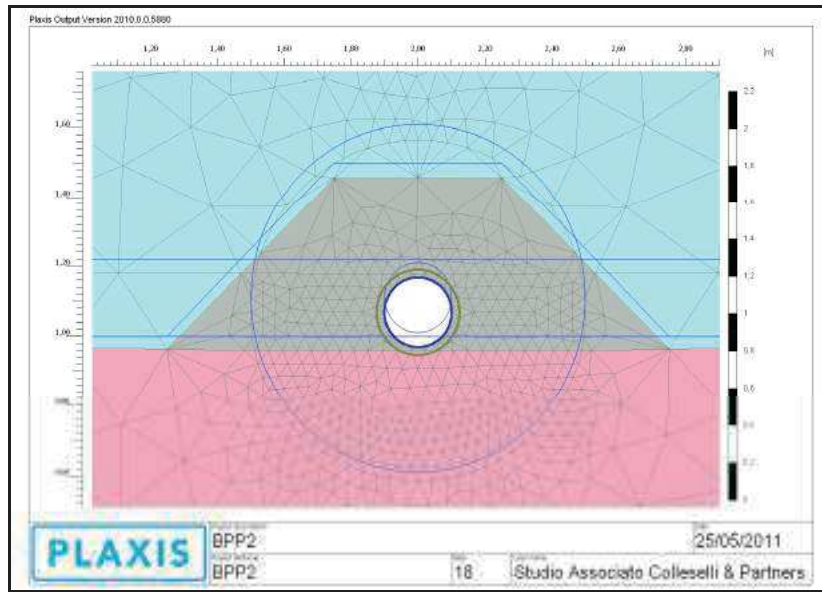


Figura 7: Mesh deformata nell'intorno della condotta da 200 mm a fine coltivazione discarica

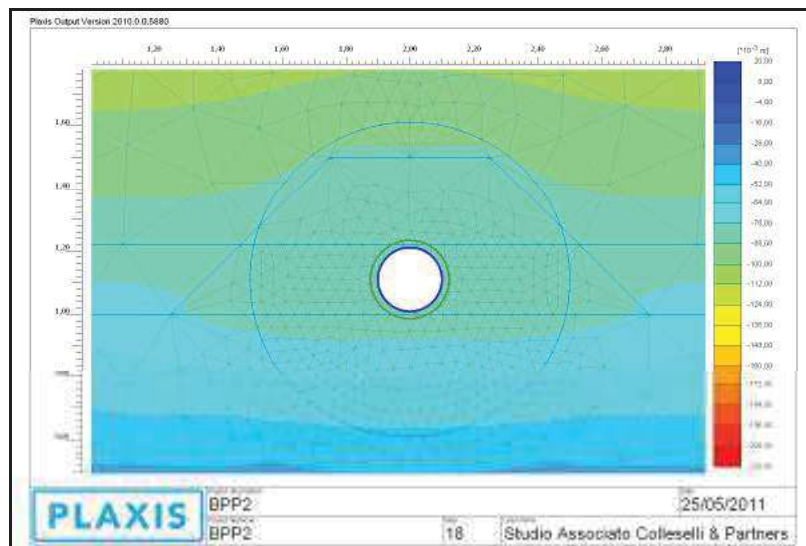


Figura 8: Deformazioni verticali nell'intorno della condotta da 200 mm a fine coltivazione discarica

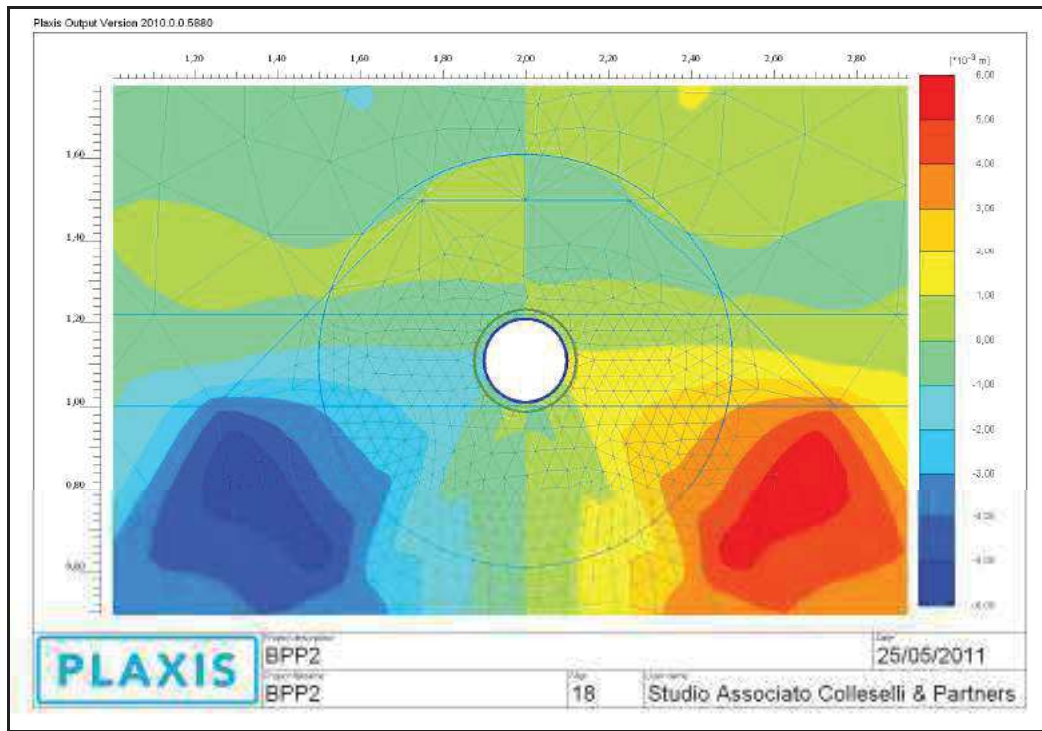


Figura 9: Deformazioni orizzontali nell'intorno della condotta da 200 mm a fine coltivazione discarica

Di seguito si riportano le sollecitazioni sulla condotta da 200 mm determinate a fine coltivazione.

La massima sollecitazione agente sulla condotta, stimata con la relazione precedentemente riportata risulta pari a 9.5 MPa, valore che si ritiene senz'altro accettabile anche in questo caso in quanto pari a meno della metà della tensione di snervamento del materiale.

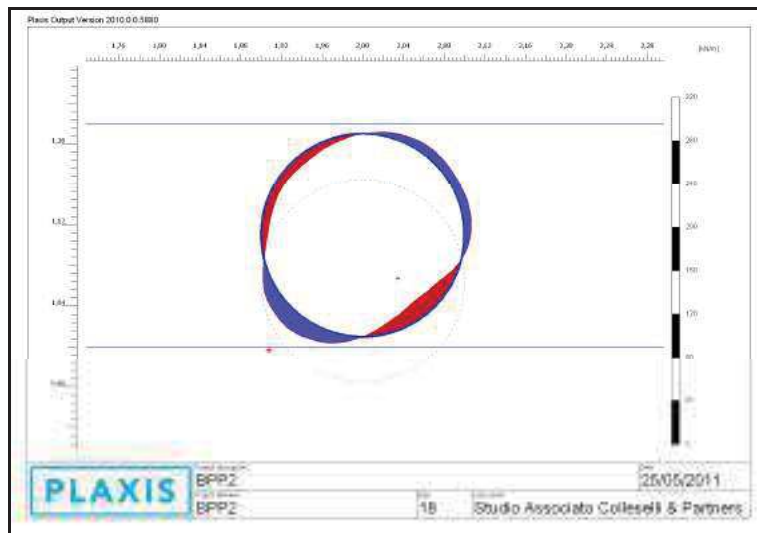
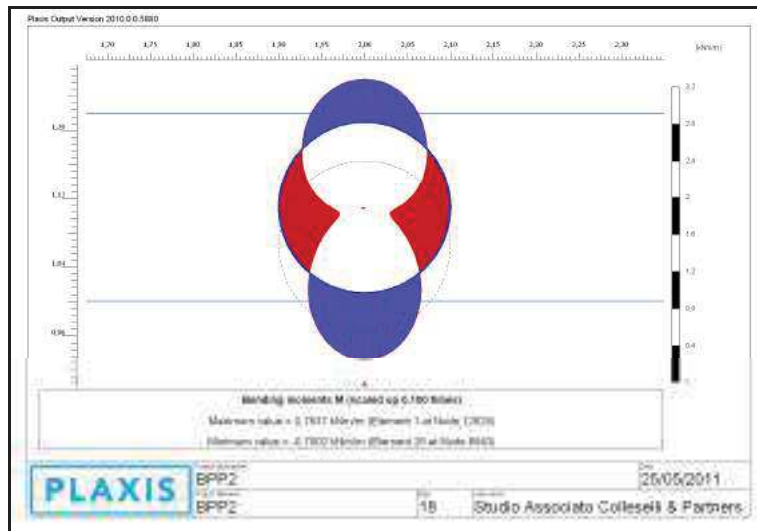


Figura 10: Stato di sollecitazione indotta sulla condotta da 200 mm a fine

2 CONDOTTA CHE ATTRAVERSA L'ARGINE DI CONTENIMENTO

Il sistema di drenaggio del percolato, posato sopra lo strato di argilla nel corpo della discarica prevede, come già detto, oltre alle tubature secondarie fessurate, del diametro di 200 mm, tubature non fessurate principali del diametro di 400 mm. A protezione della tubatura principale, in corrispondenza dell'argine di contenimento della discarica, per un'estensione in pianta di circa 35÷40 m, il progetto prevede un tubo camicia in c.a.v. prefabbricato a sezione policentrica. La protezione prevista, si rende necessaria per evitare l'insorgere, seppur limitato, di deformazioni, nella tubatura, legate ai cedimenti differenziali fra corpo della discarica e argine di contenimento.

È stato sviluppato, al fine di determinare le deformazioni della tubazione di protezione e della tubatura principale di drenaggio, per effetto del peso dei rifiuti, del manto di copertura e del rilevato di contenimento, un modello bidimensionale agli elementi finiti con il modello di calcolo Plaxis già descritto.

L'analisi è stata condotta con riferimento alla sezione trasversale tipo relativa agli elaborati di progetto. Nella sezione considerata il piano medio della cava si trova ad una quota minima di +35.00 circa e fra rifiuti e cava si trova lo strato di spessore minimo di 1 m di argilla per la protezione di fondo.

Nel modello sono state simulate le fasi corrispondenti alla realizzazione dell'argine e della barriera di protezione del fondo della discarica, successivamente quelle di conferimento dei rifiuti in n. 7 step successivi dello spessore di circa 5 m ciascuno, e infine della copertura.

Nella modellazione, come già detto, per il rifiuto inerte sono stati impiegati i moduli elastici cautelativi di 10 MPa; il peso di volume γ è stato assunto pari a 17.5 kN/m³.

Nel modello gli strati profondi di fondazione alla base costituiti sino in profondità da ghiaie con elevato grado di addensamento e tenendo conto che sono sottoposti ad un carico di ricompressione, è stato assegnato un modulo elastico elevato di 150 MPa, in sommità della cava, con incrementi di 5 MPa per ogni metro di profondità. All'argine di

contenimento è stato assegnato cautelativamente un modulo di 100 MPa ed un peso di volume γ pari a 20.0 kN/m³.

Per quanto riguarda lo strato di impermeabilizzazione sono stati cautelativamente trascurati gli spessori del geotessile previsti ed è stato assegnato un modulo di 15 Mpa (modello elastico) allo strato di argilla su cui posano le tubature.

Nella seguente tabella sono riassunti i parametri geotecnici e strutturali utilizzati nel modello di calcolo:

Materiale	γ [kN/m ³]	E [MPa]
Cava (dalla sommità delle scarpate)	20	150 MPa con incrementi di 5MPa per ogni m di profondità
Argine di contenimento	20	100
Strato di argilla di impermeabilizzazione	19.0	15
Rifiuti	17.5	10

Nelle figure seguenti è riportato lo schema del modello di calcolo in cui sono indicati i diversi tipi di materiale considerati e l'andamento dei cedimenti totali a fine conferimento. Nella figura di dettaglio vengono inoltre evidenziati i cedimenti totali e differenziali in corrispondenza del piano di posa della tubatura di drenaggio e del rivestimento.

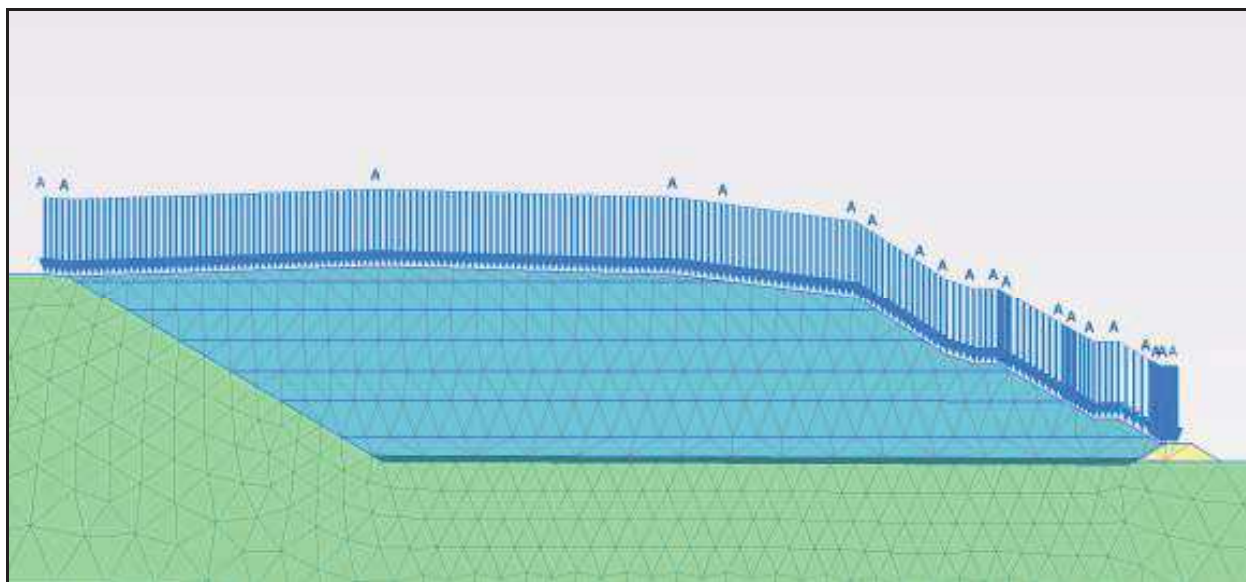


Figura 11: Schema del modello di calcolo

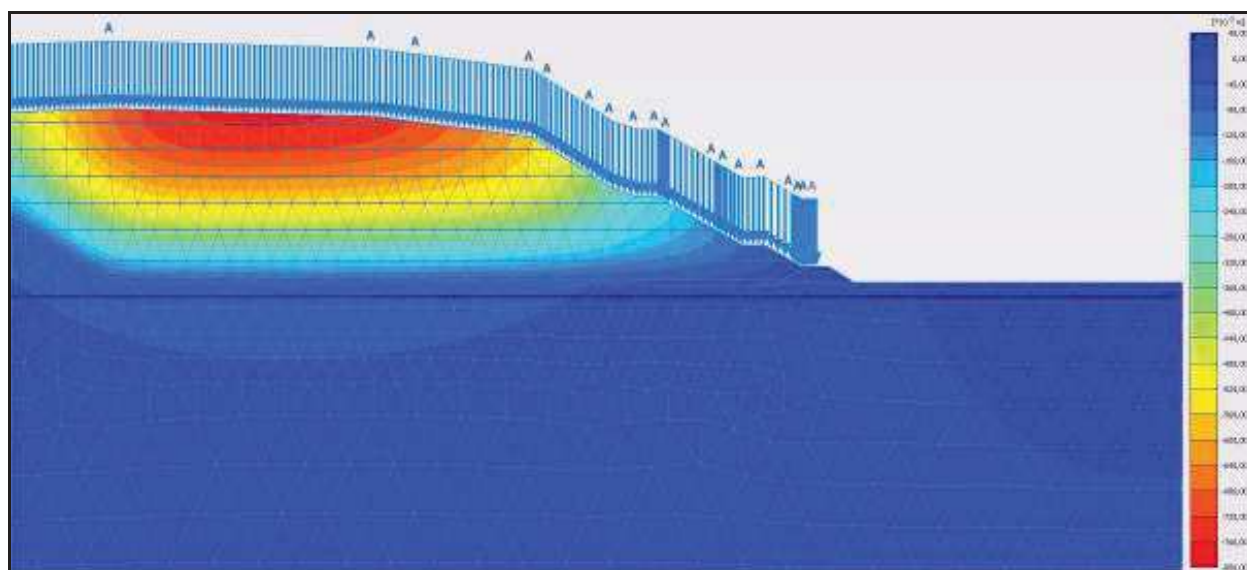


Figura 12: Andamento dei cedimenti totali a fine conferimento

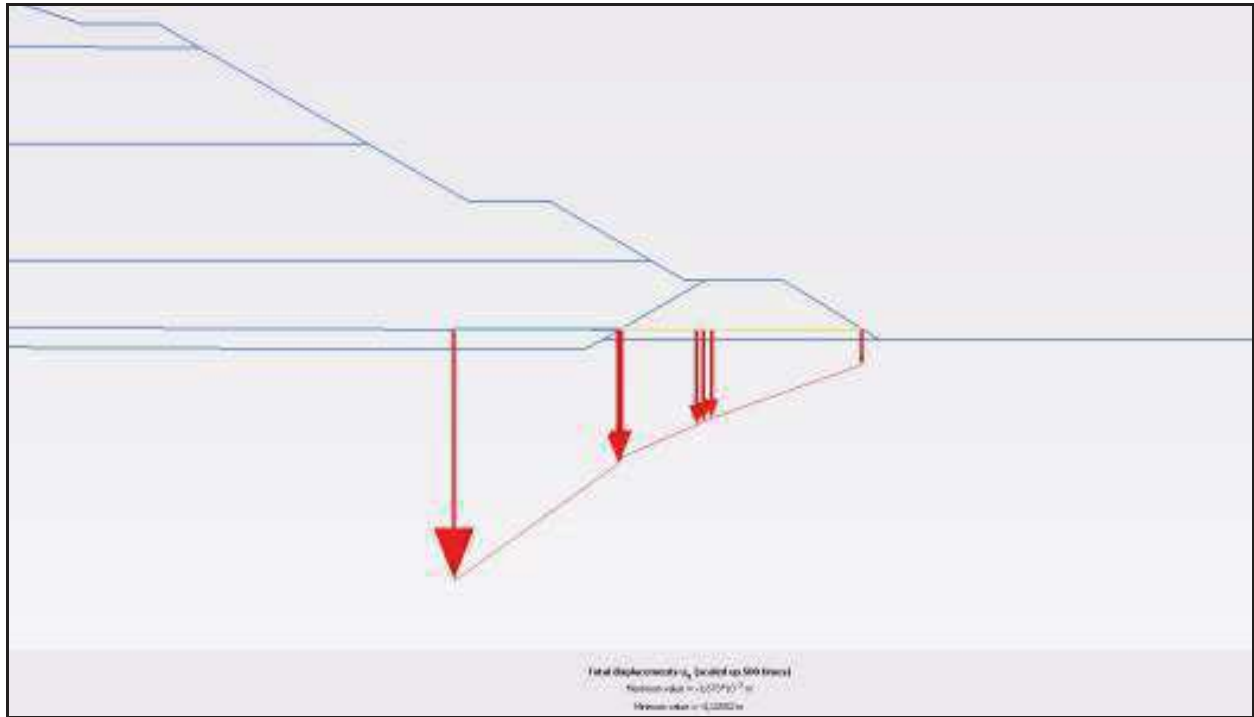


Figura 13: Dettaglio dell' andamento dei cedimenti totali della discarica a fine conferimento, in corrispondenza della tubatura di rivestimento

I cedimenti della tubatura di protezione del sistema di drenaggio sono dell'ordine dei 3 cm. Si tratta tuttavia di cedimenti che interessano l'intera estensione della tubatura di rivestimento e tali quindi da non comprometterne l'integrità. I cedimenti differenziali massimi della tubatura di rivestimento sono dell'ordine dei 2 cm circa e si ritengono compatibili con la deformabilità della tubatura in oggetto che verrà realizzata con moduli prefabbricati in in c.a.v. di lunghezza limitata connessi fra loro mediante giunti a bicchiere.

Le verifiche di schiacciamento della tubatura non si ritengono necessarie in quanto il peso del rilevato e del rifiuto inerte posato sulla tubatura stessa è modesto.