

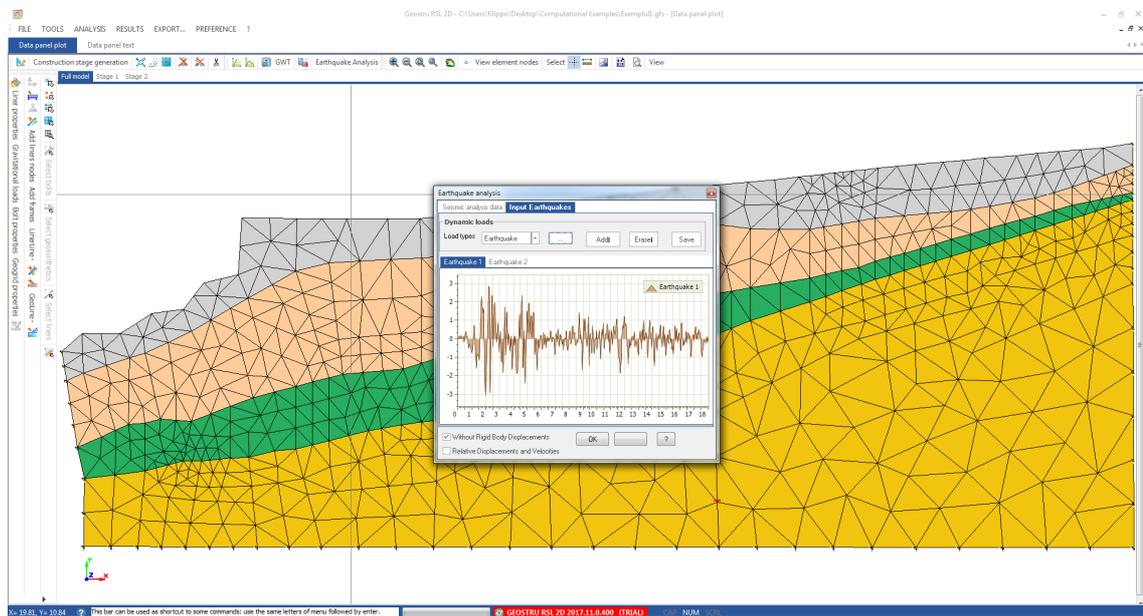
Geostru RSL 2D

Part I RSL 2D	1
Part II Premessa	3
Part III Generazione mesh di calcolo	4
Part IV Definizione delle fasi o stage	7
Part V Assegnazione accelerogrammi	12
Part VI Analisi di risposta sismica	13
Part VII Risultati	24
Part VIII Geoapp	28
1 Sezione Geoapp	29
Part IX Libri consigliati	29
Part X Contatti	32
Index	0

1 RSL 2D

Software per la valutazione della risposta sismica locale di III livello mediante un approccio agli elementi finiti, nel dominio del tempo, in termini di tensioni totali.

L'input sismico, rappresentato da uno o più accelerogrammi, viene applicato al bedrock e viene valutato il moto di propagazione delle onde per qualsiasi nodo del modello discretizzato a maglie triangolari.



Numerosi studi teorici e l'osservazione di casi reali hanno ampiamente dimostrato che la risposta sismica locale è fortemente influenzata dalla morfologia superficiale e sepolta. Negli studi più recenti di microzonazione sono stati impiegati frequentemente metodi numerici su modelli bidimensionali che consentono di considerare gli effetti della reale geometria del sottosuolo. Per contro, il risultato ottenuto con i metodi numerici, è fortemente influenzato dalle condizioni al contorno dei bordi laterali di un modello geotecnico.

La valutazione della risposta sismica locale 2D non può prescindere da un'accurata ricostruzione del modello geologico del sottosuolo tramite l'utilizzo delle informazioni geologiche di superficie ed indagini geognostiche e geofisiche. L'acquisizione di numerosi parametri, tra cui spessori, velocità e densità dei litotipi indagati, ricavati tramite utilizzo delle indagini geognostiche e geofisiche costituisce il primo passo per gli studi di

microzonazione sismica bidimensionale, i quali costituiscono l'input per le modellazioni 2D.

Il software RSL III 2D è uno strumento di calcolo che consente la modellazione bidimensionale della risposta sismica locale mediante un approccio agli elementi finiti, nel dominio del tempo, che consente di eliminare l'assunzione del bedrock completamente rigido utilizzata nel modello monodimensionale di propagazione delle onde in un suolo alla Kelvin-Voigt. Il codice di calcolo RSL III 2D consente di modellare geometrie e condizioni al contorno complesse sia del substrato, sia della superficie topografica, sia interne al deposito stesso (cavità, inclusioni). Esso esegue un'analisi agli elementi finiti (FEM) discretizzando la sezione mediante una mesh di elementi di forma triangolare, secondo uno schema di masse, molle e smorzatori viscosi concentrati nei nodi, risolvendo nel dominio del tempo le equazioni di moto scritte per ciascun nodo.

L'input sismico, rappresentato da uno o più accelerogrammi (*REXEL permette la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri di normativa*), viene applicato al bedrock, con comportamento elastico lineare, e viene valutata nel dominio del tempo la risposta del sistema all'istante t in funzione della risposta all'istante $t - \Delta t$ mediante una sequenza di analisi lineari equivalenti in cui i parametri di rigidità e smorzamento vengono aggiornati seguendo una procedura iterativa e secondo un prefissato criterio di convergenza.

I valori finali forniti dall'analisi di III livello 2D sono gli accelerogrammi e i relativi spettri di risposta, lo spettro medio e quello medio normalizzato, da confrontare con lo spettro di normativa, e vari fattori di amplificazione per diversi intervalli di periodo.

RSL III 2D è dotato di un'interfaccia utente particolarmente intuitiva e consente:

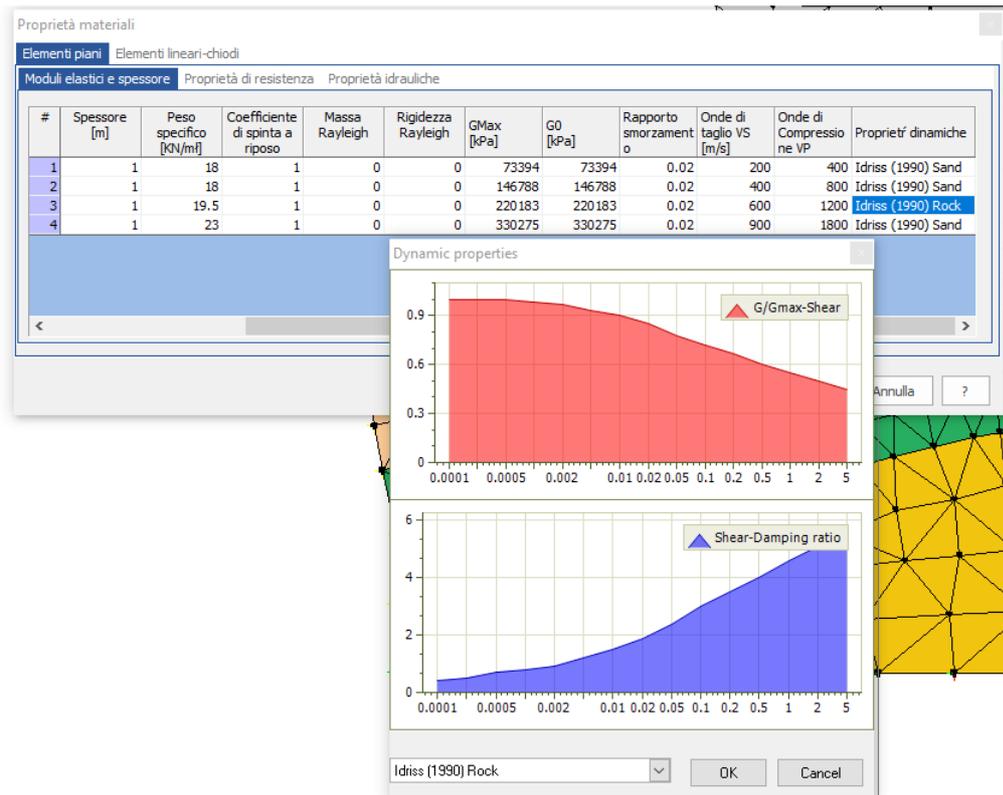
- l'importazione di accelerogrammi spettro-compatibili;
- l'importazione del modello geometrico bidimensionale da DXF;
- la generazione in automatico della mesh per la discretizzazione del modello geotecnico tenendo conto delle interfacce o dei fori presenti nella geometria assegnata;
- la determinazione della risposta sismica in termini di accelerogrammi e spettri di risposta in accelerazione in corrispondenza di ogni nodo del modello;

- l'esportazione degli spettri in formato .txt o .csv per consentirne l'importazione nel software Edifici in C.A. e/o qualsivoglia software strutturale;
- la normalizzazione degli spettri secondo le NTC e gli EUROCODICI;
- la determinazione dei parametri sismici e delle grandezze necessari ad effettuare una caratterizzazione completa del moto sismico in superficie (PGA, PGV, fattori di amplificazione su diversi periodi, intensità di Housner).
-

2 Premessa

Per effettuare un'analisi di risposta sismica locale in 2D mediante il software ad elementi finiti RSL III 2D occorre seguire i seguenti criteri:

1. *Generazione del modello geometrico semplificato* per la creazione di una mesh a maglie triangolari. Come criterio guida per la modellazione geometrica si consiglia di schematizzare ogni livello geologico mediante una regione chiusa a cui assegnare un materiale con definite proprietà. La modellazione geometrica è un passaggio fondamentale perché influenza la [costruzione della mesh](#)^[4] per la suddivisione in elementi: le dimensioni degli elementi sono importanti nell'analisi in quanto rappresentano un filtro delle frequenze. Elementi troppo grandi non consentono una corretta modellazione per le onde che hanno una lunghezza d'onda bassa e quindi rappresentano un filtro per le alte frequenze.
2. *Materiali e caratteristiche geotecniche*. Ogni materiale deve essere caratterizzato dalle consuete proprietà geotecniche (peso di volume, K_0 , modulo di deformazione, ecc), da una legge di decadimento del rapporto G/G_{max} e dello smorzamento D , in funzione della deformazione a taglio, e dalle velocità V_s e V_p . La caratterizzazione comprende anche lo strato considerato come bedrock sismico, in quanto il software considera quest'ultimo deformabile e assorbente.



Dati generali

I valori di G_{max} e G_0 iniziali vengono calcolati in automatico dal programma previa immissione della velocità V_s delle onde di taglio e del peso di volume. Il rapporto smorzamento (damping ratio) è richiesto come aliquota di quello critico. Per i dati Massa Rayleigh e Rigidezza Rayleigh si rimanda alla sezione [Analisi di riposta sismica](#)^[13]

3. *Definizione fasi.* Occorre definire due fasi: la Fase1 serve per il calcolo dello stato tensionale iniziale del modello definito. Nella Fase 2, invece, vengono assegnati gli accelerogrammi di input e le condizioni al contorno necessarie per ottenere lo spettro di output.

3 Generazione mesh di calcolo

Esistono diversi metodi per importare le coordinate dei vertici che definiscono le regioni della mesh di calcolo:

Importazione da dxf

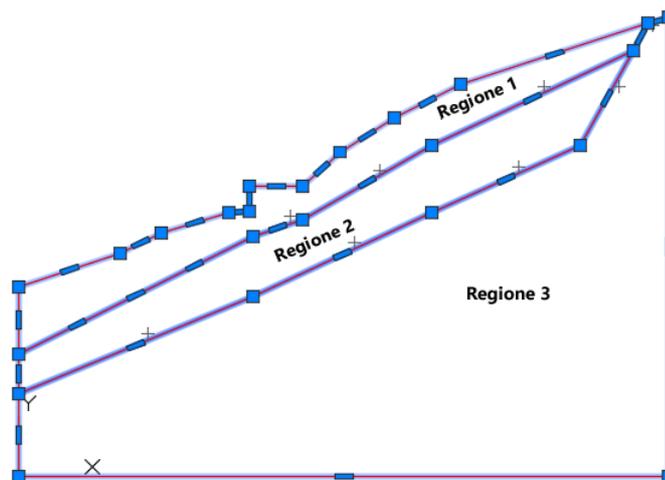
Per importare il "reticolo di calcolo", ovvero delle sequenze di nodi che definiscono delle linee chiuse (regioni), occorre aver predisposto opportunamente il file dxf. Le convenzioni da rispettare per le regioni sono:

- le regioni devono essere definite da polilinee chiuse;
- i nodi del reticolo devono coincidere con i vertici delle polilinee;

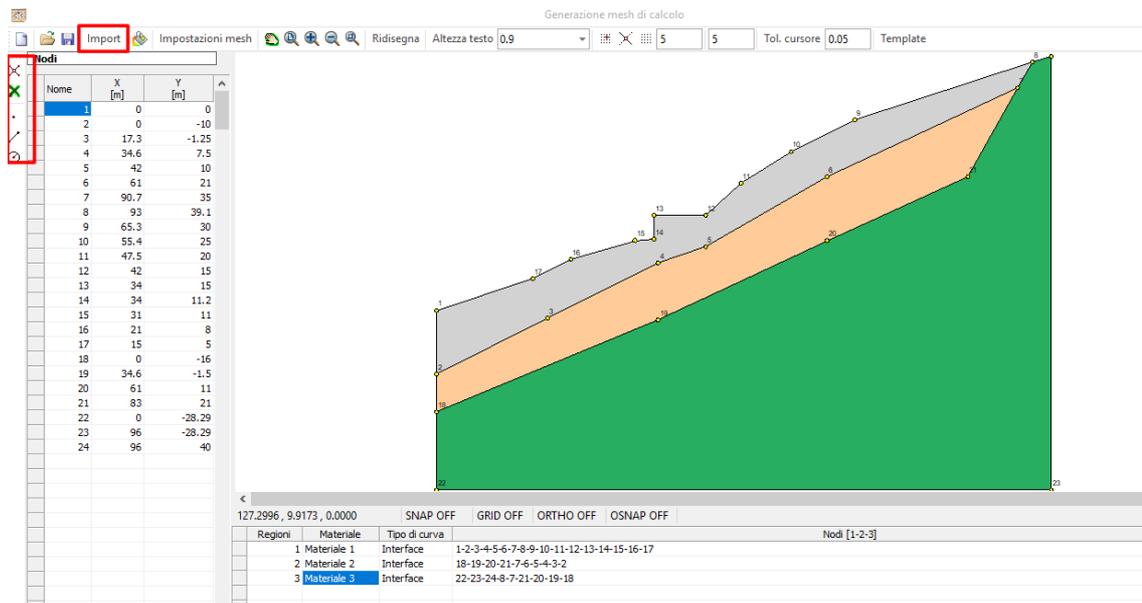
La sequenza dei nodi deve essere assegnata rispettando le seguenti convenzioni:

- partendo dal basso verso l'alto;
- percorrendo la generica polilinea chiusa con verso antiorario.

La scelta della posizione del sistema di riferimento è arbitraria. Nella seguente immagine si mostra come definire le polilinee in ambiente CAD.



Il risultato dell'importazione in RSL 2D è di seguito rappresentato, per importare il file DXF oppure txt occorre selezionare il comando **Import** e scegliere l'estensione del file che si vuole importare. E' possibile utilizzare degli strumenti di servizio per **eliminare, creare** un nodo oppure **linea** per collegare due nodi al fine di definire una regione.



Importazione da file txt

Occorre creare un file (*.txt) che riporta la struttura di ogni regione: *numero identificativo, numero dei nodi della sequenza di cui essa è definita, coordinate di ogni nodo della regione rispetto al sistema di riferimento*. Nell'esempio trattato la struttura del file testo (*.txt) è la seguente:

"GFAS FILE", "", "", "" (E' una stringa che ha validità generale, ogni file *.txt riporta tale sequenza di caratteri)

"LAYER", "1", "19", "" (indica che la regione 1 è definita da 19 nodi)

"VERTEX", "1", "0,685 (da questo punto in poi si riportano le coordinate dei vertici)

"VERTEX", "2", "34.6,702.5

.

.

.

"VERTEX", "19", "0,695 (designa che la regione 2 è definita da 13 nodi)

"LAYER", "2", "13", ""

"VERTEX", "1", "0,679

"VERTEX", "2", "34.6,693.5

.

.

.

"VERTEX", "13", "0,685

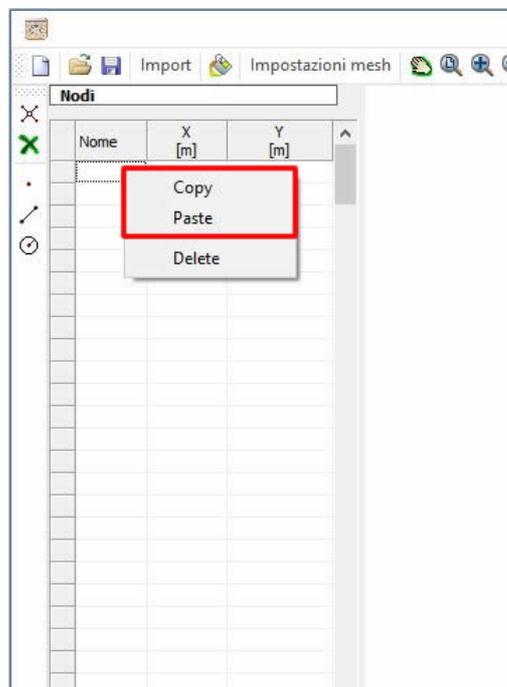
"LAYER", "3", "8", "" (specifica che la regione 3 è definita da 8 nodi)

"VERTEX", "1", "0,673

"VERTEX", "2", "96,673

.
. .
"VERTEX", "8", 0,679

Mediante click del mouse sulla griglia si attiva il comando che consente di riportare sulla griglia le coordinate dei vertici eventualmente disponibili su foglio di calcolo.r

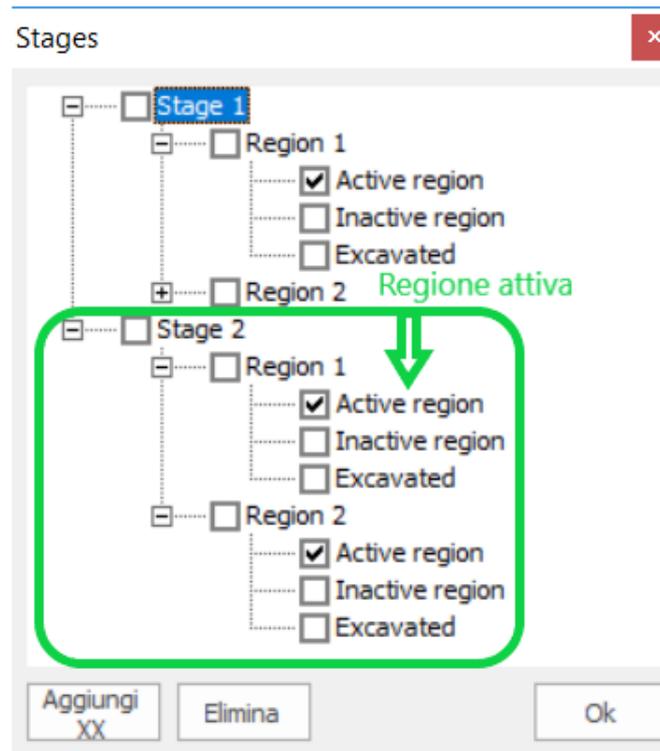


4 Definizione delle fasi o stage

Per la risposta sismica locale di terzo livello il software necessita di due stage in cui si definiscono le condizioni al contorno e si assegnano gli input (accelerogrammi).

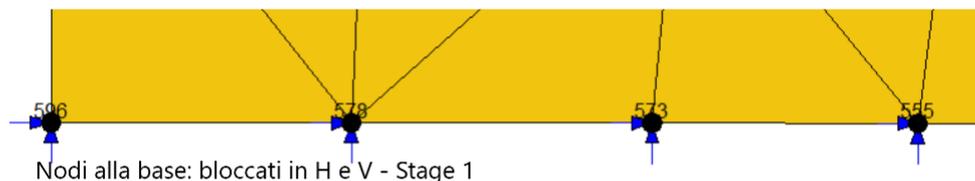
Quando si crea un nuovo file di lavoro, dopo la generazione del dominio d'interesse, il software in automatico genera uno Stage 1. Per generare il

secondo Stage (fase 2) bisogna selezionare il comando *Genera fasi di costruzione* presente sulla barra degli strumenti o nel menu STRUMENTI. Quando viene aggiunta una fase, vengono inserite tutte le regioni (o sotto domini) dello stage 1, però è necessario attivare le varie regioni affinché vengano considerate nel calcolo.

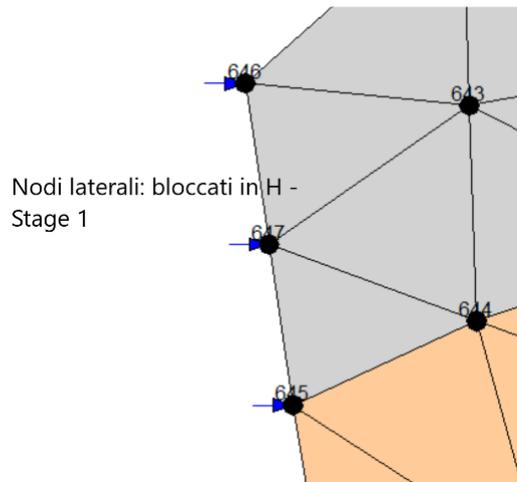


Fase1 (Stage1):

in questa fase vanno assegnate le condizioni al contorno per il calcolo dello stato tensionale iniziale. I nodi di contorno alla base del modello vanno vincolati con vincolo fisso in H e V (orizzontale e verticale).



I nodi di contorno laterali vanno vincolati solo in direzione H.



Queste ipotesi servono a definire lo stato tensionale iniziale.

Per selezionare i nodi e applicare le condizioni di vincolo premere il tasto destro del mouse per visualizzare il menu a tendina.

Fase2 (Stage2):

questa è la fase di input delle sollecitazioni sismiche e delle condizioni al contorno che definiscono i nodi sollecitati dall'accelerogramma e quelli smorzanti. Nell'assegnazione delle condizioni al contorno bisogna tenere presente che esse non solo definiscono le condizioni reali del nostro modello, ma assegnano altresì delle condizioni numeriche. Ad esempio, le condizioni al contorno dei nodi laterali permettono di contenere fenomeni di riflessioni e rifrazioni delle onde ed ottenere un risultato numerico vicino al comportamento reale di un deposito. Per i nodi laterali si possono definire contorni smorzanti che assorbono parte dell'energia delle onde evitando fenomeni di riflessione.

Per capire meglio come vanno assegnate le condizioni al contorno è utile tener presente quanto segue:

- i vincoli possono essere assegnati in direzione X (orizzontale o H) e in Y (verticale o V);
- i vincoli possono essere fissi (spostamento assegnato = 0) sia in X che in Y, oppure smorzanti in X e Y;
- i vincoli smorzanti possono essere di tipo *Free* o *Load*: nel caso *Free* il nodo è libero di spostarsi nella direzione in cui è stato assegnato senza considerare l'effetto smorzante, diversamente, se *Load*, significa che il nodo si muoverà condizionato dall'effetto dello smorzamento.

Il bedrock sismico va considerato deformabile affinché l'energia delle onde riflesse sulla base venga assorbita dallo smorzamento.

Alla base del modello (bedrock sismico) i nodi avranno effetto smorzante in direzione orizzontale o, comunque, sono liberi di spostarsi in direzione H orizzontale o X, e avranno spostamento assegnato nullo in V (verticale o Y), ossia è bloccato lo spostamento in verticale dei nodi.



Nodi base: liberi in H e spostamento nullo in V - Stage 2

Le assegnazioni esposte sono rappresentate nella figura seguente (riquadro in verde):

Condizioni al contorno

Vincoli Idraulica

Vincoli fissi	Spostamenti assegnati	Rigidezza molla [kN/m]	Acc. Assegn.	Contorno smorzante
<input checked="" type="checkbox"/> direzione x				Free
<input checked="" type="checkbox"/> direzione y	0			

Tipo fissità

Fisso

Spostamenti assegnati

Molle elastiche

Accelerazioni assegnate

Contorni smorzanti

Verticale

Orizzontale

Nota: lasciare vuoto lo spostamento assegnato se non è richiesto un vincolo. Il valore zero può essere usato come vincolo completamente fisso.

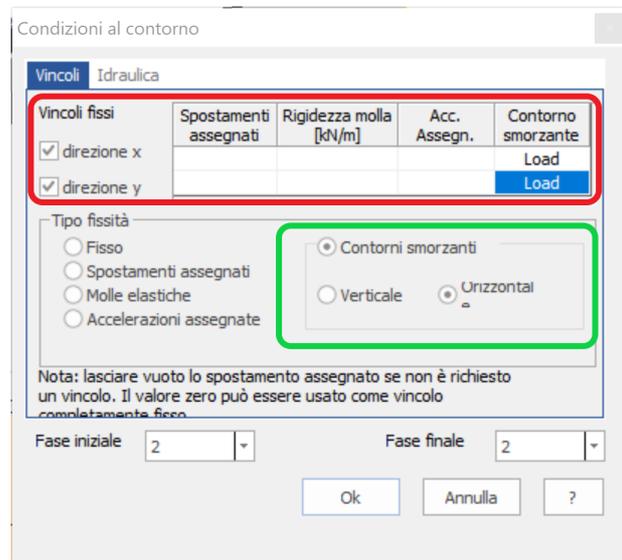
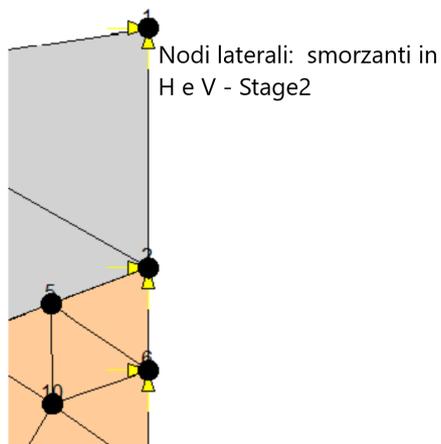
Fase iniziale: 2

Fase finale: 2

Ok Annulla ?

Queste condizioni al contorno andranno applicate nella Fase 2 (o Stage 2), nella quale è eseguita l'analisi di amplificazione.

I nodi laterali del modello nella Fase 2 devono essere nodi smorzanti (**absorbing boundary**). Tale assunzione permette di modellare la perdita di energia nelle zone al di là del dominio che si vuole analizzare: se si considerassero vincolati rigidamente si verificherebbero riflessioni delle onde che andrebbero ad alterare la reale amplificazione del dominio di interesse.



Pertanto, per i nodi della frontiera laterale, nelle condizioni al contorno dovranno essere impostate le assegnazioni riportate di seguito:

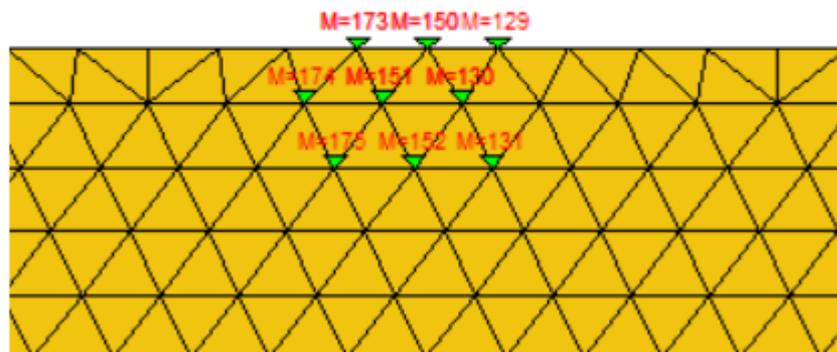
Direzione x (o H): Contorno smorzante – Load (evidenziati in rosso nel riquadro della finestra del software)

Direzione y (o V): Contorno smorzante – Load (evidenziati in rosso nel riquadro della finestra del software)

Contorni smorzanti: orizzontali (evidenziati in verde nel riquadro della finestra del software).

Le assegnazioni vanno effettuate in Fase 2 (Stage 2), quindi le Fasi iniziale e finale corrispondono alla Fase 2.

Nella Fase 2 (Stage 2) si possono selezionare solo alcuni nodi in cui verrà restituita l'analisi di risposta sismica locale: questi nodi sono detti *nodi monitorizzati*. Il vantaggio di avere nodi monitorizzati comporta una riduzione notevole dei tempi di calcolo in quanto la RSL verrà restituita solo nei suddette non in tutti i nodi del dominio. Per scegliere i nodi monitorizzati selezionare un nodo o un gruppo di nodi e assegnare Nodi monitorizzati, premendo il tasto destro del mouse e scegliendo Applica.



I nodi monitorizzati sono evidenziati in rosso come nella figura sovrastante.

5 Assegnazione accelerogrammi

Questo stadio dell'input appartiene sempre alla Fase2 (Stage2) e consiste nell'individuazione dei nodi ai quali sarà applicato l'accelerogramma: si tratta dei nodi che definiscono l'interfaccia del bedrock e quindi, generalmente, situati alla base del nostro modello.

Condizioni al contorno

Vincoli Idrraulica

Vincoli fissi	Spostamenti assegnati	Rigidezza molla [kN/m]	Acc. Assegn.	Contorno smorzante
<input checked="" type="checkbox"/> direzione x			Load	
<input checked="" type="checkbox"/> direzione y			Free	

Tipo fissita

Fisso
 Spostamenti assegnati
 Molle elastiche
 Accelerazioni assegnate

Contorni smorzanti

Verticale
 Orizzontale

Nota: lasciare vuoto lo spostamento assegnato se non è richiesto un vincolo. Il valore zero può essere usato come vincolo completamente fisso.

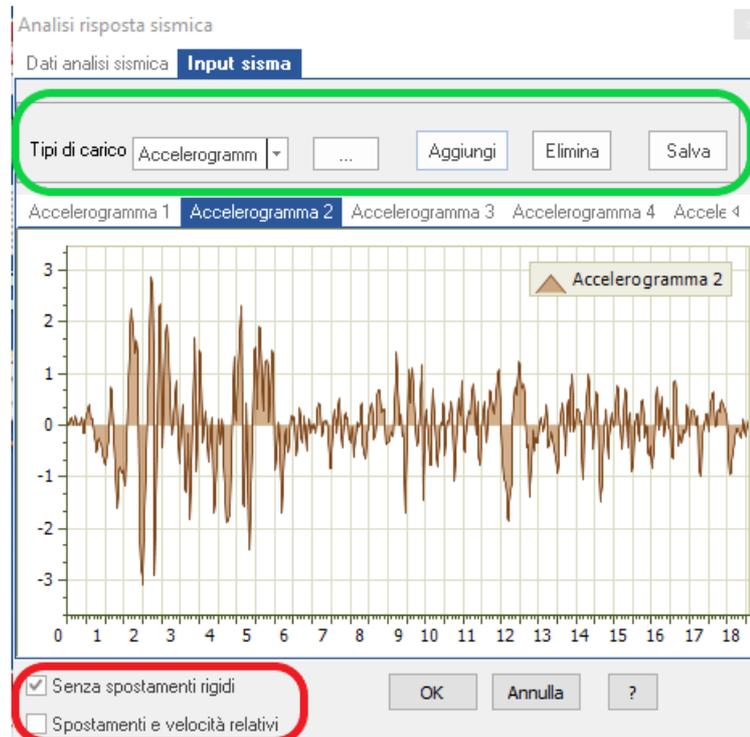
Fase iniziale Fase finale

Ok Annulla ?

I nodi selezionati sui quali sarà assegnato l'accelerogramma dovranno essere considerati caricati da un accelerogramma (riquadro rosso) e, nella colonna Acc. Assegn. (Accelerazioni Assegnate), i nodi in direzione orizzontale H (o X) saranno caricati dall'accelerogrammi mentre in direzione verticale V (o Y) i nodi saranno liberi. Questa fase di assegnazione è successiva a quella della definizione delle condizioni al contorno della Fase2 (Stage 2).

6 Analisi di risposta sismica

L'avvio dell'analisi di risposta sismica bidimensionale è collocato nel menu **Analisi**. Il comando **Analisi risposta simica** visualizza la finestra in cui vanno inseriti i parametri dell'analisi e gli accelerogrammi.



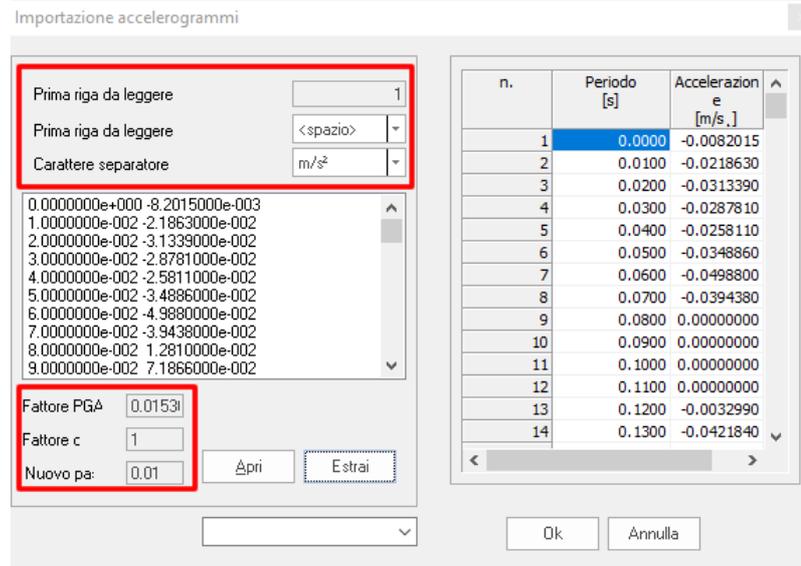
Nella scheda Input sisma si possono aggiungere fino ad un massimo di 10 accelerogrammi. La selezione del file TXT dell'accelerogramma si esegue dal pulsante ... presente vicino a Tipo di carico nel riquadro verde. Nella stessa scheda è possibile scegliere due opzioni di analisi:

- a) Senza spostamenti rigidi
- b) Spostamenti e velocità relativi

L'opzione (a) non considera, nell'analisi dinamica, lo spostamento assoluto rigido del sistema. Generalmente questa opzione va selezionata in quanto gli spostamenti rigidi non comportano sforzi supplementari.

Selezionando l'opzione (b), a fine calcolo, viene restituito per ogni nodo lo spostamento relativo, diversamente lo spostamento restituito è quello assoluto.

L'importazione degli accelerogrammi è gestita dalla finestra sotto raffigurata e vien richiamata dal click sul pulsante ... presente vicino a **Tipo di carico**.



La finestra di selezione del file TXT consente di scegliere la prima riga della registrazione, il campo separatore del periodo e dell'accelerazione e l'unità di misura dell'accelerazione registrata.

Il comando **Estrai** acquisisce la registrazione visualizzata in anteprima. Nel riquadro rosso può essere variata l'accelerazione di picco PGA, considerare un fattore di scalatura e impostare un nuovo passo di scansione dell'accelerogramma.

Quest'ultimo è impostato di default sul passo dell'accelerogramma importato.

Il software RSL III 2D consente di effettuare tre tipi di analisi:

- Analisi lineare a smorzamento variabile
- Analisi lineare a smorzamento costante
- Analisi non lineare equivalente

Dal punto di vista teorico, l'analisi dinamica per un numero finito di nodi viene eseguita risolvendo un sistema di equazioni del tipo:

$$[M]\ddot{u} + [C]\dot{u} + [K]u = R$$

dove

[M] = matrice delle masse

[C] = matrice degli smorzatori

[K] = matrice delle rigidità

R = vettore dei carichi noti e pari a $[M]a_g$ con a_g accelerogramma di input.

u è il vettore degli spostamenti relativi.

La risoluzione del sistema avviene nel dominio del tempo secondo il criterio di Newmark: esso consiste in una serie di integrazioni successive, per ogni passo Δt , che consente di determinare la velocità e, quindi, lo spostamento relativo u . Nell'applicazione del metodo di Newton sono richiesti alcuni parametri d'integrazione.

Parametri di integrazione per la risoluzione del sistema (riquadro giallo in figura sottostante).

Analisi risposta sismica

Dati analisi sismica Accelerogrammi

Tipo analisi:

Tipo di analisi sismica

Smorzame

Frequenza singola n Smorzame Tolleranza Nr. iterazioni Coff. Rid. Def.

Aggiorna frequenza ad ogni iterazione

Tipo matrice massa

Puntuale Tolleranza Consistente Nr. iterazioni

Parametri analisi non lineare

Theta Massa Rayleigh Rigidezza Rayleigh

Parametri integrazione

Passo integrazione Nr di iterazioni Beta Gamma

Input sismico

Forze equivalenti Metodo massa aggiuntiva

Materiale Bed Rock # Penalità massa

Senza spostamenti rigidi
 Spostamenti e velocità relativi
 Reazione supporti

OK Annulla ?

Il passo integrazione riguarda la scansione dell'accelerogramma considerato nel calcolo. Generalmente è pari al passo della registrazione, diversamente, in questa casella è possibile definirne uno personalizzato.

Nr. step, rappresentano il numero di intervalli, funzione del passo d'integrazione, in cui viene suddiviso l'accelerogramma durante l'integrazione.

Beta e Gamma: sono due parametri del metodo di integrazione di Newmark che generalmente hanno valore, rispettivamente, di 0.25 e 0.5.

Ricordiamo che il metodo qui considerato permette, tramite integrazioni successive, di passare dall'accelerazione alla velocità e, quindi, allo spostamento.

Lo **smorzamento del terreno** è messo in conto attraverso la matrice [C]. Per ogni elemento i in cui è suddiviso il dominio, C_i è calcolata secondo il criterio di Rayleigh, che è correlato con la massa e la rigidezza:

$$C_i = \alpha \cdot M_i + \beta \cdot K_i$$

Dove α e β sono due coefficienti chiamati, rispettivamente, Rayleigh Mass e Rayleigh Stiffness, mentre M_i e K_i sono la massa e la rigidezza del singolo elemento. Usando questa formulazione si può rendere lo smorzamento λ (o damping ratio) dipendente dalla frequenza circolare secondo la seguente relazione:

$$\lambda_i = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_i}{\omega} + \beta_i \omega \right)$$

dove α e β per l'elemento i -esimo sono calcolati come segue:

$$\alpha_i = \lambda_i \omega_1$$

$$\beta_i = \frac{\lambda_i}{\omega_1}$$

con ω_1 la frequenza principale corrispondente al primo modo di vibrazione.

Analisi lineare a smorzamento costante (in rosso nella figura sottostante): il software esegue il calcolo usando la matrice di smorzamento consistente di Rayleigh con α e β costanti per tutti i nodi e pari ai valori indicati in Rayleigh Mass e Rayleigh Stiffness.

Analisi risposta sismica

Dati analisi sismica Accelerogrammi

Tipo analisi: Analisi non lineare equivalente

Tipo di analisi sismica

Smorzame

Smorzame	n Smorzamer	Tolleranza	Nr. iterazioni	Coff. Rid. Def.
Frequenza singola	10	0.01	10	0.65

Aggiorna frequenza ad ogni iterazione

Tipo matrice massa

Puntuale Tolleranza: 0.00001

Consistente Nr. iterazioni: 30

Parametri analisi non lineare

Theta	Massa Rayleigh	0.2
0.5	Rigidezza Rayleigh	0.2

Parametri integrazione

Passo integrazione: 0

Nr di iterazioni: 0

Beta: 0.25

Gamma: 0.5

Input sismico

Forze equivalenti

Materiale Bed Rock #: 1

Metodo massa aggiuntiva

Penalità massa: 1E20

Senza spostamenti rigidi

Spostamenti e velocità relativi

Reazione supporti

OK Annulla ?

Theta è un parametro di integrazione posto, generalmente, pari a 0,5

Analisi lineare a smorzamento variabile: il software esegue il calcolo usando come parametri dello smorzamento quelli definiti nella griglia dei materiali.

Analisi non lineare equivalente (riquadro verde nell'immagine seguente).

Analisi risposta sismica

Dati analisi sismica Accelerogrammi

Tipo analisi: Analisi non lineare equivalente

Tipo di analisi sismica

Smorzame	n Smorzamer	Tolleranza	Nr. iterazioni	Coff. Rid. Def.
Frequenza singola	10	0.05	5	0.65

Aggiorna frequenza ad ogni iterazione

Tipo matrice massa

Puntuale Tolleranza: 0.00001

Consistente Nr. iterazioni: 30

Parametri analisi non lineare

Theta: 0.5

Massa Rayleigh: 0.2

Rigidezza Rayleigh: 0.2

Parametri integrazione

Passo integrazione: 0.05

Nr di iterazioni: 363

Beta: 0.25

Gamma: 0.5

Input sismico

Forze equivalenti

Materiale Bed Rock #: 1

Metodo massa addizionale

Penalità massa: 1E20

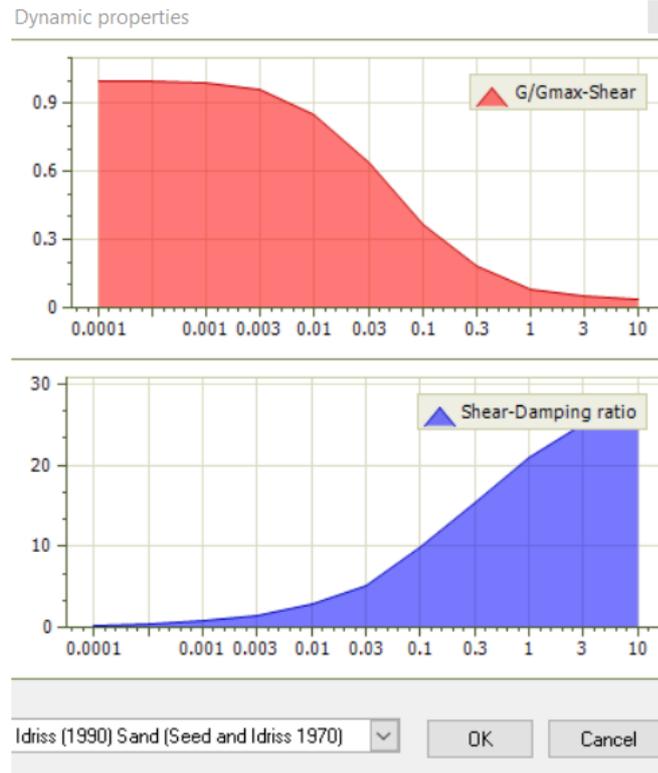
Senza spostamenti rigidi

Spostamenti e velocità relativi

Reazione supporti

OK Annulla ?

In questo caso il programma esegue una sequenza di analisi lineari in cui i parametri di rigidezza e smorzamento vengono aggiornati iterativamente fino al raggiungimento di un fattore di convergenza. Il calcolo inizia con i valori iniziali di G e D inseriti nella finestra dei materiali e viene determinata la deformazione a taglio collegata al valore dello spostamento u . In ogni iterazione i valori di D e G/G_{max} vengono aggiornati in funzione del livello di deformazione efficace raggiunto e il calcolo si ferma quando la differenza dei valori di G e D tra un'iterazione e la successiva è inferiore al livello di tolleranza fissato dall'utente.



Per questa tipologia di analisi si può scegliere di aggiornare anche la frequenza circolare ω ad ogni iterazione. Questo implica che il calcolo dei coefficienti di Rayleigh α e β nella matrice di smorzamento C sono aggiornati ad ogni iterazione per ogni elemento in funzione della frequenza principale ω_1 , nel caso di **Frequenza singola**, o di ω_1 e ω_2 nel caso di **Frequenza doppia**. Per ciascun elemento, in caso di Frequenza doppia, le espressioni di α e β sono:

$$\alpha_i = 2\lambda_i \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega_1 + \omega_2}$$

$$\beta_i = 2\lambda_i \frac{1}{\omega_1 + \omega_2}$$

con ω_1 frequenza principale e $\omega_2 = nDamp \times \omega_1$, con $nDamp$ generalmente posto pari a 10. In sostanza per ogni iterazione viene calcolata la deformazione di taglio media per ciascun elemento e viene consultata la curva di smorzamento per aggiornare il valore corretto dello smorzamento.

La **Tolleranza** definisce lo scarto tra i valori di α , G e D , trovati tra un'iterazione e la successiva, che determina la fine del calcolo iterativo.

Il **Nr. Iterazioni** stabilisce quante iterazioni devono essere eseguite dal programma: un numero elevato di iterazioni (>10) comporta un inutile aggravio dei tempi di calcolo.

Coeff. Rid. Def. È un coefficiente che riduce la deformazione massima, il suo valore, usualmente viene posto pari a 0,65. Esso si calcola dalla seguente espressione: $\gamma_{\text{eff}}/\gamma_{\text{max}} = (M-1)/10$

Altri parametri dell'analisi non lineare equivalente riguardano l'analisi modale ad elementi finiti in cui va definita la matrice di massa (riquadro blu):

Analisi risposta sismica

Dati analisi sismica Accelerogrammi

Tipo analisi: Analisi non lineare equivalente

Tipo di analisi sismica

Smorzame: Frequenza singola, n Smorzamer: 10, Tolleranza: 0.01, Nr. iterazioni: 10, Coeff. Rid. Def.: 0.65

Aggiorna frequenza ad ogni iterazione

Tipo matrice massa

Puntuale Tolleranza: 0.00001

Consistente Nr. iterazioni: 30

Parametri analisi non lineare

Theta: 0.5, Massa Rayleigh: 0.2, Rigidezza Rayleigh: 0.2

Parametri integrazione

Passo integrazione: 0, Nr di iterazioni: 0, Beta: 0.25, Gamma: 0.5

Input sismico

Forze equivalenti

Materiale Bed Rock #: 1

Metodo massa addizionale

Penalità massa: 1E20

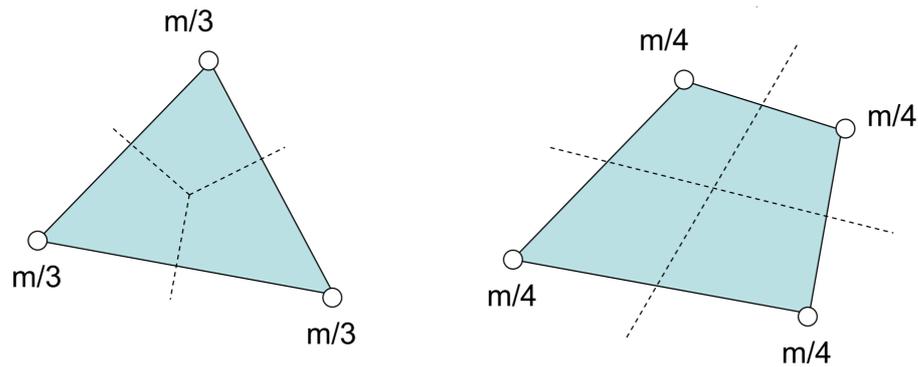
Senza spostamenti rigidi

Spostamenti e velocità relativi

Reazione supporti

OK Annulla ?

Massa puntuale ("lumped"): la massa viene considerata concentrata nei nodi.



In questo caso la struttura della matrice di massa è diagonale e comporta notevoli vantaggi per la minore occupazione di memoria e la consistente riduzione dei tempi di calcolo. Di solito, questa assunzione, non comporta grossi errori e quindi è preferibile.

Massa consistente ("consistent"): la massa è distribuita e la corrispondente matrice è sostanzialmente piena e simmetrica. Questa assunzione produce errori minori in valore assoluto, ma comporta un aggravio nei tempi di calcolo.

Parametri analisi modale: per l'analisi modale occorre fissare un fattore di Tolleranza, che stabilisce quando si deve fermare il calcolo, e un Nr. di iterazioni. Se il calcolo raggiunge il numero di iterazioni impostato, esso si ferma anche se non è stata raggiunta la tolleranza desiderata. L'analisi modale va eseguita per tutti i nodi del dominio, quindi non è effettuata dal software quando sono presenti [nodi monitorizzati](#)⁷⁴.

Analisi risposta sismica

Dati analisi sismica Accelerogrammi

Tipo analisi:

Tipo di analisi sismica

Smorzame	n Smorzamer	Tolleranza	Nr. iterazioni	Coff. Rid. Def.
<input type="text" value="Frequenza singola"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="0.05"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="0.65"/>

Aggiorna frequenza ad ogni iterazione

Tipo matrice massa

Puntuale Tolleranza

Consistente Nr. iterazioni

Parametri analisi non lineare

Theta Massa Rayleigh

Rigidezza Rayleigh

Parametri integrazione

Passo integrazione

Nr di iterazioni

Beta

Gamma

Input sismico

Forze equivalenti

Materiale Bed Rock #

Metodo massa addizionale

Penalità massa

Senza spostamenti rigidi

Spostamenti e velocità relativi

Reazione supporti

OK Annulla ?

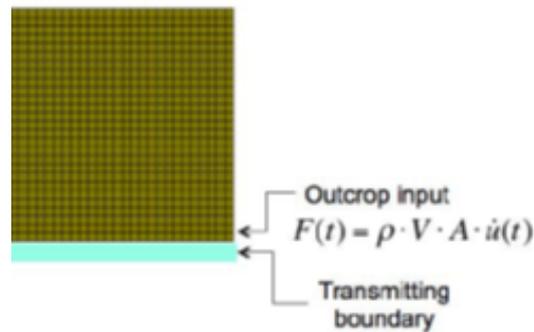
Input sismico

Nell'esecuzione del calcolo di RSL è possibile scegliere due differenti metodologie: **Forze equivalenti** e **Metodo massa addizionale**.

Con il primo approccio l'input sismico è definito in termini di forze nodali equivalenti (o forze sismiche effettive), che sono proporzionali alla velocità dell'onda incidente e sono applicate nella direzione orizzontale lungo la base del dominio definito dal modello. Questo tipo di input sismico (outcrop input) viene considerato come una forza di taglio temporale:

$$F(t) = \rho V_s A v(t)$$

Dove ρ è la densità del bedrock, V_s rappresenta la velocità delle onde S nel bedrock, $v(t)$ rappresenta la velocità del sisma e A rappresenta il contributo areale associato al nodo caricato.



Input sismico approccio Forze equivalenti

Tali forze sono calcolate in automatico dal software e sono applicate nei nodi del dominio a contatto con il bedrock, quindi il vantaggio di questo metodo è, appunto, quello di non dover modellare lo strato del bedrock ma bisogna solo scegliere il materiale di cui è costituito. Selezionando questo metodo le condizioni al contorno, nella Fase 1 (Stage 1) sono rappresentate da molle sia in orizzontale (H) che in verticale (V) per tutti i nodi di contorno del dominio. Nella Fase 2 (Stage 2) il software calcola in automatico le reazioni delle molle per tutti i contorni del dominio.

Nota 1: La velocità viene acquisita dall'accelerazione del terremoto ipotizzando condizioni iniziali nulle, quindi le serie temporali della velocità sono determinate come:

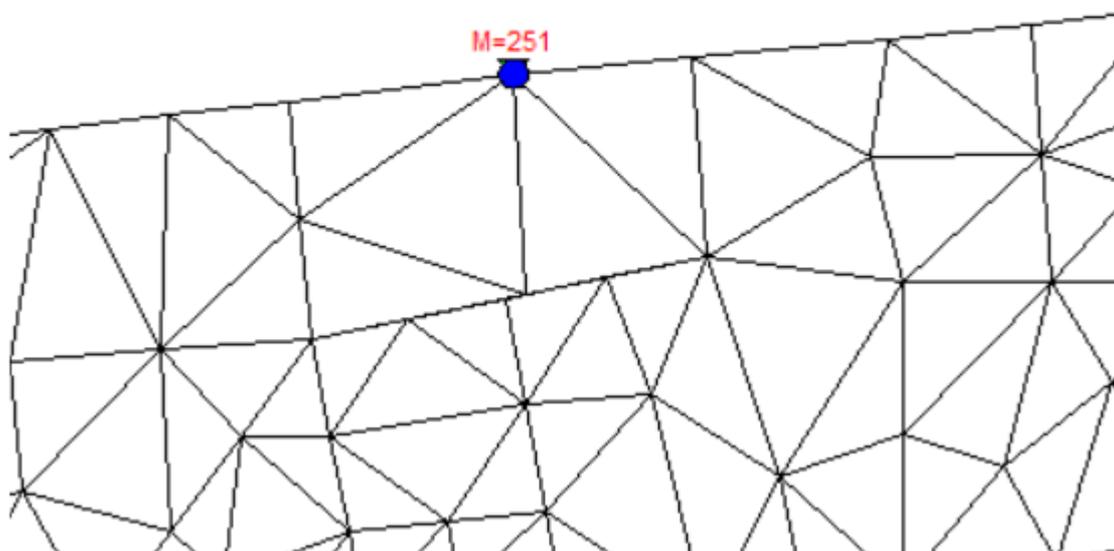
$$v(t) = \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) d\tau$$

dove $u_g(\tau)$ è l'accelerazione registrata (outcrop acceleration)

Nota 2: Quando

7 Risultati

Conclusa l'analisi non lineare equivalente (consigliata per avere lo spettro di risposta), la visualizzazione dei risultati dell'analisi è attivabile dal Menu Risultati, Plot risultati. In questo pannello verrà visualizzata la mesh con i nodi monitorizzati evidenziati come in figura:

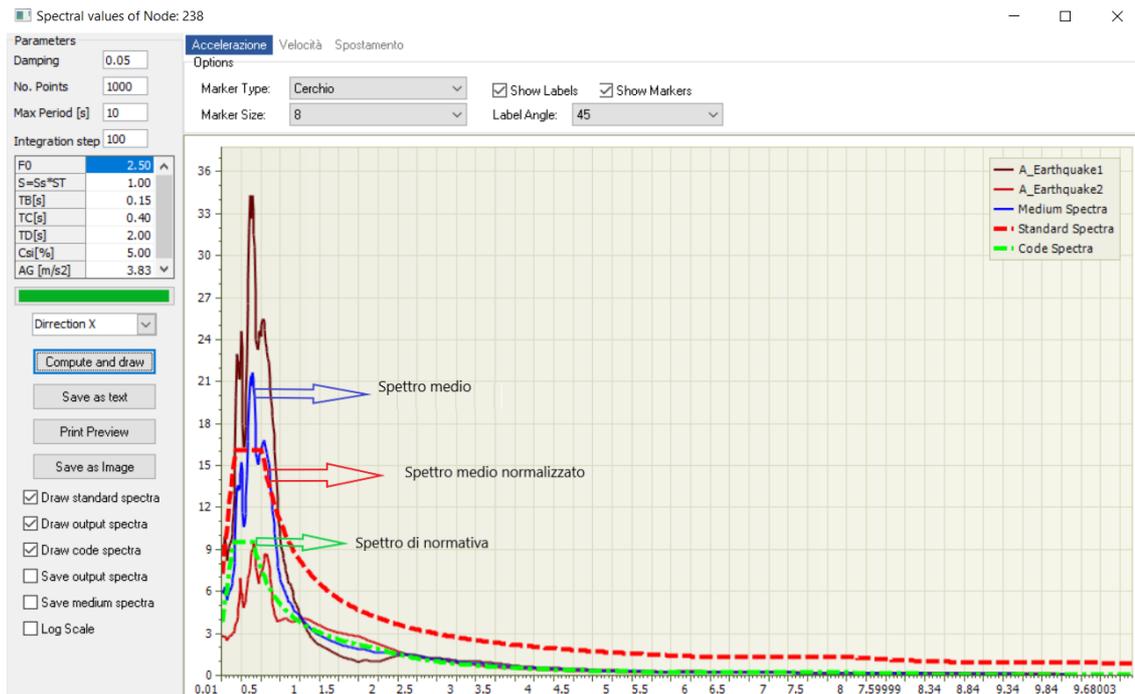


Nodo monitorizzato

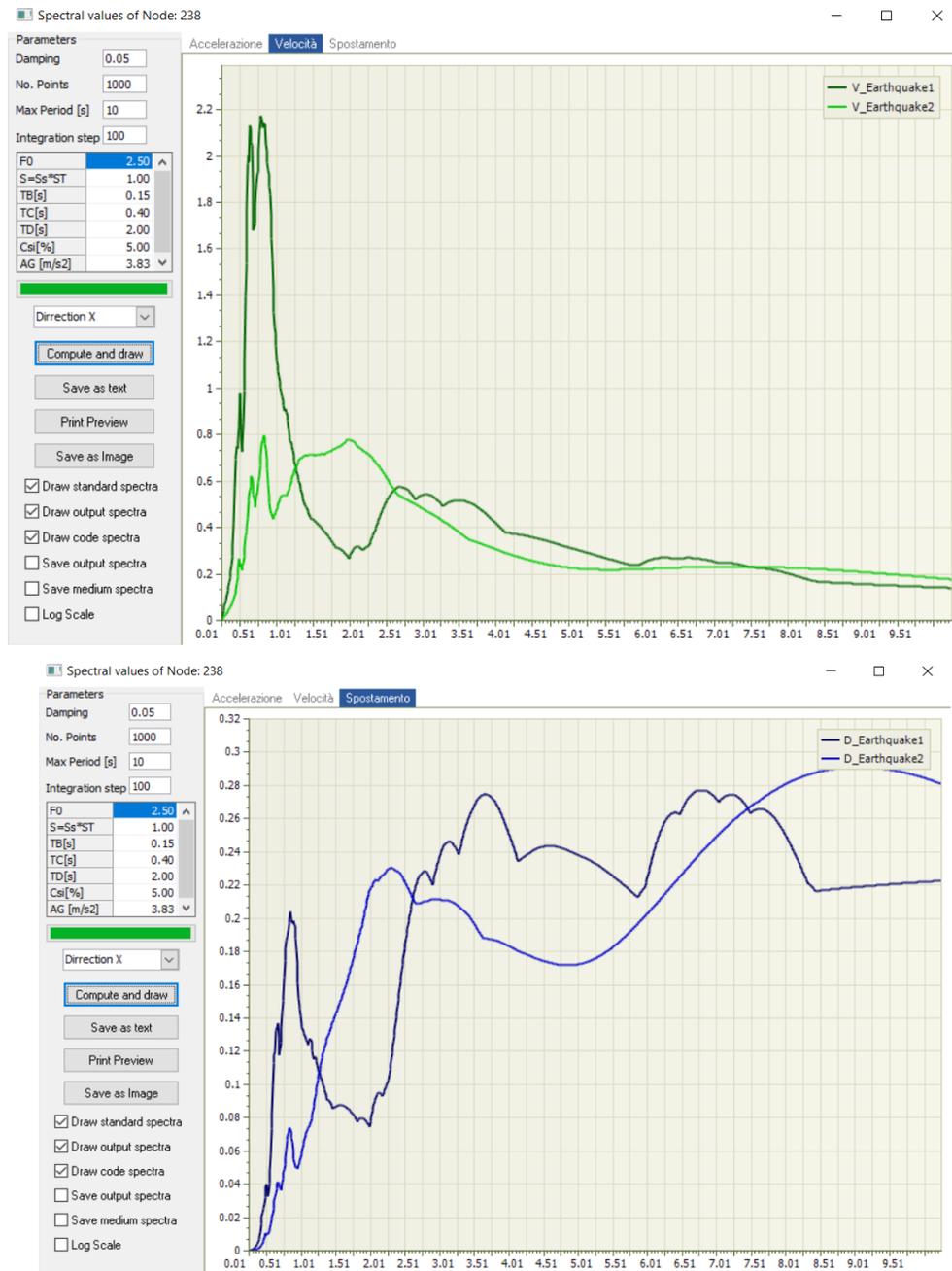
Cliccando sul nodo scelto compare la finestra in cui vengono riportati lo spettro ottenuto o la risposta in termini di accelerogramma.

Show node spectra

Selezionare questa opzione se si vuole ottenere il risultato in termini di spettro di risposta in accelerazione, velocità e spostamento. Per visualizzare gli spettri va scelto il comando *Calcola e disegna*.



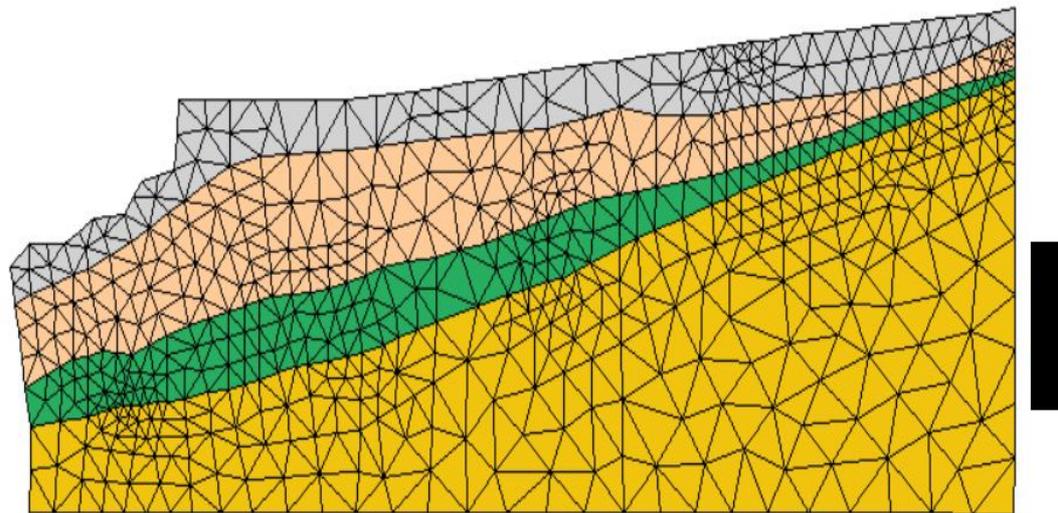
Nella finestra saranno visualizzati gli spettri di risposta nel nodo dei singoli accelerogrammi, lo spettro medio e quello normalizzato. Infine, se presenti i dati per lo spettro di normativa (NTC 2018), verrà disegnato anche tale spettro. Il grafico ottenuto è stampabile e, dalla stessa finestra, si può scegliere di generare il report della relazione e salvarlo.



Nella finestra degli spettri si possono visualizzare gli spettri di risposta per i singoli accelerogrammi sia in velocità che in spostamento (figure sopra).

Risultati analisi modale

Se l'analisi di risposta sismica viene eseguita per tutti i nodi del dominio (senza Nodi monitorizzati) è possibile visualizzare per ogni accelerogramma i modi di vibrazione dell'intero dominio.



8 Geoapp

Geoapp: la più grande suite del web per calcoli online

Gli applicativi presenti in [Geostru Geoapp](#) sono stati realizzati a supporto del professionista per la soluzione di molteplici casi professionali. Geoapp comprende oltre 40 [applicazioni](#) per: Ingegneria, Geologia, Geofisica, Idrologia e Idraulica.

La maggior parte delle applicazioni sono gratuite, altre necessitano di una sottoscrizione (subscription) mensile o annuale.

Perchè si consiglia la subscription?

Perchè una subscription consente di:

- usare applicazioni professionali ovunque e su qualunque dispositivo;
- salvare i file in cloud e sul proprio PC;
- riaprire i file per elaborazioni successive;
- servizi di stampa delle relazioni ed elaborati grafici;
- notifica sull'uscita di nuove applicazioni ed inclusione automatica nel proprio abbonamento;
- disponibilità di versioni sempre aggiornate;
- servizio di assistenza tramite Ticket.

8.1 Sezione Geoapp

Generale ed Ingegneria, Geotecnica e Geologia

Tra le applicazioni presenti, una vasta gamma può essere utilizzata per **RSL2D**. A tale scopo si consigliano i seguenti applicativi:

- [Zone sismogenetiche](#)
- [Mappa dei Rischi dei Comuni Italiani](#)
- [Parametri Sismici PRO](#)
- [Stabilità del terreno - pendio indefinito](#)
- [Analisi di stabilità di superfici piane](#)
- [Carico limite e cedimenti](#)
- [Classificazione suoli NTC2018](#)
- [Classificazione delle terre SMC](#)
- [Liquefazione](#)

9 Libri consigliati

Libri per ingegneria geotecnica e geologia

Portale libri: [consulta la libreria on-line](#)

• Guida pratica alla risposta sismica locale 1D

[Guida pratica alla Risposta sismica locale 1D](#) nasce con l'intento, di fornire delle nozioni di base, anche se molto superficiali, su tutte le componenti che entrano in gioco negli studi di risposta sismica locale. Quindi i temi che verranno affrontati danno una panoramica, anche se non completamente esaustiva, degli strumenti operativi necessari ad una adeguata comprensione degli aspetti del problema sismico direttamente o indirettamente legati agli effetti delle risposta sismica locale, e delle modalità di esecuzione degli studi da effettuare per la loro determinazione in una logica multidisciplinare. Si spera che

questo libro sia di ausilio per coloro che, partendo da una scarsa formazione di base del problema vogliano avere una comprensione delle problematiche da affrontare. Nella parte finale del libro, inoltre verrà, fornito un esempio di come condurre uno studio di risposta sismica locale mono-dimensionale con l'ausilio, per quanto riguarda l'analisi numerica del software RSL III della GeoStru software.

● **Methods for estimating the geotechnical properties of the soil**

[Methods for estimating the geotechnical properties of the soil](#): semi-empirical correlations of geotechnical parameters based on in-situ soil tests.

This text is designed for all professionals who operate in the geotechnical subsurface investigation. The purpose of this text is to provide an easy reference tool relatively to the means available today.

Theoretical insights have been avoided, for which please refer to the bibliography attached, except in cases where these were considered essential for the understanding of the formulation. The reason for this is obvious: make the text as easy to read as possible.

After a brief introduction about volumetric and density relationships with the most common definitions used for soils, in the following chapters we briefly described some of the most widespread in situ geotechnical testing and correlations to derive empirically geotechnical parameters and a number of useful formulations available today in the field of Geology.

The text concludes with the inclusion of formulas used in Technical Geology, considered of daily use to those working in the sector.

The topics are intended to provide a basic understanding of the in situ geotechnical testing and evaluation of geotechnical parameters necessary to define the geotechnical model.

● **TERRAE MOTUS Conoscere per prevenire**

[Terrae Motus Conoscere per Prevenire](#) (dal latino terrae motus, cioè "movimento della terra") è un testo rivolto a professionisti e docenti delle scuole di ogni ordine e grado, per essere aiutati ad affrontare le tematiche del rischio sismico, con informazioni di carattere generale e consigli utili per meglio fronteggiare tale evento.

Il libro comprende 11 capitoli: (1.0 INTRODUZIONE, 2.0 COME SI ORIGINA UN TERREMOTO, 3.0 LA CONFORMAZIONE INTERNA DELLA TERRA, 3.0.1 La crosta esterna, 3.0.2 Il mantello, 3.0.3 Il nucleo, 4.0 LA TEORIA DELLA TETTONICA DELLE PLACCHE, 5.0 LE FAGLIE, 6.0 LE ONDE SISMICHE, 7.0 GLI STRUMENTI PER MISURARE UN TERREMOTO, 8.0 COME SI MISURA UN TERREMOTO, 8.0.1 Scale di intensità macrosismica, 8.0.2 Magnitudo, 9.0 LA PREVISIONE DEI TERREMOTI, 10.0 IL RISCHIO SISMICO, 10.0.1 La pericolosità sismica, 10.0.2 La vulnerabilità sismica, 10.0.3 L'esposizione, 11.0 MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO, 11.0.1 Norme di comportamento).



10 Contatti

	 Telefono
	0690289085
	 Email
	info@geostru.eu office@geostru.eu

	 Orari
	Lunedì-Venerdì Ore 9-17
	 Supporto
	Per il servizio di assistenza usare preferibilmente l'area dedicata di supporto (Ticket). Da inizio 2016 l'assistenza per i clienti ITALIANI è alla SOEG & C. Per informazioni si prega di visitare il sito www.soeg.it .