



# ***MODELLAZIONE FEM DI PROBLEMI GEOTECNICI COMPLESSI***

Roma 20 giugno 2014

Con **NUANS** la **Softing** ha risolto il **Problema Geotecnico** delle fondazioni superficiali e profonde. La verifica geotecnica e il calcolo dei cedimenti delle stesse etc.

Ma ci sono problemi geotecnici che esulano dalle verifiche delle fondazioni.

Quali ad esempio:

**paratie**

**muri di sostegno**

**stabilità di pendii**

Tali problemi possono essere risolti da **Nolian All-in-One** tramite l'ambiente **EarthQuake Engineering**.

Infatti in questo ambiente di **Analisi Non Lineare** è possibile studiare il reale comportamento del terreno mediante gli opportuni

**ELEMENTI NON LINEARI**

e

**LEGAMI COSTITUTIVI NON LINEARI**

Gli elementi non lineari utilizzabili per la modellazione dei terreni nell'ambiente EarthQuake Engineering di Nolian All-in-one possono essere:

**Monodimensionali**

**Bidimensionali**

**Solidi**

Gli elementi monodimensionali possono essere aste pendolari o boundary ai quali possono essere assegnati diversi legami costitutivi che simulano i terreni.

Vediamone rapidamente alcuni:

### **Elastico**

In questo modello lo stato di deformazione è sempre reversibile

### **Elastico plastico perfetto**

In questo caso superata una certa soglia la forza rimane costante e le deformazioni rimangono permanenti.

Gli elementi bidimensionali e solidi non lineari di Nolian All-in-One possono essere a 4 o a 8 nodi.

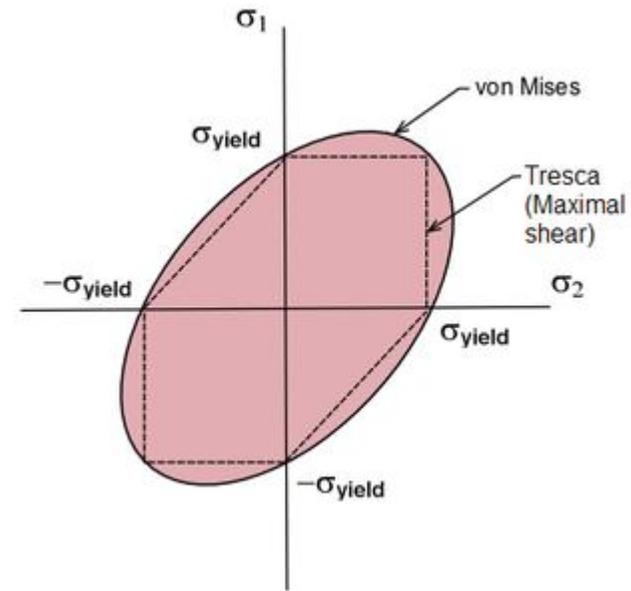
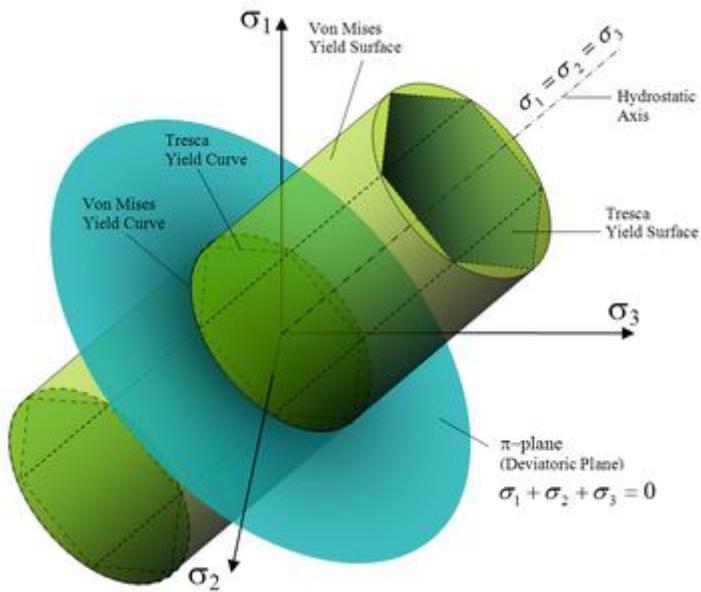
I legami costitutivi applicabili al terreno in questo caso sono:

- **Elastoplastico J2 (Von Mises)**
- **Drucker - Prager**

# Elastoplastico J2 (Von Mises)

Il criterio di snervamento di Von Mises è il seguente:

$$F \equiv J_2 - k^2 = 0$$



## Drucker-Prager (1952)

Il criterio di snervamento di Drucker Prager ha la seguente forma:

$$\sqrt{J_2} = K + \alpha I_1$$

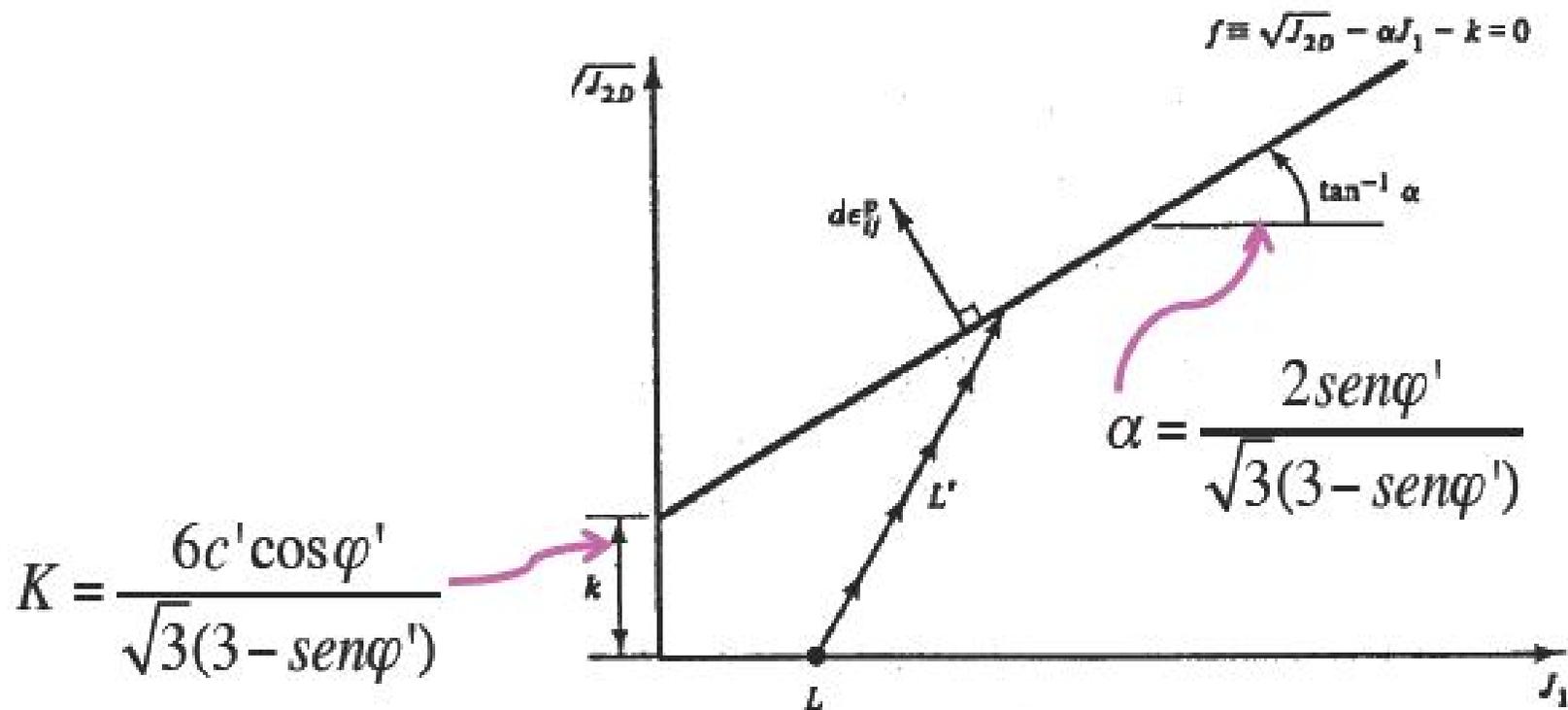
in cui :

$I_1$  è il primo invariante delle tensore delle tensioni di Cauchy

$J_2$  è il secondo invariante delle parte deviatorica del tensore delle tensioni di Cauchy

$K, \alpha$  sono costanti determinate sperimentalmente.

Se lo riportiamo sul piano degli invarianti si può notare la completa somiglianza al criterio di Mohr-Coulomb di cui è una estensione e l'applicazione del criterio ai terreni si ottiene sostituendo alle formule riportate sotto i valori di coesione



$c'$  e angolo di attrito  $\varphi'$  trovate sperimentalmente per il terreno in esame.

Ma quali criteri di snervamento scegliere per i  
diversi comportamenti del terreno?

## **Il comportamento dei terreni**

In generale si hanno 2 comportamenti diversi del terreno

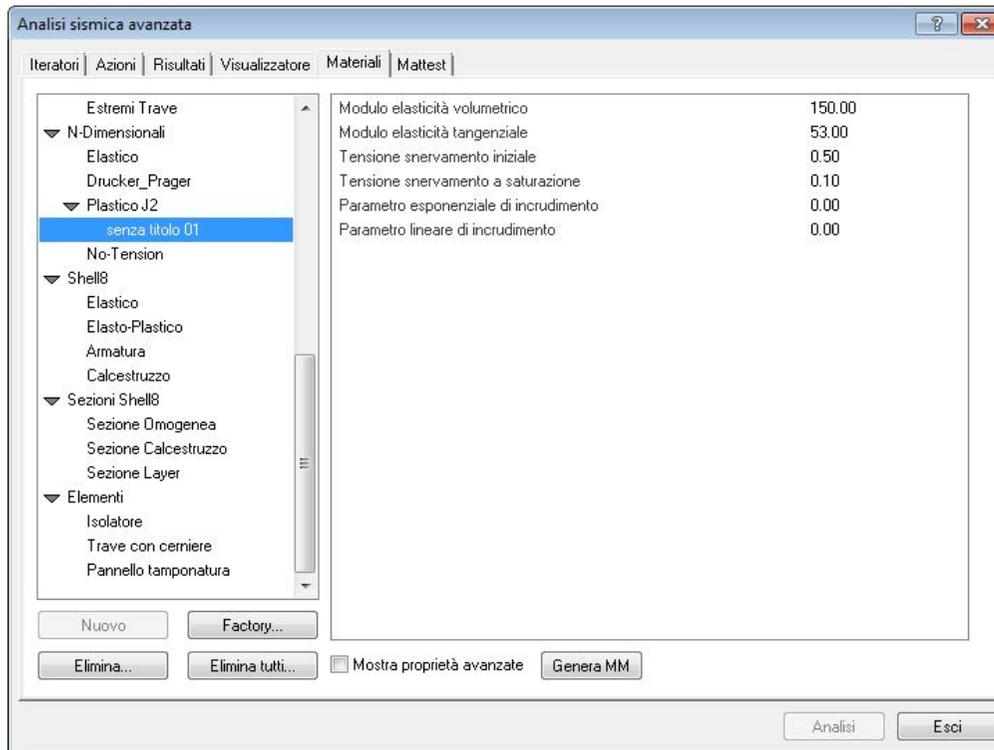
- **Il comportamento in condizioni non drenate.**
- **Il comportamento in condizioni drenate.**

- In ***condizioni non drenate*** il terreno (coesivo) perde la dipendenza con le tensioni di lavoro e si comporta come un materiale avente una tensione di snervamento pari alla  $c_u$  quindi è utilizzabile in questo caso il criterio J2 (von mises)
- In ***condizioni drenate*** invece esiste la dipendenza con le tensioni di lavoro. In questo caso l'analisi va eseguite solo dopo aver preventivamente caricato il terreno delle tensioni litostatiche e il criterio da utilizzare è un criterio attritivo: Il criterio di Drucker - Prager

# Materiali e parametri da usare nell'ambiente EE

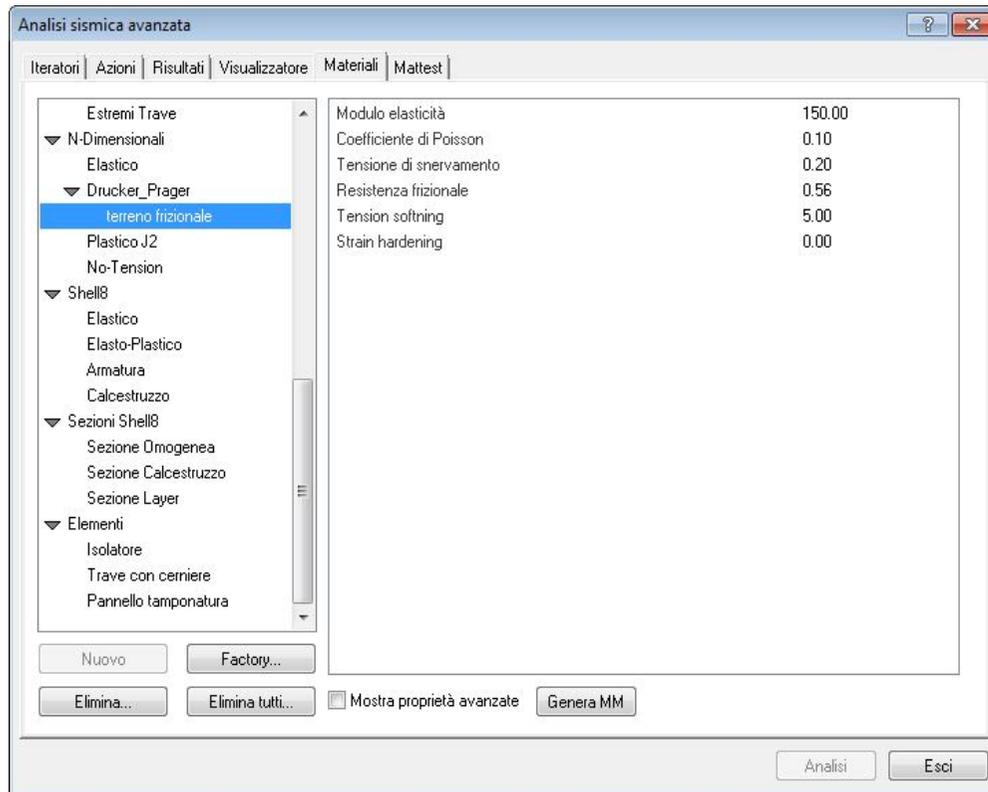
Ma quali sono i parametri da usare per i diversi tipi di materiale? Vediamone alcuni:

## Terreno coesivo in caso di condizioni non drenate



- **Modulo di elasticità volumetrico  $E$ :**  
è il modulo elastico del terreno
- **Modulo di elasticità tangenziale  $G$ :**  
è pari a  $E/(2(1+\nu))$  dove  $\nu$ =modulo di Poisson
- **Tensione di snervamento:** si può assumere pari alla coesione non drenata

## Terreno coesivo in caso di condizioni drenate



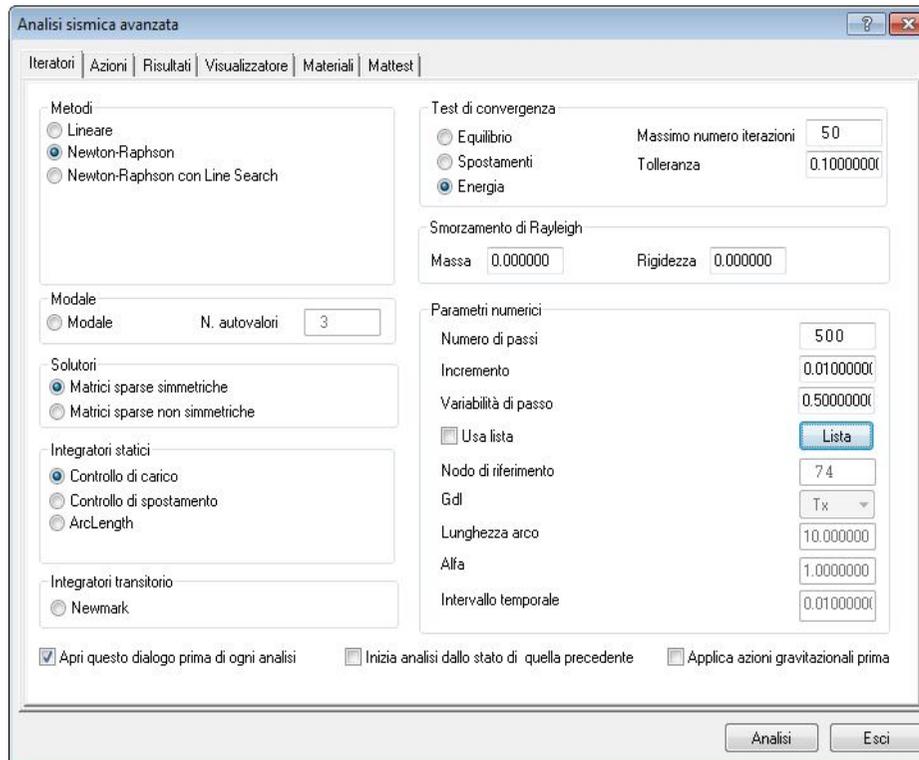
- **Modulo di elasticità volumetrico  $E$ :** è il modulo elastico del terreno
- **Coefficiente di Poisson  $\nu$**
- **Tensione di snervamento:**

$$K = \frac{6c' \cos \phi'}{\sqrt{3}(3 - \sin \phi')}$$

- **Resistenza frizionale**

$$\alpha = \frac{2 \sin \phi'}{\sqrt{3}(3 - \sin \phi')}$$

# Configurazione dell'analisi

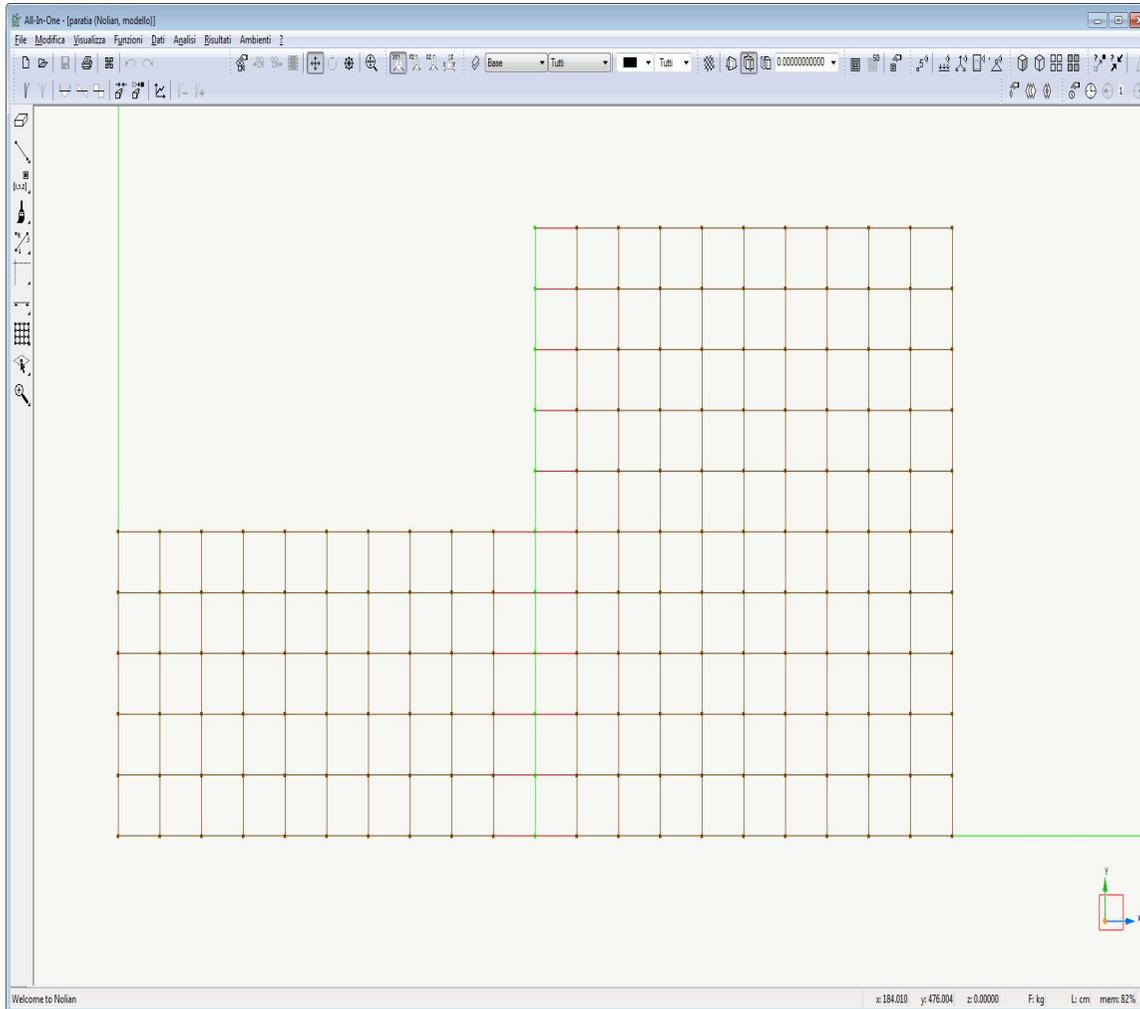


- **Metodo di Newton Raphson.**
- **Iteratore statico a controllo di carico:** questo permette, immettendo un numero di passi tale che il prodotto fra numero di passi e l'incremento sia superiore all'unità, di valutare il Coefficiente di Sicurezza (FS).

**Esempi**

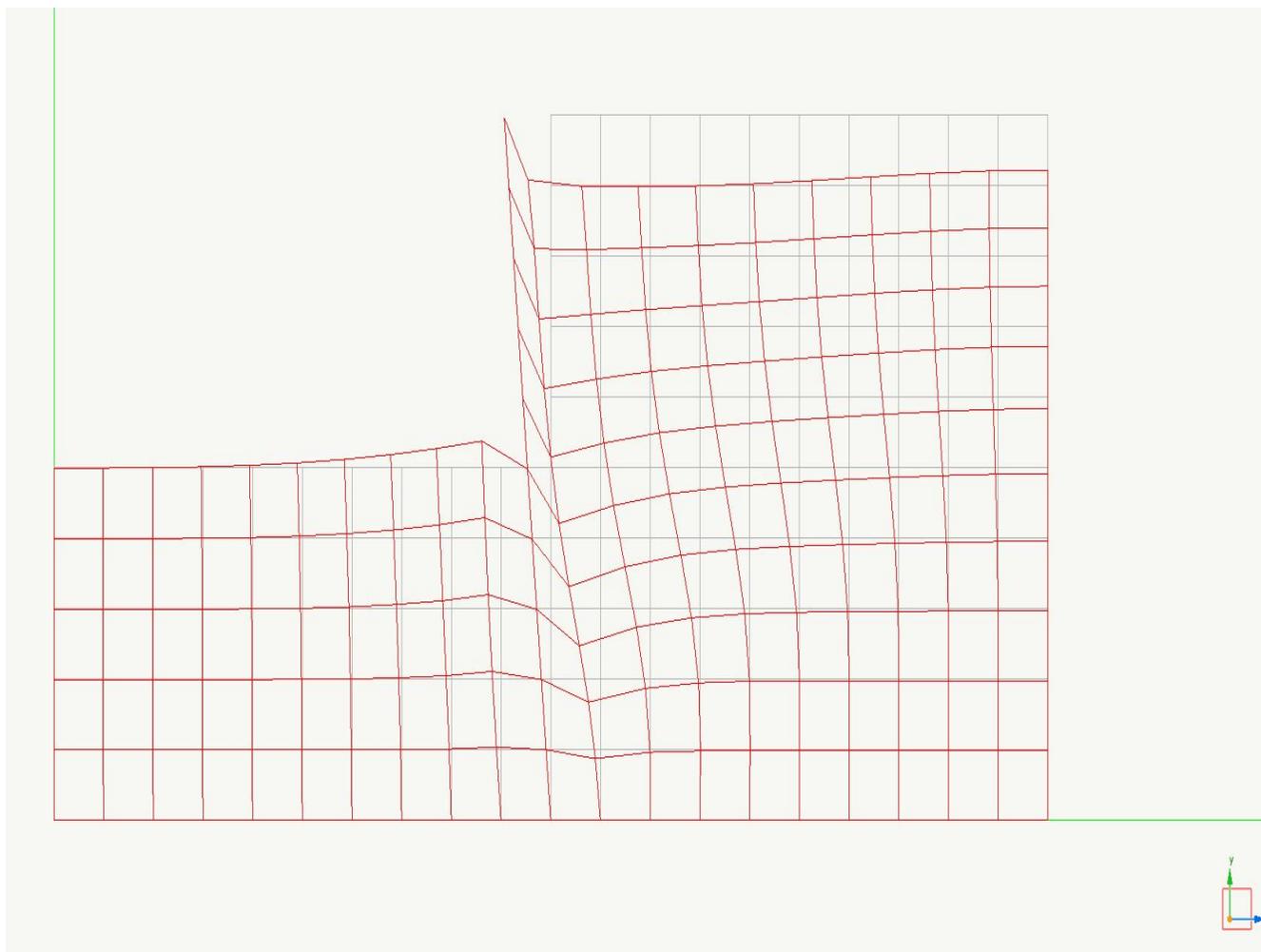
# Esempio 1 – Paratia

Con i parametri detti prima ho realizzato un esempio di una paratia

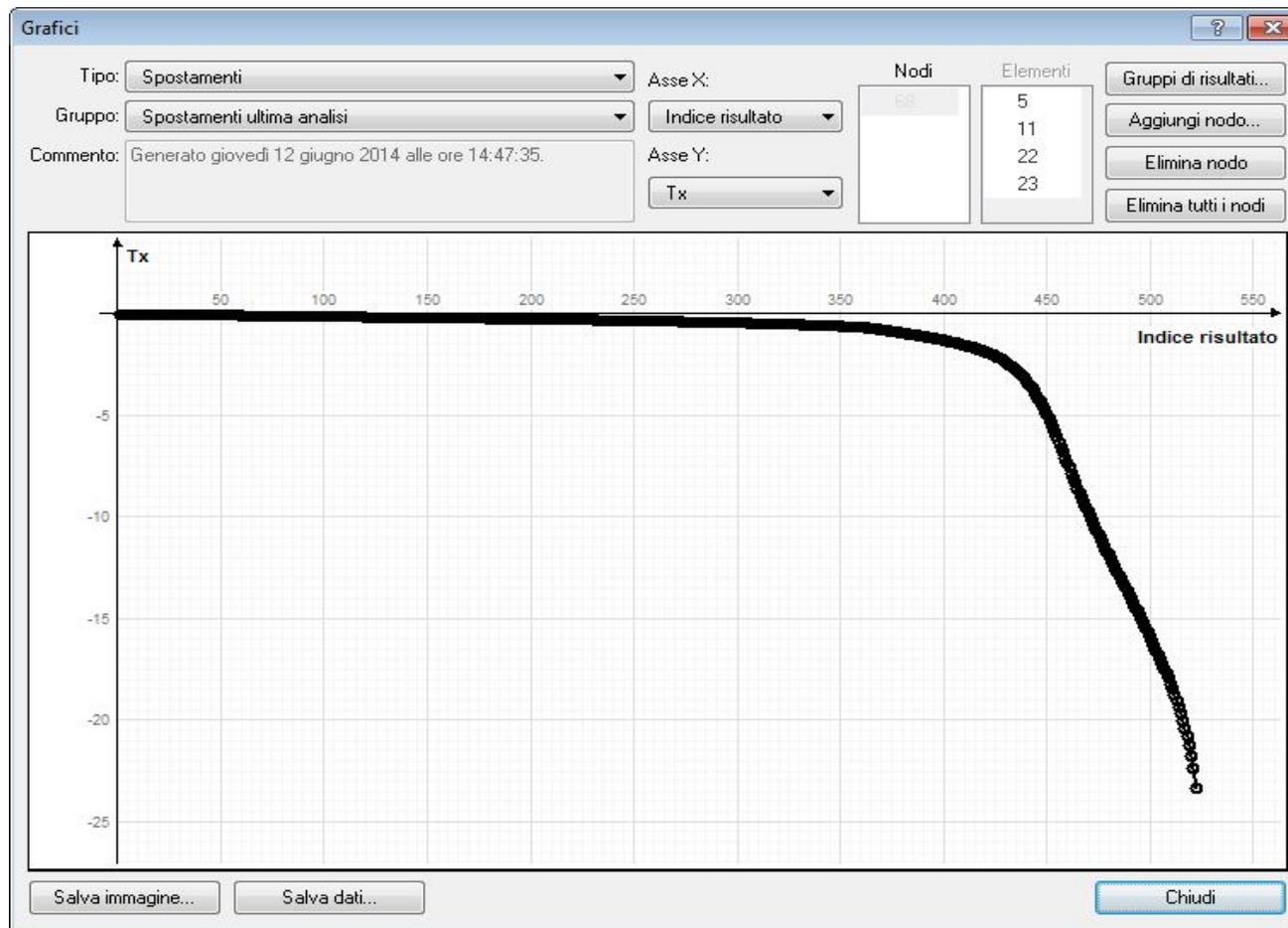


## Modello di calcolo:

- terreno coesivo/attritivo,
- elementi trave per la paratia,
- elementi boundary/asta per le interfacce.

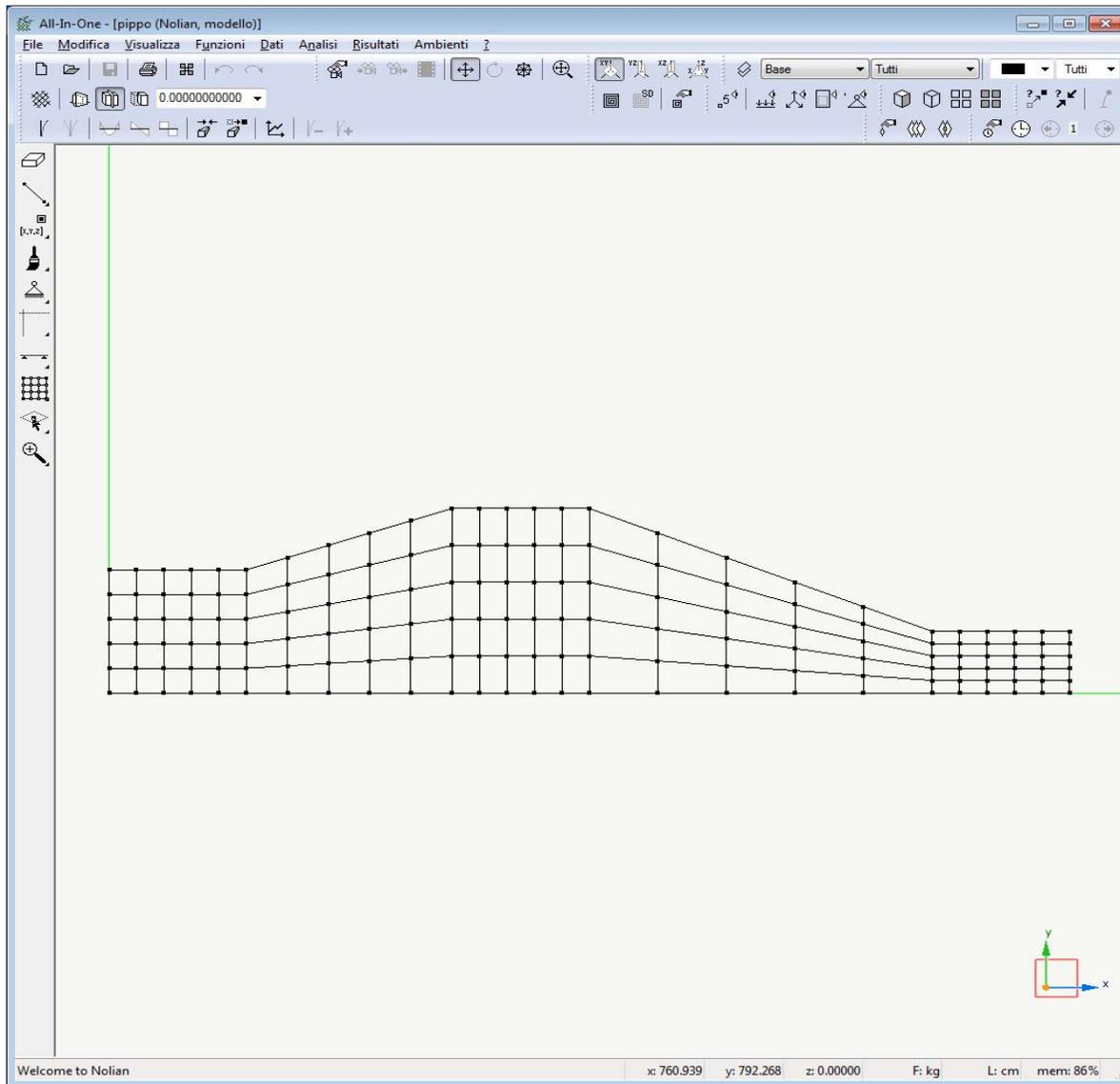


Deformata del sistema terreno-paratia



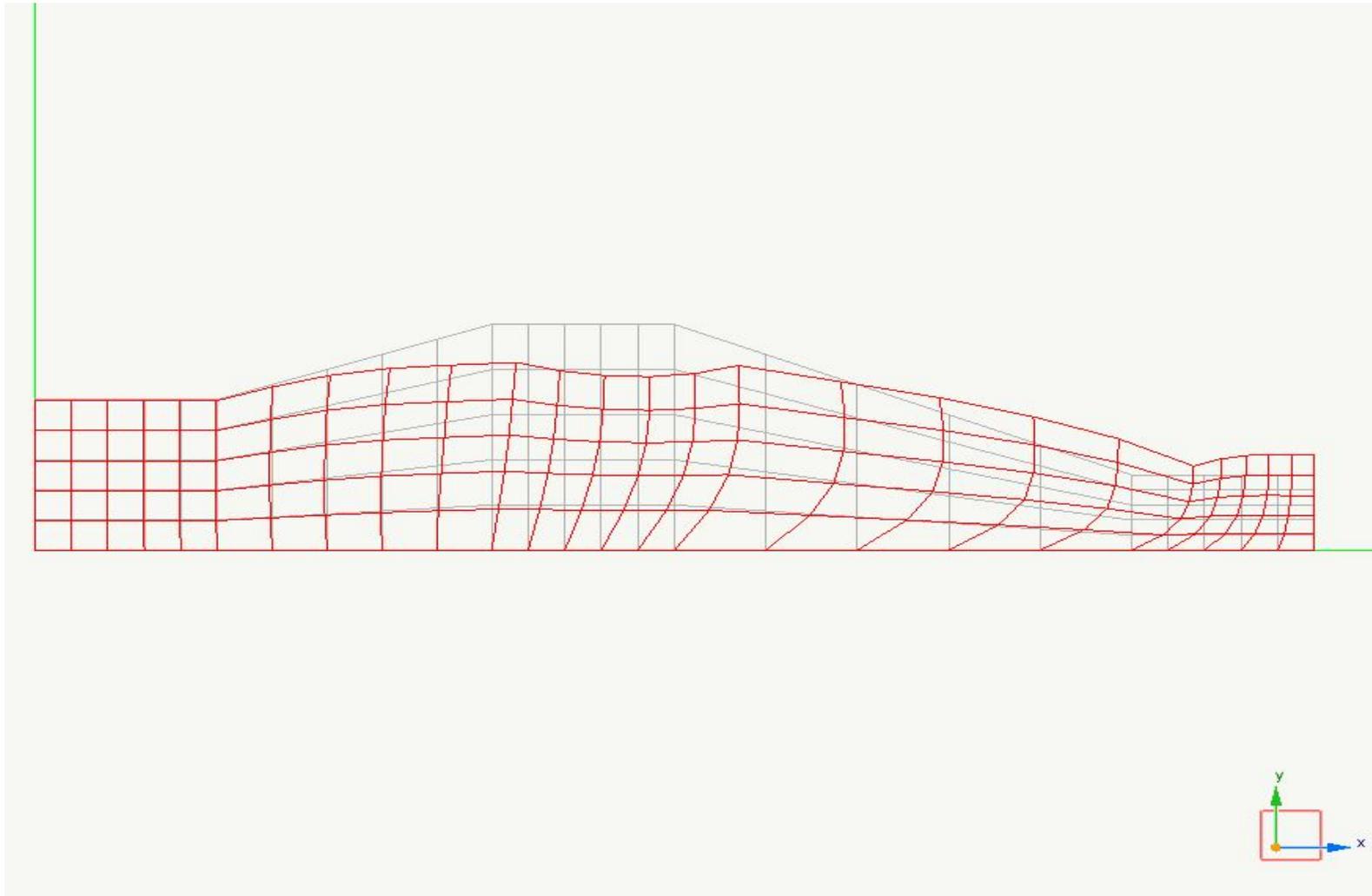
**Il nodo monitorato è quello in testa alla paratia. Si è utilizzato l'iteratore statico a controllo di carico con un numero di passi di 550 e un incremento di 0,01:** Come si vede dal grafico la plasticizzazione comincia al passo 350 e fino al 430 circa si hanno spostamenti compatibili. Questo significa che il coefficiente di sicurezza è tra 3,5 e 4,3.

## Esempio 2 - Stabilità di un rilevato asimmetrico

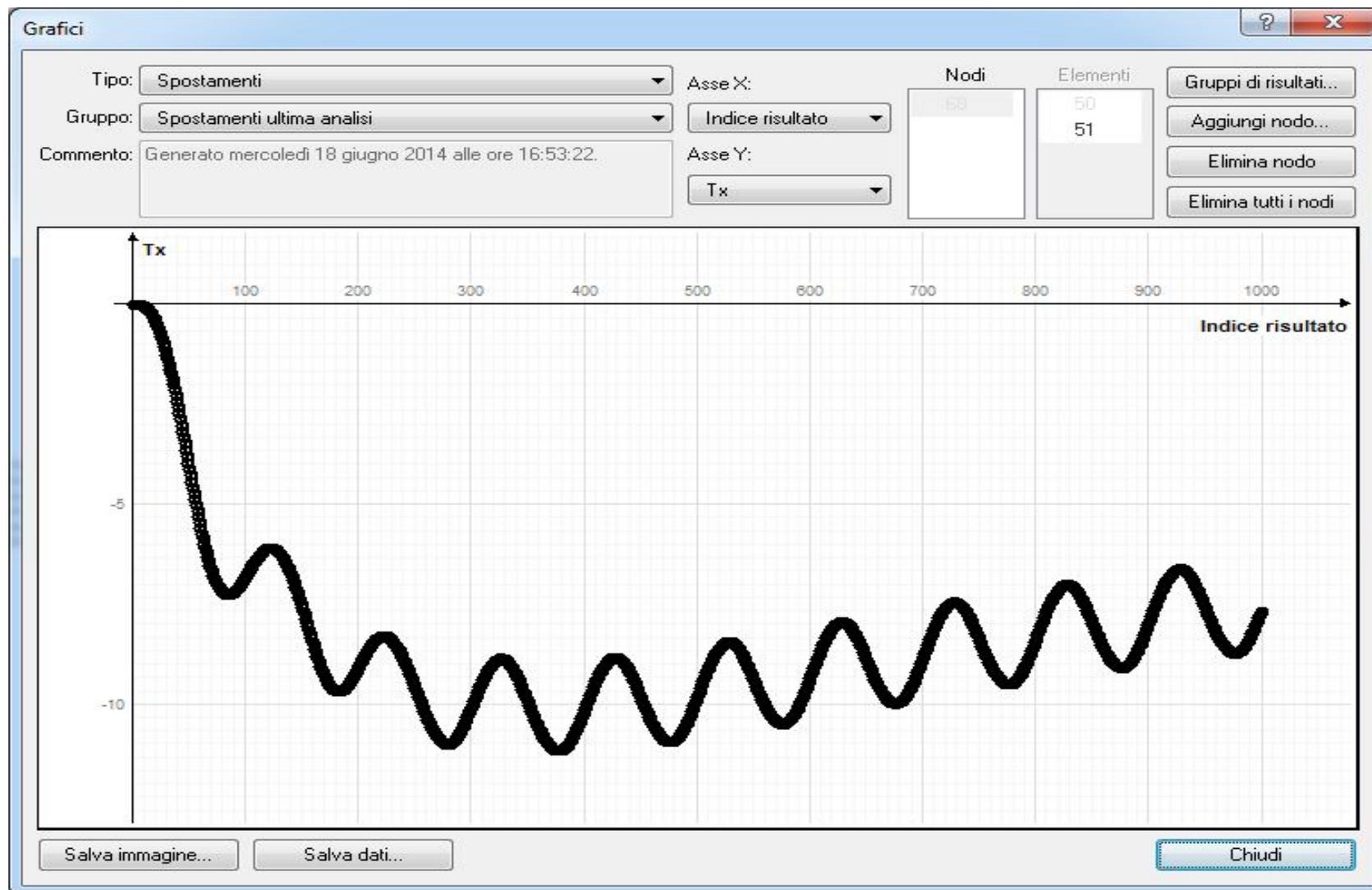


### **Modello di calcolo:**

- terreno coesivo
- Criterio di Von Mises.
- Elementi a deformazione piana



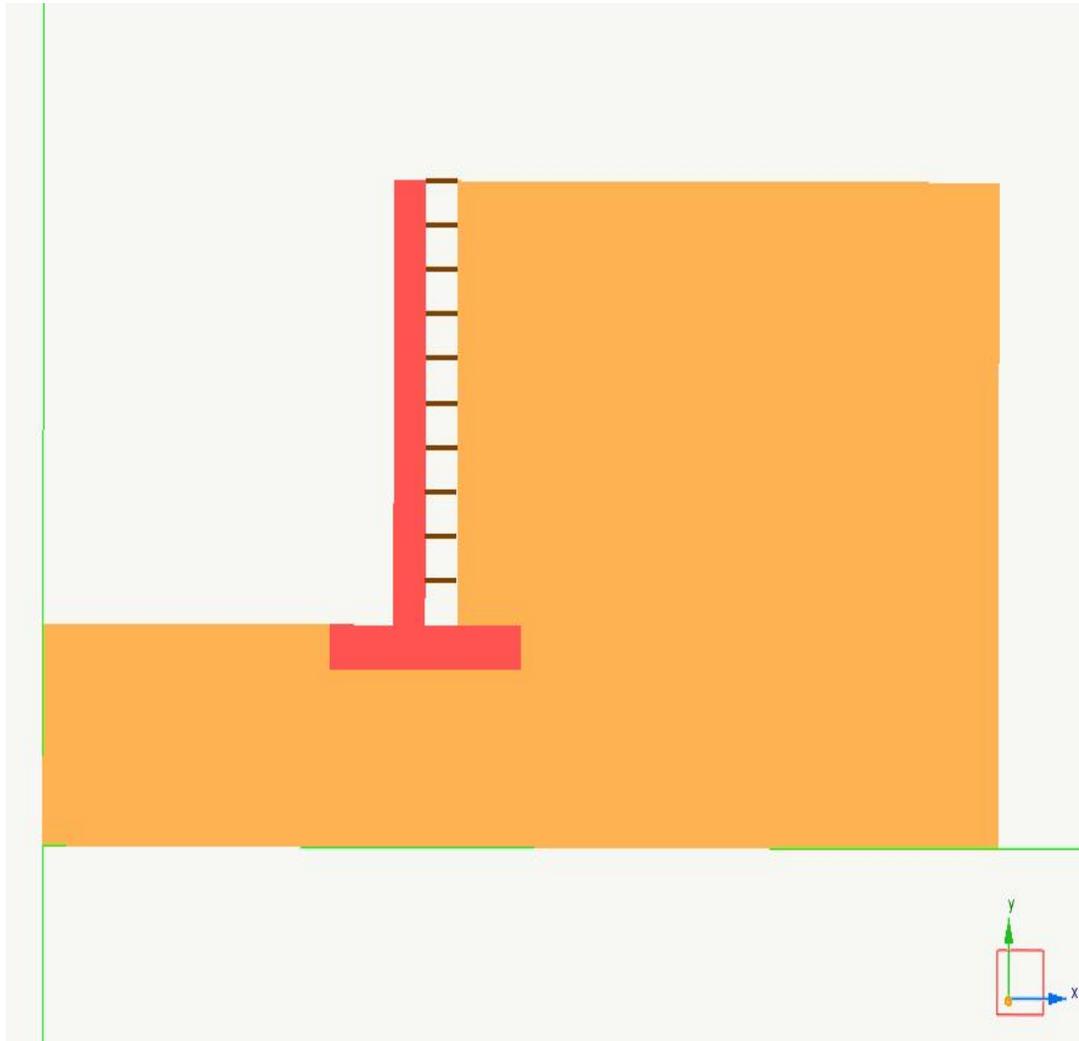
Analisi statica non lineare - Deformata del pendio finale



Analisi dinamica non lineare – movimento di un nodo di sommità

## Esempio 3:

### Muro di sostegno basso

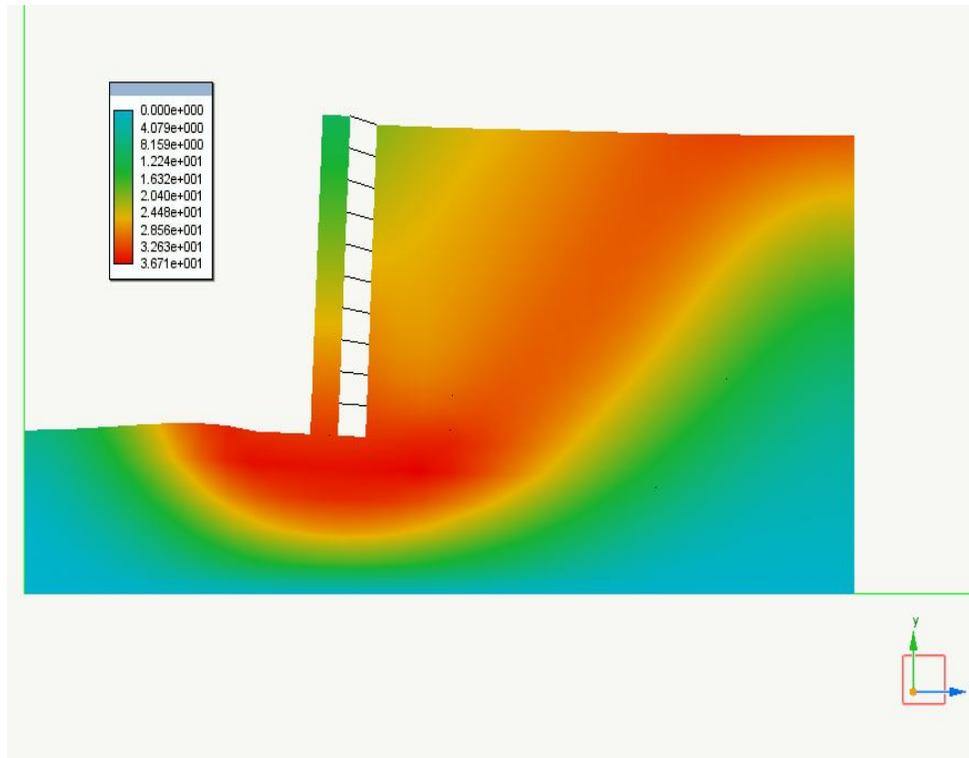


#### Modello di calcolo:

- terreno coesivo/attritivo,
- elementi trave per la paratia,
- elementi boundary/asta per le interfacce.

# Risultati

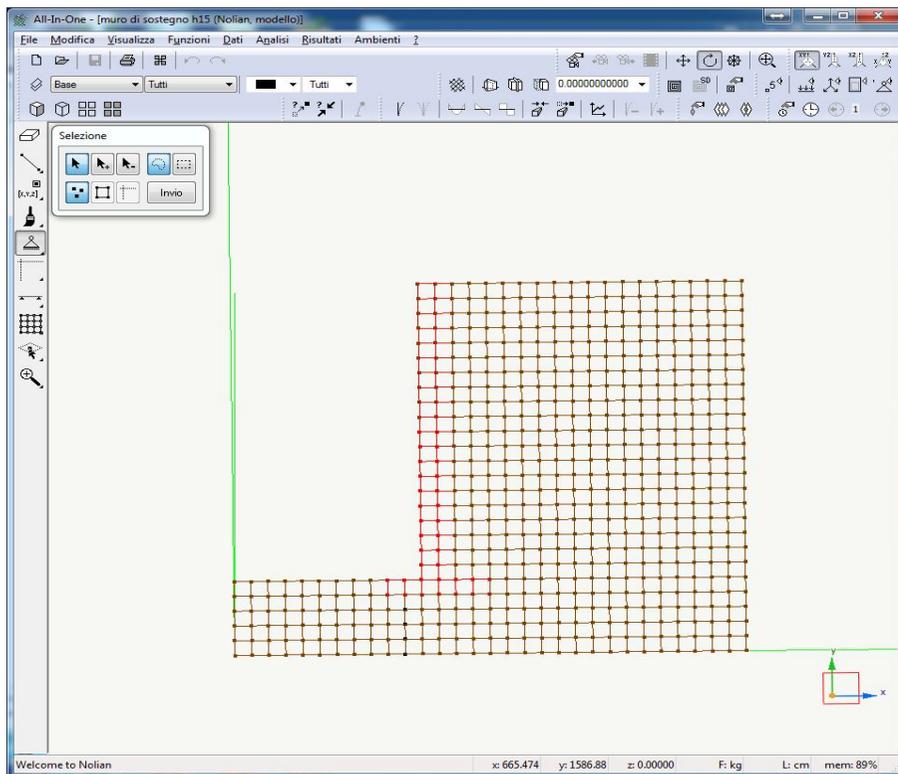
## Rottura per superficie di scorrimento globale



### Risultati:

- Analisi statica non lineare
- La superficie di scorrimento è globale

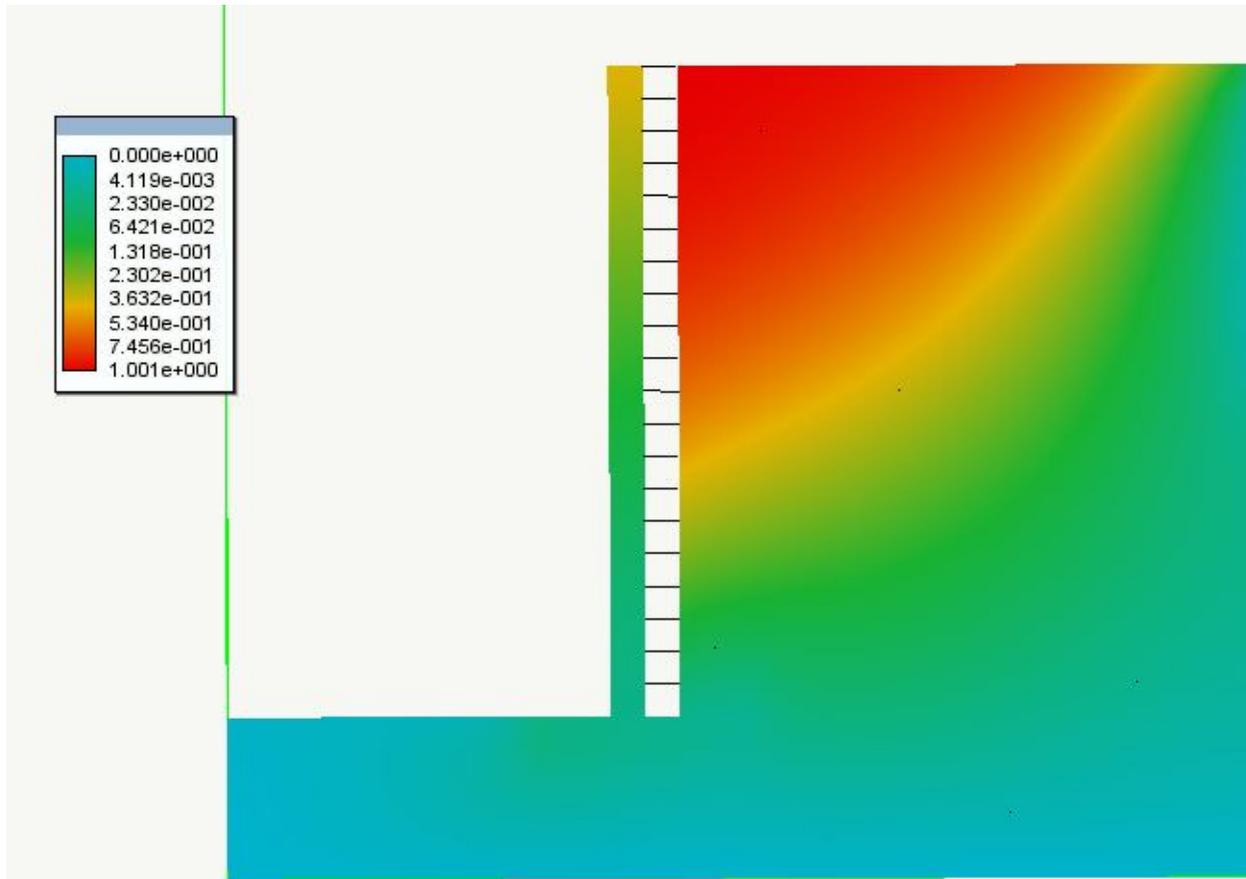
# Muro di sostegno alto



## **Modello di calcolo:**

- terreno coesivo/atritivo,
- elementi bidimensionali per il muro,
- elementi boundary/asta per le interfacce.
- $H_{\text{muro}} 7,50\text{m}$   $b=3,00\text{m}$

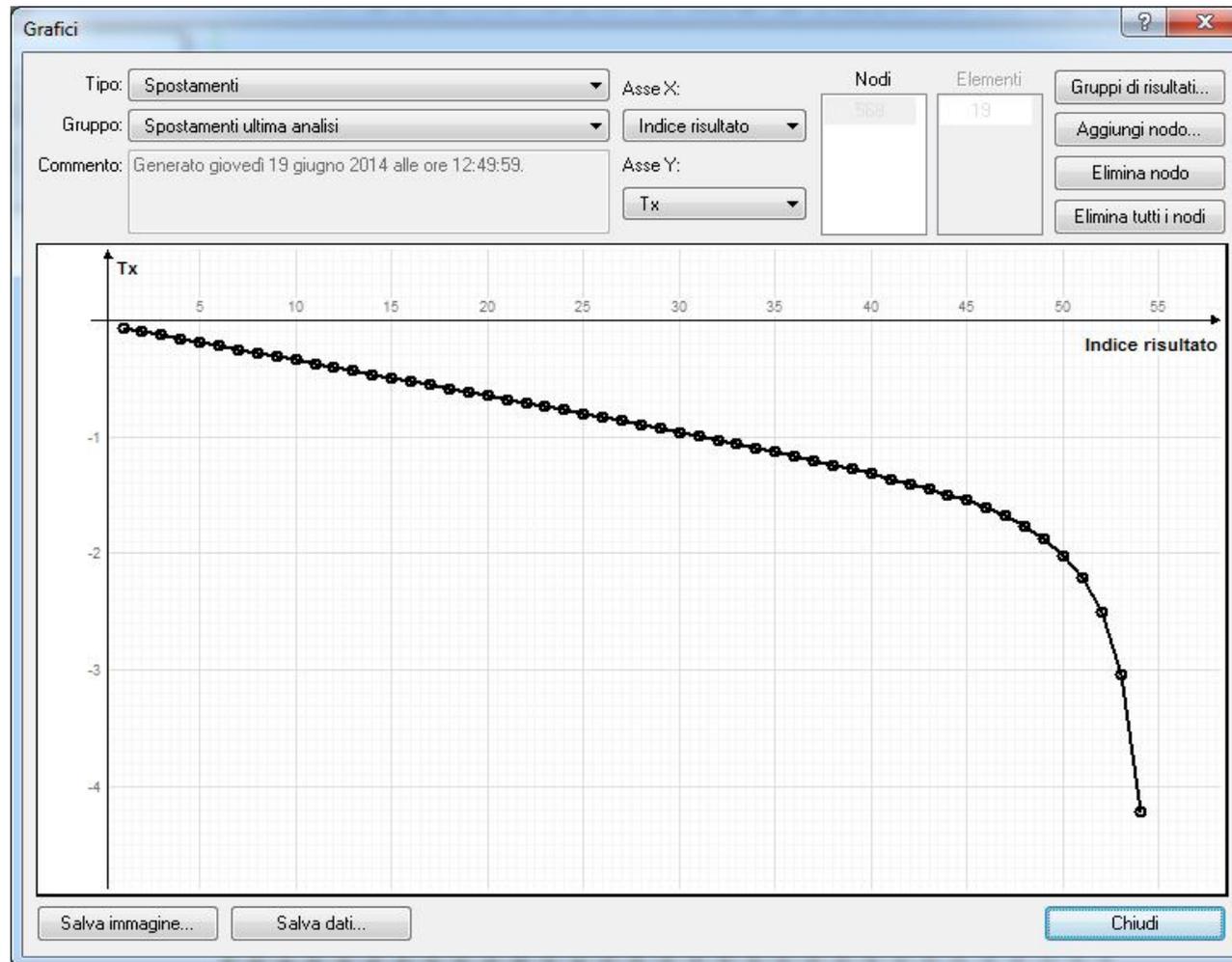
## Risultati - Cuneo di spinta



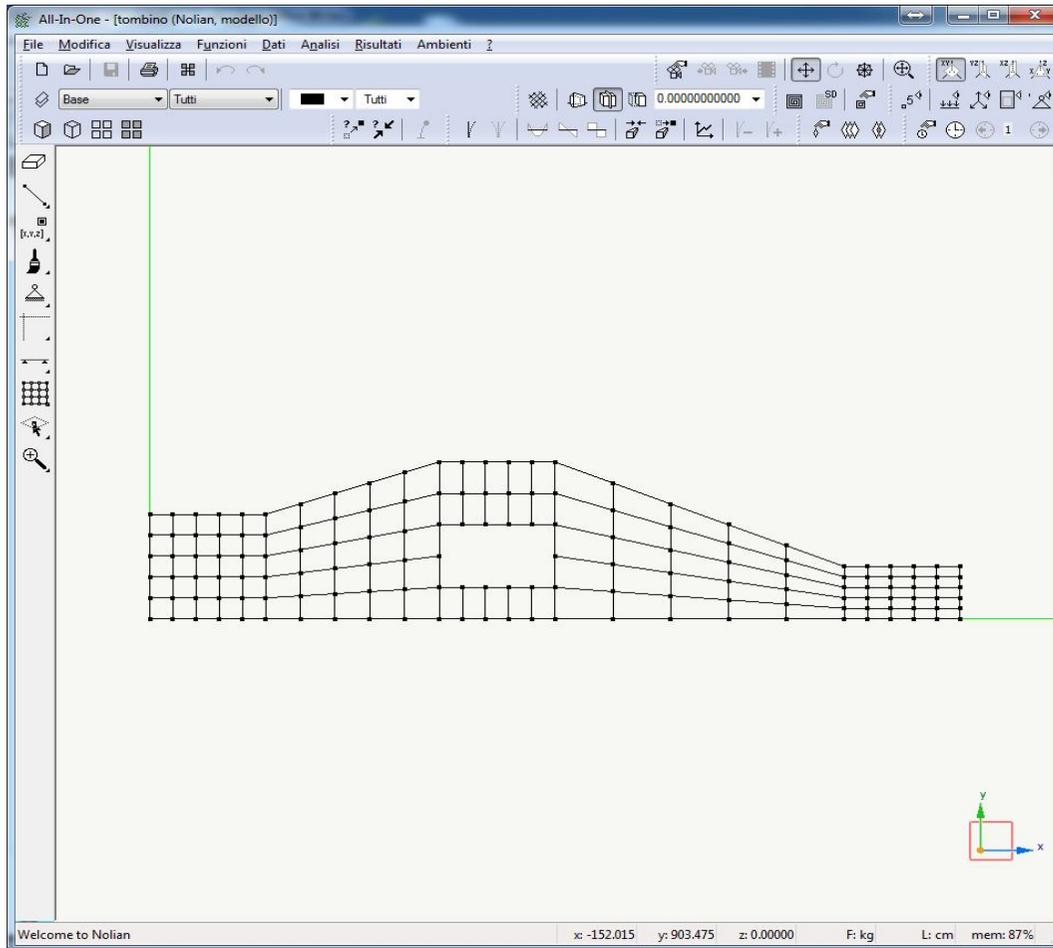
### Risultati:

- analisi non lineare statica
- $F_s=5$
- il comportamento è diverso. Il cuneo di spinta denota come criticità la rotazione del muro.

# Spostamento del nodo in testa del muro



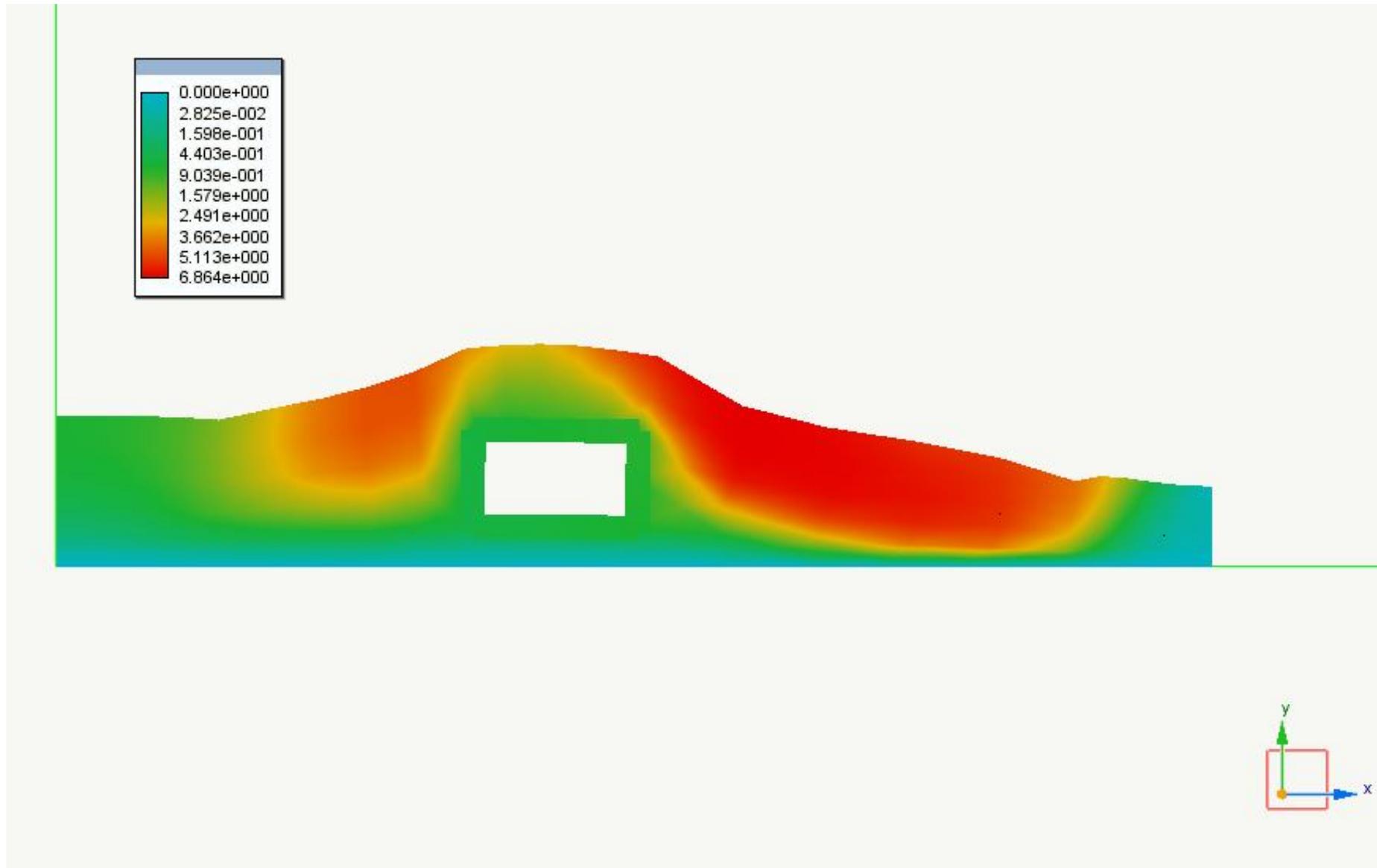
## Esempio 4: Scatolare interrato



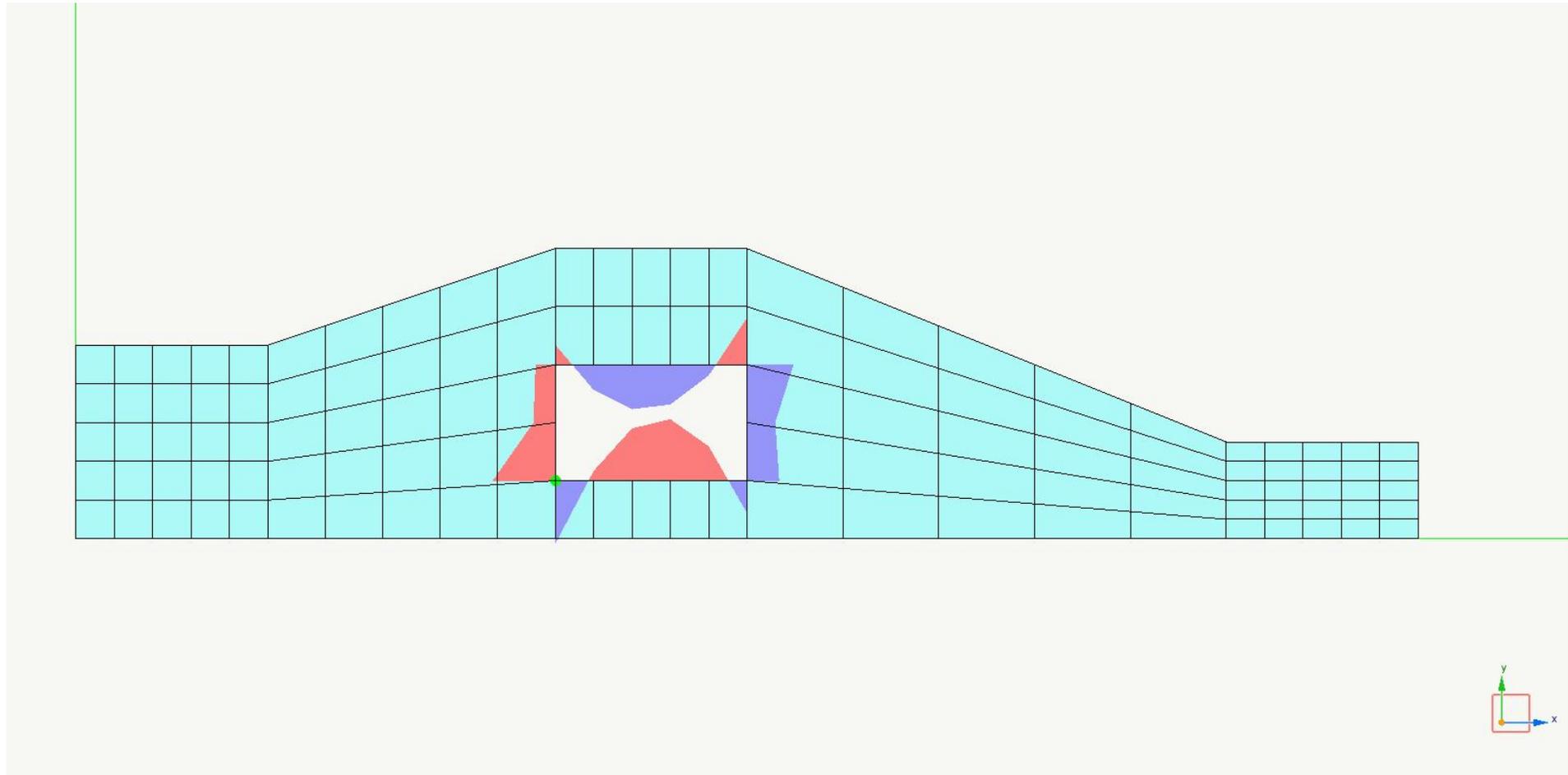
### Modello di calcolo:

- terreno coesivo/attritivo,
- elementi bidimensionali per il muro,
- elementi di tipo trave per la struttura dello scatolare

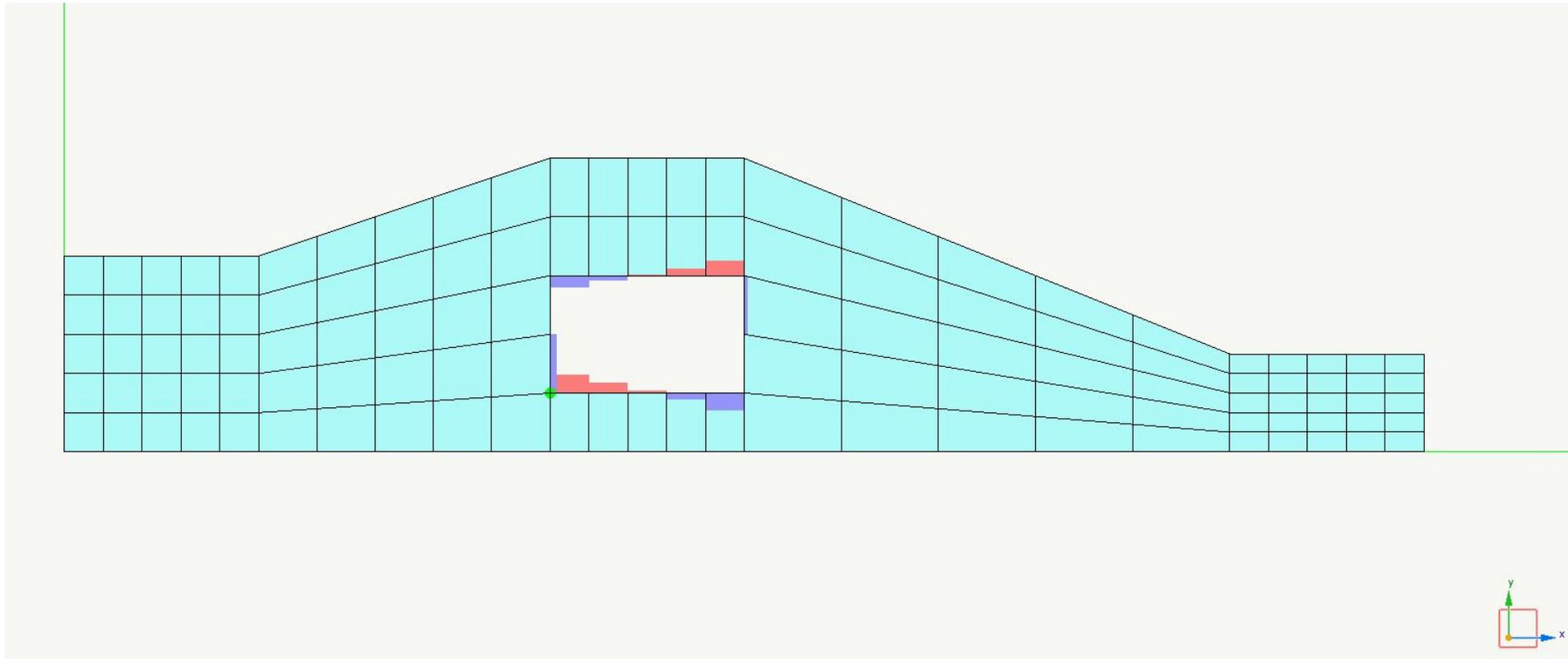
## Risultati – superficie di scorrimento



## Risultati – diagramma del momento



## Risultati – Diagramma del taglio



**L'effetto della asimmetria del rilevato è il diagramma dei momenti e dei tagli asimmetrico.**