

# MICROZONAZIONE

<b>Part I</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>Part II</b>	<b>Analisi Territoriale</b>	<b>1</b>
1	Comandi e finestre .....	1
	Presentazione .....	1
	File .....	2
	Home .....	2
	Dati .....	2
	Dati generali.....	3
	Indagini.....	3
	Finestra per il calcolo dell'amplificazione.....	9
	Analisi .....	10
	Comandi generali.....	11
	Finestre delle mappe.....	12
	Esportazione .....	13
	Relazione.....	14
2	Modelli di calcolo .....	15
	Procedura di calcolo .....	15
	Metodo Medvedev .....	16
	Metodo Impedenza sismica .....	17
	Metodo Midorikawa .....	18
	Metodo Midorikawa-Fujiimoto .....	18
	Metodo Micro .....	19
	Metodo ID .....	19
	Metodo Borcherdt inferiore VII .....	19
	Metodo Borcherdt superiore VII .....	20
	Metodo Lombardia .....	20
	Metodo Romagna .....	27
<b>Part III</b>	<b>Comandi comuni</b>	<b>44</b>
1	Barra Disegno .....	44
<b>Part IV</b>	<b>Campi di impiego</b>	<b>48</b>
<b>Part V</b>	<b>Note FFT</b>	<b>49</b>
<b>Part VI</b>	<b>Book</b>	<b>49</b>
<b>Part VII</b>	<b>Contatti</b>	<b>50</b>
	<b>Index</b>	<b>0</b>

## 1 Introduzione

# MICROZONAZIONE - Risposta Sismica Locale

---

MICROZONAZIONE è un software per la valutazione della risposta sismica locale attraverso due livelli di approcci: territoriale e locale. In letteratura sono noti rispettivamente come analisi di livello 2 e 3. Attraverso l'approccio territoriale è possibile tracciare delle mappe qualitative di intere aree, anche su vasta scala, dell'andamento medio delle velocità delle onde di taglio e del fattore di amplificazione, utili ad individuarne la pericolosità sismica. Con l'approccio locale è possibile invece valutare quantitativamente il fattore di amplificazione puntuale di una particolare stratigrafia con maggiore dettaglio in base ad una modellazione monodimensionale degli strati di terreno presenti in situ.

## 2 Analisi Territoriale

In questa sezione vengono descritti i comandi, le procedure ed i modelli di calcolo adoperati per l'analisi locale.

### 2.1 Comandi e finestre

In questa sezione vengono descritti tutti i comandi e le finestre del programma.

#### 2.1.1 Presentazione

In questa sezione vengono presentati tutti i comandi presenti nella barra degli strumenti, secondo l'ordine con il quale sono visualizzati:

File  
Dati  
Analisi  
Esportazione

### 2.1.2 File

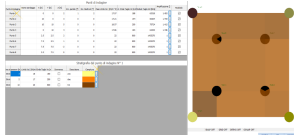
In questa sezione vengono illustrati i comandi afferenti alla scheda File del menu dei comandi.

I comandi del gruppo Apri/Salva servono alla gestione dei files all'interno del files system come in qualunque altro applicativo windows, ovvero:

Nuovo	Genera un nuovo file per l'analisi
Apri	Apri un file esistente contenente i dati per l'analisi
Salva	Salva i dati attualmente in memoria sul file attualmente aperto. Se non è stato precedentemente dato un nome al file viene richiesto di immetterne uno.
Salva con nome..	Salva i dati attualmente in memoria su file scegliendo il nome da assegnare al file.

### 2.1.3 Home

In questa sezione possono essere selezionati i comandi afferenti alla scheda *File* del menu dei comandi e vengono visualizzate le tabelle afferenti ai singoli punti d'indagine inseriti nell'analisi e le proprietà medie delle stratigrafie.



### 2.1.4 Dati

In questa sezione viene illustrato come immettere i dati in input per l'analisi territoriale.

#### 2.1.4.1 Dati generali

Nella finestra che appare quando si preme il pulsante Dati generali, è possibile inserire informazioni appunto di carattere generale, utili soprattutto in fase di redazione della relazione finale. Tutti i dati sono facoltativi, ad eccezione del campo denominato "Metodo di calcolo amplificazione".

Campo	Descrizione
Nome progetto	Nome/Titolo da assegnare al progetto
Via	Via del sito in analisi
Comune	Comune all'interno del quale è localizzato il sito in analisi
Provincia	Provincia all'interno della quale è localizzato il sito in analisi
Latitudine	Latitudine geografica del sito in analisi
Longitudine	Longitudine geografica del sito in analisi
Normativa	Normativa da adoperare per i confronti con i risultati dell'analisi
Zona sismica	Indice della zona sismica in cui la normativa scelta categorizza il sito in analisi
Metodo di calcolo amplificazione	Questo campo permette di scegliere il metodo di default con il quale verranno calcolate le amplificazioni nei punti di indagine.

#### 2.1.4.2 Indagini

Premendo il pulsante denominato "Indagini", si apre una finestra composta da due tabelle ed una finestra grafica.

La prima tabella, denominata in testa "Punti di indagine", raccoglie appunto la lista dei punti di cui si è condotta un'analisi stratigrafica e che verranno adoperati per le successive analisi.

La seconda tabella, denominata in testa "Stratigrafia del punto di indagine X", raccoglie tutte le informazioni stratigrafiche del punto di indagine "X" selezionato nella prima tabella.

La finestra grafica invece mostra un'anteprima appunto grafica del contenuto delle due tabelle, che è possibile esplorare con i comandi relativi alla barra denominata "Disegno".

#### Tabella dei "Punti di indagine"

In questa tabella vengono raccolte le informazioni generali e medie dei punti di indagine. Il significato di ciascuna colonna è il seguente:

<b>Colonna</b>	<b>Descrizione</b>
<i>Punto di indagine</i>	Numero progressivo del punto di indagine (solo indicativo)
<i>Nome</i>	Nome di riferimento per il punto di indagine
<i>X [m]</i>	Coordinata X, in metri [m], della posizione georeferenziata, o rispetto ad un sistema di riferimento locale, del punto di indagine
<i>Y [m]</i>	Coordinata Y, in metri [m], della posizione georeferenziata, o rispetto ad un sistema di riferimento locale, del punto di indagine
<i>Z [m]</i>	Coordinata Z (quota altimetrica) in metri [m], della posizione georeferenziata, o rispetto ad un sistema di riferimento locale, del punto di indagine
<i>Inc. Pendio [°]</i>	Angolo di inclinazione medio dello strato superficiale misurato in gradi sessagesimali nel punto di indagine
<i>Inc. Bedroc</i>	Angolo di inclinazione medio dello strato roccioso (bedrock) misurato in gradi sessagesimali nel punto di indagine

<b>Colonna</b>	<b>Descrizione</b>
<i>k</i> [°]	
<i>Peso</i> <i>Unità di</i> <i>Vol.</i> [kN /m ^3]	Peso per unità di volume medio della stratigrafia del punto di indagine misurato in chilonewton al metro cubo [kN/m <sup>3</sup> ] (può essere inserito manualmente o può essere calcolato dal programma con funzioni apposite).
<i>Vs</i> [m/ s]	Velocità media delle onde di taglio della stratigrafia misurata in metri al secondo [m/s] (può essere inserito manualmente o può essere calcolato dal programma con funzioni apposite).
<i>Smorzamento</i> <i>o</i> []	Fattore di smorzamento medio della stratigrafia (può essere inserito manualmente o può essere calcolato dal programma con funzioni apposite).
<i>Litologia</i>	Scelta delle tipologia litologica presente in situ.
<i>G0</i>	Modulo di deformazione tangenziale medio della stratigrafia misurato in chilonewton al metro quadrato [kN/m <sup>2</sup> ] (può essere inserito manualmente o può essere calcolato dal programma con funzioni apposite).
<i>Amplificazione</i>	Valore dell'amplificazione del punto di indagine (può essere inserita manualmente o calcolata dal programma attraverso funzioni apposite, vedi più in basso nella presente pagina)
<i>Ricalcola</i>	Indica se il valore dell'amplificazione debba essere ricalcolato in fase di elaborazione delle mappe. Se la casella non contiene il segno di spunta, come amplificazione del punto di indagine viene considerata quella riportata in tabella.

I valori di "PUV", "Vs" e "G<sub>0</sub>", possono essere calcolati direttamente tramite il pulsante denominato "Calcola parametri medi", se è stata correttamente descritta la stratigrafia relativa al punto di indagine.

Inoltre, premendo il pulsante che compare accanto a ciascun valore presente nel campo denominato "Amplificazione", viene mostrata una finestra attraverso la quale è possibile scegliere uno specifico valore per l'amplificazione di quel punto di indagine, da scegliere tra i vari metodi suggeriti ed integrati nel programma. Per maggiori dettagli vedere "Finestra per il calcolo dell'amplificazione".

N.B.: Non tutti i campi sopra descritti sono visibili in funzione del metodo di calcolo dell'amplificazione di default scelto nella finestra per l'inserimento dei dati generali.

I comandi per la gestione della tabella sono raccolti nel gruppo di pulsanti denominato "Tabella punti di indagine".

Con il pulsante denominato Aggiungi, è possibile aggiungere un punto di indagine in coda alla lista.

Con il pulsante denominato Inserisci, è possibile inserire un punto di indagine nella lista subito sopra quello selezionato nella relativa tabella.

Con il pulsante denominato Sposta sopra, è possibile modificare l'ordine dei punti di indagine spostando quello attualmente selezionato nella relativa tabella, subito al di sopra.

Con il pulsante denominato Sposta sotto, è possibile modificare l'ordine dei punti di indagine spostando quello attualmente selezionato nella relativa tabella, subito al di sotto.

Con il pulsante denominato Rimuovi, è possibile eliminare dalla lista il punto di indagine attualmente selezionato nella relativa tabella

Tabella della "Stratigrafia del punto di indagine X"

In questa tabella vengono raccolte tutte le informazioni relative alla stratigrafia del punto di indagine selezionato nella tabella "Punti di indagine". Il significato di ciascuna colonna è il seguente:

Colonna	Descrizione
Ordine stratificati	Numero progressivo dello strato indicativo della posizione all'interno della stratigrafia con l'indicazione della profondità misurata dal piano campagna (Z)

Colonna	Descrizione
Spessore [m]	Spessore dello strato misurato in metri [m]
Peso Unità Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso per unità di volume dello strato misurato in chilonewton per metro cubo [kN/m <sup>3</sup> ]
Vs [m/s]	Velocità delle onde di taglio nello strato misurata in metri al secondo [m/s]
Sommerso	Se questa casella è spuntata, lo strato viene considerato completamente immerso nell'acqua
Descrizione	Fornisce un nome allo strato per una più facile individuazione
Campitura	Indica il colore con il quale verrà rappresentato graficamente lo strato

I comandi per la gestione della tabella sono raccolti nel gruppo di pulsanti denominato "Tabella strati".

Con il pulsante denominato Aggiungi, è possibile aggiungere uno strato in coda alla lista degli strati del punto di indagine selezionato nella relativa tabella.

Con il pulsante denominato Inserisci, è possibile inserire uno strato nella lista degli strati del punto di indagine selezionato nella relativa tabella, subito prima dello strato selezionato nella tabella degli strati.

Con il pulsante denominato Sposta sopra, è possibile spostare lo strato attualmente selezionato nella tabella degli strati relativi al punto di indagine selezionato nella relativa tabella, subito al di sopra così da modificare l'ordine complessivo della stratigrafia.

Con il pulsante denominato Sposta sotto, è possibile spostare lo strato attualmente selezionato nella tabella degli strati del punto di indagine selezionato nella relativa tabella, subito al di sotto modificando così l'ordine complessivo della stratigrafia.



Con il pulsante denominato Rimuovi, è possibile rimuovere lo strato attualmente selezionato nella tabella degli strati relativi al punto di indagine selezionato nella relativa tabella.

Con il pulsante denominato Calcola parametri medi, è possibile calcolare i valori medi dell'intera stratigrafia sulla base del metodo di default scelto per la valutazione dell'amplificazione nella finestra per l'inserimento dei dati generali.

### Finestra grafica

In questa finestra viene fornita una rappresentazione grafica dei punti di indagine. Per ciascun punto è presente un cilindro (in pianta un cerchio) il cui centro rappresenta la posizione del punto di indagine. La stratigrafia viene rappresentata dalla sovrapposizione di un cilindro per ciascuno strato del punto di indagine, secondo l'ordine descritto nella relativa tabella della stratigrafia. Inoltre a ciascuno strato viene assegnato un colore in accordo a quanto specificato nel campo "Campitura" della tabella della stratigrafia. Se non è presente alcun file che descrive la topografia, viene generata una superficie che interpola la posizione dei punti di indagine descrivendo sommariamente un piano campagna ideale che collega i punti di indagine con la sola funzione di fornire una migliore rappresentazione grafica del territorio e non influenza in alcun modo il calcolo.

E' possibile esplorare lo spazio del disegno grazie ai comandi della barra denominata "Disegno".

### Gruppo comandi "Importa / Esporta"

Con il pulsante denominato Importa topografia, è possibile importare un DXF da usare come georeferenziazione delle indagini. Le eventuali curve di livello possono essere in 3D, ovvero in quota. L'introduzione di una topografia elimina la visualizzazione del piano campagna ideale. N.B.: La visualizzazione del DXF nella finestra grafica sfrutta opzioni di rendering che potrebbero falsare la visualizzazione dello stesso file e renderlo quindi inutilizzabile. Nel qual caso si consiglia di usare nel DXF oggetti grafici con spessori e/o superfici solide.

Il pulsante denominato Rimuovi topografia, permette di eliminare la topografia eventualmente presente. L'eliminazione della topografia abilita la visualizzazione di un piano ideale che rappresenta una superficie

interpolante il piano campagna definito dalla posizione dei punti di indagine.

Il pulsante denominato Analisi locale, permette di esportare l'attuale stratigrafia del punto di indagine selezionato in un file di RSL per cui è possibile successivamente compiere un'analisi locale.

Pannello comandi

I pulsanti denominati "Applica", "OK" ed "Annulla", compiono rispettivamente le seguenti operazioni:

- Applica: rende effettive le modifiche apportate ai punti di indagine;
- OK: rende effettive le modifiche apportate ai punti di indagine e chiude la finestra;
- Annulla: rende inefficaci eventuali modifiche apportate ai punti di indagine non ancora rese effettive, e chiude la finestra.

#### 2.1.4.3 Finestra per il calcolo dell'amplificazione

La finestra per il calcolo dell'amplificazione viene visualizzata cliccando sul pulsante che appare nella tabella dei punti di indagine, accanto a valore presente nel campo denominato "Amplificazione" della tabella relativa ai dati dei punti di indagine. Per ciascun punto è presente il pulsante in corrispondenza del campo della relativa amplificazione.

Questa finestra permette di visualizzare il valore dell'amplificazione del punto di indagine calcolata con i vari metodi che il programma RSL mette a disposizione. Infatti, oltre a poter scegliere un metodo globale di default per il calcolo dell'amplificazione nella finestra per l'inserimento dei dati generali, è possibile sceglierlo per il singolo punto di indagine. I campi in alto a sinistra della finestra permettono eventualmente l'input dati per alcuni metodi che potrebbero non comparire nella tabella dei punti di indagine perché non previsti dal metodo di calcolo dell'amplificazione scelto come di default.

Nel gruppo di comandi denominato "Dati" sono raccolti i seguenti campi:

I campi denominati "Inclinazione pendio" e "Inclinazione bedrock", sono i valori assunti rispettivamente dalla pendenza del pendio e dello strato roccioso nel punto di indagine in esame, e sono utili ai fini della valutazione dell'amplificazione secondo il metodo di Medvedev.

Il campo denominato "Rapporto di smorzamento", rappresenta il fattore di smorzamento viscoso complessivo della stratigrafia, utile al calcolo

dell'amplificazione del punto di indagine in esame secondo i metodi denominati "Impedenza" ed "ID".

Il campo denominato "Litologia", consente la scelta della litologia e quindi della relativa scheda di calcolo utile al fine della valutazione dell'amplificazione del punto di indagine secondo il metodo e le tabelle suggerite dalla Regione Lombardia.

Nel raggruppamento denominato "Parametri medi", sono raccolte alcune informazioni di carattere medio relative alla stratigrafia del punto di indagine in esame, e possono variare in funzione del metodo selezionato nella tabella della finestra.

La tabella presente sulla destra della finestra, raccoglie i valori dell'amplificazione per ciascun metodo con il quale RSL permette generalmente di valutare l'amplificazione di un punto di indagine. Nella prima colonna si ha la denominazione del metodo; nella seconda si ha il valore; nella terza è possibile leggere quale metodo è attualmente selezionato. In base alla selezione vengono aggiornati i campi del gruppo "Parametri medi". Alcuni di questi valori dell'amplificazione vengono influenzati da quelli immessi nei campi del gruppo "Dati". L'inserimento di valori nei campi del gruppo di comandi denominato "Dati", genera un aggiornamento del contenuto della tabella.

Attraverso la pressione del pulsante "Accetta", i valori medi, di input e quello dell'amplificazione vengono copiati nella tabella generale dei punti di indagine, e viene deselezionata la casella del campo "Ricalcola" relativa al punto di indagine in esame. In questo modo, in fase di elaborazione della mappa delle amplificazione, il valore del punto di indagine in esame non verrà ricalcolato, ma verranno adoperati i valori così immessi. Nella relazione generale di calcolo invece, verrà indicato il metodo adoperato per la valutazione dell'amplificazione per ciascun punto.

Il pulsante denominato "Annulla", consente di rendere nulla qualsiasi modifica effettuata nella finestra del calcolo dell'amplificazione.

### 2.1.5 Analisi

In questa sezione vengono definiti i comandi e le finestre relative all'analisi territoriale.

### 2.1.5.1 Comandi generali

Nel tab denominato "Analisi" della ribbon bar, sono presenti diversi gruppi di comandi: alcuni sono relativi all'analisi in sè, ed altri relativi al post-processing dei risultati dell'analisi.

## **Gruppo comandi denominato "Analisi"**

In questo gruppo è presente il solo pulsante denominato Genera mappa. Questo avvia l'elaborazione dei dati in input per generare due particolari mappe: la mappa delle velocità e quella delle amplificazioni. Quest'ultimo viene visualizzato subito a valle del processo di generazione. In alternativa nel relativo gruppo di comandi è possibile richiamare tali finestre.

### Gruppo comandi denominato "Opzioni di analisi"

In questo gruppo sono presenti tutti i parametri che l'utente può scegliere per l'elaborazione delle mappe. I parametri sono suddivisi ulteriormente in due gruppi, ciascuno relativo ad ognuna delle mappe.

Il parametro denominato Passo maglia velocità, determina appunto il passo con cui viene generata la maglia di punti per cui verranno valutate le velocità per interpolazione dai punti di indagine (vedi Procedura di calcolo).

Questo parametro influenza notevolmente la velocità di calcolo, ovvero, relativamente alle dimensioni dell'intero territorio in analisi: minore è il passo della maglia delle velocità, maggiore sarà l'onere computazionale.

Il parametro denominato Equidistanza isocline velocità, rappresenta il valore della differenza di velocità con la quale verranno rappresentate le isocline di velocità. Questo parametro non influenza sensibilmente il tempo di elaborazione.

Lo stesso vale per gli analoghi parametri relativi alla mappa delle amplificazioni.

### Gruppo comandi denominato "Risultati"

I due pulsanti presenti in questo gruppo richiamano semplicemente le finestre delle relative mappe.

Gruppo comandi denominato "Opzioni Rielaborazione Mappe"

Data l'eterogenità dei dati in input e l'avventatezza di tentare di settare dei parametri che possano andare bene per qualsiasi situazione orografica e stratigrafica, all'utente è lasciato il compito di meglio settare, di caso in caso, un parametro per una successiva rielaborazione delle mappe così da ottenere un risultato più operativamente consistente e di pratico impiego. In pratica è possibile definire il valore di tolleranza per il quale due punti, che in prima analisi non risultano appartenere alla medesima isocline ma che hanno lo stesso isovalore, sono invece considerati appartenere alla medesima isocline. In altri termini: due curve che rappresentano il luogo dei punti con il medesimo isovalore che in prima analisi risultano essere staccate, possono essere ricongiunte automaticamente impostando un parametro di tolleranza meno rigido per la distanza dei loro punti estremi più prossimi tra loro. Quindi più è grande questo valore, meno curve isolate risulteranno rappresentate nella mappa finale. Occorre però prestare attenzione, perché una tolleranza troppa larga rischierebbe invece di eliminare dalla mappa curve che invece definirebbero un andamento ben diverso. Si raccomanda quindi di prestare molta cura nella scelta di tale parametro, scegliendo quel valore che nel confronto con il primo risultato non escluda la presenza di isocline significative particolari andamenti dei gradienti. (vedi anche Procedura di calcolo)

Indicativamente si suggerisce di usare valori non superiori a 2-3 volte il passo della maglia della relativa mappa.

Fatte presenti le osservazioni di cui sopra:

Il pulsante denominato Rigenera mappe, rielabora la mappa della relativa finestra dei risultati attiva in base alla relativa tolleranza indicata.

Il pulsante denominato Ripristina mappe, riporta la mappa della relativa finestra dei risultati attiva, all'originale prima elaborazione.

La casella di testo con etichetta Tolleranza isocline velocità, imposta il valore di tolleranza di cui sopra, per la rielaborazione della mappa delle velocità.

La casella di testo con etichetta Tolleranza isocline amplificazione, imposta il valore di tolleranza di cui sopra, per la rielaborazione della mappa delle amplificazioni.

#### 2.1.5.2 Finestre delle mappe

I risultati dell'analisi territoriale sono fondamentalmente due mappe: la mappa delle velocità e quella delle amplificazioni.

Entrambe sono delle rappresentazioni con curve di livello analogamente a delle carte topografiche.

Ciascuna curva di livello, genericamente isocline, rappresenta il luogo dei punti in cui la velocità o l'amplificazione assume il medesimo valore. Ogni isocline è etichettata con il valore corrispondente.

Se in fase di input dati si è scelti di inserire una topografia di riferimento, anche su queste mappe la si avrà come sfondo.

Le due rappresentazioni sono in 3D, vale a dire che la quota Z di ciascuna isocline è concorde con il valore che esse rappresentano. Pertanto, cambiando la visuale, è possibile vedere "monti e valli" per l'andamento delle velocità e/o delle amplificazioni. Le mappe sono esportabili in DXF, così da poter essere ulteriormente modificate.

I comandi a disposizione in ciascuna finestra sono nel tab denominato "Disegno".

### **2.1.6 Esportazione**

Il menù denominato "Esporta", permette di eseguire le seguenti operazioni:

1. Esportare un'immagine delle mappe elaborate;
2. Inviare alla stampante le mappe elaborate;
3. Comporre una relazione relativa ai calcoli eseguiti.

Il pulsante denominato "Stampa", permette di visualizzare una finestra di anteprima di stampa nella quale viene visualizzato il contenuto grafico della finestra attiva che può essere inviato successivamente alla stampante.

Il pulsante denominato "Esporta mappa", permette di visualizzare una finestra di dialogo attraverso la quale è possibile scegliere un nome ed il formato in cui verrà salvata un'immagine della mappa contenuta nella finestra attualmente in primo piano.

Il pulsante denominato "Relazione", permette di visualizzare una finestra attraverso la quale comporre una relazione relativa all'elaborazione. Vedere Relazione.

### 2.1.6.1 Relazione

Attraverso il pulsante *Relazione*, è possibile visualizzare una finestra a mezzo della quale si può comporre la relazione di calcolo dell'analisi compiuta con RSL.

La parte di sinistra della finestra mostra una lista ad albero dei possibili contenuti da inserire nella relazione. Tutti i contenuti sono tematicamente raccolti in una struttura ad albero.

Nel nodo denominato "Generale", sono raccolti i contenuti riguardanti le informazioni generali del sito analizzato, i riferimenti normativi e la procedura di calcolo che adopera RSL.

I nodi denominati "Numerico" e "Grafico", hanno una medesima struttura, ovvero sono organizzati in dati in input e dati in output, così da rendere molto facile la loro individuazione univoca. La differenza tra i due consiste nella natura del contenuto che sarà rispettivamente numerico ed organizzato in tabelle; grafico con l'inserimento di immagini rappresentative dei risultati.

I contenuti dei singoli nodi, sono autoesplicativi, ricalcando la struttura di input ed output del programma stesso.

Per **inserire** un contenuto nella relazione è sufficiente selezionare il nodo relativo al contenuto desiderato e premere il pulsante *Aggiungi->*, od in alternativa doppio click sul contenuto. In questo modo il contenuto scelto verrà inserito nel box a destra della finestra denominato "Contenuti relazione", il quale raccoglie quanto verrà inserito nella relazione. N.B.: è possibile inserire più volte il medesimo contenuto numerico o grafico.

Per **rimuovere** un contenuto dalla relazione è sufficiente selezionarlo all'interno del box denominato "Contenuti relazione" e premere il pulsante *<-Rimuovi*, od in alternativa fare doppio click sul contenuto da rimuovere.

Se nella relazione si vogliono inserire tutti i contenuti è sufficiente premere il pulsante *Tutto->*. Se al contrario si vogliono rimuovere tutti i contenuti attualmente presenti è sufficiente premere il pulsante *<-Nessuno*.

Per **modificare l'ordine** dei contenuti è sufficiente usare i pulsanti *Sposta sopra* e *Sposta sotto*.

Terminata la scelta dei contenuti, premendo il pulsante *Compila*, verrà avviato un editor di testo grazie al quale è possibile modificare

ulteriormente la relazione personalizzandone, oltre ai contenuti, anche la formattazione.

## **2.2 Modelli di calcolo**

In questa sezione vengono illustrate le procedure di calcolo adoperate da RSL ed i suoi modelli matematici.

### **2.2.1 Procedura di calcolo**

La procedura illustrata di seguito vale sia per la mappa delle amplificazioni che per quella delle velocità. L'unica differenza consiste che per quest'ultima non è presente la prima fase del calcolo. Si procederà quindi ad illustrare quella per la mappa delle amplificazioni.

Il calcolo per la mappa della amplificazioni, per maggiore chiarezza, può essere diviso in 4 fasi:

#### ***Fase 1***

Per ciascun punto di indagine viene presa in considerazione la stratigrafia per poter valutare i suoi parametri medi e quindi valutare l'amplificazione stratigrafica ivi presente tramite il metodo scelto nella finestra di inserimento dei dati generali.

#### ***Fase 2***

Viene generata una rete a maglia quadrata. Le dimensioni del lato della maglia vengono fornite in input dall'utente. Più piccola è tale dimensione e quindi più fitta la rete, maggiore è l'onere computazionale. Le dimensioni globali della rete invece, vengono individuate dalle coordinate massime fra tutti i punti di indagine.

#### ***Fase 3***

Grazie ai punti della maglia generata alla fase precedente, si opera un'interpolazione alla Shepard.

#### ***Fase 4***

I punti della rete con i relativi valori di amplificazione, vengono processati in un particolare algoritmo che genera le isocline, ovvero la mappa delle amplificazioni.

#### ***Rigenerazione mappe***



Successivamente a questa fase, è possibile raffinare l'individuazione delle isocline rigenerando la mappa in post-processing tramite il parametro di tolleranza.

In pratica, data l'eterogenità dei dati in input, non è possibile calibrare l'algoritmo per l'individuazione delle isocline in modo da adattarsi a qualsiasi casistica. Viene quindi messo a disposizione dell'utente questo parametro che permette di rendere maggiormente precisa tale individuazione. Per chiarezza si illustra un esempio generico:

Si immagini di avere due isocline rappresentative del medesimo valore di amplificazione. Si considerino un estremo per ciascuna isocline che chiameremo punti A e B, e si immagini che la distanza tra A e B sia di poco maggiore della dimensione del lato della maglia con cui si è generata la rete. I punti A e B, potrebbero in realtà appartenere alla medesima isocline mentre attualmente sono posizionati su due diverse. Se si imposta il parametro di tolleranza per la mappa delle amplificazioni pari alla distanza dei punti A e B, successivamente alla rielaborazione le due isocline considerate sino ad ora diverrebbero un'unica curva.

Questa procedura non risolve tutte piccole imprecisioni che potrebbero essere presenti sulla mappa, ma ne migliora sensibilmente la leggibilità. Ulteriori modifiche possono essere apportate esportando la mappa per il successivo impiego in un programma CAD.

N.B.: Si tiene a precisare che l'impiego di tale procedura è molto sensibile al valore della tolleranza. Infatti per valori troppo alti rischierebbero di scomparire delle isocline, e quindi alterare la restituzione finale del calcolo. Si consiglia quindi di attestarsi su valori che si aggirino intorno a 2-3 volte la dimensione del lato della maglia.

### 2.2.2 Metodo Medvedev

Il metodo di Medvedev prevede che l'amplificazione è pari a:

$$F_a = [1 + \log_{10}(n_o + n_w)] \cdot (n_1 \cdot n_2)$$

dove:  $n_o$  rappresenta l'incremento di intensità sismica;  $n_w$  l'incremento di intensità sismica dovuto alla presenza di falda freatica al di sopra dei 10 m di profondità;  $n_1$  il fattore che tiene conto della morfologia del terreno in superficie;  $n_2$  il fattore che tiene conto della morfologia dello strato roccioso. Ciascuno di questi parametri è calcolato secondo le seguenti espressioni:

$$n_o = 1,67 \cdot \ln(R_o/R_n)$$

$$n_w = e^{-0,04Z} \cdot Z$$

$$n_1 = 1 + \log_{10}(1 + \sin \beta)$$

$$n_2 = 1 + \log_{10}(1 + \sin \alpha)$$

dove:

$\alpha$  e  $\beta$  l'inclinazione media del pendio;

$\beta$  e l'inclinazione media del bedrock;

Z la profondità dal piano campagna;

$R_o = V_o \cdot \gamma_o$  è la rigidità della roccia di riferimento;

$R_n = V_n \cdot \gamma_n$  è la rigidità dello strato superficiale.

Quest'ultimo, nel caso di una stratificazione articolata è ottenibile dall'espressione seguente:

$$R_n = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot h_i \cdot \gamma_i}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

dove:

$V_i$  è la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo;

$\gamma_i$  è il peso per unità di volume dello strato i-esimo;

$h_i$  è lo spessore dello strato i-esimo.

### 2.2.3 Metodo Impedenza sismica

Questo metodo, noto come "Metodo approssimato del rapporto di impedenza sismica", valuta l'amplificazione di una stratigrafia in corrispondenza della sua frequenza fondamentale pari a:

$$f = \frac{V_s}{4 \cdot H}$$

dove:

$V_s$  rappresenta la velocità media delle onde di taglio nella stratigrafia al di sopra dello strato rigido;

$H$  lo spessore della stratigrafia al di sopra dello strato di bedrock.

L'amplificazione è quindi pari a :

$$F_a(f) = \frac{1}{\frac{1}{I} + \frac{\pi \cdot D}{2}}$$

con

$$I = \frac{V_{sb} \cdot \gamma_{sb}}{V_{sc} \cdot \gamma_{sc}}$$

che rappresenta l'impedenza sismica, e dove:

$D$  rappresenta il fattore di smorzamento;

$V_{sb}$  e  $\gamma_{sb}$  rispettivamente la velocità delle onde di taglio e la densità del bedrock;

$V_{sc}$  e  $\gamma_{sc}$  rispettivamente la velocità delle onde di taglio e la densità medi degli strati al di sopra del bedrock valutati come media pesata sullo spessore degli strati stessi.

#### 2.2.4 Metodo Midorikawa

Questo metodo prevede la valutazione del fattore di amplificazione secondo la relazione empirica seguente:

$$F_a = 68 \cdot V_s^{-0.6} \quad \text{per } V_{s30} < 1100 \text{ m/s}$$

$$F_a = 1 \quad \text{per } V_{s30} \leq 1100 \text{ m/s}$$

dove:

$V_s$  rappresenta la velocità media delle onde di taglio valutata come media pesata sullo spessore degli strati;

$V_{s30}$  la velocità equivalente delle onde di taglio fino alla profondità di 30 m.

Convenzionalmente in questo metodo viene assunto come bedrock uno strato in cui la velocità delle onde di taglio è maggiore di 600 ÷ 700 m/s.

#### 2.2.5 Metodo Midorikawa-Fujiimoto

Questo metodo prevede la valutazione del fattore di amplificazione a partire da una relazione empirica suggerita da Midorikawa e Fujiimoto, di seguito riportata:

$$F_a = 10^{2.367 - 0.852 \cdot \log(V_{s30}) + 0.166}$$

dove:

$V_{s30}$  la velocità equivalente delle onde di taglio fino alla profondità di 30 m.

Convenzionalmente in questo metodo viene assunto come bedrock uno strato in cui la velocità delle onde di taglio è maggiore di 600 m/s.

### 2.2.6 Metodo Micro

Questo metodo, suggerito da Giulio Riga, ricalca le indicazioni dell'Ordinanza 3274, e viene valutata a mezzo della seguente espressione:

$$F_a = \ln(2,66 - 0,215 \cdot \ln(V_{s30}/1000) + 0,81)$$

dove:

$V_{s30}$  la velocità equivalente delle onde di taglio fino alla profondità di 30 m.

### 2.2.7 Metodo ID

Questo metodo di valutazione del fattore di amplificazione si basa sull'impedenza sismica smorzata di un fattore  $D$ , secondo la seguente espressione:

$$F_a = \frac{V_s \cdot \gamma_s}{V_b \cdot \gamma_b} \left( 1 - \frac{\pi}{2} \cdot D \cdot \frac{V_s \cdot \gamma_s}{V_b \cdot \gamma_b} \right) \leq 1,35$$

dove:

$D$  rappresenta il fattore di smorzamento;

$V_s$  e  $\gamma_s$  rispettivamente la velocità media delle onde di taglio e la densità media degli strati sovrastanti il bedrock;

$V_b$  e  $\gamma_b$  rispettivamente la velocità delle onde di taglio e la densità del bedrock.

### 2.2.8 Metodo Borchardt inferiore VII

Questo metodo si basa sulla correlazione tra le velocità delle onde di taglio e l'amplificazione spettrale orizzontale media (ASHA) per eventi sismici di intensità fino al VII grado della scala MCS, ed è pari a:

$$ASHA = \frac{700}{V_s}$$

dove:

$ASHA$  rappresenta il fattore di amplificazione;

700 la velocità nominale delle onde di taglio nel bedrock;

$V_s$  la velocità media delle onde di taglio fino alla profondità di 30 m.

### 2.2.9 Metodo Borchardt superiore VII

Questo metodo, analogo al precedente, si basa sulla correlazione tra le velocità delle onde di taglio e l'amplificazione spettrale orizzontale media (ASHA) per eventi sismici di intensità pari o superiori al VII grado della scala MCS, ed è pari a:

$$ASHA = \frac{600}{V_s}$$

dove:

$ASHA$  rappresenta il fattore di amplificazione;

600 la velocità nominale delle onde di taglio nel bedrock;

$V_s$  la velocità media delle onde di taglio fino alla profondità di 30 m.

### 2.2.10 Metodo Lombardia

Questo metodo si basa sulle indicazioni fornite dalla Regione Lombardia per quanto riguarda la caratterizzazione del territorio dal punto di vista sismico, in emanazione della Delibera della Giunta Regionale del 30 novembre 2011 - n. IX/12616, "Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12", approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374" pubblicata sul Bollettino Ufficiale Regione Lombardia Serie Ordinaria del 19 gennaio 2012.

Il metodo si basa su una prima tipizzazione litologica della stratigrafia, che permette di selezionare la relativa scheda tra le sei proposte. Successivamente in funzione della profondità e della velocità delle onde di taglio dello strato superficiale, l'abaco contenuto nella scheda precedentemente scelta permette di individuare la relativa curva atta a valutare il fattore di amplificazione in funzione al periodo proprio del sito calcolato come:

$$T = \frac{4 \cdot \sum_{i=1}^n h_i}{\frac{\sum_{i=1}^n V_{si} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}}$$

---

Di seguito vengono riportate le schede pubblicate sul bollettino ufficiale di cui sopra:

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA GHIAIOSA

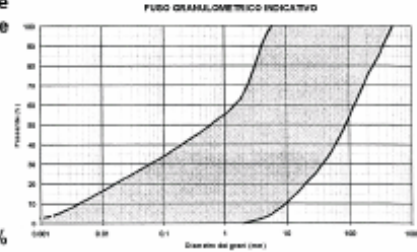
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

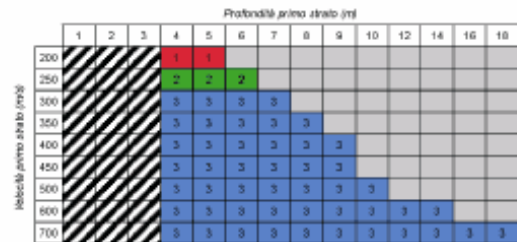
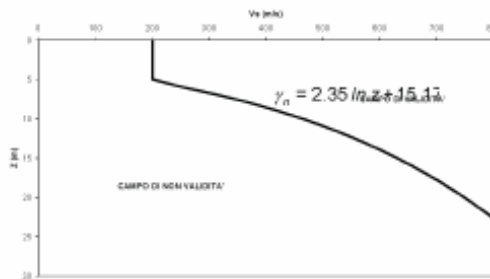
Da ghiaie e ciottoli con blocchi a ghiaie e sabbie limose debolmente argillose passando per ghiaie con sabbie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie con limo debolmente sabbiose e sabbie con ghiaie

NOTE:

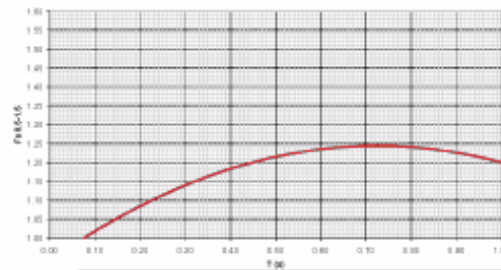
- Comportamento granulare
- Struttura granulo-sostenuta
- Frazione ghiaiosa superiore al 35%
- Frequenti clasti con  $D_{max} > 20$  cm
- Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 65%
- Matrice limoso - argillosa fino ad un massimo del 30% con frazione argillosa subordinata (fino al 5%)
- Presenza di eventuali trovanti con  $D > 50$  cm



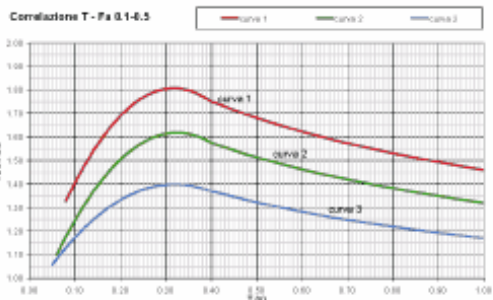
ANDAMENTO DEI VALORI DI  $V_s$  CON LA PROFONDITA'



Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



$$Fa_{0.5-1.5} = -0.58T^2 + 0.84T + 0.94$$



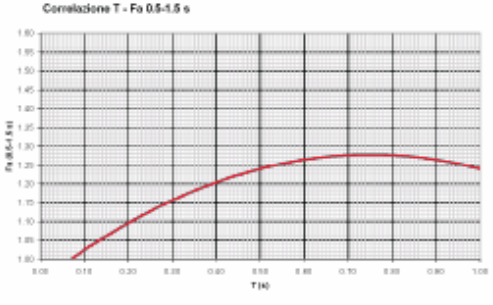
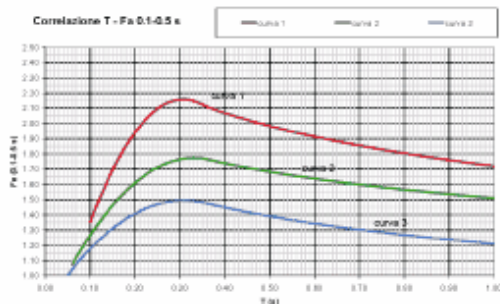
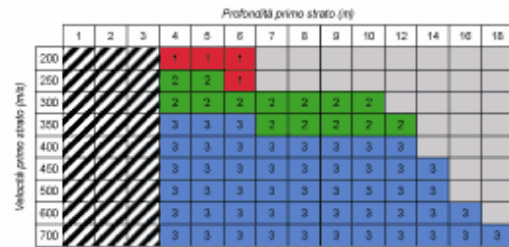
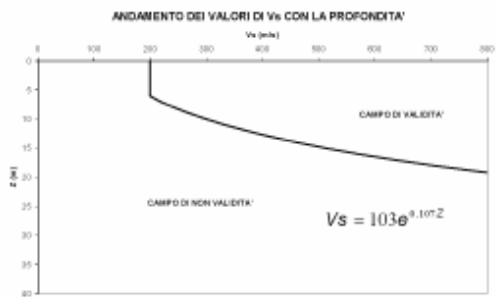
Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.4} = -8.5T^2 + 5.4T + 0.95$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.46 - 0.32LnT$
2	$0.06 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.2-0.5} = -7.4T^2 + 4.8T + 0.84$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.32 - 0.28LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.2-0.5} = -4.7T^2 + 3.0T + 0.92$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.17 - 0.22LnT$

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – ARGILLOSA TIPO 1

**PARAMETRI INDICATIVI**

**GRANULOMETRIA:**  
 Da limi ghiaioso – argillosi debolmente sabbiosi ad argille con limi passando per limi argillosi, limi con sabbie argillose, limi e sabbie con argille, argille ghiaiose, argille ghiaiose debolmente limose ed argille con sabbie debolmente limose

**NOTE:**  
 Comportamento coesivo  
 Struttura matrice-sostenuta  
 Frazione limosa superiore al 40%  
 Presenza di clasti immersi con  $D_{max} < 2-3$  cm  
 Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 25%  
 Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 35%  
 Frazione argillosa compresa tra 20% e 60%  
 Presenza di eventuali sottili orizzonti ghiaioso fini e sabbioso medio-grossolani



$$Fa_{0.5-1.5} = -0.6T^2 + 0.9T + 0.94$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -18.7T^2 + 11.5T + 0.39$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.72 - 0.38LnT$
2	$0.06 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.5T^2 + 6.3T + 0.73$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.51 - 0.25LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.3T^2 + 4.5T + 0.80$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.21 - 0.26LnT$

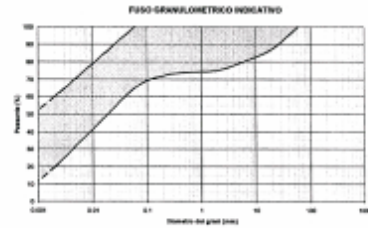


**EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – ARGILLOSA TIPO 2**

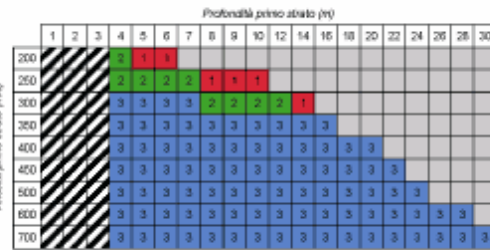
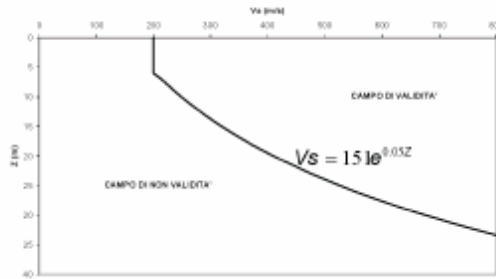
**PARAMETRI INDICATIVI**

**GRANULOMETRIA e NOTE:** come per la litologia limoso - argillosa TIPO 1, a cui in aggiunta è possibile associare i seguenti range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per argille con limi ghiaiosi debolmente sabbiosi:

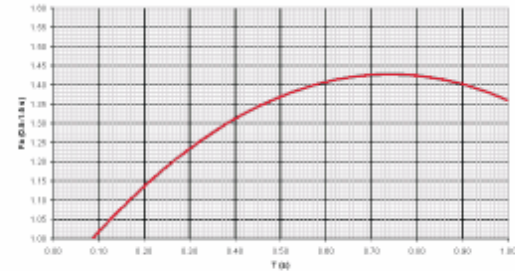
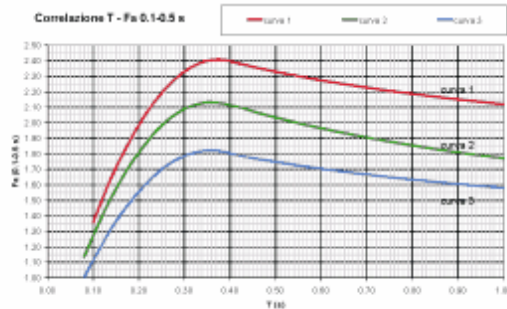
PARAMETRO		INTERVALLO
Peso di volume naturale	$\gamma (kN/m^3)$	19.5-20.0
Peso specifico particelle solide	$\gamma_s (kN/m^3)$	25.7-26.7
Contenuto d'acqua naturale	w [%]	20-25
Limite di liquidità	$w_L$ [%]	30-50
Limite di plasticità	$w_p$ [%]	15-20
Indice di plasticità	$I_p$ [%]	15-30
Indice dei vuoti	e	0.5-0.7
Grado di saturazione	$S_r$ [%]	90-100
Coefficiente di spinta a riposo	$K_0$	0.5-0.8
Indice di compressione	$C_c$	0.15-0.30
Indice di rigonfiamento	$C_s$	0.02-0.06
Coefficiente di consolidazione secondaria	$C_\alpha$	0.001-0.005
Grado di consolidazione	OCR	1-3
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	$N_{SPT}$	15-30



ANDAMENTO DEI VALORI DI  $V_s$  CON LA PROFONDITA'



Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



$$Fa_{0.5-1.5} = -T^2 + 1.48T + 0.88$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.5-1.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.5-1.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

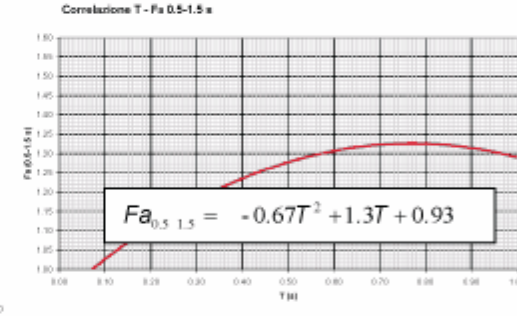
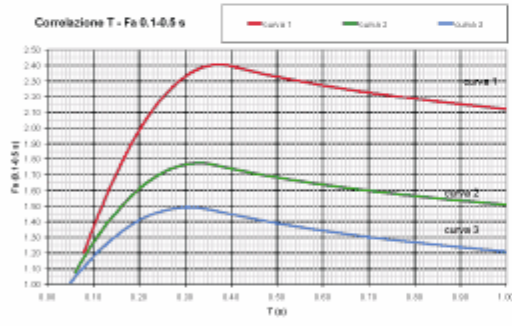
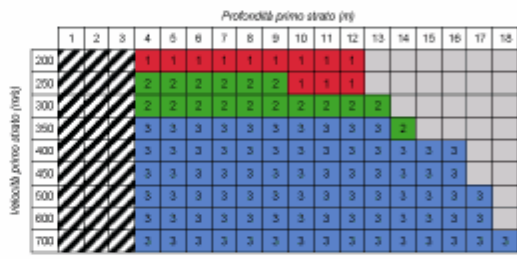
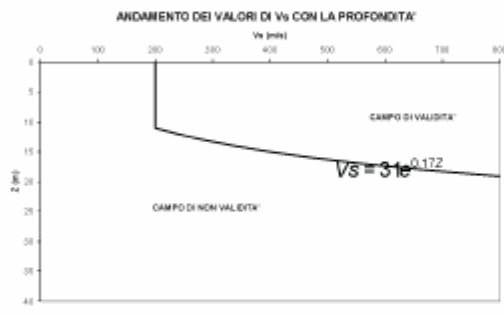
EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 1

**GRANULOMETRIA:**  
Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

**NOTE:**  
Comportamento coesivo  
Frazione limosa ad un massimo del 95%  
Presenza di clasti immersi con  $D_{max} < 2-3$  cm  
Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%  
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%  
Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%

**A FIANCO:** range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi

**PARAMETRI INDICATIVI**



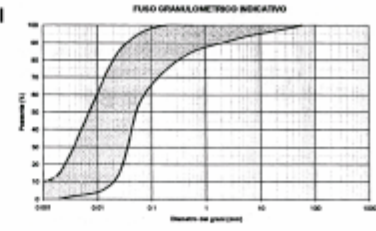
Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^3 + 10.4T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.06 < T \leq 0.35$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.5T^3 + 6.3T + 0.73$	$0.35 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.51 - 0.25LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.35$ $Fa_{0.1-0.5} = -7.3T^3 + 4.5T + 0.80$	$0.35 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.21 - 0.26LnT$

**EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 2**

**PARAMETRI INDICATIVI**

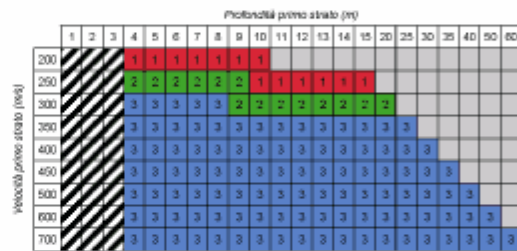
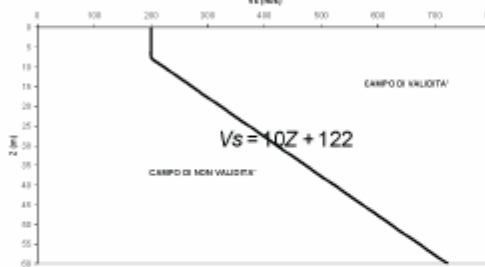
**GRANULOMETRIA:**  
Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

**NOTE:**  
Comportamento coesivo  
Frazione limosa ad un massimo del 95%  
Presenza di clasti immersi con  $D_{max} < 2-3$  cm  
Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%  
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%  
Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%  
A FIANCO: range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi

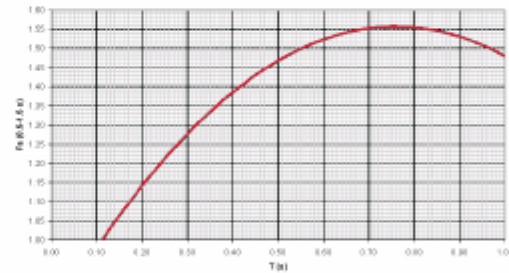
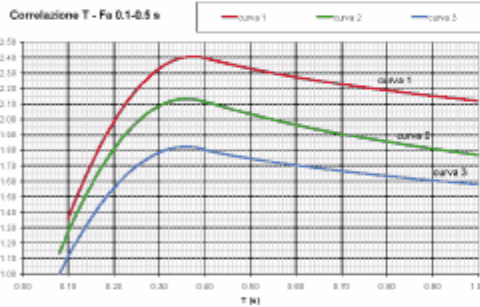


PARAMETRO	INTERVALLO
Peso di volume naturale	18.5-19.5
Densità specifica particelle solide	26.0-27.5
Contenuto d'acqua naturale	25-30
Limite di liquidità	26-36
Limite di plasticità	15-20
Indice di plasticità	5-15
Indice dei vuoti	0.6-0.9
Grado di saturazione	90-100
Coefficiente di spinta a riposo	0.4-0.6
Indice di compressione	3.10-3.30
Indice di espansione	0.00-0.05
Coefficiente di consolidazione secondaria	0.002-0.008
Numero colpi per 3PT (per ogni 30 cm)	5-20

ANDAMENTO DEI VALORI DI  $V_s$  CON LA PROFONDITA'



Correlazione T -  $F_a$  0.5-1.5 s



$$F_{a_{0.5-1.5}} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$ $F_{a_{0.1-0.5}} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $F_{a_{0.2-0.5}} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$ $F_{a_{0.1-0.5}} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$0.40 < T \leq 1.00$ $F_{a_{0.1-0.5}} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$ $F_{a_{0.1-0.5}} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $F_{a_{0.1-0.5}} = 1.58 - 0.24LnT$

EFFETTI LITOLGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

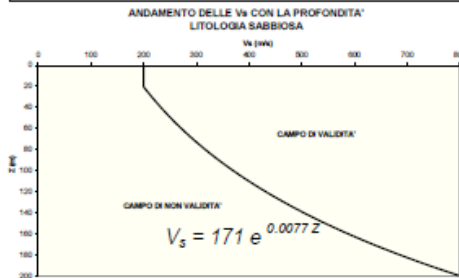
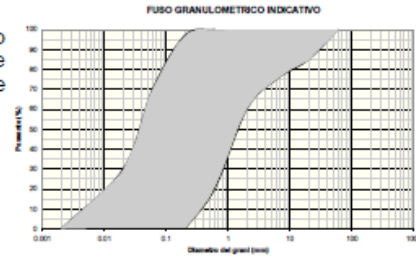
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

NOTE:

- Comportamento granulare
- Struttura granulo-sostenuta
- Clasti con  $D_{max} > 20$  cm inferiori al 15%
- Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
- Frazione limosa fino ad un massimo del 70%



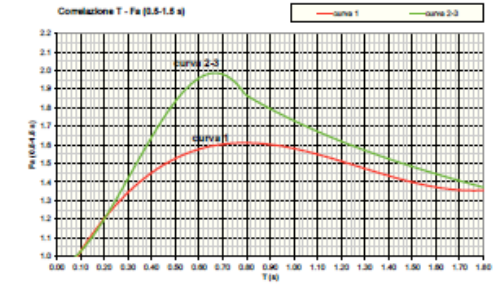
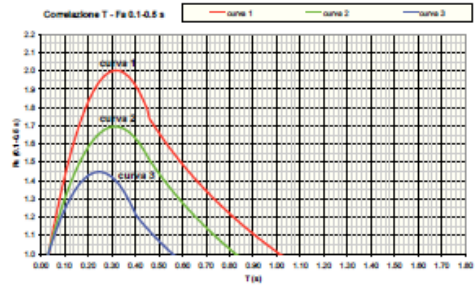
Profondità primo strato (m)	Profondità primo strato (m)																						
	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	80	90	110	130	140	160	180
200	2	1-2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
250	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
300	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
550	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
600	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
650	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
700	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

ove la sigla NA indica  $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1

CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media  $V_s$  minore o uguale a 300 m/s poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s	0
$V_s > 500$ m/s	5 - 12 m



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.78$	$0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -6.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^2 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
2	$0.08 \leq T \leq 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^2 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
3	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

2.2.11 Metodo Romagna

**Metodo della Regione Emilia Romagna (Romagna)**

Questo metodo si basa sulle indicazioni fornite dalla Regione Emilia-Romagna nell' "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione

territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017)" approvato dalla Giunta Regionale con Delibera Num. 630 del 29/04/2019.

Di seguito si riporta integralmente il testo dell'Allegato A2 che ben chiarisce la metodologia di calcolo.

## **TABELLE E FORMULE PER LA STIMA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO)**

### **A2.1 - Tabelle per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica (secondo livello di approfondimento)**

Per la stima del fattore di amplificazione (FA) devono essere realizzate indagini geotecniche e geofisiche che permettano di definire lo spessore  $H$  del deposito di copertura e la velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato ( $V_{sH}$  e  $V_{s30}$ ) del deposito di copertura. Per copertura si intende una coltre detritica di origine continentale (alluvionale, eluviocolluviale, gravitativa, ...) o di alterazione presente dalla superficie al tetto del substrato geologico per un intervallo  $H$  non inferiore a 3 m.  $H$  è quindi lo spessore della copertura o profondità del substrato rigido, ovvero del bedrock sismico.

La velocità equivalente delle onde di taglio è definita dalle formule di seguito riportate:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $N$  è il numero di strati del profilo sismico corrispondenti alla copertura,  $H$  è lo spessore totale (in m) dei terreni di copertura, o profondità del tetto del bedrock sismico,  $h_i$  è lo spessore (in m) dello strato  $i$ -esimo (fino al bedrock sismico),  $V_{s_i}$  è la velocità (in m/s) dello strato  $i$ -esimo (fino al bedrock sismico);

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $M$  è il numero di strati del profilo sismico fino alla profondità di 30 m,  $h_i$  è lo spessore (in m) dello strato  $i$ -esimo (fino alla profondità di 30 m),  $V_{si}$  è la velocità (in m/s) dello strato  $i$ -esimo (fino alla profondità di 30 m).

I FA rappresentano il rapporto fra lo scuotimento sismico, espresso con i parametri sotto indicati, valutato per la condizione geo-litologica specifica e il corrispondente scuotimento relativo alla categoria di sottosuolo A. Quest'ultimo è definito nella tabella 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC (2018), come segue:

Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

I FA riportati nelle tabelle sono stati calcolati per un tempo di ritorno  $TR=475$  anni, con smorzamento  $\zeta=5\%$ , e sono relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

- accelerazione di picco orizzontale (PGA)1;
- intensità spettrale

$$SA = \int_{T_1}^{T_2} A(T, \zeta) dT$$

dove  $A$  è lo spettro di risposta in accelerazione,  $T$  è il periodo proprio e  $\zeta$  è lo smorzamento2; sono stati considerati quattro intervalli di periodo proprio  $T$  ottenendo quattro valori di intensità spettrale:

	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>
<b>SA1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SA2</b>	0,4 s	0,8 s
<b>SA3</b>	0,7 s	1,1 s
<b>SA4*</b>	0,5 s	1,5 s

- intensità spettrale

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$$

dove  $V$  è lo spettro di risposta in velocità,  $T$  è il periodo proprio e  $\zeta$  è lo smorzamento<sup>3</sup>; sono stati considerati tre intervalli di periodo proprio  $T$  ottenendo tre valori di intensità spettrale:

	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>
<b>SI1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SI2</b>	0,5 s	1,0 s
<b>SI3*</b>	0,5 s	1,5 s

I fattori di amplificazione SA4 e SI3 sono richiesti per studi in aree di pianura e di costa.

N.B.: nei casi di diminuzione dei fattori di amplificazione per bassi valori di  $V_sH$  o  $V_s30$ , causata da un significativo comportamento non lineare dei suoli, i valori riportati nelle tabelle sono mantenuti ancorati ai valori di amplificazione massima.

1 PGA/PGA0; PGA0 è l'accelerazione massima orizzontale a periodo  $T=0$  al suolo di riferimento, PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo  $T=0$  alla superficie del sito.

2 SA/SA0; SA0 è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento, SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito.

3 SI/SI0; SI0 è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento, SI l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito.

#### A2.1.1 - APPENNINO

Le tabelle relative al settore appenninico sono il riferimento per la stima semplificata dell'amplificazione stratigrafica nelle aree collinari e montane dell'Emilia-Romagna. Possono essere applicate anche nelle aree di pianura prossime al margine morfologico appenninico-padano dove le coperture detritiche continentali hanno spessore indicativamente non superiore a 50 m.

In caso di coperture direttamente poggianti su substrato rigido, ovvero bedrock sismico, generalmente caratterizzato da  $V_s \geq 800$  m/s, si devono usare le seguenti tabelle

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,8	1,7	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
15	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,0
20	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,0
25	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,6	1,5	1,3	1,0
30		1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2
35		1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,6	1,4	1,4	1,2
40		1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,6	1,4	1,4	1,2
50		1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,4	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione PGA

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,7	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,1	2,0	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,2	2,2	2,0	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
20	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1
25	2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1
30		2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2
35		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,2

Fattore di Amplificazione SA1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )



$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,2	1,8	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,8	2,5	1,9	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,9	2,8	2,4	1,7	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
30		3,0	2,7	2,0	1,7	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
35		3,1	2,9	2,4	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1
40		3,1	3,0	2,6	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1
50		2,9	2,9	2,7	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione SA2 ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,0	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,7	1,9	1,5	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
30		2,5	1,8	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
35		3,1	2,3	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0
40		3,4	2,9	1,9	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0
50		3,5	3,3	2,8	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1

Fattore di Amplificazione SA3 ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,1	2,0	1,6	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,4	2,3	2,1	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0
20	2,4	2,4	2,3	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0
25	2,4	2,4	2,4	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0
30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,1
35		2,3	2,3	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione SI1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,6	1,9	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,9	2,5	1,9	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
30		2,9	2,3	1,6	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
35		3,2	2,8	1,9	1,5	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0
40		3,4	3,1	2,4	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0
50		3,2	3,2	2,9	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1

Fattore di Amplificazione SI2 ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ )

In caso di coperture su substrato non rigido, vale a dire caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s, si devono usare le seguenti tabelle

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,3	2,0	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	
10	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	
20	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	
25	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	
30		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	
35		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
40		2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione PGA

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,2	1,8	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	
10	2,5	2,3	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,5	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	
20	2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,3	
25	2,4	2,4	2,3	2,2	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,3	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione SA1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	
10	2,3	1,8	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	
15	2,8	2,3	1,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	
20	3,2	2,9	2,3	1,8	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	
25	3,4	3,2	2,7	2,0	1,7	1,5	1,5	1,4	1,3	
30		3,3	2,9	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4	
35		3,3	3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
40		3,2	3,1	2,7	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	1,2
50		3,0	3,0	2,8	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione SA2 ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
15	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
20	2,4	2,1	1,6	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
25	3,4	2,5	1,9	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
30		3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	
35		3,3	2,7	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,1
40		3,6	3,1	2,2	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
50		3,6	3,4	2,9	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione SA3 ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,1	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,7	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	
20	2,6	2,6	2,4	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	
25	2,6	2,6	2,5	2,3	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,4	2,4	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione SI1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,8	1,6	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,3	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
20	2,9	2,6	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	
25	3,6	3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	
30		3,3	2,7	1,9	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	
35		3,5	3,0	2,2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1
40		3,5	3,2	2,6	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		3,3	3,3	3,0	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione SI2 ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ )

In caso di substrato marino non rigido, cioè caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s, affiorante o subaffiorante (copertura di spessore inferiore a 3 m) si devono usare le seguenti tabelle

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
PGA					1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1

Fattore di Amplificazione PGA

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SA1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,2	1,1
SA2					1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3
SA3					1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2

Fattori di Amplificazione SA1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), SA2 ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), SA3 ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ )

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SI1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2
SI2					1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3

Fattori di Amplificazione SI1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), SI2 ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ )

#### A2.1.2 - PIANURA PADANA E COSTA ADRIATICA

Per la pianura e la costa sono stati individuati diversi ambienti caratterizzati da differenti caratteristiche litostratigrafiche, in particolare da diversa profondità dell'orizzonte che costituisce il substrato rigido, che in pianura non sempre coincide con l'orizzonte caratterizzato da  $V_s \geq 800$  m/s.

PIANURA 1: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di un'importante discontinuità stratigrafica responsabile di un contrasto di

impedenza significativo, tale da essere considerato coincidente con il tetto del substrato rigido, a profondità  $\leq 100$  m da p.c.;

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5

Fattore di Amplificazione PGA

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,9
SA3	3,2	3,2	3,0	2,7	2,5	2,2
SA4	3,1	3,0	2,7	2,4	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione SA1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), SA2 ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), SA3 ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ), SA4 ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5
SI2	3,0	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1
SI3	3,4	3,2	2,8	2,5	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione SI1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), SI2 ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ ), SI3 ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5

Fattore di Amplificazione PGA

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8
SA3	3,3	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
SA4	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione SA1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), SA2 ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), SA3 ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ), SA4 ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	3,1	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0
SI3	3,6	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione SI1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), SI2 ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ ), SI3 ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

PIANURA 3: settore di pianura caratterizzato da elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati, alternanze di limi, argille e sabbie di ambiente alluvionale e transizionale, con substrato rigido a profondità non inferiore a 300 m da p.c.;

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,3	1,3	1,3			

Fattore di Amplificazione PGA



$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,3	1,3	1,3			
SA2	2,1	2,1	2,0			
SA3	2,5	2,5	2,4			
SA4	2,4	2,4	2,3			

Fattori di Amplificazione SA1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), SA2 ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), SA3 ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ), SA4 ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,5	1,5	1,5			
SI2	2,3	2,3	2,2			
SI3	2,6	2,6	2,4			

Fattori di Amplificazione SI1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), SI2 ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ ), SI3 ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

MARGINE: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura, o la costa, caratterizzato da terreni alluvionali prevalentemente fini (argille, limi, sabbie) sovrastanti

orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine o transizionali pleistoceniche (Sabbie Gialle) o dalla successione pelitica plio-pleistocenica (Argille Azzurre); il tetto del substrato geologico è a profondità indicativamente comprese tra 50 e 100 m; questo settore è suddiviso in:

MARGINE di tipo A: caratterizzato da terreni fini o grossolani poco consolidati, di spessore non superiore a 30 m, sovrastanti orizzonti prevalentemente grossolani a comportamento più rigido (indicativamente con valore di  $V_s$  media almeno doppio rispetto a quello dei sedimenti sovrastanti); H è riferito allo spessore di sedimenti fini o grossolani poco consolidati sovrastanti i sedimenti continentali più rigidi

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	2,3	2,1	1,8	1,5		
10	2,3	2,2	2,0	1,8		
15	2,1	2,1	2,0	1,8		
20	2,1	2,1	2,0	1,9		
25	2,0	2,0	2,0	1,9		
30	1,9	1,9	1,9	1,9		

Fattore di Amplificazione PGA

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	2,3	2,0	1,7	1,5		
10	2,5	2,3	2,0	1,8		
15	2,4	2,4	2,1	1,9		
20	2,3	2,3	2,1	2,0		
25	2,2	2,2	2,1	2,0		
30	2,0	2,0	2,0	1,9		

Fattore di Amplificazione SA1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	1,9	1,7	1,7	1,6		
10	2,7	2,2	1,9	1,8		
15	3,3	2,9	2,3	2,0		
20	3,4	3,1	2,6	2,2		
25	3,3	3,2	2,8	2,4		
30	3,1	3,1	2,8	2,5		

Fattore di Amplificazione SA2 ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	1,6	1,6	1,6	1,6		
10	2,0	1,8	1,7	1,7		
15	2,9	2,3	2,0	1,9		
20	3,4	2,8	2,3	2,0		
25	3,9	3,4	2,7	2,3		
30	3,8	3,6	3,0	2,5		

Fattore di Amplificazione SA3 ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	2,2	1,9	1,7	1,6		
10	2,6	2,4	2,0	1,8		
15	2,6	2,5	2,2	1,9		
20	2,5	2,5	2,3	2,0		
25	2,3	2,3	2,2	2,1		
30	2,1	2,1	2,1	2,0		

Fattore di Amplificazione SI1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	1,8	1,7	1,6	1,6		
10	2,3	2,0	1,8	1,7		
15	3,2	2,6	2,1	2,0		
20	3,5	3,1	2,5	2,1		
25	3,7	3,4	2,8	2,4		
30	3,6	3,5	3,0	2,6		

Fattore di Amplificazione SI2 ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ )

MARGINE di tipo B: caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini;

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5

Fattore di Amplificazione PGA

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5
SA2	2,6	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7
SA3	3,1	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1
SA4	3,0	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione SA1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), SA2 ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), SA3 ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ) e SA4 ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1	2,0
SI3	3,3	3,1	2,7	2,4	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione SI1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), SI2 ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ ), SI3 ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

## A2.2 - Effetti della topografia (...omissis)

### 3 Comandi comuni

In questa sezione vengono descritti i comandi e le finestre comuni ai due tipi di analisi.

#### 3.1 Barra Disegno

Il tab della Ribbon Bar denominato "Disegno", contiene i più comuni comandi degli strumenti per la visualizzazione, con l'aggiunta di alcune specifiche funzionalità.

N.B.: Questo tab è presente solo quando è attiva una finestra dal contenuto grafico.

---

### **Gruppo comandi "Generale"**

In questo gruppo si trovano alcuni comandi generici che permettono rispettivamente le seguenti operazioni:

**Anteprima di Stampa:** Visualizza un'anteprima di stampa del contenuto della finestra attiva;

**Salva Immagine:** Apre una finestra di dialogo per scegliere il nome del file ed il formato di immagine in cui verrà esportato il contenuto grafico della finestra attiva.

**Copia:** Copia il contenuto grafico della finestra attiva negli appunti di sistema.

---

### **Gruppo comandi "Layers"**

In questo gruppo si trovano tutti comandi necessari per gestire la visualizzazione dei contenuti della finestra grafica e le relative opzioni.

Il campo Layer permette di selezionare uno dei layer tematici presenti nella finestra grafica, aggiornando gli altri campi presenti nel gruppo quali ad esempio la visualizzazione ed il colore.

Il campo Spessore linee layer permette di modificare lo spessore delle linee con le quali vengono rappresentati gli oggetti afferenti al layer selezionato nel campo Layer.

Il campo Visibile permette di nascondere o riportare allo stato visibile i contenuti del layer selezionato nel campo Layer.

Il campo Colore permette di modificare il colore con il quale vengono rappresentati gli oggetti del layer selezionato nel campo Layer.

Il pulsante Pannello permette di visualizzare una finestra riepilogativa dei layers presenti nella finestra grafica attiva con i loro attributi, fornendo la possibilità di modificare gli attributi stessi dei layers.

---

### **Gruppo comandi "Proporzioni disegno"**

Questo gruppo di comandi permette di modificare le proporzioni di alcuni oggetti presenti nella rappresentazione grafica della finestra attiva.

**Fattore di scala:** Questo valore permette di scalare globalmente la rappresentazione grafica degli oggetti presenti nella finestra attiva, esaltando o deamplificando le differenze. (Presente solo in analisi territoriale)

**N.B.:** non modifica in alcun modo i risultati, ed influenza esclusivamente la rappresentazione grafica.

**Altezza etichette:** Questo valore permette di modificare la dimensione delle etichette presenti nella rappresentazione grafica della finestra attiva, in modo da renderle il più chiare possibili.

**Raggio sondaggi:** Questo valore permette di modificare la dimensione con la quale vengono rappresentati i cilindri relativi ai sondaggi nella rappresentazione grafica contenuta nella finestra attiva. (Presente solo in analisi territoriale)

**N.B.:** Non modifica in alcun modo i risultati, ed influenza esclusivamente la rappresentazione grafica.

---

### **Gruppo comandi "Disegno 2D"**

Questo gruppo di comandi consente gestire la visualizzazione piana della rappresentazione contenute nella finestra attiva.

**Zoom Tutto:** Estende la visualizzazione della finestra grafica in modo da rendere visibili tutti i contenuti grafici.

**Rigenera tutto:** Avvia una completa rigenerazione degli oggetti contenuti nella finestra grafica attiva.

**Zoom +:** Avvicina il punto di vista della finestra grafica in direzione del centro della stessa e nel verso entrante

**Zoom -:** Allontana il punto di vista della finestra grafica in direzione del centro della stessa e nel verso uscente.

Zoom finestra: Permette di selezionare un'area della rappresentazione grafica da estendere fino a riempire le dimensioni della finestra grafica stessa.

Zoom precedente: Permette di ripristinare i precedenti livelli di zoom.

Sposta: Permette di traslare il punto di vista della finestra grafica.

Ridisegna: Permette di migliorare la restituzione a video della rappresentazione grafica.

---

### **Gruppo comandi "Disegno 3D"**

Questo gruppo di comandi permette di gestire la visualizzazione tridimensionale della rappresentazione grafica contenuta nella finestra attiva.

3D: Pone il punto di vista della finestra grafica in assonometria tridimensionale.

2D-XY: Permette di portare il punto di vista della finestra grafica sulla normale al piano XY della rappresentazione grafica.

2D-XZ: Permette di portare il punto di vista della finestra grafica sulla normale al piano XZ della rappresentazione grafica.

2D-YZ: Permette di portare il punto di vista della finestra grafica sulla normale al piano YZ della rappresentazione grafica.

Ruota Z+: Permette di ruotare il punto di vista della finestra grafica in senso antiorario intorno all'asse Z della rappresentazione grafica.

Ruota Z-: Permette di ruotare il punto di vista della finestra grafica in senso orario intorno all'asse Z della rappresentazione grafica.

Ruota Z+: Permette di ruotare il punto di vista della finestra grafica in senso antiorario intorno all'asse Z della rappresentazione grafica.

Ruota X+: Permette di ruotare il punto di vista della finestra grafica in senso antiorario intorno all'asse X della rappresentazione grafica.



Ruota X-: Permette di ruotare il punto di vista della finestra grafica in senso orario intorno all'asse X della rappresentazione grafica.

Ruota 3D: Permette di ruotare liberamente il punto di vista della finestra grafica secondo gli orientamenti della rappresentazione grafica.

## 4 Campi di impiego

Le analisi di tipo territoriale (analisi di livello 2) vengono compiute a valle di quelle di livello 1. Queste ultime hanno come obiettivo quello di individuare in prima approssimazione vaste aree territoriali (indicativamente su scala regionale o provinciale) con medesime caratteristiche geologiche, ovvero aree in cui è presente una variabilità litologica che necessita uno studio più approfondito, ed aree stratigraficamente omogenee per cui esista o non esista la medesima necessità di ulteriori indagini.

Una volta individuate tali aree, l'analisi di livello 2 (analisi territoriale in RSL) ha il compito di dare risposta alle domande di ulteriori indagini formulate nel livello di analisi precedente. Il suo scopo è quindi quello di individuare aree con il medesimo fattore di amplificazione stratigrafico su di una scala in cui si possano apprezzare sensibili variazioni della litologia stratigrafica (indicativamente su scala comunale). Quindi rappresentano una tipizzazione di massima di aree che il tecnico, in base ad indicazioni normative di valenza locale o nazionale ed alle proprie esperienze e conoscenze, categorizzerà come sicure, pericolose o necessitanti ulteriori successive indagini ai fini della valutazione del rischio sismico.

Le analisi locali di RSL corrispondono, per riportarsi alla tipica sintassi della letteratura scientifica e tecnica in materia, a quelle di livello 3. Come facilmente deducibile dalla sua definizione, approfondisce il livello di studio di quella precedente, andando a definire puntualmente il valore dell'amplificazione stratigrafica in un particolare sito. Le NTC2008 al punto 3.2.2 valutano l'effetto di tale amplificazione tramite una categorizzazione del suolo a mezzo del parametro equivalente  $V_s30$  nella tabella 3.2.II. A ciascuna categoria quindi corrisponde un fattore di amplificazione stratigrafico  $S_s$  deducibile dalle tabelle 3.2.V e 3.2.VII, applicabili direttamente agli spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti rispettivamente verticali ed orizzontali. Questo, sempre citando le suddette norme, in assenza di ulteriori specifiche analisi. In alternativa si fa riferimento invece al punto 7.11.3 della stessa norma, e più precisamente al punto 2 in cui viene specificato che "Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è

definito mediante l'accelerazione massima ( $a_{\max}$ ) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. Il valore  $a_{\max}$  può essere ricavato dalla relazione  $a_{\max} = S_s \cdot a_g$  dove  $a_g$  è l'accelerazione massima su di un sito di riferimento rigido ed  $S_s$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafico. Per categorie speciali di sottosuolo (Tab. 3.2.III), per determinati sistemi geotecnici o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante specifiche analisi di risposta sismica locale. Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove."

Nella sezione sottolineata sopra, trova il campo di applicazione l'analisi di livello 3 che compie RSL, in quanto valuta l'amplificazione stratigrafica specifica del sito, non solo per un'accelerazione attesa, ma per l'intero spettro e/o insieme di accelerogrammi scelti per il caso di studio, e per tutta la banda di frequenza interessata dallo spettro e/o dagli accelerogrammi.

In RSL è infatti possibile "amplificare" "stratigraficamente" sia la componente verticale di uno spettro di risposta elastico in accelerazione, che un accelerogramma, ovvero, citando la norma, la "storia temporale dell'accelerazione di un sito di riferimento rigido ed affiorante con superficie topografica orizzontale (sottosuolo tipo A)". Il suolo di riferimento rigido sopra citato, in RSL ed in tutto il manuale, è definito più semplicemente bedrock.

## 5 Note FFT

La trasformata veloce di Fourier (FFT) deve essere applicata ad un segnale con un numero di campioni pari ad una potenza di 2 ( $2^n$ : 1024, 2048, 4096 etc.).

## 6 Book

<http://www.geostru.eu/it/shop/book/risposta-sismica-locale-1d/>

## 7 Contatti

[WWW.GEOSTRU.EU](http://WWW.GEOSTRU.EU)