

Validazione del codice di calcolo

Informativa sull'affidabilità dei codici di calcolo D.M. 14-01-2008 paragrafo 10.2.

I software **GeoStru** sono dotati di sistemi di controllo dei dati di input e di output molto sofisticati i quali sono in grado di rilevare errori gravi tali da non consentire le corrette elaborazioni.

GEOROCK 3D

Versione: 2015

Premessa

Georock 3D è il software di **GEOSTRU** per la determinazione delle traiettorie di un masso in caduta libera da un costone roccioso.

Il moto di caduta di un blocco lungo una scarpata rocciosa dipende da numerosi fattori che non è facile esprimere numericamente. Le traiettorie dei blocchi dipendono dalla geometria della scarpata, dalla forma del blocco in caduta e dalla sua velocità iniziale al momento del distacco dal pendio, ed inoltre dall'entità dell'energia dissipata per effetto degli urti durante la caduta. I blocchi in caduta possono, infatti, scivolare, rotolare o rimbalzare a valle in base alla loro forma, appiattita o arrotondata, e in funzione dell'inclinazione del pendio.

L'energia dissipata per effetto degli urti è in genere diversa al variare delle caratteristiche del moto e dipende dalle caratteristiche meccaniche del blocco e dai materiali presenti lungo la scarpata (*roccia, terreno, vegetazione*) che si oppongono in misura differente al moto dei blocchi.

Nella realtà è praticamente difficile determinare puntualmente il profilo di un pendio ed individuare la forma dei diversi blocchi che potrebbero distaccarsi.

Inoltre la geometria del pendio e la natura dei materiali affioranti subiscono nel tempo modifiche, anche sensibili, per effetto, dell'alterazione della roccia, per l'accumulo di detriti nelle zone meno acclivi e per lo sviluppo della vegetazione.

Infine, diviene praticamente impossibile modellare il moto di caduta dei blocchi nei casi in cui questi si frantumino per effetto degli urti, né è possibile individuare le zone del pendio in cui si verifica la frantumazione.

Per l'analisi delle traiettorie di caduta è necessario fare riferimento a modelli molto semplificati: la progettazione geotecnica degli interventi di protezione deve essere, perciò, sviluppata sulla base di un'ampia sperimentazione numerica, che consenta di indagare sui diversi aspetti del fenomeno e riconoscere i fattori principali che influenzano il moto di caduta nella particolare situazione in esame.

Nei casi più complessi potrà essere opportuno tarare il modello sulla base di un'analisi di traiettorie rilevate con cinematografia in sito in seguito al crollo dei blocchi.

Teoria applicata

Il metodo di calcolo utilizzato dal programma GEOROCK 3D per la determinazione delle traiettorie di un masso in caduta libera è il **Lumped Mass**. Le ipotesi su cui si basa il metodo sono quelle di un blocco assimilabile ad corpo puntiforme, resistenza dell'aria trascurabile, discretizzazione della superficie del terreno in elementi piani di forma triangolare.

In tal caso la traiettoria del blocco viene determinata utilizzando le equazioni del moto di un grave:

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \int_0^t \vec{a}(t) \cdot dt$$

$$\vec{r}(t) = \int_0^t \vec{v}(t) \cdot dt$$

dove

$$\vec{v}(t) = v_x(t) \cdot \vec{u}_x + v_y(t) \cdot \vec{u}_y + v_z(t) \cdot \vec{u}_z$$

$$\vec{r}(t) = r_x(t) \cdot \vec{u}_x + r_y(t) \cdot \vec{u}_y + r_z(t) \cdot \vec{u}_z$$

$$\vec{a}(t) = -g \cdot \vec{u}_z$$

Ad ogni passo di elaborazione, il programma determina la posizione del blocco e controlla se avviene l'impatto con il terreno, la perdita di energia cinetica per effetto degli attriti e degli urti viene schematizzata riducendo la velocità del blocco in caduta attraverso due coefficienti di restituzione R_n e R_t , variabili tra $0 \div 1$, rispettivamente coefficiente di restituzione tangenziale e normale, che dipendono dalle proprietà dissipative del terreno ($R_n = R_t = 1$ urto perfettamente elastico, il blocco rimbalza senza riduzione di energia; $R_n = R_t = 0$, il blocco si arresta sulla superficie di impatto).

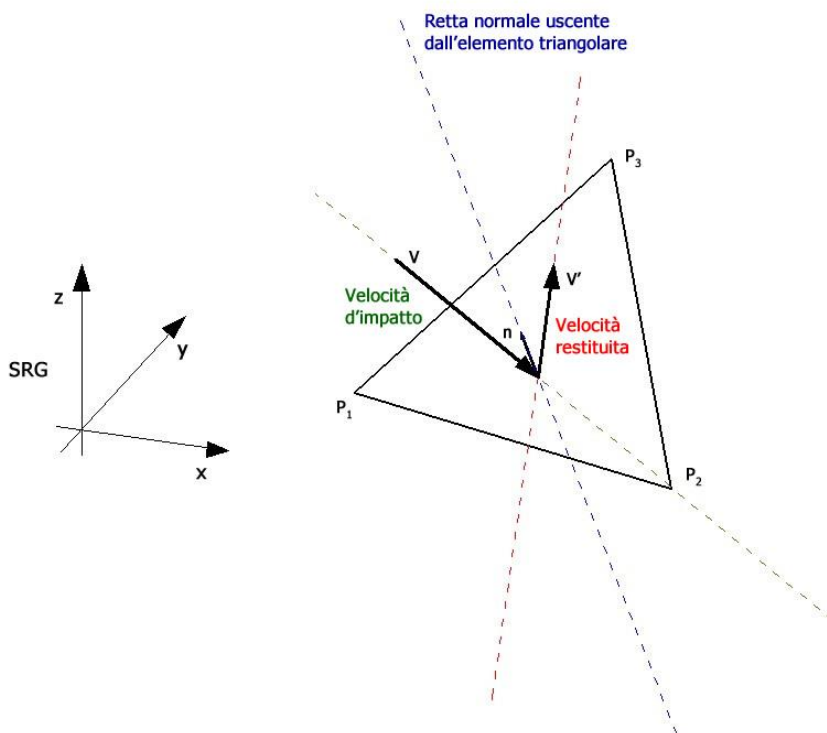
A seguito dell'urto nelle due direzioni, normale e tangenziale, i vettori delle velocità assumono i seguenti valori:

$$\vec{v}'_n = R_n \cdot v_n(t) \cdot \vec{u}_n$$

$$\vec{v}'_t = R_t \cdot v_t(t) \cdot \vec{u}_t$$

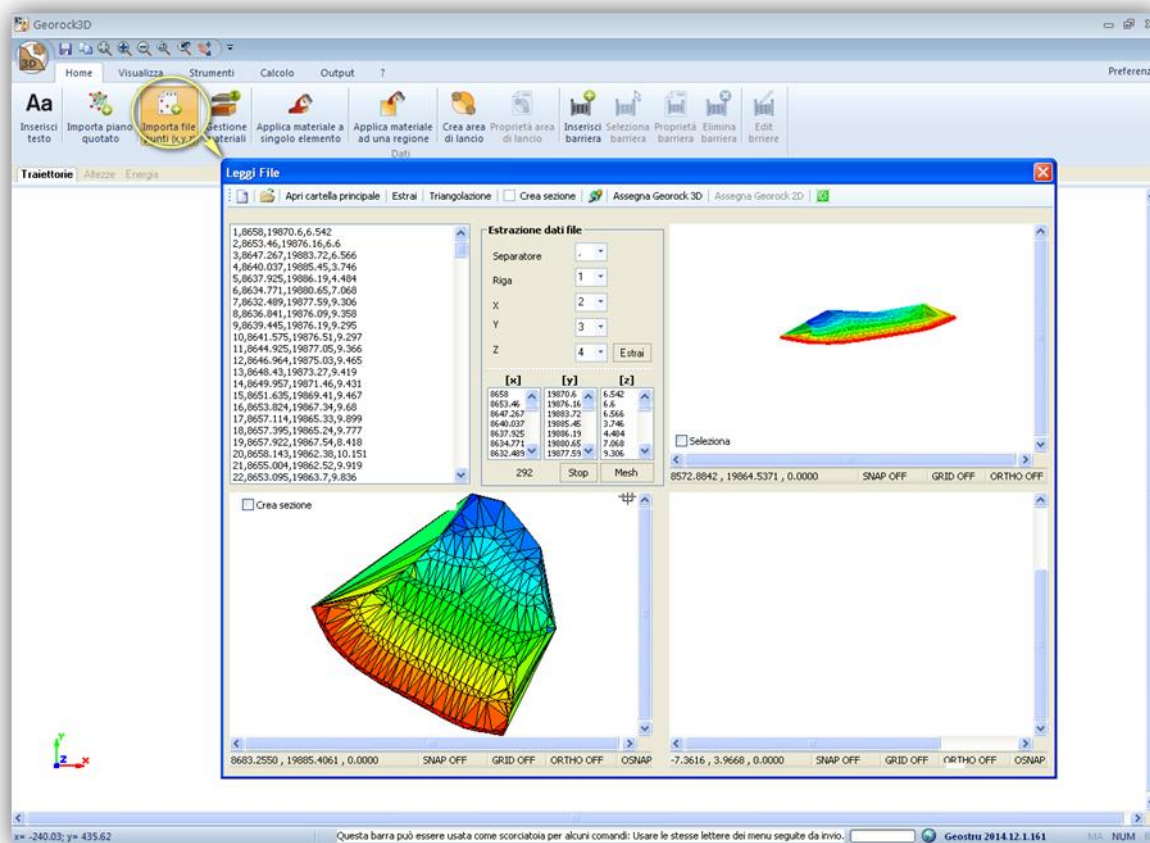
Nel momento in cui il programma individua il triangolo della mesh su cui impatta il blocco calcola la normale uscente alla superficie e le componenti del vettore velocità nelle due direzioni: normale e tangenziale, l'ipotesi di calcolo è che l'angolo incidente è uguale all'angolo riflesso, il vettore

velocità si modifica in modulo in funzione dei valori dei coefficienti di restituzione assegnati all'elemento triangolare.



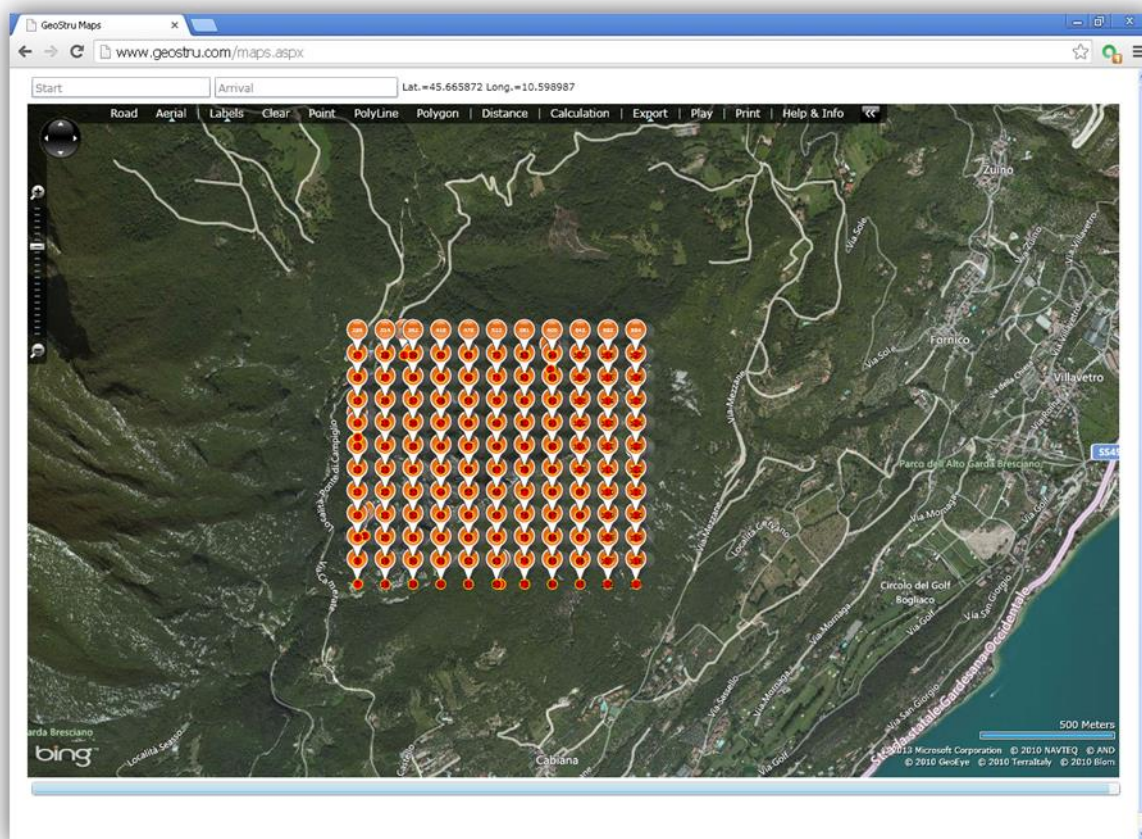
Piano quotato

Per l'analisi delle traiettorie del masso è necessario, preliminarmente, importare un piano quotato. Se si ha a disposizione una zona con una triangolazione eseguita mediante il software GeoStru Trispace, è possibile importare il file di testo da utilizzare nell'applicazione (un esempio è rappresentato dal file "Cava Manc.txt" presente in "Level ground" all'interno della cartella di installazione del software); altrimenti è possibile generare il piano quotato utilizzando il tool distribuito con l'applicazione.



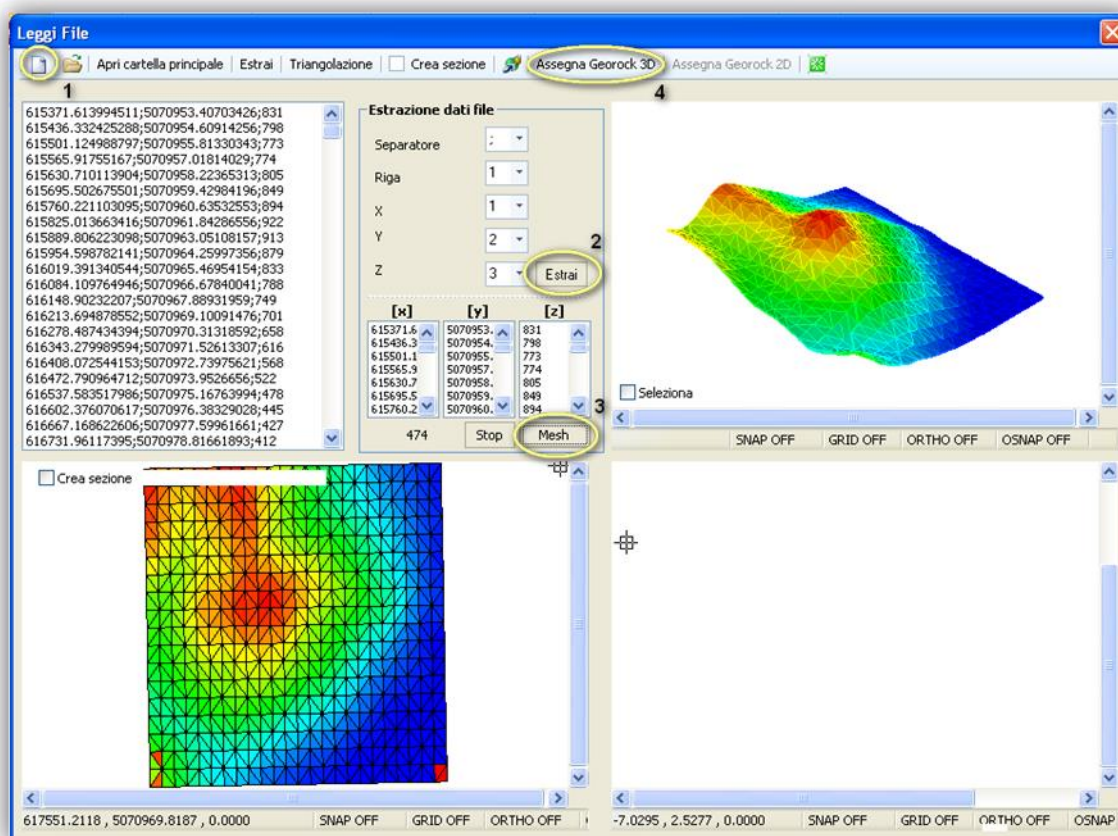
Il tool consente di lavorare con file nei formati *txt*, *dat*, *gtm* e *asc*.

Disponendo di una connessione ad internet attiva, è possibile individuare la zona d'interesse utilizzando il servizio gratuito fornito da GeoStru software all'indirizzo <http://www.geostru.com/maps.aspx>. Qui bisogna individuare la zona operativa con lo strumento "Polyline", attivare il menu "Calculation", impostare il passo della maglia desiderato e utilizzare l'opzione "Mesh". L'elaborazione va esportata utilizzando il comando "Export" e scegliendo *gtm* come tipo di file.



Il file gtm importato viene letto nel tool di estrazione dove è necessario impostare il valore utilizzato come separatore dei dati numerici e le colonne che associate alla posizione X, alla posizione Y e alla quota Z di ciascun punto.

Per generare un piano quotato aprire il file "Example.gtm" all'interno di "Raster import", nel tool, cliccare prima sul pulsante "Estrai" e poi su "Mesh". Quando il piano quotato sarà pronto è possibile esportare i dati per utilizzarli nell'applicazione mediante il comando "Assegna a Georock 3D".

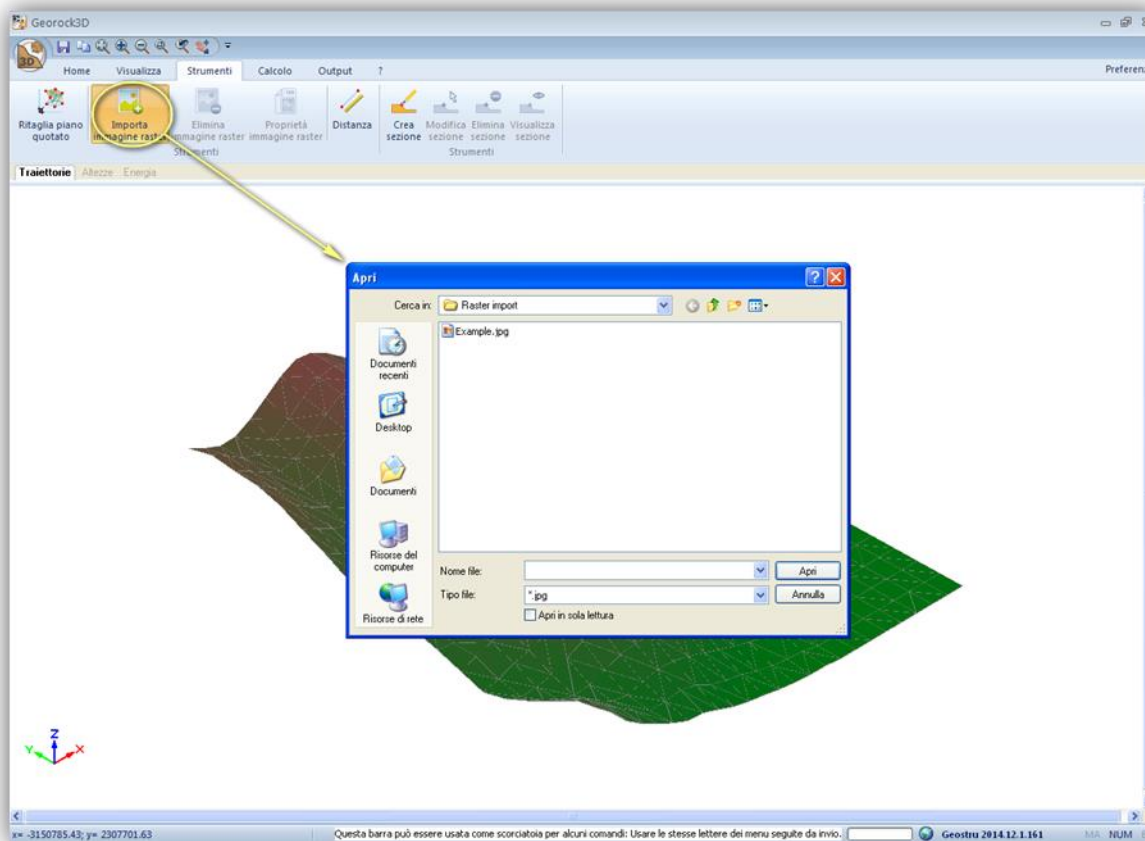


All'interno dell'applicazione viene visualizzato il piano tridimensionale nella proiezione piana. Mediante i comandi del menu "Visualizza" è possibile cambiare la vista attiva e modificare la colorazione. Si può scegliere una colorazione in base al materiale associato ad ogni elemento della triangolazione oppure un gradiente di colori con diverse tonalità associate alle quote con una scala di colori compresa tra verde e marrone.

Il piano quotato importato può essere ritagliato per circoscrivere la zona di intervento utilizzando il comando "Ritaglia piano quotato" del menu "Strumenti".

L'importazione può essere affiancata ad una rappresentazione aerea della zona di interesse. Per inserire l'immagine aerea dell'area di lavoro è necessario eseguire una procedura di calibrazione della foto.

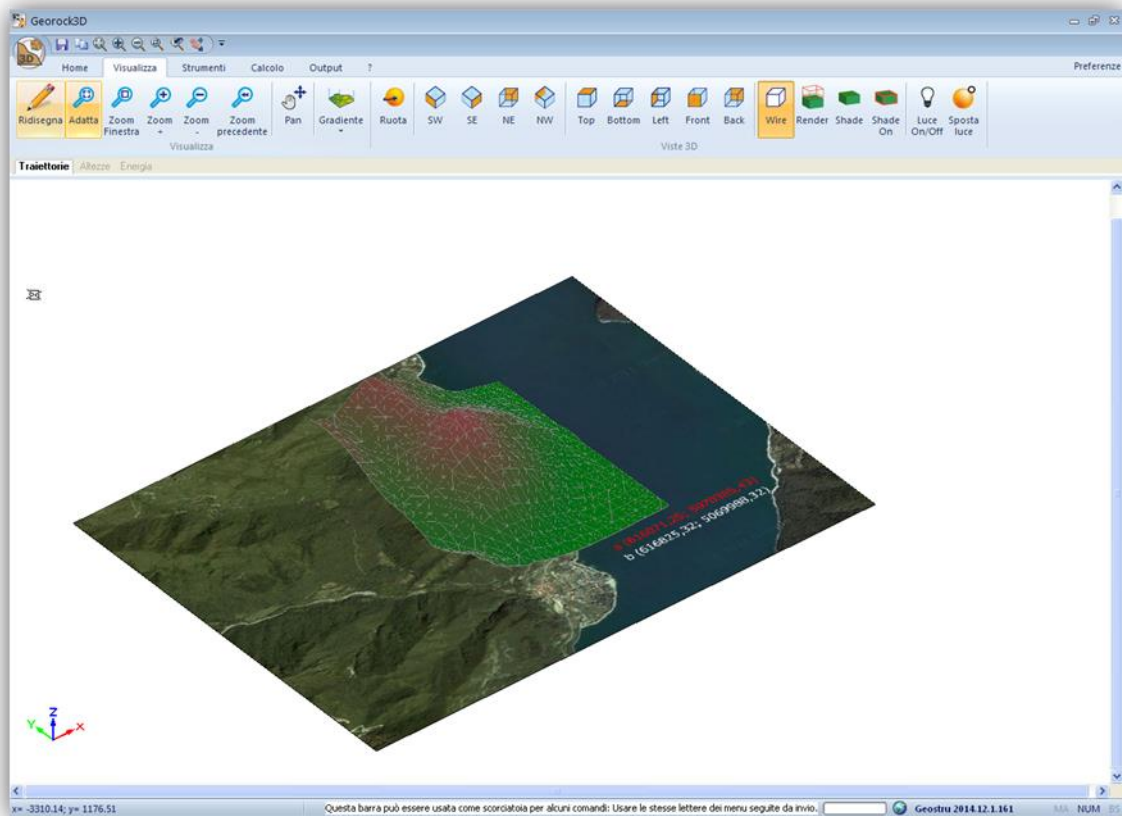
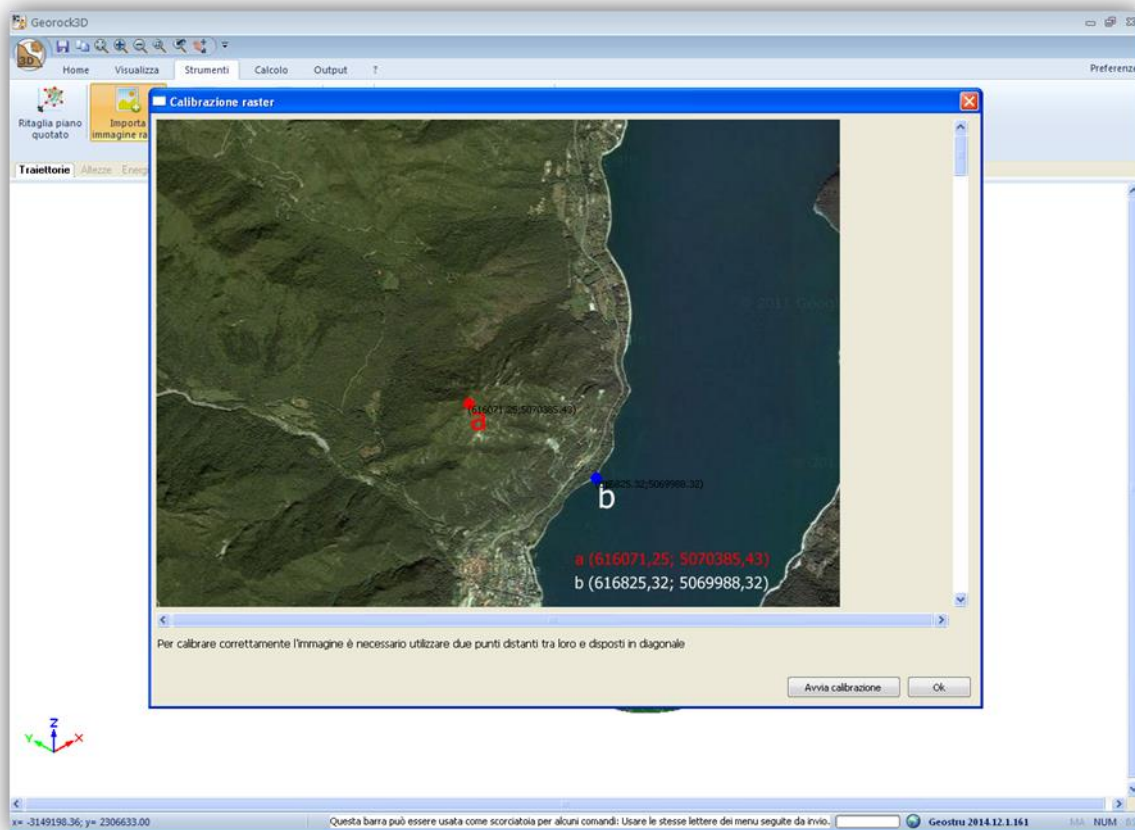
Attraverso il comando "Imposta immagine raster" viene avviata la procedura guidata.



Il file "Example.jpg" contiene l'immagine aerea della zona precedentemente importata. La calibrazione della foto sfrutta due punti della mappa, disposti in diagonale, di cui si conoscono le coordinate reali.

Il comando "Avvia calibrazione" chiede di individuare con il mouse il primo punto sulla mappa (punto a) di cui si vogliono assegnare le coordinate che vanno inserite mediante una finestra di input; al termine di questo primo passaggio verranno chieste posizione e coordinate del punto b.

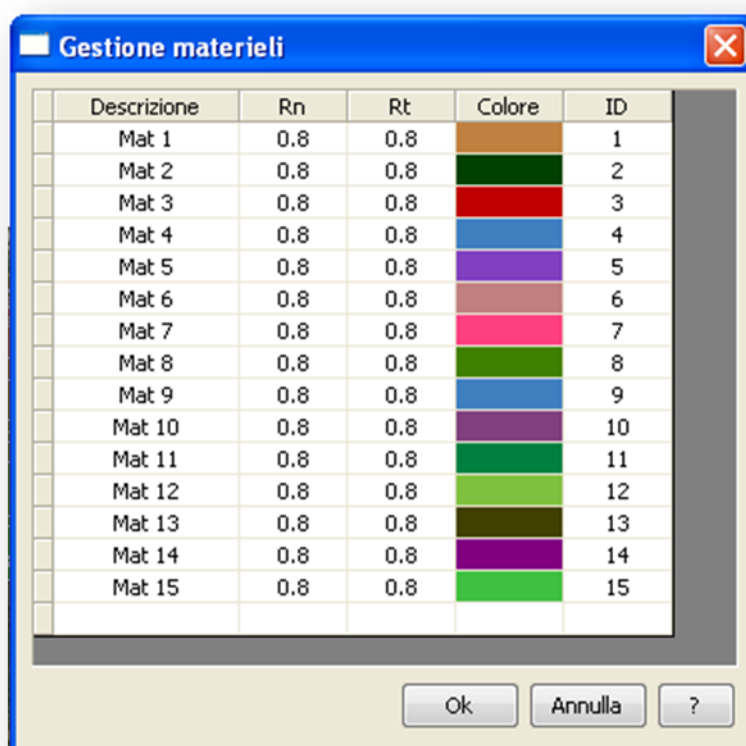
A conclusione della calibrazione sulla finestra principale del programma appaiono l'immagine e il piano quotato sovrapposti.



Materiali

Georock 3D contiene la definizione di diversi materiali da assegnare agli elementi triangolari che costituiscono il piano quotato.

Per ogni materiale sono definiti due coefficienti di restituzione normale e tangenziale, il colore e la descrizione. Il coefficiente tangenziale determina la riduzione della componente della velocità parallela alla porzione di profilo durante l'impatto; quello normale è una misura della modifica della velocità normale al profilo prima e dopo l'impatto.



Descrizione	Rn	Rt	Colore	ID
Mat 1	0.8	0.8		1
Mat 2	0.8	0.8		2
Mat 3	0.8	0.8		3
Mat 4	0.8	0.8		4
Mat 5	0.8	0.8		5
Mat 6	0.8	0.8		6
Mat 7	0.8	0.8		7
Mat 8	0.8	0.8		8
Mat 9	0.8	0.8		9
Mat 10	0.8	0.8		10
Mat 11	0.8	0.8		11
Mat 12	0.8	0.8		12
Mat 13	0.8	0.8		13
Mat 14	0.8	0.8		14
Mat 15	0.8	0.8		15

Chiaramente, mentre la vegetazione influenza il coefficiente tangenziale, la rigidità del materiale influenza quello normale. La presenza di vegetazione con altezza superiore ad 1 m rende di difficile determinazione detti coefficienti in quanto la sua presenza per i massi che crollano per primi può produrre un comportamento molto vicino a quello di un materiale non molto rigido, ma i massi già crollati alterano il comportamento dei massi che si staccano successivamente ai primi. I valori suggeriti da letteratura non sono molto uniformi, quindi la loro validità andrebbe sempre confermata da applicazioni pratiche su casi reali.

La griglia dei materiali è editabile dall'utente, quindi è possibile assegnare qualsiasi valore ai coefficienti di restituzione normale e tangenziale (R_n , R_t), e identificare il materiale con un colore. È possibile aggiungere altri materiali a quelli già presenti o modificare quelli esistenti.

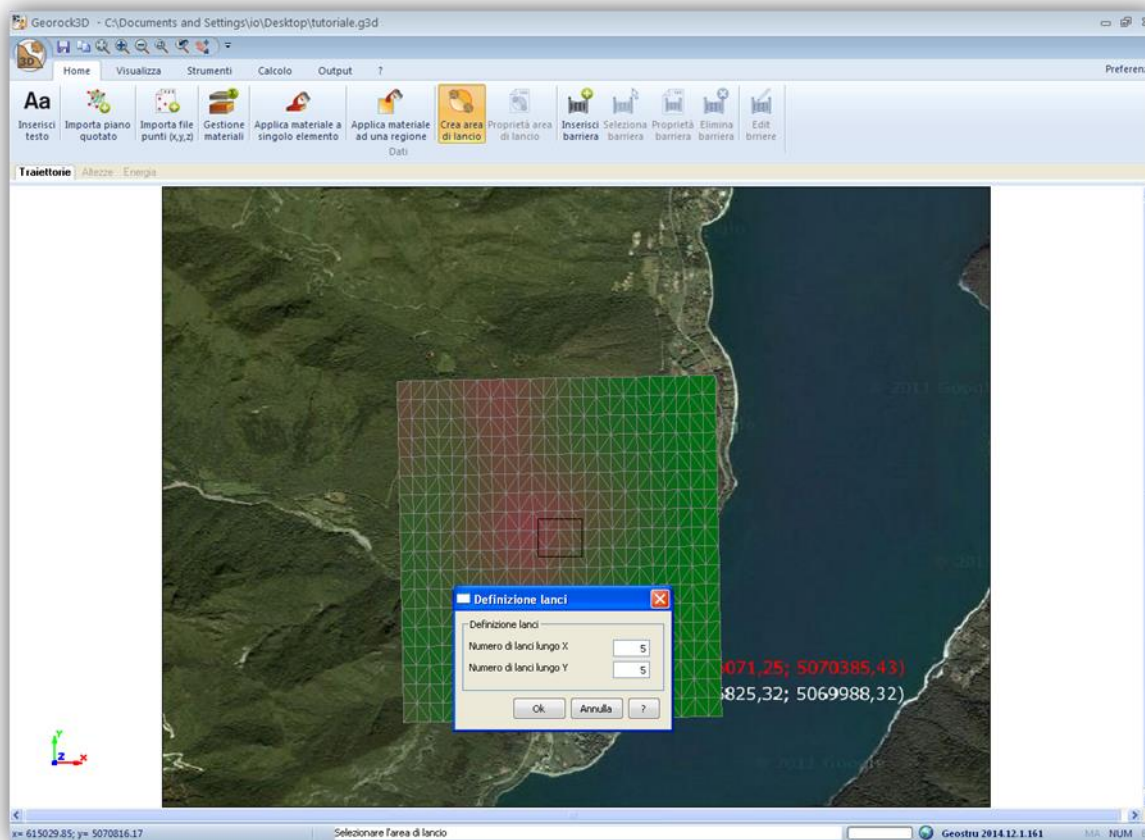
L'assegnazione dei materiali agli elementi che costituiscono la mesh può avvenire in modo singolo o per gruppo di elementi attraverso i comandi evidenziati nella seguente figura



Per eseguire correttamente l'assegnazione ci si porta in proiezione orizzontale se è attivata una vista tridimensionale; bisogna selezionare come tipo di colorazione l'opzione "Colore in base al materiale" quindi cliccare sul pulsante "Applica materiale ad una regione" e selezionare sul grafico gli elementi a cui cambiare il materiale. Dalla finestra di selezione spuntare il materiale desiderato e premere il tasto "Ok". Per perfezionare la scelta è possibile utilizzare il pulsante "Applica materiale a singolo elemento" che consente con una sequenza di clic di associare un materiale della lista agli elementi della mesh.

Area di lancio

La definizione dell'area di lancio consente di individuare la zona di distacco dei massi. Questa viene assegnata attraverso il comando "Crea area di lancio" e l'individuazione di una regione sulla mappa.



Per mezzo di una finestra di dialogo è possibile scegliere il numero di massi che saranno generati lungo la direzione x e lungo la direzione y, seguendo il sistema di riferimento del progetto.

Dati massi

Per ciascuno dei massi generati al passo precedente è possibile assegnare:

- La posizione X espressa in metri;
- La posizione Y espressa in metri;
- La quota Z espressa in metri;
- La velocità iniziale lungo l'asse X espressa in m/s, V_{xi} ;
- La velocità iniziale lungo l'asse Y espressa in m/s, V_{yi} ;
- La velocità iniziale lungo l'asse Z espressa in m/s, V_{zi} ;

- Il diametro espresso in m;
- La densità espressa in Kg/m³;
- Il colore.

Area di lancio

Dettaglio massi

n°	X (m)	Y (m)	Z (m)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vz (m/s)	Diametro (m)	Densità (Kg/m ³)	Colore
1	16109,94	70183,92	911,49	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	
2	16109,94	70195,23	916,34	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	
3	16109,94	70206,54	921,19	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	
4	16109,94	70217,85	926,04	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	
5	16121,74	70183,92	902,10	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	
6	16121,74	70195,23	906,95	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	
7	16121,74	70206,54	911,81	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	
8	16121,74	70217,85	916,66	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	
9	16133,55	70183,92	892,72	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	
10	16133,55	70195,23	897,57	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	
11	16133,55	70206,54	902,42	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	
12	16133,55	70217,85	907,27	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	
13	16145,35	70183,92	881,87	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	
14	16145,35	70195,23	887,68	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	
15	16145,35	70206,54	893,04	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	
16	16145,35	70217,85	897,89	0,00	0,00	0,00	1,00	2000,00	

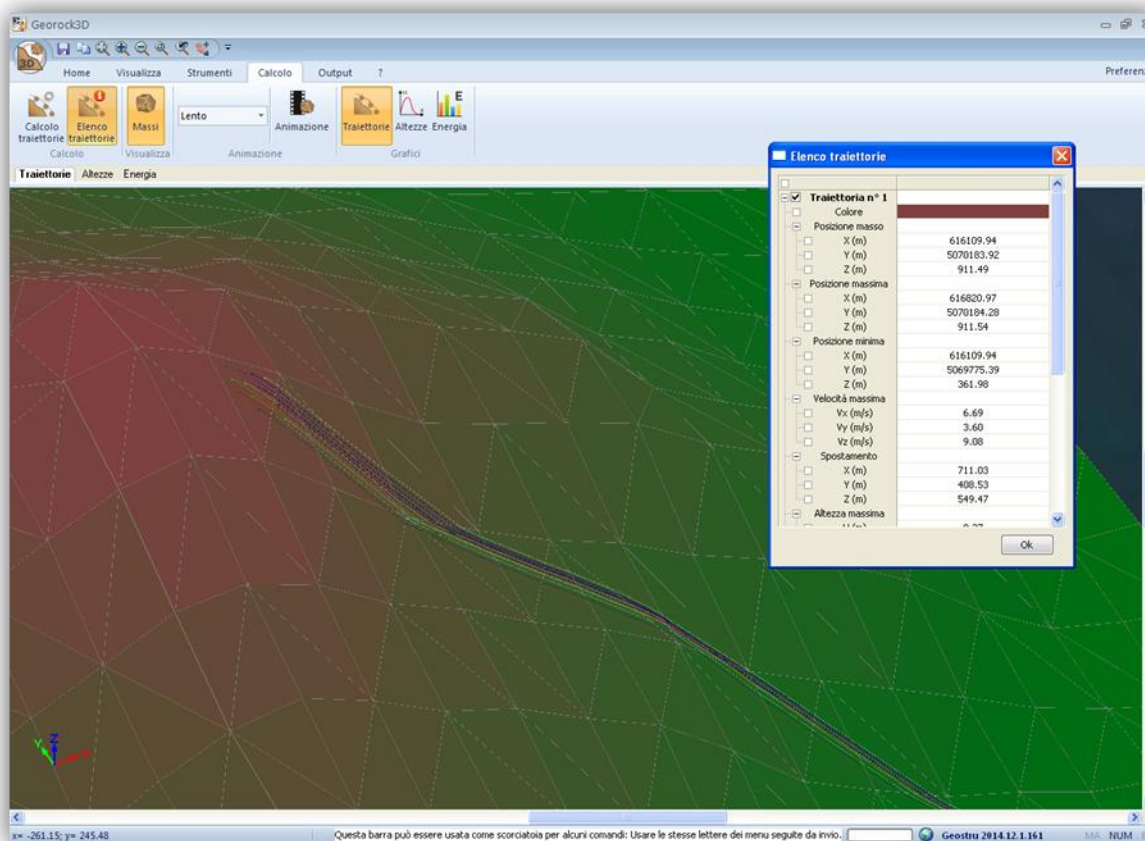
Ok Annulla ?

Calcolo

La parte di calcolo consente di individuare le traiettorie seguite dai massi durante la caduta e di elaborare anche, per ciascuna traiettoria, i grafici di Altezza ed Energia.

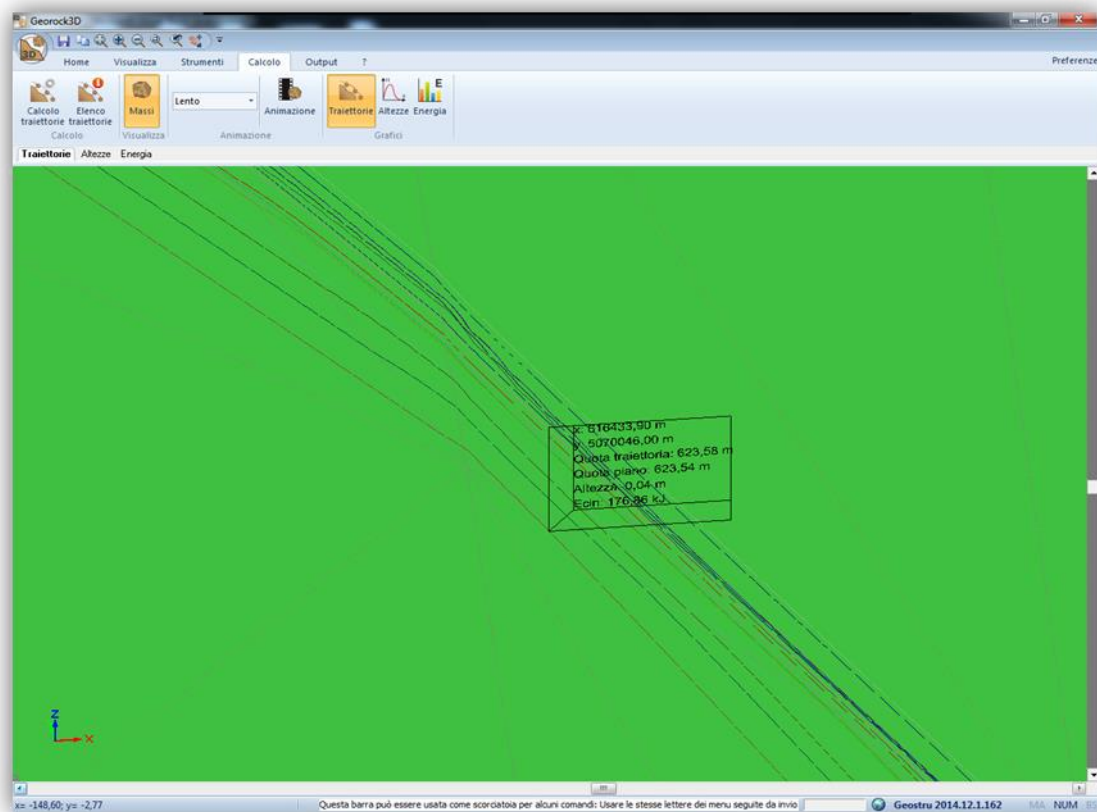
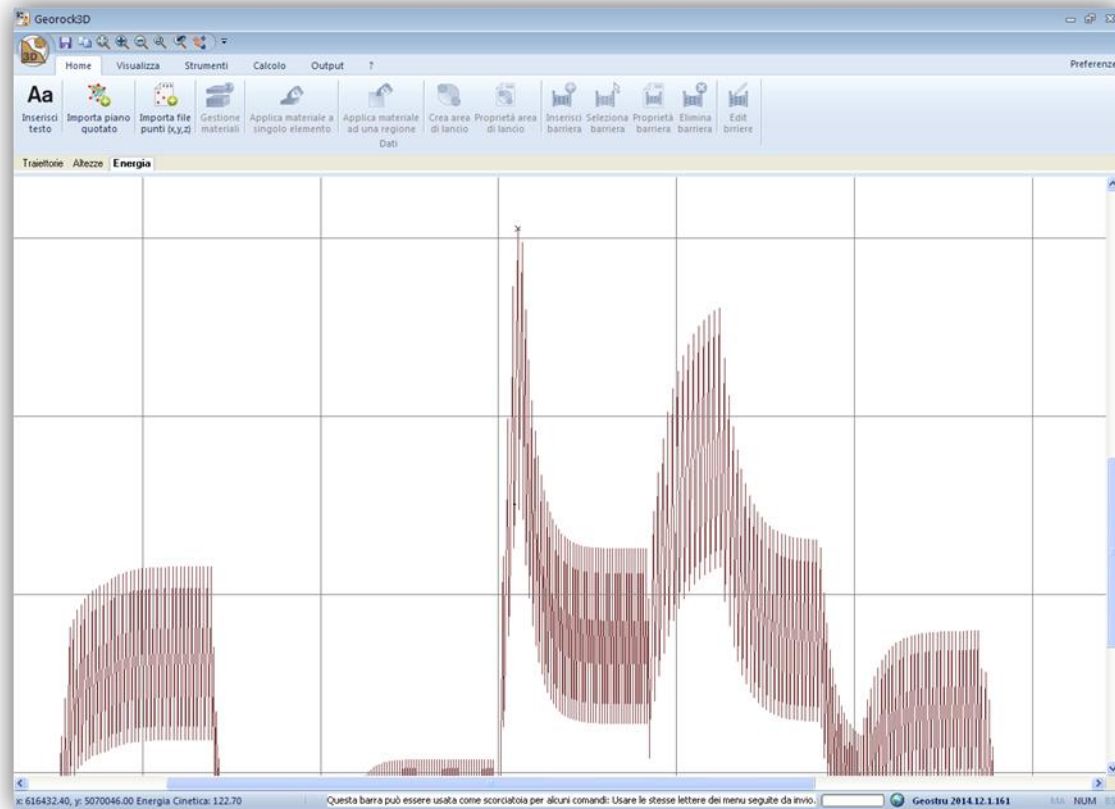
Il pulsante "Elenco traiettorie" permette di visualizzare il dettaglio dei risultati dell'elaborazione ed escludere alcune traiettorie dalla visualizzazione.

All'interno del menu calcolo è anche possibile avere un'animazione della caduta di ciascun masso.



Sul grafico delle energie e su quello delle altezze è possibile individuare dei punti che programma riporta lungo le traiettorie calcolate. Per assegnare un marcatore al grafico bisogna fare clic col pulsante destro del mouse sul grafico e selezionare, in corrispondenza del punto desiderato, l'opzione "Aggiungi marker". Il punto scelto verrà contrassegnato con una crocetta. Queste opzioni risultano vantaggiose per posizionare correttamente le barriere paramassi.

Un esempio di assegnazione e visualizzazione dei marker è riportato nelle seguenti figure in relazione alla traiettoria n. 1.



Barriere paramassi

Tra le opere di contenimento della caduta massi sono previste le barriere paramassi. Queste sono tipicamente realizzate con pannelli di rete in fune o ad anelli sostenute da montanti, funi di controvento e ancoraggi di fondazione. Le barriere devono essere certificate e capaci di fermare massi con livelli di energia derivanti dall'analisi. La certificazione va effettuata su campi prova in accordo alle procedure ETAG 027:2008 "Guideline for technical approval of Rockfall protection kits" in termini di deformazione e capacità di resistere a impatti. Generalmente si trovano in commercio distinte per classi di energia di assorbimento e altezze: sono fornite già dimensionate in tutti i componenti e devono avere la marcatura CE.

L'assegnazione e la gestione delle barriere paramassi nel software avviene mediante l'uso degli strumenti della barra "Home" evidenziati nella seguente figura.

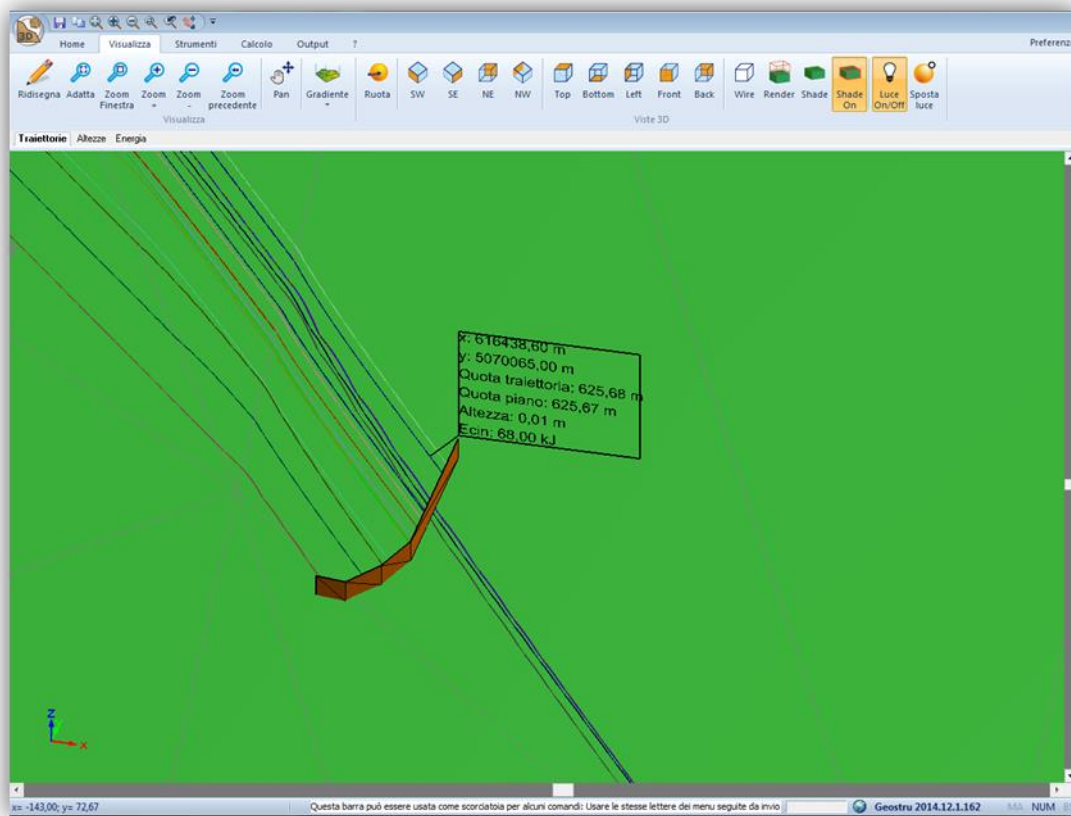
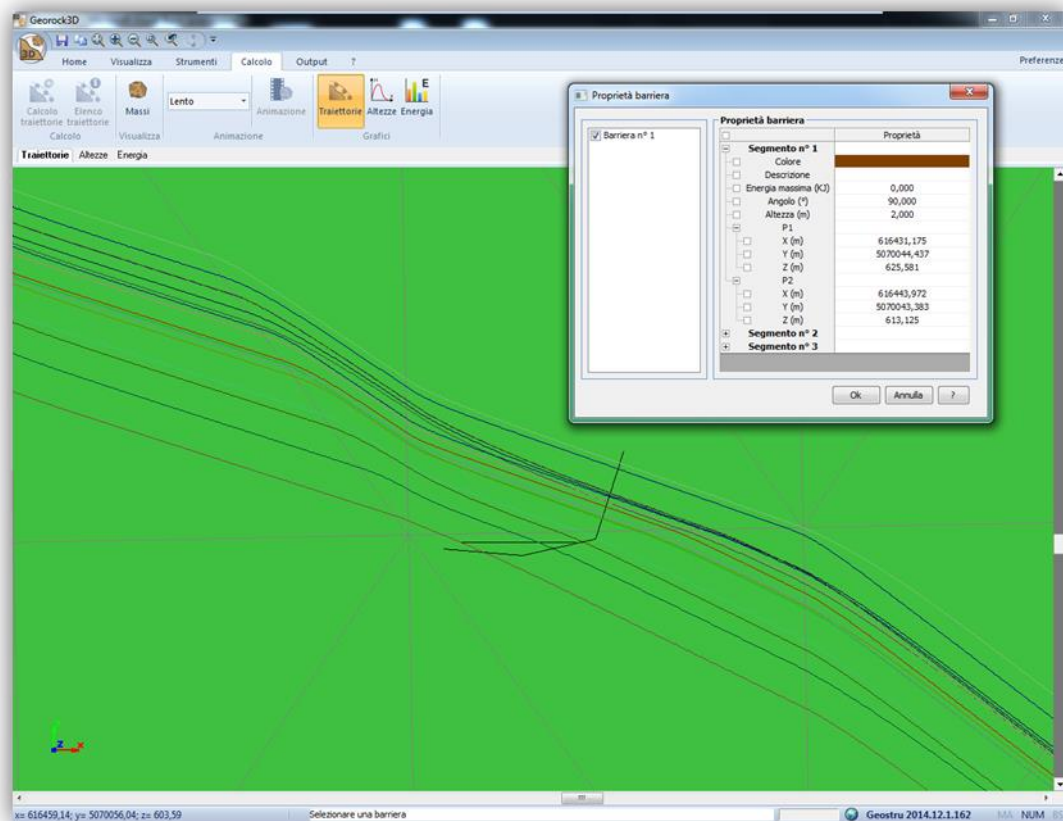


Per inserire una barriera bisogna tornare nella visualizzazione piana, individuare la zona di inserimento delle barriere, eventualmente marcata come descritto nella sezione precedente quindi cliccare sul pulsante "Inserisci barriera" e tracciare la polilinea in cui ciascun segmento rappresenta un tratto di barriera.

Attraverso la finestra di dialogo che compare dopo l'inserimento della polilinea (oppure compare quando si utilizza il pulsante "Edit barriera") è possibile modificare le proprietà di ciascun tratto inserendo:

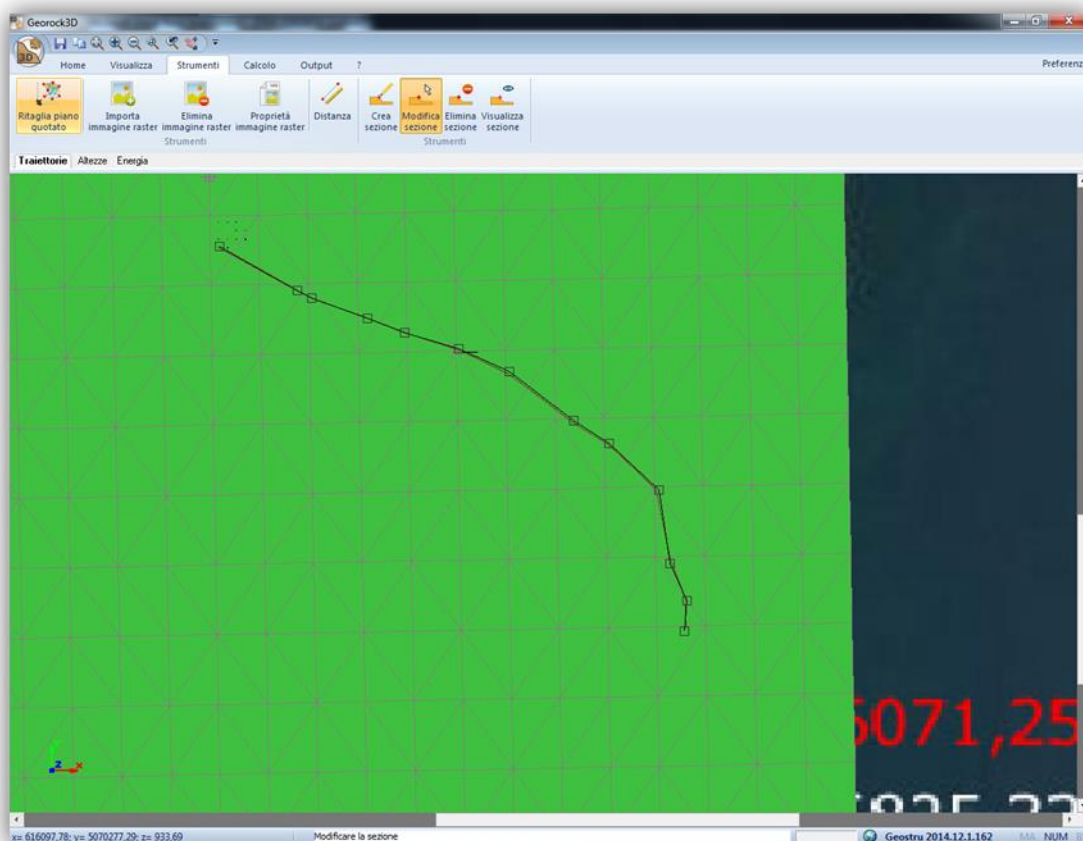
- Colore;
- Descrizione;
- Energia massima espressa in kJ;
- L'angolo di inclinazione della barriera rispetto al piano orizzontale espresso in gradi;
- L'altezza espressa in metri;
- Le coordinate dei punti iniziale e finale che individuano i segmenti di barriera espresse in metri.

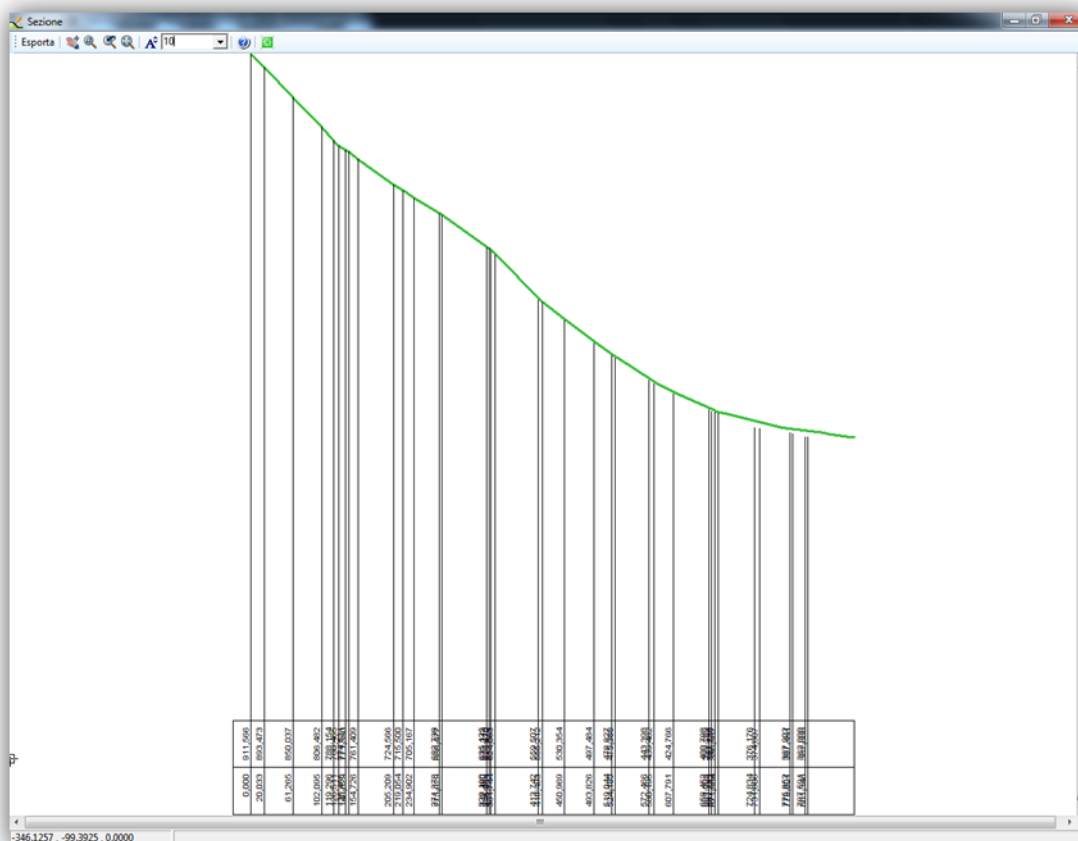
Un esempio del risultato di una elaborazione è la seguente.



Creazione di una sezione

Il software permette di estrarre una sezione bidimensionale da utilizzare con altri prodotti GeoStru. Per creare una sezione bisogna porsi nella vista piana ed utilizzare il comando "Crea sezione" nella barra "Strumenti". La sezione viene individuata tracciando una polilinea sul piano quotato e, come nell'immagine proposta, può coincidere con una traiettoria.





Output

Nella scheda di Output sono gestiti i comandi di restituzione grafica e report di testo. Con il comando "Crea relazione" il programma stampa i risultati del calcolo mentre i comandi "Esporta DXF" ed "Esporta immagine" restituiscono, rispettivamente, file .DXF e .BMP di quanto è visualizzato al momento sull'area di lavoro. È inoltre possibile stampare ciò che è visualizzato nell'area di lavoro tramite il comando di "Anteprima di stampa".