

RSL III

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| Part I RLS III | 1 |
| 1 Procedura di calcolo | 1 |
| 2 Modello lineare equivalente | 7 |
| 3 Dati generali | 8 |
| 4 Accelerogrammi | 8 |
| 5 Materiali e stratigrafia | 14 |
| 6 Amplificazione | 17 |
| 7 Risultati | 19 |
| 8 Spettro di risposta elastico | 19 |
| 9 Spettri di normativa | 23 |
| Part II Contatti | 24 |
| Part III Geoapp | 24 |
| 1 Sezione Geoapp | 25 |
| Part IV Bibliografia | 26 |
| Part V Libri consigliati | 26 |
| Index | 0 |

1 RLS III

1.1 Procedura di calcolo

La procedura di calcolo adoperata da **RSL** per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
 - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
 - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
 - 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;

Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;

3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile "trasferire" l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M-1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l'N-esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si

comporti come un solido di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t} \right]$, la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z,t) = E(z) \cdot e^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (3)$$

dove w rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (4)$$

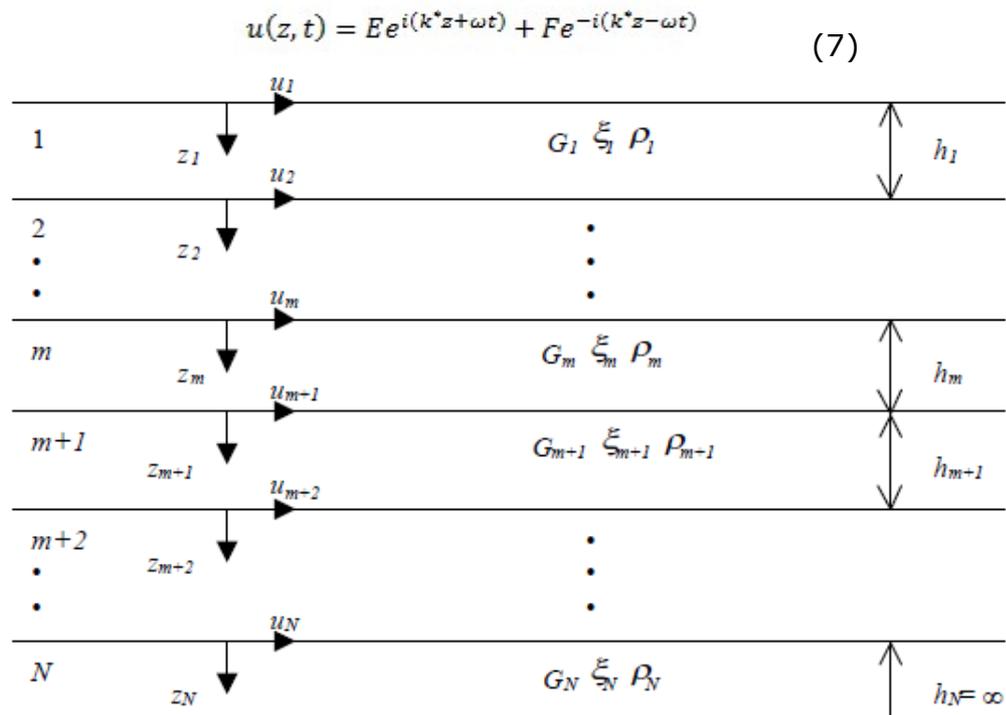
avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio complesso. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:



dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto ($-z$) e verso il basso ($+z$), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{\partial u}{\partial z} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità ($z = 0$) ed al fondo ($z = h_m$), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno

strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(Z_m = h_m, t) = u_{m+1}(Z_{m+1} = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell'm-esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove $\alpha_m^* \alpha_m^*$ rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati m ed m+1, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E1 = F1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m . La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati m ed n è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti m e n .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati n ed m :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

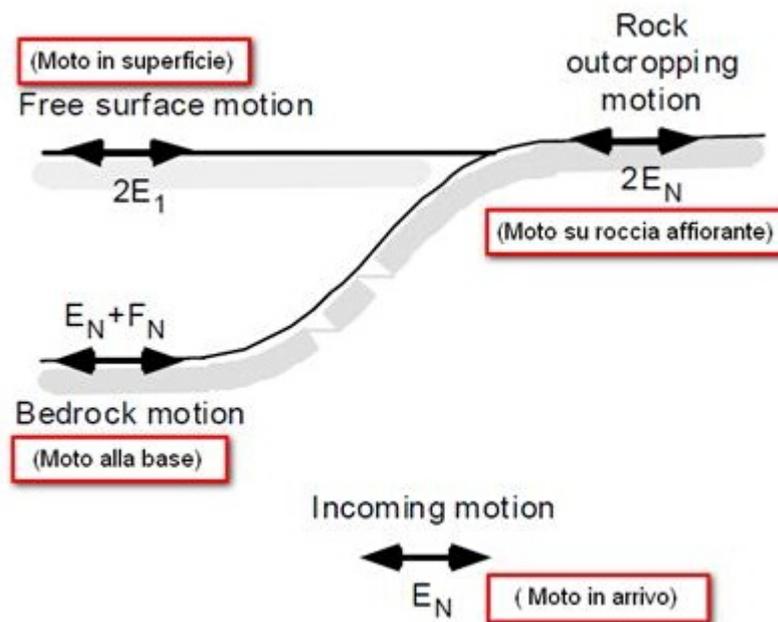
La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (Ee^{ik^*z} - Fe^{-ik^*z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.



Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a $E_N + F_N$. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{MN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché G è funzione di γ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile.

1.2 Modello lineare equivalente

Il programma RSL è un software per la valutazione della risposta sismica locale secondo un approccio locale di 3 livello. Con l'approccio locale è possibile valutare quantitativamente il fattore di amplificazione puntuale di una particolare stratigrafia in base ad una modellazione monodimensionale degli strati di terreno presenti in situ.

La procedura di calcolo adoperata da RSL di basa su metodi numerici che simulano la propagazione delle onde sismiche in un deposito di terreno orizzontalmente stratificato a partire dalla sottostante formazione rocciosa.

Il metodo numerico utilizzato dal programma si basa su un modello lineare equivalente che semplifica la trattazione del problema della non linearità del comportamento dei terreni sottoposti a cicli di carico.

Per queste sollecitazioni il legame tensione-deformazione si mostra non lineare e si manifesta con la dissipazione di energia e l'accumulo di deformazioni permanenti.

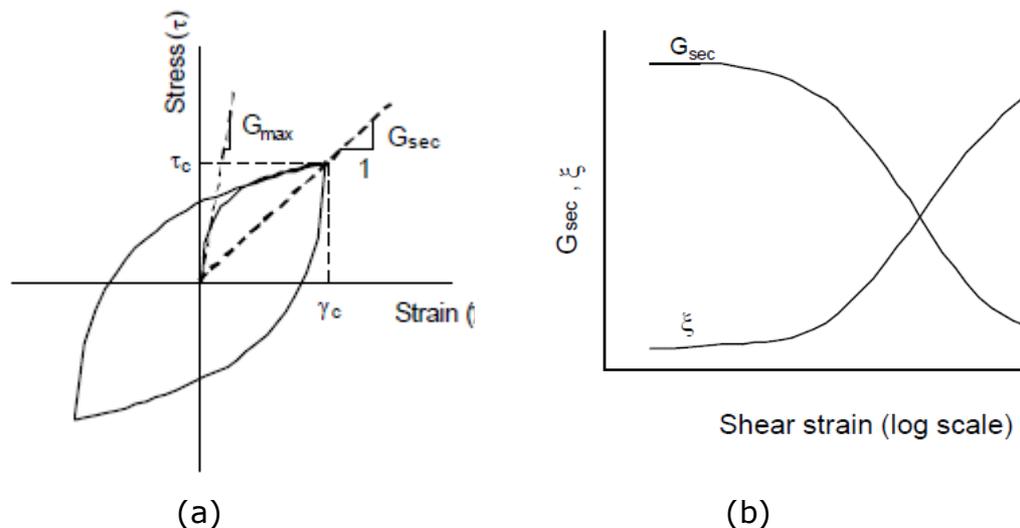


Fig. 1 (a) Comportamento non lineare per un ciclo di carico-scarico-ricarico; **(b)** Variazione modulo secante e smorzamento con l'ampiezza della deformazione a taglio.

Nel modello lineare equivalente il comportamento dei terreni è governato da "parametri equivalenti": il modulo di taglio equivalente G è assunto pari al modulo secante G_{sec} definito come rapporto τ_c/γ_c . Analogamente, lo smorzamento equivalente è quello che produce la stessa perdita di energia di un ciclo di isteresi prodotto dal carico- scarico di un terreno a comportamento irreversibile.

Nel modello lineare equivalente modulo di taglio e il rapporto di smorzamento sono variabili con l'ampiezza della deformazione a taglio

Fig 1 (b); sono, altresì, esclusi dalla modellazione alcuni importanti fenomeni fisici come il rammollimento.

1.3 Dati generali

Nella sezione Dati generali vengono inserite le informazioni sul progetto:

- Commenti generali
- Descrizione del sito
- Committente
- Zona
- Operatore
- Responsabile
- Coordinate

Inserendo, poi, la latitudine e la longitudine o la zona, è possibile visualizzare, nella parte destra dello schermo, la posizione della prova su Google Maps. Selezionando l'immagine visualizzata mediante il pulsante "cattura vista corrente" sulla barra degli strumenti della finestra attiva, viene offerta la possibilità di personalizzare la rappresentazione che sarà poi riportata nella relazione finale.

Nell'immagine possono essere inseriti gli oggetti linea, rettangolo ed ellisse personalizzando la trasparenza della forma e i colori di linee e sfondo. Tali comandi sono disponibili sulla barra degli strumenti attiva sulla vista corrente.

Il pulsante "Allega foto", infine, permette l'inserimento di una immagine nei formati *.jpeg, *.jpg, *.bmp, *.png.

1.4 Accelerogrammi

RSL può operare contemporaneamente su più accelerogrammi forniti come input ed è utilizzare come unità di misura per l'accelerazione sia i m/s^2 che g .

Le tracce da importare sono quelle riferite al bedrock sismico la cui scelta, nelle analisi di livello 3, è legata alla verifica delle condizioni definite dalle NTC 2018 al par. 3.2.3.6 e al par. 7.3.5.

Per importare gli accelerogrammi bisogna cliccare sul pulsante raffigurante il simbolo "+" quindi selezionare le tracce da utilizzare per le elaborazioni.

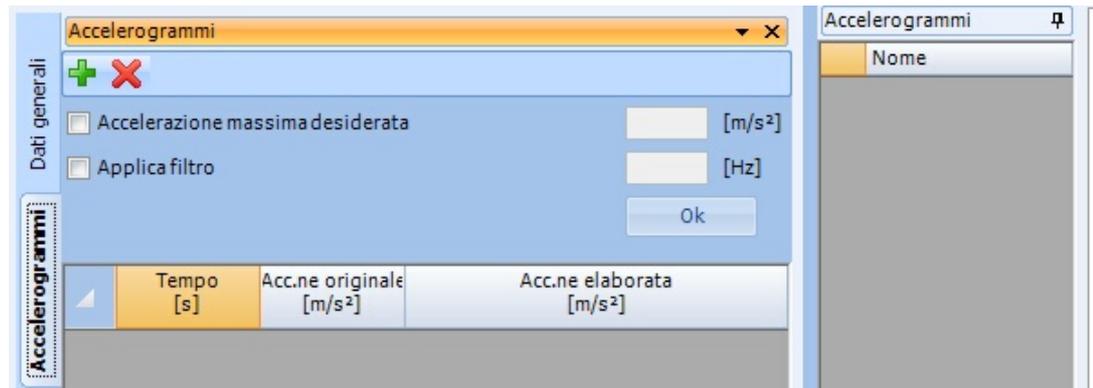


Fig. 2 Selezione degli accelerogrammi.

Il software è in grado di importare dati da file di testo in cui questi siano rappresentati per colonne. Attraverso un'apposita finestra l'utente è guidato nella procedura di importazione che prevede la scelta delle seguenti proprietà:

- **Prima riga da importare.** Questa proprietà è utile qualora il file di testo contenga informazioni aggiuntive oltre ai dati. Per selezionare la riga corretta è sufficiente cliccare in corrispondenza della prima riga che contiene i dati sul controllo che rappresenta l'anteprima del file.
 - **Separatore.** Indica il carattere utilizzato nel file per separare le colonne.
 - **Colonna tempi.** Indica la colonna in cui sono registrati i tempi.
 - **Colonna accelerazioni.** Indica la colonna in cui sono registrate le accelerazioni da utilizzare per l'analisi.
 - **Fattore di conversione.** È un fattore moltiplicativo che viene applicato al valore dell'accelerazione letto dal file. Tale fattore può essere, ad esempio, il termine di scalatura dell'accelerogramma o il fattore di conversione da utilizzare nel caso in cui l'unità di misura della registrazione e quella impostata nel software non siano coincidenti.
- ☐ **Attenzione**
- Prima di importare un accelerogramma è necessario assicurarsi che l'unità di misura scelta per le accelerazioni

all'interno del programma e quella del file siano coincidenti. In caso contrario è indispensabile l'utilizzo di un corretto fattore di conversione.

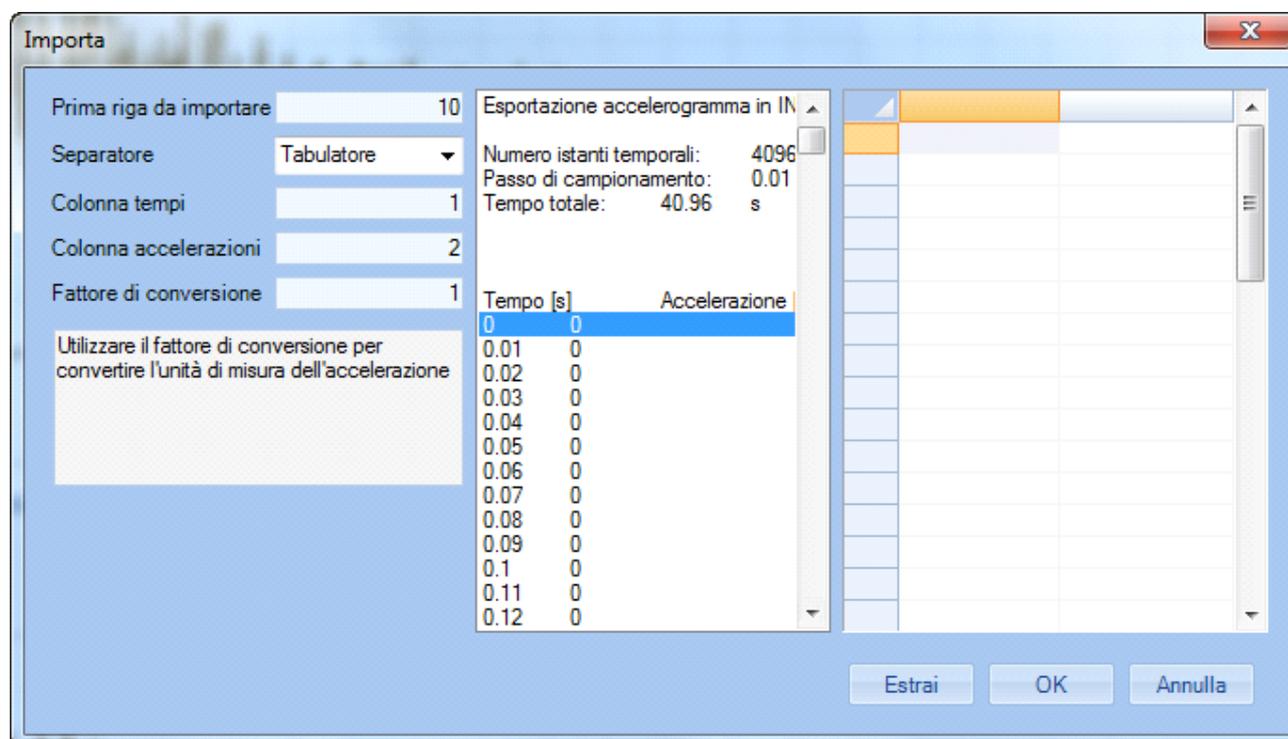


Fig. 3 Importazione accelerogramma.

La lettura dell'accelerogramma viene effettuata premendo il pulsante "Estrai" che visualizza l'anteprima dell'estrazione comprendente i fattori correttivi. L'importazione termina alla pressione del tasto "OK". Qualora siano stati scelti più file da importare il software chiede di utilizzare le stesse impostazioni di estrazione per tutti i file al fine di semplificare la procedura di estrazione.

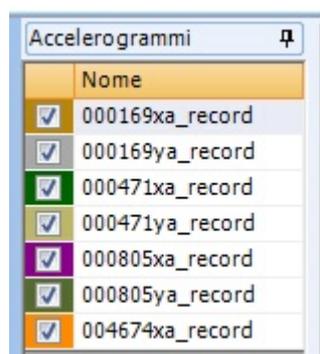


Fig. 4 Organizzazione delle tracce.

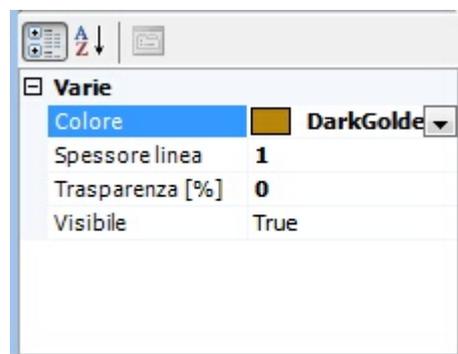


Fig. 5 Proprietà delle tracce.

Gli accelerogrammi importati vengono organizzati come indicato nella Figura 4. A ciascuna traccia, poi, sono associate alcune proprietà riassunte nella Figura 5.

Cliccando in corrispondenza di una traccia vengono fornite le informazioni numeriche e il sismogramma. I file importati possono essere esclusi dalle analisi togliendo il segno di spunta dalla traccia corrispondente oppure possono essere esclusi dai grafici attraverso l'impostazione di visibilità presente tra le proprietà.

Le altre proprietà su cui è possibile intervenire sono: l'assegnazione di un colore, lo spessore della linea e la trasparenza.

Gli accelerogrammi importati, se richiesto, devono essere scalati all'accelerazione di progetto (a_g) pertanto è necessario definire preliminarmente tale valore utilizzando il software Geostru PS Advanced. Per scalare gli accelerogrammi di input all'accelerazione di progetto inserire il valore (a_g) in "Accelerazione massima desiderata".

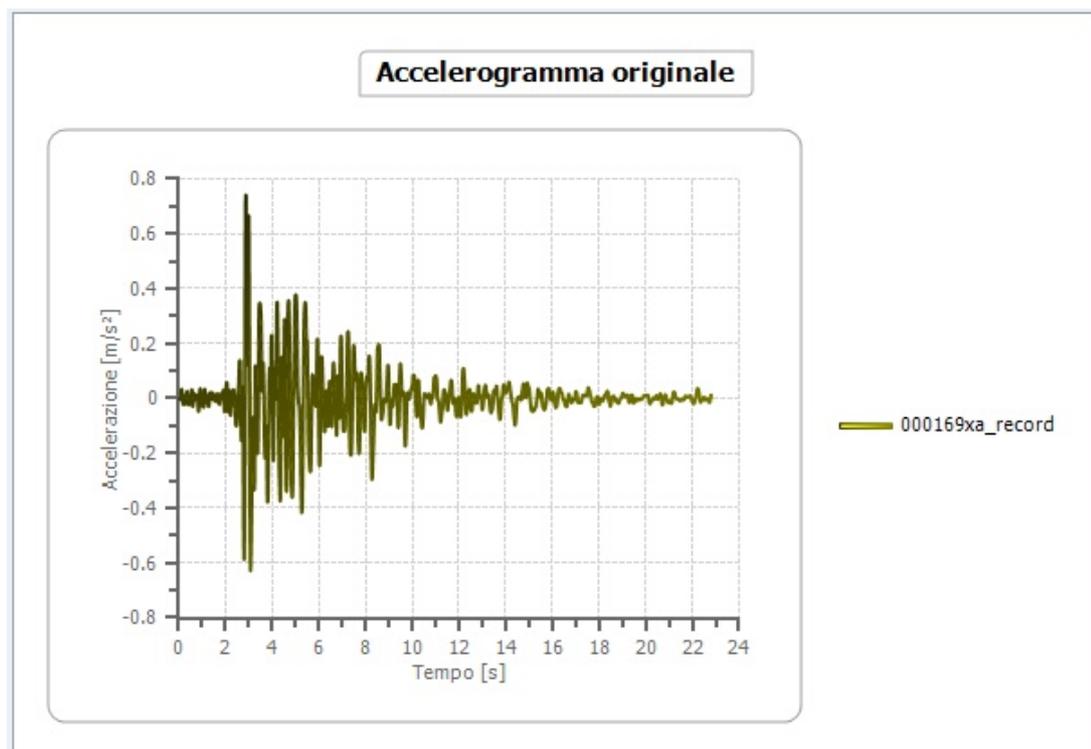


Fig. 6 Accelerogramma importato.

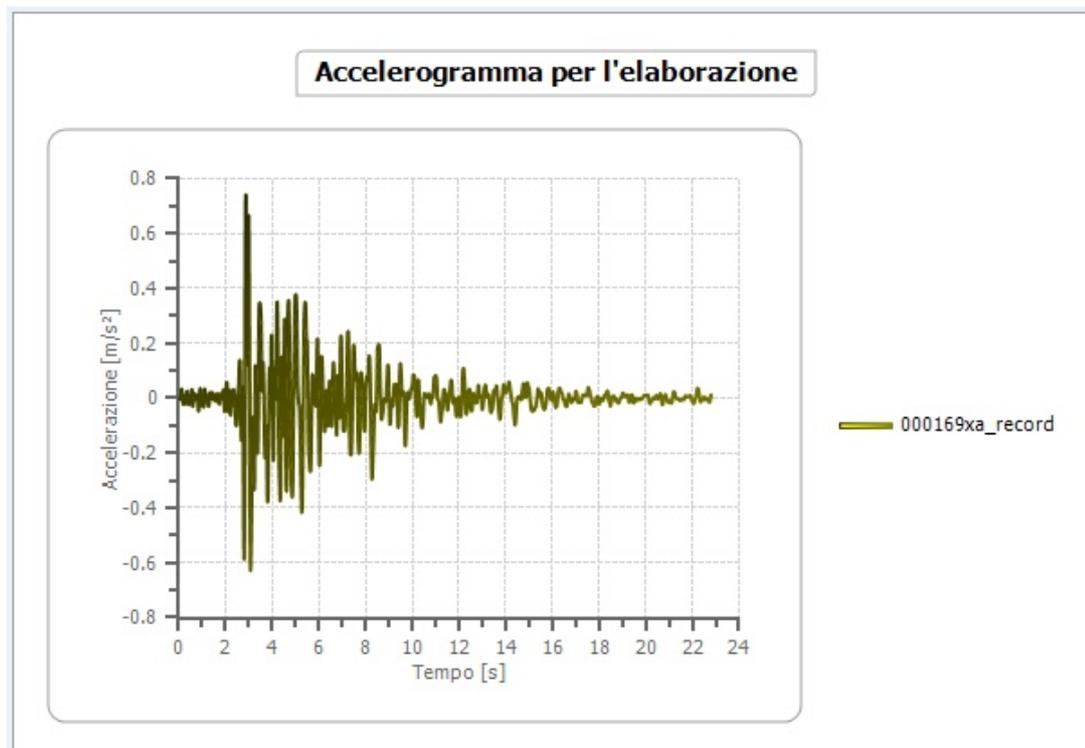
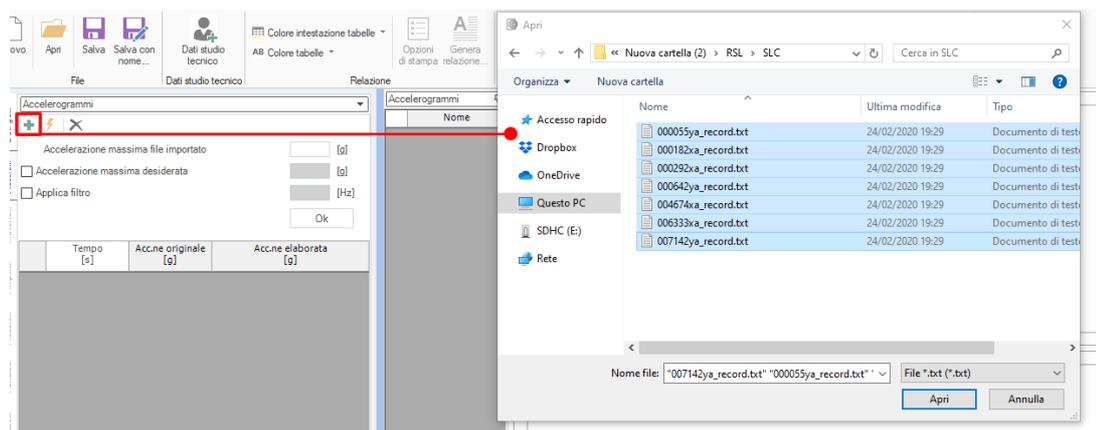


Fig. 7 Accelerogramma scalato ad (ag) .

Si possono anche importare tutti gli accelerogrammi da analizzare senza scalatura con una selezione multipla. Quando saranno visibili nella scheda Accelerogrammi, si potranno «scalare» impostando l'Accelerazione massima desiderata.



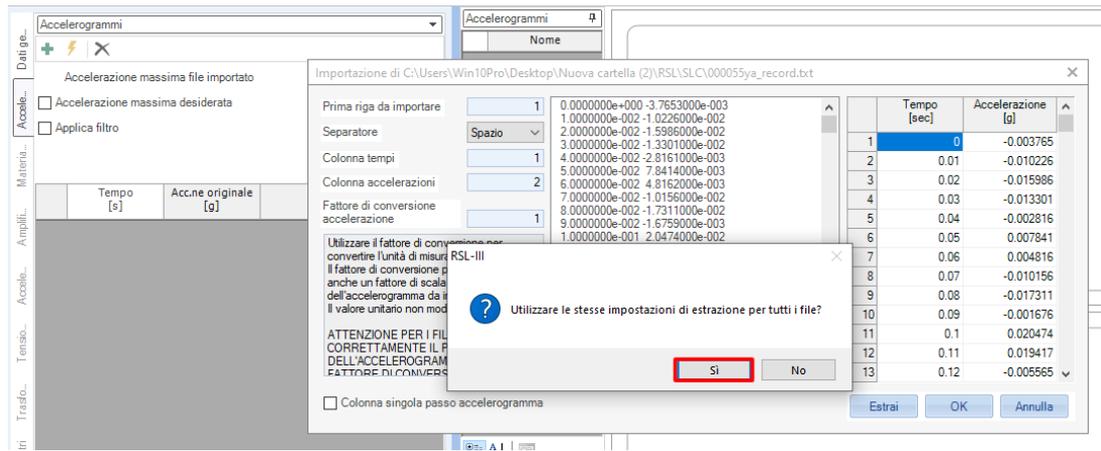


Fig. 8 - Importazione multipla accelerogrammi.

Gli accelerogrammi risultanti per l'elaborazione avranno tutti lo stesso valore di picco impostato.

Nella versione più recente del software RSL III, a cui si riferiscono le immagini qui presentate, è stata introdotta una funzione che permette di generare accelerogrammi spettro compatibili utilizzando la legge di attenuazione di Sabetta e Pugliese (1996). L'accelerogramma generato rispetta i requisiti di spettro compatibilità in quanto il suo spettro rientra nei vincoli richiesti dalle NTC 2018 § 3.2.3.6.

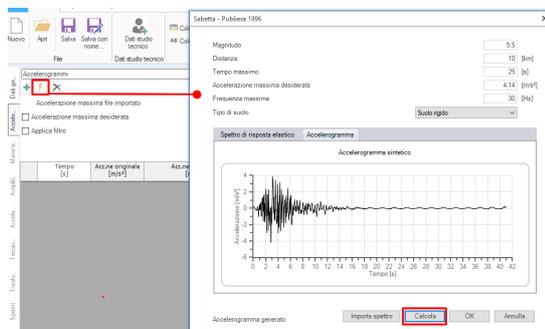


Fig. 9 - Generazione accelerogrammi sintetici

L'applicazione di un filtro, espresso in Hz, esclude, nell'analisi frequenziale degli accelerogrammi, le frequenze superiori a quella imposta dall'utente nel filtro.

Il valore della frequenza di taglio va inserito nella casella di testo corrispondente all'opzione "Applica filtro".

1.5 Materiali e stratigrafia

Materiali

Il programma dispone di un archivio di materiali con definite leggi di variazione del rapporto G/G_{max} e del coefficiente di smorzamento in funzione della deformazione a taglio. Per ogni materiale la legge di variazione può essere modificata inserendo i valori nella relativa tabella.

| | Strain % | G/Gmax | Strain % | Damping % |
|----|----------|--------|----------|-----------|
| 1 | 0.0001 | 1.000 | 0.0001 | 0.01163 |
| 2 | 0.0002 | 1.000 | 0.0002 | 0.01246 |
| 3 | 0.0005 | 0.990 | 0.0005 | 0.0147 |
| 4 | 0.001 | 0.984 | 0.001 | 0.01827 |
| 5 | 0.002 | 0.916 | 0.002 | 0.0245 |
| 6 | 0.005 | 0.818 | 0.005 | 0.03821 |
| 7 | 0.010 | 0.711 | 0.010 | 0.05399 |
| 8 | 0.020 | 0.578 | 0.020 | 0.07849 |
| 9 | 0.050 | 0.381 | 0.050 | 0.120 |
| 10 | 0.100 | 0.256 | 0.100 | 0.152 |
| 11 | 0.200 | 0.160 | 0.200 | 0.1836 |
| 12 | 0.500 | 0.067 | 0.500 | 0.2184 |

Fig. 1 Materiali

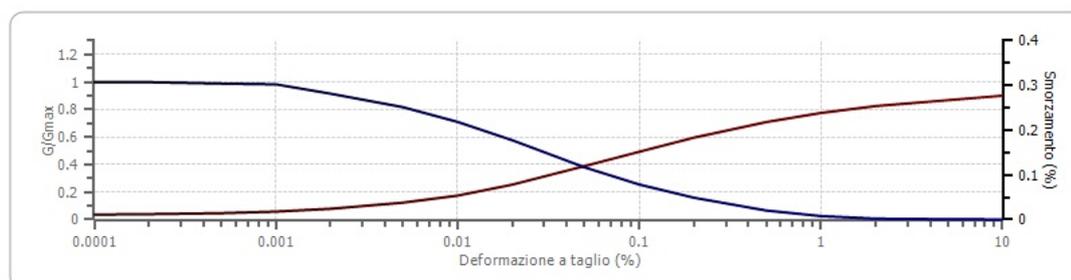


Fig. 2 Andamento di G/G_{max} e dello Smorzamento

Il segno "+" permette l'aggiunta di una nuova legge di variazione dei parametri equivalenti, mentre il segno "x" elimina il materiale selezionato nella lista. I comandi "Salva" e "Proprietà" sono resi disponibili solo per i

materiali definiti dall'utente e consentono, in ordine, di memorizzare il materiale modificato attraverso la tabella e la modifica del nome.

Stratigrafia

Per definire la successione stratigrafica del deposito è necessario introdurre alcuni dati indispensabili per la valutazione dell'amplificazione sismica. La successione stratigrafica deve essere assegnata a partire dal p.c. con numerazione crescente (assegnata in modo automatico). Per inserire uno strato basta assegnare un valore allo spessore dell'ultimo strato già visualizzato nella griglia.

| Stratigrafia | | | | | |
|-----------------------------------|----------------|--------------|----------------------|----------------|-------------|
| Strato con falda | | - | | | |
| Strato rilevamento accelerogramma | | 5 | | | |
| Tipo strato rilev. accelerogramma | | Affiorante | | | |
| | Profondità [m] | Spessore [m] | ità al centro de [m] | Tipo terreno | lum. sottos |
| 1 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | Vucetic & Dorl | |
| 2 | 5.0 | 3.0 | 3.5 | Vucetic & Dorl | |
| 3 | 9.0 | 4.0 | 7.0 | Vucetic & Dorl | |
| 4 | 14.0 | 5.0 | 11.5 | Vucetic & Dorl | |
| 5 | oo | 0.0 | -- | Smorzame | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Fig. 3 Assegnazione di una stratigrafia.

Di ogni strato vengono richiesti:

- Spessore
- Tipo di materiale, da selezionare da quelli presenti in archivio.
- Numero di sottostrati in cui si vuole suddividere lo strato.
- Smorzamento critico, da inserire solo per gli strati con smorzamento fisso.
- Peso per unità di volume.
- Velocità media delle onde di taglio Vs.
- Colore
- Descrizione

Gli altri elementi della tabella sono calcolati in automatico dal programma in funzione dei dati inseriti. I dati richiesti dal calcolo e determinati in automatico dal programma sono:

- Profondità media dello strato.
- Gmax
- Tensione verticale.

Per uno strato, individuabile dal numero d'ordine, è possibile considerare la presenza di acqua: in corrispondenza dell'opzione "Strato con falda" si può scegliere lo strato a cui associare la presenza di acqua.

Occorre altresì assegnare lo strato di rilevamento dell'accelerogramma: in "Strato rilevamento accelerogramma" scegliere lo strato a cui è associato il rilevamento dei segnali. La funzione di amplificazione verrà calcolata dal programma per tutti gli strati della formazione in esame.

Altra condizione indispensabile per la corretta valutazione dell'amplificazione è la posizione dello strato: scegliere tra la condizione "Affiorante" o "Interno". La procedura di calcolo dell'amplificazione può convergere solo se vengono assegnate delle condizioni al contorno con le quali è possibile avviare il calcolo.

La definizione della stratigrafia è visualizzata in anteprima sull'area di lavoro: vengono riportati a video il profilo stratigrafico con gli spessori e la descrizione di ogni strato, il profilo delle velocità delle onde di taglio e quello della tensione verticale.

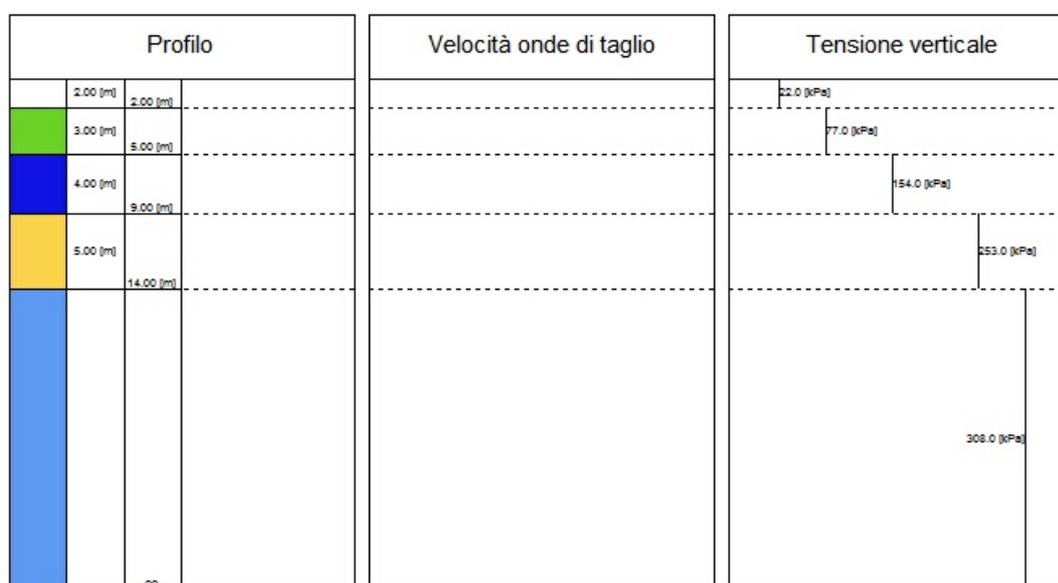


Fig. 4 Profilo stratigrafico.

1.6 Amplificazione

Nella sezione Amplificazione viene restituita la curva di amplificazione, ossia la variazione del fattore di amplificazione in funzione della frequenza.

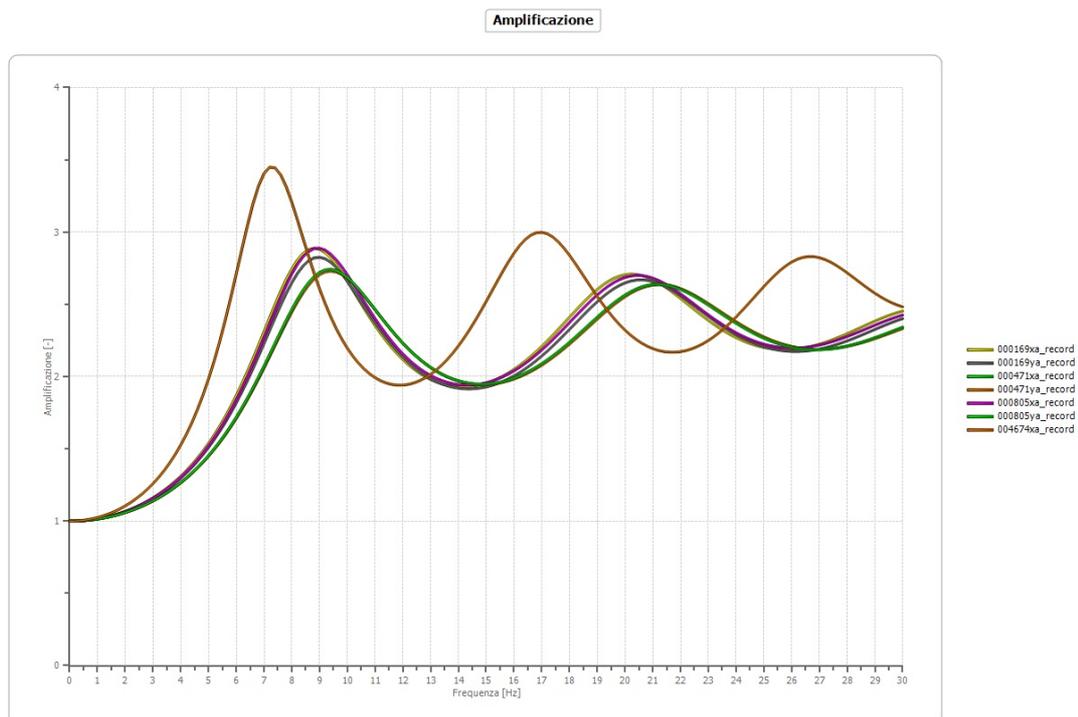


Fig. 1 Funzione di amplificazione.

Si ricorda che il **Fattore di amplificazione, A**, è il rapporto $a_{\max,r}/a_{\max,s}$ tra l'accelerazione di picco su affioramento rigido $a_{\max,r}$ e l'accelerazione sulla superficie del deposito $a_{\max,s}$, mentre la sua variazione in funzione della frequenza viene chiamata **Funzione di Amplificazione**.

In Fig. 11 è riportata la raffigurazione delle funzioni di amplificazione relative ad un deposito costituito da quattro strati poggianti su bedrock rigido. Dalla funzione di amplificazione si traggono importanti informazioni sul comportamento del deposito: in particolare il moto sismico risulta amplificato in corrispondenza di determinate frequenze f_n che corrispondono alle frequenze naturali del deposito. Si ricorda che la frequenza è data da:

$$f_n = \frac{1}{T_n}$$

Con T_n , periodi naturali del terreno ($n = 1, 2, 3, \dots, n$).

Si può notare che le amplificazioni sono via via decrescenti sulle frequenze più elevate a causa dello smorzamento del terreno.

La frequenza fondamentale è quella corrispondente al primo periodo naturale T_1 del deposito e il suo valore è pari a:

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{V_s}{4H}$$

Ed è quella in cui la funzione di amplificazione ha il suo valore massimo. La coincidenza tra frequenza del moto sismico e frequenza fondamentale del deposito determina il fenomeno della risonanza.

Il valore della funzione di amplificazione in corrispondenza della frequenza fondamentale dipende dal contrasto di impedenza I tra i terreni del deposito e il bedrock e dalle proprietà dissipative del deposito.

Nella determinazione della funzione di amplificazione il programma permette di usare due modelli: *SHAKE* e *SHAKE91*.

Il primo modello assume che ξ è costante ed indipendente da w : il che implica che anche il modulo di taglio complesso G^* è indipendente da w . In tal caso si ha la seguente relazione tra il modulo di taglio complesso G^* e quello reale G :

$$|G^*| = G \sqrt{1 + 4\xi^2}$$

Il modello *SHAKE 91* (Idriss and Sun, 1992) considera il modulo di taglio complesso G^* funzione ξ :

$$G^* = G \left\{ (1 - 2\xi^2) + 2\xi i \sqrt{1 - \xi^2} \right\}$$

Il calcolo della funzione di amplificazione avviene per iterazione:

- 1) Si assumono i valori G_0 e ξ_0 iniziali corrispondenti al livello più basso di deformazione;
- 2) Si valuta la funzione di amplificazione e la deformazione indotta γ_{eff1} .
- 3) La deformazione γ_{eff1} viene corretta sulla base della deformazione massima γ_{max} secondo la seguente relazione:

$$\gamma_{\text{eff1}} = R_\gamma \gamma_{\text{max}}$$

Dove R_γ dipende dalla magnitudo del sisma e in letteratura trova la seguente espressione: $(M - 1)/10$

- 4) Si calcolano i nuovi valori G_1 e ξ_1 corrispondenti a γ_{eff1} .
- 5) Si ripetono i punti 2, 3, e 4 fino a quando i valori G_i e ξ_i determinati in tutti gli strati tra un'iterazione e la successiva non

rimangono al di sotto di una determinata soglia ritenuta accettabile. Generalmente sono sufficienti una decina di iterazioni.

Il calcolo iterativo richiede pertanto l'assegnazione dei seguenti parametri:

- Numero di iterazioni;
- Massima deformazione a taglio: inserire il valore γ_{\max} ;

Per quanto riguarda il calcolo delle funzioni di Amplificazione vanno inseriti lo strato iniziale e quello finale su cui effettuare il calcolo, la frequenza massima per cui ottenere i risultati e il passo delle frequenze che è utile al solo fine di rappresentazione dell'output.

1.7 Risultati

RSL restituisce sia in formato numeri che in formato grafico i seguenti risultati:

- Accelerazione;
- Stress - Strain;
- Trasformata di Fourier, a cui è possibile applicare il filtro smoothing a media mobile su un numero selezionabile di campioni;
- Spettri di risposta elastico in accelerazione.
- Spettro normalizzato.

1.8 Spettro di risposta elastico

Come risultato dell'analisi condotta in funzione degli accelerogrammi caricati e della stratigrafia imposta vengono forniti i dati e i diagrammi relativi a:

- Spettro di risposta elastico in accelerazione;
- Spettro di velocità relativa;
- Spettro di spostamento relativo.

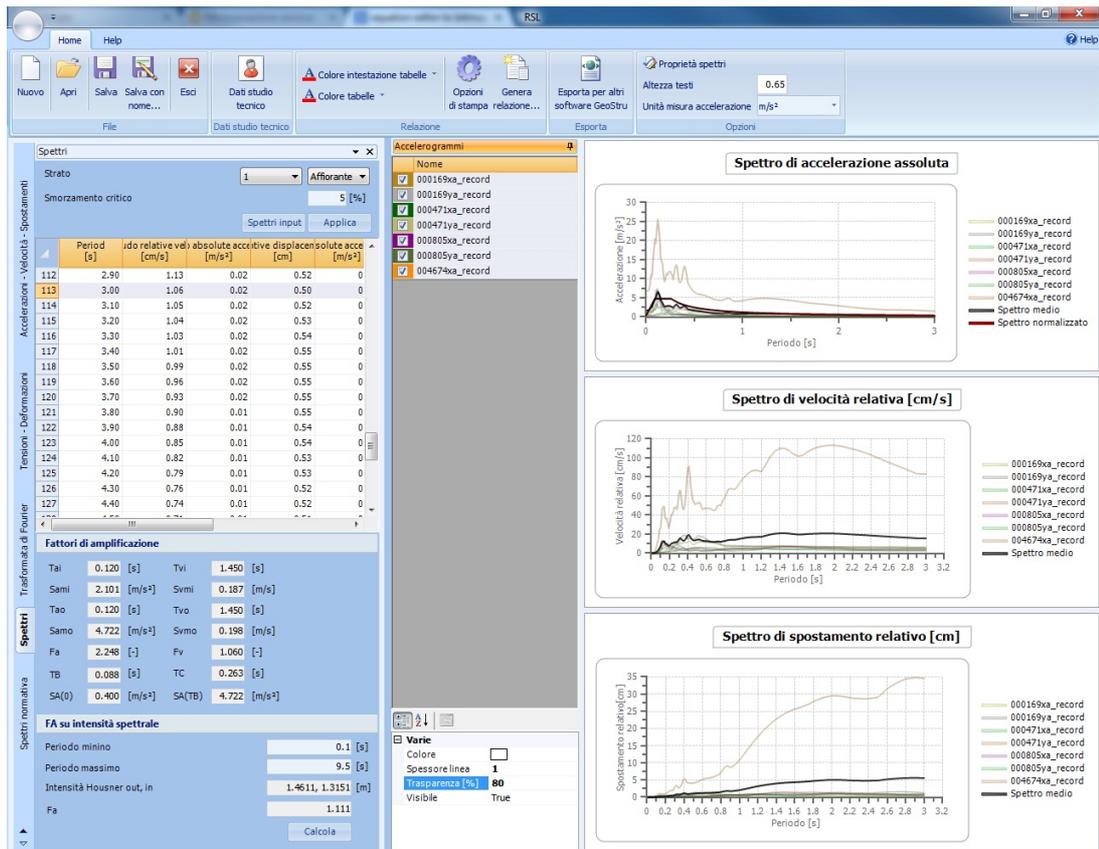


Fig. 1 Spettri.

Attraverso l'elaborazione degli spettri il software elabora anche i fattori di amplificazione, lo spettro medio e lo spettro normalizzato.

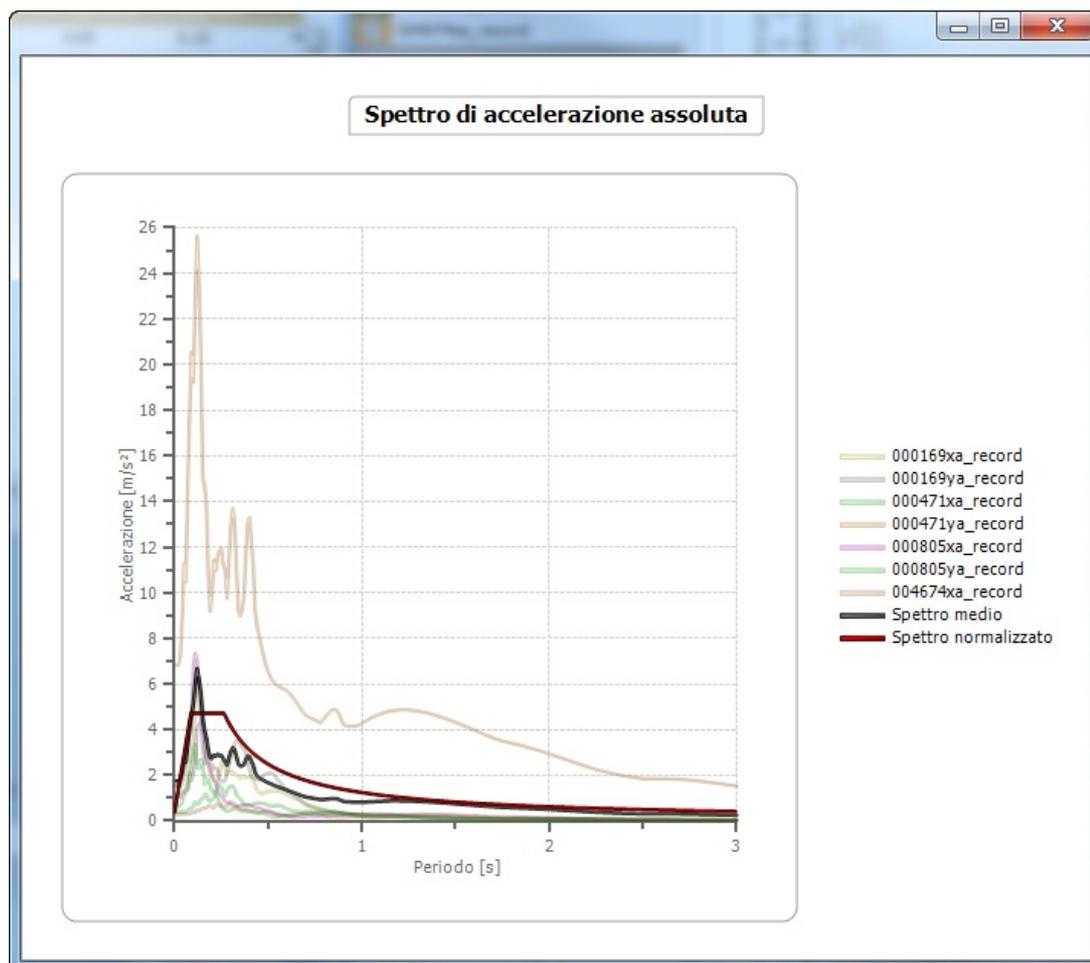


Fig. 2 Dettaglio dello spettro di accelerazione.

Facendo doppio click su uno dei grafici si ottiene il diagramma tracciato su una finestra separata. In questo particolare, evidenziato nella Figura 13, è possibile visualizzare gli spettri di risposta elastici in accelerazione per i diversi accelerogrammi di input insieme allo spettro medio e allo spettro normalizzato. Questa rappresentazione considera particolarmente utile la possibilità di assegnare un valore di trasparenza alle singole tracce.

I **fattori di amplificazione** sono così determinati:

- 1) Si determina il periodo di massimo valore dello spettro medio di input T_{Ai} e dello spettro medio di output T_{Ao} ;
- 2) Si ricavano i valori medi degli spettri di input ($S_{Am,i}$) e di output ($S_{Am,o}$) nell'intorno di T_{Ai} e di T_{Ao} come

$$S_{Am} = \frac{1}{T_A} \int_{0.5T_A}^{1.5T_A} SA(T) dT$$

dove SA è lo spettro medio (SAi di input, SAo di output)

3) Si determinano i periodi proprio TVi e TVo per il quale sono massimi gli spettri di pseudovelocità

$$SV(T) = SA(T) \frac{T}{2\pi}$$

dove SV è lo spettro medio di pseudovelocità (SVi di input, SVo di output)

4) Si calcolano i valori medi degli spettri medi di pseudovelocità o nell'intorno di TVi e di TVo

$$SV_m = \frac{1}{0.4TV} \int_{0.8TV}^{1.2TV} SV(T) dT$$

dove SVi è lo spettro medio di pseudovelocità di input ed SVo è lo spettro medio di pseudovelocità di output.

5) Il valore di FA è pari a

$$FA = \frac{SA_{m,o}}{SA_{m,i}}$$

6) Il valore di FV è pari a

$$FV = \frac{SV_{m,o}}{SV_{m,i}}$$

Per determinare i valori dello spettro normalizzato valgono le seguenti relazioni:

Periodo TC:

$$T_c = \frac{SV_{m,i} FV}{SA_{m,i} FA}$$

Periodo TB:

$$T_B = \frac{1}{3} T_C$$

Valori dello spettro in 0 e in TB

$$SA(0) = SA_i(0) * FA$$

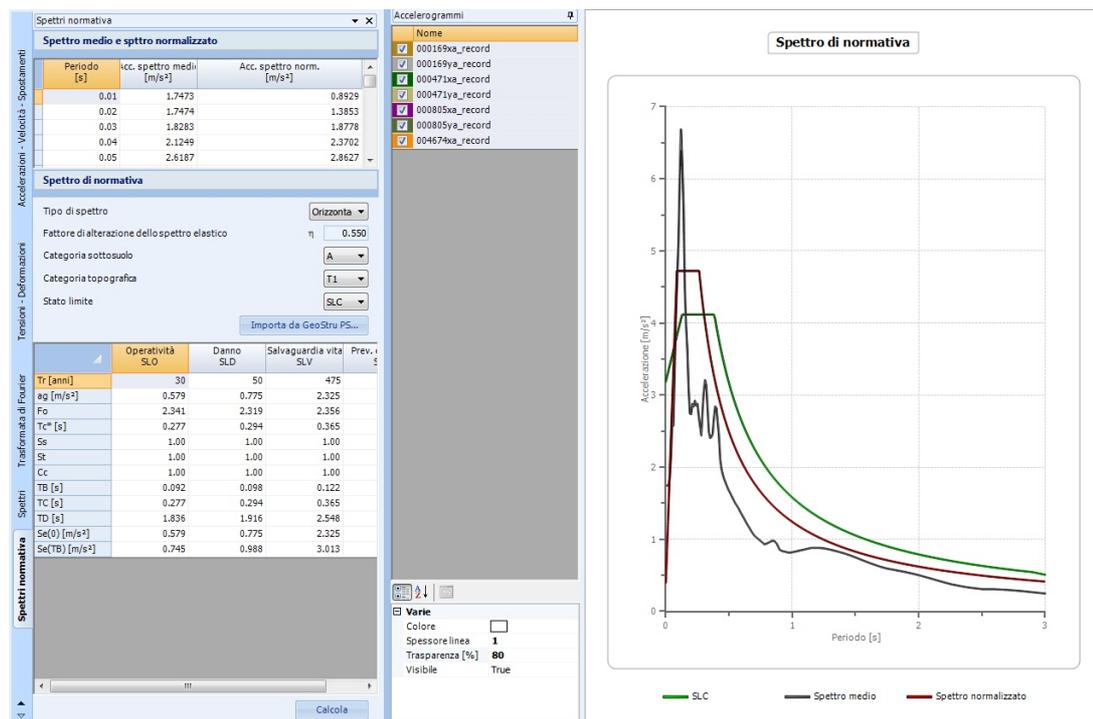
$$SA(T_B) = SA_{m,i} * FA$$

Il ramo dello spettro ad accelerazione spettrale costante, tra T_B e T_C , ha ordinata pari a $SA_{m,i} * FA$

Il ramo dello spettro a velocità costante ($T > T_C$) ha ordinate pari a $SA_{m,i} * FA * (T_C/T)$

1.9 Spettri di normativa

RSL permette di mettere a confronto gli spettri di risposta elastici ottenuti mediante l'elaborazione (spettro medio e spettro normalizzato) con gli spettri definiti dalle NTC 2018.



Per determinare gli spettri di normativa è necessario conoscere T_r , a_g , F_0 e T_C^* che possono essere facilmente importati da GeoStru PS. Il software è in grado di diagrammare gli spettri sia orizzontali che verticali definiti dalle NTC 2018 in funzione del *fattore di amplificazione dello spettro elastico* η , della *Categoria del suolo* e della *Categoria topografica*.

▣ Proprietà grafiche degli spettri

È possibile accedere alle proprietà grafiche dello spettro medio e dello spettro normalizzato agendo sul pulsante "proprietà spettri" nella scheda "Home" della barra. Le proprietà messe a disposizione per la personalizzazione sono:

- Selezione del colore;
- Spessore della linea;
- Trasparenza;
- Visibilità;
- Periodo massimo da visualizzare.

2 Contatti



Consultare la pagina dei contatti del Sito Web per avere maggiori informazioni sui nostri contatti e sugli indirizzi delle sedi operative in Italia e all'Estero.

3 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.

Perché si consiglia la subscription?

Perché 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.

3.1 Sezione Geoapp

Generale ed Ingegneria, Geotecnica e Geologia

Tra le applicazioni presenti, una vasta gamma può essere utilizzata per **RSL**. 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

4 Bibliografia

- Idriss I.M. and Sun J.I., 1992.** SHAKE91 – a computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soils deposits. University of California, Davis.
- NTC2018.** Ministero delle infrastrutture e dei trasporti. Decreto 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- Sabetta F. and Pugliese A, 1996.** Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions. Bull. Seism. Soc. Am., 86, 337-352.

5 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).

The image shows two book covers. The top cover is green and orange, titled 'GUIDA PRATICA ALLA RISPOSTA SISMICA LOCALE 1D' with a yellow seismic wave graphic. The bottom cover is brown and green, titled 'METHODS FOR ESTIMATING THE GEOTECHNICAL PROPERTIES OF THE SOIL' with a red 'Launch offer' banner and a yellow '-25%' discount badge. Both covers feature the GeoStru logo and a stylized soil profile graphic.

**GUIDA PRATICA ALLA
RISPOSTA SISMICA
LOCALE 1D**

GeoStru

**METHODS FOR
ESTIMATING THE
GEOTECHNICAL PROPERTIES
OF THE SOIL**

*Semi-empirical correlations of
geotechnical parameters based
on in situ tests*

Launch offer

-25%

Edited by:
GeoStru

ingeniumedizioni

