Occhio…

Non sembra un nostro problema,
ma è il nostro più grande problema.

1

Legge di propagazione degli errori

Senza entrare nella trattazione matematica, qualitativamente per propagazione degli errori si intende l'effetto dell'errore di una singola variabile sul risultato di una funzione.

Nel caso in cui la nostra elaborazione sia il risultato e la combinazione di un certo numero di variabili, per conoscere la variabilità del risultato finale devo considerare come cambiano i singoli fattori che producono il risultato.

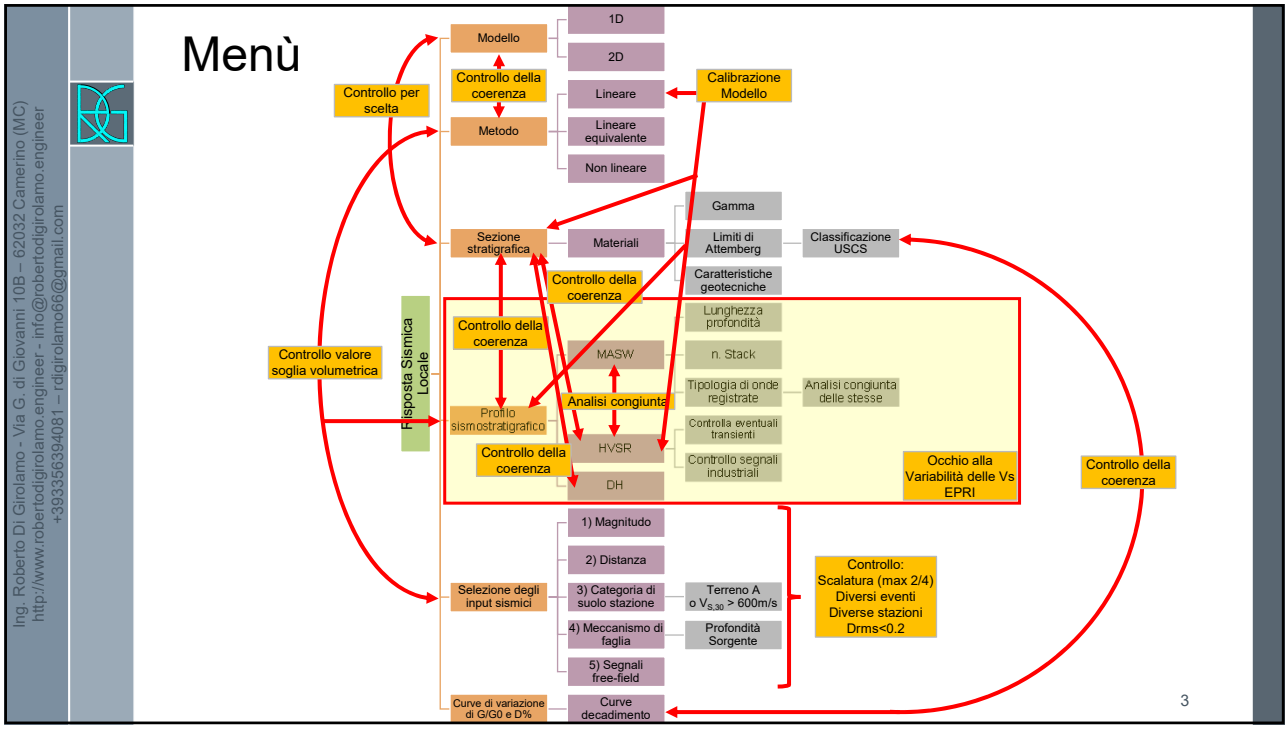
Se non riesco a trovare una formulazione matematica chiusa di tale errore, posso, in maniera sistematica, controllare la sensibilità (variabilità) del risultato al variare di un singolo parametro.

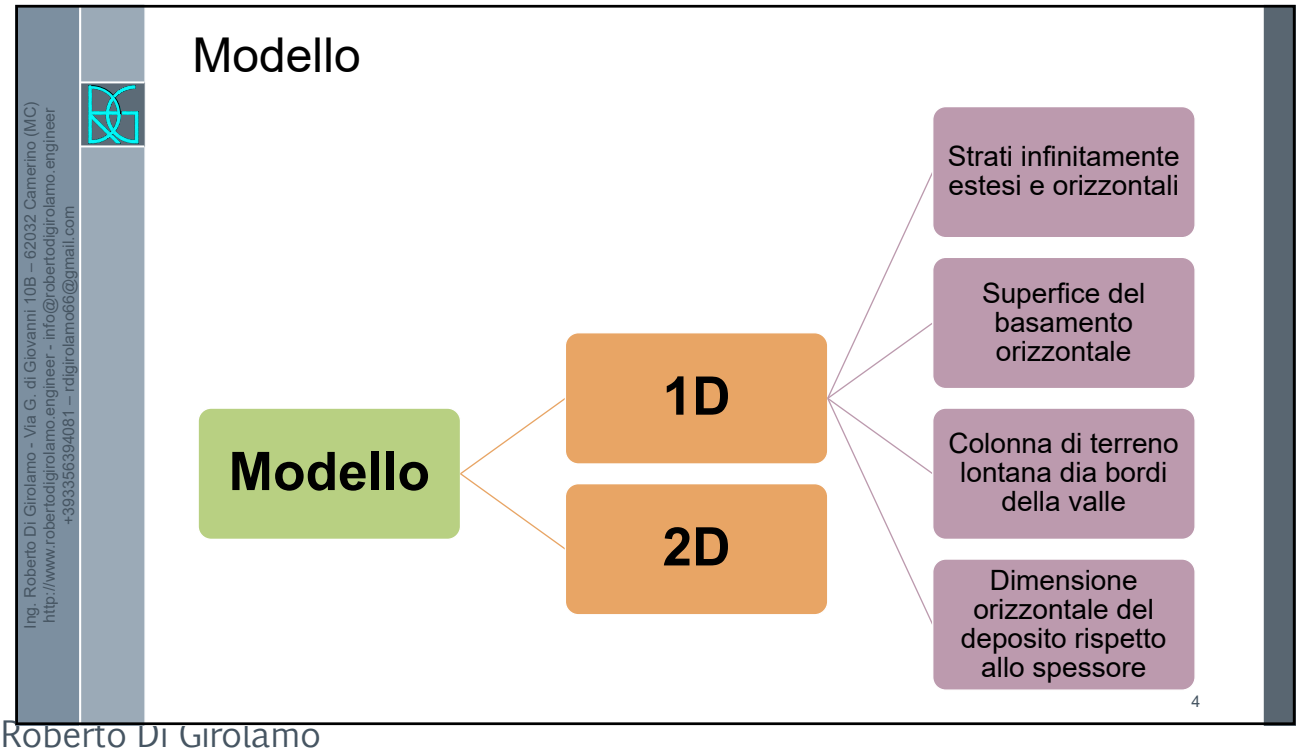
ANALISI DI SENSITIVITÀ

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

2

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.enginee
r +393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

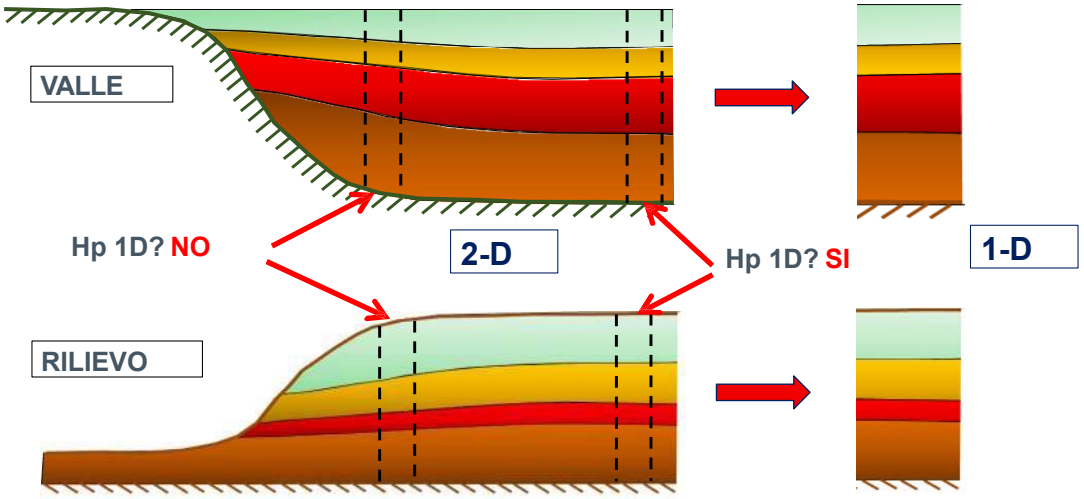




Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Modello



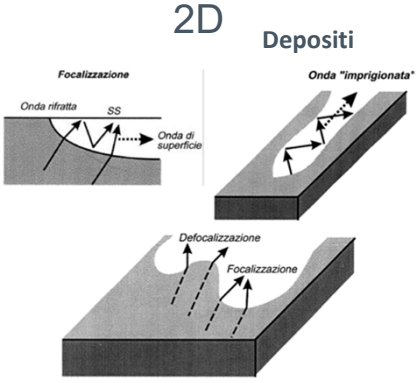
5

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Modello

Morfologia superficiale, unità litotecniche e tetto del substrato sismico sub-orizzontali.

La presenza di bacini sepolti dà origine a specifiche fenomenologie che possono essere modellate solo facendo ricorso a modelli 2D, per tenere in considerazione della presenza di fenomeni di risonanza complessiva del bacino sepolto.

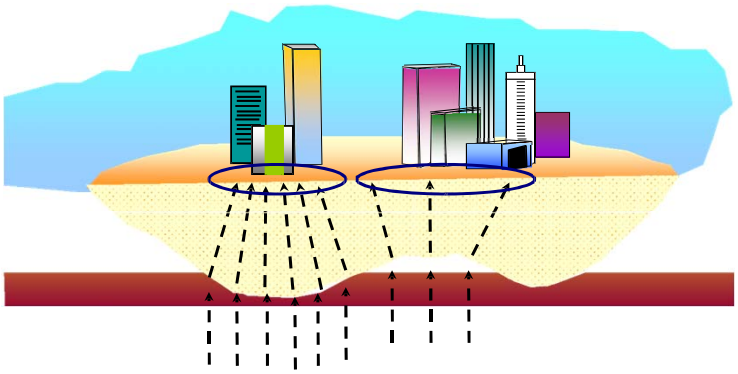


6

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Modello



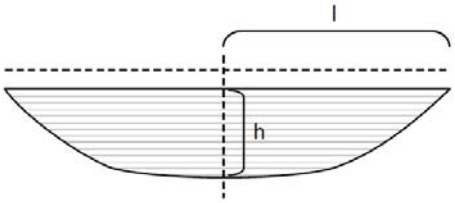
Focalizzazione (defocalizzazione) delle onde in superficie per effetto della morfologia del basamento roccioso

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Modello

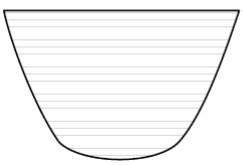
Morfologia superficiale, unità litotecniche e tetto del substrato sismico sub-orizzontali.

Il primo criterio, esclusivamente morfologico, utilizza il calcolo del rapporto tra la profondità della valle (massimo spessore del deposito) h, e la sua semiampiezza l, distinguendo:



Esempio: valle superficiale h/l ≤ 0.25

Esempio: valle profonda h/l > 0.25



8

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Modello

Morfologia superficiale, unità litotecniche e tetto del substrato sismico sub-orizzontali.

Il secondo criterio, non solo geometrico, prevede che gli abachi di 2° livello possano essere utilizzati solo se è verificata la seguente condizione:

$$\frac{h}{l} \leq 0.65/\sqrt{C_v - 1}$$

dove Cv è il rapporto tra la velocità delle onde S (Vs) nel substrato sismico e quella media nei terreni di riempimento della valle.

9

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Modello

Sufficiente distanza dalla chiusura laterale nelle valli superficiali.

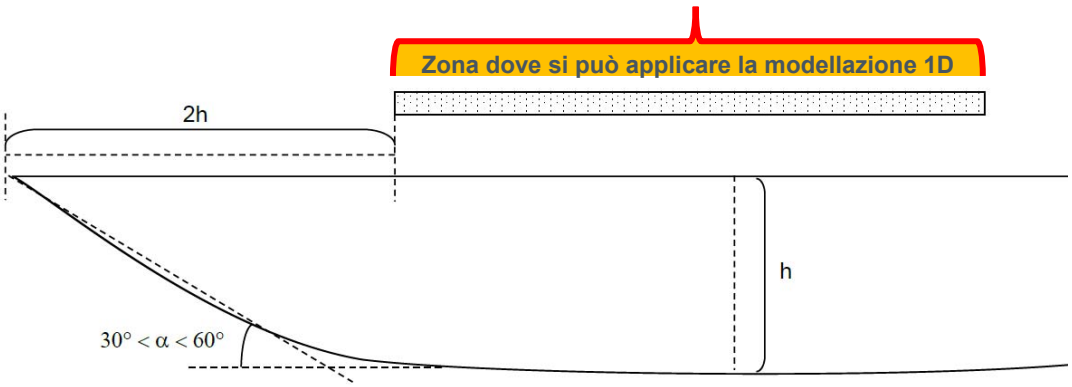
In prossimità della chiusura laterale di una valle superficiale possono essere presenti effetti di geometria sepolta funzione dell'inclinazione e del contrasto d'impedenza dell'interfaccia copertura/substrato e del valore medio di Vs della copertura; in linea generale è possibile quantificare l'area di influenza dei suddetti fenomeni considerando una distanza in superficie dalla chiusura pari a due volte la profondità h della valle, nel caso in cui l'interfaccia copertura/substrato abbia inclinazioni medie α comprese tra 30° e 60°.

10

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Modello

Sufficiente distanza dalla chiusura laterale nelle valli superficiali.



11

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Modello

Irregolarità morfologiche (creste, cocuzzoli, dorsali, scarpate).

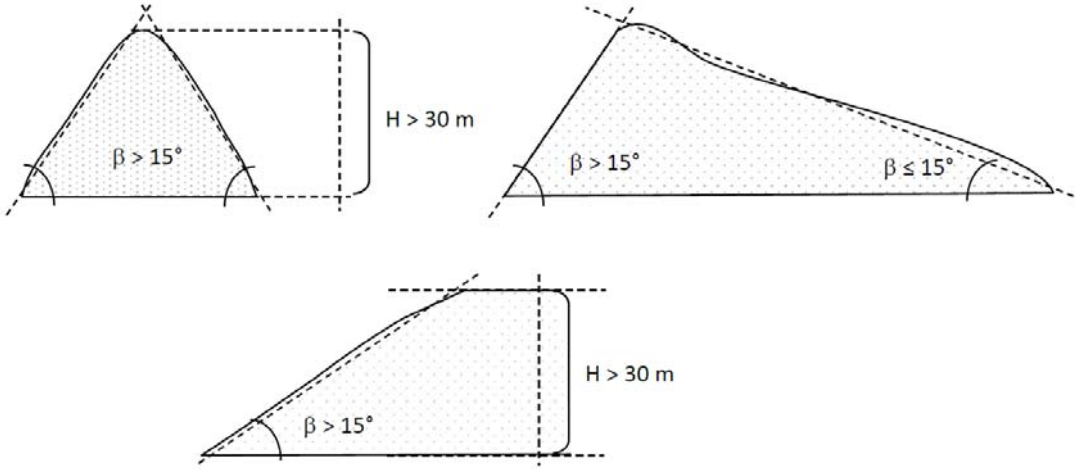
In linea di principio gli effetti geometrici sono condizionati dal rapporto tra lunghezza d'onda dominante del campo di moto e dimensione caratteristica dell'irregolarità morfologica. In particolare, se l'inclinazione media di almeno uno dei due versanti, nel caso di creste o dorsali, o del fronte nel caso di scarpate, è maggiore di 15° e il dislivello H è superiore a 30 m sono presenti fenomeni di amplificazione di tipo topografico.

12

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

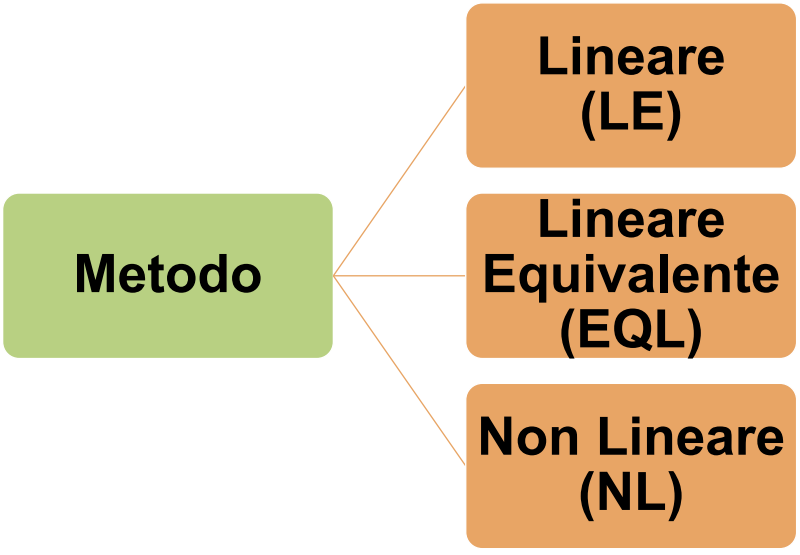
Modello

Irregolarità morfologiche (creste, cocuzzoli, dorsali, scarpate).



Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Metodo



14

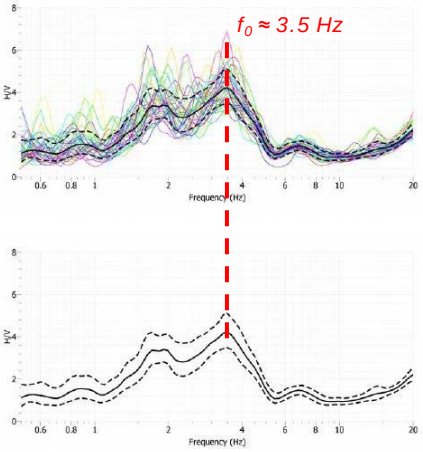
Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

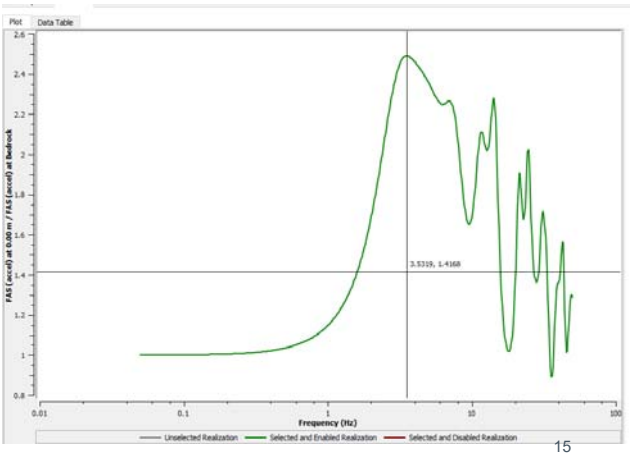
Metodo

Il **metodo di calcolo Lineare** è necessario per la calibrazione del modello di sottosuolo.

Indagine H/V



Modellazione lineare con STRATA



15

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Metodo

Metodo di calcolo Lineare Equivalente (EQL) e non Lineare (NL).

› La deviazione tra il metodo di calcolo equivalenti lineari (EQL) e non lineari (NL) crescente al diminuire della rigidezza del deposito.

› Pertanto è bene utilizzare approcci non lineari (NL) in caso di depositi deformabili soggetti a forti azioni sismiche, in cui altrimenti si otterrebbe una sovrastima della risposta.

› il metodo di calcolo (EQL) da luogo ad un sovra-smorzamento più marcato ai bassi periodi rispetto al metodo di calcolo non lineare (NL).

16

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Metodo

Metodo di calcolo Lineare Equivalente (EQL) e non Lineare (NL).

Rathje and Kottke (2011) hanno studiato la differenza di risultati ottenuti da approcci EQL e NL, al variare della frequenza.

› Ad alte frequenze (superiori a 25 Hz), lo schema NL dà luogo ad una minore amplificazione a causa dell'incoerenza di fase nello scuotimento introdotta in tale approccio.

› A frequenze intermedie (tra 5 Hz e 25 Hz), la situazione si ribalta a causa del sovra-smorzamento da parte dell'approccio EQL.

› In condizione di risonanza, si osserva una minore amplificazione da parte degli approcci NL, probabilmente a causa delle continue variazioni di rigidezza del terreno.

17

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Metodo

Modello Lineare Equivalente (EQL) o Modello non Lineare (NL).

Kim et al. (2016), introducono un parametro sintetico di previsione della divergenza tra approccio EQL e NL, definito nel seguente modo:

$$\gamma_{est} = \frac{PGV_{input}}{V_s}$$

Il confronto di tale parametro con un valore soglia consente una valutazione aprioristica del metodo di analisi più indicato.

18

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Metodo

Modello Lineare Equivalente (EQL) o Modello non Lineare (NL).

Tutto questo perché viene trattato?

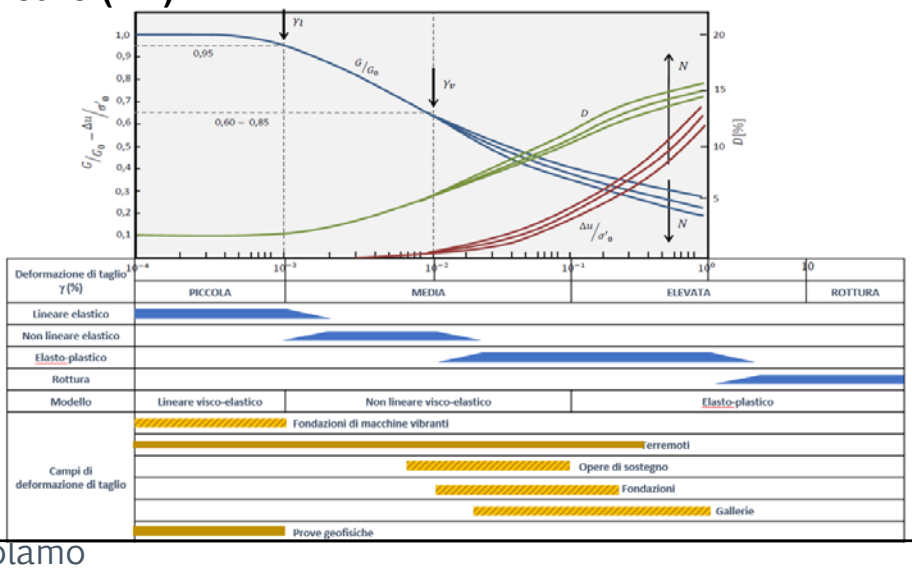
Perché le nostre analisi sono sempre EQL, e pertanto è fondamentale sapere se e quanto siamo entrati nella zona in cui bisogna analizzare in maniera non lineare il problema.

19

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Metodo

Modello Lineare Equivalente (EQL) o Modello non Lineare (NL).

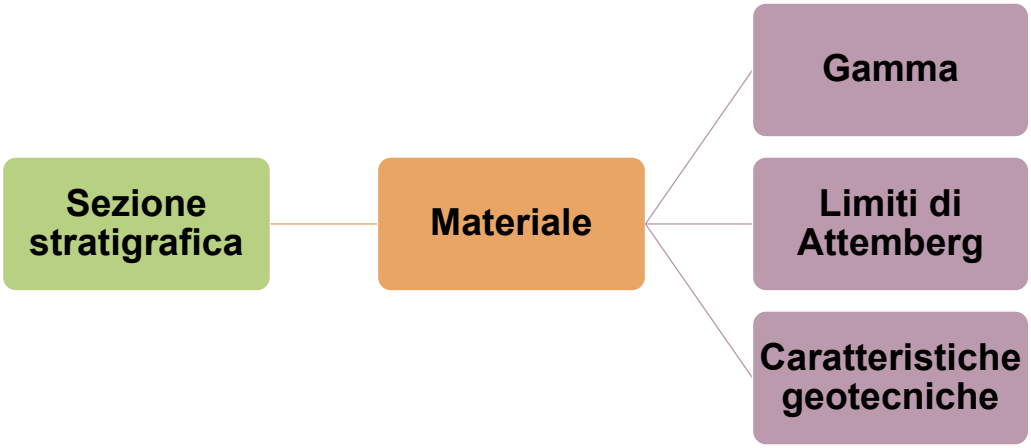


20

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Sezione Stratigrafica



21

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Sezione Stratigrafica

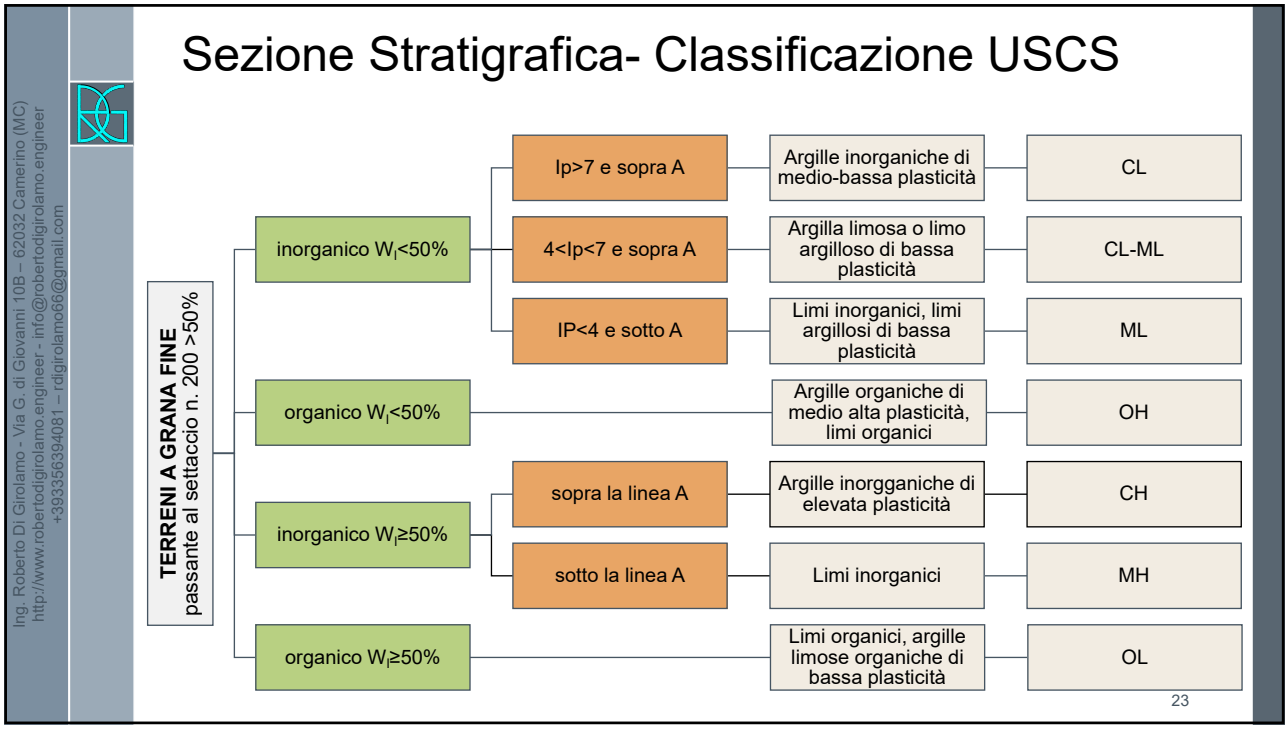
I parametri necessari per la realizzazione di un'analisi di RSL (tenendo conto di un approccio di tipo lineare-equivalente) sono:

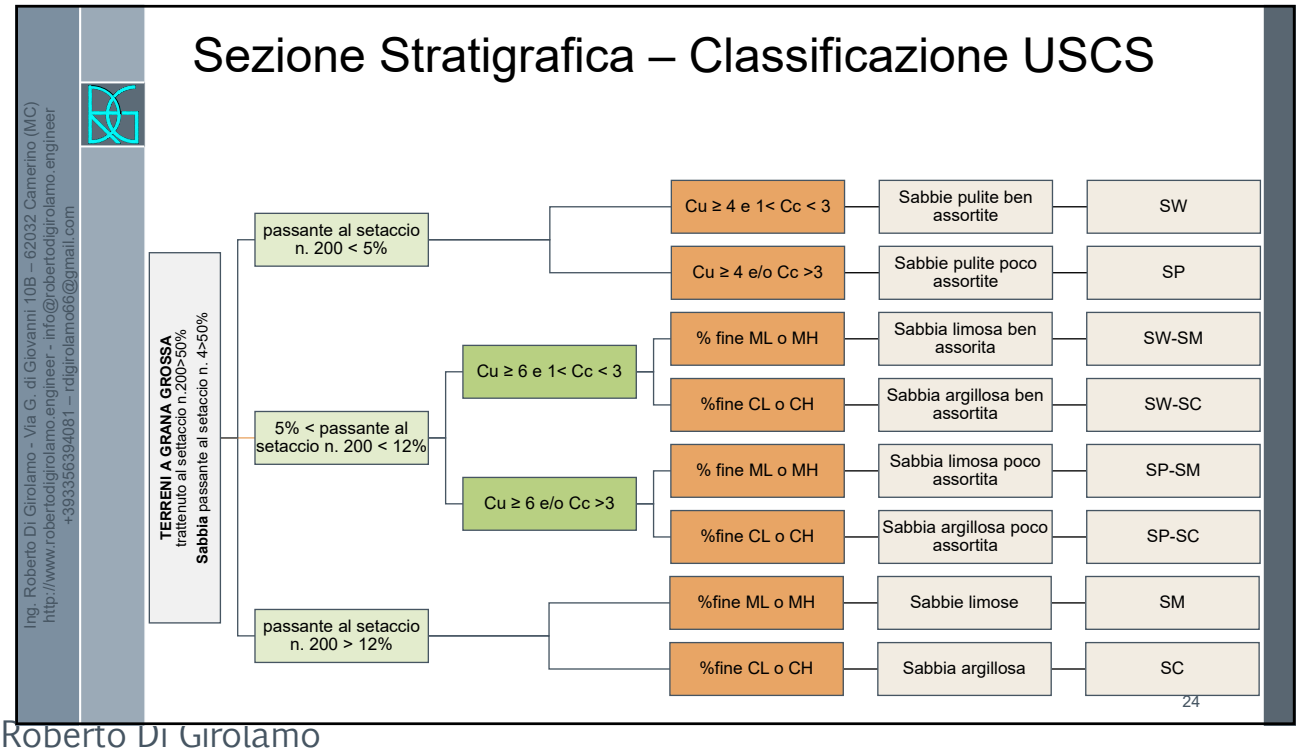
Pesi di volume dei litotipi in oggetto;

Limiti di Attemberg e definizione USCS che sono utili per la scelta delle curve di decadimento.

Caratteristiche geotecniche.

22

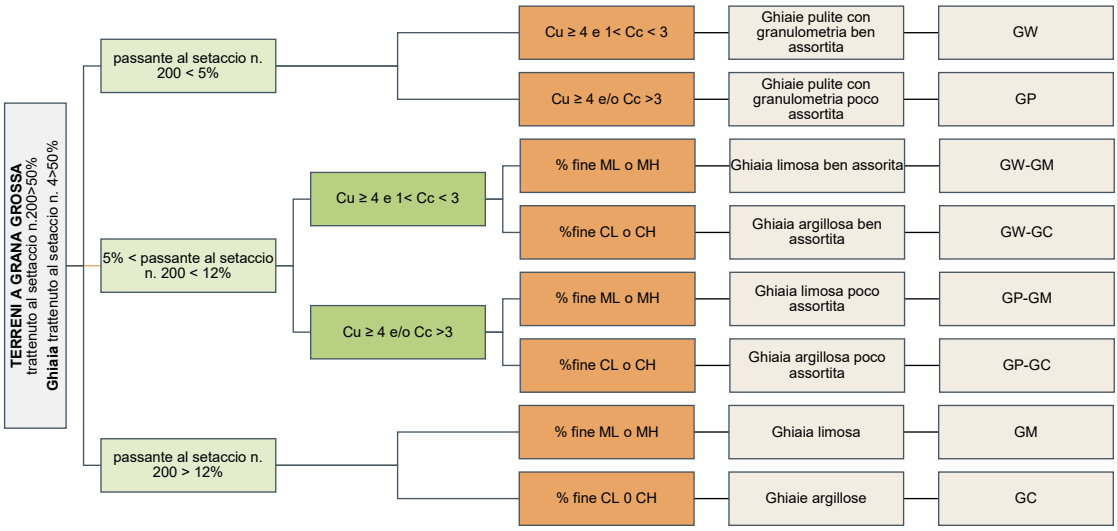




Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Sezione Stratigrafica – Classificazione USCS



25

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Curve di variazione di G/G0 e D%

Curve di variazione G/G0 e D%

Curve di decadimento

26

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Curve di variazione di G/G0 e D%

Le Curve di variazione di G/G0 e D% o Curve di Decadimento sono uno dei parametri più influenti nella RSL.

Le Curve di Decadimento influenzano i risultati della RSL soprattutto in presenza di depositi molto deformabili

Le Curve di Decadimento influenzano i risultati della RSL in maniera rilevante con azioni sismiche elevate (Papaspiliou et al. 2012),

Le Curve di Decadimento influenzano i risultati della RSL in maniera meno importante in aree a bassa sismicità (Pagliaroli et al. 2015).

Le Curve di Decadimento influenzano i risultati della RSL in maniera forte in presenza di siti deformabili soggetti a forti azioni sismiche Bahrampouri et al. (2018).

27

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Curve di variazione di G/G0 e D%

Che cosa sono le curve di decadimento e a cosa servono?

La RSL richiede la modellazione del comportamento meccanico del terreno.

La risposta meccanica dei terreni ai carichi ciclici risulta molto complessa in quanto caratterizzata da:

1. andamento non lineare,
2. accumulo di deformazioni permanenti,
3. dissipazione di energia,
4. decadimento progressivo dei parametri meccanici,
5. dipendenza dal numero di cicli di carico applicati,
6. accumulo di sovrappressioni interstiziali se in presenza di fluido interstiziale.

28

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Curve di variazione di G/G0 e D%

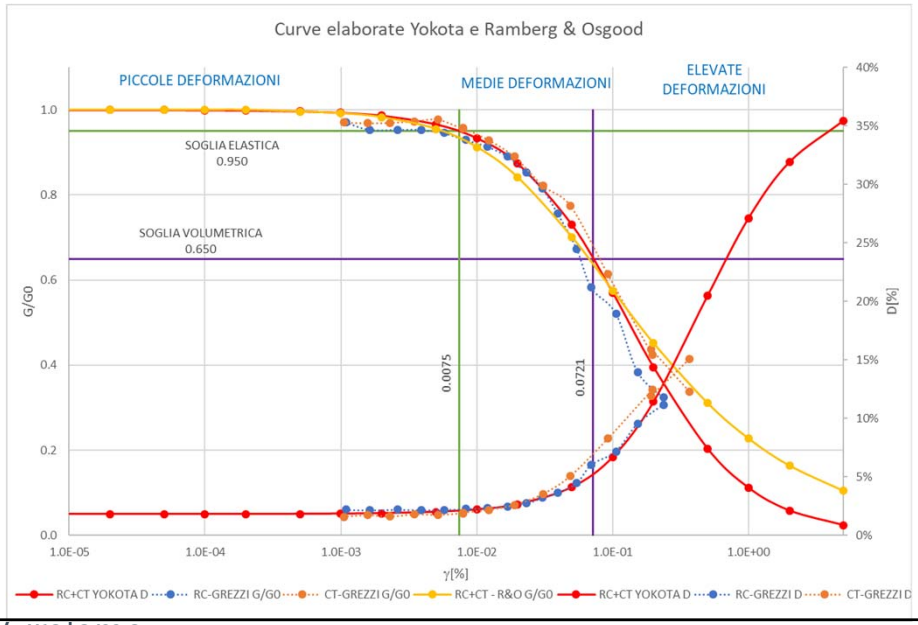
› L'approccio visco – elastico lineare rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi e accuratezza dei risultati.

› L'approccio visco – elastico lineare fa riferimento alle soluzioni relative alla propagazione delle onde sismiche, le quali possono essere implementate in un codice numerico, adeguando iterativamente i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico del terreno.

29

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Curve di variazione di G/G0 e D%



30

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Curve di variazione di G/G0 e D%

Fattori che influenzano le Curve di Decadimento

Fattori	G/G_0	D
Pressione di confinamento σ'_0	Aumenta ↑	Decresce ↓
Indice dei vuoti e	Decresce ↓	Aumenta ↑
Età geologica	Aumenta ↑	Decresce ↓
Cementazione	Può aumentare	Può decrescere
Grado di sovraconsolidazione OCR	Aumenta ↑	Poco influenzato
Indice di plasticità I_P	Aumenta ↑	Decresce ↓
Deformazione ciclica	Decresce ↓	Aumenta ↑
Velocità di deformazione	Poco influenzato	Può crescere
Numero di cicli di carico N	Decresce ↓ (per $\gamma > \gamma_V$)	Può crescere (per $\gamma > \gamma_V$)

Rielaborazione slide prof. Ing. Claudia Madiai

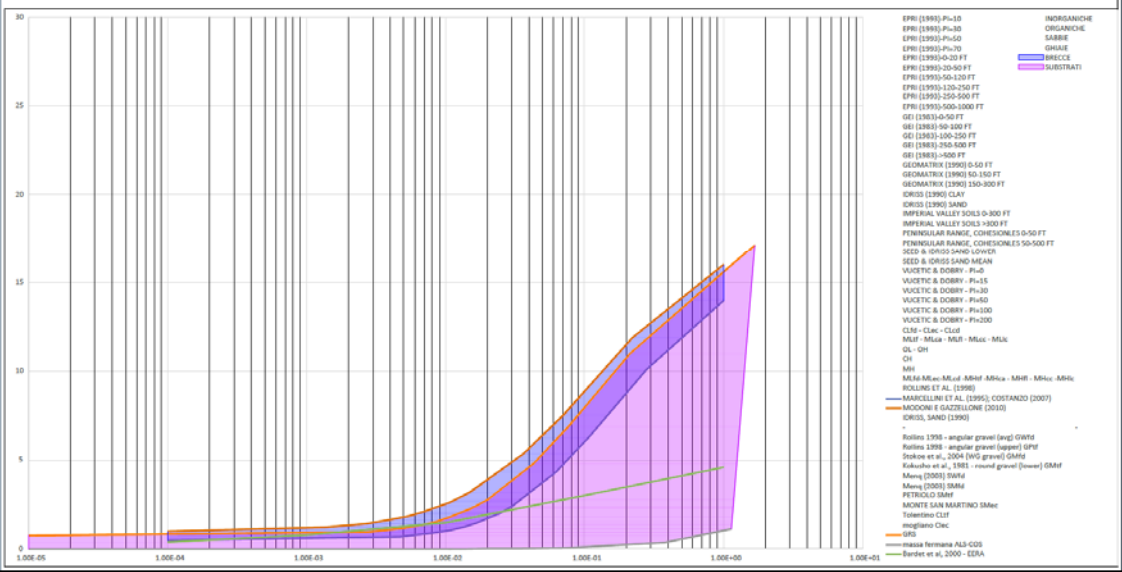
N.B.: Il comportamento di G/G0 è approssimativamente opposto a quello di D

31

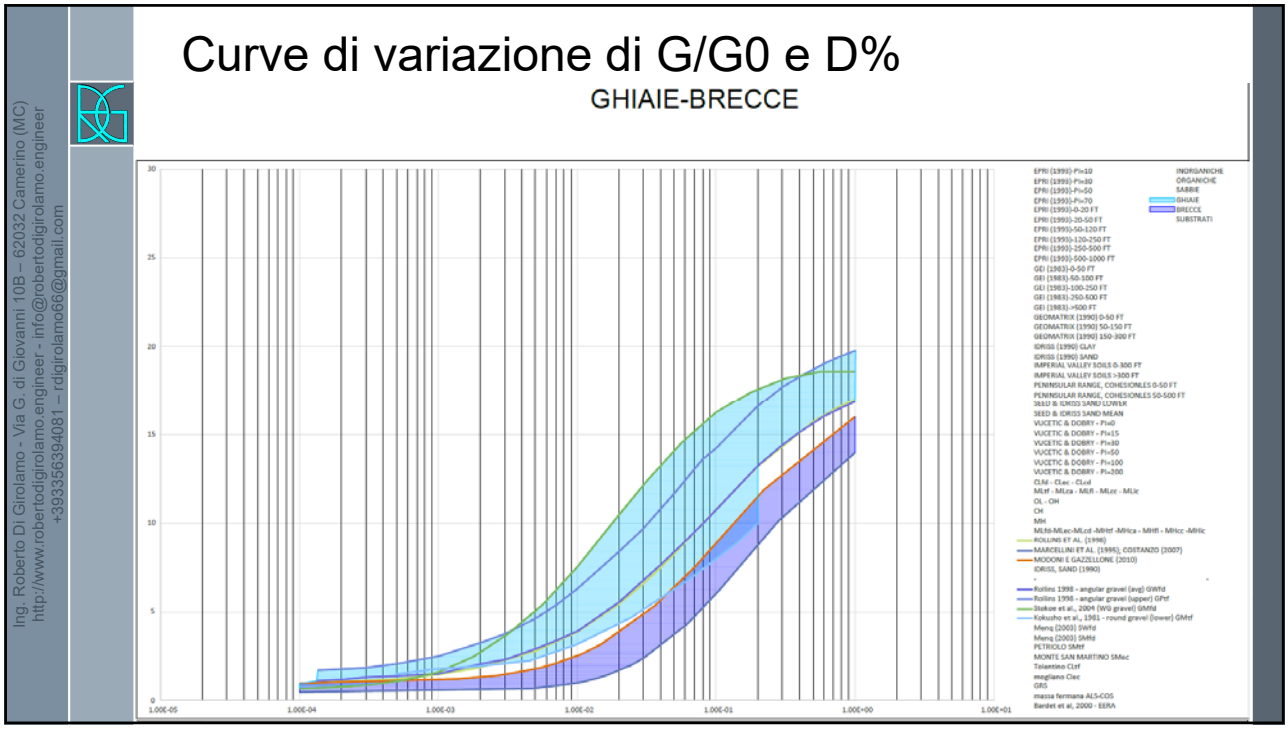
Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

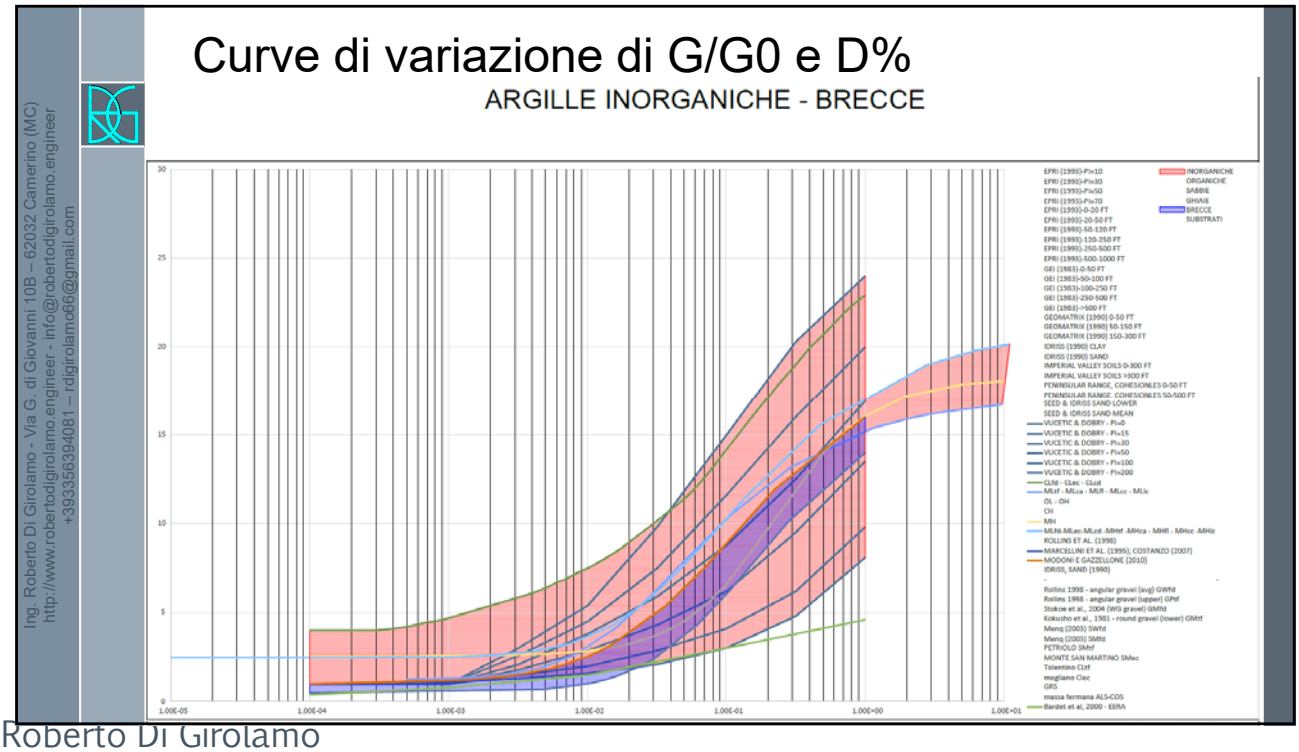
Curve di variazione di G/G0 e D%

BRECCE-SUBSTRATO

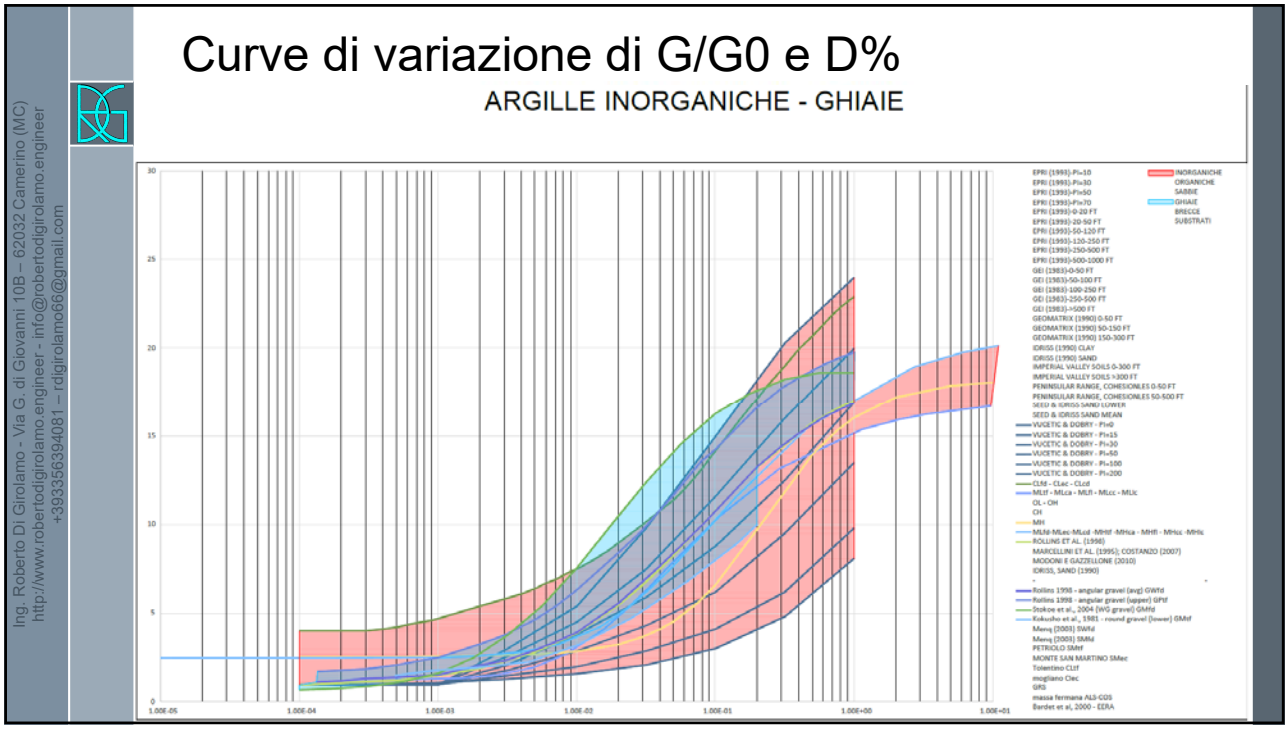


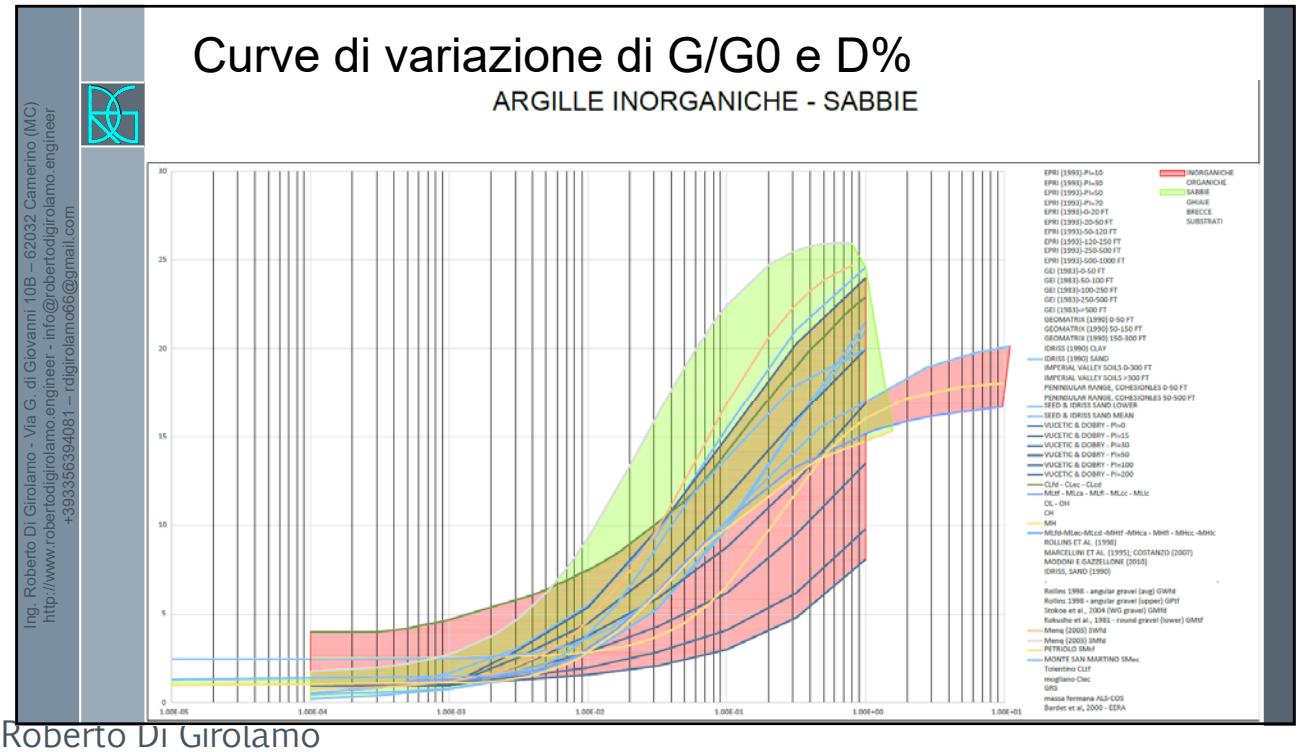
Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com



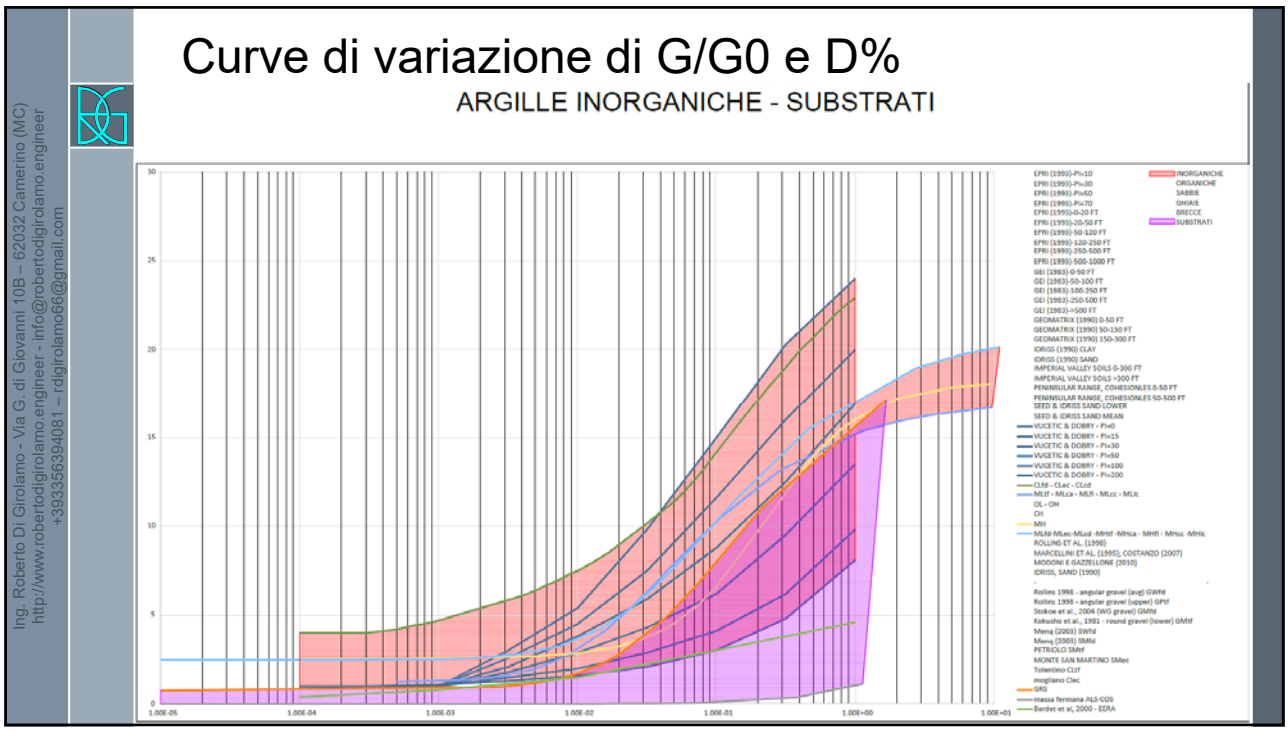


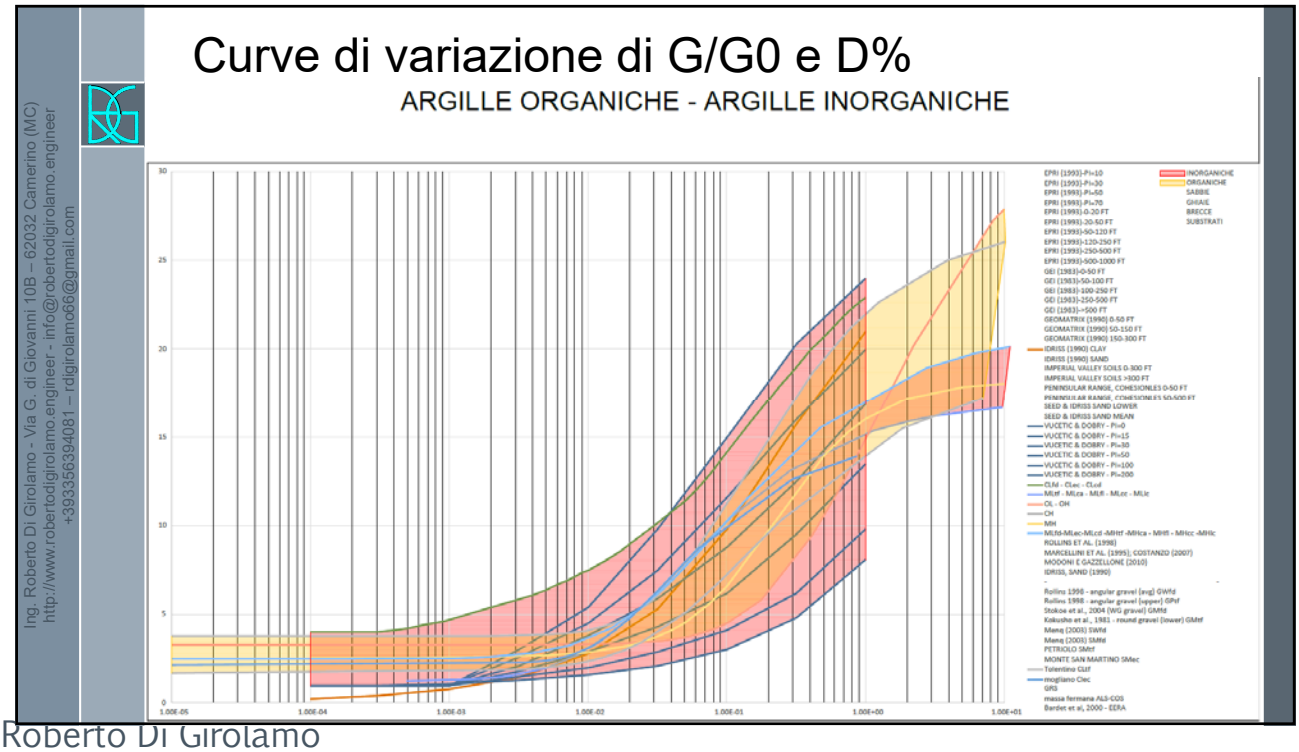
Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com





Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.enginee
r +393356394081
rdigirolamo66@gmail.com



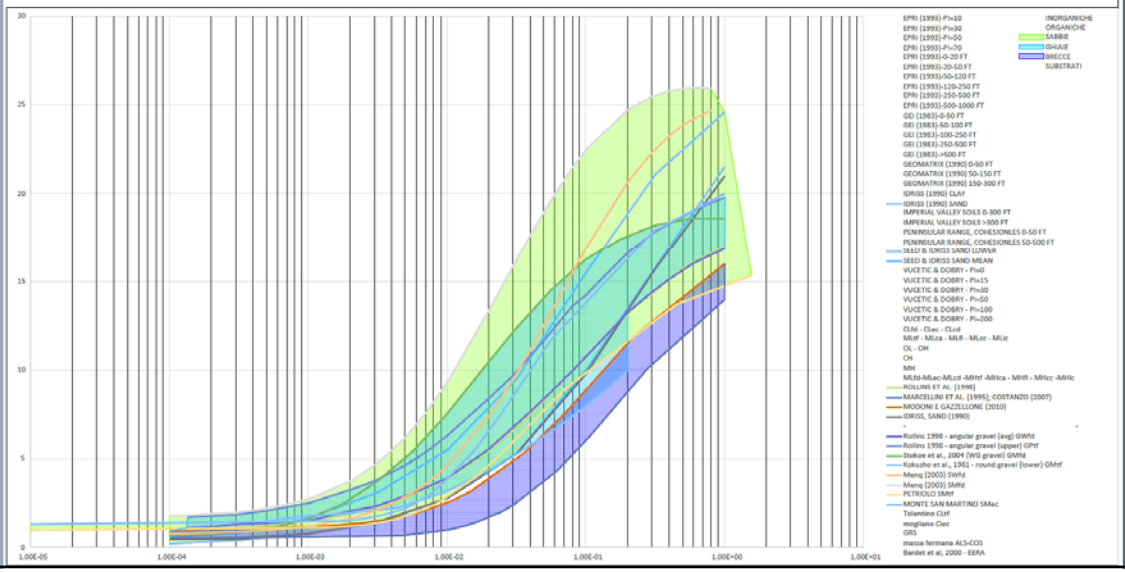


Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

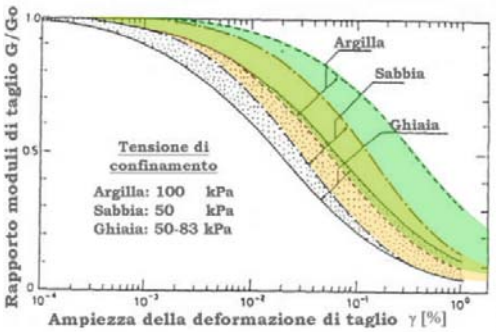
Curve di variazione di G/G0 e D%

SABBIE-GHIAIE-BRECCE

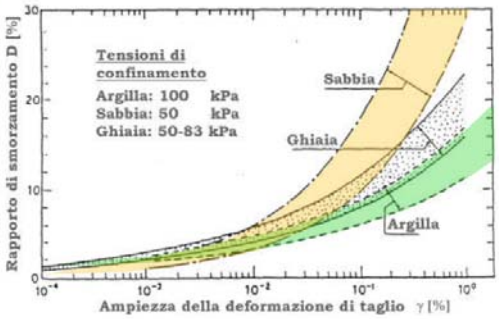


Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Curve di variazione di G/G0 e D%



Dipendenza di $G(\gamma)/G_0$ e $D(\gamma)$ dalla natura del terreno



Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Curve di variazione di G/G0 e D%

Tutto questo per far vedere la variabilità delle curve, ma soprattutto della fondamentale importanza di considerare nella RSL la "sensibilità" del modello alla variabilità delle curve stesse.

Dove si possono trovare le curve di decadimento:

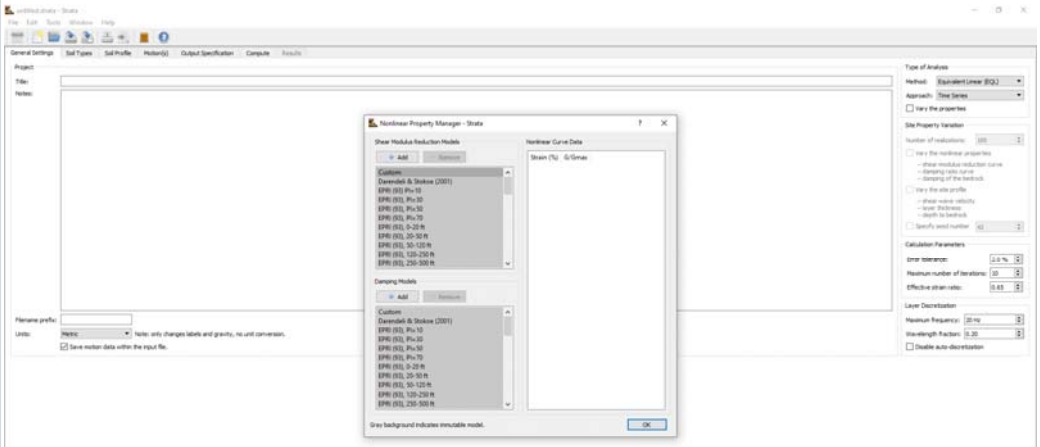
1. Nei programmi di modellazione (tipo STRATA) sono già presenti una serie di curve tratte dalla letteratura;
2. Con Ordinanza del Commissario n. 24, sono state redatte le Microzonazioni di 3° livello dei 138 comuni del cratere sismico, nell'archivio presente in rete ci sono tali curve;
3. Sito della Regione Toscana.

41

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

RSL - Curve di Decadimento

1. Nei programmi di modellazione (tipo STRATA) sono già presenti una serie di curve tratte dalla letteratura;

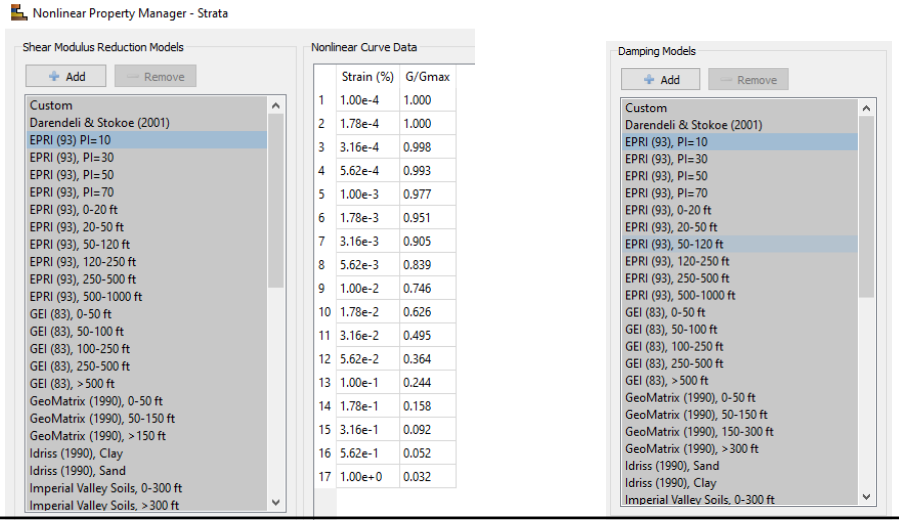


42

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Curve di variazione di G/G0 e D%

1. Nei programmi di modellazione (tipo STRATA) sono già presenti una serie di curve tratte dalla letteratura;



Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Curve di variazione di G/G0 e D%

PESI DI VOLUME

curve n°	γ_{nodo} [kN/m³]	
1	20.0 ÷ 21.0	COPERTURE
2	18.0 ÷ 19.0	
3	12.5 ÷ 13.5	
4	19.0 ÷ 20.0	
5	17.0 ÷ 18.0	
6	19.5 ÷ 20.5	
Rollins et al. (1998) - RIPORTO	17.0 ÷ 19.0	
Rollins et al. (1998) - GHIAIE	19.0 ÷ 20.5	
Marcellini et al. (1995); Costanzo (2007) - CONGLOM. E BRECCE NON ALTERATE	21.0 ÷ 23.0	
Modoni & Gazzellone (2010) - CONGLOM. E BRECCE ALTERATE	20.0 ÷ 22.0	
Idriss, sand (1990) - SABBIE	18.0 ÷ 20.5	
Schiller (SCH)	22.0 ÷ 23.0	SUBSTRATI
Calcari diasprigni (CDU)	24.0 ÷ 25.0	
Marne del Monte Serrone	21.0 ÷ 22.0	
Arenarie di Camerino (litofacies pelitico-arenacea)	22.5 ÷ 23.5	
Arenarie di Camerino (litofacies arenaceo-pelitica)	22.5 ÷ 23.5	
Corniola (COI)	22.0 ÷ 25.0	
Arenarie di Borello (ARGILLE AZZURRE) - formazione marina	21.0 ÷ 22.0	
Gessoso-Solfifera (GES)	20.0 ÷ 21.0	
Scaglia Bianca (SBI)	19.0 ÷ 23.0	
Scaglia Cinerea (SCC)		
Scaglia Rossa (SAA)		
Maiolica (MAI)	22.0 ÷ 24.0	
Formazione a Colombacci (FCO) (litofacies pelitico-arenacea)	21.0 ÷ 22.0	

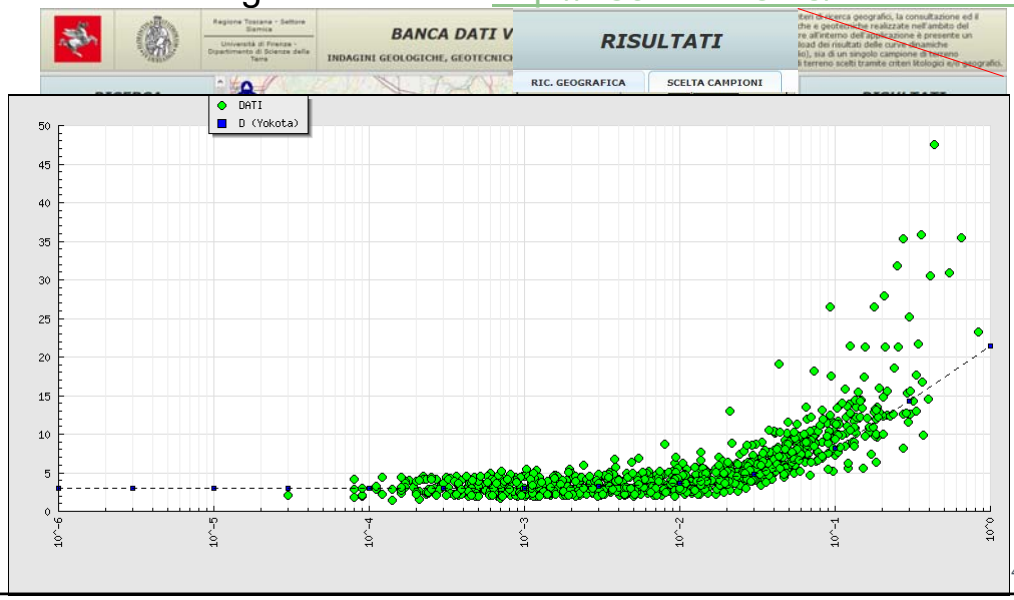
CURVE DI DECADIMENTO E SMORZAMENTO

CL	curve n° (sito)	CH	curve n° (sito)	ML	curve n° (sito)	MH	curve n° (sito)
CLtf	4 (Fabriano)	CHtf	4 (Camerino)	MLtf	2 (Esanatoglia)(*) ; 6 (Treia)	MHtf	5 (Fiuminata, Matelica, Sefro); 6 (Castelraimondo)
CLfd	1 (Apiro)(*); 6 (S. Severino M.)	CHfd	4 (Camerino)	MLfd	6 (Treia)	MHfd	5 (Fiuminata, Matelica, Sefro)
CLec	1 (Apiro)(*); 6 (S. Severino M.)	CHec	4 (Camerino)	MLec	6 (Treia)	MHec	5 (Fiuminata, Matelica, Sefro)
CLca	4 (Fabriano)	CHca	4 (Camerino)	MLca	2 (Esanatoglia)(*) ; 6 (Treia)	MHca	5 (Fiuminata, Matelica, Sefro); 6 (Castelraimondo)
CLfl	4 (Fabriano)	CHfl	4 (Camerino)	MLfl	2 (Esanatoglia)(*) ; 6 (Treia)	MHfl	5 (Fiuminata, Matelica, Sefro); 6 (Castelraimondo)
CLcc	4 (Fabriano)	CHcc	4 (Camerino)	MLcc	2 (Esanatoglia)(*) ; 6 (Treia)	MHcc	5 (Fiuminata, Matelica, Sefro); 6 (Castelraimondo)
CLcd	1 (Apiro)(*); 6 (S. Severino M.)	CHcd	4 (Camerino)	MLcd	6 (Treia)	MHcd	5 (Fiuminata, Matelica, Sefro)
CLlc	4 (Fabriano)	CHlc	4 (Camerino)	MLlc	2 (Esanatoglia)(*) ; 6 (Treia)	MHlc	5 (Fiuminata, Matelica, Sefro); 6 (Castelraimondo)
OL	curve n° (sito)	OH	curve n° (sito)				
OHtf	3 (Sefro)	OHtf	3 (Sefro)				
OLfd	3 (Sefro)	OHfd	3 (Sefro)				
OLec	3 (Sefro)	OHec	3 (Sefro)				
OLca	3 (Sefro)	OHca	3 (Sefro)				
OLfl	3 (Sefro)	OHfl	3 (Sefro)				
OLcc	3 (Sefro)	OHcc	3 (Sefro)				
OLcd	3 (Sefro)	OHcd	3 (Sefro)				
OLlc	3 (Sefro)	OHlc	3 (Sefro)				
SW	curve	SP	curve	SM	curve	SC	curve
SWtf	Idriss, sand (1990)	SPtf	Idriss, sand (1990)	SMtf	Idriss, sand (1990)	SCtf	Idriss, sand (1990)
SWfd	Idriss, sand (1990)	SPfd	Idriss, sand (1990)	SMfd	Idriss, sand (1990)	SCfd	Idriss, sand (1990)
SWec	Idriss, sand (1990)	SPec	Idriss, sand (1990)	SMec	Idriss, sand (1990)	SCec	Idriss, sand (1990)
SWca	Idriss, sand (1990)	SPca	Idriss, sand (1990)	SMca	Idriss, sand (1990)	SCca	Idriss, sand (1990)
SWfl	Idriss, sand (1990)	SPfl	Idriss, sand (1990)	SMfl	Idriss, sand (1990)	SCfl	Idriss, sand (1990)
SWcc	Idriss, sand (1990)	SPcc	Idriss, sand (1990)	SMcc	Idriss, sand (1990)	SCcc	Idriss, sand (1990)
SWcd	Idriss, sand (1990)	SPcd	Idriss, sand (1990)	SMcd	Idriss, sand (1990)	SCcd	Idriss, sand (1990)
SWlc	Idriss, sand (1990)	SPlc	Idriss, sand (1990)	SMlc	Idriss, sand (1990)	SClc	Idriss, sand (1990)
GW(**)	curve	GP(**)	curve	GM(**)	curve	GC(**)	curve
GWtf	Rollins et al. (1998)	GPtf	Rollins et al. (1998)	GMtf	Rollins et al. (1998)	GCtf	Rollins et al. (1998)
GWfd	Rollins et al. (1998)	GPfd	Rollins et al. (1998)	GMfd	Rollins et al. (1998)	GCfd	Rollins et al. (1998)
GWec	Rollins et al. (1998)	GPec	Rollins et al. (1998)	GMec	Rollins et al. (1998)	GCec	Rollins et al. (1998)
GWca	Rollins et al. (1998)	GPca	Rollins et al. (1998)	GMca	Rollins et al. (1998)	GCca	Rollins et al. (1998)
GWfl	Rollins et al. (1998)	GPfl	Rollins et al. (1998)	GMfl	Rollins et al. (1998)	GCfl	Rollins et al. (1998)
GWcc	Rollins et al. (1998)	GPcc	Rollins et al. (1998)	GMcc	Rollins et al. (1998)	GCcc	Rollins et al. (1998)
GWcd	Rollins et al. (1998)	GPcd	Rollins et al. (1998)	GMcd	Rollins et al. (1998)	GCcd	Rollins et al. (1998)
GWlc	Rollins et al. (1998)	GPlc	Rollins et al. (1998)	GMlc	Rollins et al. (1998)	GClc	Rollins et al. (1998)

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Curve di variazione di G/G0 e D%

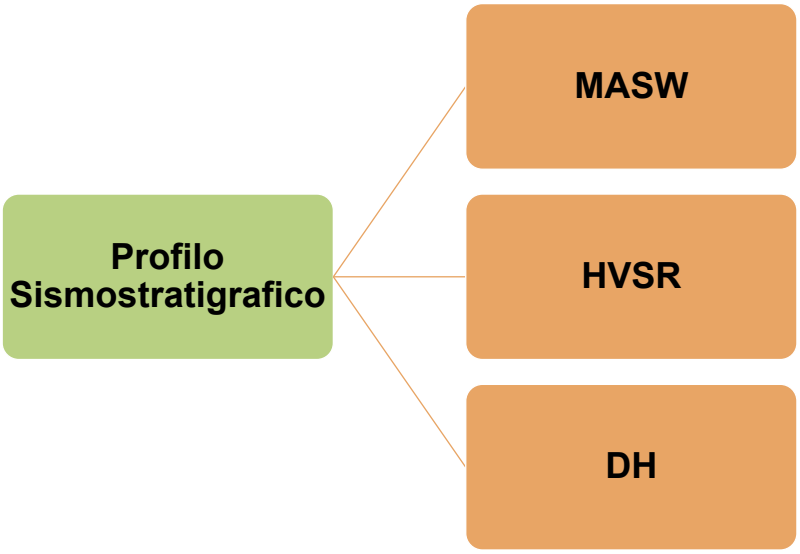
3. Sito della Regione Toscana.http://150.217.73.23/BancaDatiVEL/



Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

45

Profilo Sismostratigrafico



Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

46

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico

I parametri necessari per la realizzazione di un'analisi di RSL (tenendo conto di un approccio di tipo lineare-equivalente) sono:

Valori di Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio). Tale parametro servirà sia per descrivere il comportamento del terreno in campo dinamico (essendo legato alla definizione del modulo di taglio G) sia per determinare la dimensione ottimale della mesh (con cui verrà discretizzata la sezione da modellare) o dello spessore dei sottostrati in un'analisi monodimensionale.

$$D_{max} = \frac{\lambda}{k} = \frac{T \cdot V_s}{k}$$

f_{max} = 20 Hz
T = 0,05 s
K = 8

47

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico

I parametri necessari per la realizzazione di un'analisi di RSL (tenendo conto di un approccio di tipo lineare-equivalente) sono:

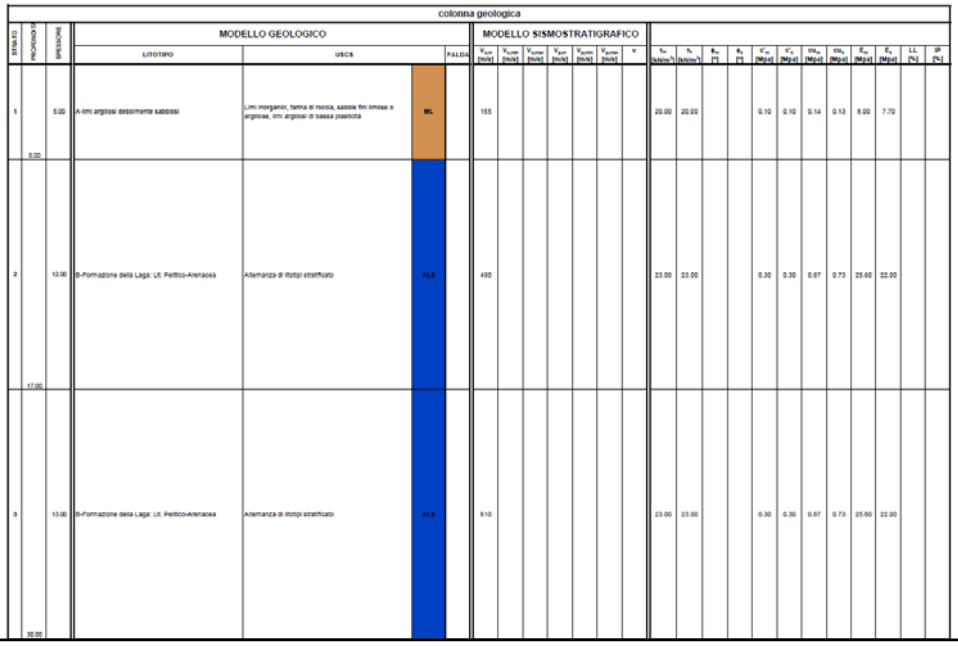
Valori di Vp (velocità di propagazione delle onde di compressione) necessari nel caso di un approccio bidimensionale agli elementi finiti, poiché per ogni elemento sarà necessario indicare il valore del coefficiente di Poisson dinamico (definito da Vp e Vs) legato alle modalità di deformazione dell'elemento stesso.

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{1-\nu}{0{,}5-\nu}}$$

48

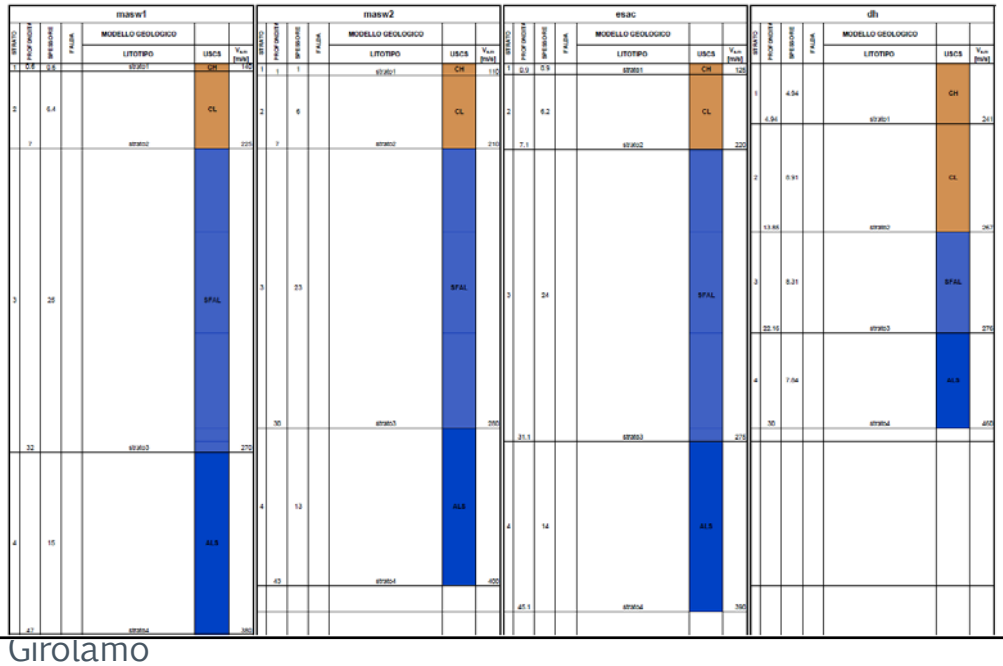
Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico



Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

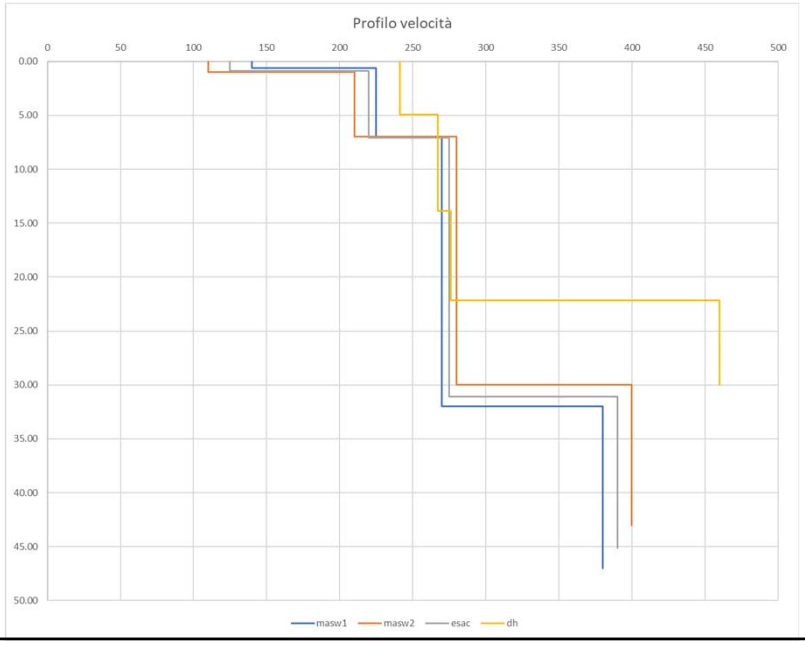
Profilo Sismostratigrafico



Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico



51

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico

Velocità di propagazione delle onde sismiche in un mezzo elastico:

Velocità delle onde P: $V_p = \sqrt{\frac{\lambda+2\cdot G}{\rho}}$

Velocità delle onde S: $V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$

Velocità delle onde R; $V_R = \frac{0.874+1.117\cdot \upsilon}{1+\upsilon}$

52

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

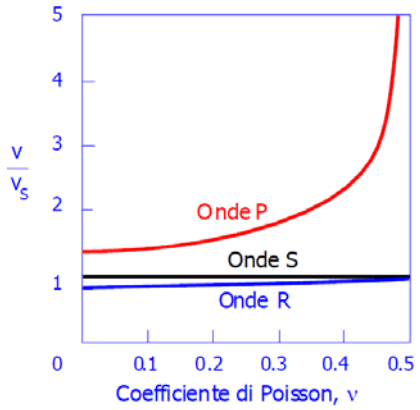
Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico

Velocità di propagazione delle onde sismiche in un mezzo elastico:

1. Il rapporto V_P/V_S varia tra $\sqrt{2}$=1.41 e ∞, per υ variabile fra 0 e 0,5. Dipende esclusivamente dal coefficiente di Poisson υ.
2. V_P è sempre maggiore di V_S;
3. V_R è sempre minore di V_S;
4. V_R e quasi uguale alla V_S:

υ=0,25	V_R= 0,919 V_S
υ=0,33	V_R= 0,933 V_S
υ=0,40	V_R= 0,943 V_S
υ=0,45	V_R= 0,955 V_S



53

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico

› Valori tipici V_P e V_S:

Tipo di terreno	v_P [m/s]	v_S [m/s]
Argilla satura	1500*	100 ÷ 250
Sabbia fine e media	300 ÷ 500	120 ÷ 200
Sabbia densa	400 ÷ 600	200 ÷ 400
Ghiaia	500 ÷ 750	300 ÷ 600
Arenaria	1500 ÷ 4500	700 ÷ 1500
Marna	1500 ÷ 4500	600 ÷ 1500

nell'acqua VP =1500m/s; nell'aria VP=340m/s

* *Velocità di propagazione nell'acqua*

Per terreni non saturi e rocce da misure sismiche risulta: $\frac{V_P}{V_S} \approx 1.5 \div 2.0$

54

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico

› Valori tipici γ e V_S:

	Valori indicativi	
Terreni	**γ (kN/m³)**	**V_S (m/s)**
terreni organici, torbe	10 ÷ 13	< 100
argille molto molli	14 ÷ 17	
terreni piroclastici sciolti	10 ÷ 17	100 ÷ 200
argille tenere, sabbie sciolte	16 ÷ 19	
terreni piroclastici densi/cementati	12 ÷ 19	200 ÷ 400
argille consistenti, sabbie dense	18 ÷ 21	
argilliti, sabbie e ghiaie cementate	19 ÷ 22	400 ÷ 800
roccia tenera alterata o fratturata	18 ÷ 22	
roccia tenera intatta, roccia lapidea	22 ÷ 24	> 800

Intervalli di valori adottati anche come criteri di classificazione dei siti da EC8 e Normativa nazionale

55

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico

› Valori tipici di ν:

materiale	**ν [-]**
argilla satura	0.40-0.50
argilla	0.30-0.45
sabbia	0.20-0.45
roccia	0.10-0.30(*)
gomma	~ 0.50
acciaio	0.27-0.30
cemento	0.20
sughero	~ 0.00

(*) aumenta all'aumentare del carico applicato e del contenuto in acqua (L. S. Burshtein, 1968)

56

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico

Il profilo di V_S è uno dei parametri più influenti nella RSL.

Le incertezze assumono un ruolo chiave in presenza di strati deformabili superficiali, nei quali un incontrollato abbattimento di rigidezza potrebbe tradursi in una sovrastima del livello di dissipazione energetica, dando luogo a risultati non cautelativi.

L'incertezza viene amplificata in presenza di forti contrasti di impedenza.

L'aumento della variabilità di V_S, riduce l'amplificazione mentre aumenta la relativa variabilità, comportando stime più gravose dell'azione sismica.

La variabilità di V_S è la principale responsabile delle elevate incertezze a bassi periodi di vibrazione negli spettri di risposta.

57

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico

Come valutare la variabilità del profilo di velocità?

Le indicazioni dovrebbero venire da chi effettua le prove, tenendo conto:

1. Della loro catena di misura;
2. Della bontà del dato acquisito;
3. Delle approssimazioni nella elaborazione del dato acquisito;
4. Delle correlazioni fra le indagini effettuate;
5. Dalla preparazione ed esperienza personale.

58

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico

Ricordiamo una differenza fondamentale:

La prova geotecnica consiste in una serie di procedure completamente standardizzate grazie alle quali i numeri che si ottengono sono tra loro confrontabili in modo semplice e univoco. Le prove geotecniche possono quindi essere eseguite da tecnici seguendo dei protocolli standardizzati - cioè uguali per tutti - grazie ai quali i valori ottenuti risultano alla fine confrontabili.

Una prova fornisce un dato oggettivo.

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico

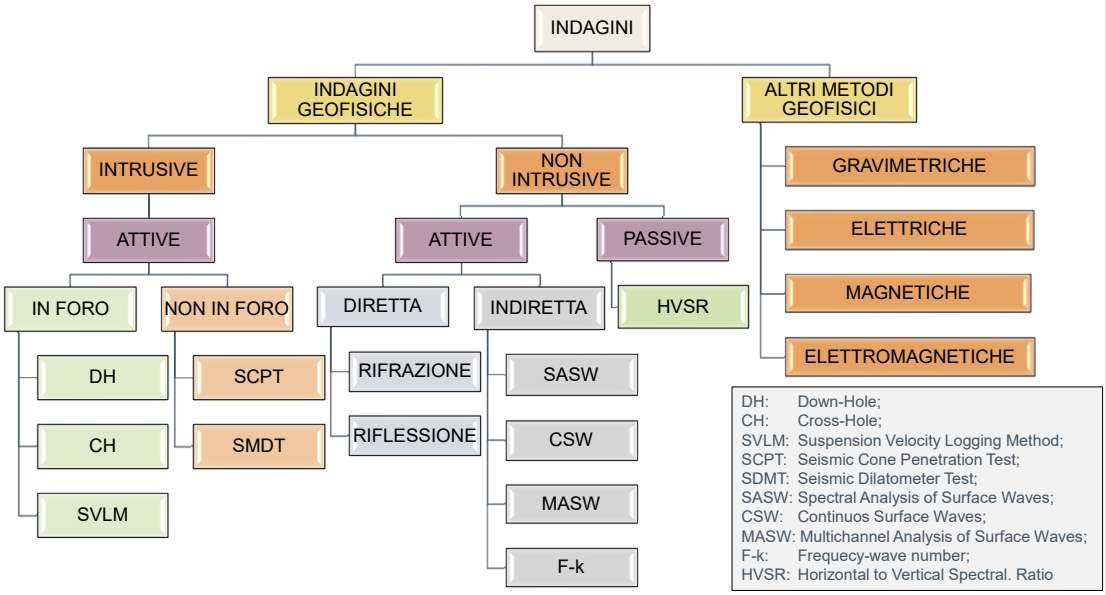
Questo in geofisica non è possibile, per questo si deve parlare di **indagine geofisica** e non di prova geofisica:

1. nulla in campagna è di fatto standardizzabile;
2. l'analisi di un qualsiasi dato sismico è un qualcosa in cui la persona, professionista o ricercatore, dovrebbe far confluire tutte le sue specifiche competenze.
3. Chiamare prova un'indagine sismica significa attribuire ai risultati un valore che prescinde dalle capacità di chi ha acquisito i dati e svolto le analisi.
4. I fenomeni fisici sono di per sé esatti (la natura non segue leggi diverse a seconda di un capriccio momentaneo), se il profilo V_S ricavato da, ad esempio, un'indagine MASW è impreciso o errato, lo è perché chi ha analizzato quei dati ha sbagliato il suo lavoro e non perché le onde di superficie "hanno sbagliato a propagarsi in quel modo".

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico



Rielaborazione slide prof. Ing. Claudia Madiai

61

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico

Normalmente non viene data una variabilità o una deviazione standard del dato.

Un aiuto ci può venire da:

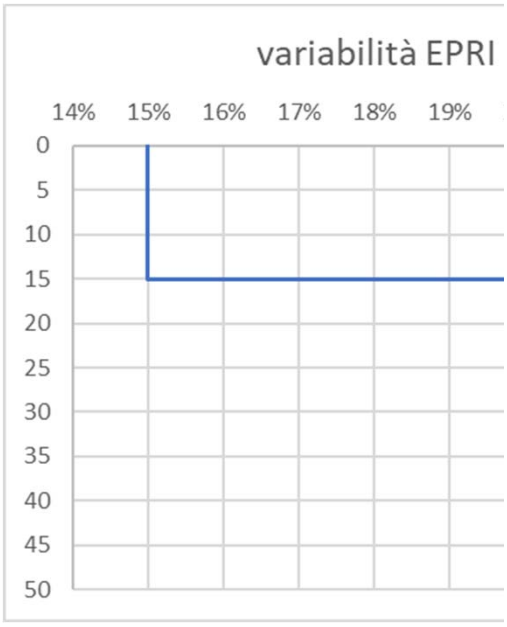
Linee Guida del novembre 2012 pubblicate da EPRI (Electric Power Research Institute) «Seismic Evaluation Guidance. Screening, Prioritization and Implementation Details (SPID) for the Resolution of Fukushima Near-Term Task Force Recommendation 2.1: Seismic»

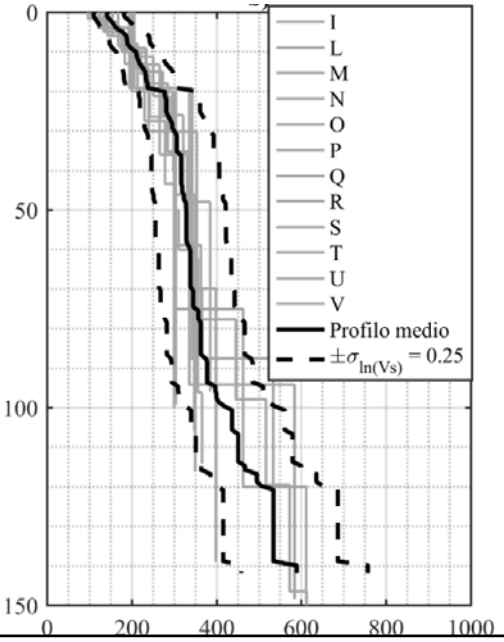
Che danno una deviazione standard logaritmica ($\sigma_{ln(Vs)}$) pari a 0.25.

Nel testo si sottolinea che per profondità inferiori a 15 metri la deviazione standard logaritmica ($\sigma_{ln(Vs)}$) può scendere a 0.15

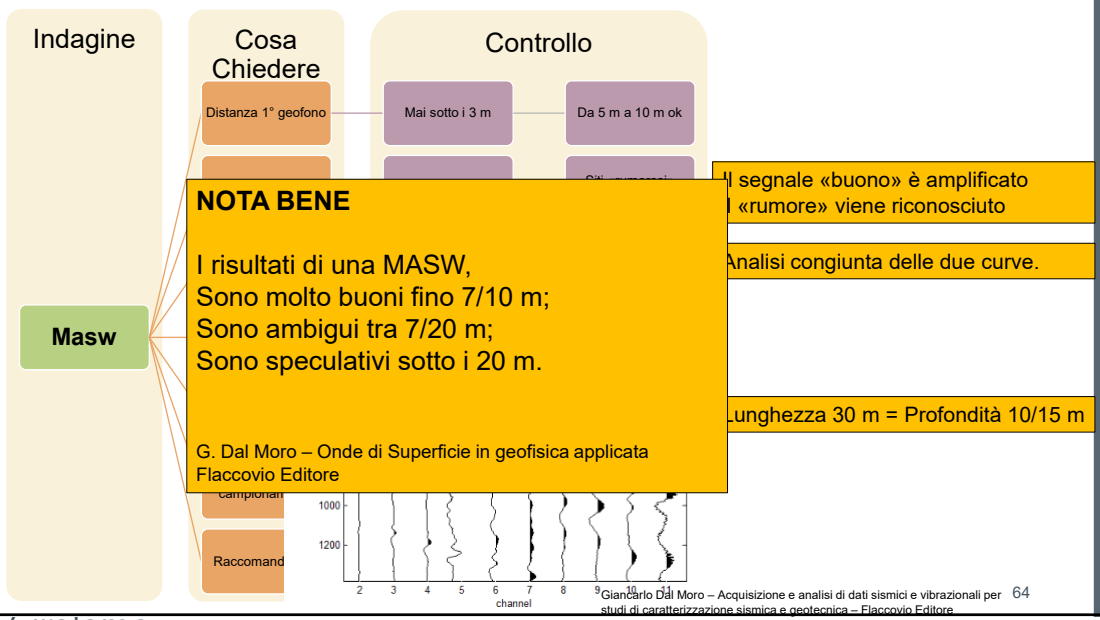
62

Profilo Sismostratigrafico





Profilo Sismostratigrafico



Giancarlo Dal Moro – Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica – Flaccovio Editore 64

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico

Indagine	Cosa Chiedere	Controllo
HVSR	Almeno 20' di acquisizione	Si veda documento SESAME
	Intervallo di campionamento 10ms	
	Almeno 2 acquisizioni	I due dataset dovrebbero fornire dati simili. 1. Qualche cosa è andato storto 2. Variazioni laterali importanti da indagare.
	Evitare giornate ventose e piovose	

ATTENZIONE
Mai solo HVSR per determinare il profilo sismostratigrafico

Attenzione ai Transienti e ai Rumori industriali

Giancarlo Dal Moro – Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica – Flaccovio Editore 65

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico

Note a margine HVSR.

I parametro più importante per una buona acquisizione HVSR è la durata di registrazione.

Il concetto base per stabilire la durata di acquisizione è il seguente:

più si ha un ambiente rumoroso (ad es. traffico stradale pesante nelle vicinanze, le condizioni atmosferiche sono pessime, presenza di industrie ecc.) e più lunga è la durata della registrazione da effettuare.

Secondo le linee guida SESAME, la durata minima consigliata dovrebbe variare dai 10' a 20' minuti per i siti con un frequenza fondamentale compresa tra 10 Hz e 0,2 Hz rispettivamente.

Sottolineo che questi sono il minimo raccomandato.

66

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico

frequenze tipiche							periodi tipici						
		V_S							V_S				
		50	100	200	400	800			50	100	200	400	800
H	5	2.5	5	10	-	-	H	5	0.4	0.2	0.1	-	-
	10	1.25	2.5	5	10	-		10	0.8	0.4	0.2	0.1	-
	20	0.63	1.25	2.5	5	10		20	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1
	50	0.25	0.5	1	2	4		50	4	2	1	0.5	0.25
	100	-	0.25	0.5	1	2		100	-	4	2	1	0.5
	150	-	-	0.33	0.67	1.33		150	-	-	3	1.5	0.75
	200	-	-	0.25	0.5	1		200	-	-	4	2	1

F= 0,25-10 Hz T= 0,1-4 sec.

67

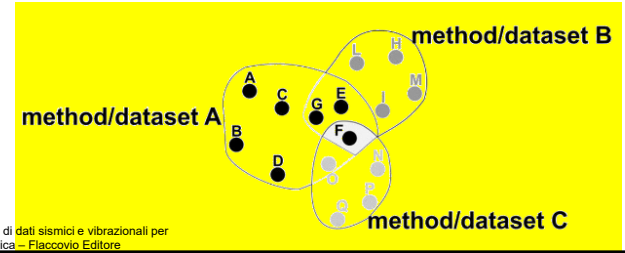
Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Profilo Sismostratigrafico – Analisi Congiunta

Bisogna sfatare un mito:

Fare una MASW e un HVSR analizzandoli in modo indipendente per poi sintetizzare i risultati, **NON È ANALISI CONGIUNTA**, ma integrazione dei dati.

L'ANALISI CONGIUNTA È mettere all'interno dello stesso processo di inversione/modellazione una serie di "oggetti" (MASW e HVSR ad esempio) e trovare un modello che, quantitativamente , si accorda con tutti gli "oggetti" considerati.

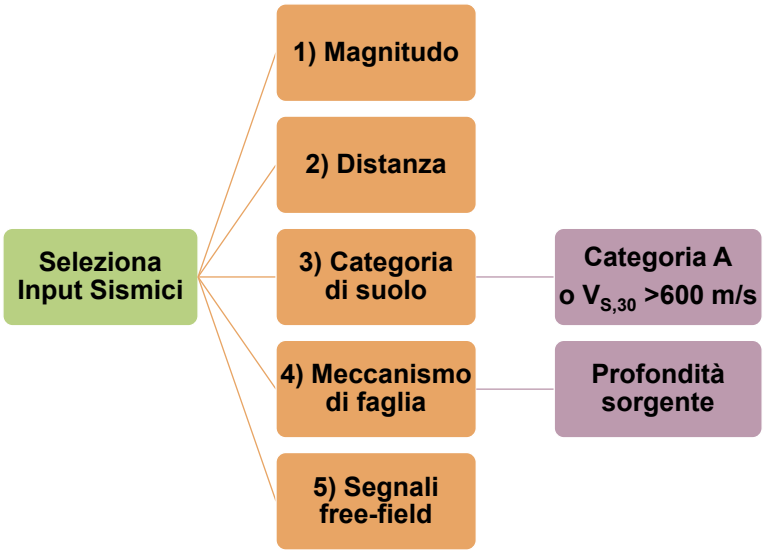


Giancarlo Dal Moro – Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica – Flaccovio Editore

68

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici



G. Acunzo, A. Pagliaroli, G. Scassera – IN-SPECTOR, un software di supporto alla selezione di accelerogrammi naturali spettrocompatibili per analisi geotecniche e strutturali – GNGTS 2014 – sessione 2.2

69

Selezione Input Sismici

NTC 2018 – punto 3.2.3.6.

La norma prevede che le storie temporali del terreno possano essere:

1. **Artificiali**, generati mediante algoritmi stocastici;
2. **Sintetici**, generati mediante simulazione numerica del processo di rottura;
3. **Naturali o registrati**, registrazioni accelerometriche di eventi sismici reali;

Per la RSL si possono usare solo quelli naturali o sintetici.

70

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

NTC 2018 – punto 3.2.3.6. – ultimi periodi

L'uso di storie temporali del moto del terreno naturali o registrate è ammesso a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito.

Le storie temporali del moto del terreno registrate devono essere selezionate e *possono essere* scalate in modo tale che i relativi spettri di risposta approssimino gli spettri di risposta elastici nel campo dei periodi propri di vibrazione di interesse per il problema in esame.

71

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

NTC 2018 – punto 3.2.3.6. – ultimi periodi

Nello specifico la compatibilità con lo spettro di risposta elastico deve essere verificata in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi associati alle storie per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del 5%.

L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10% ed uno scarto in eccesso superiore al 30%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico in alcun punto dell'intervallo dei periodi propri di vibrazione di interesse per l'opera in esame per i diversi stati limite.

72

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer/ -+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Tutto qui?

73

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer/ -+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

CIRCOLARE PUNTO C7.11.3.1.2.2 – ultimi 3 periodi

Benché le NTC prescrivano che il requisito della spettro-compatibilità debba essere soddisfatto rispetto allo spettro di risposta medio di un insieme di accelerogrammi, è opportuno evitare l'utilizzo di segnali individuali il cui spettro di risposta presenti uno scarto in eccesso rispetto allo spettro elastico di riferimento superiore al 30% questo per evitare l'adozione di accelerogrammi rappresentativi di una domanda sismica troppo severa.

74

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.enginee
r +393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer/ -+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

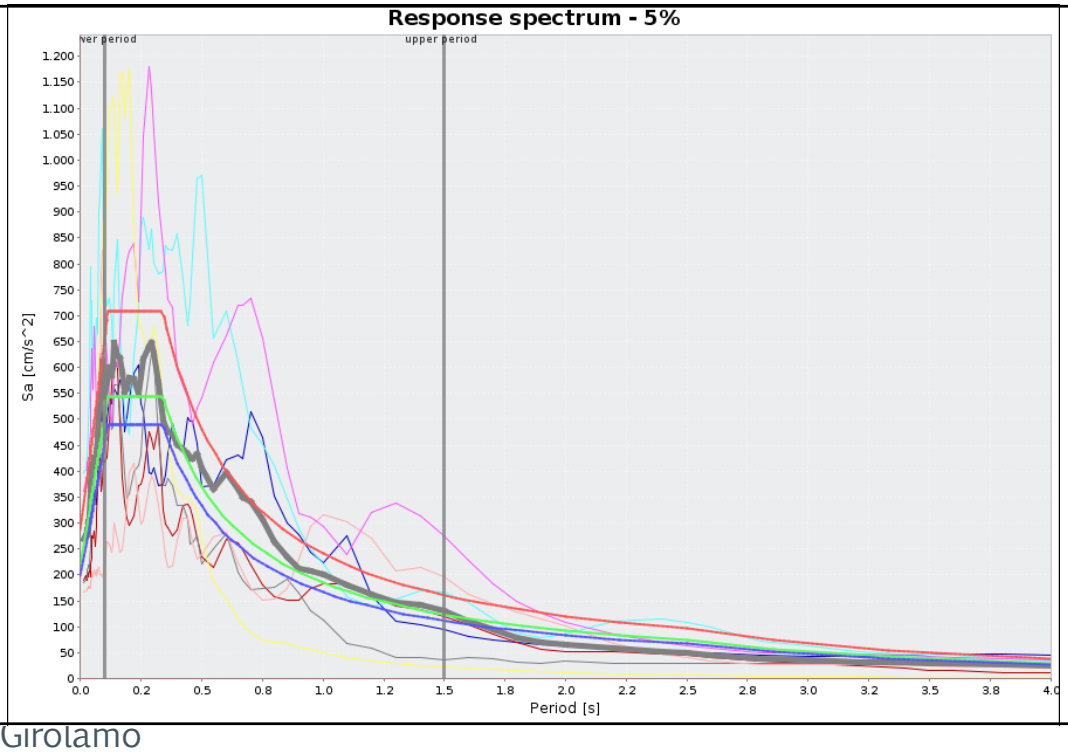
CIRCOLARE PUNTO C7.11.3.1.2.2 – ultimi 3 periodi

Tali accelerogrammi potrebbero infatti determinare, sulla struttura o sul sistema geotecnico oggetto di analisi, effetti di non linearità eccessivamente pronunciate incompatibili con l'effettiva pericolosità sismica del sito.

Per motivi analoghi è opportuno selezionare storie temporali che soddisfino l'ulteriore vincolo di compatibilità in media con l'accelerazione massima (a_g) prescritta per il sito in esame dallo studio di pericolosità sismica di base.

75

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer- info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com



Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

Caratteristiche del moto sismico al sito.

In prossimità dell'epicentro (near field) l'influenza dei meccanismi di sorgente prevale generalmente su quella degli altri fattori. I parametri che caratterizzano i meccanismi di sorgente sono:

a. Profondità della sorgente

A parità di altre condizioni un terremoto più superficiale:

- è più distruttivo
- interessa un'area meno estesa
- l'accelerogramma è di tipo più impulsivo, la durata è minore, il contenuto in frequenza è più ricco di alte frequenze

77

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

b. lunghezza della frattura

È un parametro a cui risulta proporzionale l'energia rilasciata, quindi anche alcuni parametri caratteristici del terremoto e del moto sismico:

correlazione semi-empirica «indicativa»	
M_W	Lunghezza faglia (km)
5.5	~ 4 – ~10
6.0	**~ 10 – ~15**
6.5	**~ 15 – ~30**
7.0	~ 30 – ~60
7.5	~ 60 – ~95
8.0	~ 95 – ~195

78

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

c. energia rilasciata

Maggiore è l'energia rilasciata, maggiore è l'estensione dell'area di risentimento e maggiori sono valori alcuni parametri caratteristici del terremoto e del moto sismico (magnitudo, intensità, durata, accelerazione massima, spostamento).

d. meccanismo di rottura

Influenza la forma, l'ampiezza, la frequenza e la durata delle vibrazioni, oltre all'intervallo di tempo fra successivi rilasci di energia (eventi sismici).

79

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer/ -+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

La scelta sia rappresentativa della sismicità del sito:

- Paragonabile magnitudo;
- Paragonabile distanza dalla sorgente;
- Categoria di suolo A o $V_{S,30}$>600 m/s;
- Stesso meccanismo focale e paragonabile profondità;
- Segnali free-field.

La media delle estrazioni deve risultare all'interno della finestra +30%/-10% dello spettro target, per i limiti di estrazione considerati.

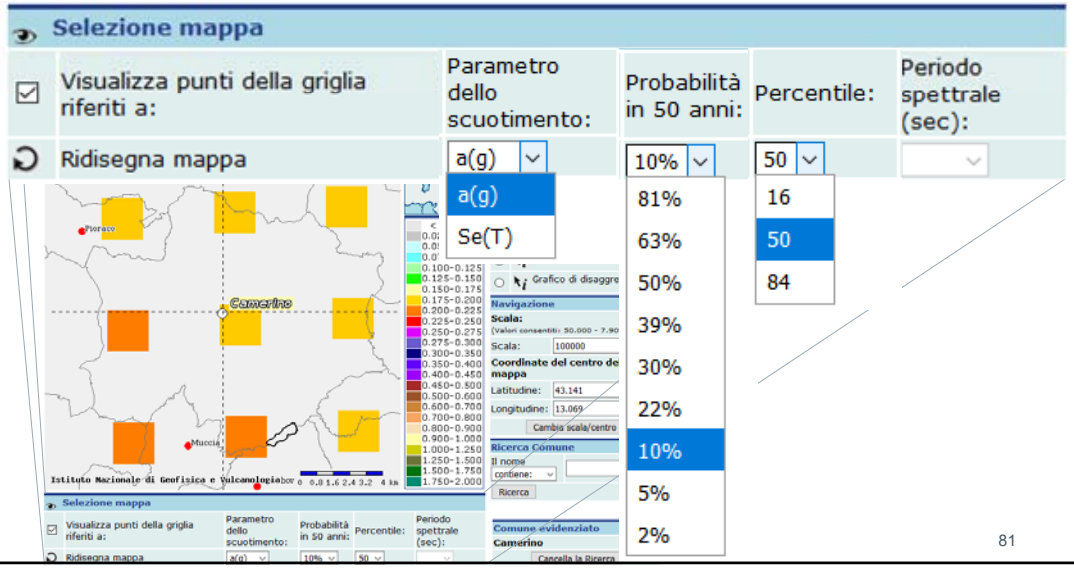
80

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

Disaggregazione

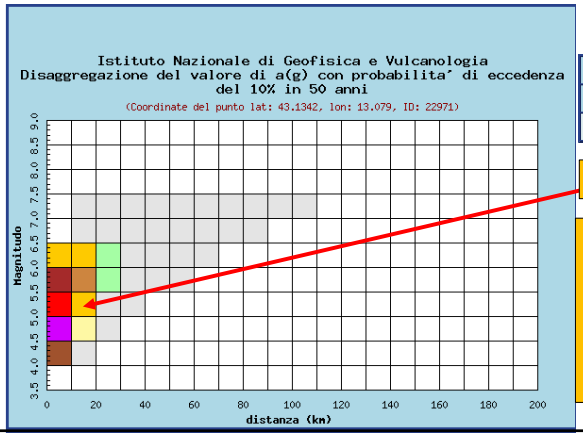


Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

Estrazione delle storie temporali – grafico disaggregazione

Il grafico di disaggregazione serve ad ottenere la coppia magnitudo – distanza che maggiormente contribuiscono all'occorrenza o al superamento dell'accelerazione di progetto



Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.320	9.790	0.982

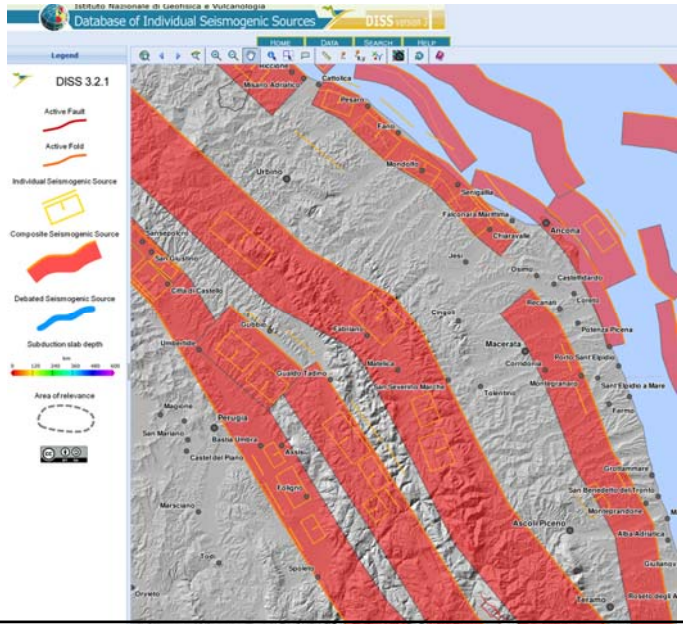
Valori Medi

numero di deviazioni standard per cui un dato valore di scuotimento (logaritmico) devia da quello mediano predetto dalla legge di attenuazione data una coppia *M-R*

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici



83

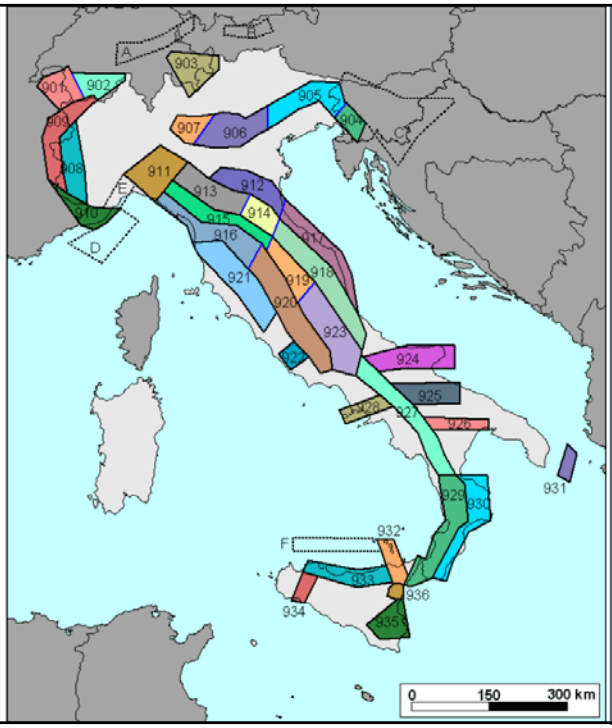
Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

Zonazione Sismogenatica ZS9

Le diverse zone sono individuate da un numero, le zone sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica.

Il colore delle zone non è significativo.



App.2 al rapporto conclusivo – Zonazione sismogenetica ZS9

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

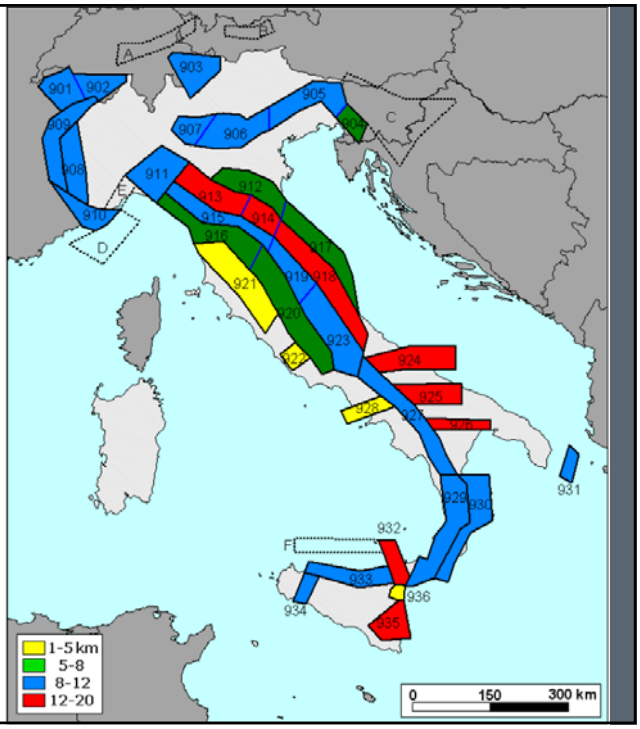
Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

Zonazione Sismogenatica ZS9

Classi di profondità efficace assegnate alle diverse zone sismogenetiche.

Il colore delle zone identifica le classi di profondità.



App.2 al rapporto conclusivo – Zonazione sismogenetica ZS9

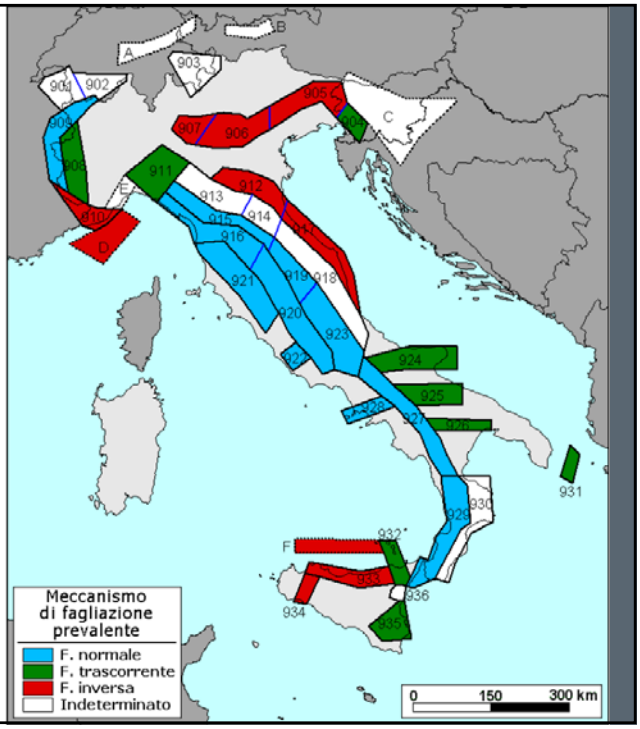
Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

Zonazione Sismogenatica ZS9

Meccanismo di fagliazione prevalente atteso per le diverse zone sismogenetiche che compongono la ZS9.

Il colore delle zone identifica il meccanismo prevalente.

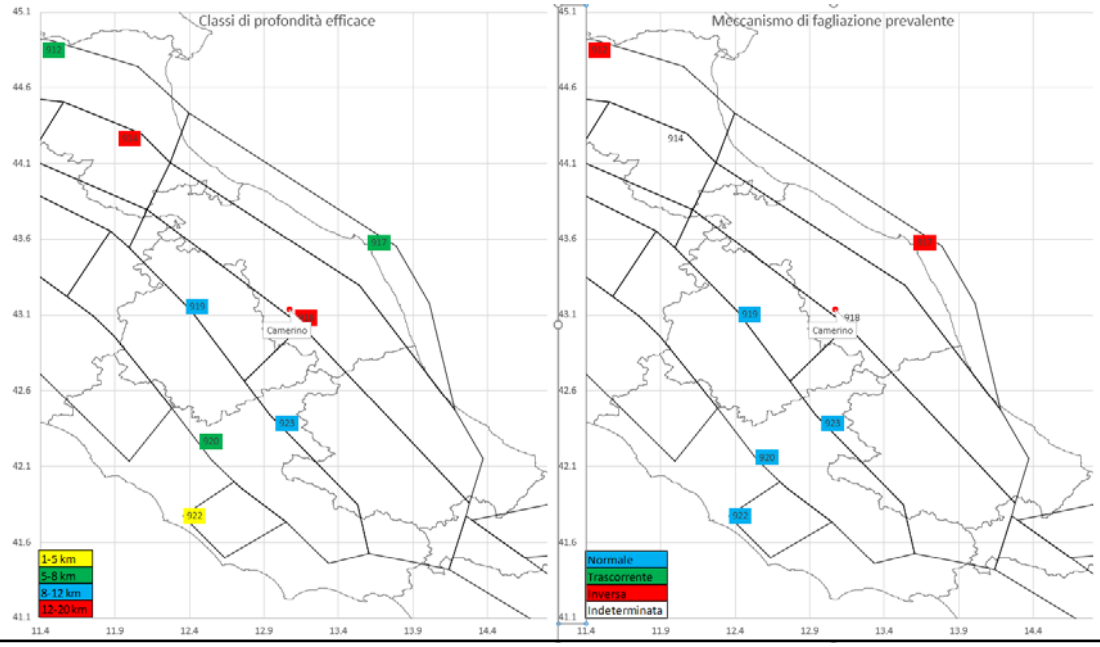


App.2 al rapporto conclusivo – Zonazione sismogenetica ZS9

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici



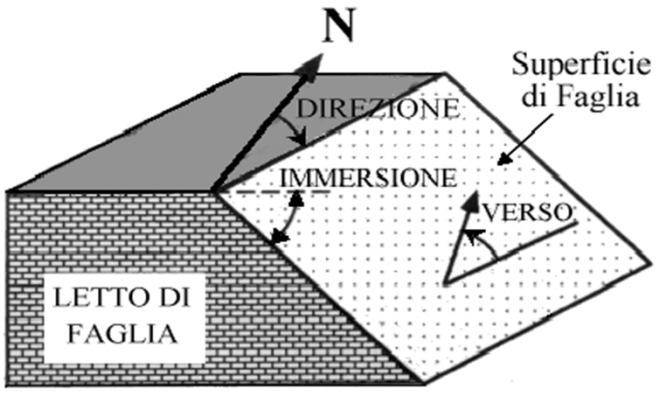
Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

Ma che forma deve avere il moto di input?

La "dimensione" della sorgente determina la quantità di energia rilasciata ma anche la forma dello spettro di scuotiment

In particola moto
controllata
che corrisp



Dove μ è la tura
all'origine d la
dislocazion moto,
S è la supe

Rielaborazione slide: La risposta sismica locale – D. Albarello 88

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

La magnitudo del terremoto viene stimata dall'ampiezza massima dello scuotimento (opportunamente scalato per tenere conto delle diverse distanze dalla sorgente) esiste una stretta relazione fra momento sismico e magnitudo:

$$m = \frac{2}{3} log_{10}(M_0) - 6$$

Quindi si può dire che l'ampiezza massima dello scuotimento "dipende" dalla magnitudo

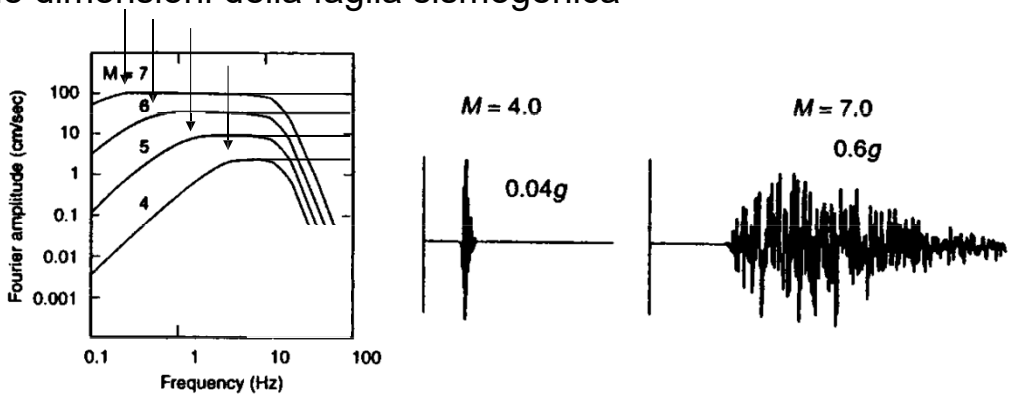
La dimensione della sorgente controlla la forma dello spettro

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

La forma dello spettro di accelerazione si modifica all'aumentare della magnitudo

La durata complessiva del terremoto che è proporzionale alle dimensioni della faglia sismogenica



Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

La quantità di energia trasportata per unità del fronte d'onda diminuisce con la distanza dalla sorgente.

Il modo in cui questa diminuzione avviene dipende dai dettagli del percorso seguito dai diversi fronti d'onda e quindi dalla specifiche caratteristiche del mezzo.

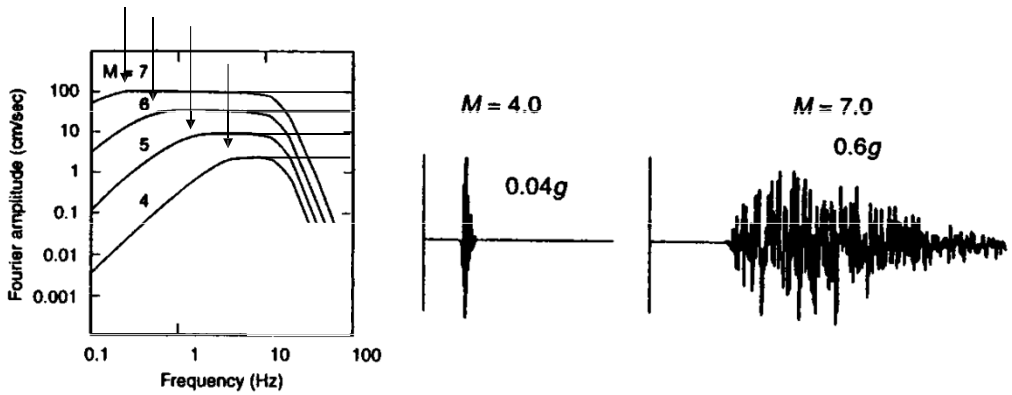
Questa attenuazione (spreading geometrico) riguarda tutte le frequenze e si riflette in un generale abbassamento dello spettro con la distanza: tuttavia la forma complessiva non cambia

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

La Terra si comporta come un filtro passa-basso.

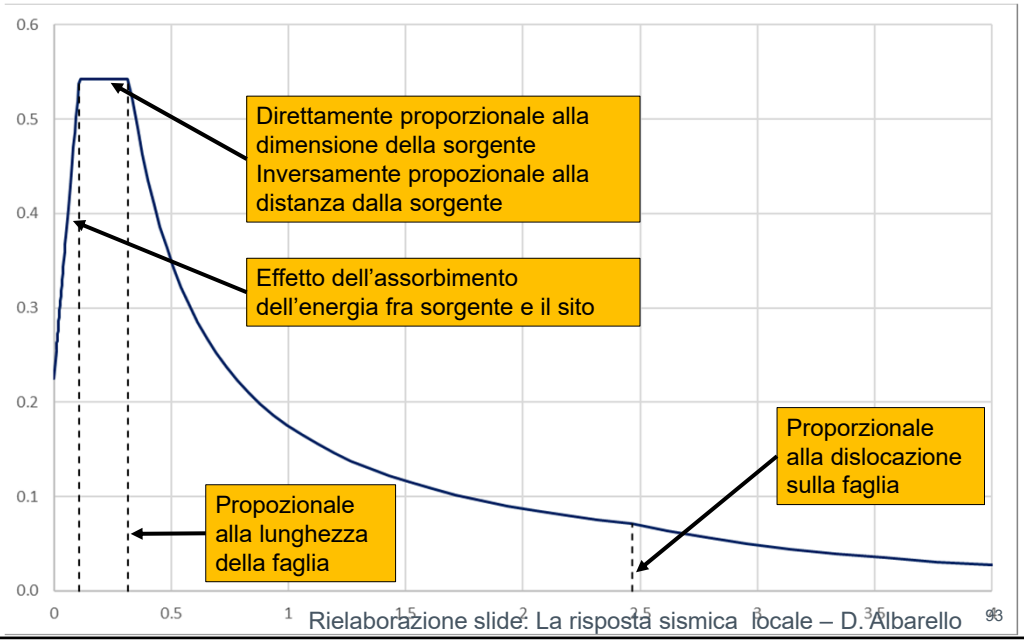
Questo effetto modifica la forma complessiva dello spettro in funzione della distanza percorsa dall'onda riducendo l'ampiezza delle alte frequenze



Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici



Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

NTC2018 – 7.3.5

Gli effetti sono rappresentati dai valori medi degli effetti più sfavorevoli ottenuti dalle analisi se si utilizzano almeno 7 accelerogrammi;

dai valori più sfavorevoli degli effetti, in caso di utilizzo di meno di 7 accelerogrammi;

Non si possono estrarre meno di 3 accelerogrammi.

Ricordiamo che Accelerogrammi = Storie Temporali

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

Esisto ad oggi vari soluzioni per la estrazione delle 7 registrazioni necessarie per la RSL tutti liberi:

1. **SEISM-HOME** – Eucentre
   https://www.eucentre.it/seism-home-accelerogrammi/
2. **REXEL** – Reluis
   http://www.reluis.it/index.php?option=com_content&view=article&id=118&Itemid=105&lang=it
3. **REXELITE** – INGV
   https://esm.mi.ingv.it/
4. **REXELWEB** – INGV
   https://esm-db.eu/#/home
   http://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet_31/#/home

95

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

Nota Bene:

Le storie temporali del moto del terreno registrate devono essere selezionate e possono essere scalate in modo tale che i relativi spettri di risposta approssimino gli spettri di risposta elastici nel campo dei periodi propri di vibrazione di interesse per il problema in esame (C3.2.3.6);

OCCHIO
non esagerare nella scalatura massima

Alcuni autori consigliano 0.25/4
personalmente preferisco 0.5/2

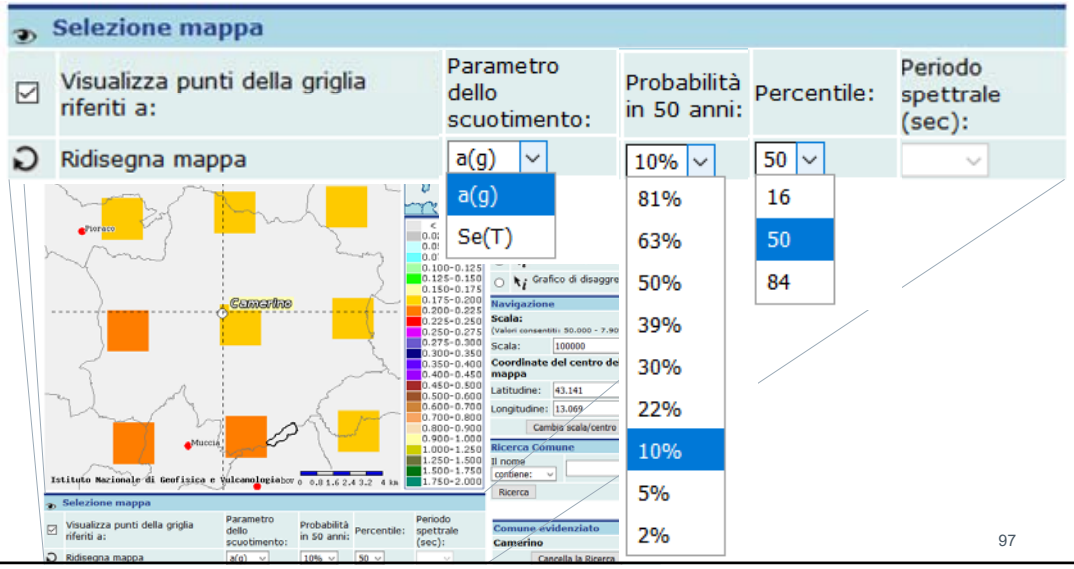
Tale indicazione DEVE essere riportata in relazione

96

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

Spettro Target

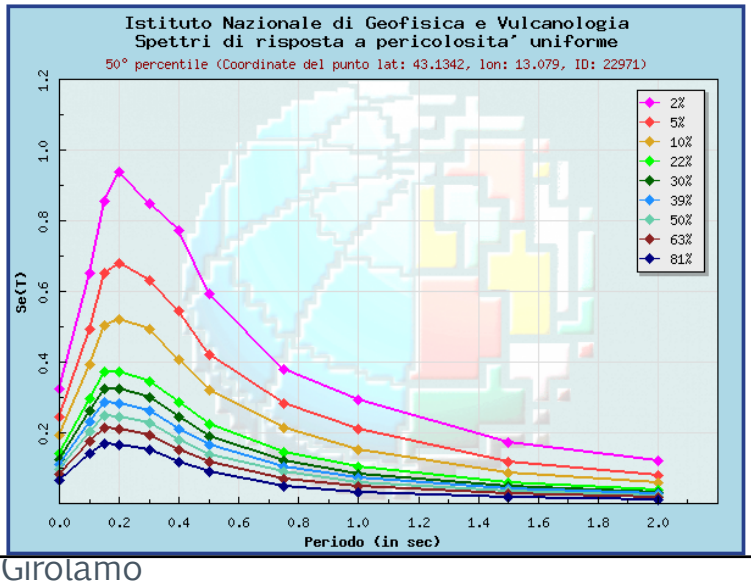


97

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

Spettro Target



Spettri a probabilità uniforme:

Lo spettro a probabilità uniforme rappresenta, per ciascun periodo, il valore di ampiezza della risposta corrispondente ad una probabilità di eccedenza (es. 10%)

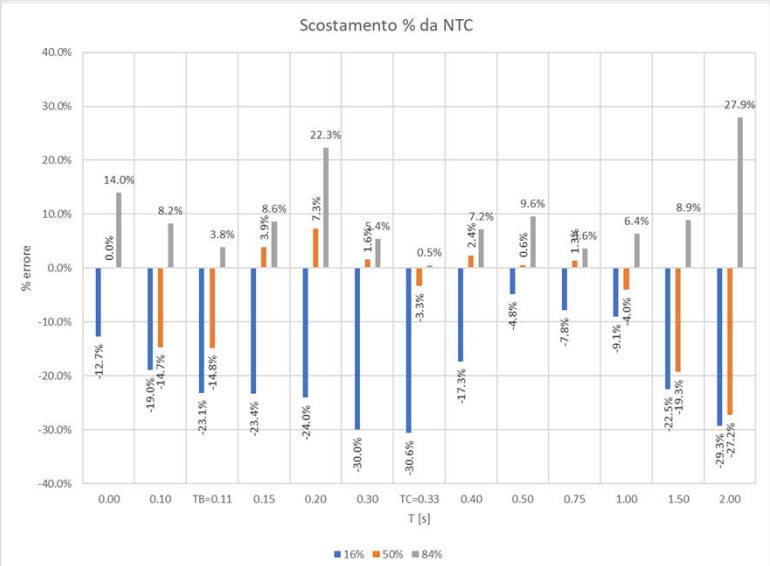
98

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

Spettro Target



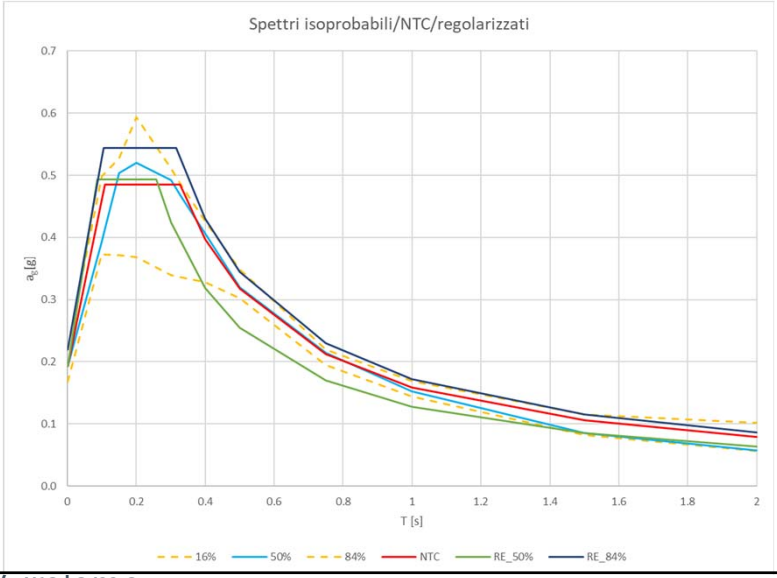
Punto:
Lat.: 43.13419
Lon.: 13.07901

99

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

Spettro Target



100

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.enginee
r +393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Selezione Input Sismici

Perché di tutta questa digressione sulla estrazione degli spettri?

1. La selezione degli accelerogrammi è uno degli elementi fondamentali della RSL;
2. Sbagliare o prendere una settupla non conforme può dare risultati critici;
3. Prendere una settupla o alcuni accelerogrammi della settupla non conformi potrebbero creare problemi alla modellazione;
4. Due settuple possono avere risultati diversi, analizzare più modelli è necessario per capire quanto il modello è "sensibile" a tale variazione di accelerogrammi.

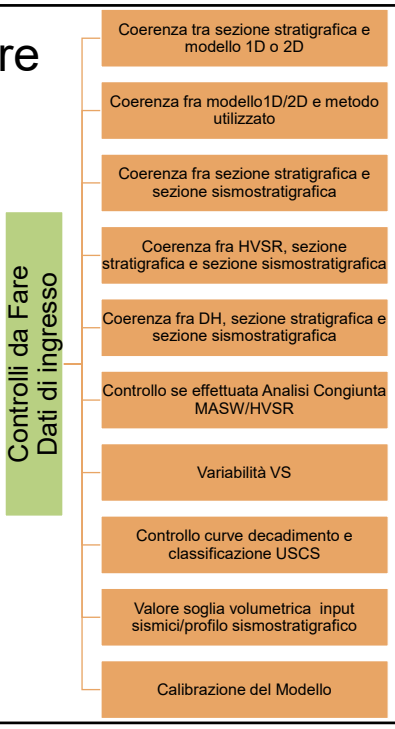
101

Stiamo per finire!!!!!

102

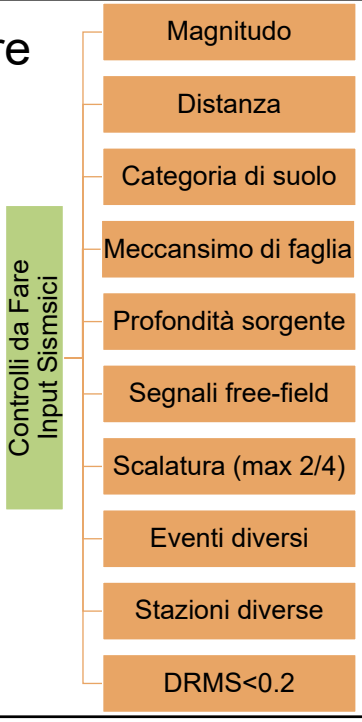
Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.enginee
r +393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Controlli da fare



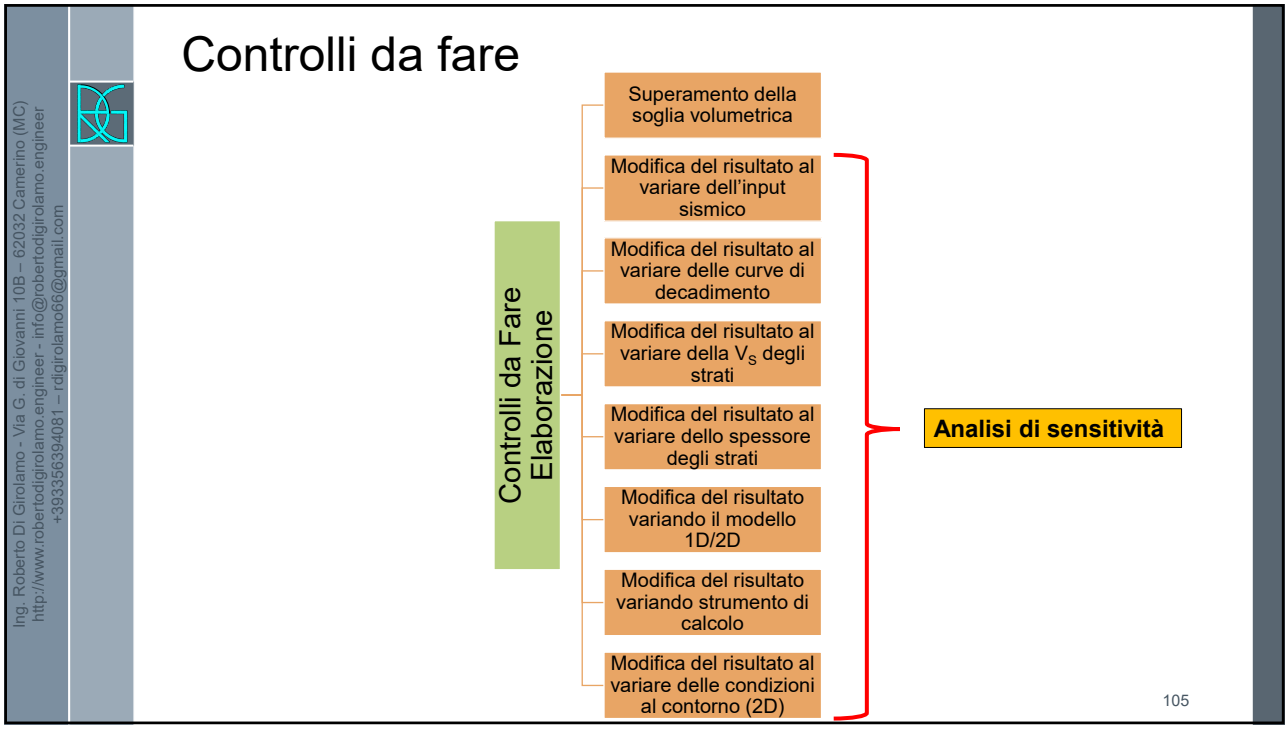
103

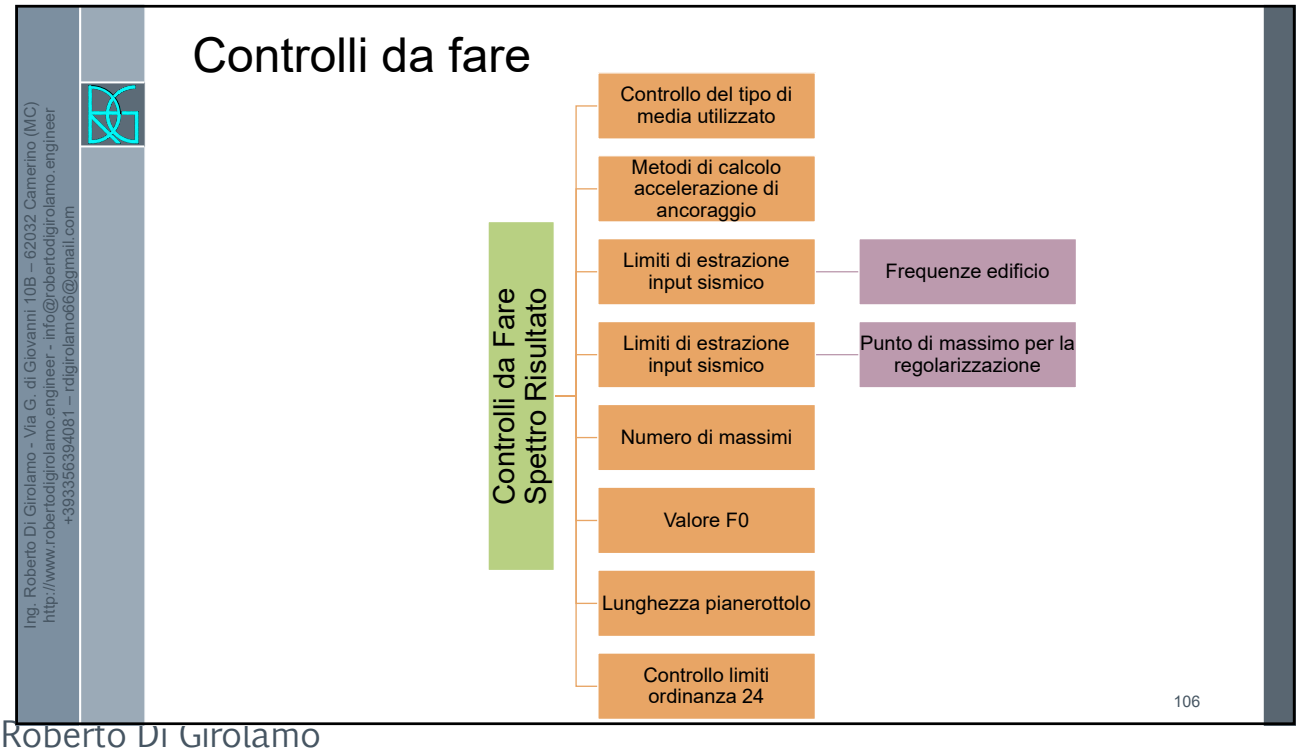
Controlli da fare



104

Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.enginee
r +393356394081
rdigirolamo66@gmail.com



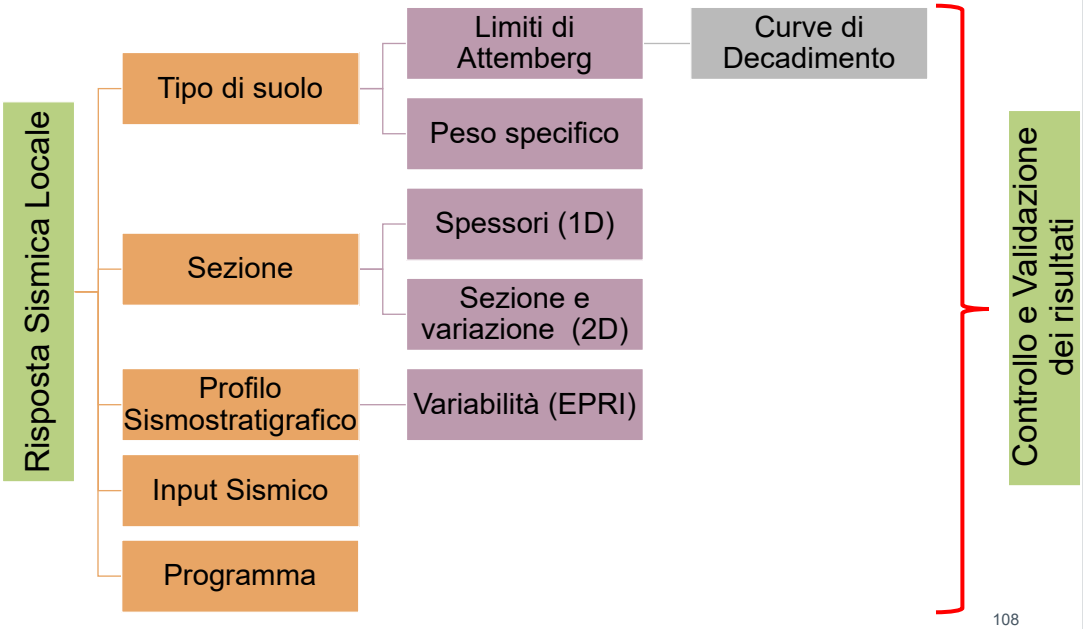


Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Ing. Roberto Di Girolamo - Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer - info@robertodigirolamo.engineer
+393356394081 – rdigirolamo66@gmail.com

Menù – roberto



Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B
62032 Camerino (MC)
http://www.robertodigirolamo.engineer
+393356394081
rdigirolamo66@gmail.com