

Figura 6.36 Superfici di potenziale scorrimento al termine del riempimento della discarica (FS = 1.846)

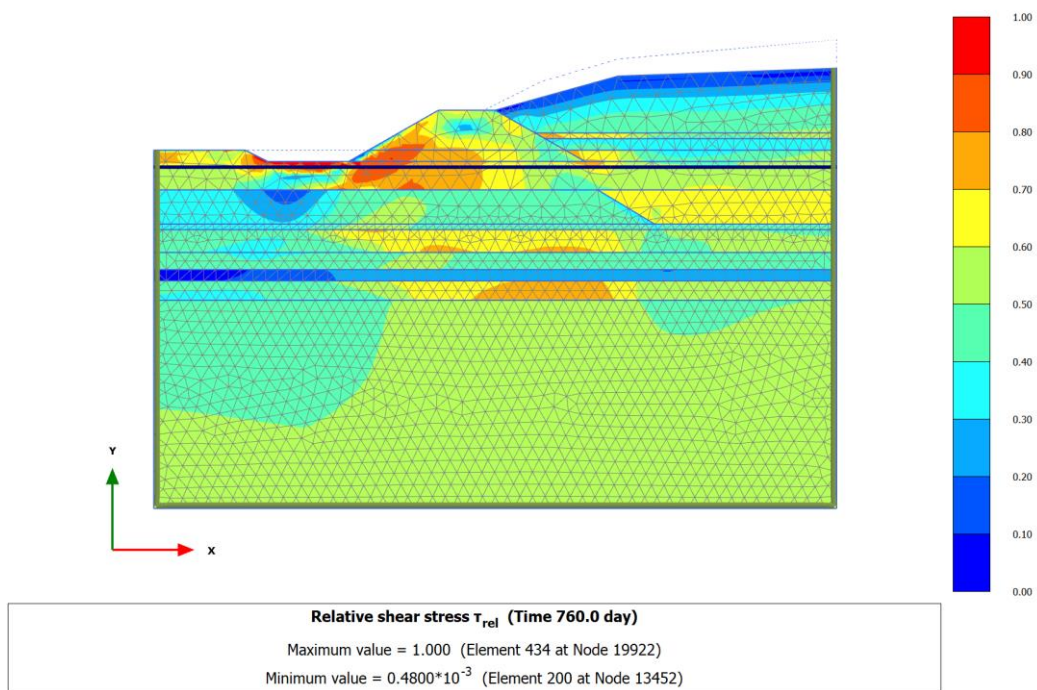


Figura 6.37 Stato tensionale di taglio normalizzato al termine del riempimento della discarica

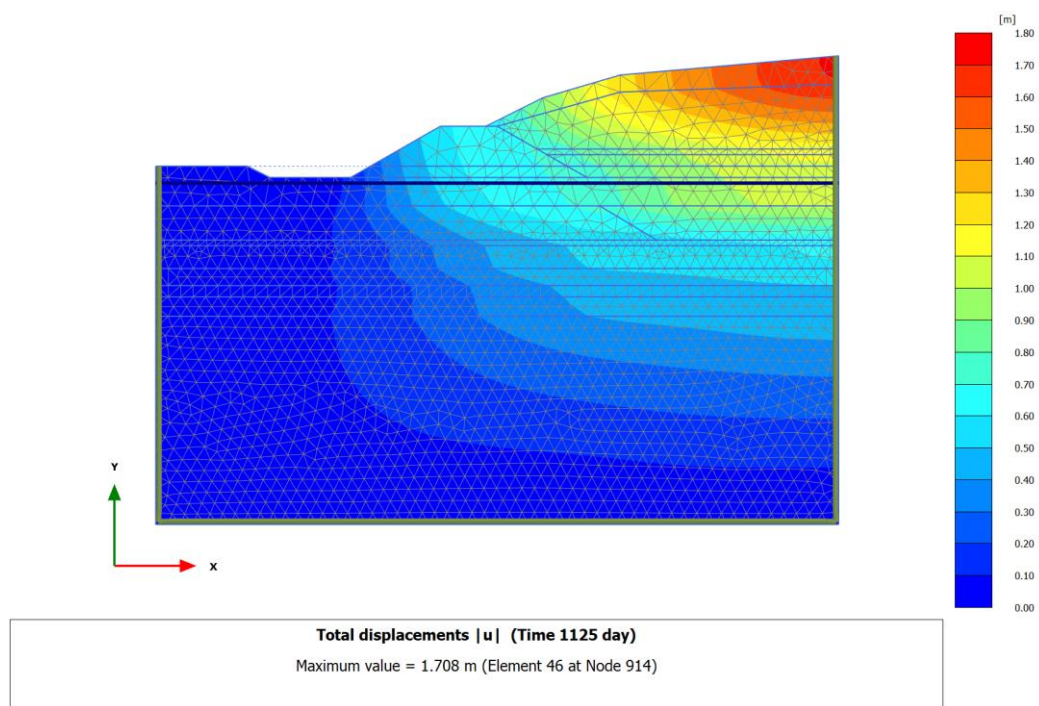


Figura 6.38 Deformazioni al termine del ricoprimento della discarica

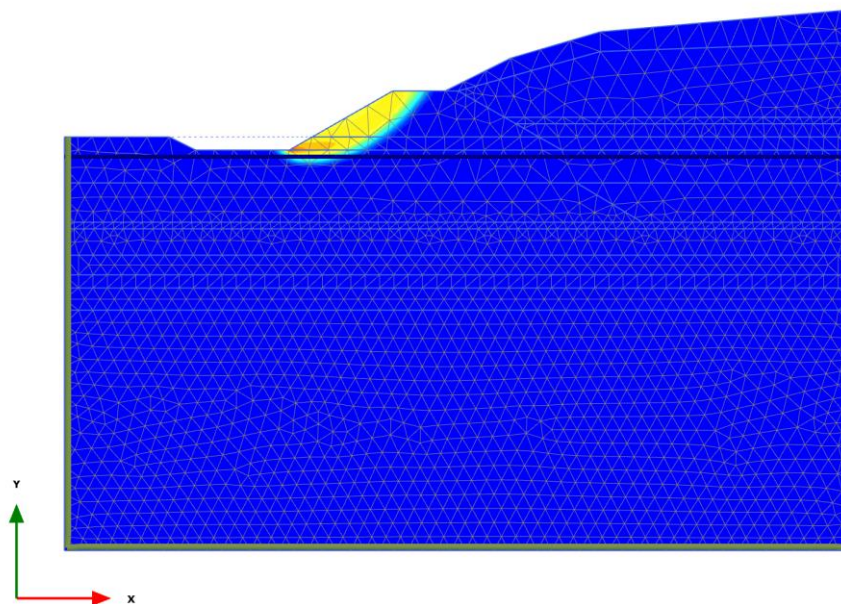


Figura 6.39 Superfici di potenziale scorrimento al termine del ricoprimento della discarica (FS = 1.840)

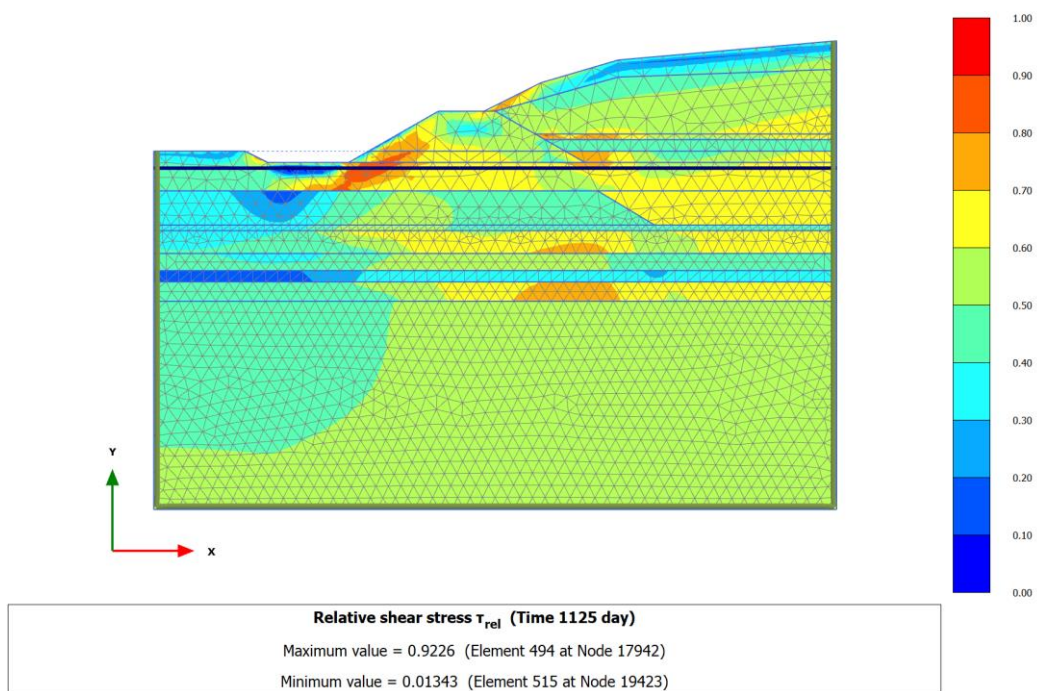


Figura 6.40 Stato tensionale di taglio normalizzato al termine del ricoprimento della discarica

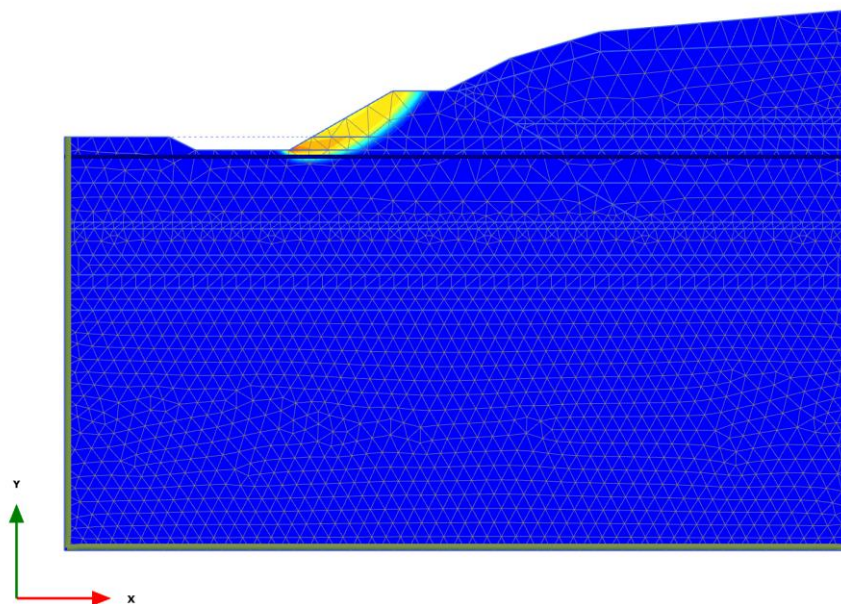


Figura 6.41 Superfici di potenziale scorrimento a lungo termine dal ricoprimento della discarica (FS = 1.844)

7 MODELLAZIONE 3D

Al fine di determinare i cedimenti complessivi dell'opera, intesi come cedimenti dovuti ad una consolidazione sia del terreno di fondazione sia dei corpi discarica ed arginali, è stata effettuata una modellazione 3D, avvalendosi del software di calcolo geotecnico Midas GTS NX. Nel seguito si illustrano una descrizione sommaria del codice di calcolo ed i risultati ottenuti.

7.1 Codice di calcolo impiegato

La modellazione del problema è stata realizzata mediante il codice di calcolo Midas GTS NX 2016 (v2.1); si tratta di un software di calcolo geotecnico ad elementi finiti per lo studio della meccanica dei terreni e dotato di analisi 3D per comprendere problemi quali l'interazione tra terreno ed eventuali strutture, la realizzazione di scavi in profondità, la stabilità dei pendii, i possibili moti di filtrazione, i consolidamenti ed i cedimenti sotto specifiche condizioni di carico.

Midas GTS è stato sviluppato con TNO-DIANA, famosa società di R&D del Gruppo TNO di Delft, in collaborazione con la Delft University of Technology, nota università per la ricerca in ambito geotecnico ed idraulico, fondamentale per la validazione dei modelli adottati nei solutori. Il software prevede l'utilizzo di materiali con caratteristiche plastiche, seguendo passo passo gli incrementi di carico. Midas GTS consente inoltre di modellare in aggiunta al terreno, elementi di tipo strutturale, come ad esempio Beam, Truss, Plane Stress, Shell, etc. includendo una gestione delle combinazioni di carico e di vincolo. In questo modo è possibile svolgere simultaneamente una analisi terreno – struttura.

7.2 Geometria 3D del problema

Con il codice di calcolo Midas GTS NX è stato possibile studiare il problema nelle 3 dimensioni spaziali. In particolare è stato possibile inserire nel modello i corpi arginali esistenti, quindi costruire lo stato di fatto attuale e, in un secondo momento, modellare le nuove geometrie di corpo discarica e nuovi argini. Il modello di calcolo rispetta, in modo semplificato ma coerente con la realtà, le geometrie riportate nella planimetria di riferimento.

La mesh del terreno è stata vincolata in corrispondenza dei nodi del contorno, in modo da bloccare le traslazioni orizzontali ai lati e le traslazioni orizzontali e verticali sul fondo. Agli elementini dei rilevati arginali sono stati applicati vincoli di tipo “Non-Consolidation Boundary”, necessari per considerare tali corpi come parti strutturali escluse dal calcolo dei cedimenti di consolidazione ma sui quali agisce comunque il peso proprio dei materiali.

Nelle fasi costruttive, anche se poco rilevante ai fini del cedimento totale, si considera un carico uniformemente distribuito pari a 20kPa in corrispondenza delle sommità arginali già presenti e di quelle in fase di progettazione, al fine di simulare il traffico sulle piste perimetrali.

La modellazione del pacchetto di copertura finale è stata simulata mediante l'applicazione di un carico uniformemente distribuito pari a circa 47kPa, dato dal prodotto tra il peso specifico del pacchetto di terreno superiore e lo spessore stesso dello strato:

$$q_s = \gamma_t \cdot s = 19 \cdot 2.5 = 47\text{kPa}.$$

Il volume di rifiuti vecchi è circoscritto alla sola area Sud-Ovest, ovvero al di sotto dell'area in cui si provvederà al completamento della discarica.

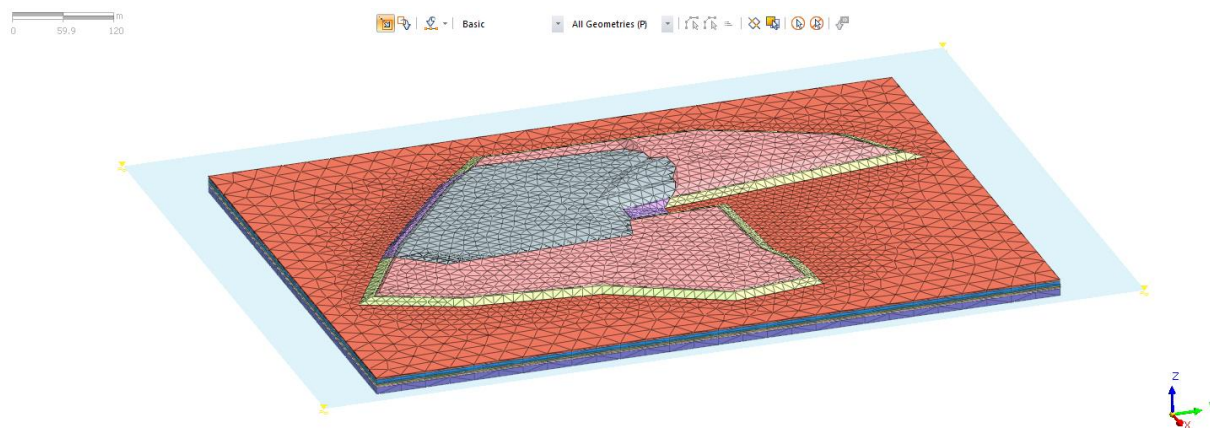


Figura 7.1 Modellazione del problema

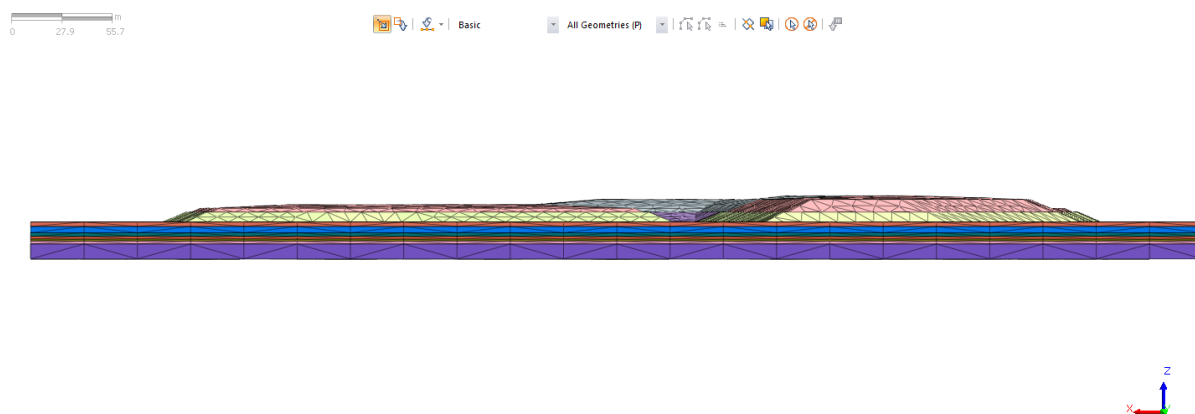


Figura 7.2 Vista laterale del modello

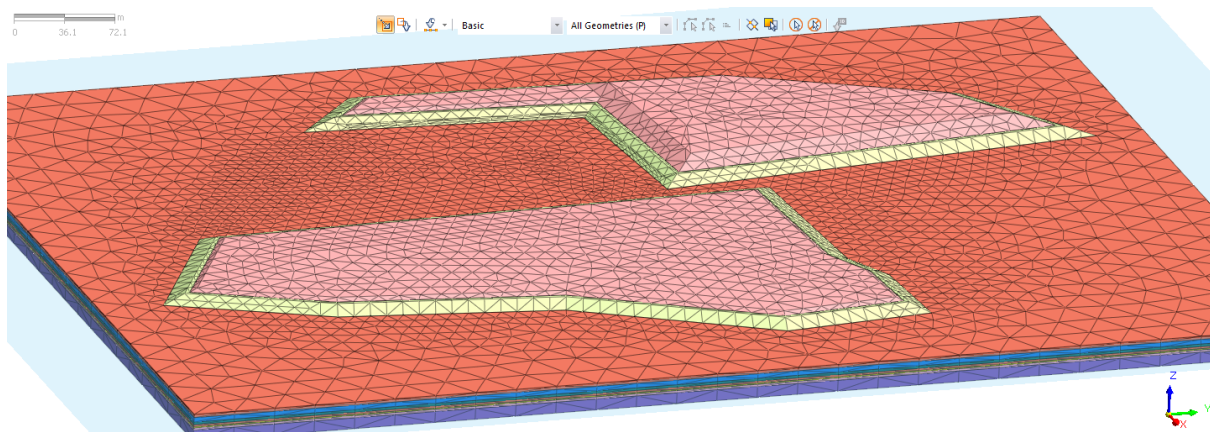


Figura 7.3 Particolare dello stato di fatto attuale (argini e RSU)

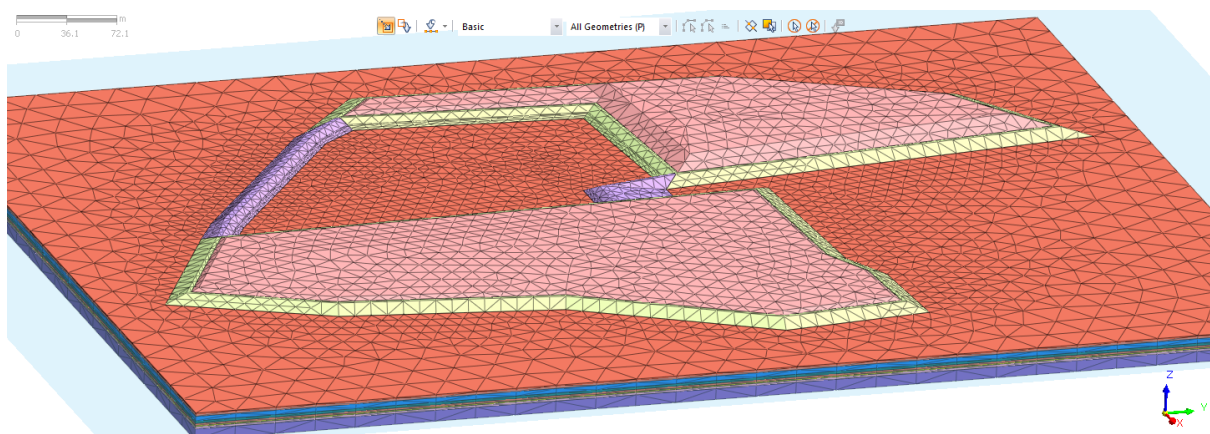


Figura 7.4 Particolare degli argini dello stato di progetto

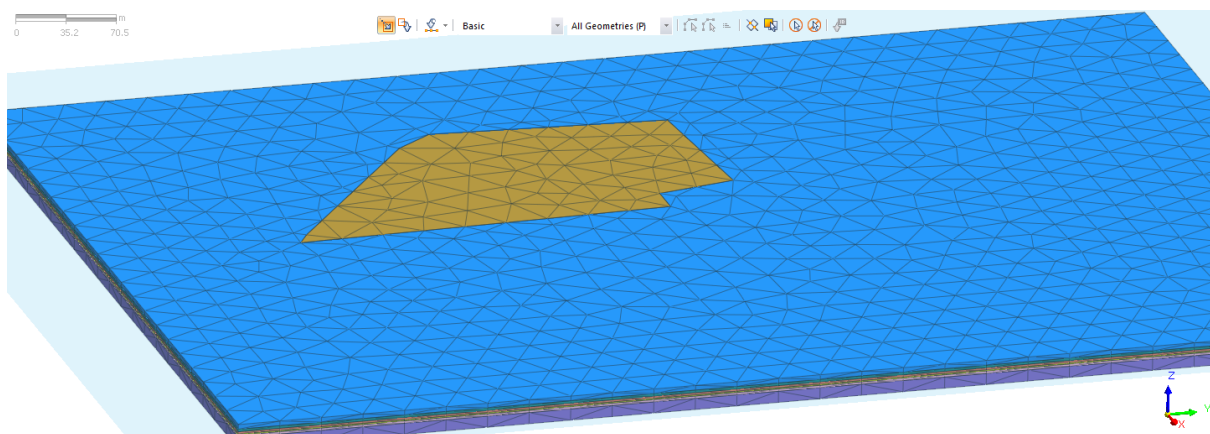


Figura 7.5 Particolare del volume di rifiuti vecchi attualmente presenti al di sotto del piano campagna

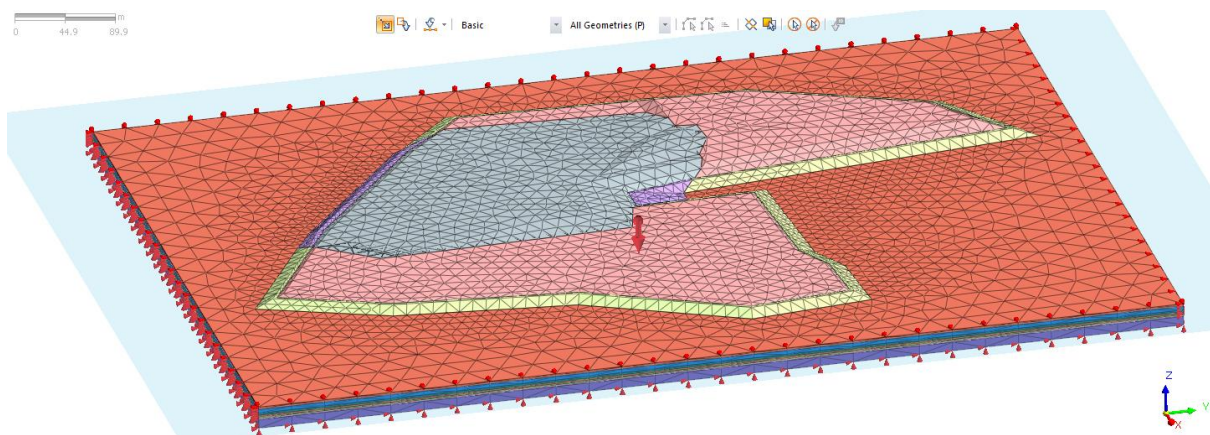


Figura 7.6 Vincoli fissi e peso proprio degli elementi modellati

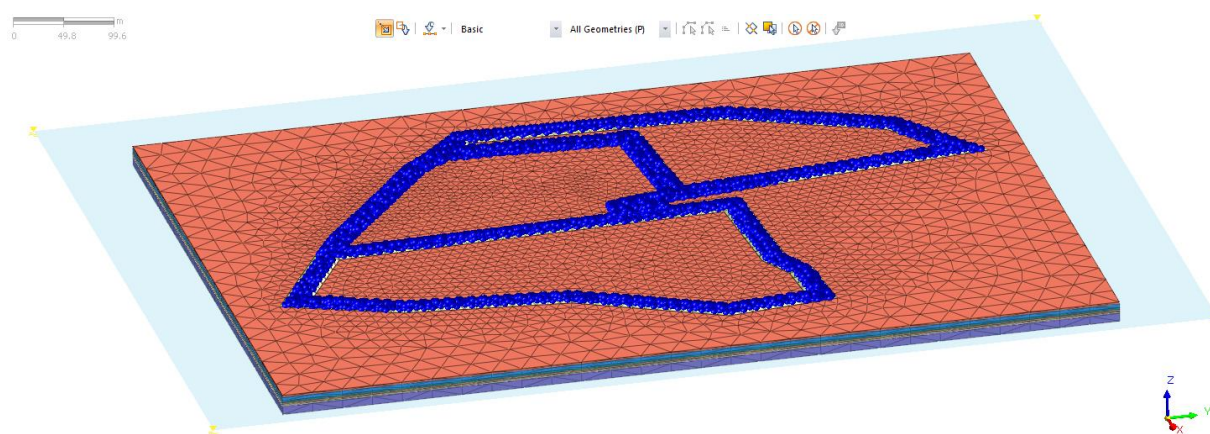


Figura 7.7 Vincoli di non consolidazione sui corpi arginali attuali e dello stato di progetto

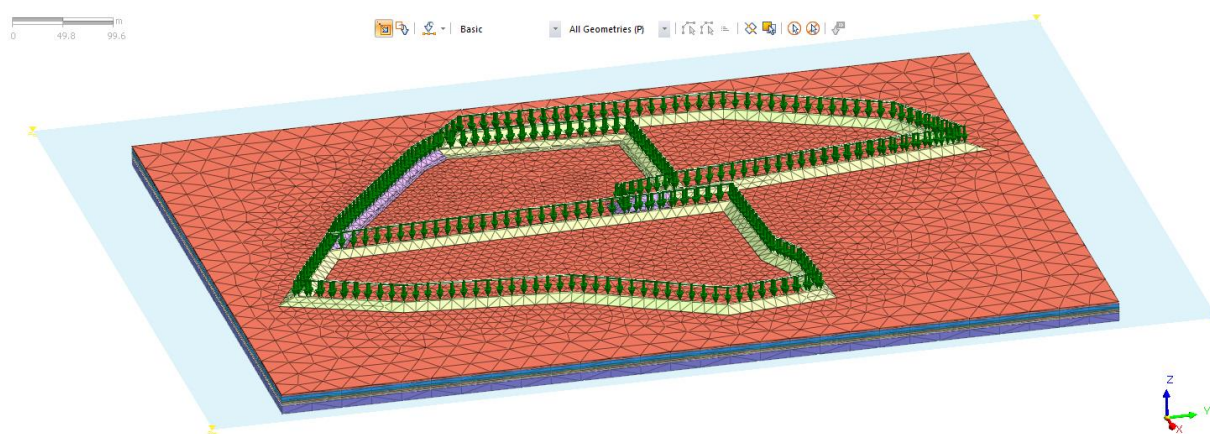


Figura 7.8 Carico sulla sommità dei corpi arginali attuali e dello stato di progetto

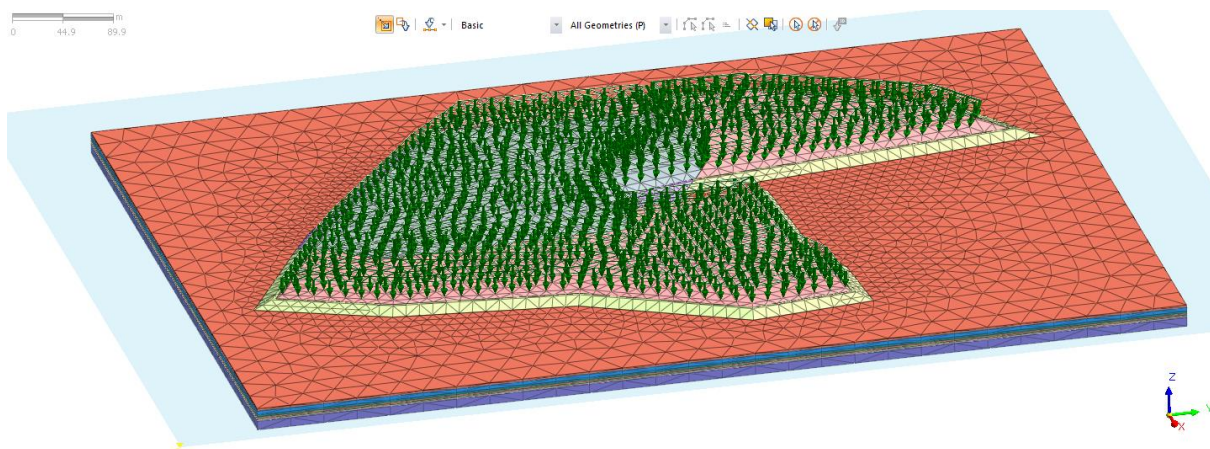


Figura 7.9 Carico uniformemente distribuito rappresentante il pacchetto di copertura finale

7.3 Unità stratigrafiche, corpi arginali e RSU

La stratigrafia è analoga a quella riportata per il modello 2D eseguito con il codice di calcolo Plaxis; i terreni sono stati simulati con un modello di tipo “Modified Mohr Coulomb”, che consente di definire due diversi valori del modulo elastico per le condizioni di carico e di scarico. Per il corpo arginale, invece, è stato adottato il modello costitutivo “Mohr Coulomb”.

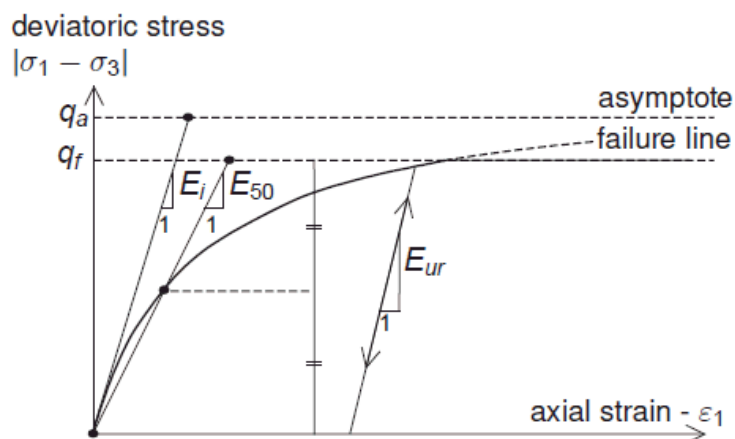


Figura 7.10 Modello “Modified Mohr COuomb” in Midas GTS NX

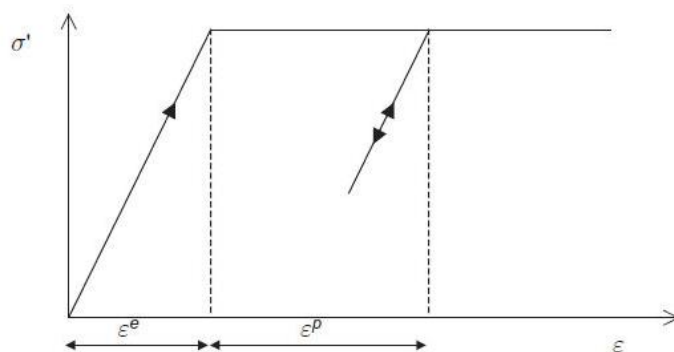


Figura 7.11 Modello "Mohr Coulomb" in Midas GTS NX



Basic

All Geometries (P)

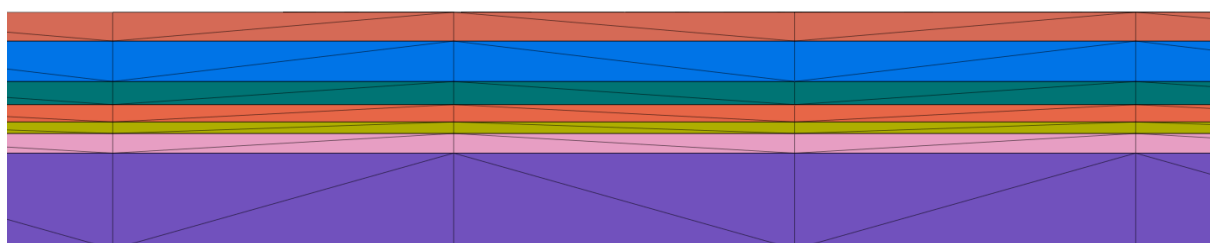


Figura 7.12 Particolari della stratigrafia adottata

7.4 Fasi di calcolo

Nel seguito si riporta l'immagine delle fasi costruttive adottate nel codice di calcolo Midas.

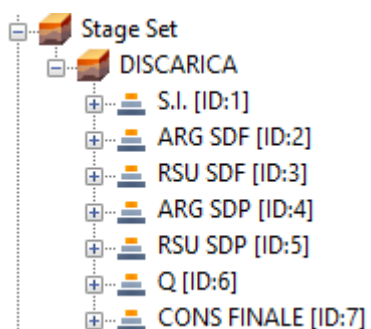


Figura 7.13 Fasi di calcolo

In particolare si distinguono tre macrofasi di costruzione differenti:

- la prima caratterizzata dalla dicitura SDF (stato di fatto) che rappresenta la modellazione dello stato attuale, in cui si inseriscono gli argini di contenimento attuali e la parte di corpo rifiuti da essi delimitata;
- la seconda caratterizzata dalla dicitura SDP (stato di progetto) che rappresenta la modellazione dello stato futuro, con la realizzazione dei nuovi sistemi arginali di contenimento e con la nuova colmata di rifiuti;
- la terza, che comincia con l'applicazione del sistema di copertura della discarica e termina con la coltivazione a lungo termine della stessa.

Nello specifico si definiscono:

1. Fase S.I.: fase iniziale con consolidazione in 1 step di carico con azzeramento cedimenti;
2. Fase ARG SDF: costruzione argini stato di fatto con consolidazione in 60 giorni con 2 step di carico uguali; applicazione degli opportuni vincoli e del carico in sommità arginale;
3. Fase RSU SDF: costruzione della colmata attuale di rifiuti con consolidazione in 3650 giorni con 5 step di carico uguali;
4. Fase ARG SDP: costruzione nuovi argini di progetto con consolidazione in 30 giorni con 4 step di carico uguali; applicazione degli opportuni vincoli e del carico in sommità arginale;
5. Fase RSU SDP: costruzione della colmata di rifiuti di progetto con consolidazione in 3650 giorni con 10 step di carico logaritmici;
6. Fase Q: applicazione del sistema di copertura sulla discarica totale con consolidazione in 365 giorni con 2 step di carico uguali;
7. Fase CONS FINALE: consolidazione finale in 36500 giorni con 10 step di carico uguali.

Per una migliore comprensione della fasistica si riportano le seguenti immagini di calcolo.

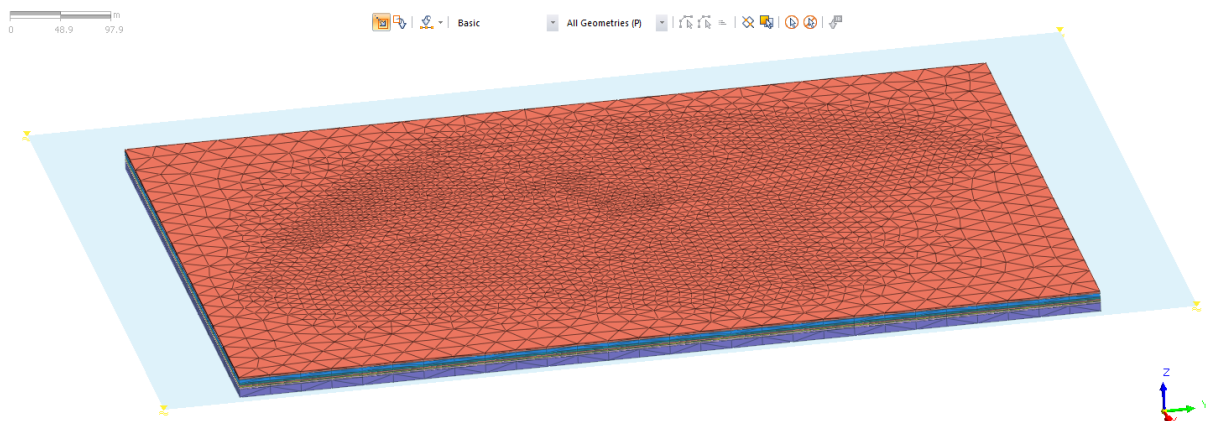


Figura 7.14 Fase iniziale

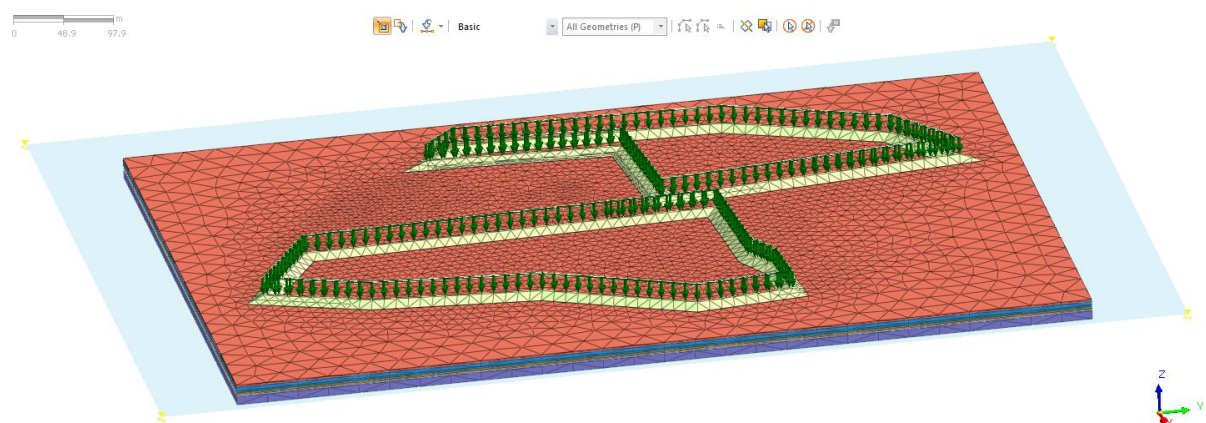


Figura 7.15 Fase di costruzione argine stato di progetto

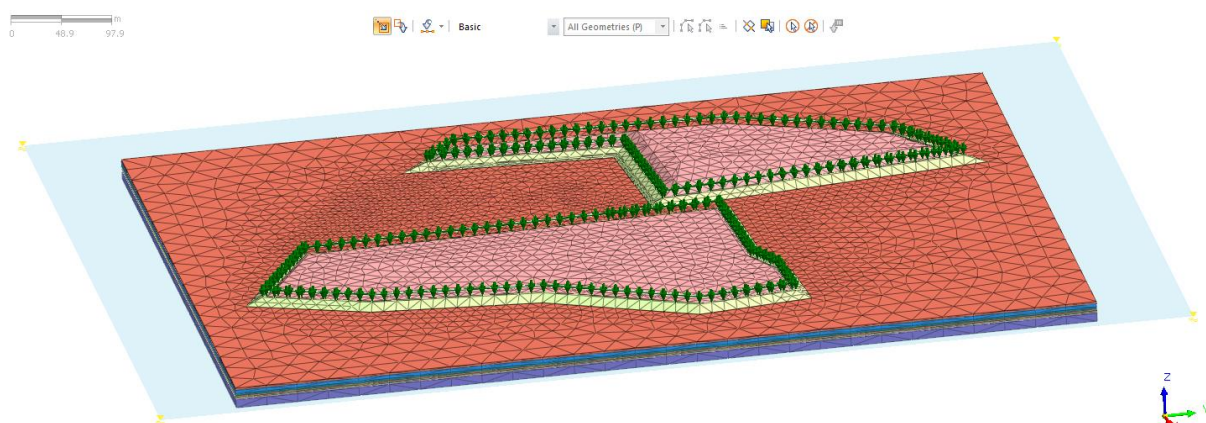


Figura 7.16 Fase di coltivazione rifiuti allo stato attuale

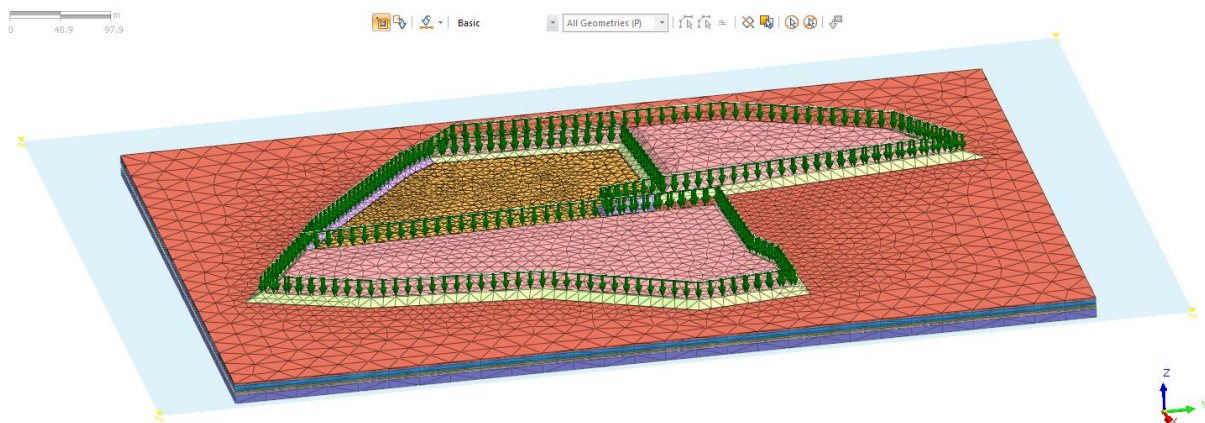


Figura 7.17 Fase di costruzione degli argini dello stato di progetto

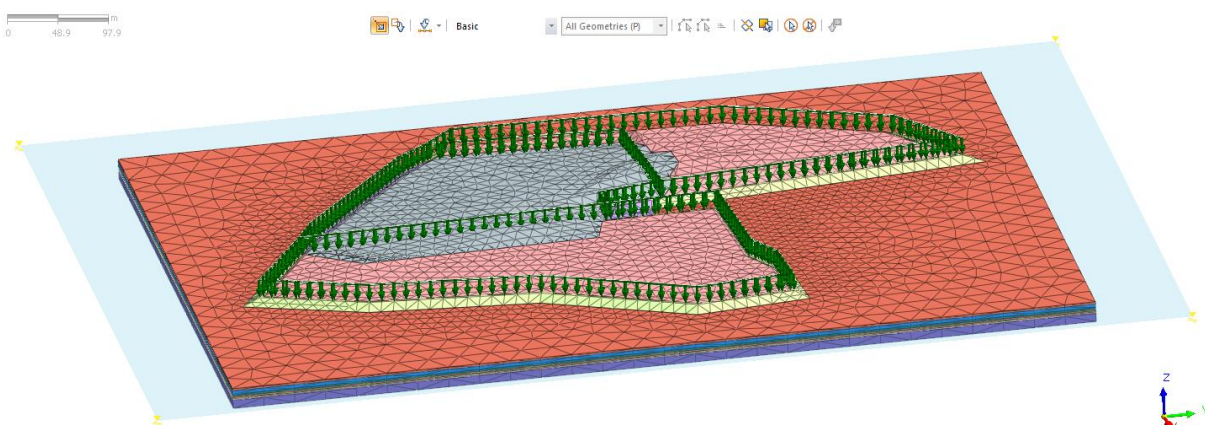


Figura 7.18 Fase di coltivazione dei rifiuti dello stato di progetto

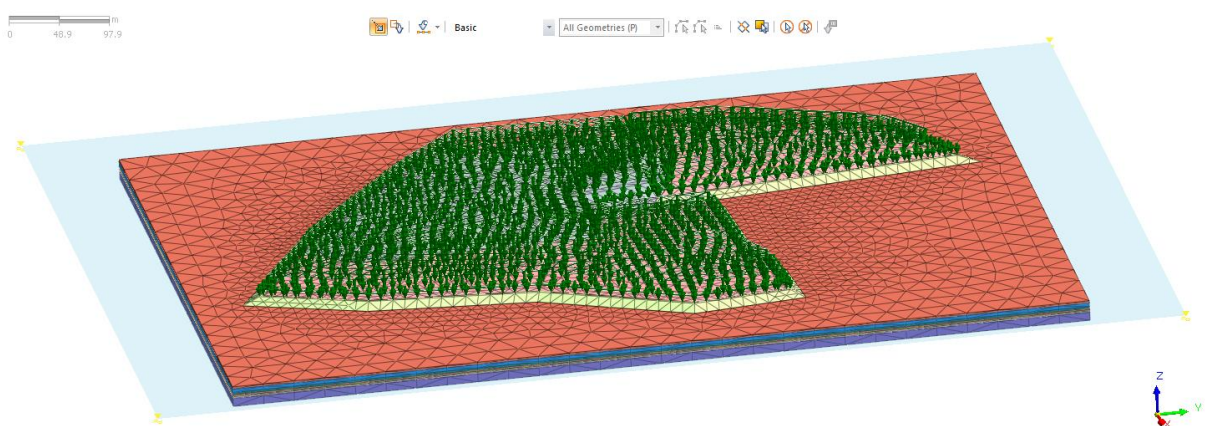


Figura 7.19 Fase di costruzione del pacchetto di copertura e consolidazione finale a lungo termine

7.5 Risultati

Si riportano i cedimenti verticali di consolidazione primaria calcolati con il modello Midas per le diverse fasi costruttive.

7.5.1 Fase 3: RSU SDF

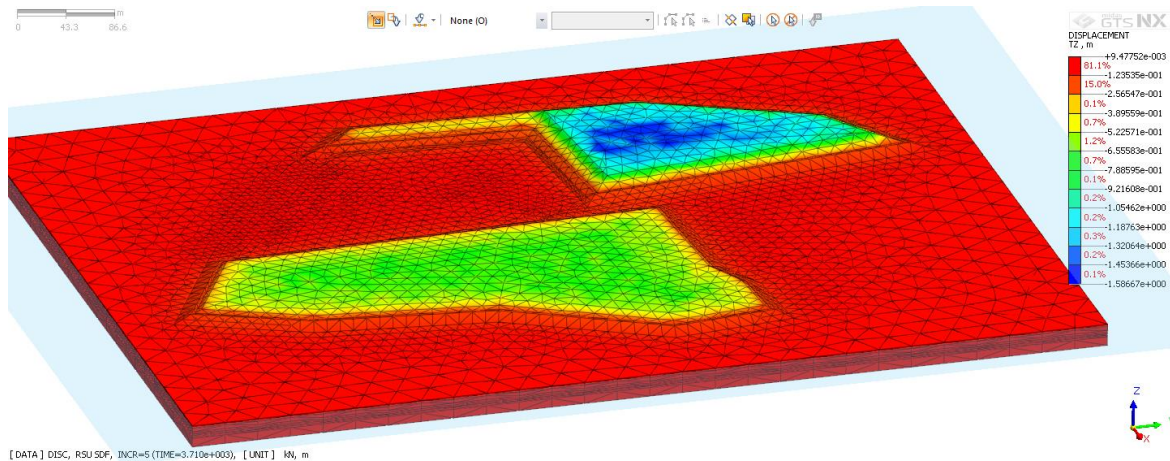


Figura 7.20 Vista globale

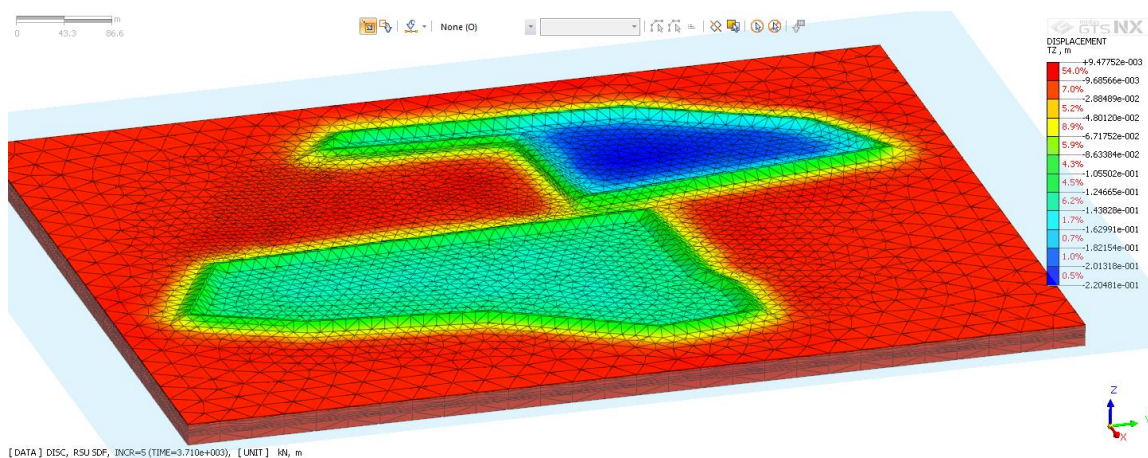


Figura 7.21 Particolare dei cedimenti del terreno al di sotto dei RSU allo SDF

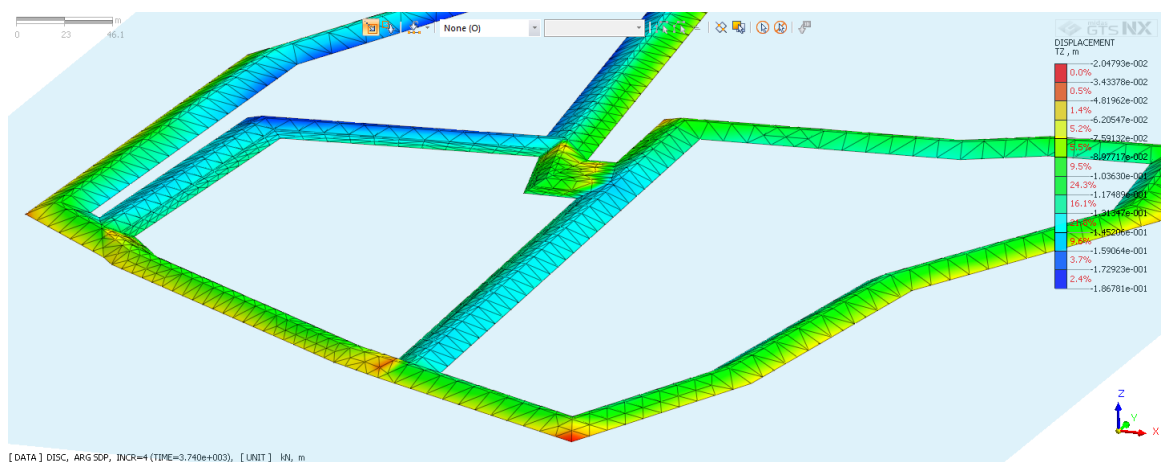


Figura 7.25 Particolare dei cedimenti degli argini di SDF e SDP

7.5.3 Fase 5: RSU SDP

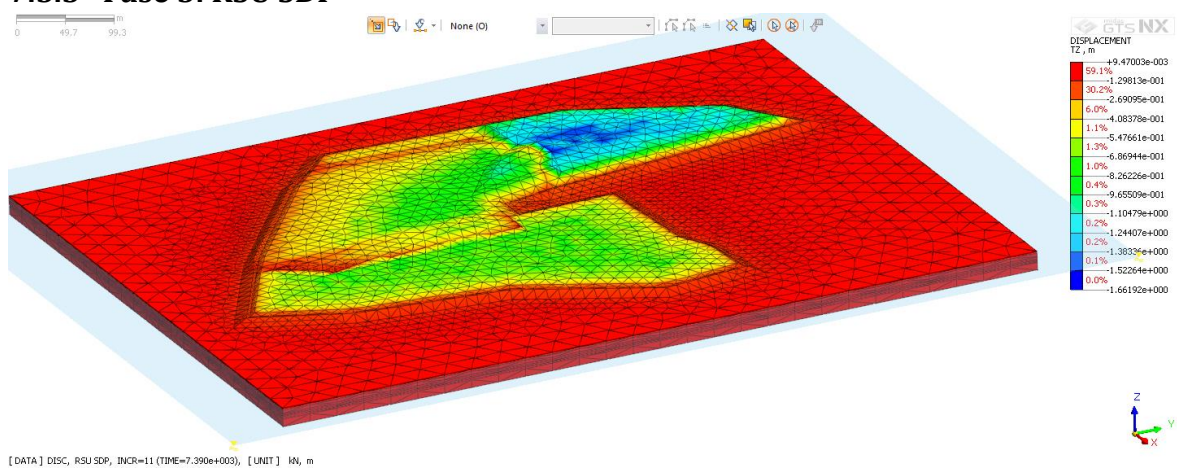


Figura 7.26 Vista globale

7.5.4 Fase 6: Q

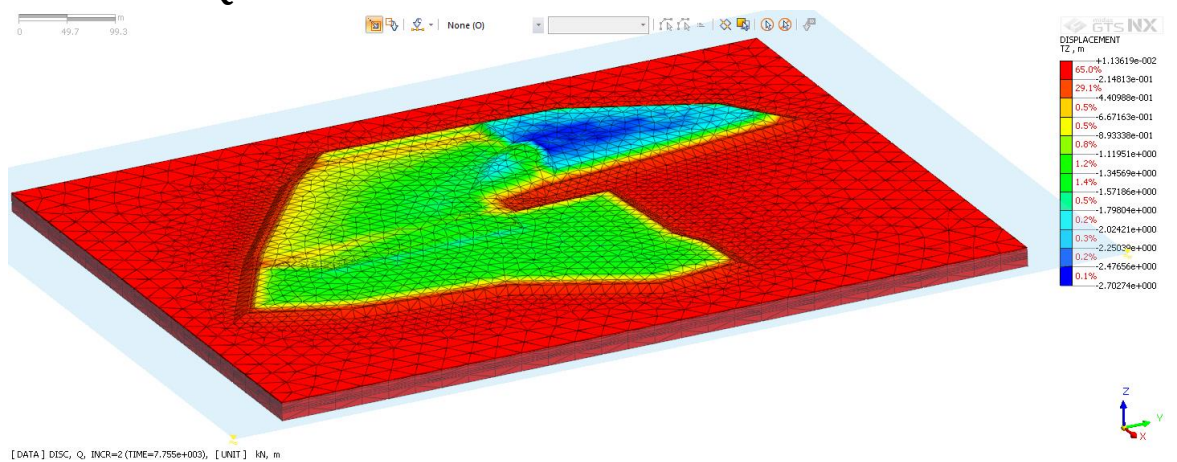


Figura 7.27 Vista globale