

L'interdisciplinarietà delle analisi di Risposta Sismica Locale: approcci e metodi

Caratterizzazione dinamica dei terreni mediante prove in-situ e di laboratorio

Analisi numeriche per la valutazione della Risposta Sismica Locale

Relatore:

Dott. Ing. Erminio Salvatore (e.salvatore@unicas.it)

Introduzione al problema

Rischio sismico

$$R = H \cdot V \cdot E$$

H (pericolosità sismica): probabilità di accadimento di un dato evento sismico nello spazio e nel tempo

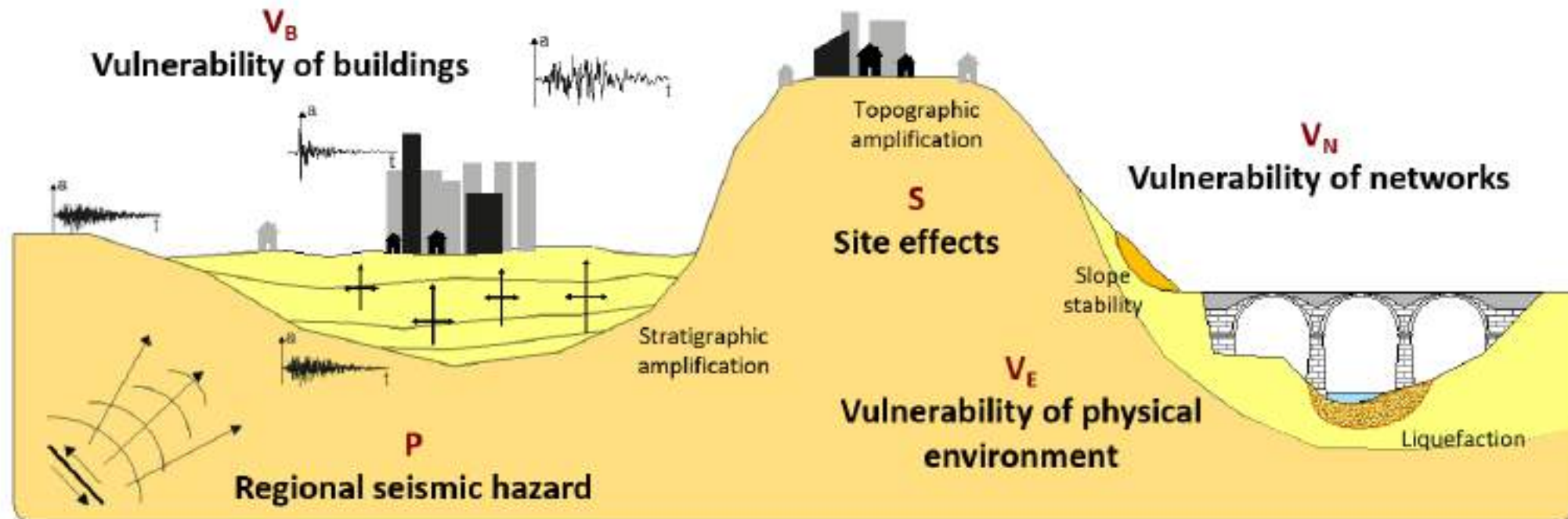
H = pericolosità sismica regionale (**P**) x effetto di sito (**S**)

V (vulnerabilità): vulnerabilità nei confronti del danneggiamento di un sistema

H = V. del sistema fisico (**V_E**) x V. del costruito (**V_B**) x V. delle reti ed infrastrutture (**V_N**)

E (esposizione): perdita subita dalla società e dalle risorse correlate

$$R = P \cdot S \cdot V_E \cdot V_B \cdot V_N \cdot E$$

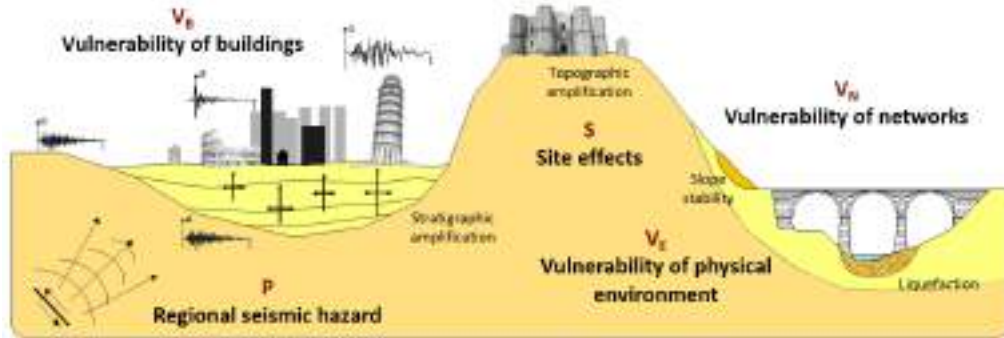


Introduzione al problema

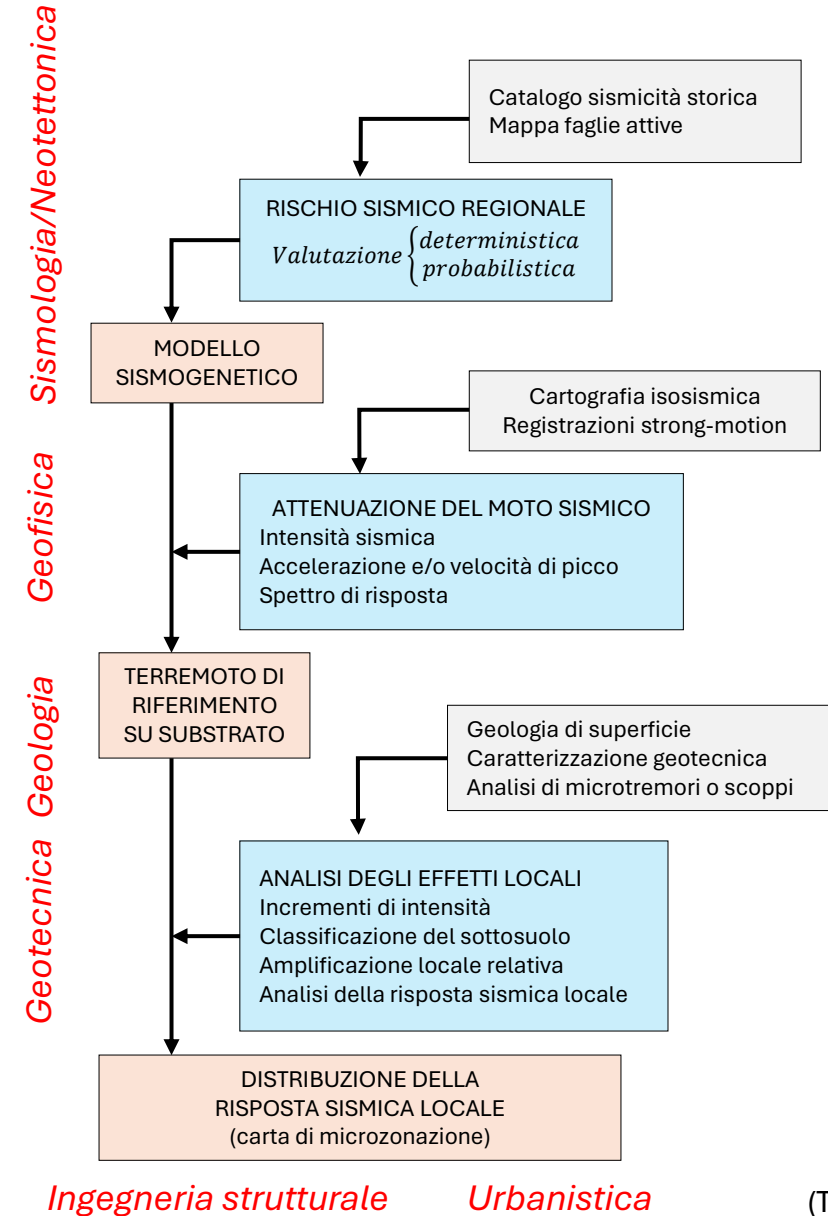
Rischio sismico

$$R = H \cdot V \cdot E$$

$$R = P \cdot S \cdot V_E \cdot V_B \cdot V_N \cdot E$$

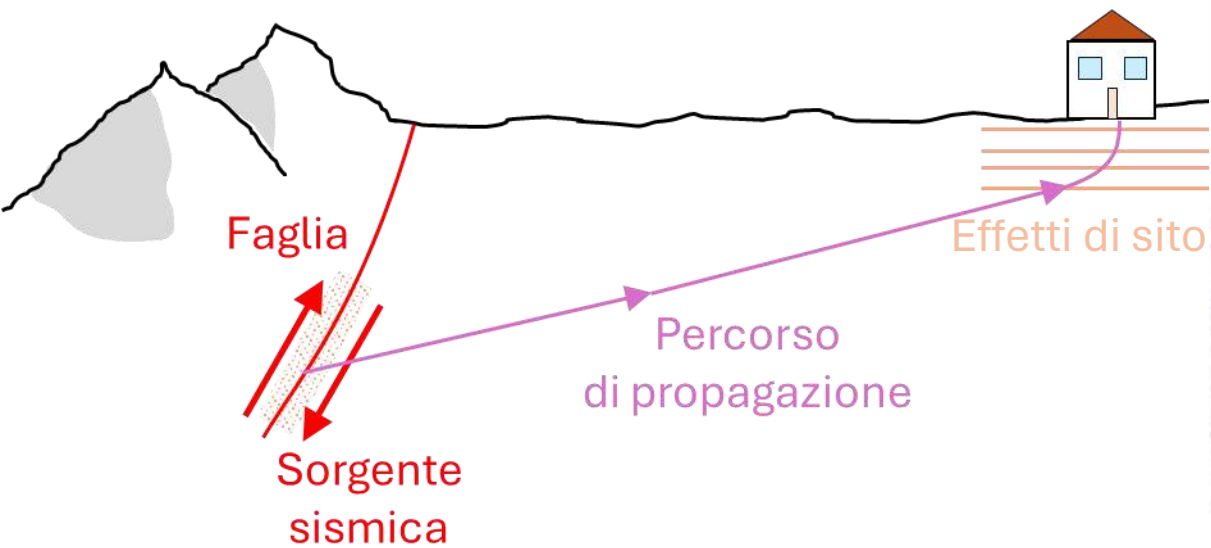


Flowchart della procedura di microzonizzazione

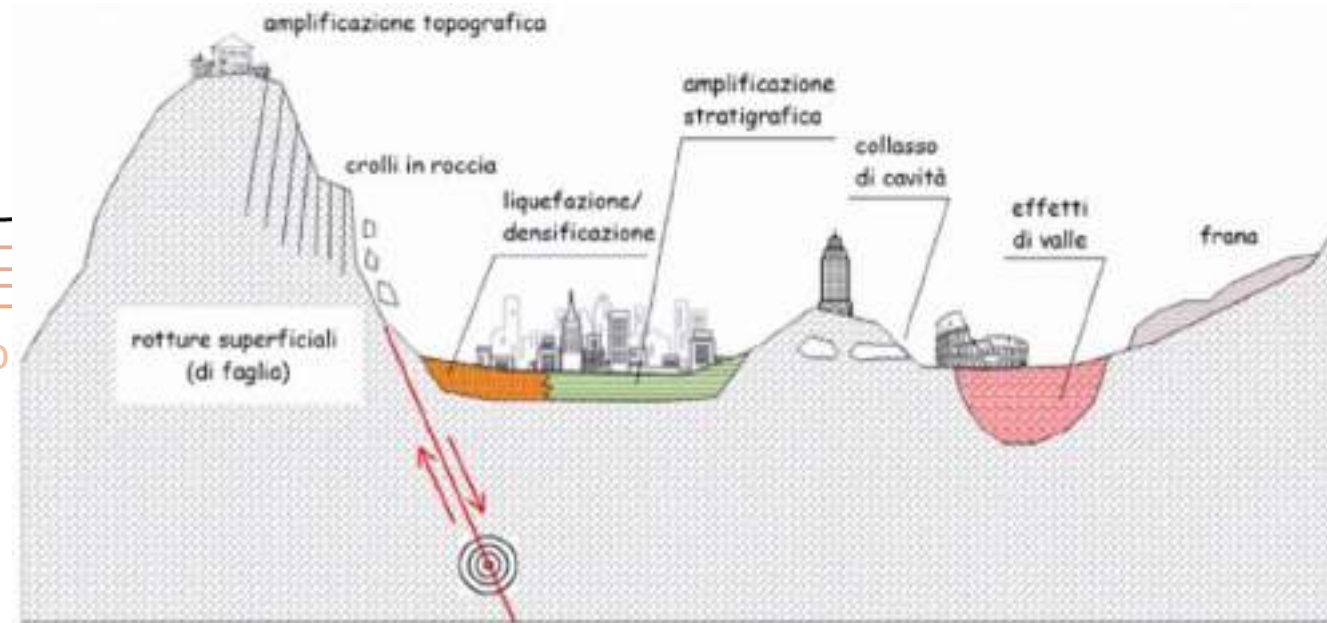


Propagazione delle onde sismiche

Generazione e propagazione delle onde

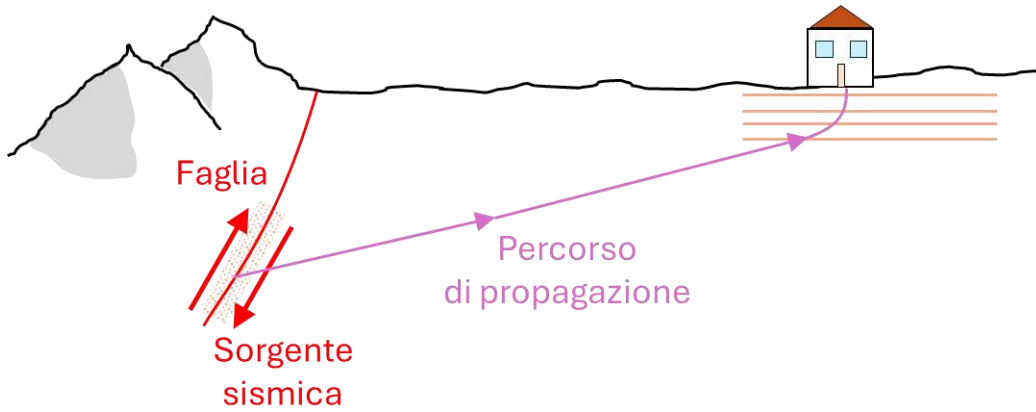


Sistemi geotecnici a comportamento sismico instabile

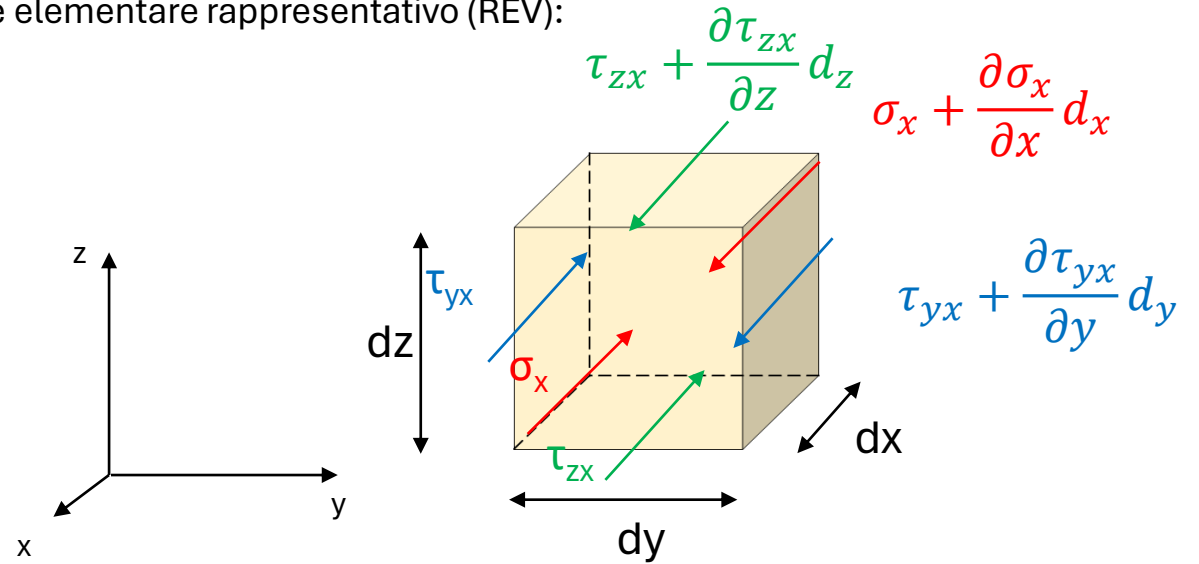


Propagazione delle onde sismiche

Generazione e propagazione delle onde



Volume elementare rappresentativo (REV):



Equazione di equilibrio dinamico in direzione x:

$$\sigma_x(d_y d_z) - \left(\sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx \right) (d_y d_z) + \tau_{yx}(d_x d_z) - \left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy \right) (d_x d_z) + \tau_{zx}(d_x d_y) - \left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz \right) (d_x d_y) = -m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

$$\cancel{\sigma_x(d_y d_z)} - \cancel{\sigma_x(d_y d_z)} - \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx d_y d_z + \cancel{\tau_{yx}(d_x d_z)} - \cancel{\tau_{yx}(d_x d_z)} - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dx d_y d_z + \cancel{\tau_{zx}(d_x d_y)} - \cancel{\tau_{zx}(d_x d_y)} - \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dx d_y d_z = -m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

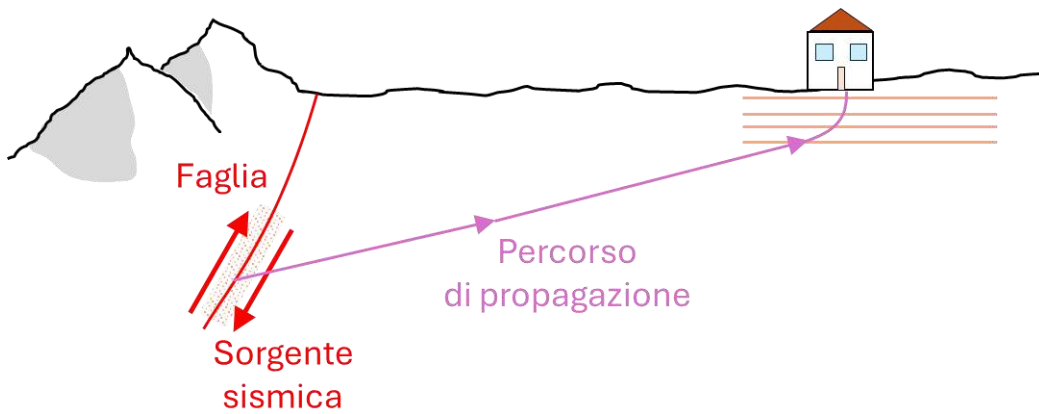
$$-\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx d_y d_z - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dx d_y d_z - \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dx d_y d_z = -m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

$$-\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} \frac{\cancel{dx d_y d_z}}{\cancel{dx d_y d_z}} - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{\cancel{dx d_y d_z}}{\cancel{dx d_y d_z}} - \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{\cancel{dx d_y d_z}}{\cancel{dx d_y d_z}} = -\frac{m}{d_x d_y d_z} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

Propagazione delle onde sismiche

Generazione e propagazione delle onde



Equazioni di equilibrio dinamico

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} = \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$$

+

LC elastico lineare (equazioni di Navier):

$$\sigma_x = \lambda \varepsilon_v + 2G \varepsilon_x \quad \tau_{xy} = G \gamma_{xy}$$

$$\sigma_y = \lambda \varepsilon_v + 2G \varepsilon_y \quad \tau_{yz} = G \gamma_{yz}$$

$$\sigma_z = \lambda \varepsilon_v + 2G \varepsilon_z \quad \tau_{zx} = G \gamma_{zx}$$

Costanti elastiche

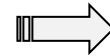
$$\lambda = \frac{\nu E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \quad G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

$$E_{ed} = \lambda + 2G = \frac{E(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$$

Propagazione delle 'perturbazioni'

Onda di deformazione volumetrica:

$$\rho \frac{\partial^2 \varepsilon_v}{\partial t^2} = (\lambda + 2G) \Delta^2 \varepsilon_v \quad \left(\Delta = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \right)$$

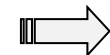


$$V_P = \sqrt{\frac{E_{ed}}{\rho}}$$

$$E_{ed} > G \Rightarrow V_P > V_S$$

Onda di deformazione di taglio:

$$\rho \frac{\partial^2 \gamma_{ij}}{\partial t^2} = G \Delta^2 \gamma_{ij} \quad \{ ij = xy, yz, zx \}$$



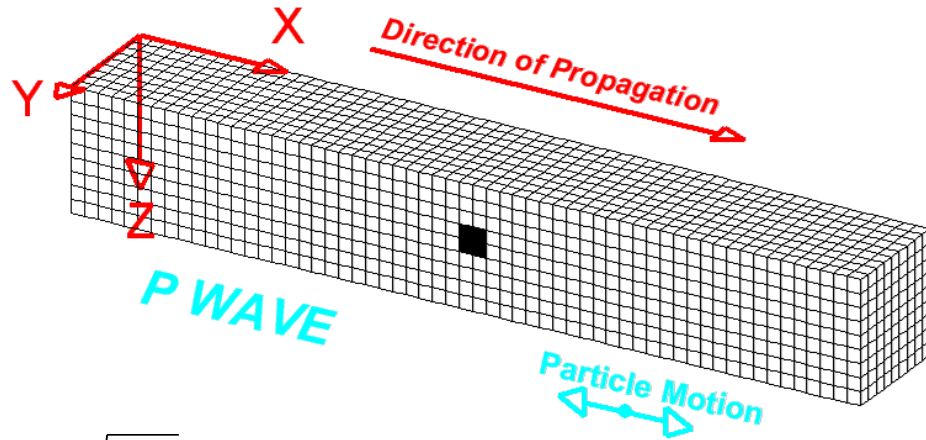
$$V_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

(P = Prima, S = Secunda)

Propagazione delle onde sismiche

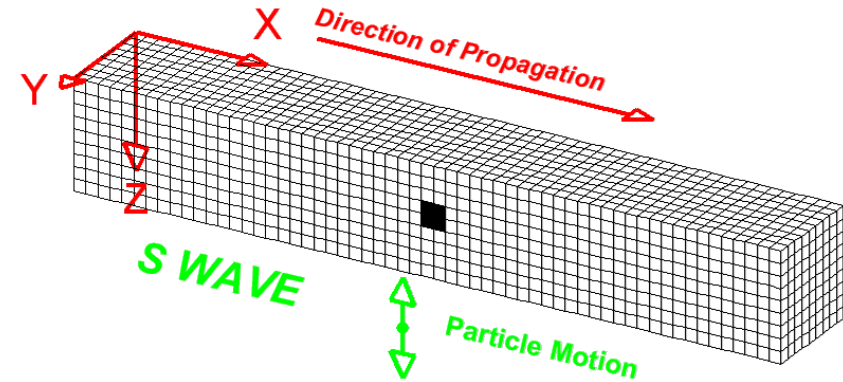
Generazione e propagazione delle onde

Onde elastiche di volume di compressione



$$V_P = \sqrt{\frac{E_{ed}}{\rho}}$$

Onde elastiche di volume di taglio



$$V_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Onde S { onde SH polarizzate nel piano orizzontale
onde SV polarizzate nel piano verticale

Considerazioni:

- Vista la limitata variabilità della densità dei terreni e rocce, la velocità di propagazione delle onde sismiche è essenzialmente proporzionale alla rigidità del materiale attraversato
- Nei terreni saturi:
La V_P dipende essenzialmente dalla compressibilità del fluido di falda, quindi considerando rigidità volumetrica e densità dell'acqua $V_P \approx 1450 \text{ m/s}$.
La V_S andrà invece determinata con rigidità G pari a quella dello scheletro solido e densità pari a $\rho_{sat} = \frac{\gamma_{sat}}{g}$

Propagazione delle onde sismiche

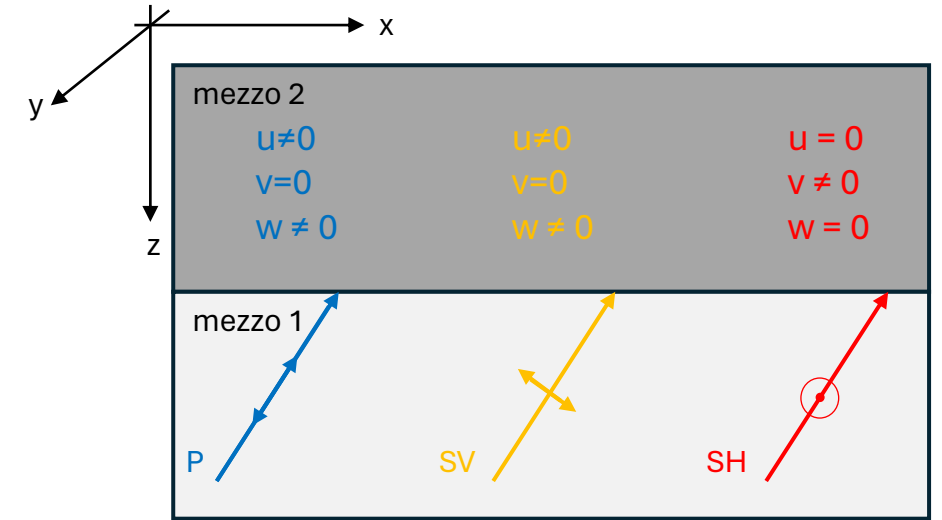
Generazione e propagazione delle onde

Propagazione delle onde nei mezzi stratificati

Un'onda incidente all'interfaccia tra due materiali (es. 1 roccia → 2 terreno):

- Genera onde riflesse nel mezzo di provenienza
- Genera onde trasmesse o rifratte nel mezzo di destinazione

Le onde generate possono essere di natura differente rispetto a quella incidente



(schema di doppio semispazio indefinito)

Propagazione delle onde sismiche

Generazione e propagazione delle onde

Propagazione delle onde nei mezzi stratificati

Un'onda incidente all'interfaccia tra due materiali (es. 1 roccia → 2 terreno):

- Genera onde riflesse nel mezzo di provenienza
- Genera onde trasmesse o rifratte nel mezzo di destinazione

Le onde generate possono essere di natura differente rispetto a quella incidente

Un'onda SV incidente genera:

- Un'onda SV riflessa ed un'onda SV rifratta
- Un'onda P riflessa ed un'onda P rifratta

Legge di Snell

$$\frac{\sin i}{V_{S1}} = \frac{\sin r}{V_{S1}} = \frac{\sin s}{V_{P1}} = \frac{\sin t}{V_{S2}} = \frac{\sin u}{V_{P2}}$$

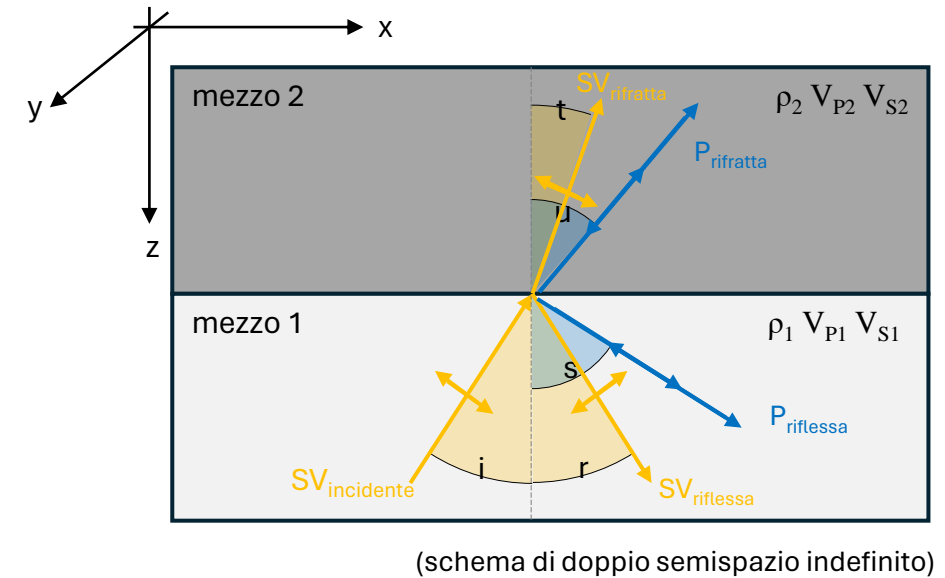
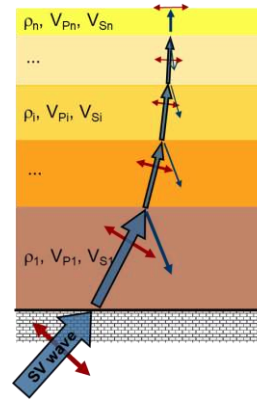
Considerazioni:

- Nel passare da un mezzo più rigido ad uno meno rigido (es. dalla roccia ai terreni sciolti) l'onda SV trasmessa tende a convergere verso la verticale

$$V_{S1} > V_{S2} \quad \frac{\sin i}{V_{S1}} = \frac{\sin t}{V_{S2}} \quad \frac{\sin t}{\sin i} = \frac{V_{S2}}{V_{S1}} < 1 \quad t < i$$

- Nel passare da un mezzo meno rigido ad uno più rigido (es. dai terreni sciolti alla roccia) l'onda SV trasmessa tende ad un valore limite di 90° (l'onda si prepropaga lungo l'interfaccia, **head wave**)

$$V_{S1} < V_{S2} \quad \frac{\sin i}{V_{S1}} = \frac{\sin t}{V_{S2}} \quad t > i \quad \frac{\sin i_c}{V_{S1}} = \frac{\sin 90^\circ}{V_{S2}} \quad \frac{\sin i_c}{V_{S1}} = \frac{\sin 90^\circ}{V_{S2}} = \frac{1}{V_{S2}} \quad i_c = \arcsen\left(\frac{V_{S1}}{V_{S2}}\right)$$



Propagazione delle onde sismiche

Generazione e propagazione delle onde

Propagazione delle onde nei mezzi stratificati

Un'onda incidente all'interfaccia tra due materiali (es. 1 roccia \rightarrow 2 terreno) \Rightarrow :

- Genera onde riflesse nel mezzo di provenienza
- Genera onde trasmesse o rifratte nel mezzo di destinazione

Le onde generate possono essere di natura differente rispetto a quella incidente

Un'onda SV incidente genera:

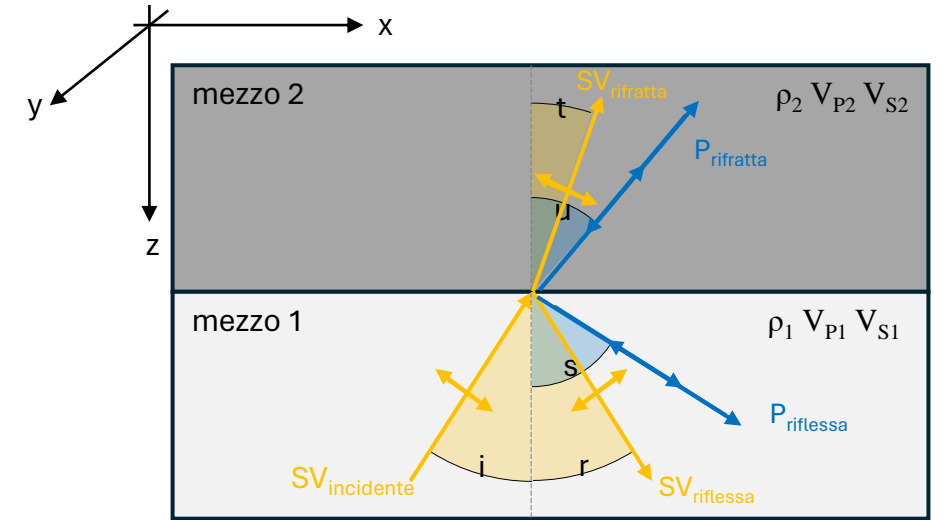
- Un'onda SV riflessa ed un'onda SV rifratta
- Un'onda P riflessa ed un'onda P rifratta

Un'onda P incidente genera:

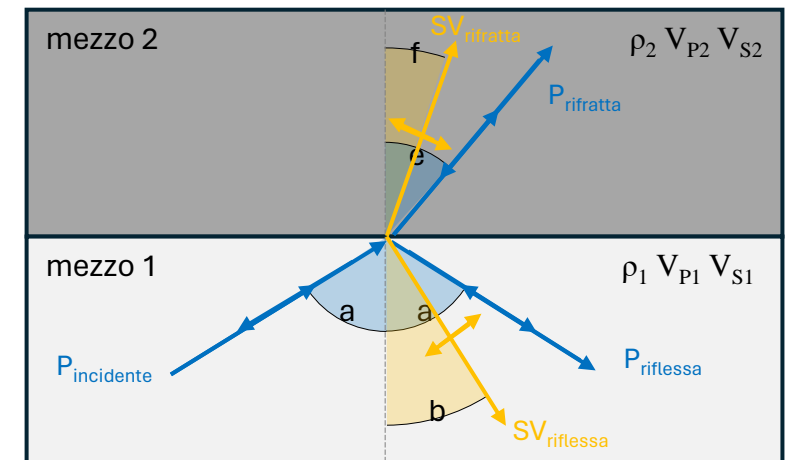
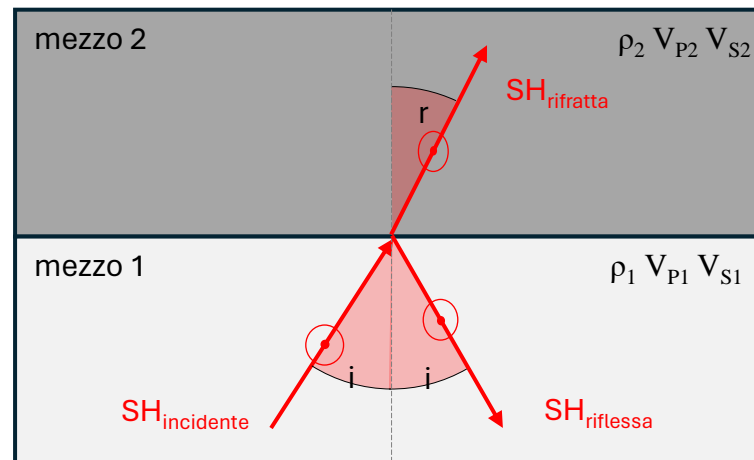
- Un'onda SV riflessa ed un'onda SV rifratta
- Un'onda P riflessa ed un'onda P rifratta

Un'onda SH incidente genera:

- Un'onda SH riflessa ed un'onda SH rifratta



(schema di doppio semispazio indefinito)



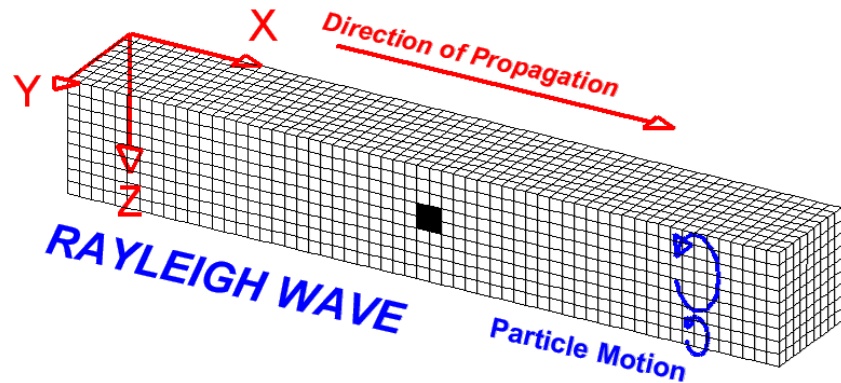
Propagazione delle onde sismiche

Generazione e propagazione delle onde

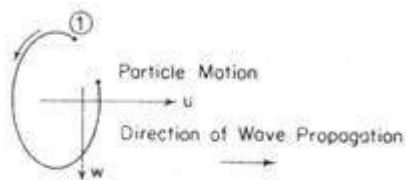
Propagazione delle onde nei mezzi stratificati

Un'onda incidente all'interfaccia tra due materiali (es. 1 roccia → 2 terreno):

- Genera onde riflesse nel mezzo di provenienza
- Genera onde trasmesse o rifratte nel mezzo di destinazione
- Genera onde superficiali

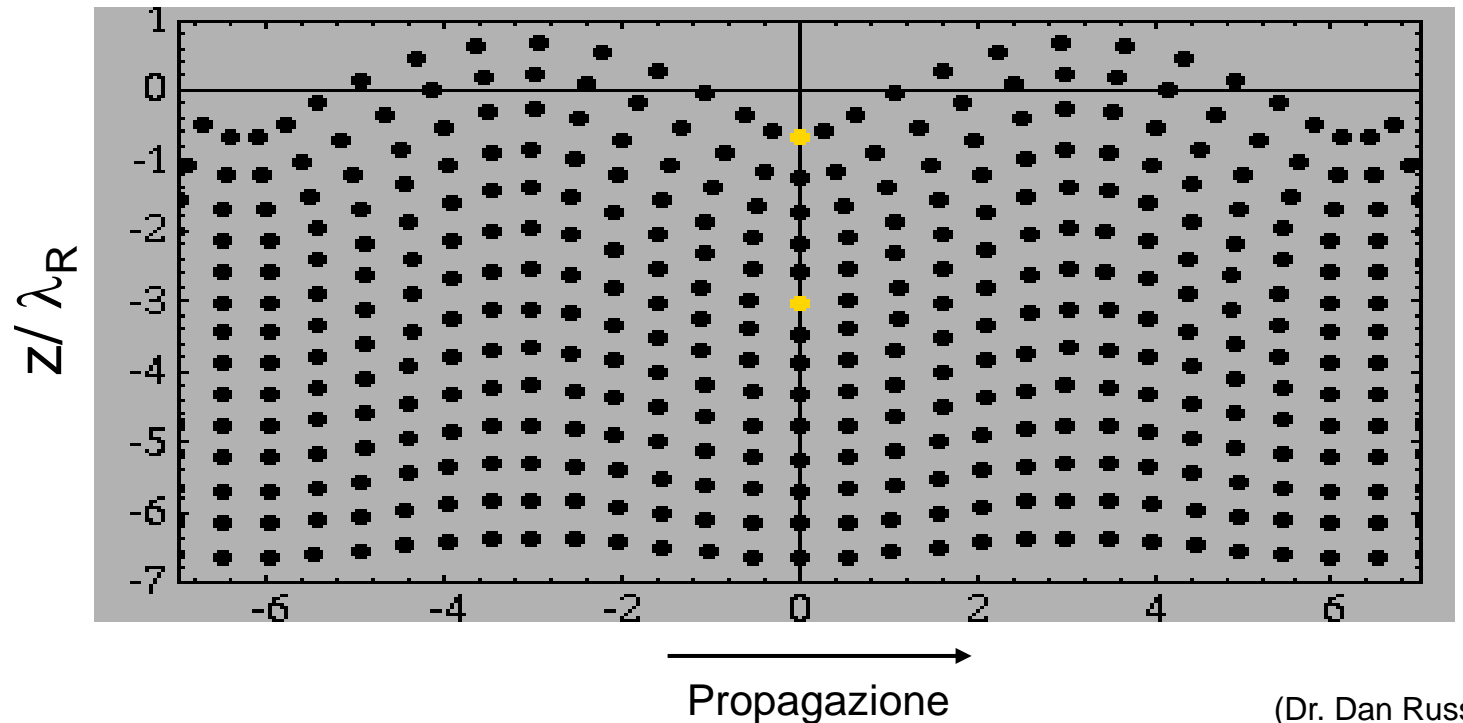


Le componenti orizzontali e verticali sono sfasate di $\frac{1}{4}$ di periodo per cui le particelle seguono un percorso ellittico retrogrado



$$V_R = f(V_S, \nu) = 0.87 V_S \div 0.96 V_S$$

$$\lambda_R = \frac{V_R}{f}$$



(Dr. Dan Russell)

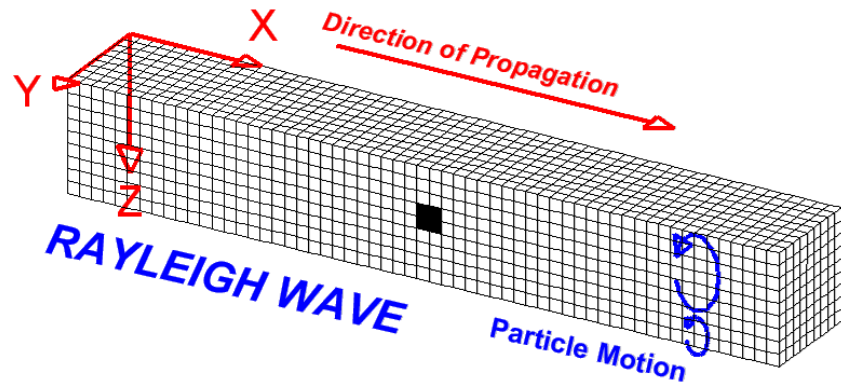
Propagazione delle onde sismiche

Generazione e propagazione delle onde

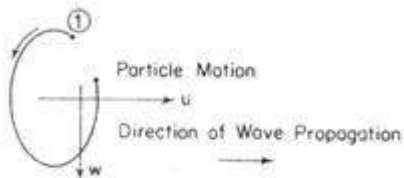
Propagazione delle onde nei mezzi stratificati

Un'onda incidente all'interfaccia tra due materiali (es. 1 roccia → 2 terreno):

- Genera onde riflesse nel mezzo di provenienza
- Genera onde trasmesse o rifratte nel mezzo di destinazione
- Genera onde superficiali

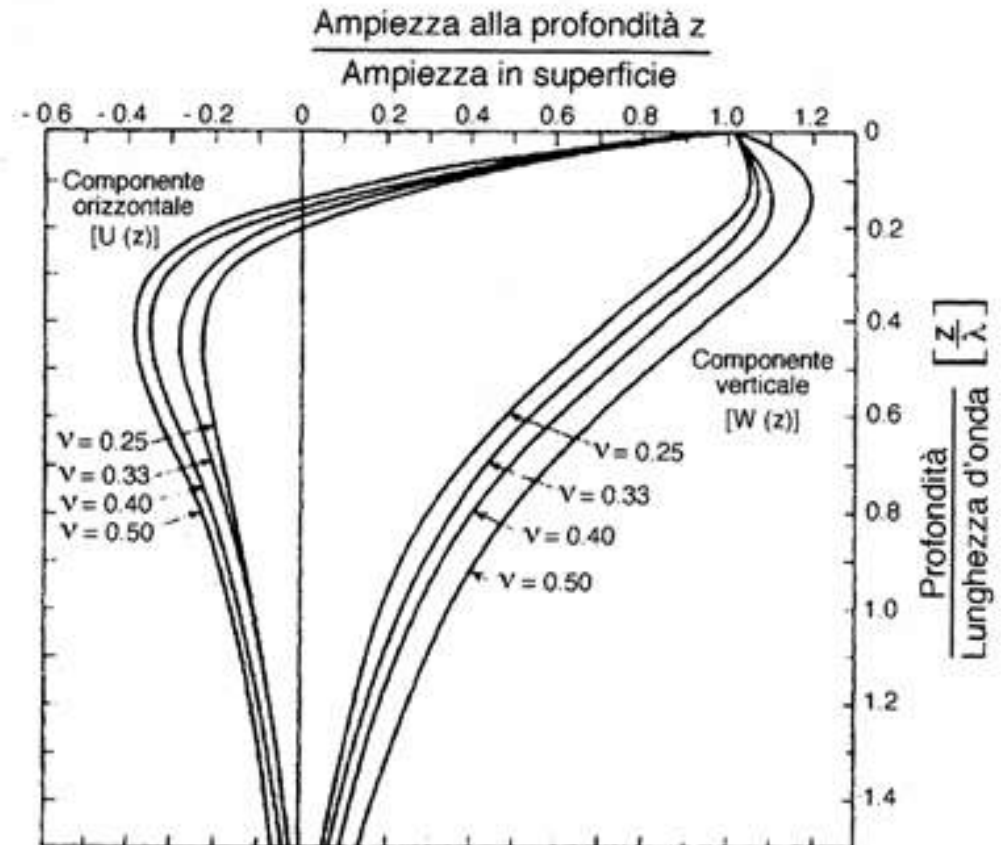


Le componenti orizzontali e verticali sono sfasate di $\frac{1}{4}$ di periodo per cui le particelle seguono un percorso ellittico retrogrado



$$V_R = f(V_S, \nu) = 0.87 V_S \div 0.96 V_S$$

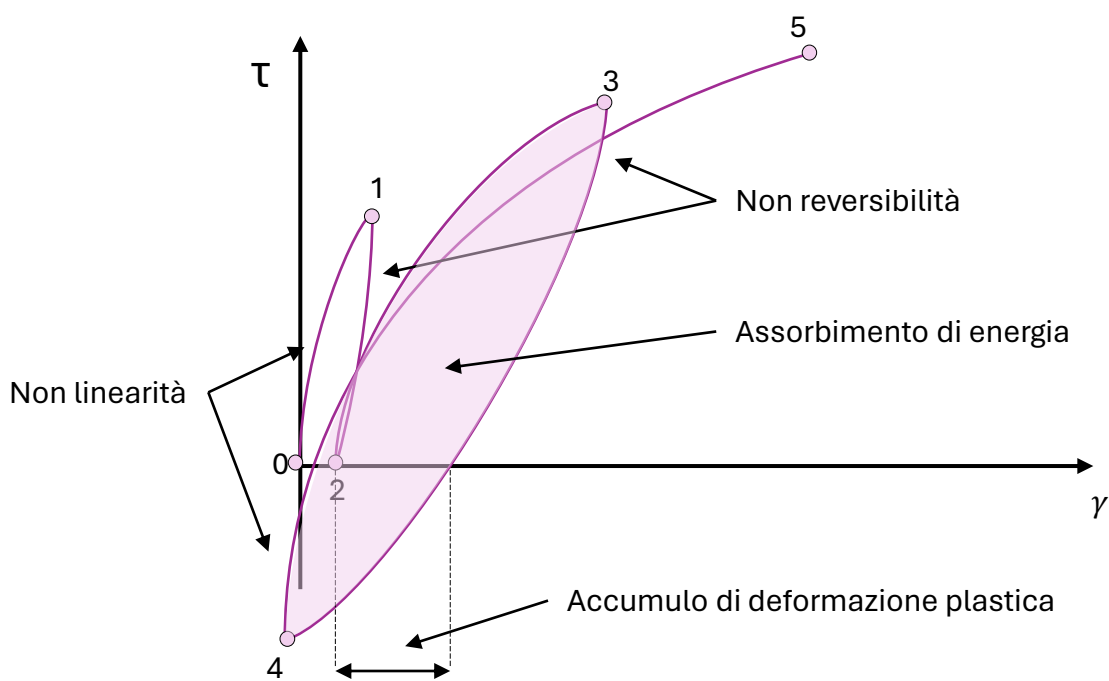
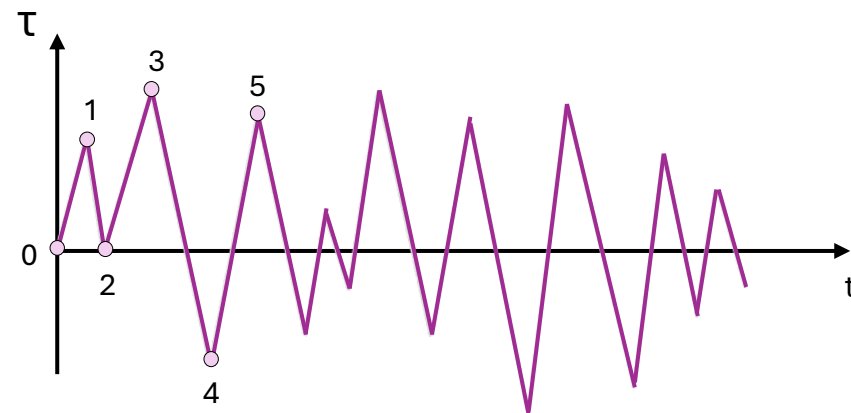
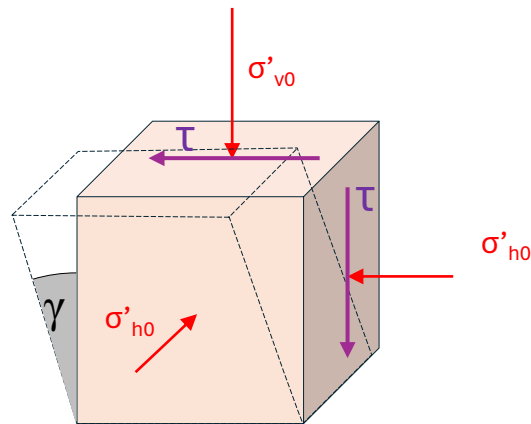
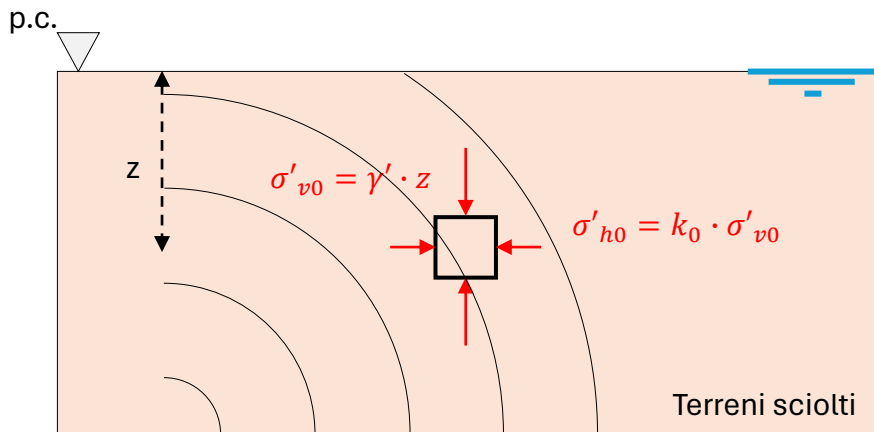
$$\lambda_R = \frac{V_R}{f}$$



Considerazioni e conclusioni:

- Generalmente velocità di propagazione delle onde, densità ed inclinazione degli strati diminuiscono lungo il percorso delle onde di volume.
- Avvicinandosi alla superficie l'onda segue un percorso curvilineo che converge verso la verticale e gli spostamenti aumentano d'intensità.
- Essendo i terreni in gran parte sotto falda, e data l'elevata rapidità delle azioni, il fenomeno sismico produce deformazioni volumetriche (indotte dalle onde P) trascurabili rispetto a quelle distorsionali (prodotte dalle onde S).
- Appare giustificato ricondurre la modellazione meccanica del fenomeno sismico all'analisi degli effetti prodotti da un insieme di onde S propagantisi verso l'alto con un campo di spostamenti del terreno praticamente orizzontale.
- Quest'ultima assunzione è oltretutto giustificata dal fatto che, dal punto di vista ingegneristico, il moto più significativo ai fini della verifica sismica dei manufatti è quello orizzontale.

Cenni sulla dinamica dei terreni



Modulo di taglio a piccole deformazioni:

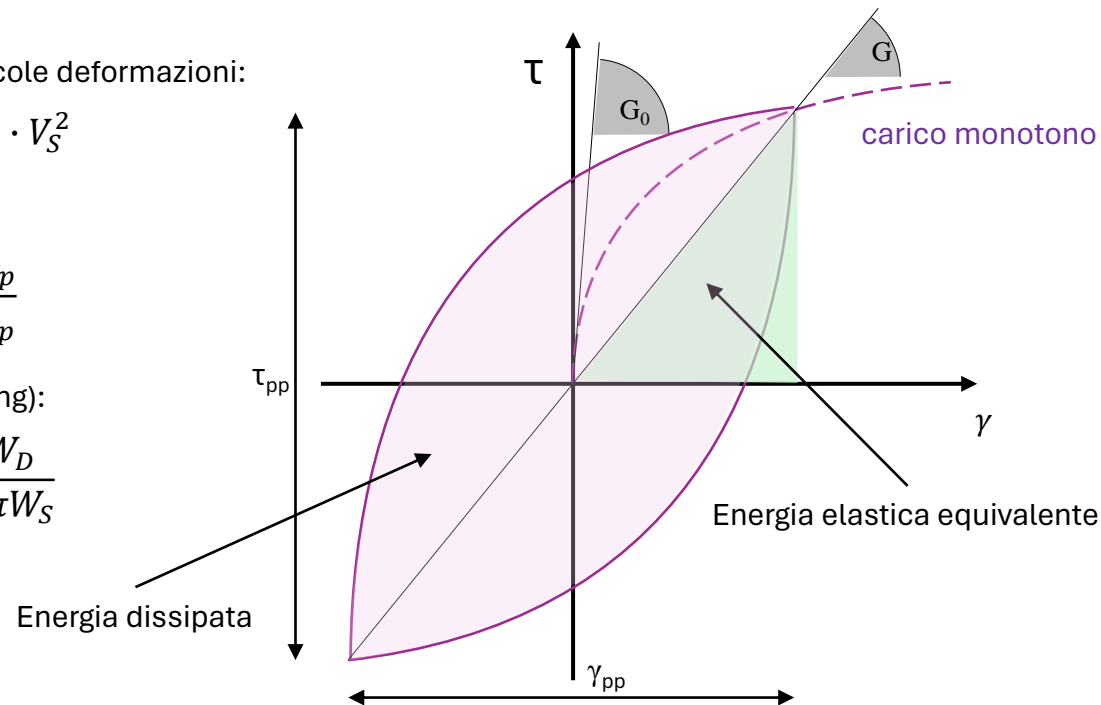
$$G_0 = \rho \cdot V_S^2$$

Modulo di taglio:

$$G = \frac{\tau_{pp}}{\gamma_{pp}}$$

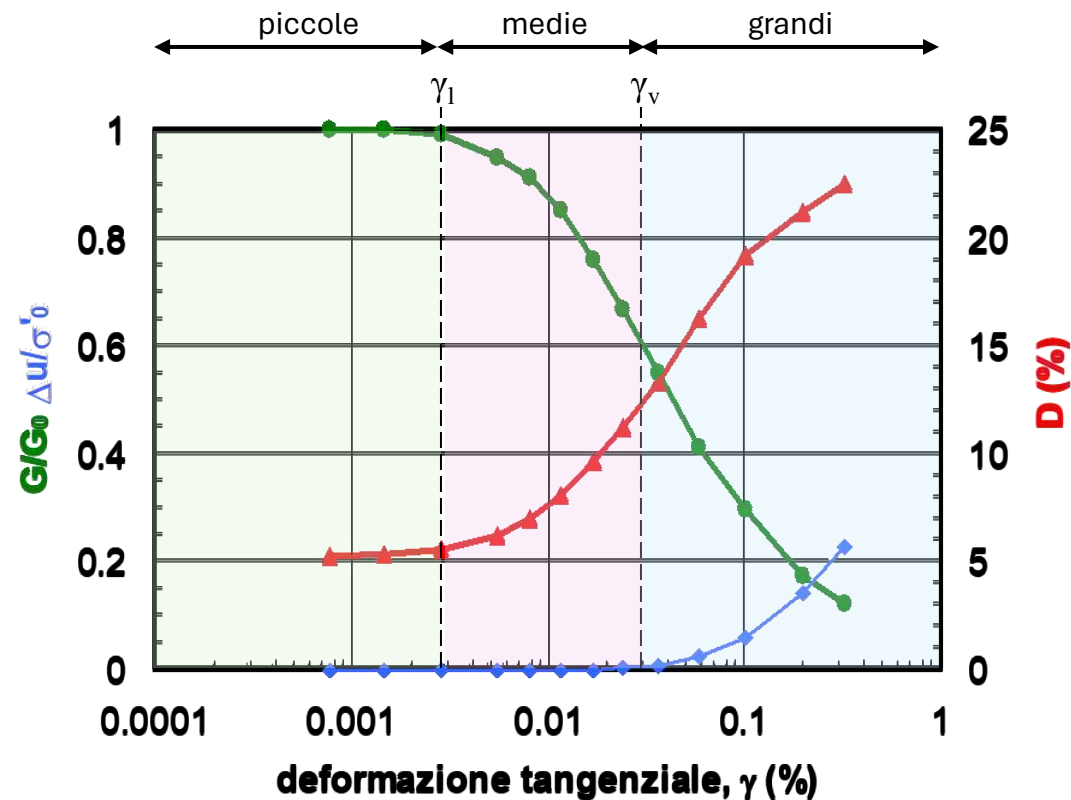
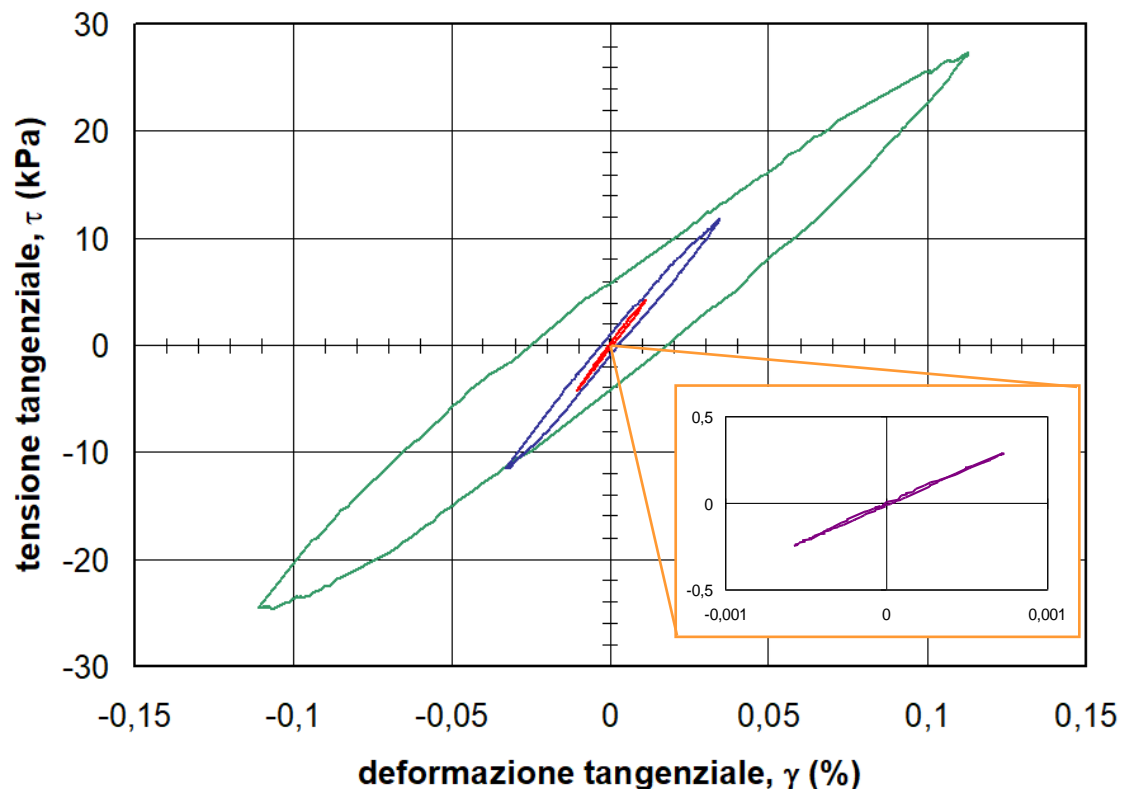
Smorzamento (damping):

$$D = \frac{W_D}{4\pi W_S}$$



Cenni sulla dinamica dei terreni

Il modulo di taglio G ed lo smorzamento D variano in funzione della distorsione γ per effetto della non linearità del terreno



Oltre la soglia volumetrica (γ_v):

Condizione di drenaggio	
consentita (alta permeabilità)	non consentita (bassa permeabilità)
Deformazioni volumetriche $\varepsilon_v \neq 0$ Sovrapressioni neutre $\Delta u = 0$	Deformazioni volumetriche $\varepsilon_v = 0$ Sovrapressioni neutre $\Delta u \neq 0$
Degradazione dei cicli $[G(\gamma), D(\gamma) = f(N_{\text{cicli}})]$ Accumulo di deformazioni plastiche ε_s	

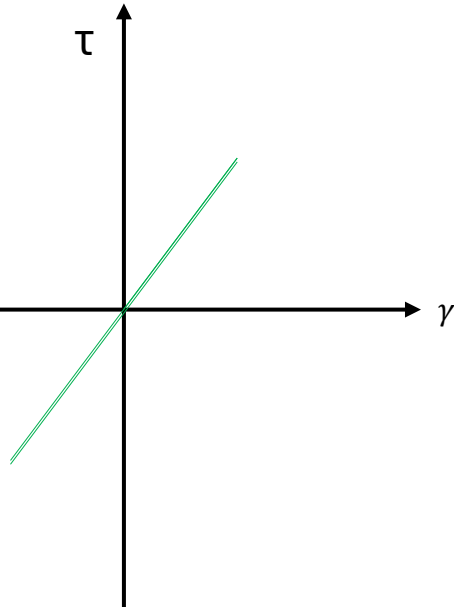
Effetto sul comportamento volumetrico

Effetto sulla risposta tenso- deformativa

Cenni sulla dinamica dei terreni

Piccole deformazioni:

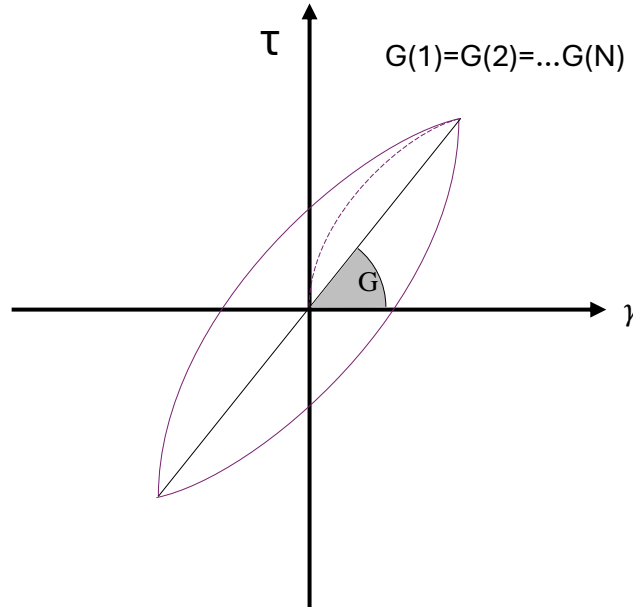
$$\gamma < \gamma_1$$



Medie deformazioni:

$$\gamma_1 < \gamma < \gamma_v$$

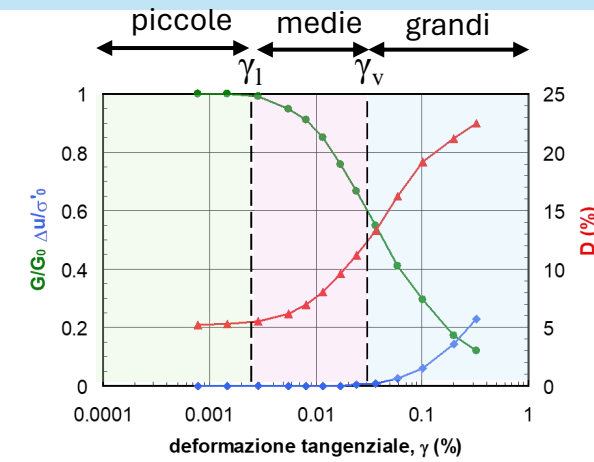
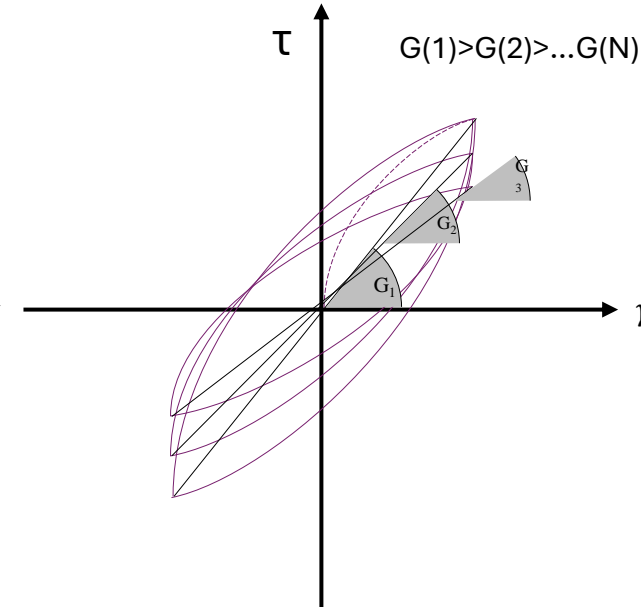
$$G(1)=G(2)=\dots G(N)$$



Grandi deformazioni:

$$\gamma > \gamma_v$$

$$G(1) > G(2) > \dots G(N)$$



Modello interpretativo di comportamento

Framework di analisi

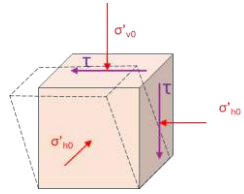
Tipologia di analisi

	Piccole deformazioni $\gamma < \gamma_1$	Medie deformazioni $\gamma_1 < \gamma < \gamma_v$	Grandi deformazioni $\gamma > \gamma_v$
Modello interpretativo di comportamento	Modelli visco-elastici lineari	Modelli a parametri variabili	Modelli elasto plastici
Framework di analisi	Tensioni totali	Tensioni totali	Tensioni efficaci
Tipologia di analisi	Analisi lineare	Analisi lineare equivalente	Analisi non lineare

Cenni sulla dinamica dei terreni

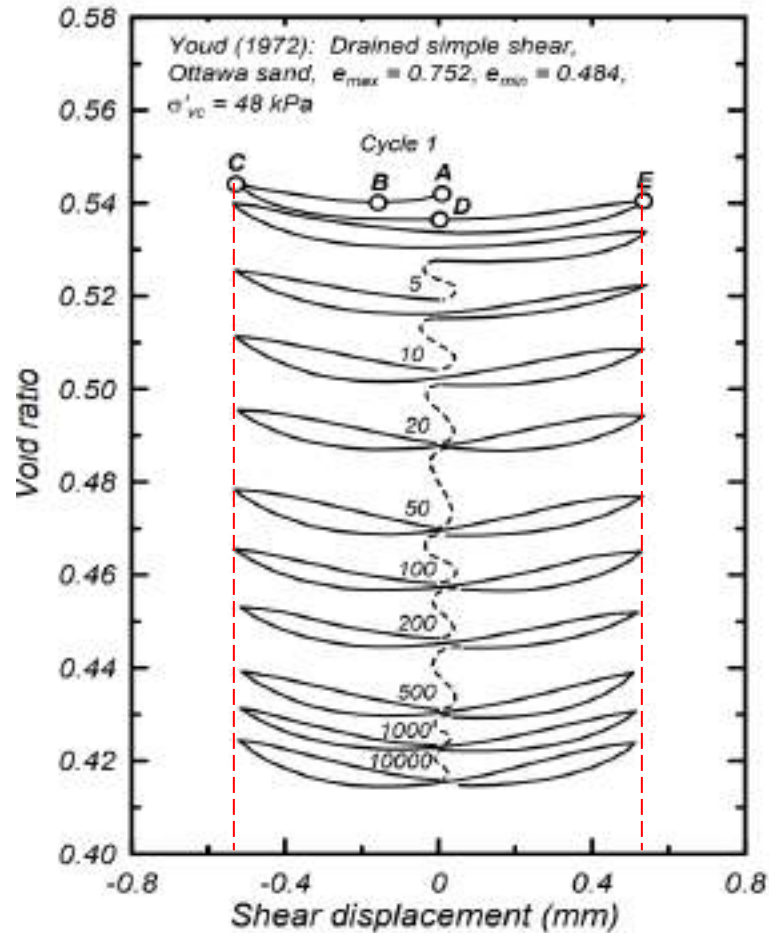
Grandi deformazioni ($\gamma > \gamma_v$): accoppiamento volumetrico distorsionale

Condizione di drenaggio libero (terreni ad elevata permeabilità)



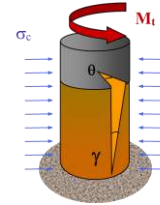
Indice dei vuoti:

$$e = \frac{V_{vuoti}}{V_{solido}}$$



(Youde,1972)

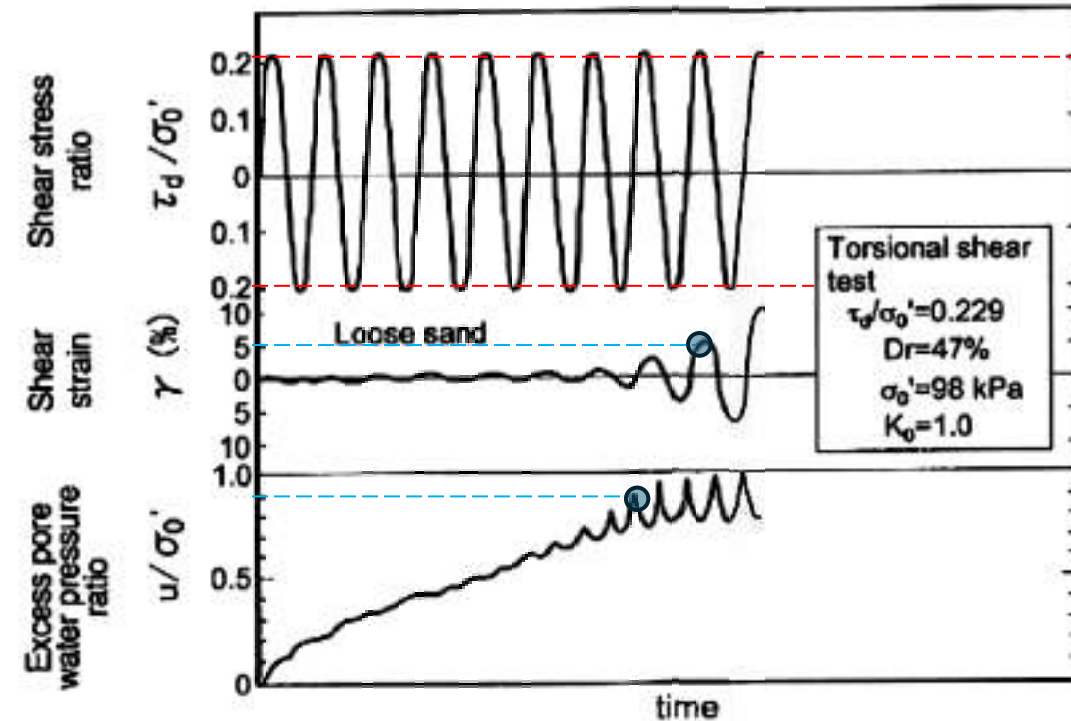
Condizione di drenaggio impedito (terreni a bassa permeabilità)



Cyclic stress ratio:

$$CSR = \frac{\tau_d}{\sigma'_{v,0}}$$

$$CSR = 0.65 \frac{a_{m,ax}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v,0}} r_d$$

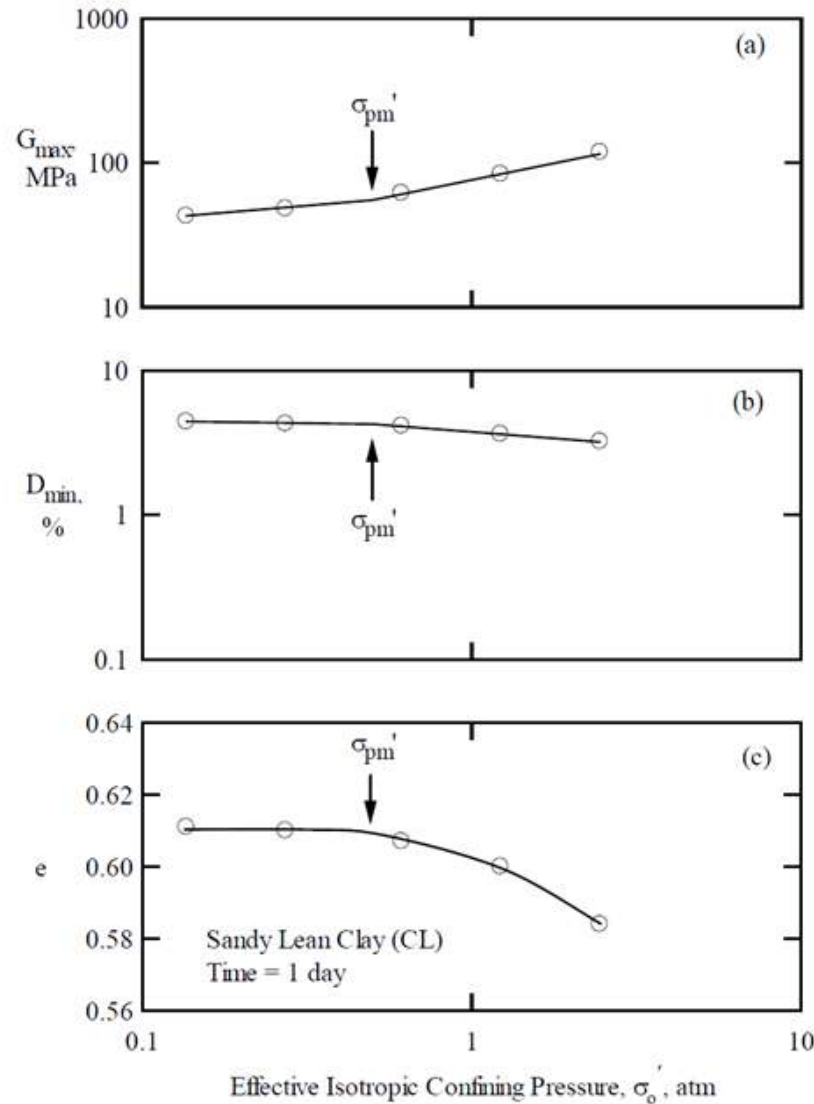


Prova di taglio torsionale su sabbia sciolta del fiume Fuji (Ishihara, 1985)

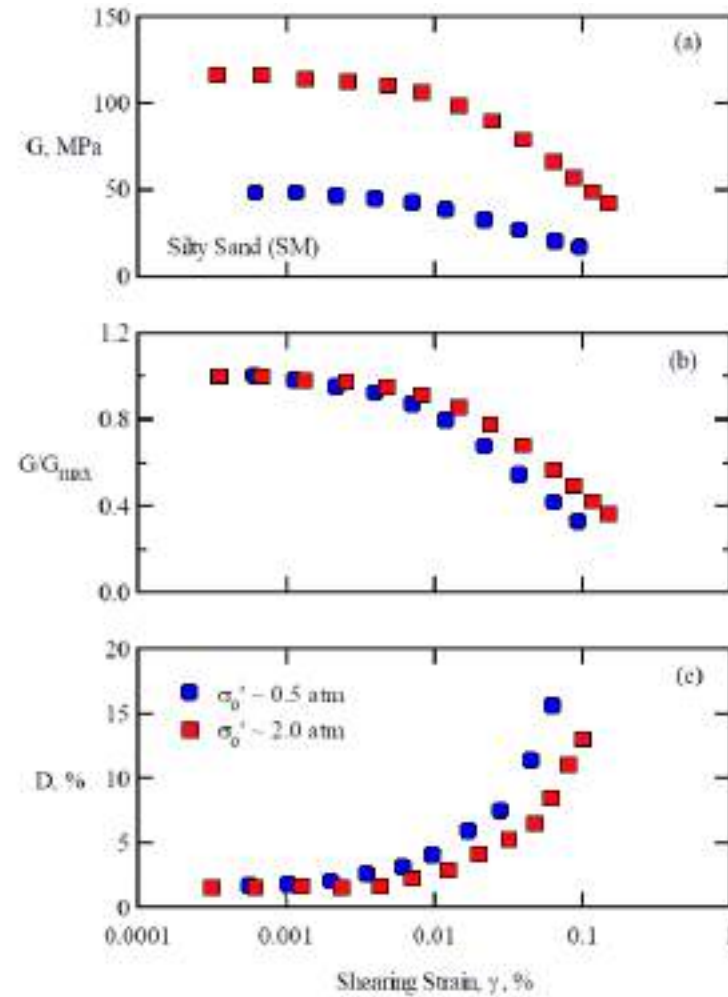
Cenni sulla dinamica dei terreni

Effetto della tensione di confinamento (profondità)

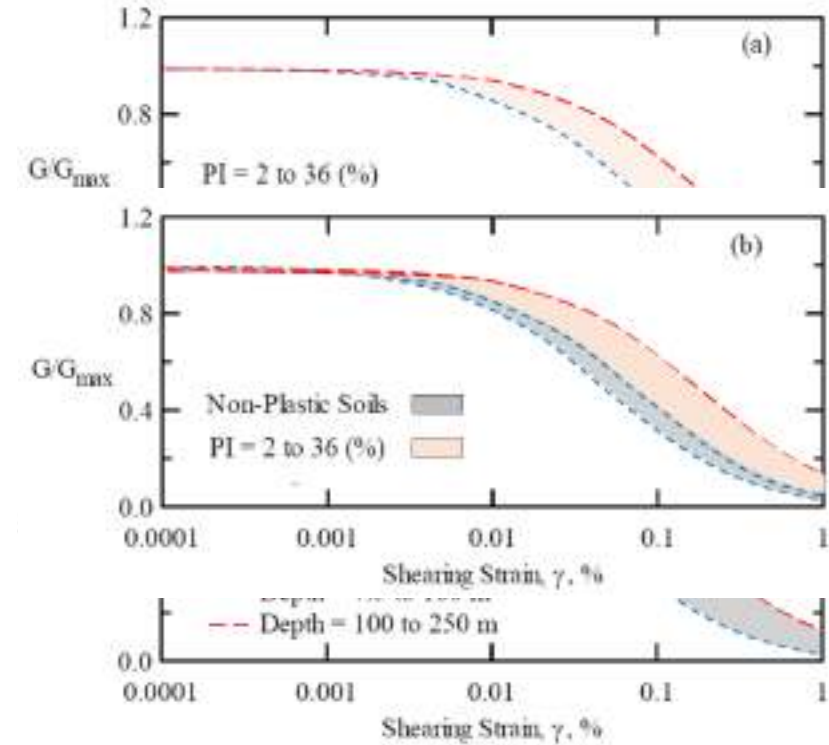
Prove di taglio torsionale



Darendeli, 2001



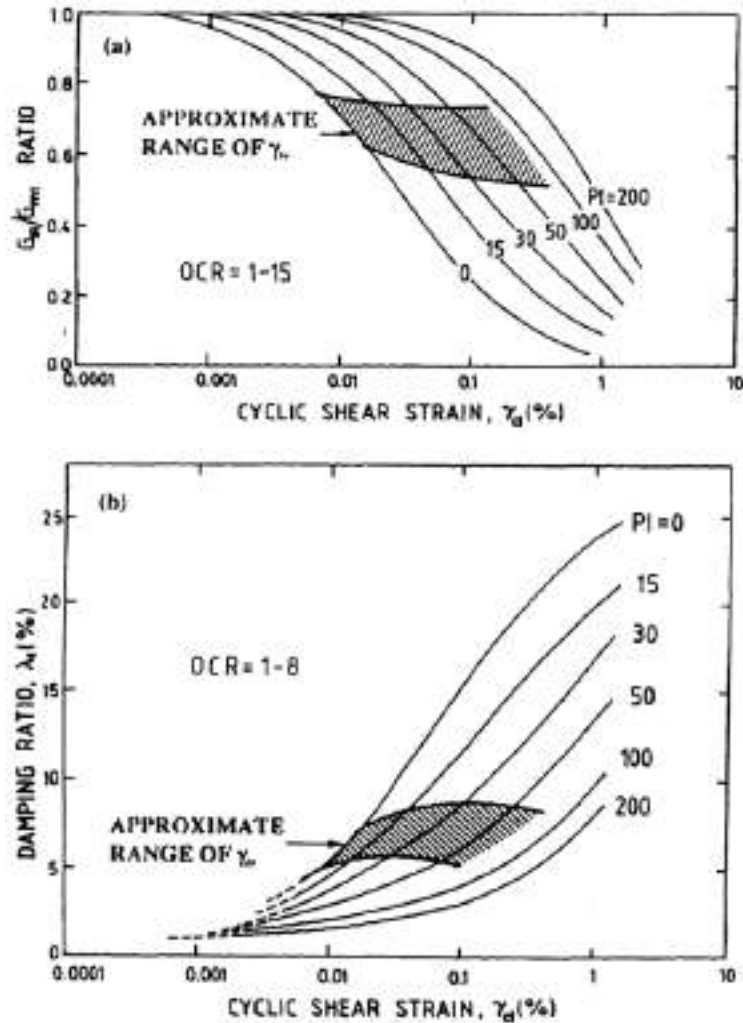
Darendeli, 2001



Darendeli, 2001 after Stokoe et al., 1999

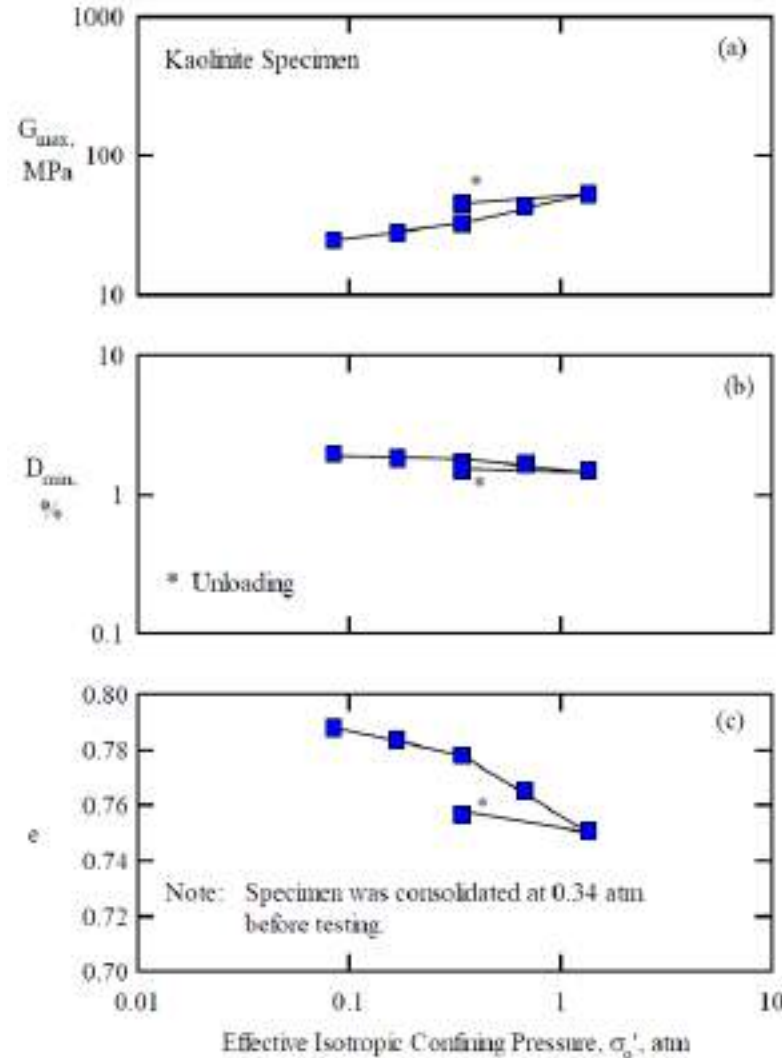
Cenni sulla dinamica dei terreni

Effetto della plasticità

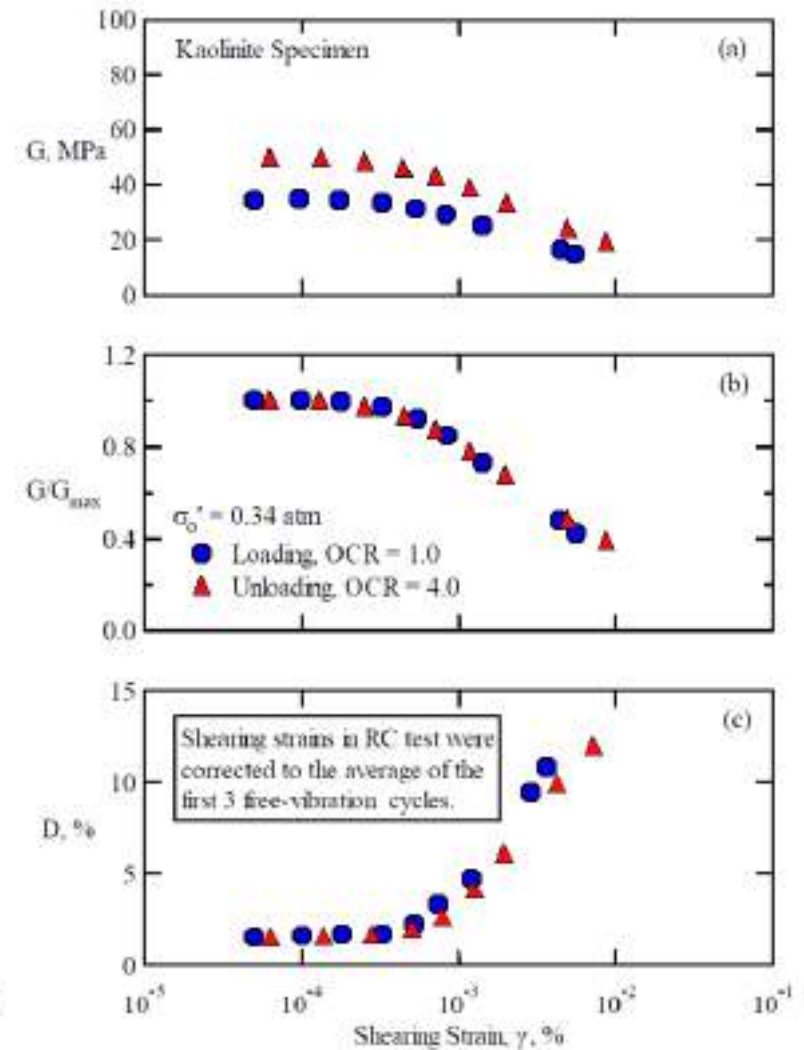


Vucetic, 1992 after Vucetic and Dobry, 1991

Effetto della storia tensionale (OCR)



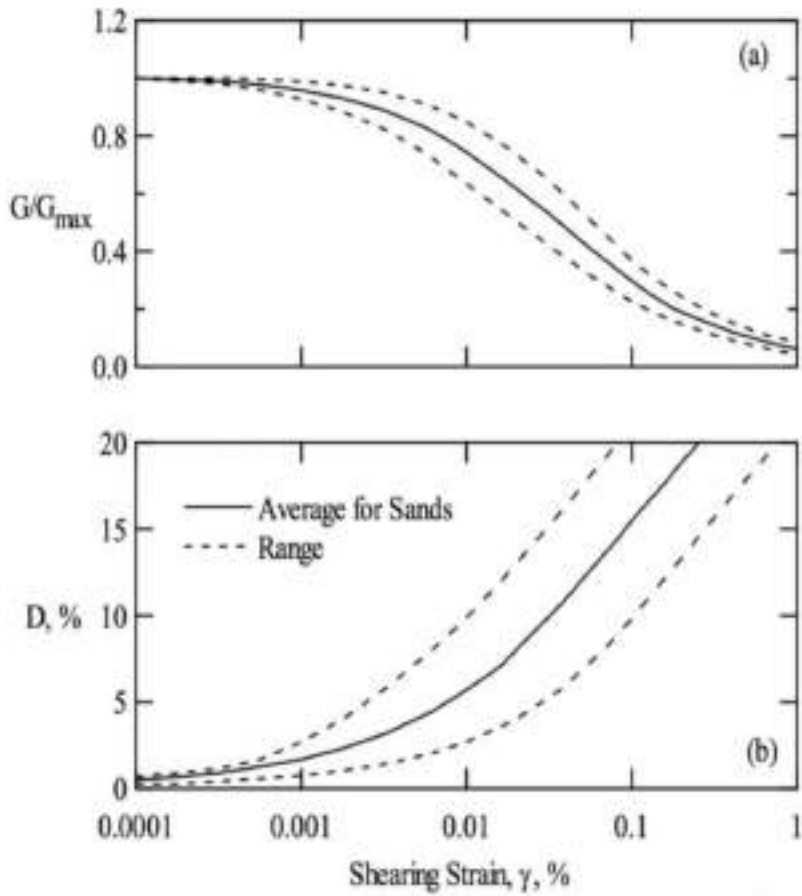
Darendeli, 2001



Darendeli, 2001

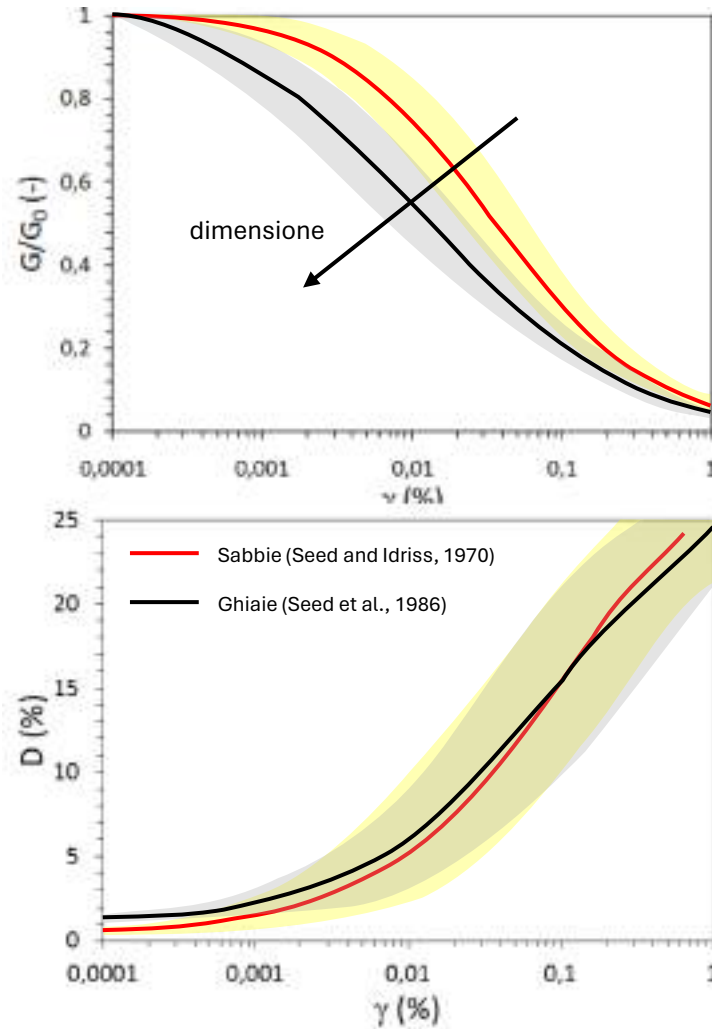
Cenni sulla dinamica dei terreni

Curve di riferimento per le sabbie

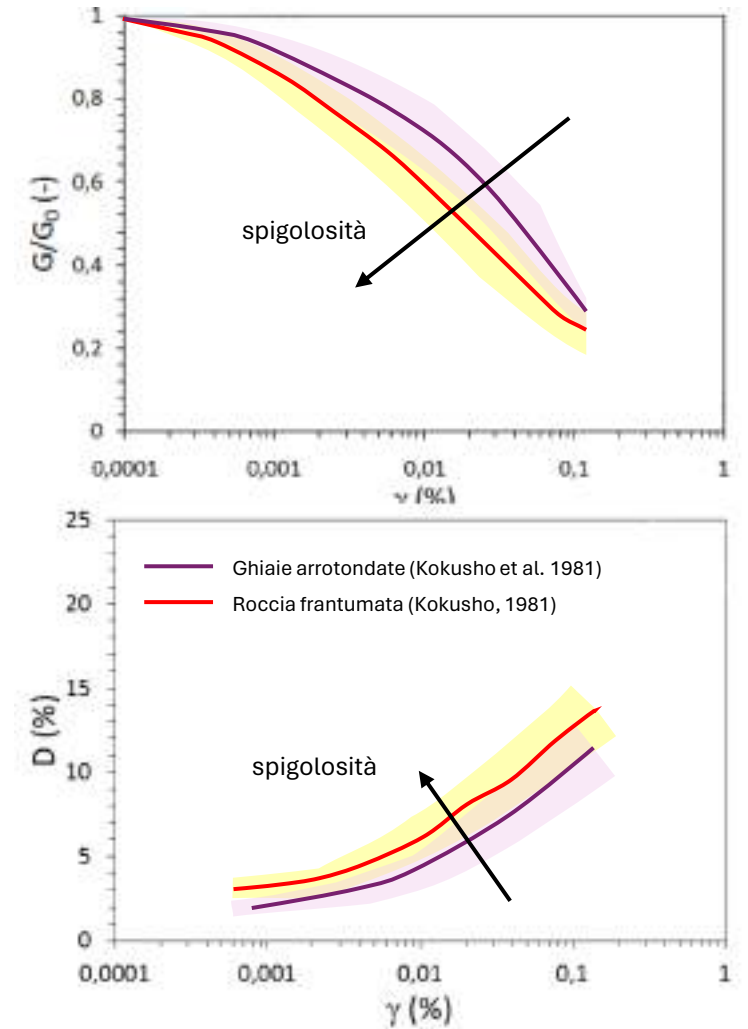


(Seed et al., 1986)

Effetto della dimensione dei grani



Effetto della forma dei grani

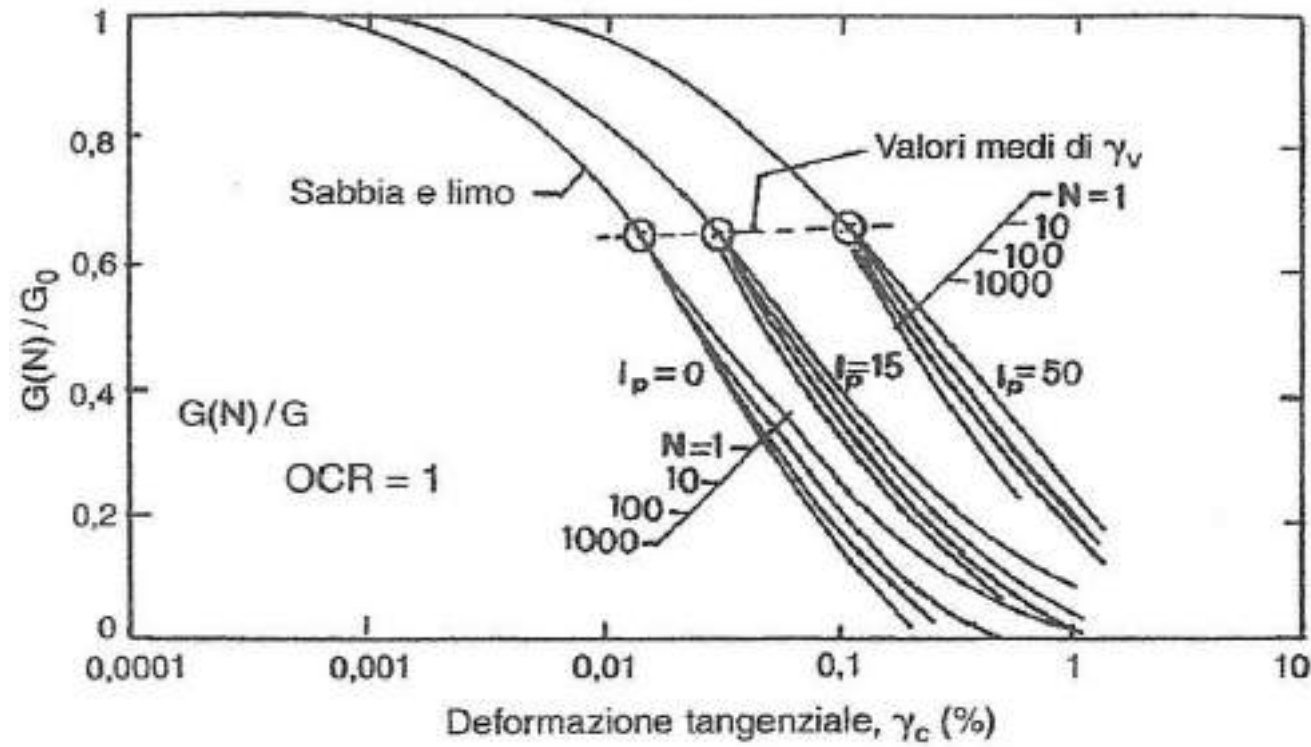


Cenni sulla dinamica dei terreni

Effetto del numero di cicli

Oltre la soglia volumetrica γ_v , la rigidezza equivalente G misurata:

- non è univocamente associata alla deformazione γ
- varia con il numero di cicli N



Caratterizzazione meccanica dei terreni

Categorie di prova		Tipo di prova	Stato tensionale	Deformazione γ [%]	Frequenza f [Hz]	Rigidezza	Smorzamento	Resistenza	
								G	F
In situ	Penetrom.	SPT				$N \rightarrow V_S \rightarrow G_0$		ϕ'	
		CPT				$q_c \rightarrow V_S \rightarrow G_0$		ϕ'	c_u
	Geofisiche	Down-Hole	Litostatico	$<10^{-3}$	10-100	$V_S \rightarrow G_0$	-		
		Cross-Hole				$V_S \rightarrow G_0$	possibile		
		SASW				$V_R \rightarrow V_S \rightarrow G_0$	-		
Laboratorio	Cicliche	Triassiale	Simmetria radiale	$>10^{-2}$	0.01-1	$q:\epsilon_a \rightarrow E \rightarrow G$	$W_D/W_S \rightarrow D$	$q/\sigma'_r : N_c$	
		Taglio semplice	Simmetria radiale	$>10^{-2}$	0.01-1	$\tau:\gamma \rightarrow G$		$\tau/\sigma'_v : N_c$	
		Taglio torsionale	Simmetria radiale o triax vero	$10^{-4}-1$	0.01-1	$\tau:\gamma \rightarrow G_0, G$			
	Dinamiche	Colonna risonante	Simmetria radiale o triax vero	$10^{-4}-1$	>10	$f_r \rightarrow G_0, G$	H.p., R.f. $\rightarrow D$		
		Trasduttori piezoceramici	Simmetria radiale	$<10^{-3}$	>100	$V_S \rightarrow G_0$	-		

Legenda: V_R = velocità onde di Rayleigh; f_r = frequenza di risonanza;
H.p. = metodo della semibanda di potenza; R.f. = metodo del fattore di risonanza

Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

Prova Penetrometrica Standard SPT (ASTM D 1586) (Raymond pile company, 1902)

Prova di penetrazione dinamica a fondo foro

Parametri di battitura:

- Peso del maglio 63.5 Kg
- Altezza di caduta 0.76 m

N1
N2 } N_{spt}
N3

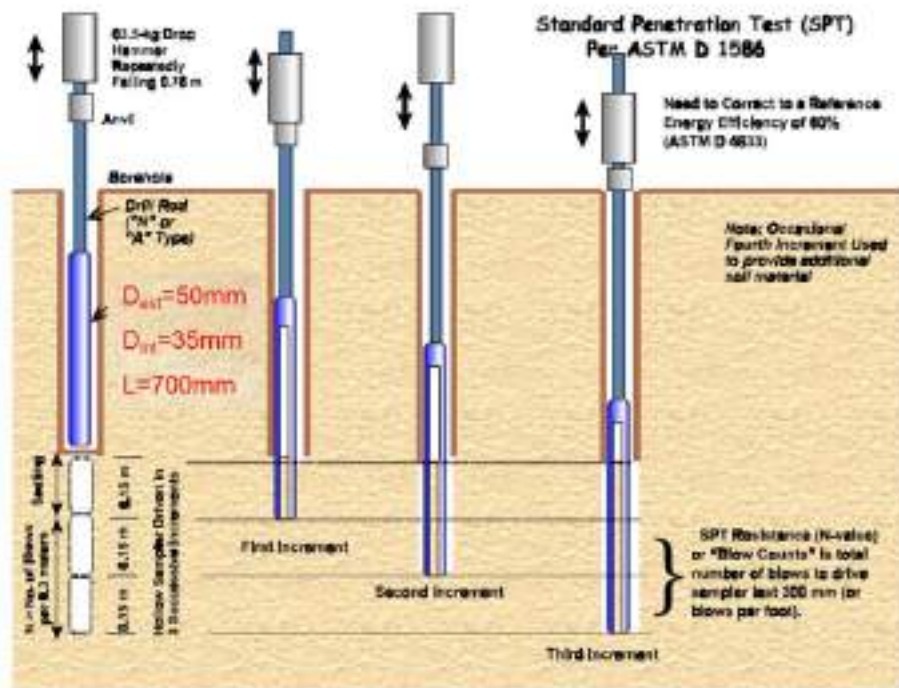
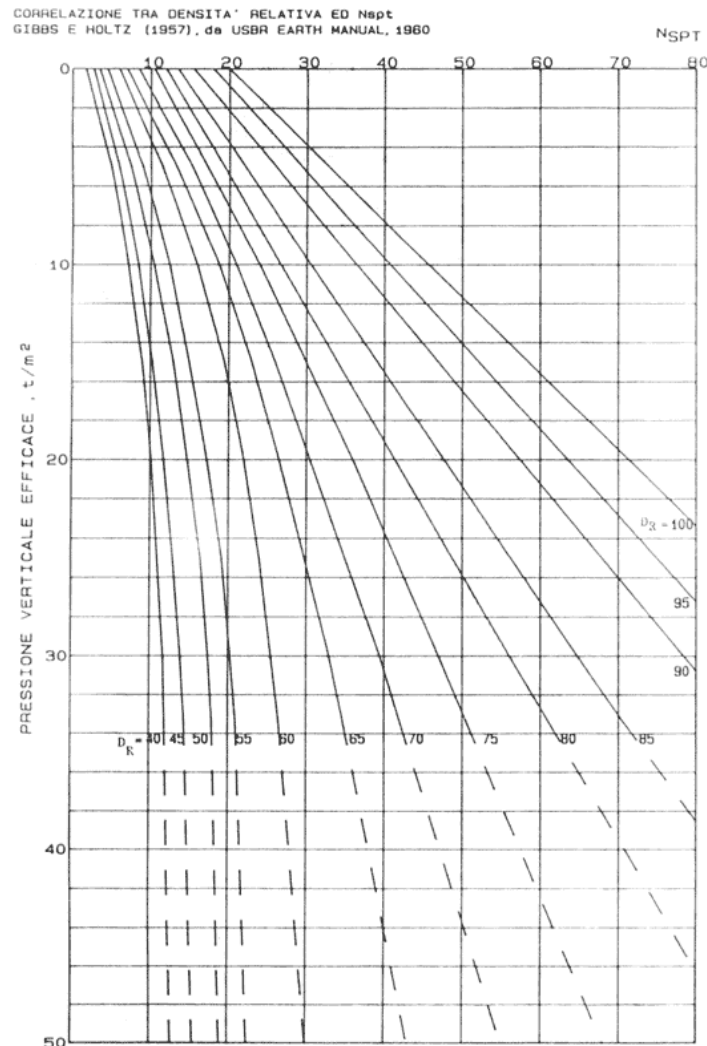
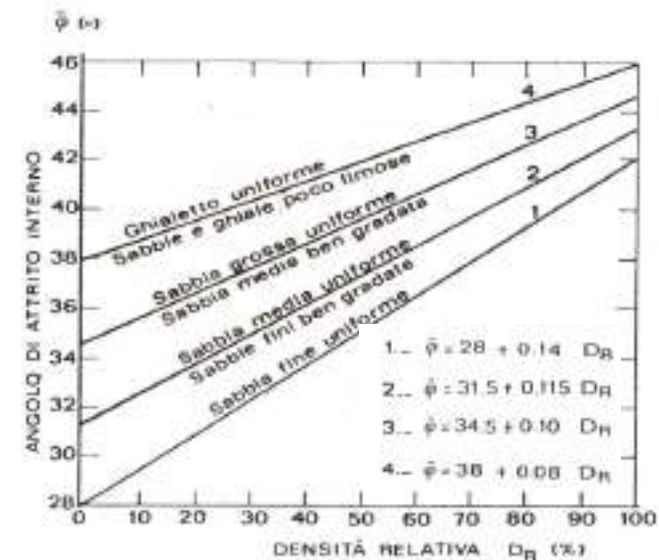


Figure 5-3. Sequence of Driving Split-Barrel Sampler During the Standard Penetration Test.

Frequente in tutti i tipi di terreno, talora impossibile o poco indicativa nelle ghiaie, poco indicativa nei terreni argillosi



(Gibbs e Holtz, 1957)



(Schmertman, 1977)

Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

Prova Penetrometrica Standard SPT (ASTM D 1586) (Raymond pile company, 1902)

Prova di penetrazione dinamica a fondo foro

Parametri di battitura:

- Peso del maglio 63.5 Kg
- Altezza di caduta 0.76 m

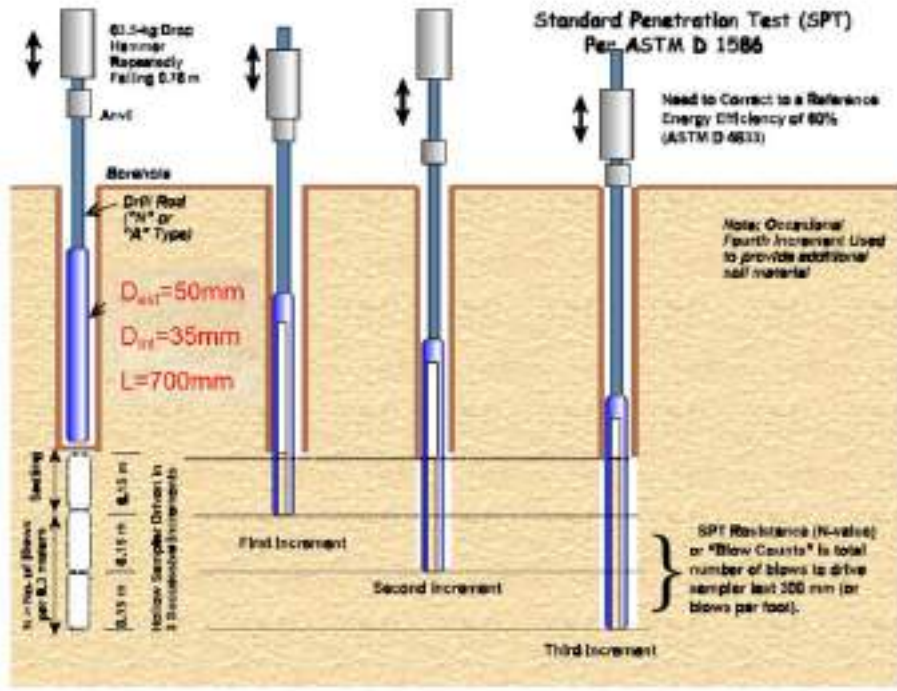
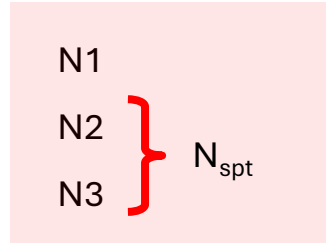
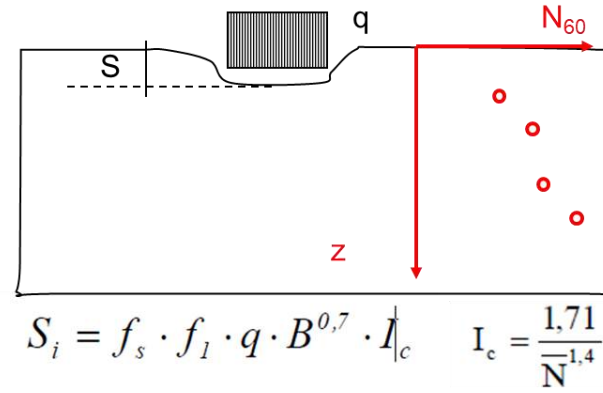


Figure 5-3. Sequence of Driving Split-Barrel Sampler During the Standard Penetration Test.

Frequente in tutti i tipi di terreno, talora impossibile o poco indicativa nelle ghiaie, poco indicativa nei terreni argillosi

cedimenti di fondazioni dirette



resistenze unitarie dei pali di fondazione

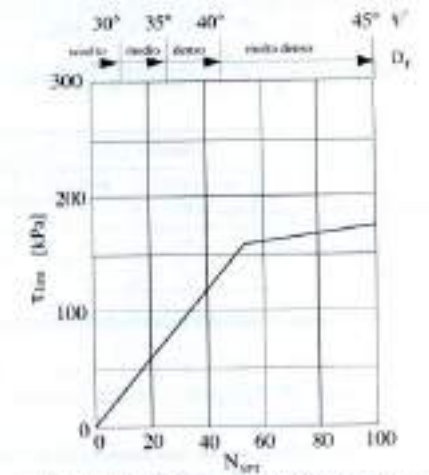
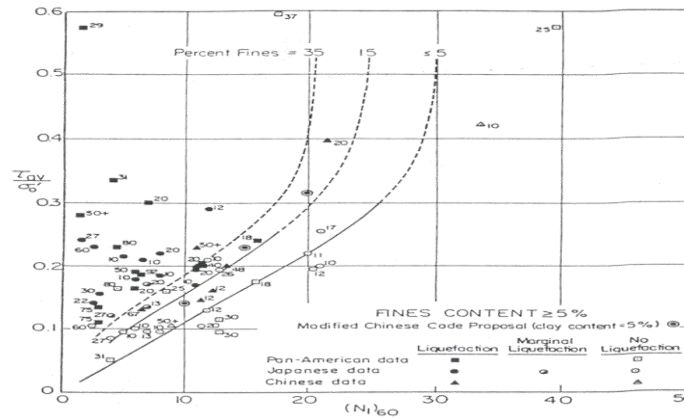
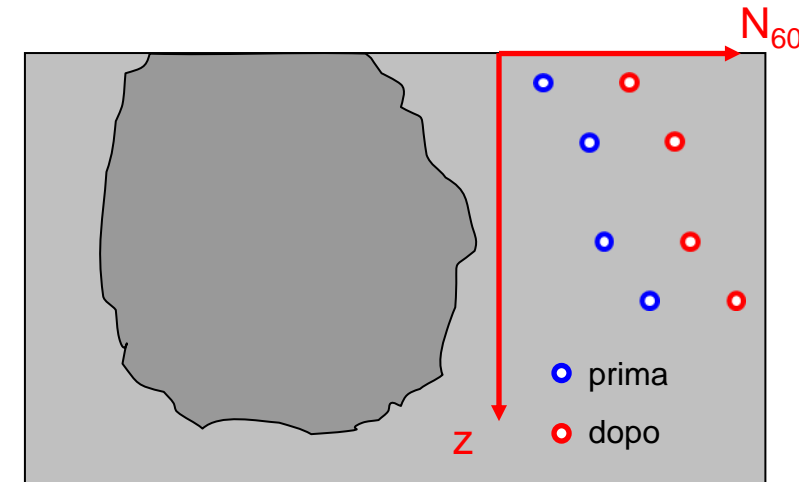


Fig. 13.11. Valori di q_{tip} secondo Wright e Reese (1977)

potenziale di liquefazione



controllo dell' efficacia dei consolidamenti



Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

Prova Penetrometrica Standard SPT (ASTM D 1586) (Raymond pile company,1902)

Prova di penetrazione dinamica a fondo foro

Parametri di battitura:

- Peso del maglio 63.5 Kg
- Altezza di caduta 0.76 m

N1
N2 } N_{spt}
N3

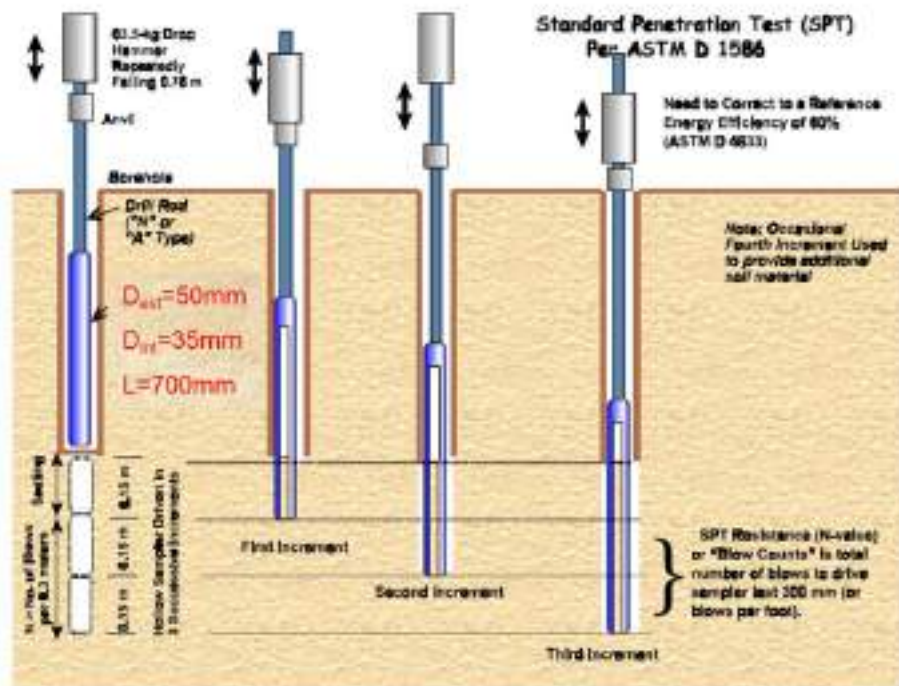


Figure 5-3. Sequence of Driving Split-Barrel Sampler During the Standard Penetration Test.

Frequente in tutti i tipi di terreno, talora impossibile o poco indicativa nelle ghiaie, poco indicativa nei terreni argillosi

Relazioni di Monotori (1988)

Sabbia fine:

$$V_S = 49 \cdot N_{SPT}^{0.25} \cdot \sigma'_v{}^{0.14}$$

Ghiaia:

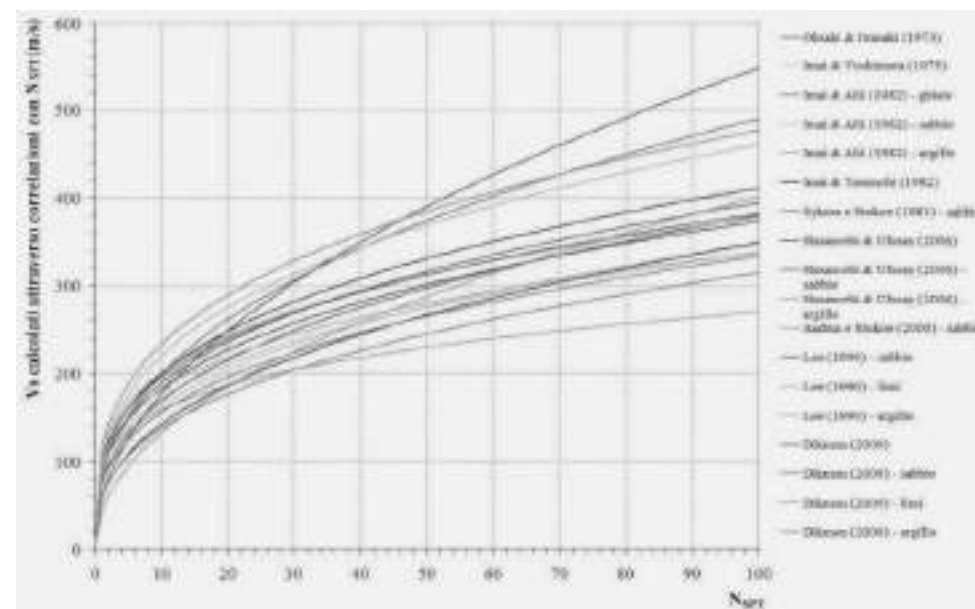
$$V_S = 56 \cdot N_{SPT}^{0.25} \cdot \sigma'_v{}^{0.14}$$

Ghiaia grossa:

$$V_S = 60 \cdot N_{SPT}^{0.25} \cdot \sigma'_v{}^{0.14}$$

Per i suoli in generale:

$$V_S = 55 \cdot N_{SPT}^{0.25} \cdot \sigma'_v{}^{0.14}$$



C3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Ai fini della valutazione semplificata della risposta sismica locale, nelle NTC, non è più consentita la classificazione del sottosuolo sulla base del parametro N_{SPT30} per i terreni a grana grossa e C_{u30} per i terreni a grana fine

Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

Prova penetrometrica conica CPT (ASTM D 5778) (Netherlands Department of Public Works, 1930)

Prova di penetrazione statica continua

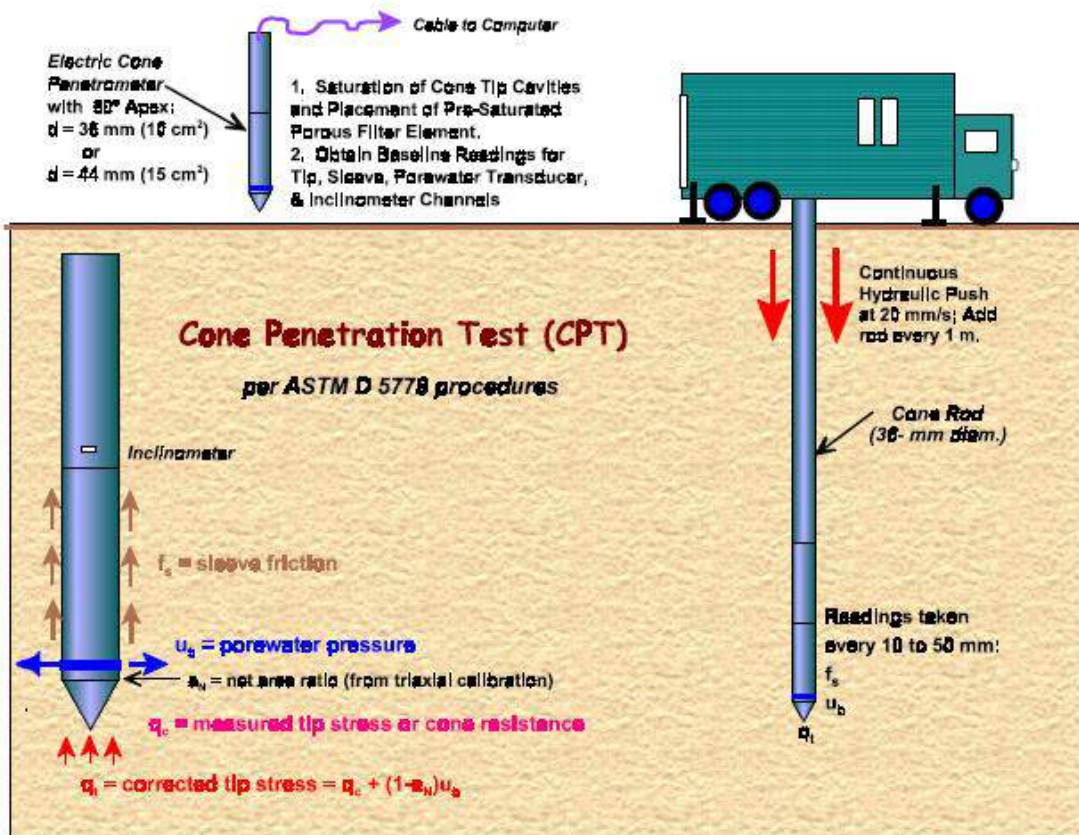
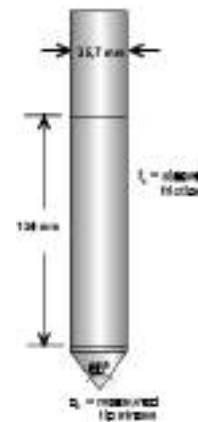


Figure 5-8. Procedures and Components of the Cone Penetration Test.

Frequente in tutti i tipi di terreno, ad eccezione delle ghiaie o delle argille molto consistenti



Caratteristiche geometriche della punta:

$D = 35,7 \text{ mm} - A \approx 10 \text{ cm}^2$

$H = 134 \text{ mm} - A_s \approx 150 \text{ cm}^2$

Angolo alla punta = 60°

Velocità di avanzamento $\approx 10\div 20 \text{ mm/s}$

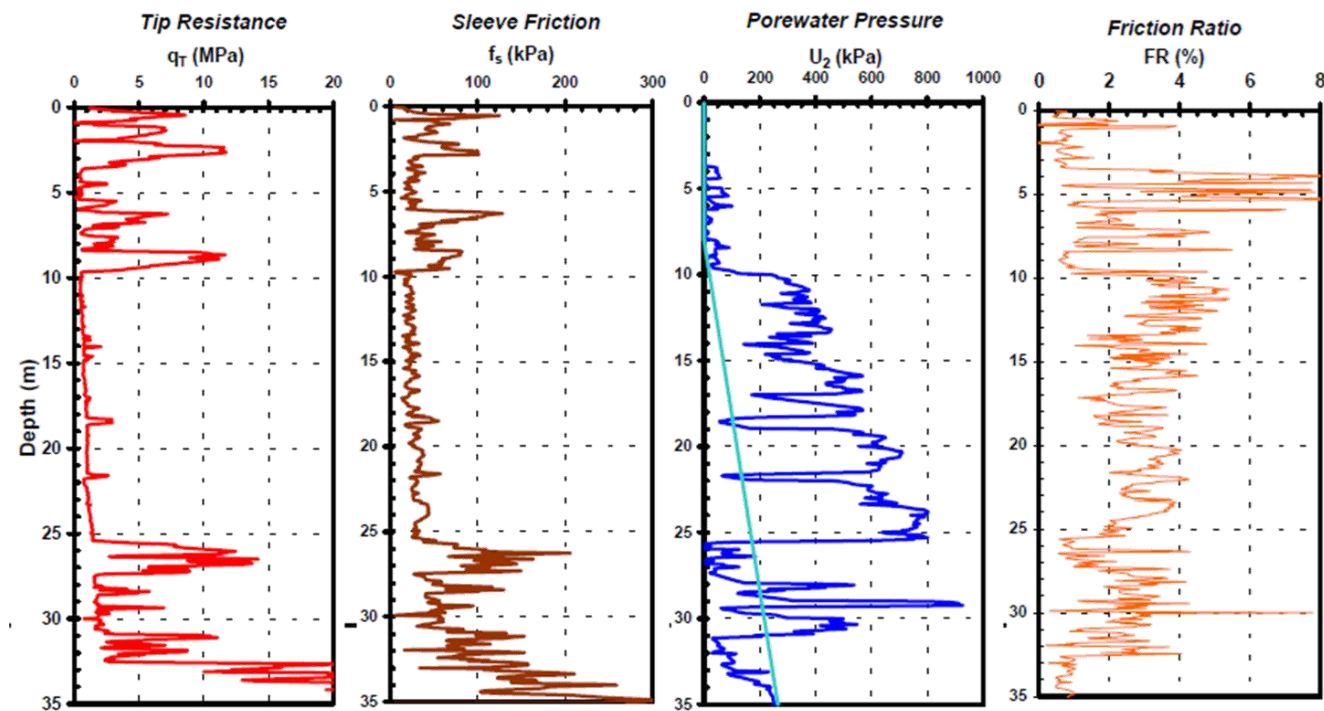


Figure 5-9. Piezocone Results next to Mississippi River, Memphis, TN.

Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

Prova penetrometrica conica CPT (ASTM D 5778) (Netherlands Department of Public Works, 1930)

Prova di penetrazione statica continua

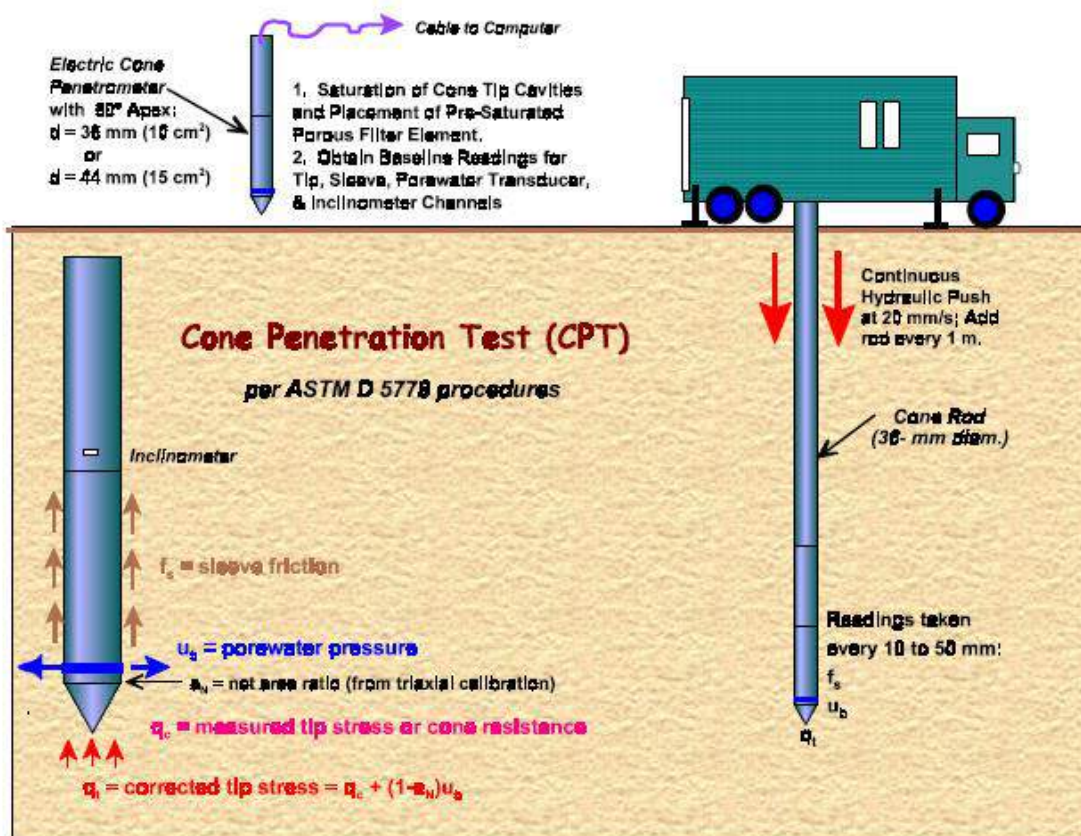
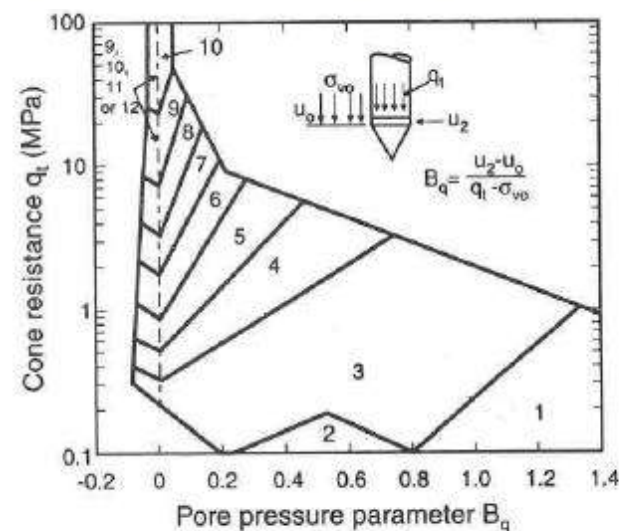


Figure 5-8. Procedures and Components of the Cone Penetration Test.

Frequente in tutti i tipi di terreno, ad eccezione delle ghiaie o delle argille molto consistenti

$$\text{Porewater Pressure Parameter, } B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_t - \sigma_{vo}}$$



Zone: Soil Behaviour Type:

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 5. Clayey silt to silty clay | 9. Sand |
| 2. Organic material | 6. Sandy silt to clayey silt | 10. Gravelly sand to sand |
| 3. Clay | 7. Silty sand to sandy silt | 11. Very stiff fine grained* |
| 4. Silty clay to clay | 8. Sand to silty sand | 12. Sand to clayey sand* |
- * Overconsolidated or cemented.

$$\text{CPT Friction Ratio, } FR = R_f = f_s/q_t$$

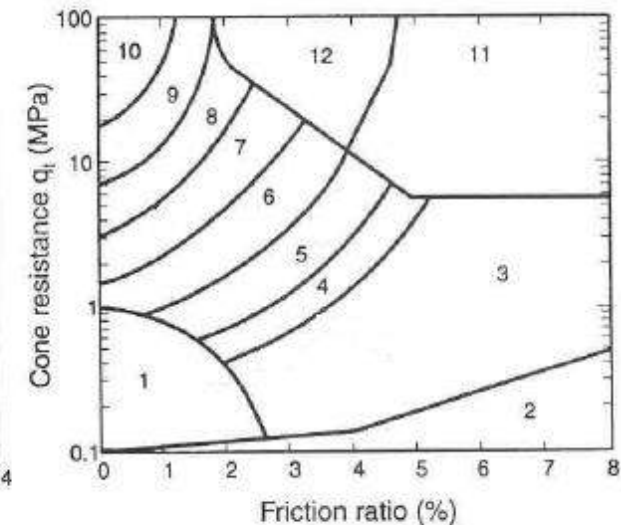


Figure 9-3. Chart for Soil Behavioral Classification by CPT (Robertson, et al., 1986).

Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

Prova penetrometrica conica CPT (ASTM D 5778) (Netherlands Department of Public Works, 1930)

Prova di penetrazione statica continua

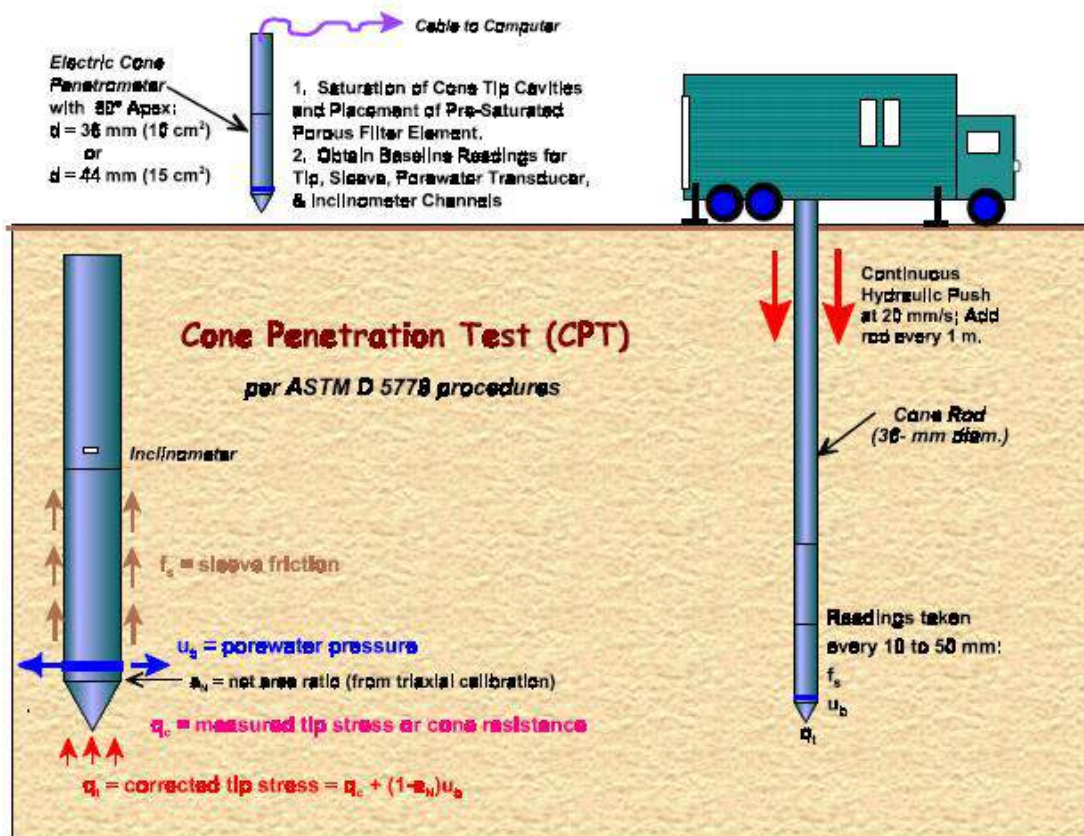
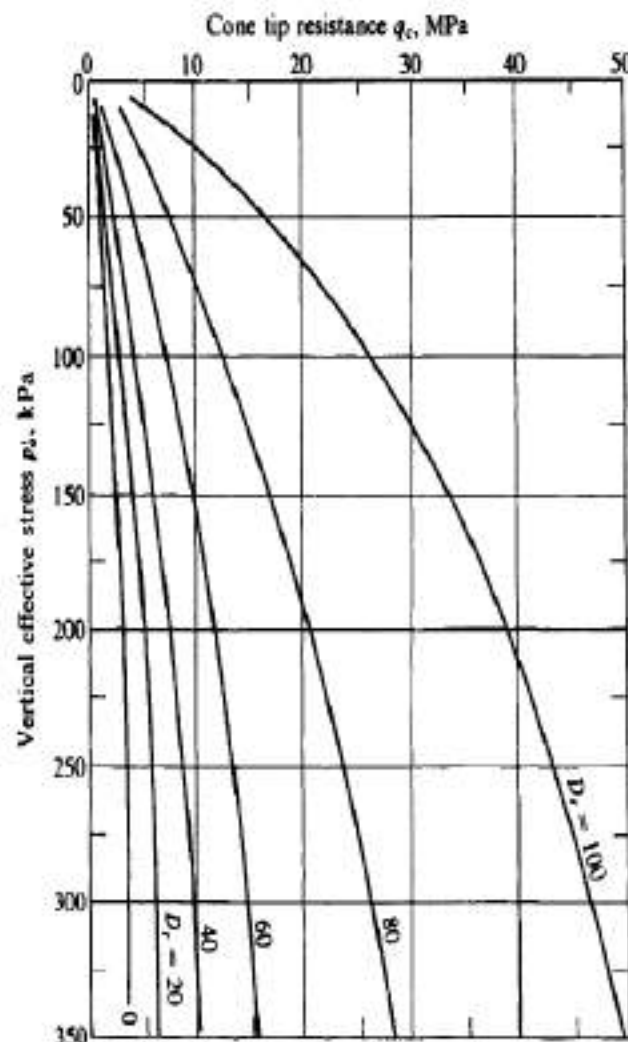
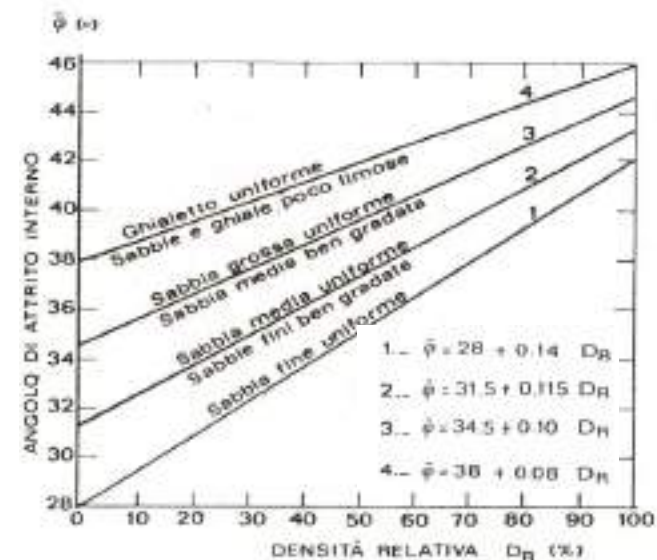


Figure 5-8. Procedures and Components of the Cone Penetration Test.

Frequente in tutti i tipi di terreno, ad eccezione delle ghiaie o delle argille molto consistenti



(Bowles, 1996)



(Schmertman, 1977)

Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

Prova penetrometrica conica CPT (ASTM D 5778) (Netherlands Department of Public Works, 1930)

Prova di penetrazione statica continua

$$s_u = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{N_k}$$

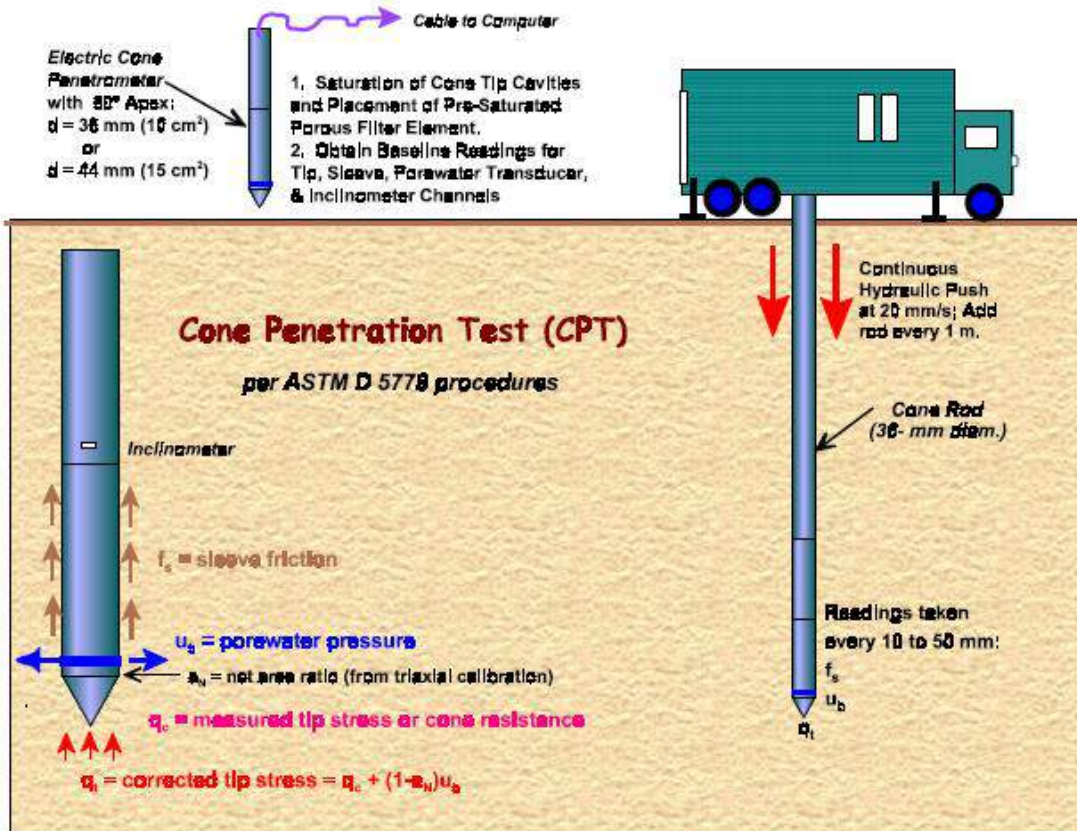
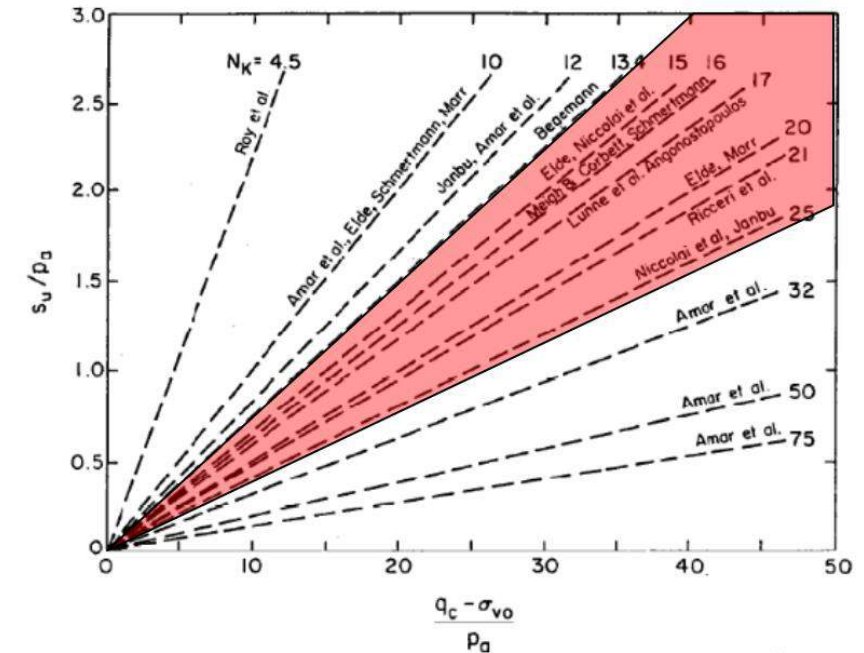


Figure 5-8. Procedures and Components of the Cone Penetration Test.



Nella maggior parte dei casi $15 \leq N_k \leq 25$

Frequente in tutti i tipi di terreno, ad eccezione delle ghiaie o delle argille molto consistenti

Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

Prova penetrometrica conica CPT (ASTM D 5778) (Netherlands Department of Public Works, 1930)

Prova di penetrazione statica continua

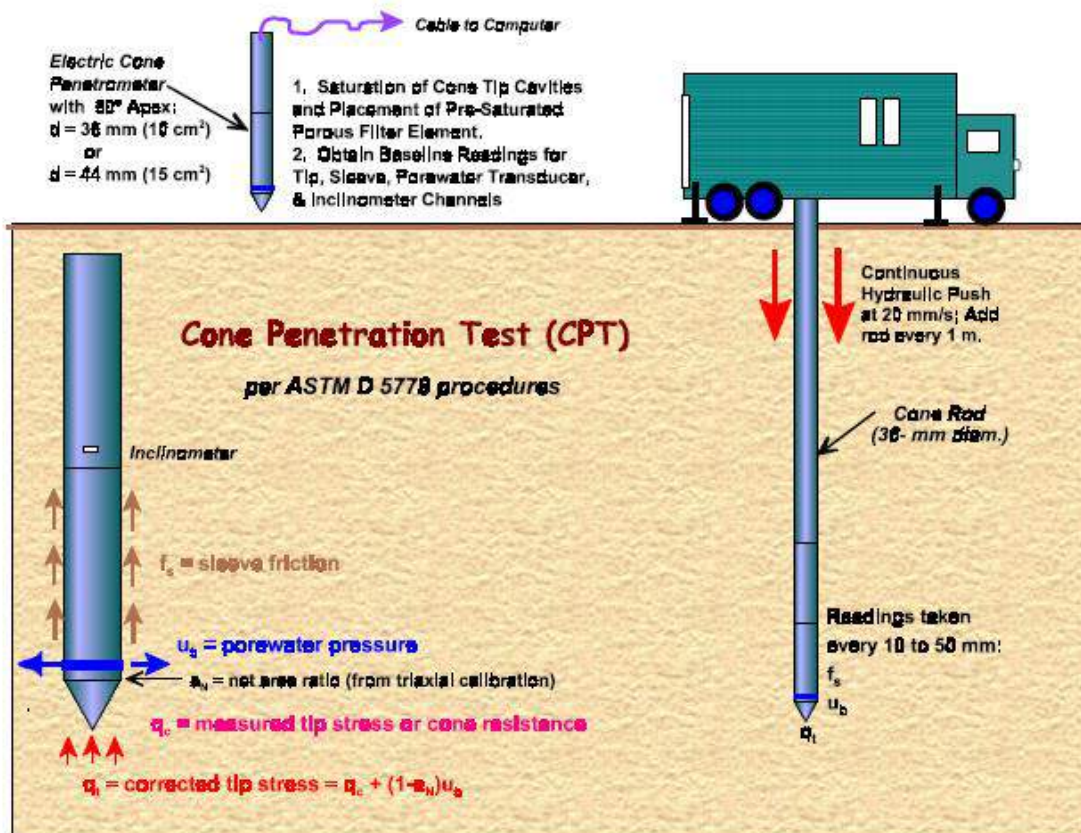


Figure 5-8. Procedures and Components of the Cone Penetration Test.

Frequente in tutti i tipi di terreno, ad eccezione delle ghiaie o delle argille molto consistenti

Barrow and Stokoe (1983):
per tutti i terreni

$$V_S = 506 + 2.1 \cdot q_c$$

Mayne and Rix(1995):
per i terreni a grana fine

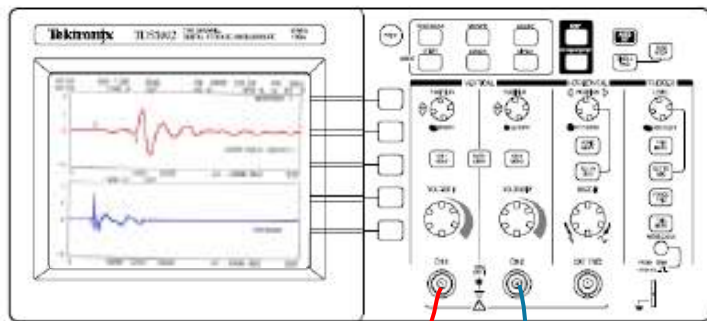
$$V_S = 1.75 \cdot q_c^{0.627}$$

C3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Ai fini della valutazione semplificata della risposta sismica locale, nelle NTC, non è più consentita la classificazione del sottosuolo sulla base del parametro N_{SPT30} per i terreni a grana grossa e C_{u30} per i terreni a grana fine

Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

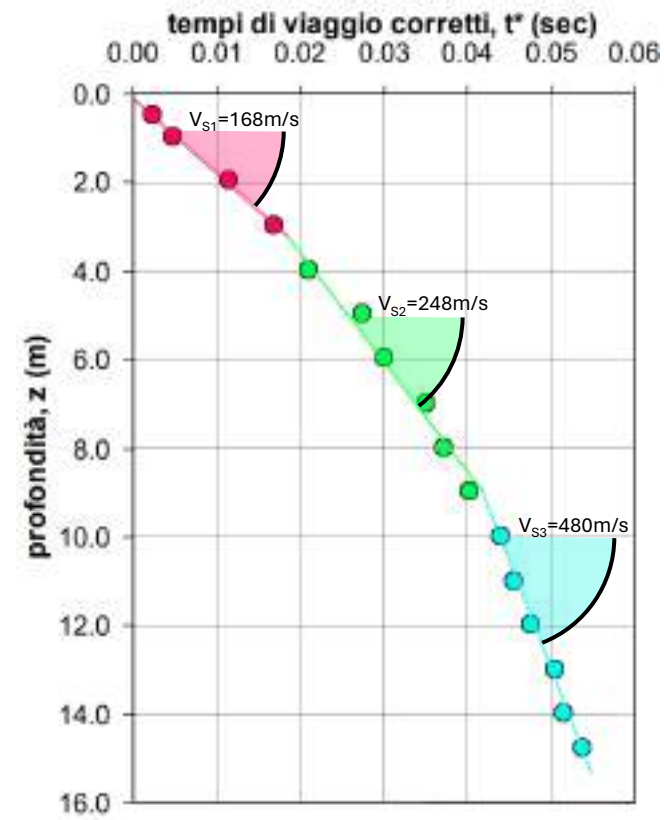
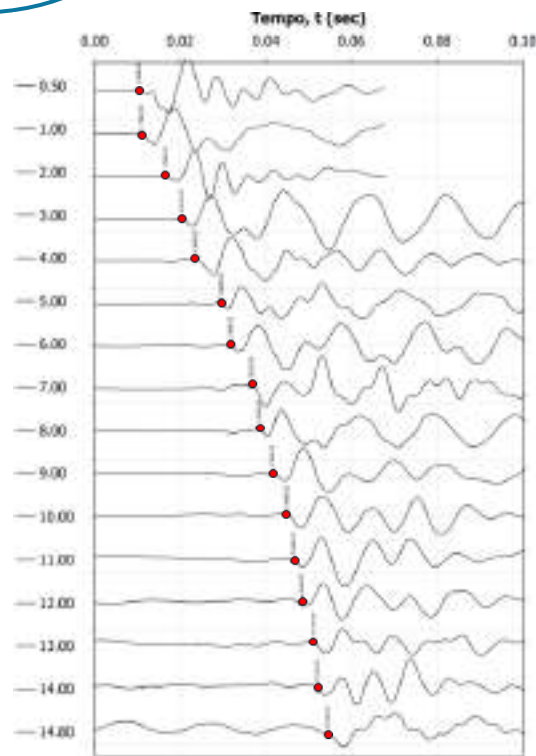
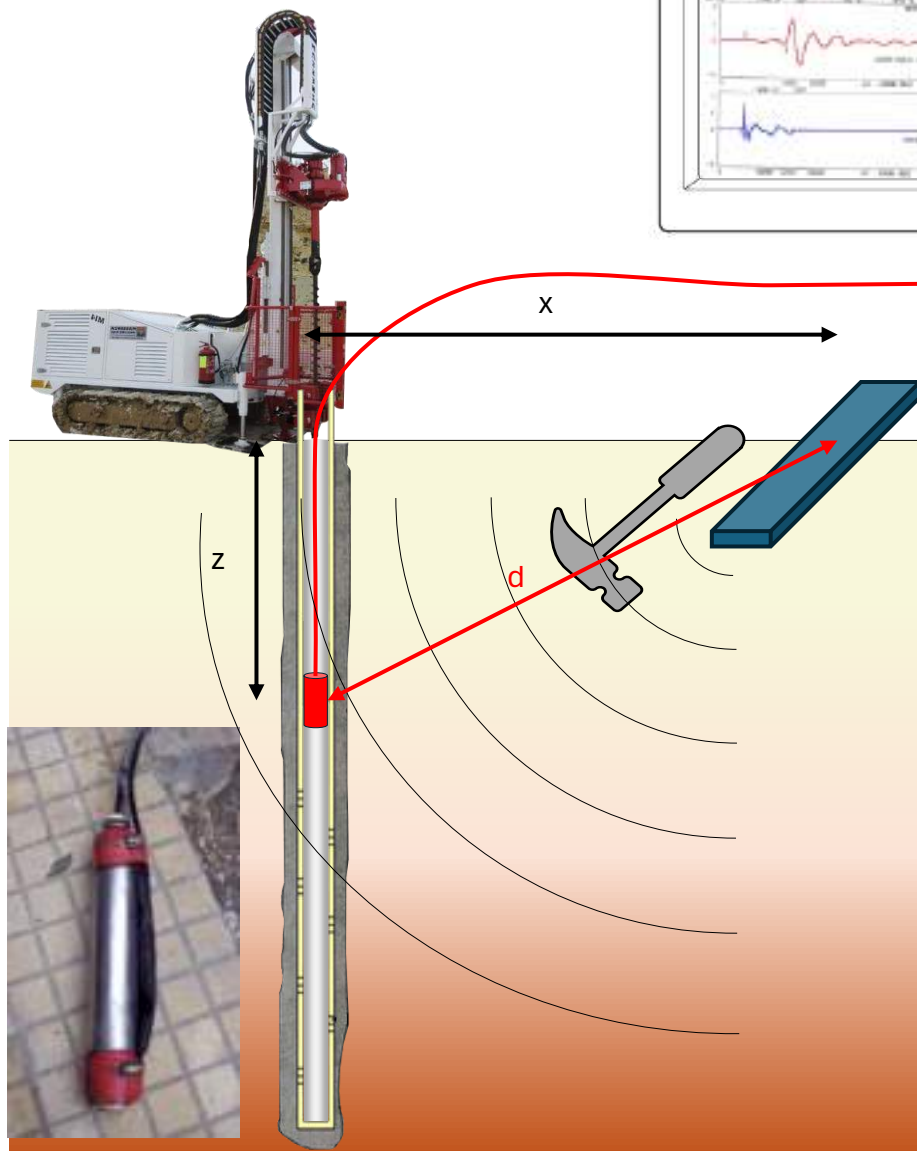
Prova geofisica Down-Hole (ASTM D7400/D7400M-19)



Correzione dei tempi di arrivo:

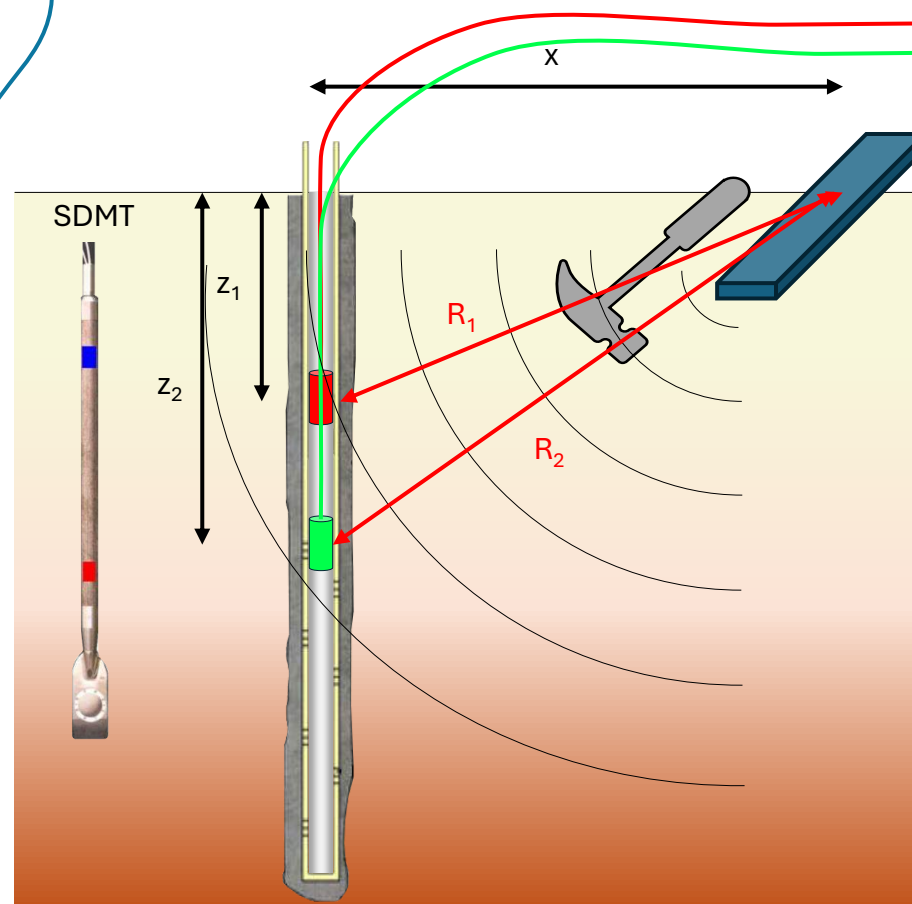
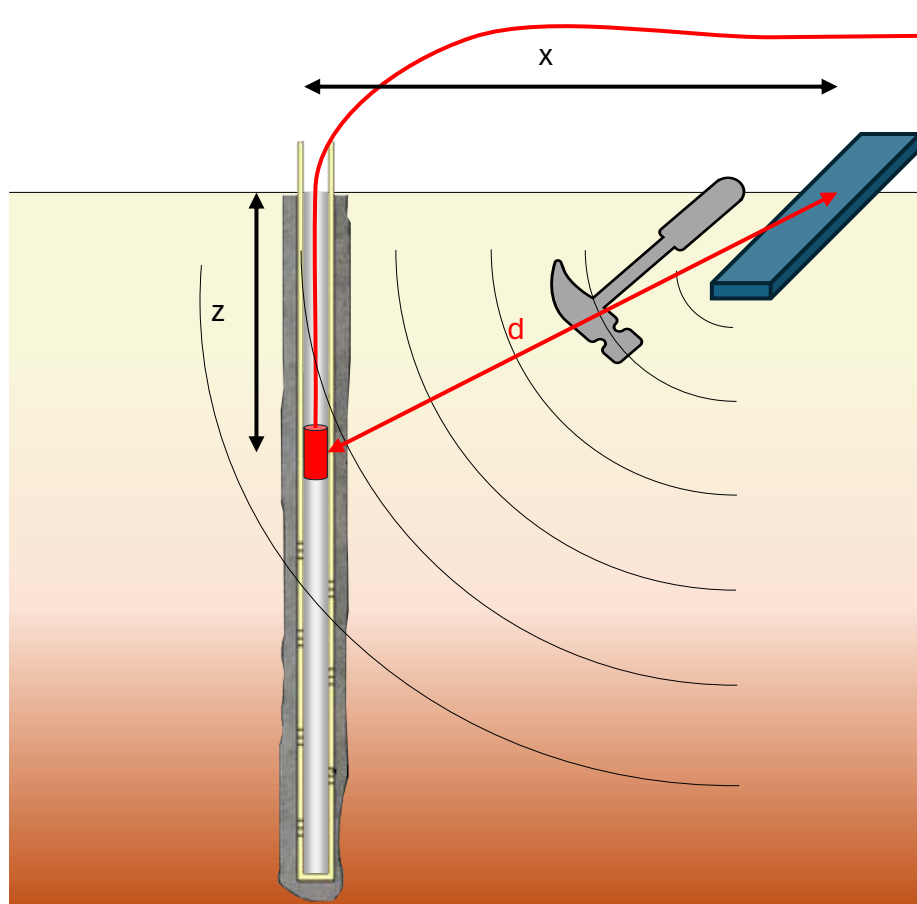
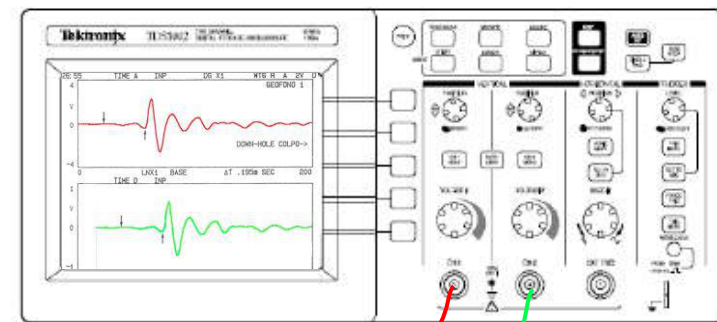
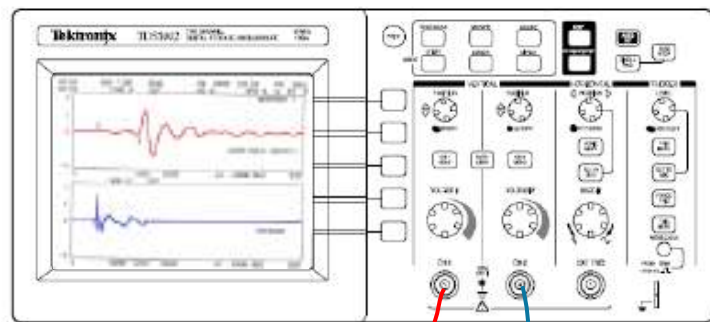
$$\frac{t^*}{z} = \frac{t}{d}$$

$$t^* = \frac{z}{\sqrt{x^2 + z^2}} t$$



Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

Prova geofisica Down-Hole (ASTM D7400/D7400M-19)



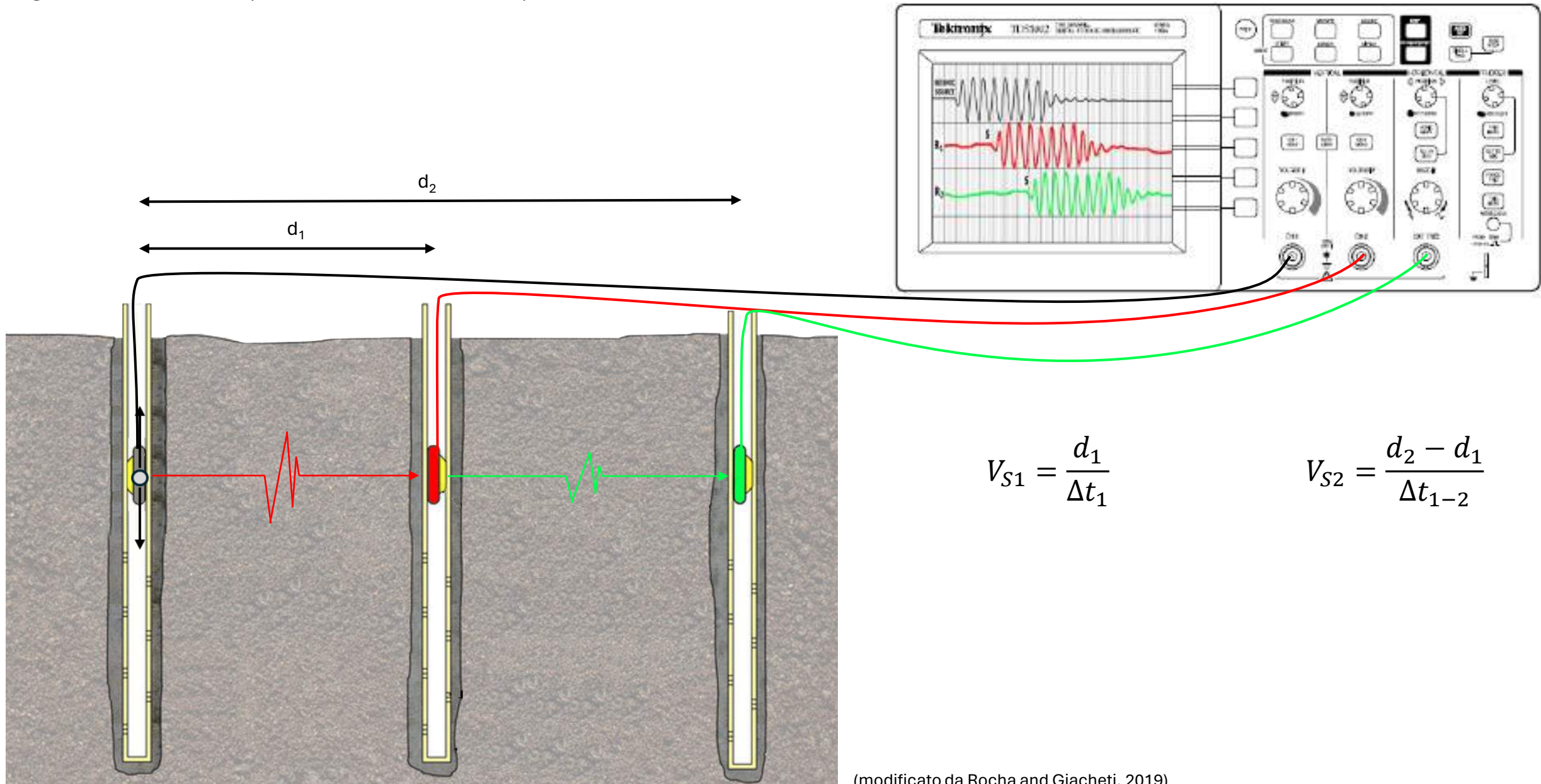
$$\Delta t = \frac{\sqrt{x^2 + z_2^2} - \sqrt{x^2 + z_1^2}}{V_s}$$

$$\Delta t = \frac{R_2 - R_1}{V_s} = \frac{\Delta R}{V_s}$$

$$V_s = \frac{\Delta R}{\Delta t}$$

Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

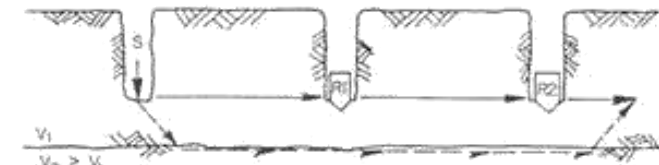
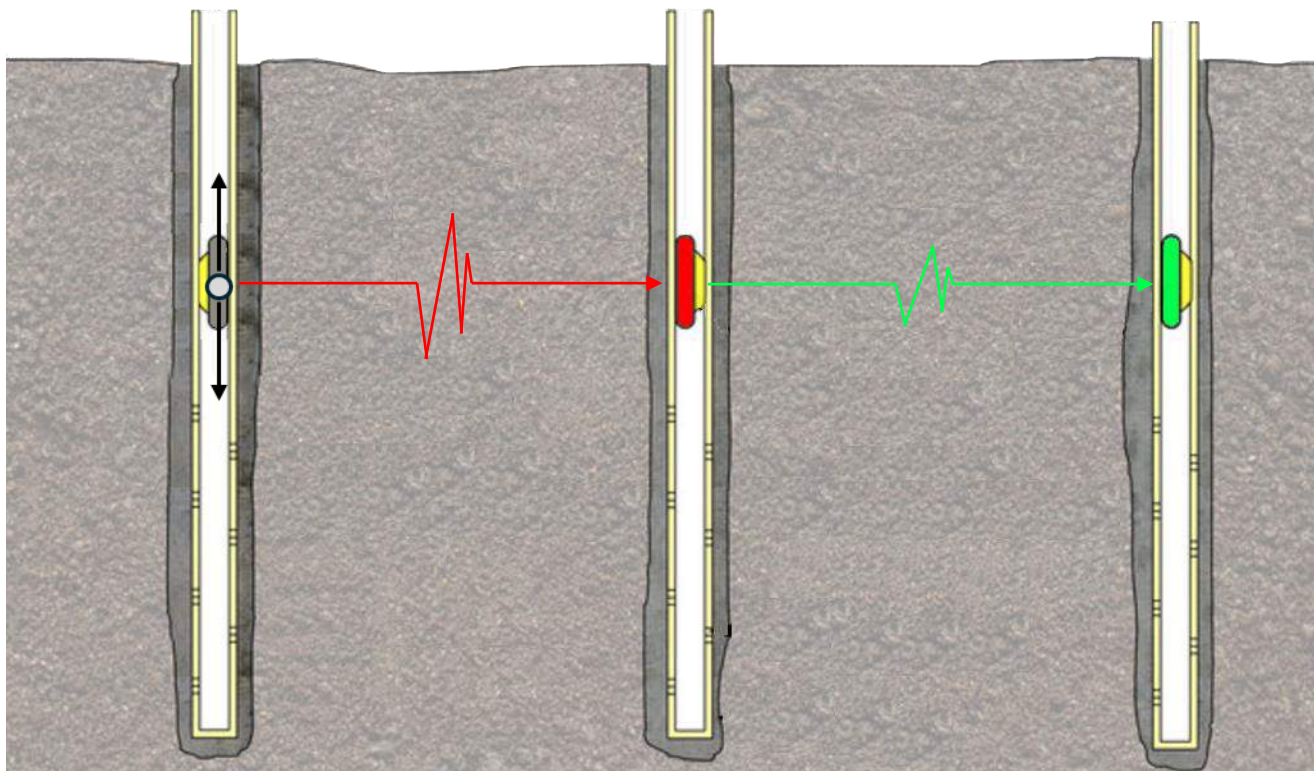
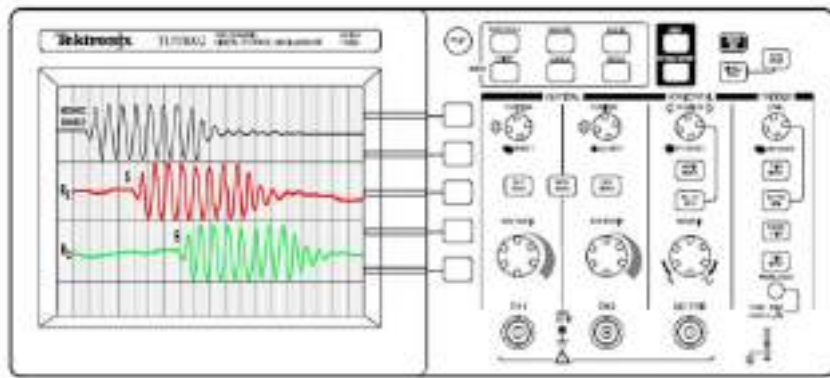
Prova geofisica Cross-Hole (ASTM D4428/D4428M – 14)



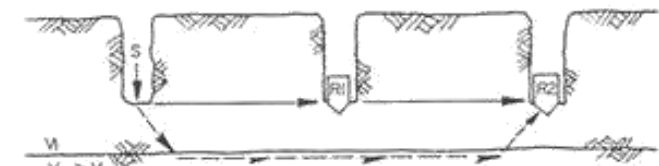
(modificato da Rocha and Giacheti, 2019)

Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

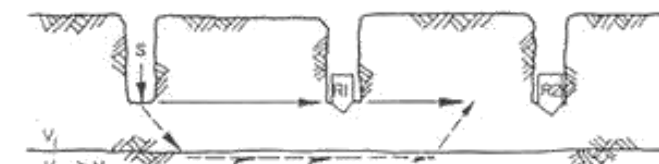
Prova geofisica Cross-Hole (ASTM D4428/D4428M – 14)



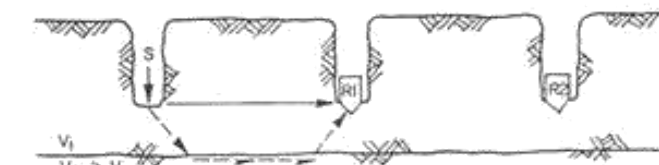
⊙ l'onda diretta arriva prima della rifratta ad entrambi i ricevitori



⊙ l'onda diretta e quella rifratta arrivano insieme al secondo ricevitore



⊗ l'onda rifratta arriva prima della diretta al secondo ricevitore



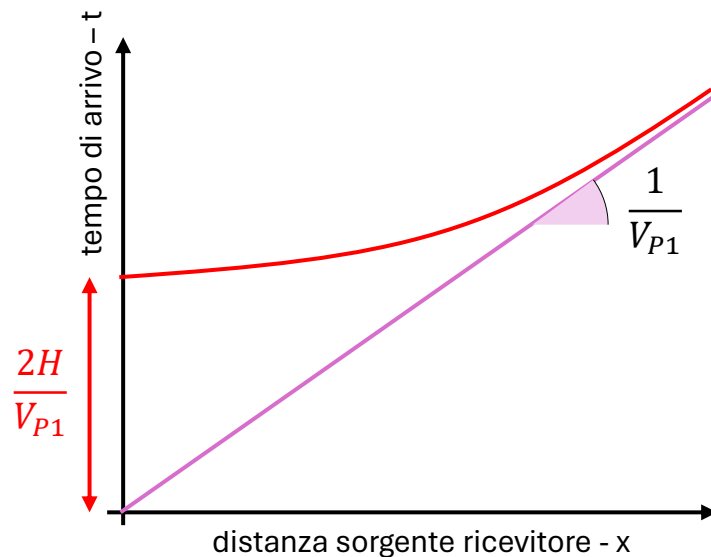
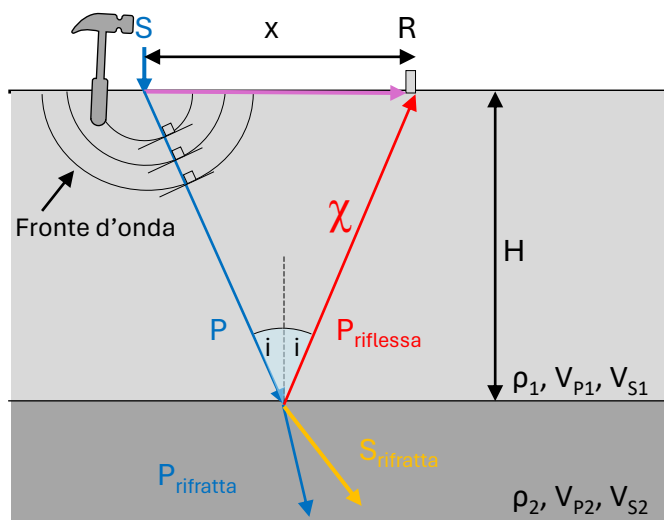
⊙ ⊙ l'onda diretta e quella rifratta arrivano insieme al primo ricevitore



⊗ ⊗ ⊗ l'onda rifratta arriva prima della diretta già al primo ricevitore

Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

Prova geofisica a riflessione

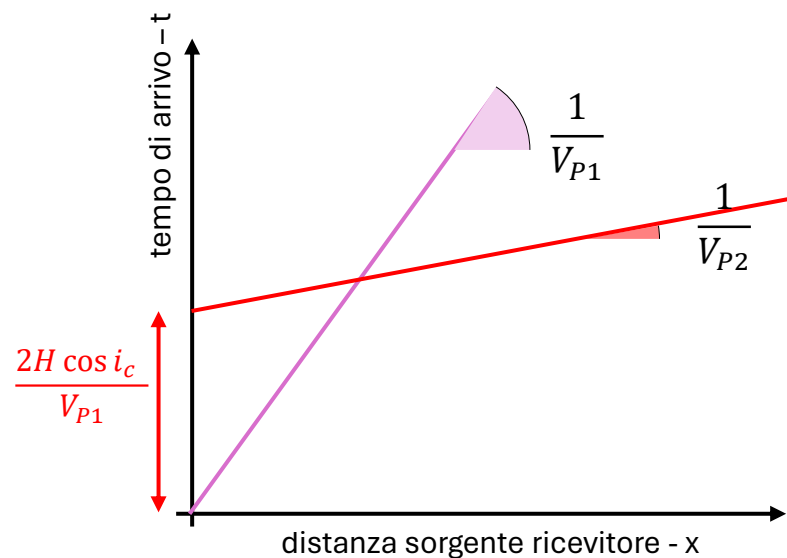
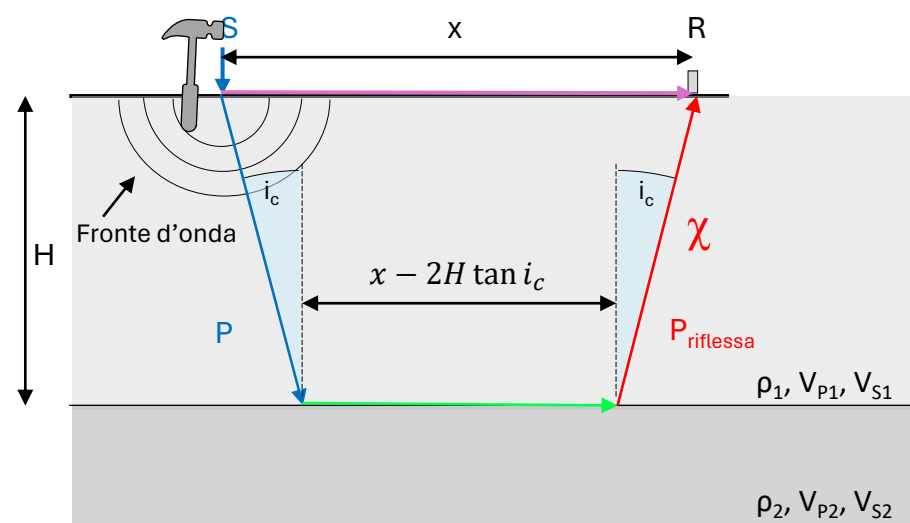


$$\chi = \sqrt{\left(\frac{x}{2}\right)^2 + H^2} = \sqrt{\frac{x^2}{4} + H^2}$$

$$t_r = \frac{2\sqrt{\frac{x^2}{4} + H^2}}{V_{P1}} = \frac{\sqrt{x^2 + 4H^2}}{V_{P1}}$$

$$t_d = \frac{x}{V_{P1}}$$

Prova geofisica per rifrazione (ASTM D5777-18)



$$\chi = \frac{H}{\cos i_{cr}} \quad i_{cr} = \arcsen\left(\frac{V_{P1}}{V_{P2}}\right)$$

$$t_r = \frac{2H}{\cos i_{cr} V_{P1}} + \frac{x - 2H \tan i_{cr}}{V_{P2}}$$

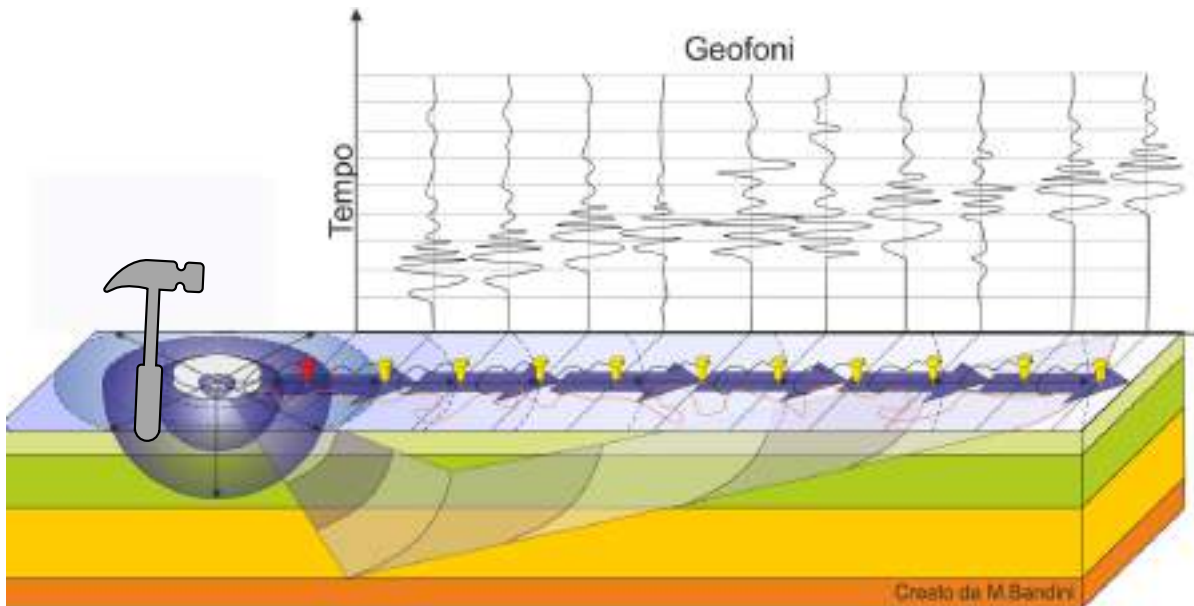
$$t_r = \frac{x}{V_{P2}} + \frac{2H \cos i_{cr}}{V_{P1}}$$

$$t_d = \frac{x}{V_{P1}}$$

Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

Prova geofisica MASW Multichannel Analysis of Surface Waves (ASTM WK89536)

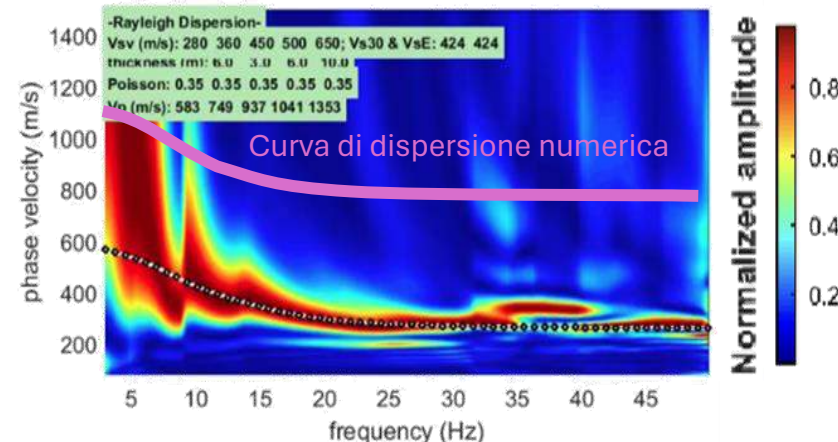
In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi.



Il metodo MASW consiste in tre fasi (Roma, 2002):

1. Calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;

La curva di dispersione apparente o effettiva che si ottiene dalle tracce misurate in sito è il risultato dell'interazione tra tutti i modi di Rayleigh e lo stesso sistema di misura costituito dai ricevitori.



Funzione del:

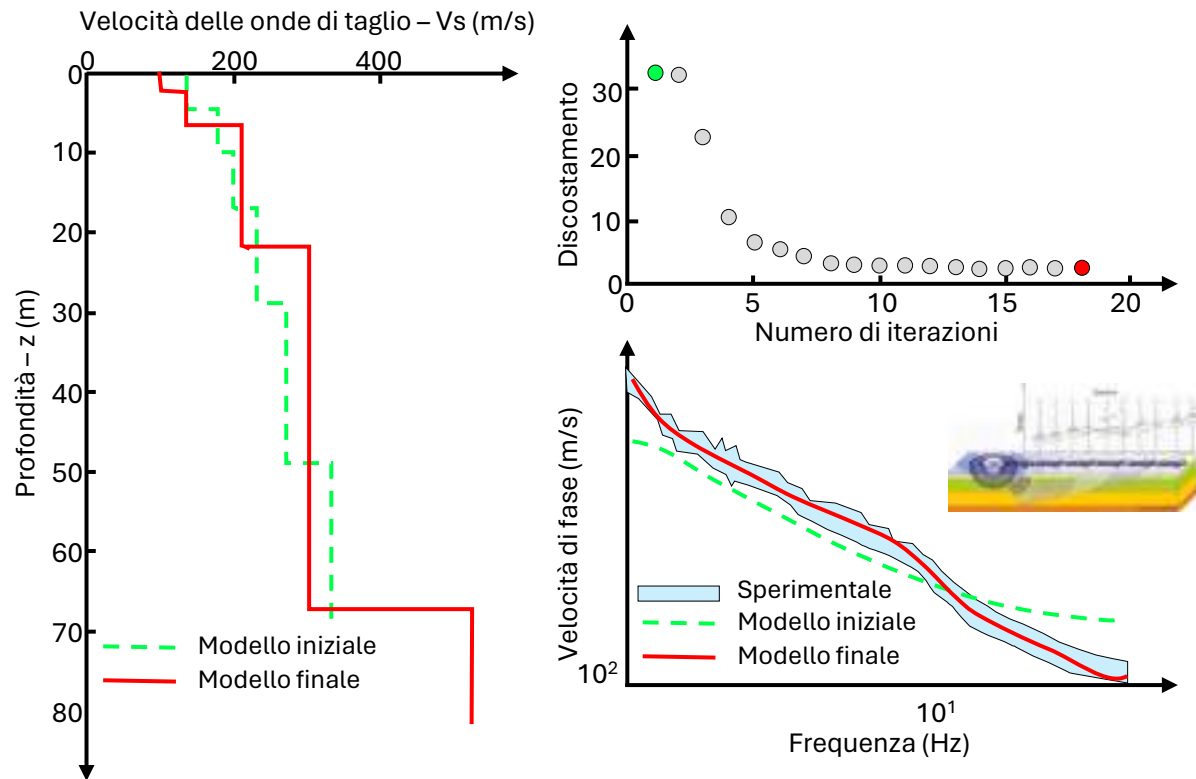
- numero di strati
 - Spessore degli strati
 - V_s
 - V_p
 - Densità degli strati
2. Calcolo della velocità di fase apparente numerica;
 3. Fissando numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson ν , la densità di ρ , si variano lo spessore h e la velocità V_s degli strati fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato

Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

Prova geofisica MASW Multichannel Analysis of Surface Waves (ASTM WK89536)

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi.

Esempio di procedura di convergenza:

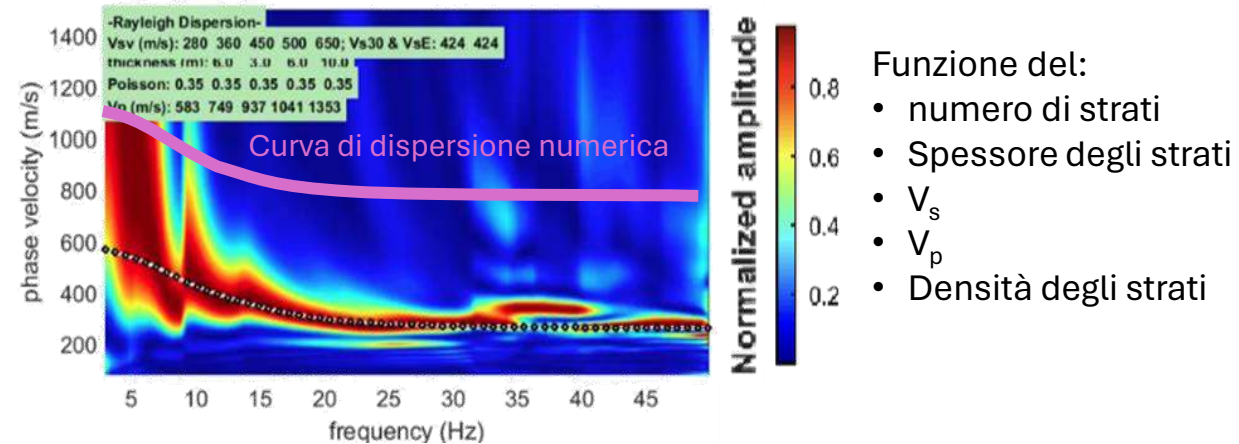


(Foti et al., 2018)

Il metodo MASW consiste in tre fasi (Roma, 2002):

1. Calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;

La curva di dispersione apparente o effettiva che si ottiene dalle tracce misurate in sito è il risultato dell'interazione tra tutti i modi di Rayleigh e lo stesso sistema di misura costituito dai ricevitori.



Funzione del:

- numero di strati
- Spessore degli strati
- V_s
- V_p
- Densità degli strati

2. Calcolo della velocità di fase apparente numerica;
3. Fissando numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson ν , la densità di ρ , si variano lo spessore h e la velocità V_s degli strati fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato

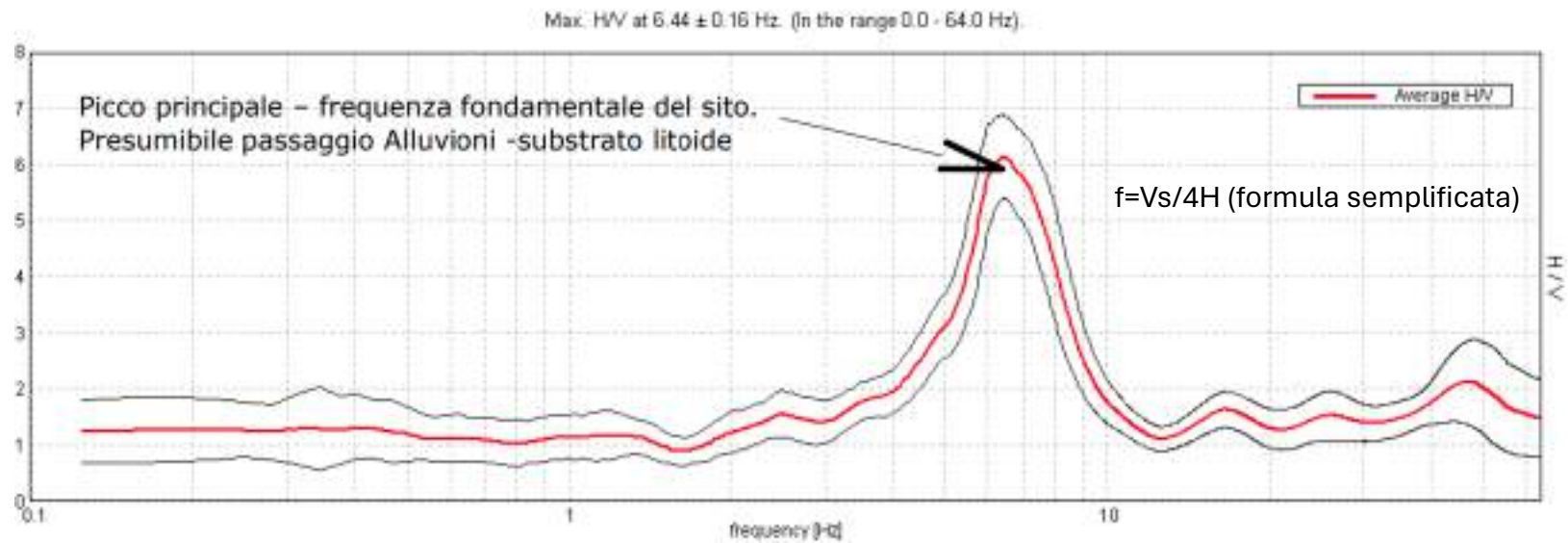
Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove in situ

Prova Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) (Nogoshi e Igarashi, 1970; Nakamura, 1989)

L'indagine consiste nella misurazione, e nella successiva elaborazione, del microtremore ambientale nelle sue tre componenti spaziali (x, y e z opp. E-W, N-S e Up-Down) a varie frequenze.

Dall'analisi delle componenti spettrali delle tracce registrate è possibile:

- ricavare la frequenza fondamentale (o di risonanza) del sito;



La frequenza fondamentale del sito è da intendersi quella più significativa a bassa frequenza.

Eventuali altre frequenze evidenziate (picchi secondari) se vicine alle frequenze di interesse ingegneristico (struttura) possono essere comunque significative.

Caratterizzazione meccanica dei terreni

Categorie di prova		Tipo di prova	Stato tensionale	Deformazione γ [%]	Frequenza f [Hz]	Rigidezza	Smorzamento	Resistenza	
								G	F
In situ	Penetrom.	SPT				$N \rightarrow V_S \rightarrow G_0$		ϕ'	
		CPT				$q_c \rightarrow V_S \rightarrow G_0$		ϕ'	c_u
	Geofisiche	Down-Hole	Litostatico	$<10^{-3}$	10-100	$V_S \rightarrow G_0$	-		
		Cross-Hole				$V_S \rightarrow G_0$	possibile		
		SASW				$V_R \rightarrow V_S \rightarrow G_0$	-		
Laboratorio	Cicliche	Triassiale	Simmetria radiale	$>10^{-2}$	0.01-1	$q:\epsilon_a \rightarrow E \rightarrow G$	$W_D/W_S \rightarrow D$	$q/\sigma'_r : N_c$	
		Taglio semplice	Simmetria radiale	$>10^{-2}$	0.01-1	$\tau:\gamma \rightarrow G$		$\tau/\sigma'_v : N_c$	
		Taglio torsionale	Simmetria radiale o triax vero	$10^{-4}-1$	0.01-1	$\tau:\gamma \rightarrow G_0, G$			
	Dinamiche	Colonna risonante	Simmetria radiale o triax vero	$10^{-4}-1$	>10	$f_r \rightarrow G_0, G$	$H.p., R.f. \rightarrow D$		
		Trasduttori piezoceramici	Simmetria radiale	$<10^{-3}$	>100	$V_S \rightarrow G_0$	-		

Legenda: V_R = velocità onde di Rayleigh; f_r = frequenza di risonanza;
H.p. = metodo della semibanda di potenza; R.f. = metodo del fattore di risonanza

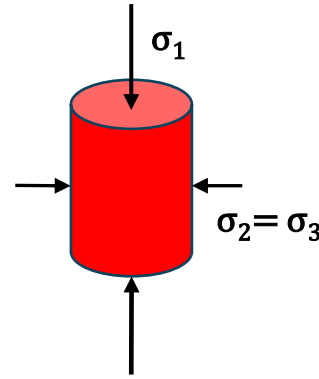
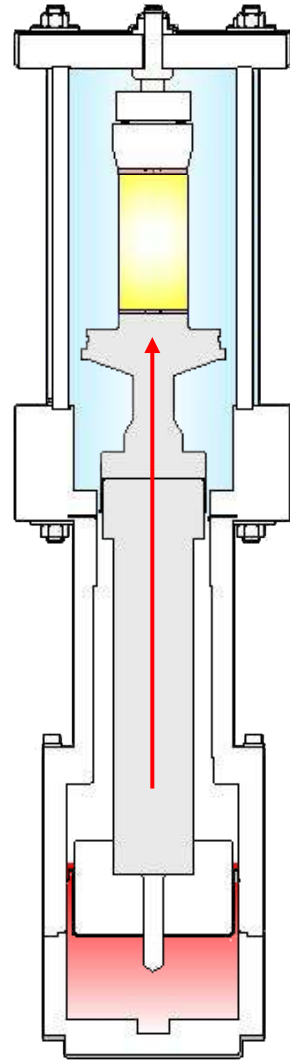
Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove di laboratorio

Prova triassiale ciclica

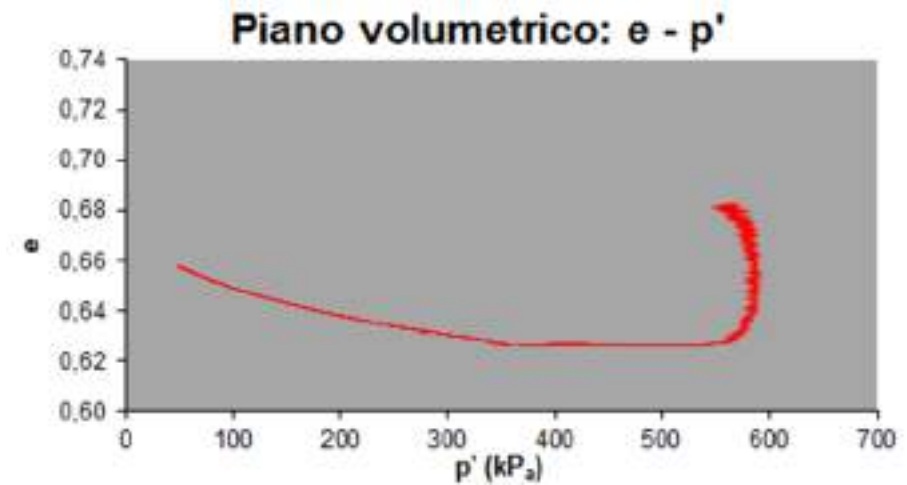
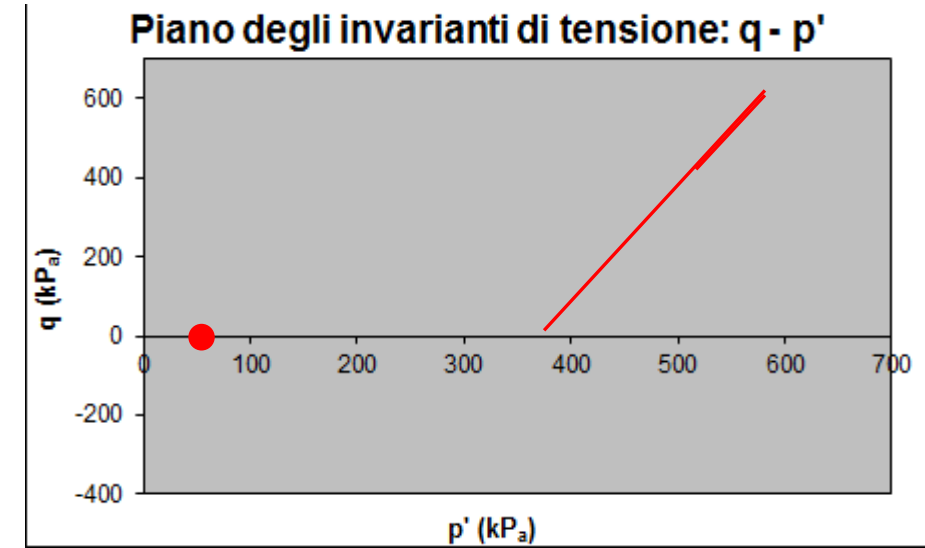


(UNICAS, Cassino)

Condizione assialsimmetrica delle tensioni:



Esempio di risultati per una prova TX-CD

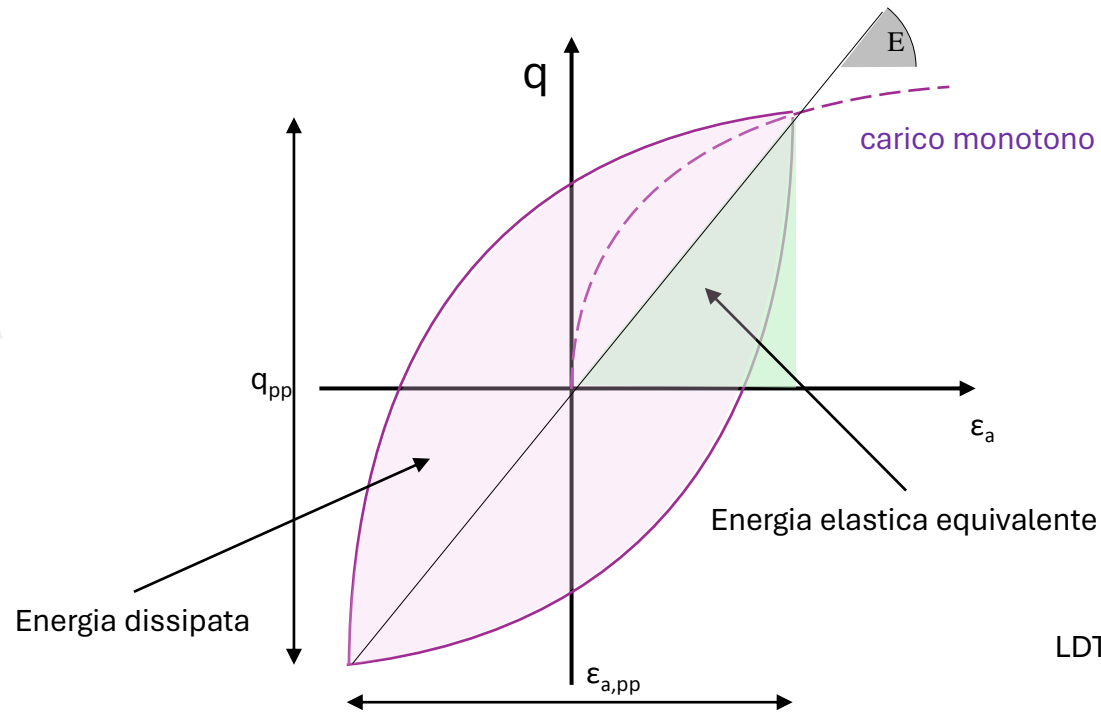
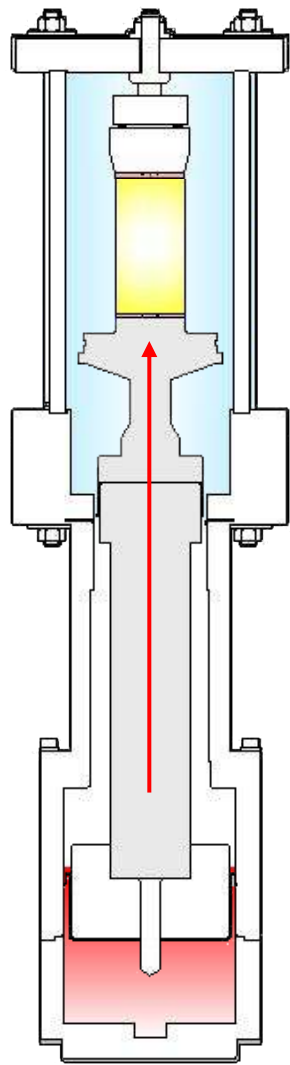


Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove di laboratorio

Prova triassiale ciclica



(UNICAS, Cassino)



LDT montato su provino triassiale (UNICAS, Cassino)

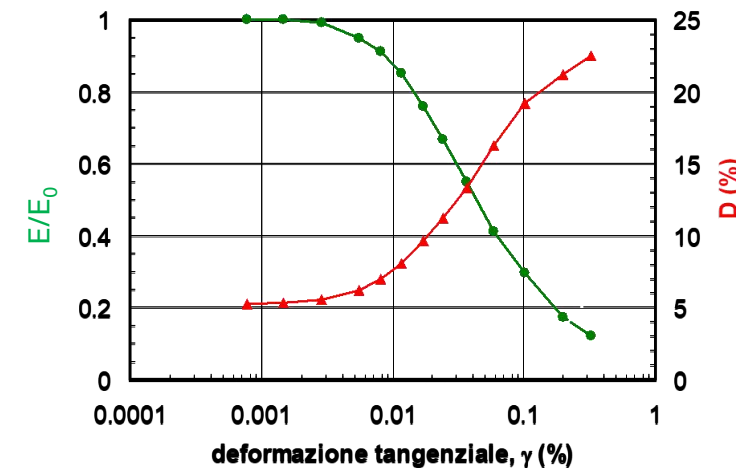
Modulo di Young:

$$E = \frac{q_{pp}}{\varepsilon_{a,pp}}$$

Smorzamento (damping):

$$D = \frac{W_D}{4\pi W_S}$$

Campo di frequenze tipico $f = 0.01-1$ Hz

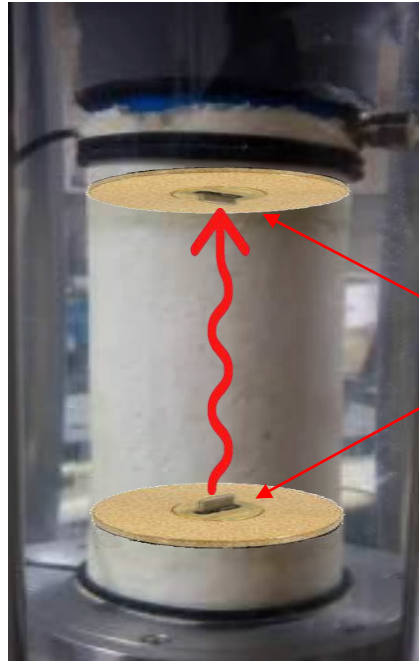


Campo di deformazioni investigato:



Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove di laboratorio

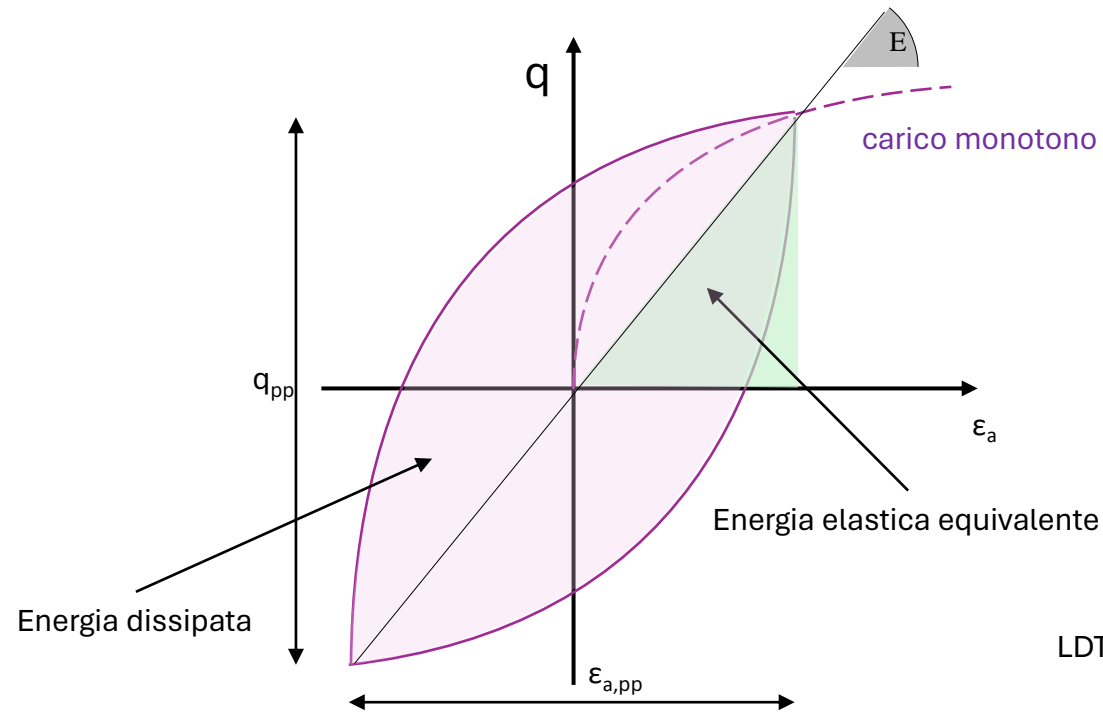
Prova triassiale ciclica



Bender elements

Triaxial specimen

$$V_s = \frac{\text{altezza del campione}}{\text{tempo di viaggio}}$$



LDT montato su provino triassiale (UNICAS, Cassino)

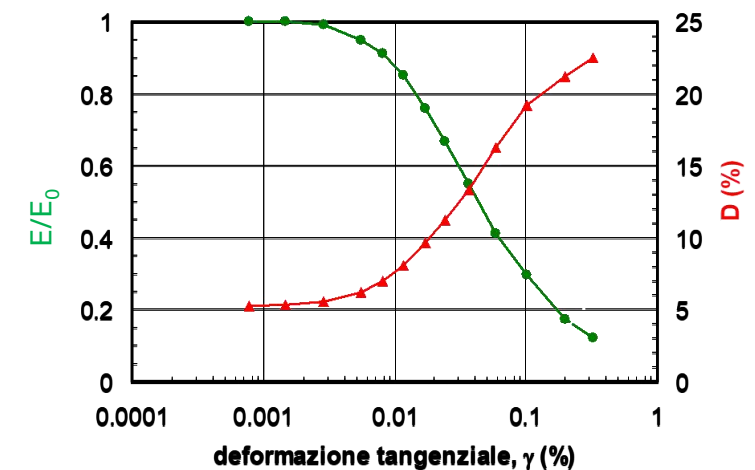
Modulo di Young

$$E = \frac{q_{pp}}{\varepsilon_{a,pp}}$$

Smorzamento (damping):

$$D = \frac{W_D}{4\pi W_S}$$

Campo di frequenze tipico $f = 0.01-1$ Hz



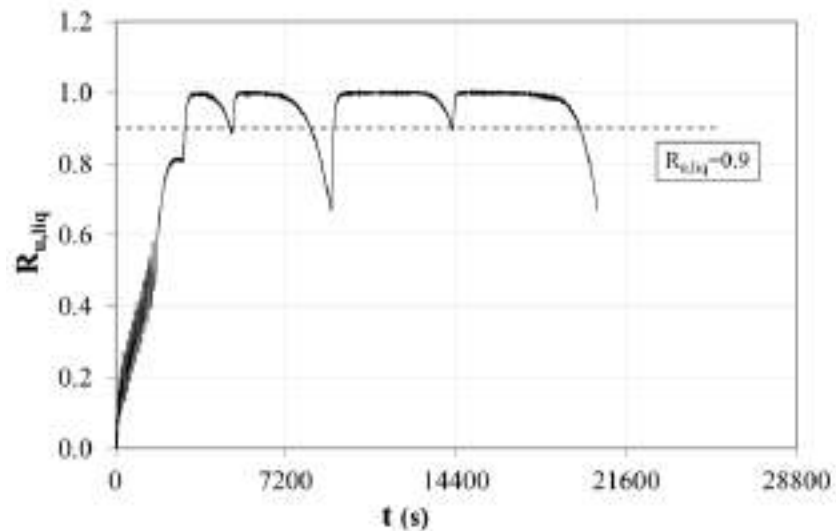
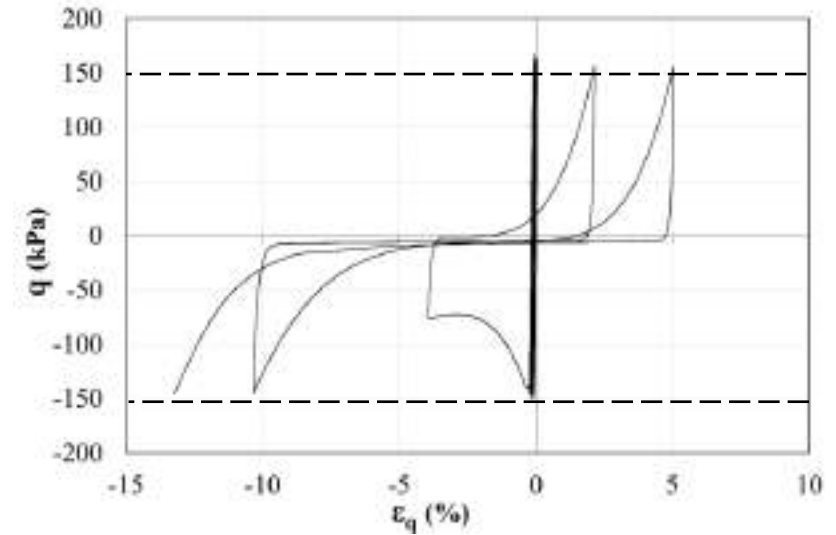
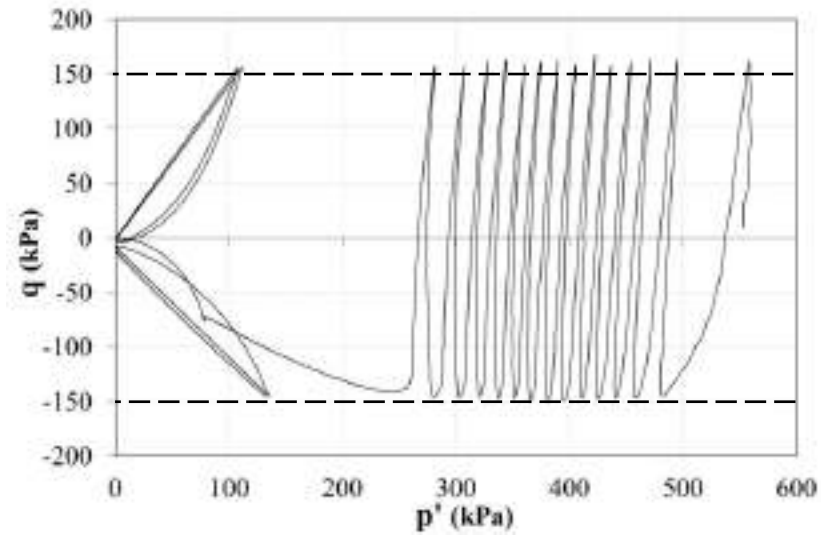
Campo di deformazioni investigato:



Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove di laboratorio

Prova triassiale ciclica

Prova triassiale ciclica non drenata su sabbia di Fossanova S3 ($D_r=30\%$ $CSR=0.227$)



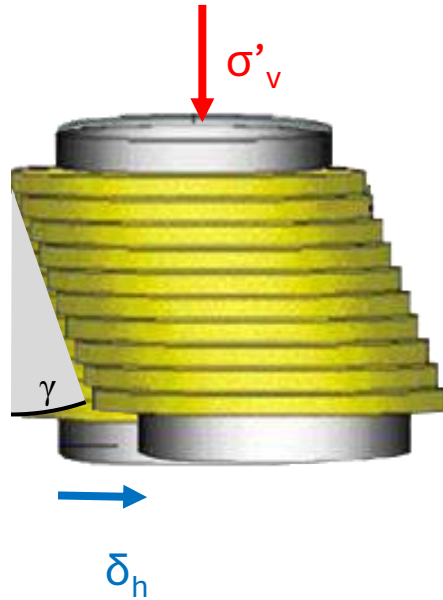
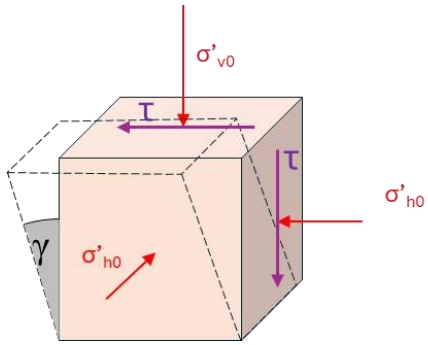
$$q = \sigma_a - \sigma_{conf} \quad \varepsilon_q = \frac{2}{3}(\varepsilon_a - \varepsilon_h)$$

$$p' = \frac{\sigma_a + 2\sigma_{conf}}{3} - u$$

$$r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_{a,0}}$$

Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove di laboratorio

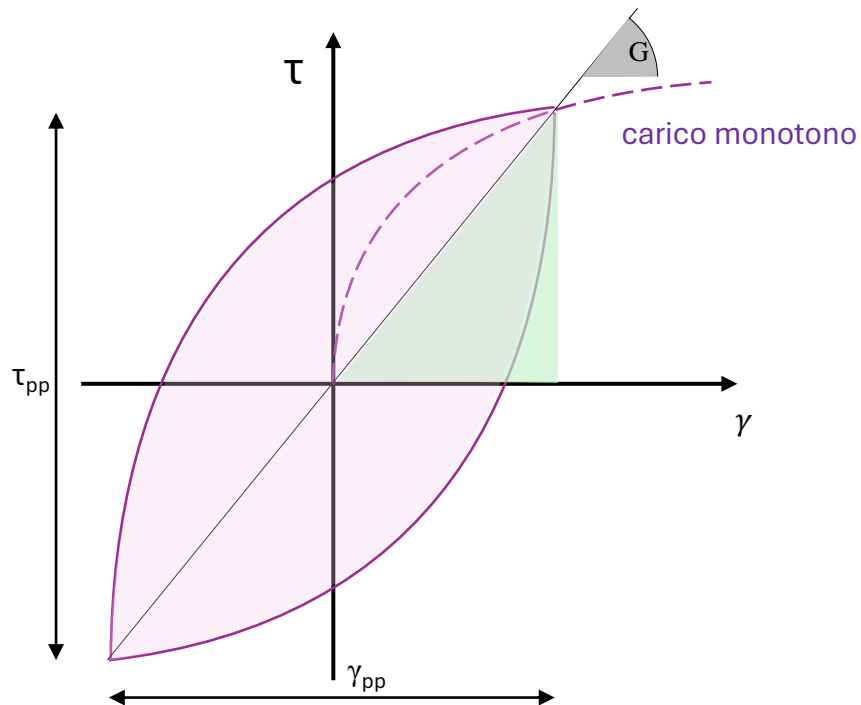
Prova di taglio semplice ciclica



(Mele, 2020)

- ✓ σ_a può essere controllata
- ✗ σ_r non può essere controllata

- ✓ σ_a può essere controllata
- ✓ σ_r può essere controllata



Modulo di taglio:

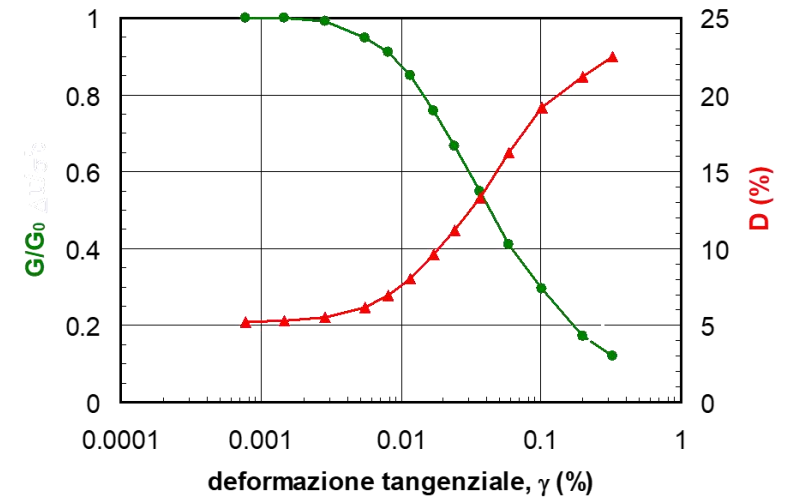
$$G = \frac{\tau_{pp}}{\gamma_{pp}}$$

Smorzamento (damping):

$$D = \frac{W_D}{4\pi W_S}$$

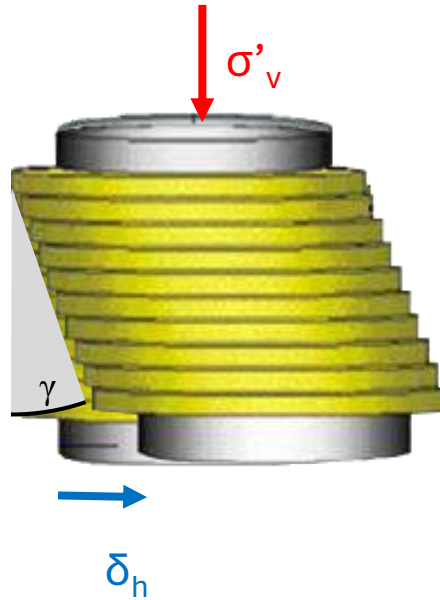
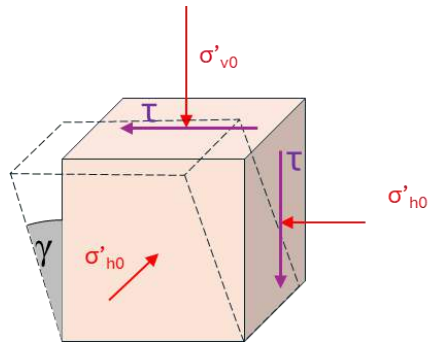
Campo di deformazioni investigato:

Campo di frequenze tipico $f = 0.01-1$ Hz



Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove di laboratorio

Prova di taglio semplice ciclica



(Mele, 2020)

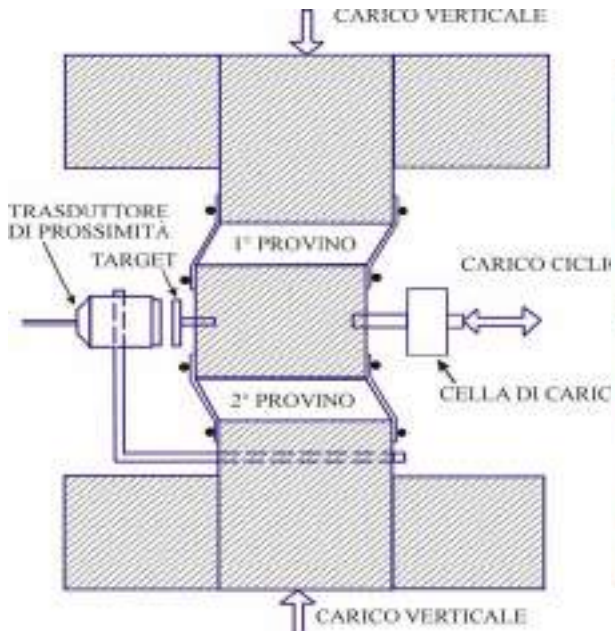
✓ σ_a può essere controllata

✓ σ_a può essere controllata

✗ σ_r non può essere controllata

✓ σ_r può essere controllata

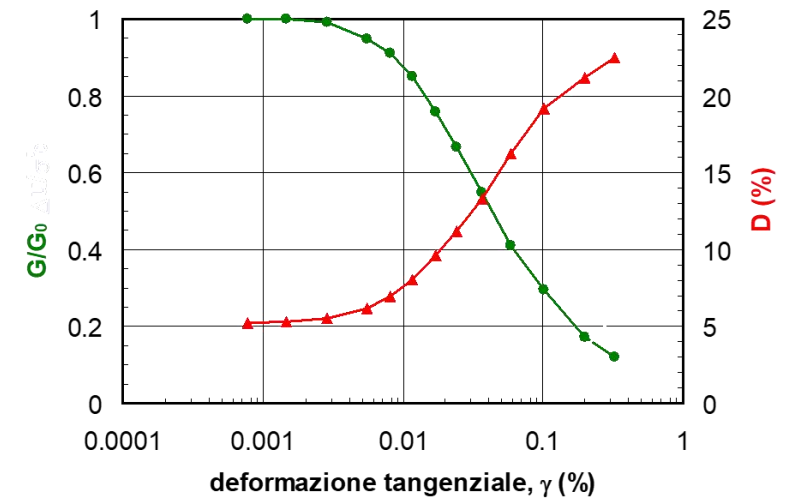
Apparecchiatura di taglio semplice ciclico con doppio provino (DSDSS)



(Sapienza, Roma)

Campo di deformazioni investigato:

Campo di frequenze tipico $f = 0.01-1$ Hz

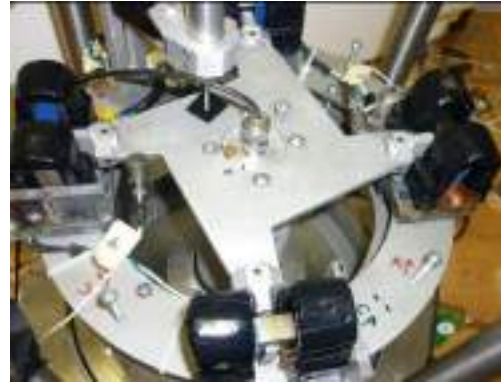


Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove di laboratorio

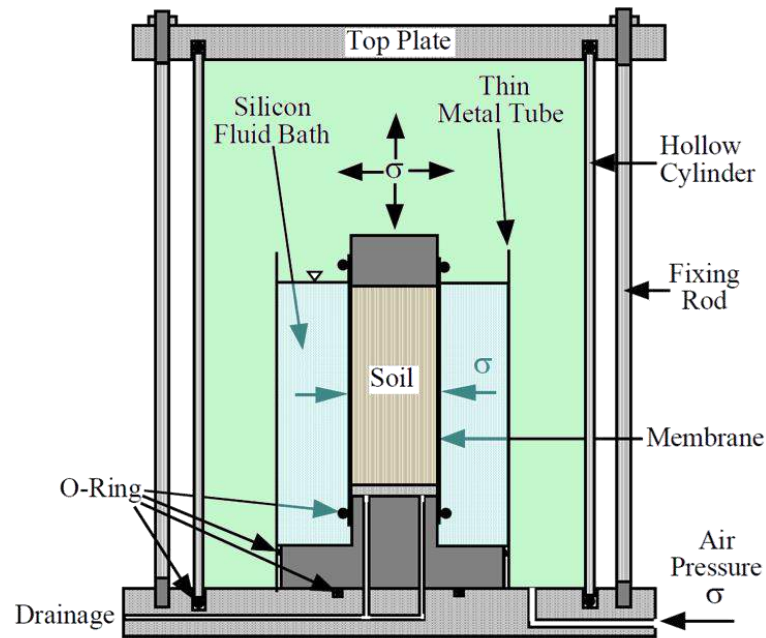
Prova di colonna risonante - taglio torsionale RCTS



(D'Onofrio, 1996)

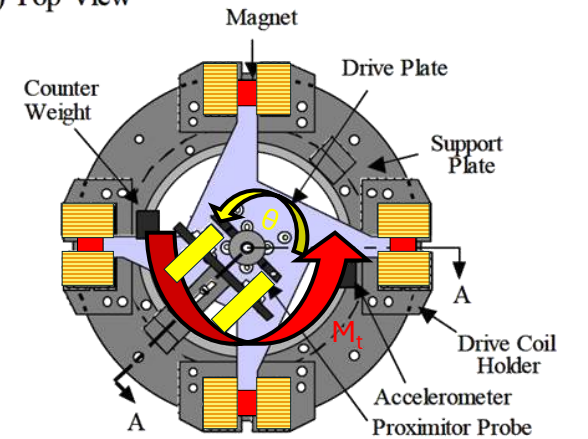


(Moayerian, 2012)

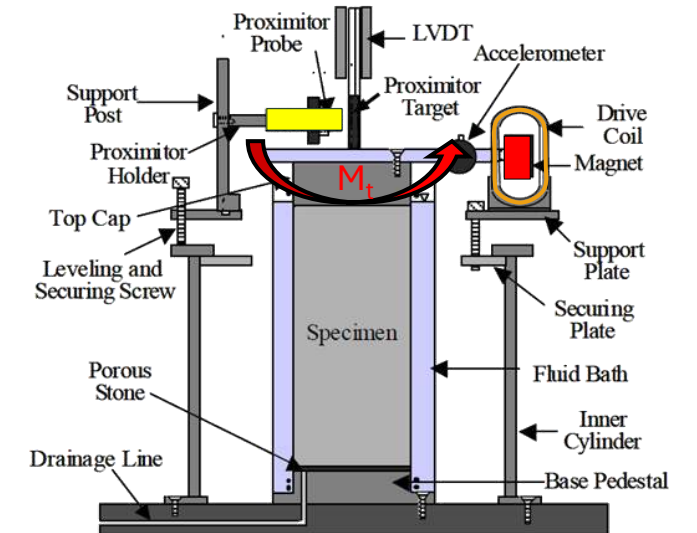


(modificato da Hwang, 1997)

(a) Top View



(b) Section AA



(modificato da Hwang, 1997)

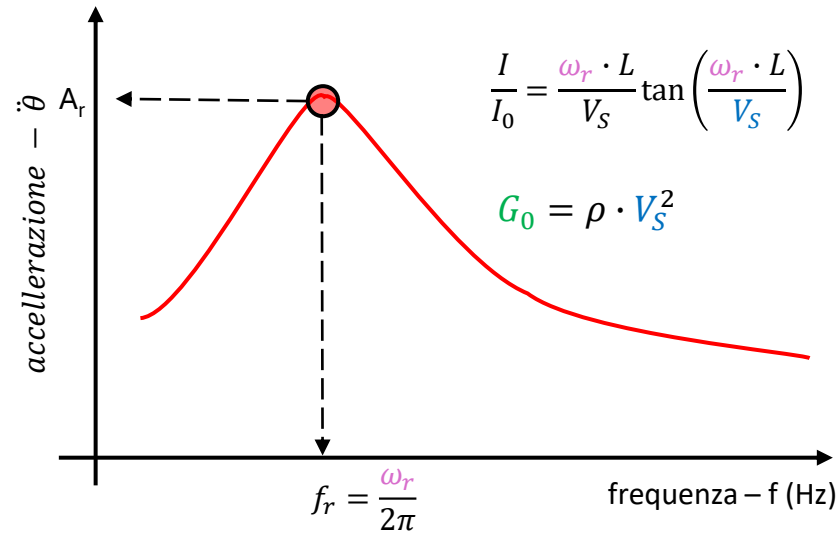
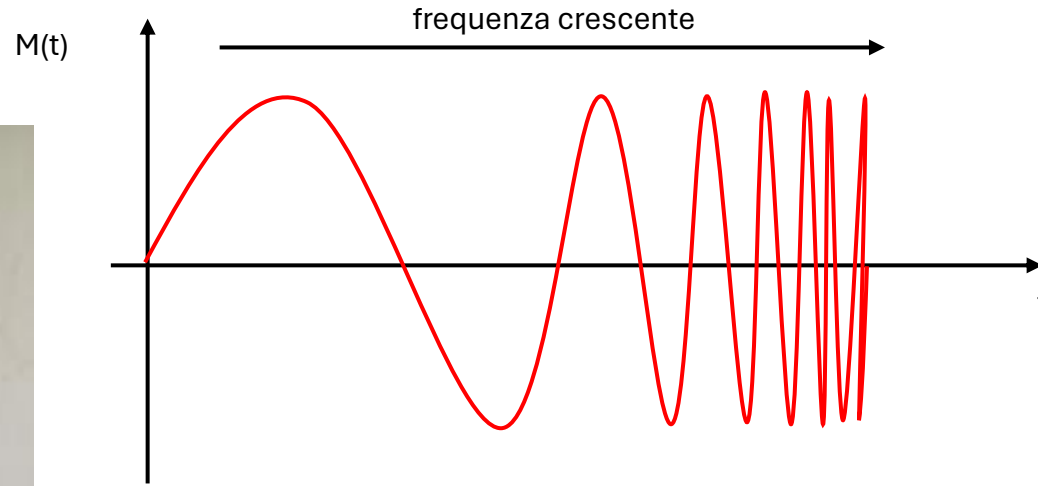
Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove di laboratorio

Prova di taglio colonna risonante - taglio torsionale RCTS

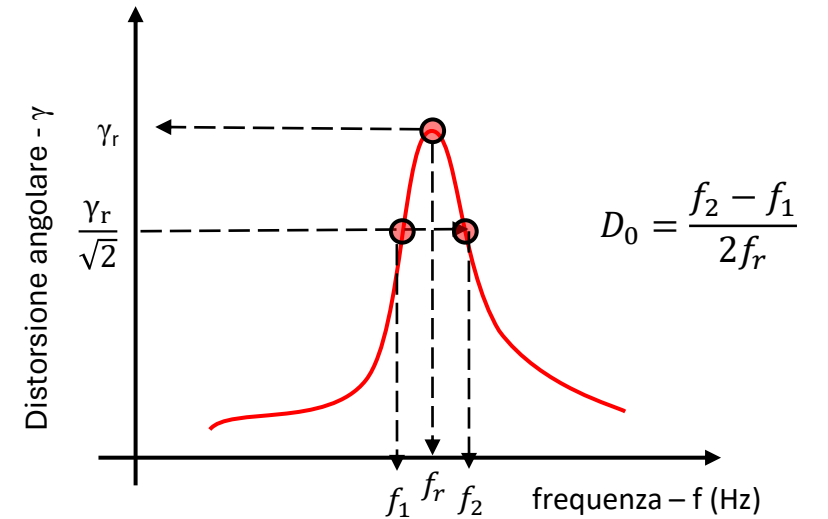
Prova di colonna risonante



(D'Onofrio, 1996)



Metodo della mezza banda di potenza (Stokoe et al., 1999)



Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove di laboratorio

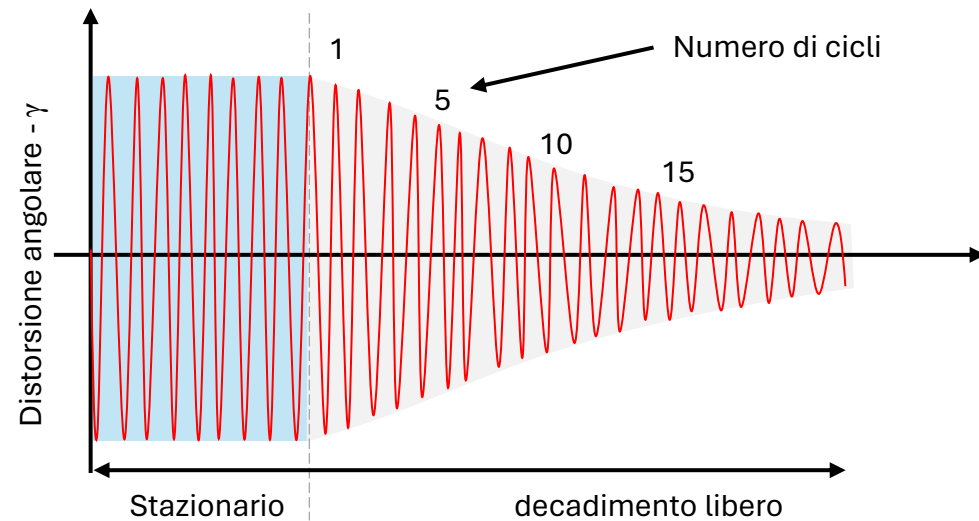
Prova di taglio colonna risonante - taglio torsionale RCTS

Prova di colonna risonante

Metodo del decadimento libero



(D'Onofrio, 1996)



$$\delta = \frac{1}{n} \ln \left(\frac{z_1}{z_{n+1}} \right)$$

Con:

n: numero di cicli tra due punti di picco z_1 e z_{n+1} , ampiezza rispettivamente al ciclo 1 ed n+1

$$D_0 = \sqrt{\frac{\delta^2}{4\pi^2 + \delta^2}}$$

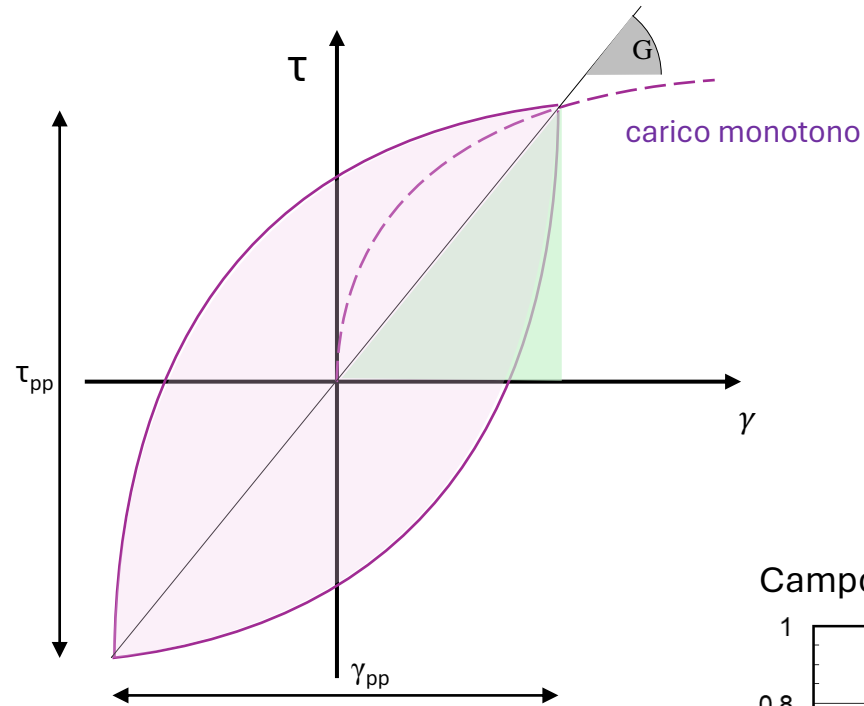
Caratterizzazione meccanica dei terreni – prove di laboratorio

Prova di taglio colonna risonante - taglio torsionale RCTS

Prova di taglio torsionale



(D'Onofrio, 1996)



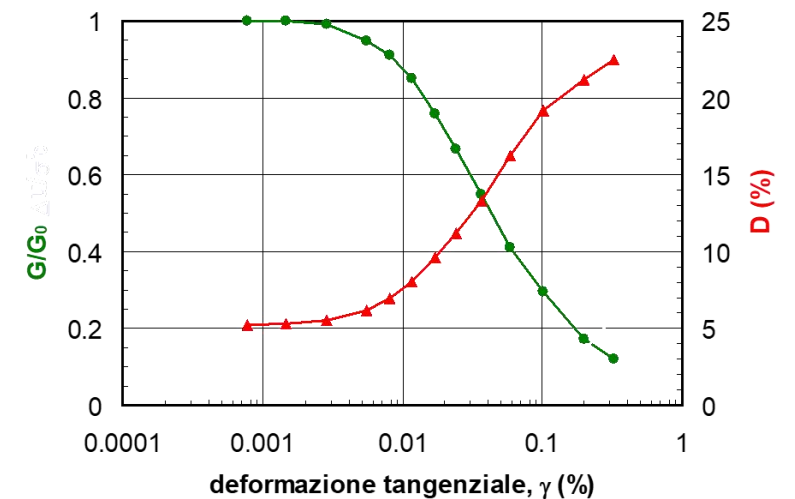
Modulo di taglio:

$$G = \frac{\tau_{pp}}{\gamma_{pp}}$$

Smorzamento (damping):

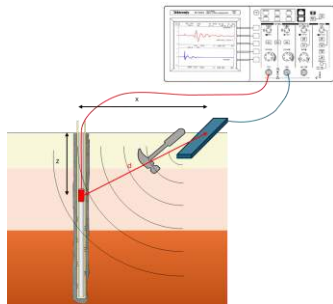
$$D = \frac{W_D}{4\pi W_S}$$

Campo di frequenze tipico $f = 10-100\text{Hz}$



Campo di deformazioni investigato: ■■■■■

Caratterizzazione meccanica dei terreni - conclusioni



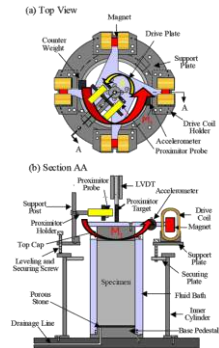
Prove in situ

vantaggi

☺ Misurano le proprietà del materiale senza risentire del disturbo dovute al campionamento

svantaggi

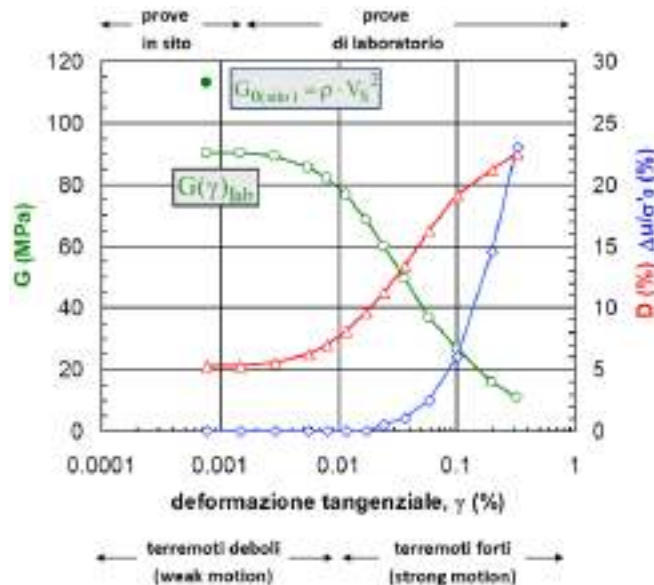
☹ Non consentono di investigare il comportamento non-lineare del terreno (medie-grandi deformazioni)



Prove di laboratorio

☺ consentono di investigare il comportamento del terreno su tutto il range di deformazioni, da piccole deformazioni sino alla rottura

☹ Le proprietà misurate risentono del disturbo dovuto al campionamento del materiale



Combinare le curve di decadimento del modulo G ottenute sperimentalmente con il valore di G_0 misurato in-situ

$$G(\gamma) = (G_0)_{situ} \cdot \left[\frac{G(\gamma)}{G_0} \right]_{lab}$$

Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

Le **analisi di RSL** sono effettuate utilizzando procedure di calcolo numerico in cui viene simulata la propagazione delle onde sismiche entro gli strati di terreno compresi tra il sottostante substrato rigido e il piano campagna.

Le analisi di RSL richiedono le seguenti operazioni:

- 1) Scelta della schematizzazione geometrica del problema;
- 2) Definizione del modello geotecnico del sottosuolo;
- 3) Definizione delle azioni sismiche al substrato rigido;
- 4) Scelta della procedura di analisi.

Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

1) Scelta della schematizzazione geometrica

In condizioni di stratigrafia e topografia regolari è possibile schematizzare il problema secondo dei modelli monodimensionali (1D).

1D: sottosuolo con moderate variazioni di topografia e stratigrafia

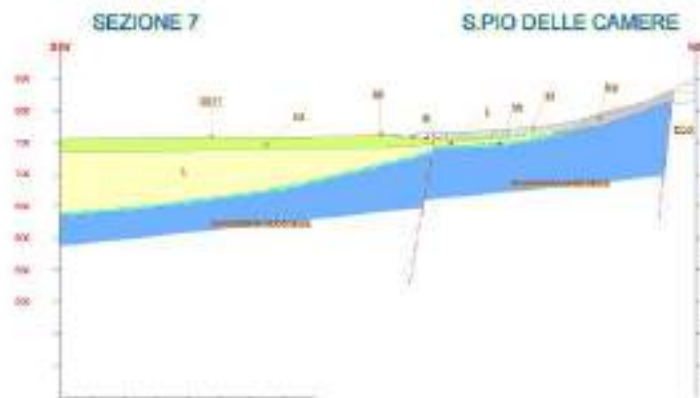


Barisciano (AQ) (Mele, 2020)

In caso di mancata regolarità morfologica, topografica e stratigrafica, l'analisi monodimensionale non è molto realistica e quindi occorre almeno un'analisi bidimensionale (2D).

In questo caso non si lavora più su colonne stratigrafiche ma su sezioni stratigrafiche.

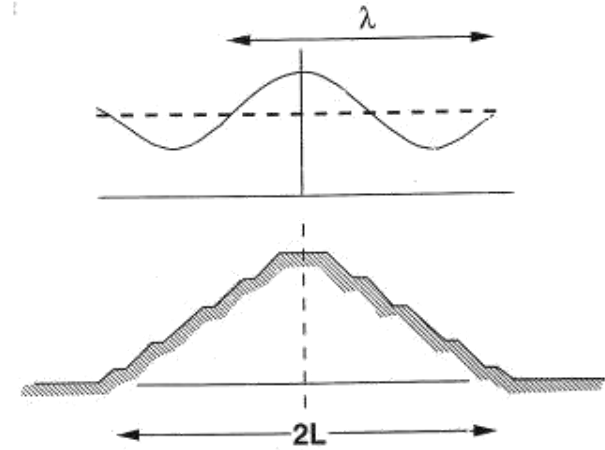
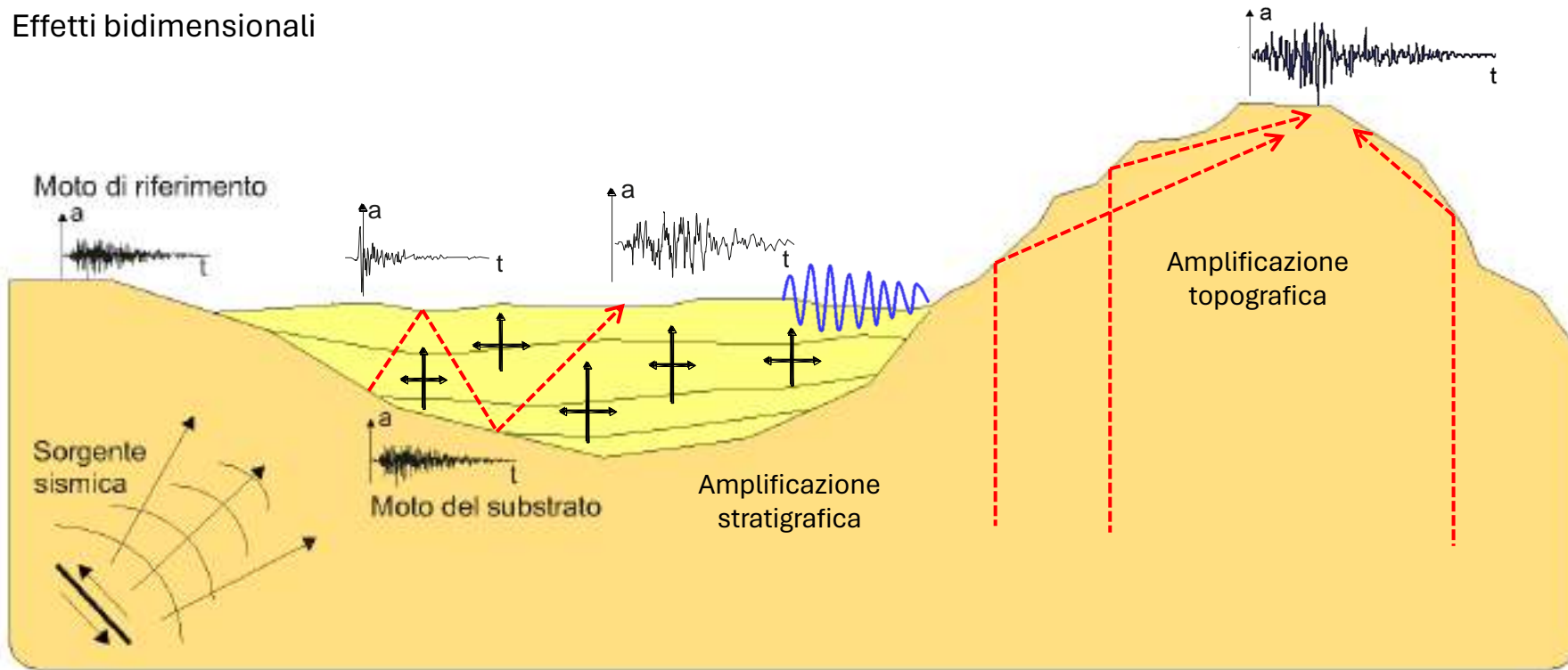
2D: valli alluvionali, creste, colli, rilevati



Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

1) Scelta della schematizzazione geometrica

Effetti bidimensionali



Osservazioni intuitive:

1) L'effetto della topografia può essere significativo quando l'irregolarità topografica ha dimensioni prossime al campo di valori della **lunghezza d'onda incidente** ($2L \approx \lambda$)

2) L'amplificazione in sommità ad un rilievo aumenta con la **ripidità del versante**

Effetti geometrici 2D e 3D proporzionali al **fattore di forma H/L**

Amplificazione stratigrafica:

- **riflessioni** multiple e **diffrazione**
- **conversione** di onde di volume in **onde di superficie**

Amplificazione topografica:

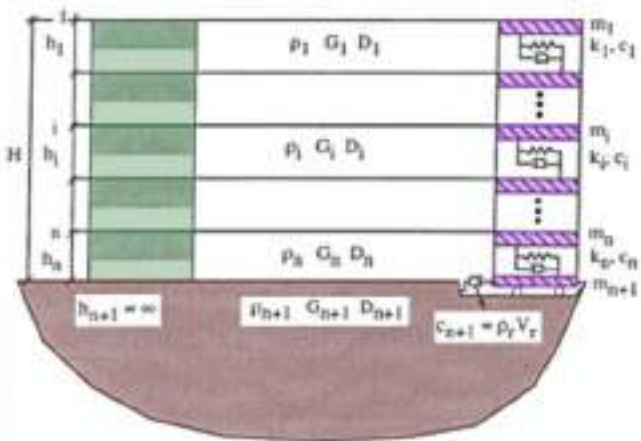
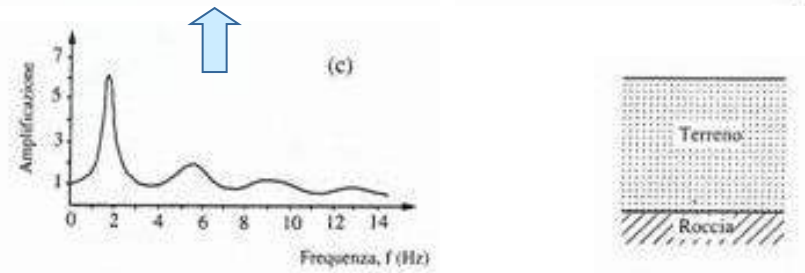
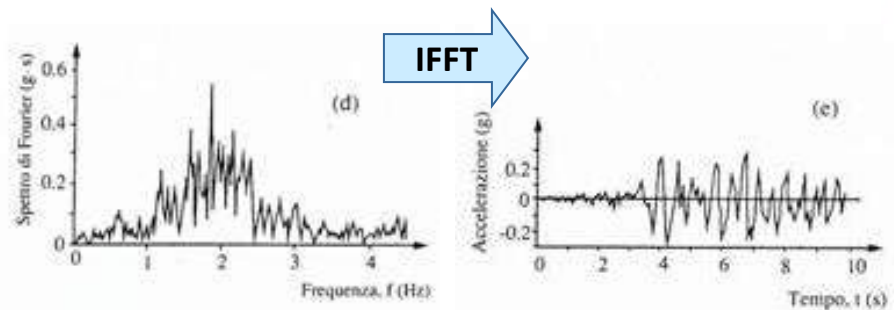
- **focalizzazione** di onde incidenti e riflesse
- **risonanza** del rilievo

Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

Metodi di analisi numerica del sottosuolo stratificato

Modello a strati continui:

- determina la soluzione nel dominio delle frequenze
- calcola la funzione di trasferimento strato per strato



Modello a masse concentrate:

- Il deposito viene schematizzato con masse concentrate, collegate mediante molle e smorzatori che simulano leggi sforzi-deformazioni non lineari.
- Il problema si risolve risolvendo n equazioni.

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C} \cdot \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K} \cdot \mathbf{u} = \mathbf{1} \cdot c_{n+1} \dot{\mathbf{u}}_r$$

• **M** = matrice delle masse

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_1 & & & & & \\ & m_2 & & & & \\ & & \dots & & & \\ & & & m_j & & \\ & & & & \dots & \\ & & & & & m_{n+1} \end{bmatrix}$$

$$m_1 = \frac{\rho_1 h_1}{2} \quad m_j = \frac{\rho_j h_j + \rho_{j-1} h_{j-1}}{2} \quad m_{n+1} = \frac{\rho_n h_n}{2}$$

• **K** = matrice delle rigidità

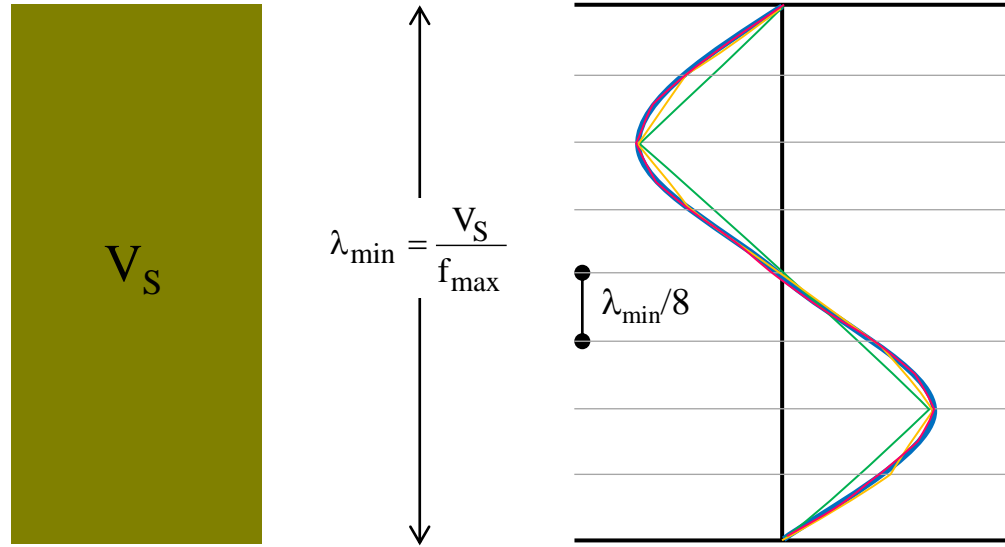
$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & & & & \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & & & \\ & & \dots & & & \\ & & & -k_{j-1} & k_{j-1} + k_j & -k_j \\ & & & & \dots & \\ & & & & & -k_n & k_n \end{bmatrix} \quad k_j = \frac{G_j}{h_j}$$

• **C** = matrice degli smorzamenti

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_1 & -c_1 & & & & \\ -c_1 & c_1 + c_2 & -c_2 & & & \\ & & \dots & & & \\ & & & -c_{j-1} & c_{j-1} + c_j & -c_j \\ & & & & \dots & \\ & & & & & -c_n & c_n \end{bmatrix}$$

Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

Discretizzazione del dominio di analisi



Per soddisfare l'ipotesi di distribuzione lineare di spostamenti lungo un elemento/sottostrato Kuhlemeyer & Lysmer (1973) suggeriscono una regola aurea per ottimizzare la discretizzazione di uno strato con velocità V_S :

almeno $3 \div 4$ punti per semi-lunghezza d'onda

$$h_{max} = \frac{\lambda_{min}}{6 \div 8} = \frac{V_S}{(6 \div 8) f_{max}}$$

dove f_{max} = massima frequenza significativa del segnale in ingresso

Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

Codici di analisi dinamica

Geometria	Codice di calcolo	Fonte	Discretizzazione Dominio di analisi Metodo di analisi	Condizioni frontiera laterale	Legame costitutivo
1D	SHAKE e derivati EERA STRATA DEEPSOIL DF	Schnabel et al. (1972) Bardet et al. (2000) Kottke e Rathje (2008) Hashash (2012)	Continuo Dominio frequenza Lineare equivalente	-	Tensioni totali Visco-elastico
	DESRA e derivati NERA DEEPSOIL DT ACST	Finn et al. (1976) Bardet e Tobita (2001) Hashash (2012) Ausilio et al. (2008)	MDOF Dominio tempo Non lineare	-	Tensioni totali Isteretico
2D	QUAD4M QUAKE/W	Hudson et al. (1994) www.geo-slope.com/	F.E.M. Dominio tempo Lineare equivalente	Rigida Assorbente	Tensioni totali Visco-elastico
2D/3D	FLAC	www.itascacg.com/software	F.D.M. Dominio tempo Non lineare	Assorbente <i>Free-field</i>	Tensioni efficaci Isteretico/Elasto-plastico
	GEFDYN PLAXIS ABAQUS	Aubry e Modaressi (1996) www.plaxis.nl www.3ds.com/products-services/simulia/overview/	F.E.M. Dominio tempo Non lineare	Assorbente	Tensioni efficaci Elasto-plastico

Tensioni totali

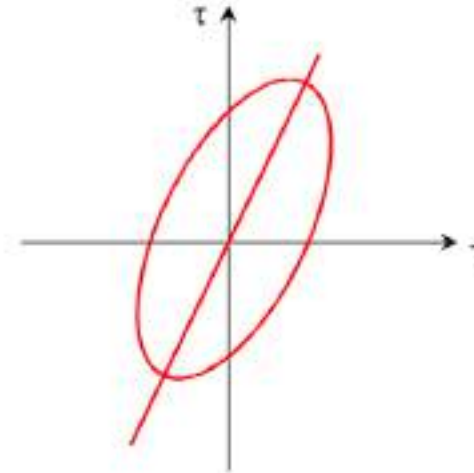
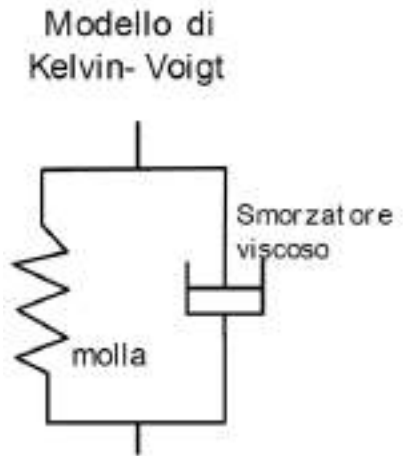
Tensioni efficaci

MDOF = sistema a masse concentrate; F.E.M. = metodo agli elementi finiti; F.D.M. = metodo alle differenze finite

Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

Analisi/Modello elastico lineare

Il modello fa riferimento al modello reologico molla-smorzatore viscoso in parallelo di Kelvin-Voigt assumendo rigidità (G) e smorzamento (D) costanti



Parametri

H : spessore degli strati

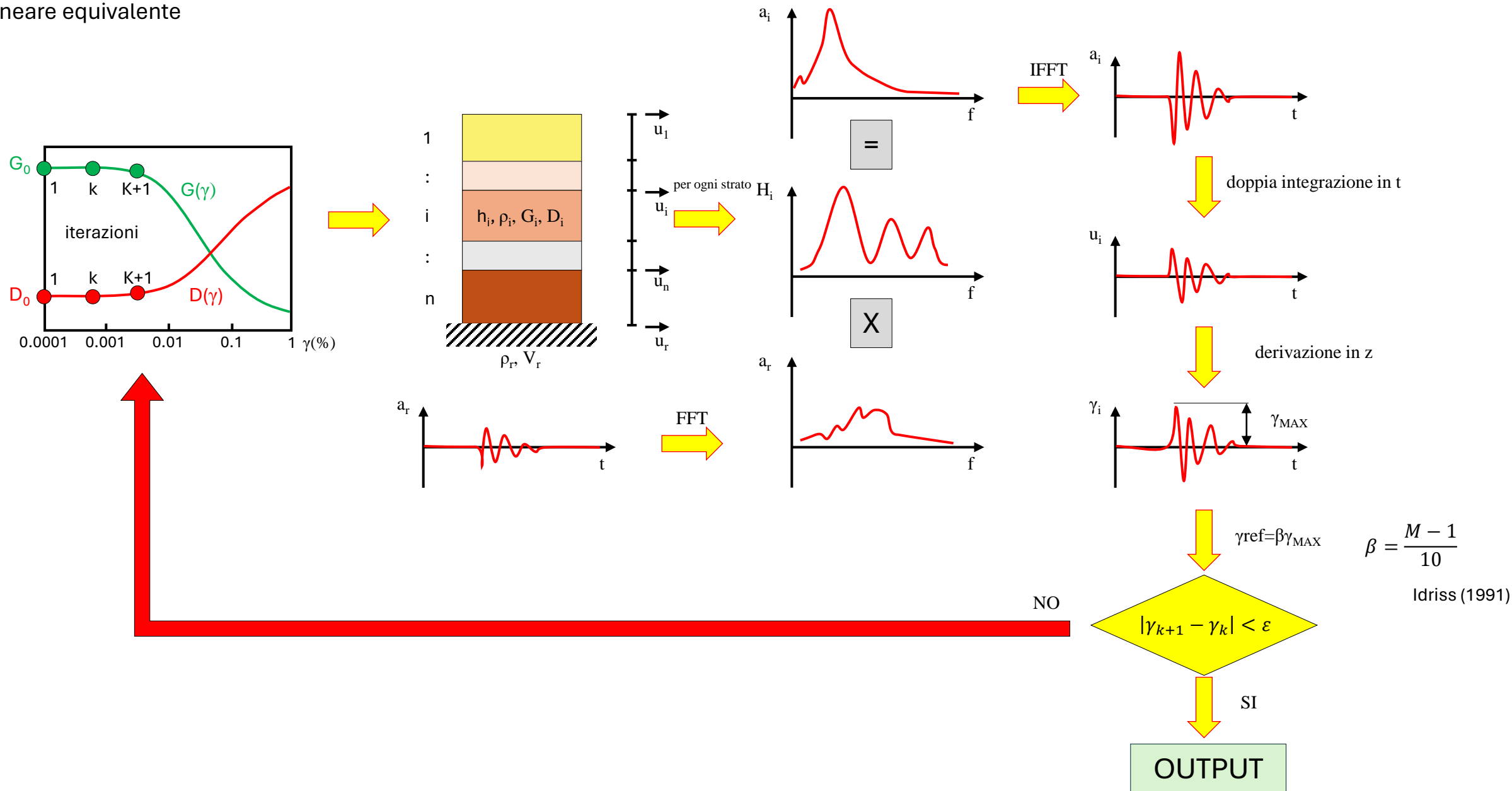
ρ : densità

G_0 : modulo di rigidità (ottenibile da V_s)

D_0 : modulo smorzamento viscoso

Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

Analisi lineare equivalente



Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

Analisi/modelli non lineari a parametri variabili

Formulazione diretta: $G = f(\gamma)$

Modello Iperbolico

(Hardin & Drnevich, 1972)

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + (\gamma/\gamma_r)}$$

γ_r = deformazione di riferimento = τ_y/G_0

τ_y = tensione tangenziale limite τ_y

Curva di primo carico "backbone":

$$\tau = F_{bb}(\gamma) = \frac{\gamma \cdot G_0}{1 + (\gamma/\gamma_r)}$$

Modello Iperbolico modificato (MKZ)

(Matasovic & Vucetic, 1995)

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \beta(\gamma/\gamma_r)^s}$$

γ_r = deformazione di riferimento

β, s = parametri adimensionali di forma

Curva di primo carico "backbone":

$$\tau = F_{bb}(\gamma) = \frac{\gamma \cdot G_0}{1 + \beta(\gamma/\gamma_r)^s}$$

Formulazione inversa: $\gamma = F(G)$

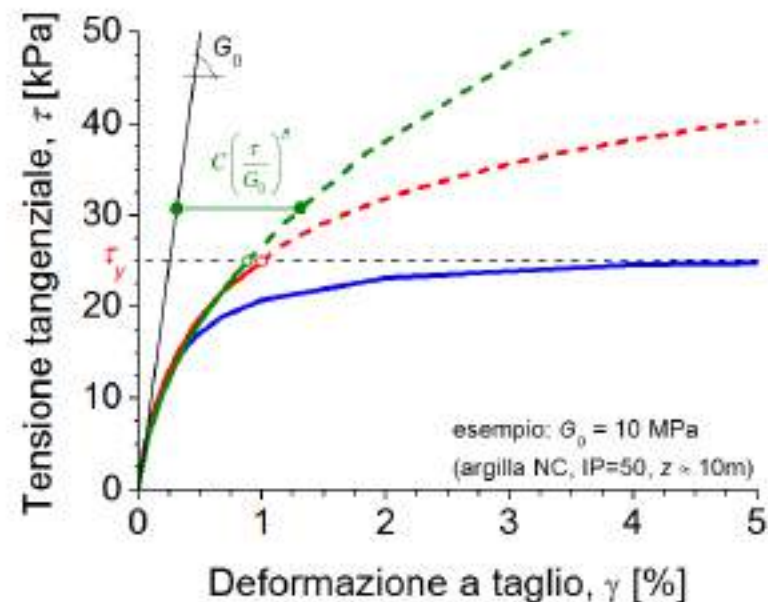
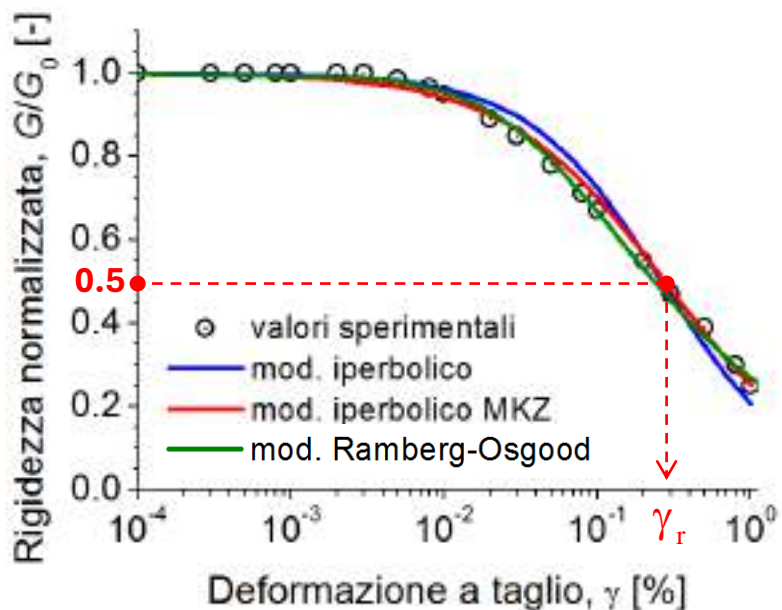
Ramberg-Osgood (1944)

$$\gamma = \frac{\tau}{G_0} + C \left(\frac{\tau}{G_0} \right)^R \quad \gamma(G) = \left(\frac{1 - G/G_0}{C \left(G/G_0 \right)^R} \right)^{\frac{1}{R-1}}$$

R, C = parametri adimensionali di forma

Curva di primo carico "backbone":

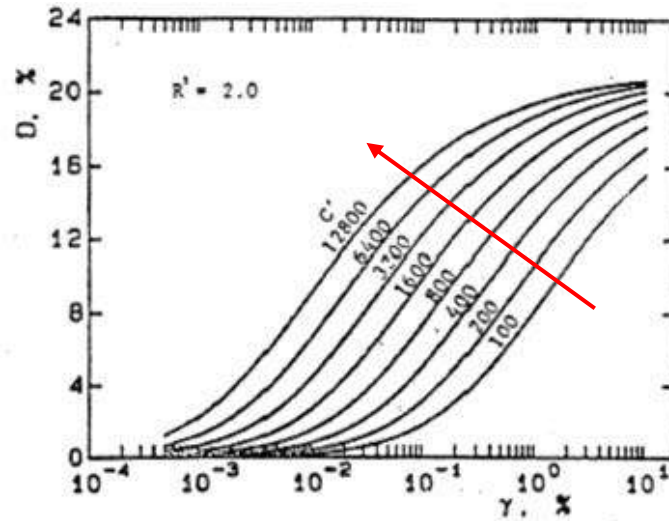
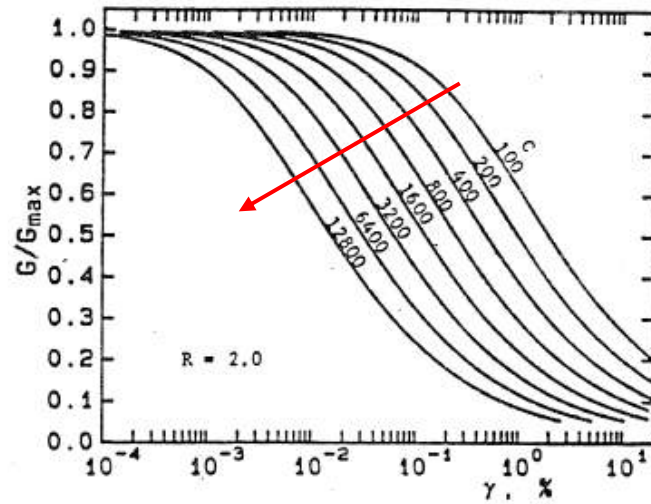
$$\tau = F_{bb}(\gamma) \rightarrow \gamma = \frac{\tau}{G_0} + C \left(\frac{\tau}{G_0} \right)^R$$



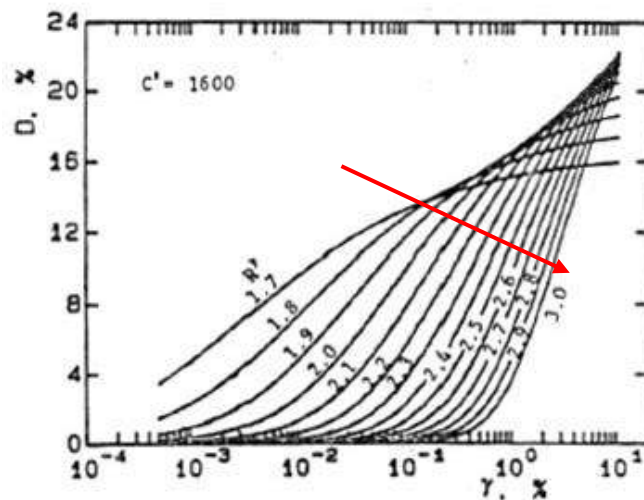
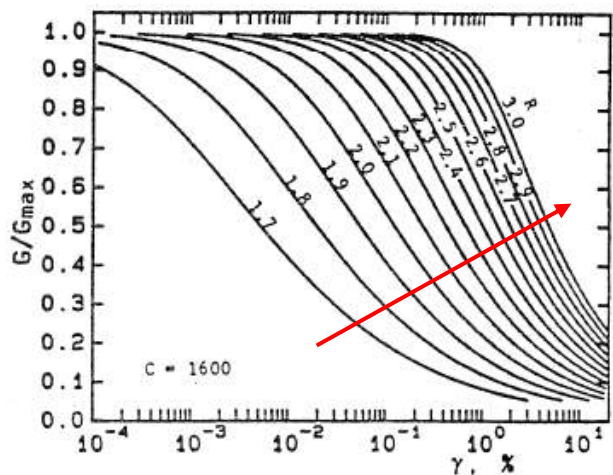
Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

Analisi/modelli non lineari a parametri variabili

Influenza di C sulla posizione



Influenza di R sulla curvatura



Formulazione inversa: $\gamma = F(G)$

Ramberg-Osgood (1944)

$$\gamma = \frac{\tau}{G_0} + C \left(\frac{\tau}{G_0} \right)^R \quad \gamma(G) = \left(\frac{1 - G/G_0}{C \left(G/G_0 \right)^R} \right)^{\frac{1}{R-1}}$$

R, C = parametri adimensionali di forma

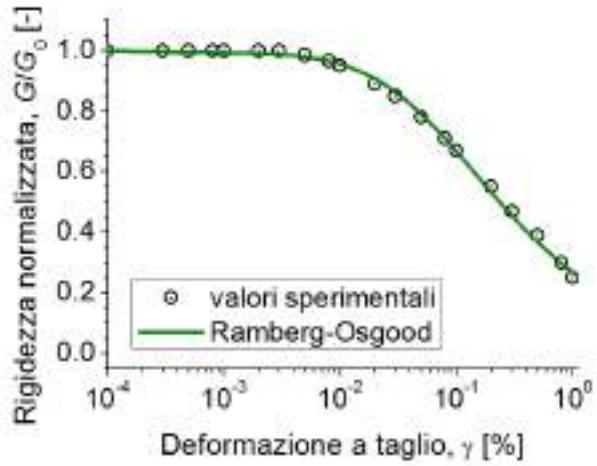
Curva di primo carico "backbone":

$$\tau = F_{bb}(\gamma) \rightarrow \gamma = \frac{\tau}{G_0} + C \left(\frac{\tau}{G_0} \right)^R$$

Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

Analisi/modelli non lineari a parametri variabili – gestione del percorso di carico ciclico

Modello a parametri variabili

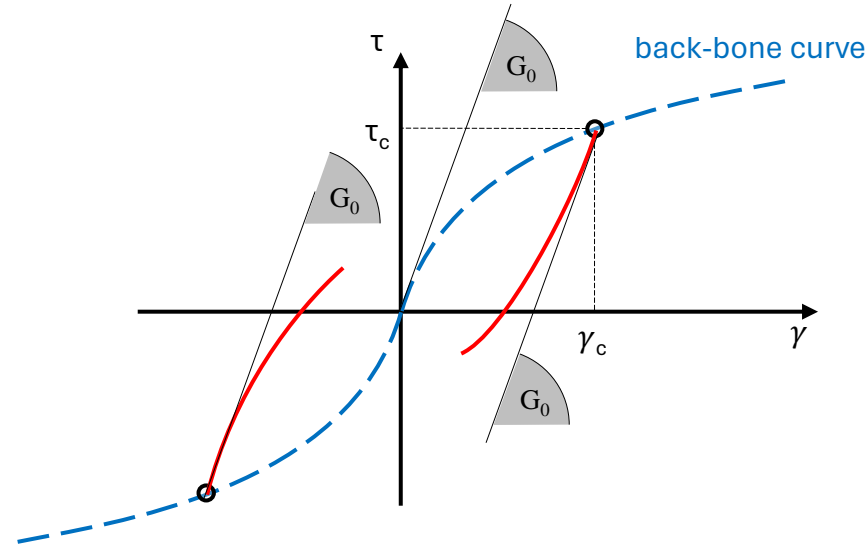


$$\gamma = \frac{\tau}{G_0} + C \left(\frac{\tau}{G_0} \right)^R$$

$$\gamma(G) = \left(\frac{1 - \frac{G}{G_0}}{C \left(\frac{G}{G_0} \right)^R} \right)^{\frac{1}{R-1}}$$

Incrudimento cinematico

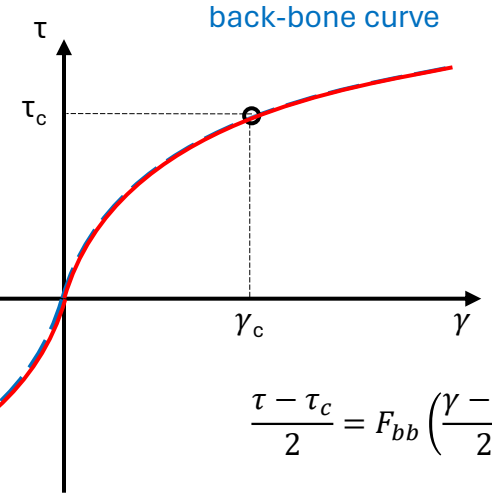
1° criterio di Masing



Il modulo iniziale di ogni scarico-ricarico è uguale al valore di G_0 al primo carico

2° criterio di Masing

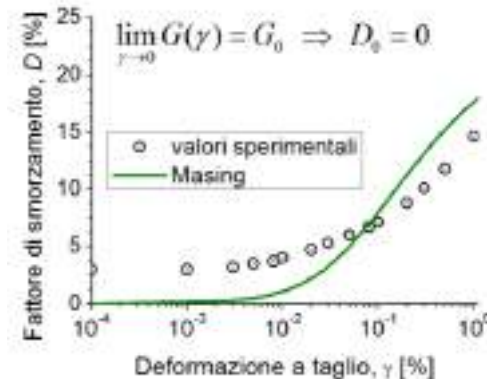
$$\frac{\tau + \tau_c}{2} = F_{bb} \left(\frac{\gamma + \gamma_c}{2} \right)$$



La curva $\tau:\gamma$ di ogni scarico-ricarico si ottiene per omotetia (2:1) di $\tau:\gamma$ al primo carico

Il modello a parametri variabili per $G(\gamma)$ ed i criteri di Masing permettono di definire analiticamente anche la curva $D(\gamma)$

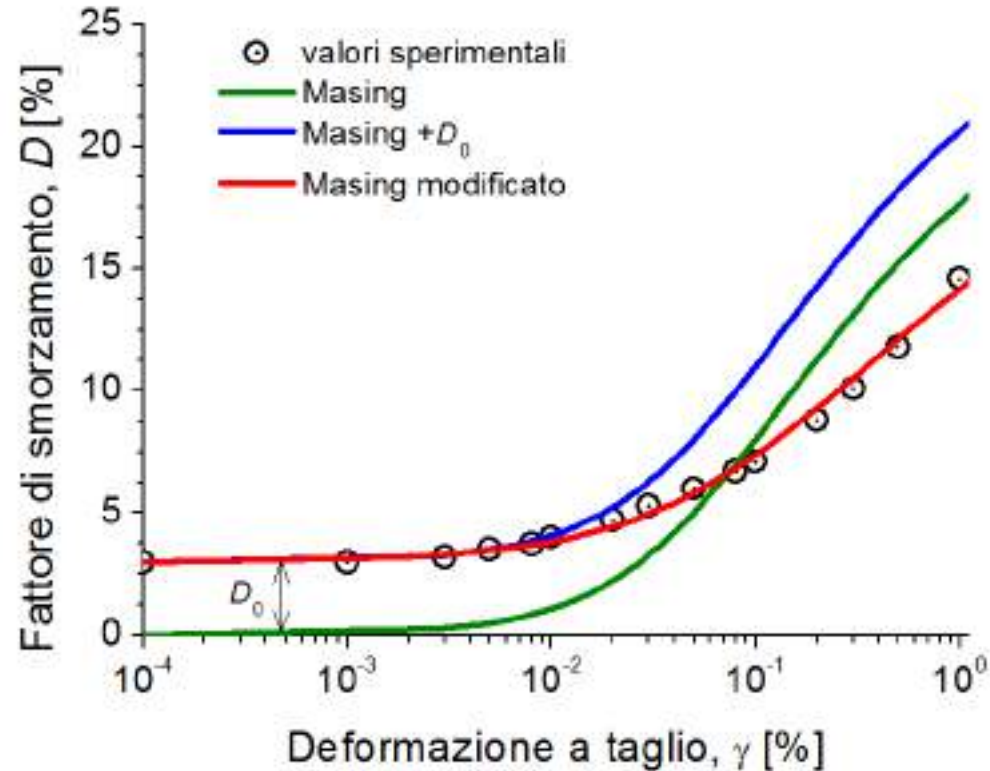
$$D(\gamma) = \frac{2}{\pi} \frac{(R-1)}{(R+1)} \left(1 - \frac{G(\gamma)}{G_0} \right)$$



Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

Analisi/modelli non lineari a parametri variabili – gestione del percorso di carico ciclico

Limitazioni del criterio di Masing



Problema!

I criteri di Masing tendono a:

- sottostimare lo smorzamento iniziale (Masing $\rightarrow D_0=0$)
- sovrastimare lo smorzamento isteretico

Soluzione 1:

aggiungere un $D_0 > 0$

$$D(\gamma) = D_0 + \frac{2(R-1)}{\pi(R+1)} \left(1 - \frac{G(\gamma)}{G_0} \right)$$

Soluzione 2:

Nei codici discreti operanti nel dominio del tempo per superare questa limitazione, è possibile aggiungere uno smorzamento viscoso secondo la formulazione di Rayleigh.

Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

Analisi/modelli non lineari a parametri variabili – gestione del percorso di carico ciclico

Modifica del criterio di Masing

Curva di scarico/ricarico (Phillips & Hashash, 2009):

$$\tau = F(\gamma_m) \cdot \left[\frac{G_0(\gamma - \gamma_c)}{1 + \beta \left(\frac{\gamma - \gamma_c}{2\gamma_r} \right)^s} - \frac{G_0(\gamma - \gamma_c)}{1 + \beta \left(\frac{\gamma_m}{2\gamma_r} \right)^s} \right] + \frac{G_0(\gamma - \gamma_c)}{1 + \beta \left(\frac{\gamma_m}{2\gamma_r} \right)^s} + \tau_c$$

γ_m = deformazione massima raggiunta nella storia di carico del terreno.

Se il carico è armonico $\gamma_m = \gamma_c$

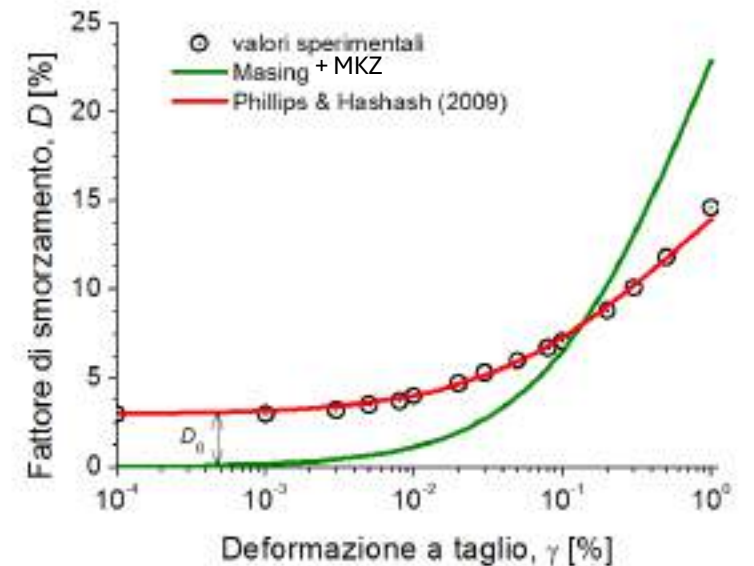
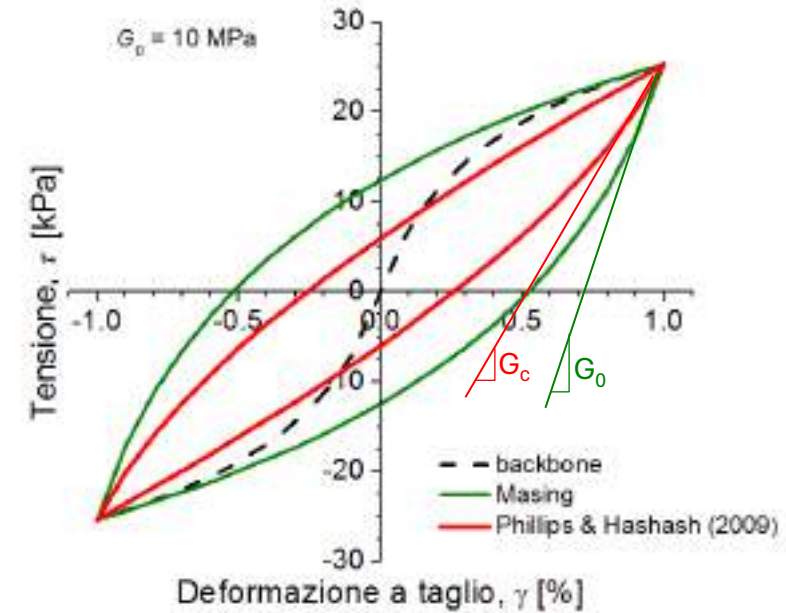
Fattore di riduzione

(calcolato interpolando i dati sperimentali di smorzamento)

$$F(\gamma_m) = \frac{D_{\text{misurato}}}{D_{\text{Masing}}} = p_1 - p_2 \left(1 - \frac{G(\gamma_m)}{G_0} \right)^{p_3}$$

Effetti:

- riduzione dell'ampiezza del ciclo teorico
- rigidità iniziale nella fase di scarico-ricarico, $G_c = f(\gamma_m) \neq G_0$



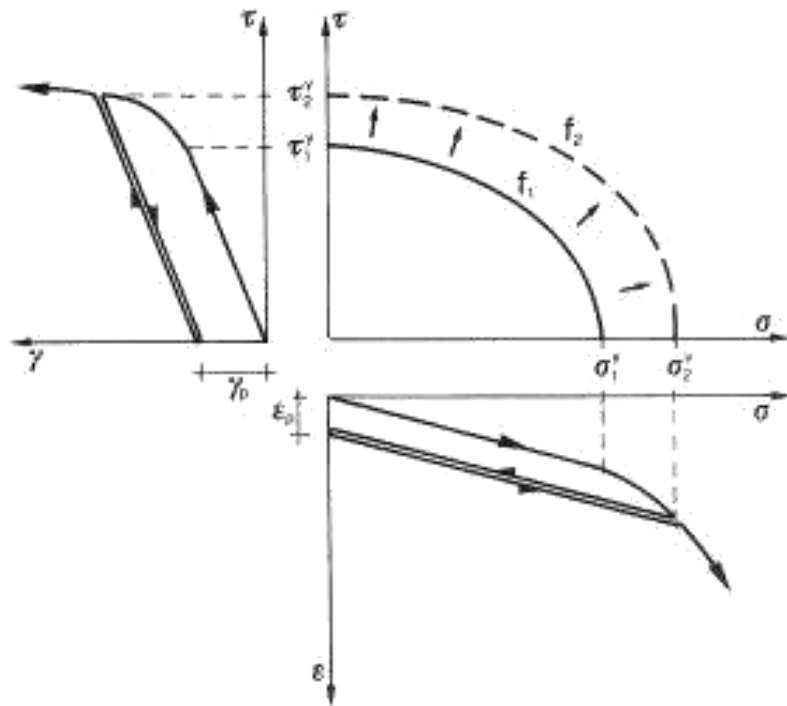
Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

Analisi non lineari con modelli elasto-plastici incrudenti (tensioni efficaci)

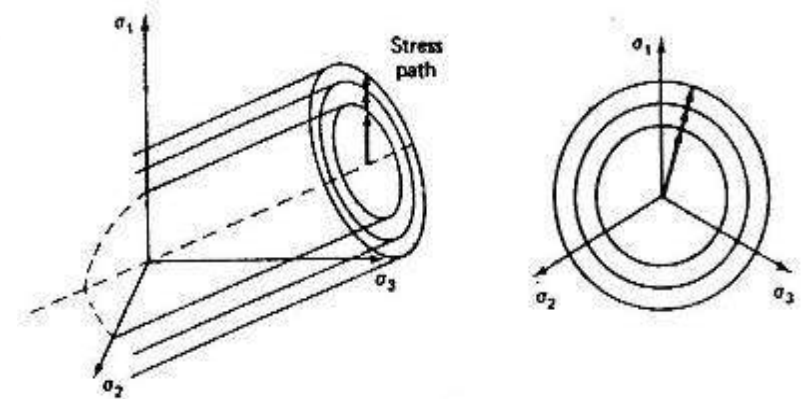
Si basano sulla definizione di:

- un **inviluppo di resistenza** (p.es. Mohr Coulomb), che circoscrive gli stati tensionali limite
- una **superficie di snervamento**, che definisce gli stati di plasticizzazione
- un **criterio di incrudimento**, che ne definisce l'evoluzione con lo stato tensio-deformativo
- una **legge di flusso**, che insieme all'incrudimento definisce l'entità delle deformazioni plastiche (può essere 'associata' o non alla superficie di snervamento)

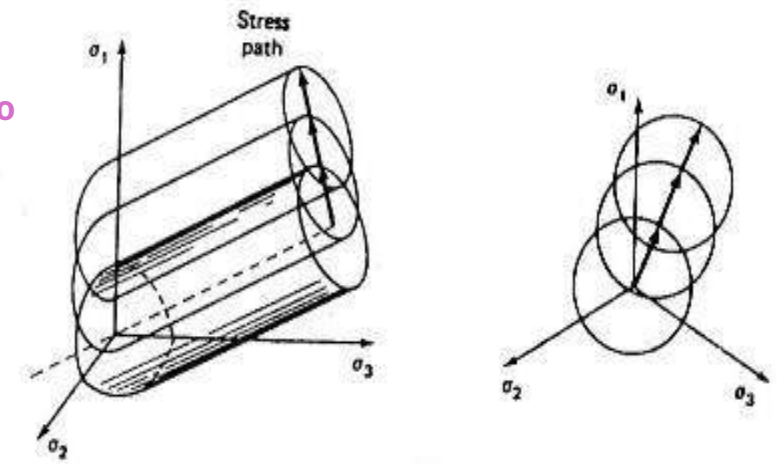
Snervamento e deformazioni plastiche associate



Incrudimento isotropo



Incrudimento cinematico



Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

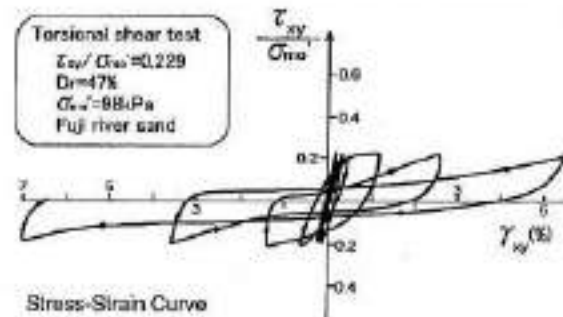
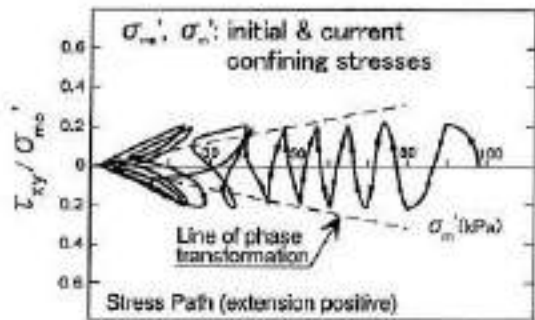
Analisi non lineari con modelli elasto-plastici inelastici (tensioni efficaci)

Prove di taglio ciclico su sabbia del fiume Fuji (*Iai et al., 1992*)

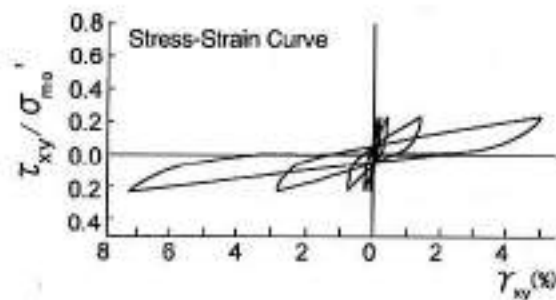
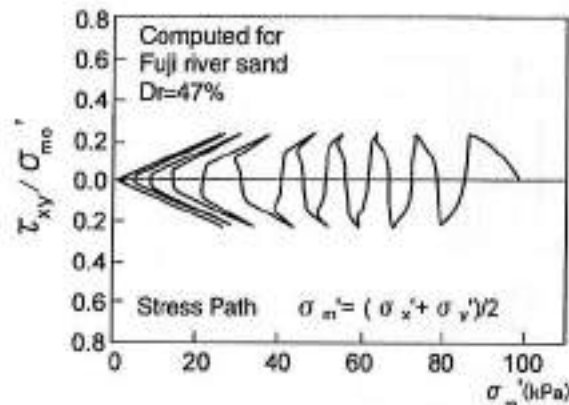
prestazioni su sabbie sciolte

prestazioni su sabbie dense

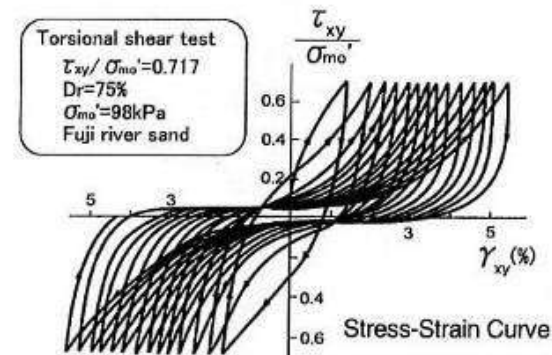
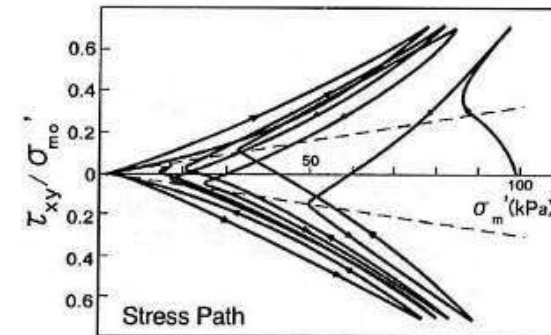
Dati sperimentali



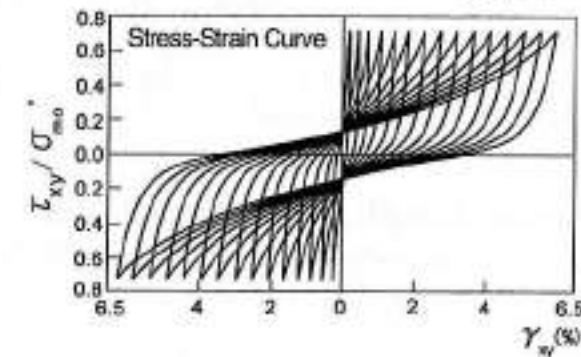
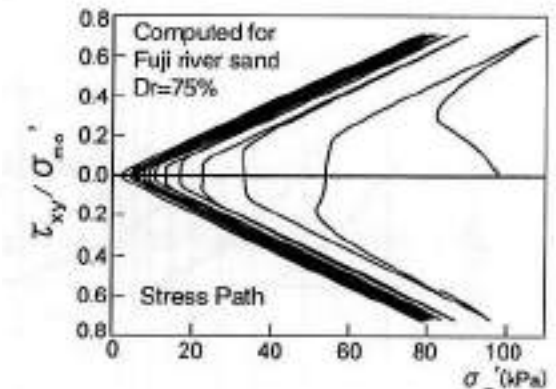
Modello



Dati sperimentali

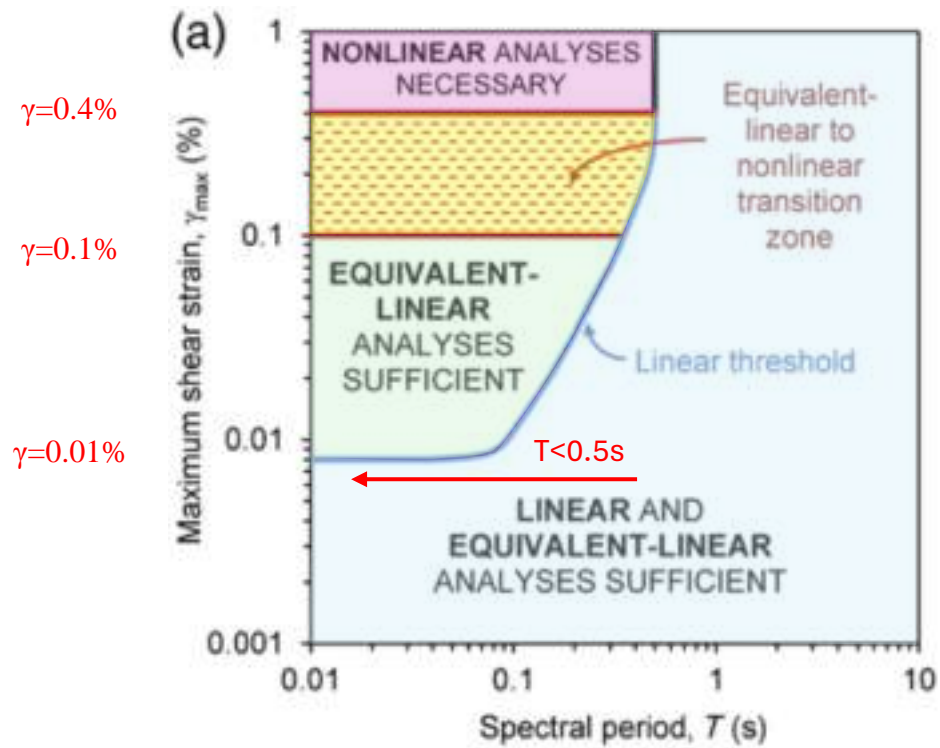


Modello



Modellazione del comportamento ciclico dei terreni

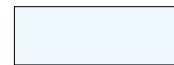
Il campo di applicabilità dei diversi modelli (L, LE e NL) può essere definito rispetto a valori di soglia della deformazione massima γ_{\max}



Per $\gamma > 0.4\%$ le analisi LE sottostimano la risposta (eccesso di non linearità alle alte frequenze), **analisi NL necessarie**



Per $0.01 < \gamma < 0.1\%$ le analisi L sovrastimano la risposta mentre le analisi **LE migliorano sensibilmente la predizione**



Per $T > 0.5s$ gli effetti della non-linearità non sono visibili (**L ed LE comparabili**)

(Kaklamanos et al. 2013)

3.2. AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, **si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.**

C3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Si denomina “**risposta sismica locale**” l’azione sismica che emerge in “superficie” a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido.

La pericolosità sismica è definita in termini di **accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$** , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4. **In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell’area della costruzione.**

2.4.3. VITA NOMINALE DI PROGETTO

La vita nominale di progetto V_N di un’opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l’opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Non sono da considerarsi temporanee le costruzioni o parti di esse che possono essere smantellate con l’intento di essere riutilizzate. Per un’opera di nuova realizzazione la cui fase di costruzione sia prevista in sede di progetto di durata pari a P_N , la vita nominale relativa a tale fase di costruzione, ai fini della valutazione delle azioni sismiche, dovrà essere assunta non inferiore a P_N e comunque non inferiore a 5 anni.

Le verifiche sismiche di opere di tipo 1 o in fase di costruzione possono omettersi quando il progetto preveda che tale condizione permanga per meno di 2 anni.

3.2. AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, **si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.**

C3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Si denomina “**risposta sismica locale**” l’azione sismica che emerge in “superficie” a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido.

La pericolosità sismica è definita in termini di **accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$** , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4. **In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell’area della costruzione.**

2.4.2. CLASSI D’USO

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d’uso così definite:

Classe I: Costruzioni con **presenza solo occasionale di persone**, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda **normali affollamenti**, senza contenuti pericolosi per l’ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. **Industrie con attività non pericolose per l’ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d’uso III o in Classe d’uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.**

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. **Industrie con attività pericolose per l’ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d’uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.**

Classe IV: **Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti**, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. **Industrie con attività particolarmente pericolose per l’ambiente. Reti viarie di tipo A o B**, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, **e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione**, particolarmente dopo un evento sismico. **Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.**

3.2. AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, **si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.**

C3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Si denomina “**risposta sismica locale**” l’azione sismica che emerge in “superficie” a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido.

La pericolosità sismica è definita in termini di **accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$** , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4. **In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell’area della costruzione.**

2.4.3. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L’AZIONE SISMICA

Il valore del coefficiente d’uso C_U è definito, al variare della classe d’uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d’uso C_U

CLASSE D’USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0.7	1.0	1.5	2.0

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V_N per il coefficiente d’uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad [2.4.1]$$

3.2. AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “**pericolosità sismica di base**” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la **risposta sismica locale**.

C3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Si denomina “**risposta sismica locale**” l’azione sismica che emerge in “superficie” a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido.

La pericolosità sismica è definita in termini di **accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$** , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4. **In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell’area della costruzione.**

Gli Stati limite di esercizio (SLE) comprendono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d’uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell’interruzione d’uso di parte delle apparecchiature.

Gli Stati limite ultimi (SLU) comprendono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

3.2. AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “**pericolosità sismica di base**” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la **risposta sismica locale**.

C3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Si denomina “**risposta sismica locale**” l’azione sismica che emerge in “superficie” a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido.

La pericolosità sismica è definita in termini di **accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$** , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4. **In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell’area della costruzione.**

3.2.1. STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l’azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.1.

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R si ricava il periodo di ritorno T_R del sisma utilizzando la relazione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = -\frac{C_U V_N}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Normativa – NTC 2018

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della **velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio**, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{H_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	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.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s .
C	Deposit di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s .
D	Deposit di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s .
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D , con profondità del substrato non superiore a 30 m .

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

27/10/2020 - BOLLETTINO UFFICIALE DELLA REGIONE LAZIO - N. 129

Regione Lazio

Atti della Giunta Regionale e degli Assessori

Deliberazione 20 ottobre 2020, n. 724

Adozione del regolamento regionale concernente "Regolamento regionale per la semplificazione e l'aggiornamento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico. Abrogazione del regolamento regionale 13 luglio 2016, n.14 e successive modifiche"

Art.5 (Contenuto minimo dei progetti)

5. L'analisi di risposta sismica locale per le opere relative alle classi d'uso III e IV, qualora previste dalla deliberazione della Giunta regionale del 23 luglio 2019, n. 493, è obbligatoria.

3.2.3. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

3.2.3.2.1 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

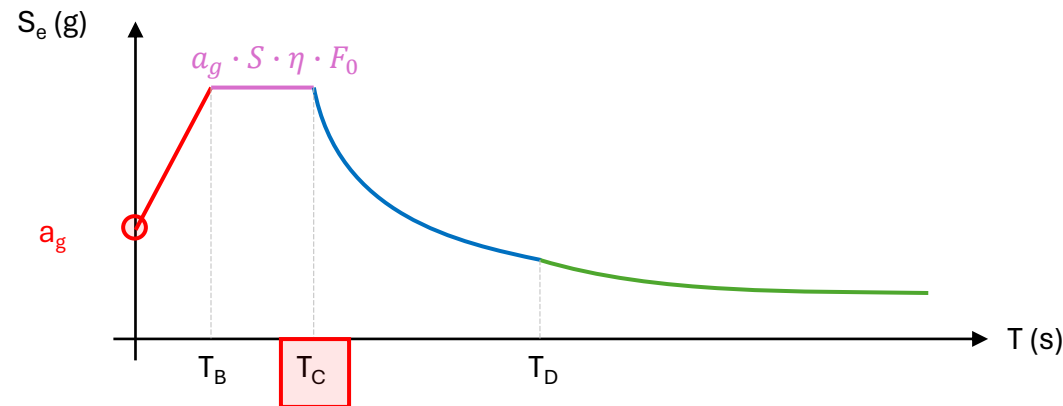
- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad [3.2.2]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$



T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato dalla relazione

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad [3.2.5]$$

dove: T_C^* è definito al § 3.2 e C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (vedi Tab. 3.2.IV);

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante, dato dalla relazione

$$T_B = T_C / 3 \quad [3.2.6]$$

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6 \quad [3.2.6]$$

3.2.3. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

3.2.3.2.1 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

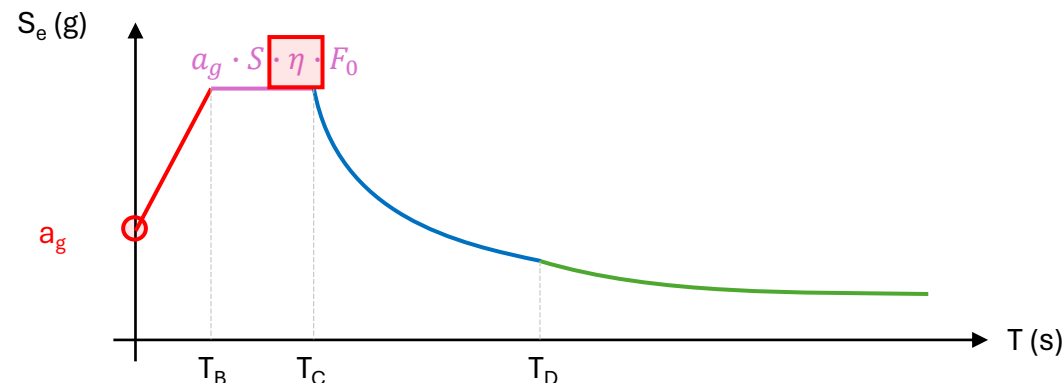
- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad [3.2.2]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$



η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55 \quad [3.2.4]$$

dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base dei materiali, della tipologia strutturale e del terreno di fondazione;

F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

APPROCCIO SEMPLIFICATO

3.2.3. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

3.2.3.2.1 in accelerazione delle componenti orizzontali

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

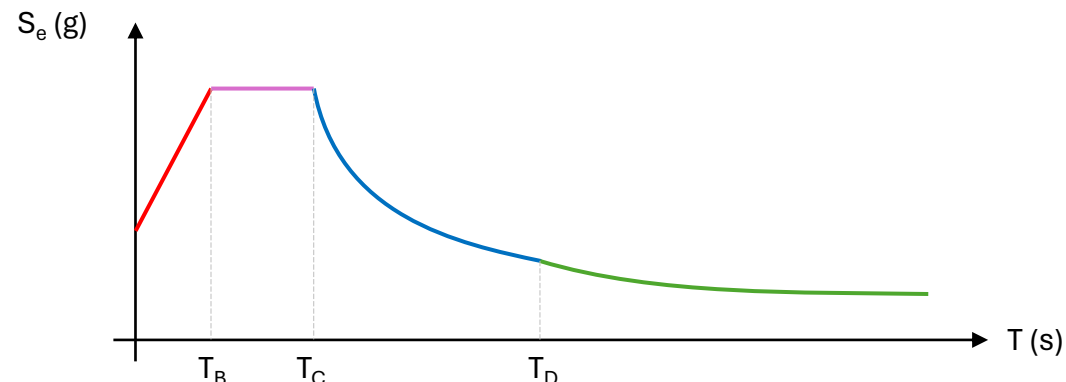
- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad [3.2.2]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$



S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente

$$S = S_S \cdot S_T \quad [3.2.3]$$

Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_S e C_C valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti S_S e C_C possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T_C^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.IV, nelle quali $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità e T_C^* è espresso in secondi.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_S e di C_C

Categoria di sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

APPROCCIO SEMPLIFICATO

3.2.3. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

3.2.3.2.1 in accelerazione delle componenti orizzontali

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad [3.2.2]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente

$$S = S_S \cdot S_T \quad [3.2.3]$$

Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_S e C_C valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti S_S e C_C possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T_C^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.IV, nelle quali $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità e T_C^* è espresso in secondi.

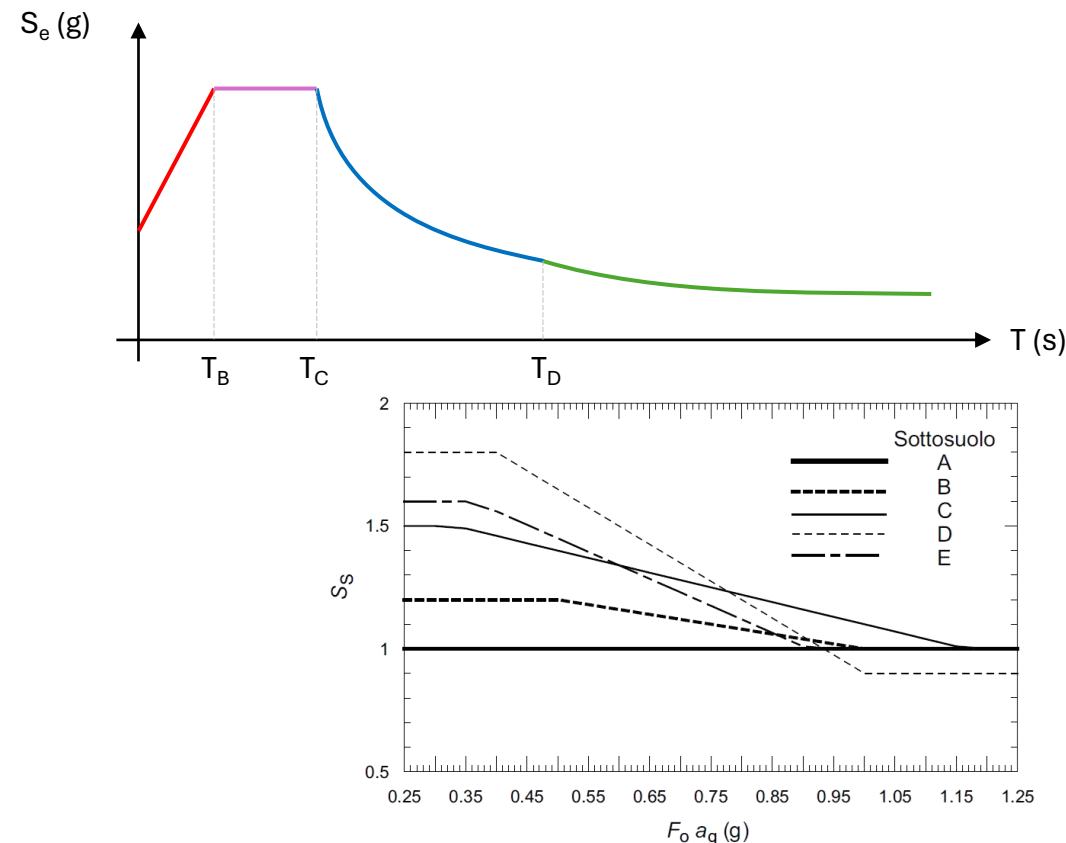


Figura C3.2.3 – Andamento del coefficiente S_S per le componenti orizzontali dell'azione sismica

APPROCCIO SEMPLIFICATO

3.2.3. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

3.2.3.2.1 in accelerazione delle componenti orizzontali

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

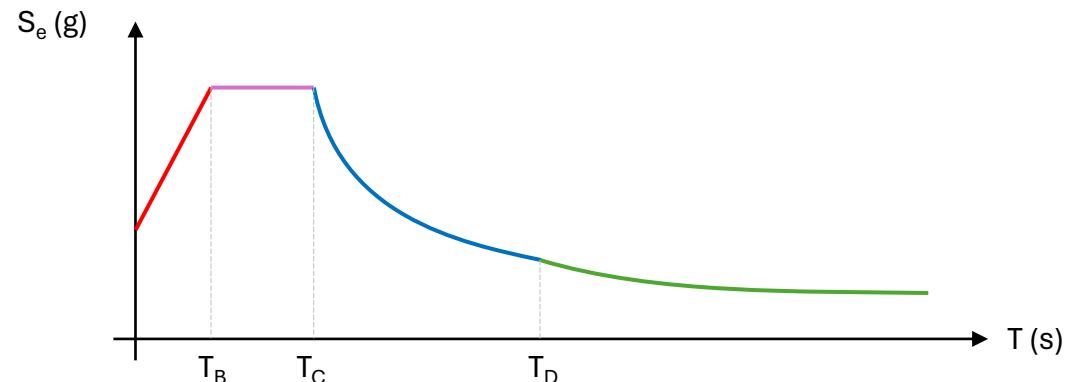
- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad [3.2.2]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$



Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.V, in funzione delle categorie topografiche definite nel § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.



Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	--	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza maggiore di 30°	1,4

3.2.3. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

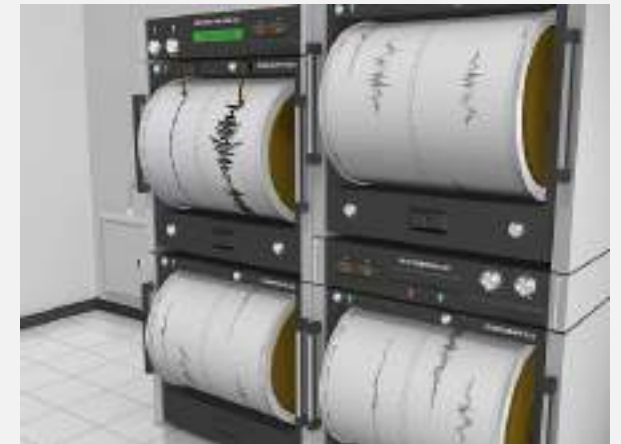
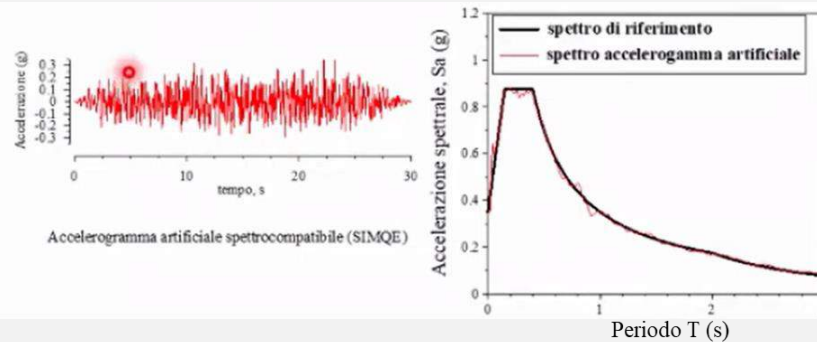
Sintetici: generati mediante modelli numerici che simulano l'origine (rottura crostale) e la propagazione dell'azione sismica (**PRO** utili allorché il sito è molto vicino alla faglia perché capaci di riprodurre le pulsazioni di medio-lungo periodo, **CONTRO** necessitano di un livello di conoscenza del modello sismologico, geologico e geotecnico molto approfondito e di un onere computazionale gravoso)



Tipologie di accelerogrammi

Artificiali: generati mediante algoritmi stocastici che generano accelerogrammi spettrocompatibili (es. software SISMQKE, Belfagor). (**PRO** perfetta spettrocompatibilità, **CONTRO** caratterizzati da un eccessivo numero di cicli di elevata ampiezza un contenuto energetico irrealistico)

Naturali: accelerogrammi registrati di eventi sismici reali



3.2.3. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

3.2.3.6 IMPIEGO DI STORIE TEMPORALI DEL MOTO DEL TERRENO

Gli stati limite, ultimi e di esercizio, possono essere verificati mediante l'uso di storie temporali del moto del terreno artificiali o naturali. Ciascuna storia temporale descrive una componente, orizzontale o verticale, dell'azione sismica; l'insieme delle tre componenti (due orizzontali, tra loro ortogonali, ed una verticale) costituisce un gruppo di storie temporali del moto del terreno.

La durata delle **storie temporali artificiali** del moto del terreno deve essere stabilita sulla base della magnitudo e degli altri parametri fisici che determinano la scelta del valore di a_g e di S_g . In assenza di studi specifici, **la parte pseudo-stazionaria dell'accelerogramma associato alla storia deve avere durata di 10 s e deve essere preceduta e seguita da tratti di ampiezza crescente da zero e decrescente a zero, in modo che la durata complessiva dell'accelerogramma sia non inferiore a 25 s.**

Gli accelerogrammi artificiali devono avere uno spettro di risposta elastico coerente con lo spettro di risposta adottato nella progettazione. **La coerenza con lo spettro di risposta elastico è da verificare in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi, per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del 5%. L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico, in alcun punto del maggiore tra gli intervalli $0,15s \div 2,0s$ e $0,15s \div 2T$, in cui T è il periodo proprio di vibrazione della struttura in campo elastico, per le verifiche agli stati limite ultimi, e $0,15s \div 1,5T$, per le verifiche agli stati limite di esercizio. Nel caso di costruzioni con isolamento sismico, il limite superiore dell'intervallo di coerenza è assunto pari a $1,2 T_{is}$, essendo T_{is} il periodo equivalente della struttura isolata, valutato per gli spostamenti del sistema d'isolamento prodotti dallo stato limite in esame.**

L'uso di storie temporali del moto del terreno artificiali non è ammesso nelle analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici.

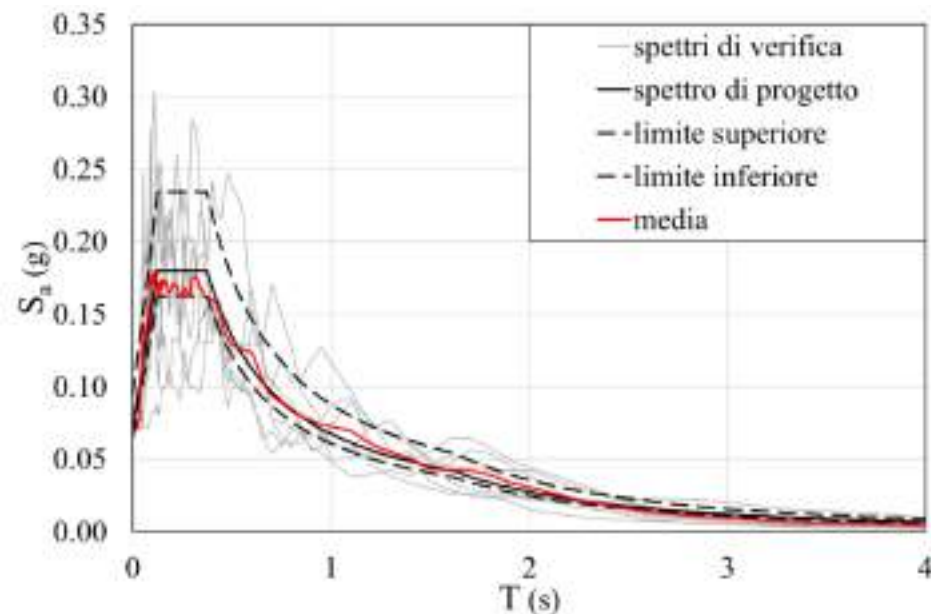
L'uso di storie temporali del moto del terreno generate mediante simulazione del meccanismo di sorgente e della propagazione è ammesso a condizione che siano adeguatamente giustificate le ipotesi relative alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente e del mezzo di propagazione e che, negli intervalli di periodo sopraindicati, l'ordinata spettrale media non presenti uno scarto in difetto superiore al 20% rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico.

3.2.3. VALUTAZIONE DELL’AZIONE SISMICA

3.2.3.6 IMPIEGO DI STORIE TEMPORALI DEL MOTO DEL TERRENO

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 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. 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.



3.2.3. VALUTAZIONE DELL’AZIONE SISMICA

C3.2.3.6 IMPIEGO DI STORIE TEMPORALI DEL MOTO DEL TERRENO

Al fine di soddisfare i suddetti requisiti di spettro-compatibilità, i segnali registrati possono essere scalati linearmente in ampiezza. È tuttavia opportuno contenere il fattore di scala in un intervallo limitato in modo da non alterare eccessivamente i segnali e renderli incompatibili alla magnitudo e alla distanza dalla sorgente degli eventi sismici a cui sono riferiti.

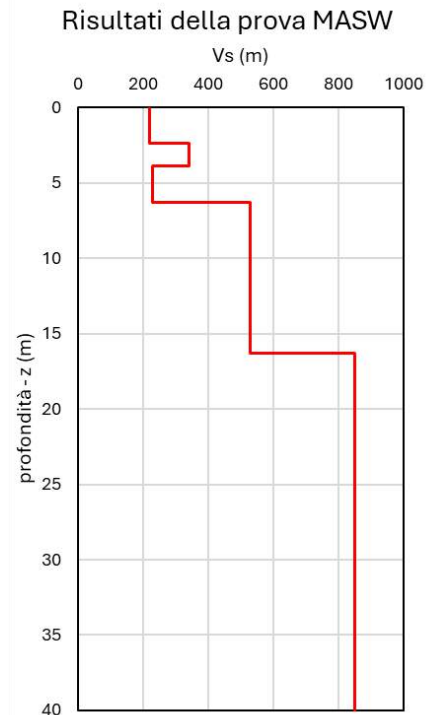
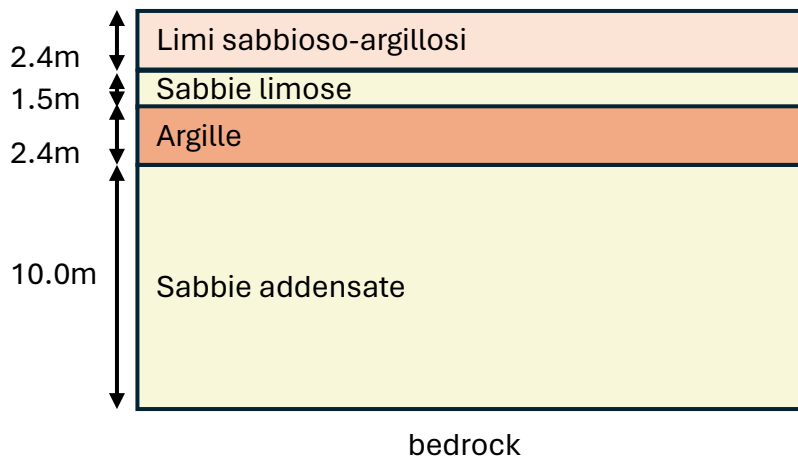
In generale, ciascuna registrazione sismica è costituita da due componenti del moto in direzione orizzontale e una componente in direzione verticale. Mentre in linea di principio è possibile ottenere, differenziando tra loro i fattori di scala, la spettro-compatibilità per ciascuna componente del moto, in pratica può essere opportuno utilizzare un unico fattore di scala per le due componenti orizzontali, selezionato in modo da rendere la risultante delle azioni sismiche nel piano orizzontale compatibile con lo spettro risultante. Uno dei possibili metodi per ottenere questo risultato comprende le seguenti operazioni:

1. per ogni coppia di registrazioni orizzontali, si costruisce uno spettro SRSS, dato dalla radice quadrata della somma dei quadrati degli spettri di ogni componente;
2. lo “spettro medio SRSS” è pari alla media degli spettri SRSS di ciascuna coppia di accelerogrammi, appartenente al medesimo gruppo di storie temporali;
3. le coppie di registrazioni, nel numero indicato dalla norma, devono essere selezionate e scalate in modo tale che lo spettro medio SRSS approssimi, secondo i criteri di coerenza spettrale di norma, lo “spettro di riferimento”, dato dal prodotto dello spettro elastico di progetto per un opportuno coefficiente .

Il valore del coefficiente è in genere non superiore a 1,3 che corrisponde alla risultante di due componenti il cui rapporto è circa pari a 0,85. Tuttavia, nel definire la coerenza spettrale, con particolare riguardo al rapporto fra le componenti accelerometriche, in assenza di studi sismo-tettonici specifici che giustificino scelte differenti, si deve adottare un valore limite per il coefficiente pari a $\sqrt{2}$, ovvero la risultante di due componenti uguali tra loro, come specificato al §3.2.3.1 della norma.

Esempio di RSL Latina

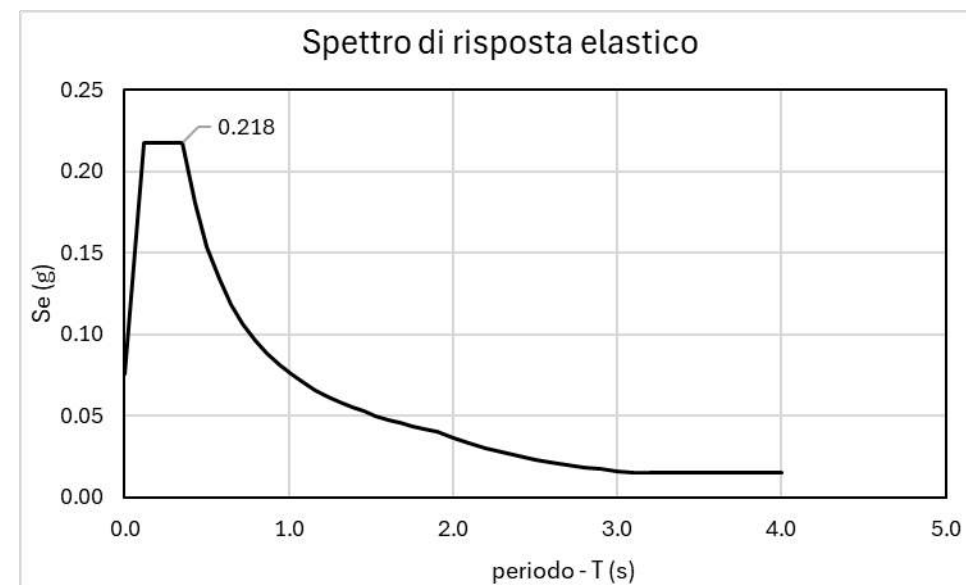
Si vuole studiare la Risposta Sismica Locale per la realizzazione di una costruzione con livelli di prestazioni ordinari e classe d'uso II sul sito di coordinate (Comune di Latina 41.467, 12.905) caratterizzato da una condizione stratigrafica riconducibile ad uno schema di strati orizzontali e piano campagna orizzontale.



z (m)	Vs (m/s)	Hi/Vsi (s)	γ_{sat} (kN/m ³)	IP	OCR	ϕ (°)	
0.0	220.0						
2.4	220.0	0.011	22.0	30.0	1.1	27.0	limi sabbioso-argillosi
2.4	340.0						
3.9	340.0	0.004	21.0	0.0	1.0	33.0	sabbie poco addensate
3.9	230.0						
6.3	230.0	0.010	21.5	50.0	1.0	24.0	argille
6.3	530.0						
16.3	530.0	0.019	21.0	0.0	1.0	37.0	sabbie addensate
16.3	850.0						bedrock
40.0	850.0		21.0				$\xi=0.5\%$



	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T_C^*
SLO	30	0.035	2.548	0.244
SLD	50	0.041	2.569	0.272
SLV	475	0.075	2.887	0.353
SLC	975	0.088	2.958	0.383



Esempio di RSL Latina

https://esse1-gis.mi.ingv.it

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

Selezione Mappa

Visualizza punti della griglia riferiti a:

Parametro dello scuotimento: PGA

Probabilità in 50 anni: 10%

Percentile: 50'

Periodo spettrale (sec.):

Ridisegna mappa

Navigazione

Scala:

(Valori consentiti: 50.000 - 5.000.000)

Scala: 4949102

Coordinate del centro della mappa

Lat.: 41.527

Long.: 12.883

Cambia scala/centro

Ricerca Comune

Il nome contiene:

Ricerca

Risultati Ricerca Comuni

Baia o Lariano (CE)

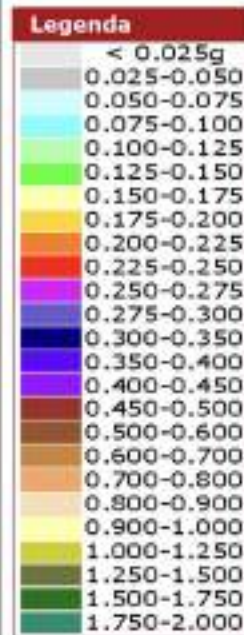
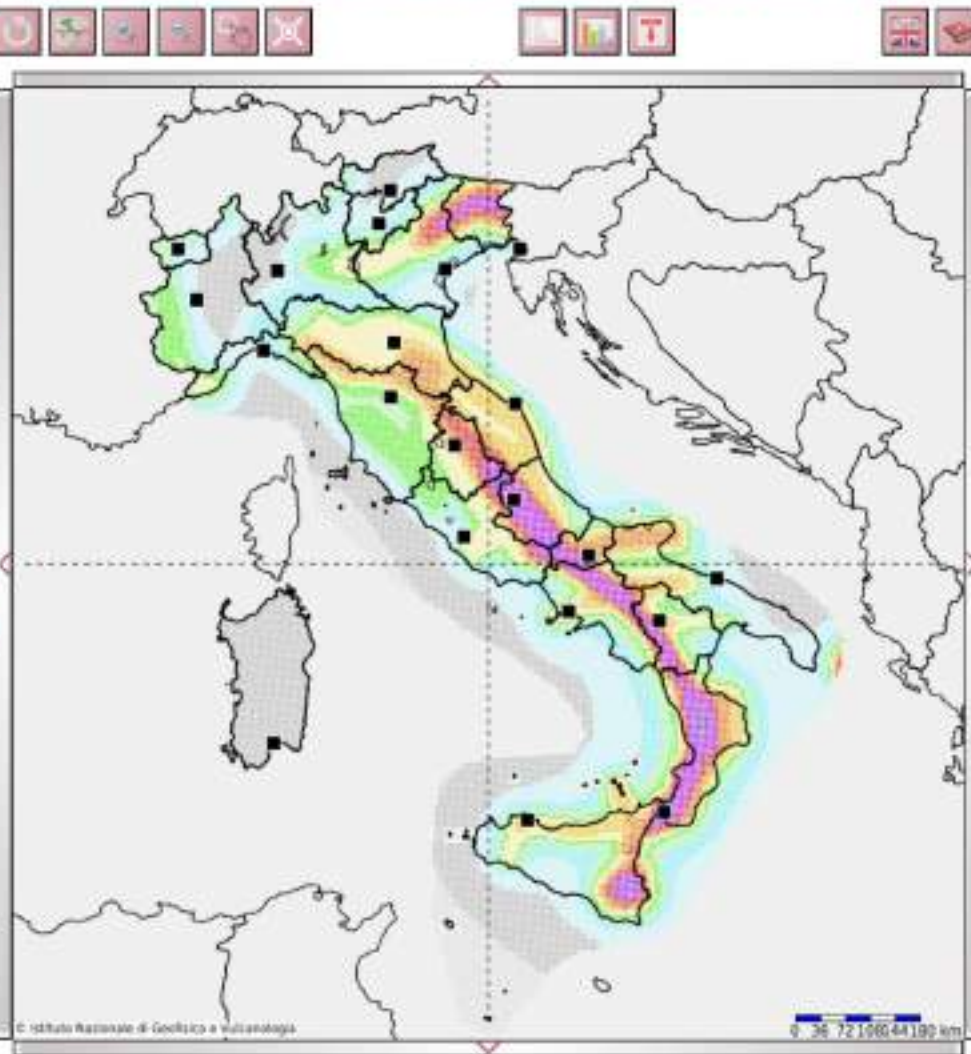
Cisterna di Latina (LT)

Corchiano (LT)

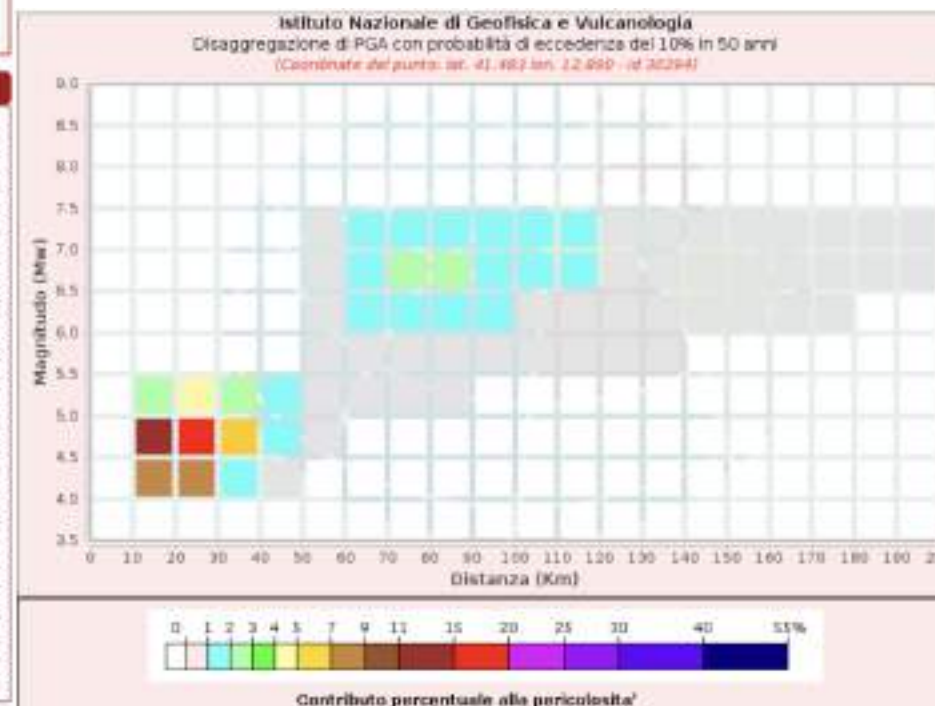
Latina (LT)

Via Latina (FR)

Mostra



Copyright



Esempio di RSL Latina

https://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet_32/#/rexel

ITACA
Glossario Contattaci ITA ENG

REXELweb OK - pronto per il caricamento step#2 [Manuale sistema](#)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOPISICA E vulcanologia

- Homepage
- Info
- Forme d'onda
- Eventi
- Stazioni
- Servizi WEB
- Prodotti
- Strumenti
- Documenti
- Notizie

Spettro Target | Selezione preliminare | Spettro-compatibilità | Affina ricerca

Target
NTC18 - Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 2018)

Tipo di spettro: Alto livello di pericolosità | **Latitudine [°]**: 41.467 | **Longitudine [°]**: 12.905

Accelerazione al suolo ag [g]: 0.16

Categoria Sito: A | **Topografia**: T1

Vita nominale: 50 anni - Costruzioni con livelli di prestazio | **Importanza della struttura**: II | **Stato limite**: SLV (10)

Probabilità di Superamento: 0.5 = 50% in 50 anni, periodo di ritorno 73 | **Livello di Aggregazione**: media

[NUOVA RICERCA](#)

Mappe | **Figura Target** | Figura Selezione preliminare | Figura Spettro-compatibilità

Sommario

Periodo [s]	Spettro Target Orizzontale [cm/s ²]	Spettro Target Verticale [cm/s ²]
0.0	0	0
0.1	150	80
0.2	215	40
0.5	150	20
1.0	80	10
2.0	40	5
3.0	20	3
4.0	10	2

— Spettro Target Orizzontale — Spettro Target Verticale

Esempio di RSL Latina

https://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet_32/#/rexel

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VOLCANOLOGIA

- Homepage
- Info
- Forme d'onda
- Eventi
- Stazioni
- Servizi WEB
- Prodotti
- Strumenti
- Documenti
- Notizie

REXELweb [Glossario](#) [Contattaci](#) [ITA](#) [ENG](#) [Manuale Utente](#)

Spettro Target Selezione preliminare Spettro-compatibilità Affina ricerca

Componente: 1 componente orizzontale

Limite: 500

Classe di sito desunta:
Eventi late-trigger:

Tipo: Classe di sito

Categoria Sito: A B C D E

T1 [s]: 0.150 T2 [s]: 2.000

Tipo di strumento: Qualunque Meccanismo focale: Qualunque

CRITERIO: Magnitudo-Distanza

Tipo di magnitudo: Magnitudo momento o locale

M minima: 4 M massima: 7.5

R minima [km]: 10 R massima [km]: 120

Avanti

Mappe Figura Target Figura Selezione preliminare Figura Spettro-compatibilità

Sommario

Periodo [s]	Spettro Target Orizzontale [cm/s²]	Spettro Target Verticale [cm/s²]
0.1	50	15
0.2	135	40
0.5	70	15
1.0	35	5
2.0	15	2
4.0	5	1

— Spettro Target Orizzontale — Spettro Target Verticale

NUOVA RICERCA

Esempio di RSL Latina

https://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet_32/#/rexel

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

REXELweb

Glossario Contattaci ITA DYG

Manuale Utente

Spettri Target Selezione preliminare Spettro-compatibilità Affina ricerca

Tolleranza inferiore [%] 10 Tolleranza superiore [%] 30 T1 [s] 0.150000 T2 [s] 2.000000

Tolleranza aggiuntiva [%] 0 Dimensione della combinazione 3 Numero di combinazioni 1

Opzione di scalatura Verifica PGA Massimo Fattore di scalatura 5

NUOVA RICERCA

Mappe Figura Target Figura Selezione preliminare Figura Spettro-compatibilità

Sommario

PSA [mm/s²]

Periodo [s]

Spettro Target Orizzontale Tolleranza inferiore/superiore T1/T2 Spettro medio

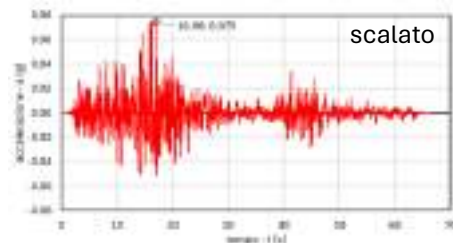
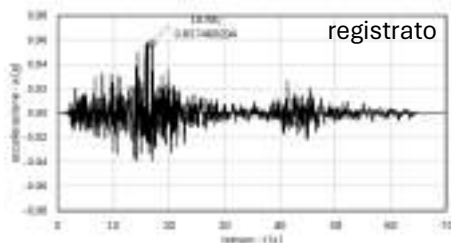
Registrazioni identificate: 7
Combinazioni corrette: 1 (Puntaggio: 6/100)

Combinazione	ID registrazione	ID ITACA	Codice	Codice stazione	SI	Strumento	Dimensione	SA	SW	Tipo di	Dimensione	Classi	Scalatura	Fattore di
id			id							scelta	scelta	PGA	scelta	scelta
1	R.0804I_HL.DMC-20161030_000000	EMSC-20161030_000000	H	MDM	HR	E	5.3	5.9	Vertical/horiz	19.8	A	100%	0.0210	0.1000
1	R.0804I_HL.DMC-20161030_000000	EMSC-20161030_000000	H	MDM	HR	N	5.3	5.9	Vertical/horiz	21.8	A	100%	0.0210	0.1000
1	IT.41738.HNCT-1986-0012	IT-1986-0012	IT	ALT	GD	HR	6.3	6.9	Vertical/horiz	23.4	A	100%	0.0260	0.1000
1	R.7123L_HL.DMC-20161030_000000	EMSC-20161030_000000	H	T102	HR	E	5.3	5.9	Vertical/horiz	18.8	A	100%	0.0210	0.1000
1	IT.0804I_HL.DMC-20161030_000000	EMSC-20161030_000000	IT	MDM	GD	HR	5.3	5.9	Vertical/horiz	17.4	A	100%	0.0200	0.1000
1	R.7123L_HL.DMC-20161030_000000	EMSC-20161030_000000	H	T106	HR	N	6.3	6.9	Vertical/horiz	20.8	A	100%	0.0210	0.1000
1	R.7123L_HL.DMC-20161030_000000	EMSC-20161030_000000	H	T105	HR	E	6.3	6.9	Vertical/horiz	21.5	A	100%	0.0207	0.1000

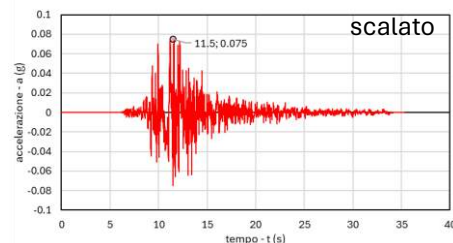
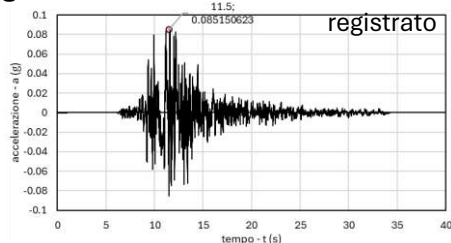
Esempio di RSL Latina

Accelerogramma	PGA _{rec} (g)	t _{PGArec} (s)	PGA _d (g)	FA
1	0.057	16.98	0.075	1.31
2	0.085	11.50	0.075	0.88
3	0.189	14.13	0.075	0.40
4	-0.119	26.21	-0.075	0.63
5	-0.127	26.47	-0.075	0.59
6	0.068	15.56	-0.075	-1.10
7	-0.149	26.34	-0.075	0.50

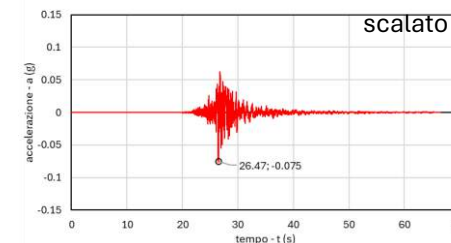
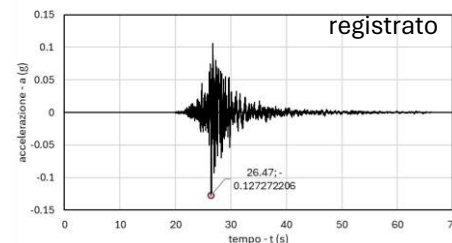
Accelerogramma 01



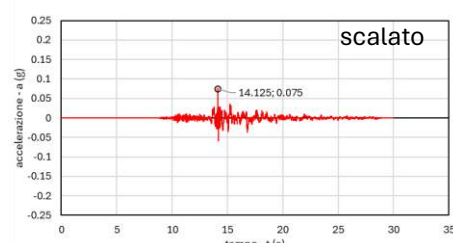
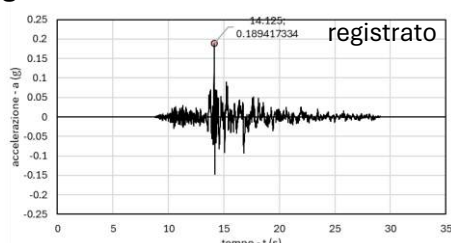
Accelerogramma 02



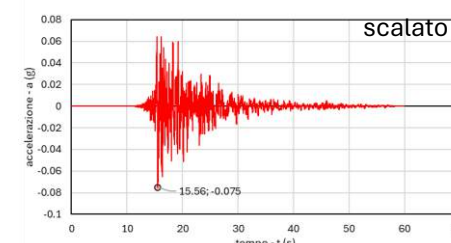
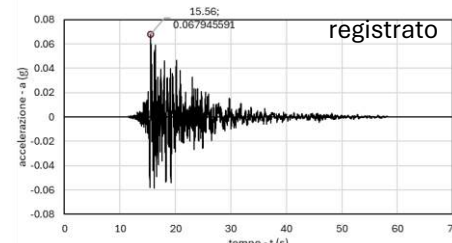
Accelerogramma 05



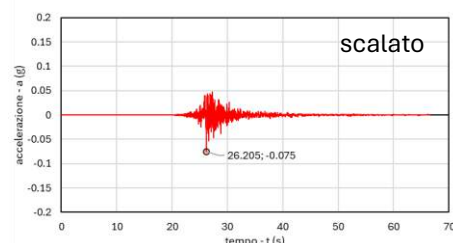
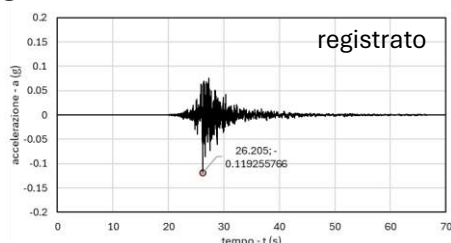
Accelerogramma 03



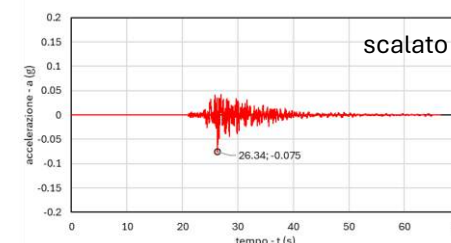
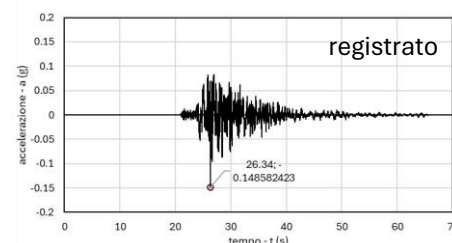
Accelerogramma 06



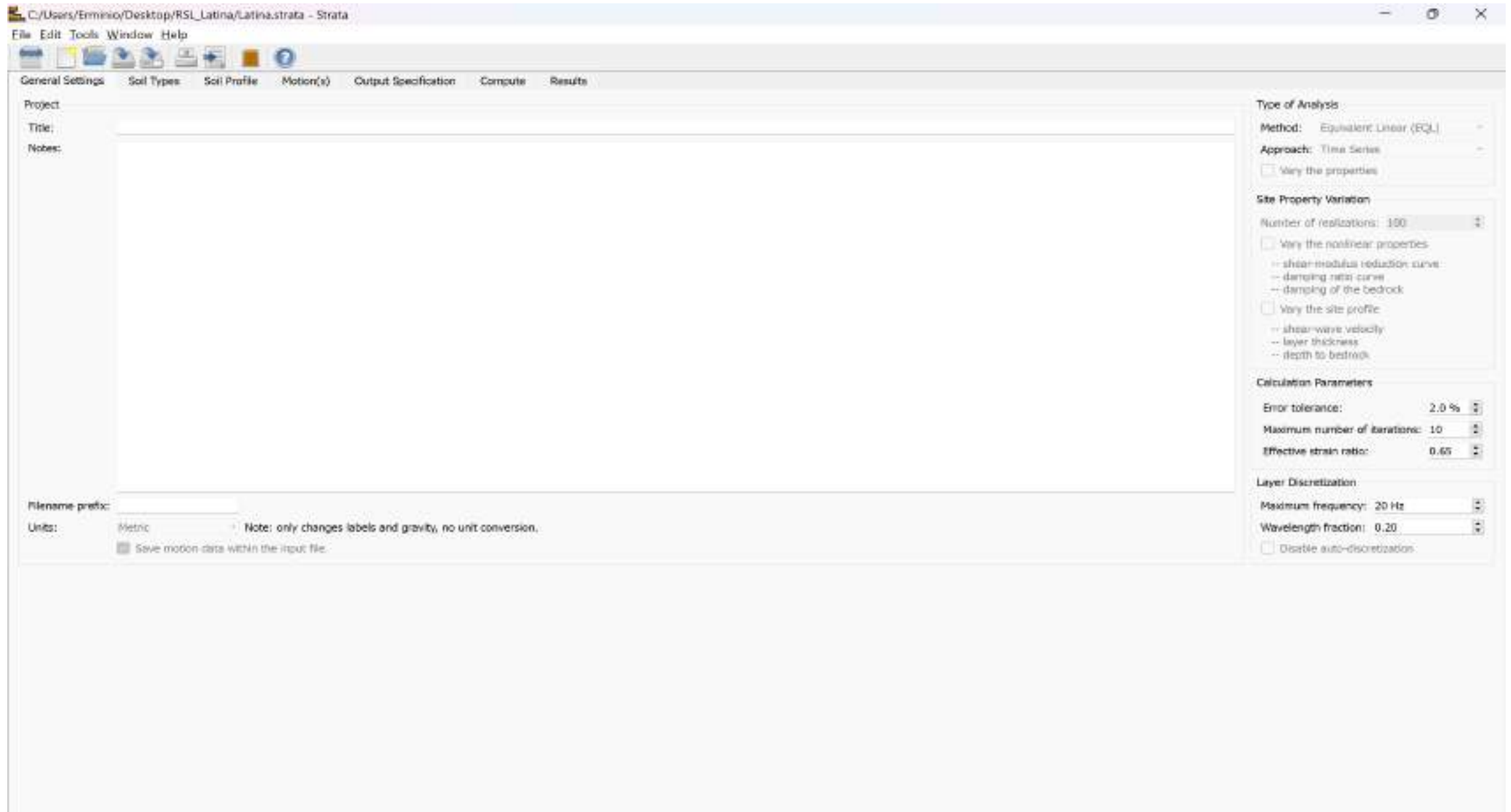
Accelerogramma 04



Accelerogramma 07



Esempio di RSL Latina



Esempio di RSL Latina

C:/Users/Erminio/Desktop/RSL_Latina/Latina.strata - Strata

File Edit Tools Window Help

General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results

Soil Types

Name	Unit Weight (kN/m ³)	G/G _{max} Model	Damping Model	Notes
1 01	22.00	Vucetic & Dobry, PI = 30	Vucetic & Dobry, PI = 30	
2 02	21.00	Seed & Idriss, Sand Mean	Seed & Idriss, Sand Mean	
3 03	21.50	Vucetic & Dobry, PI = 50	Vucetic & Dobry, PI = 50	
4 04	21.00	Seed & Idriss, Sand Mean	Seed & Idriss, Sand Mean	

Bedrock Layer

Unit weight: 22.00 kN/m³ Damping: 1.00 %

Water Table Depth

Depth: 0.00 m

Darendeli and Stokoe Model Parameters

Mean effective stress: 0.10 atm

Plasticity Index: 0

Over-consolidation ratio: 1.00

Excitation frequency: 0.1 Hz

Number of cycles: 1

Nonlinear Property

Esempio di RSL Latina

The screenshot displays the RSL software interface. The window title is "C:/Users/Erminio/Desktop/RSL_Latina/Latina.strata - Strata". The menu bar includes "File", "Edit", "Tools", "Window", and "Help". The toolbar contains icons for file operations and a help icon. The main menu includes "General Settings", "Soil Types", "Soil Profile", "Motion(s)", "Output Specification", "Compute", and "Results". The "Soil Profile" menu item is selected, and the "Site Profile" window is open, displaying a table with the following data:

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	2.40	01	220.00
2	2.40	1.50	02	340.00
3	3.90	2.40	03	230.00
4	6.30	10.00	04	530.00
5	16.30	Half-Space	Bedrock	850.00

Esempio di RSL Latina

The screenshot shows the 'Strata' software window with the 'Input Motions' tab selected. The 'Motion Input Location' is set to 'Bedrock'. The 'Input Motions' section contains a table with 7 rows of data. Each row has a checked checkbox in the first column. The table columns are: Name, Description, Type, PGA (g), PGV (cm/s), and Scale Factor.

	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	<input checked="" type="checkbox"/> 02-scalati-strata\01-Latina.txt		Outcrop	0.08	8.24	1.00
2	<input checked="" type="checkbox"/> 02-scalati-strata\02-Latina.txt		Outcrop	0.08	8.56	1.00
3	<input checked="" type="checkbox"/> 02-scalati-strata\03-Latina.txt		Outcrop	0.08	3.64	1.00
4	<input checked="" type="checkbox"/> 02-scalati-strata\04-Latina.txt		Outcrop	0.08	5.14	1.00
5	<input checked="" type="checkbox"/> 02-scalati-strata\05-Latina.A12		Outcrop	0.08	4.02	1.00
6	<input checked="" type="checkbox"/> 02-scalati-strata\06-Latina.A12		Outcrop	0.08	6.34	1.00
7	<input checked="" type="checkbox"/> 02-scalati-strata\07-Latina.A12		Outcrop	0.08	6.20	1.00

Esempio di RSL Latina

C:/Users/Erminio/Desktop/RSL_Latina/Latina.strata - Strata

File Edit Tools Window Help

General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results

Profiles Time Series Response and Fourier Spectra Ratios Soil Types

Name

- Arias Intensity Profile
- Damping Ratio
- Dissipated Energy Profile
- Final Shear-Wave Velocity Profile
- Initial Shear-Wave Velocity Profile
- Peak Ground Acceleration Profile
- Peak Ground Displacement Profile
- Maximum Error Profile
- Maximum Shear-Strain Profile
- Maximum Shear-Stress Profile
- Peak Ground Velocity Profile
- Shear-Modulus Profile
- Stress Ratio Profile
- Stress Reduction Coefficient (r_d) Profile
- Vertical Total Stress Profile
- Vertical Effective Stress Profile

Profiles Time Series Response and Fourier Spectra Ratios Soil Types

Name	Location	Type	Baseline Correct
1 Acceleration Time Series	0.00 m	Outcrop	<input checked="" type="checkbox"/>

Profiles Time Series Response and Fourier Spectra Ratios Soil Types

Name	Location	Type
1 Acceleration Response Spectrum	0.00 m	Outcrop
2 Fourier Amplitude Spectrum	0.00 m	Outcrop

Profiles Time Series Response and Fourier Spectra Ratios Soil Types

Name	Location 1	Type 1	Location 2	Type 2
1 Acceleration Transfer Function	0.00 m	Outcrop	Bedrock	Outcrop
2 Spectral Ratio	0.00 m	Outcrop	Bedrock	Outcrop

Response Spectrum Properties

Damping: 5.0 %

Minimum: 0.01 s

Maximum: 5.00 s

Point count: 64

Spacing: Log

Frequency Properties

Minimum: 0.05 Hz

Maximum: 50.00 Hz

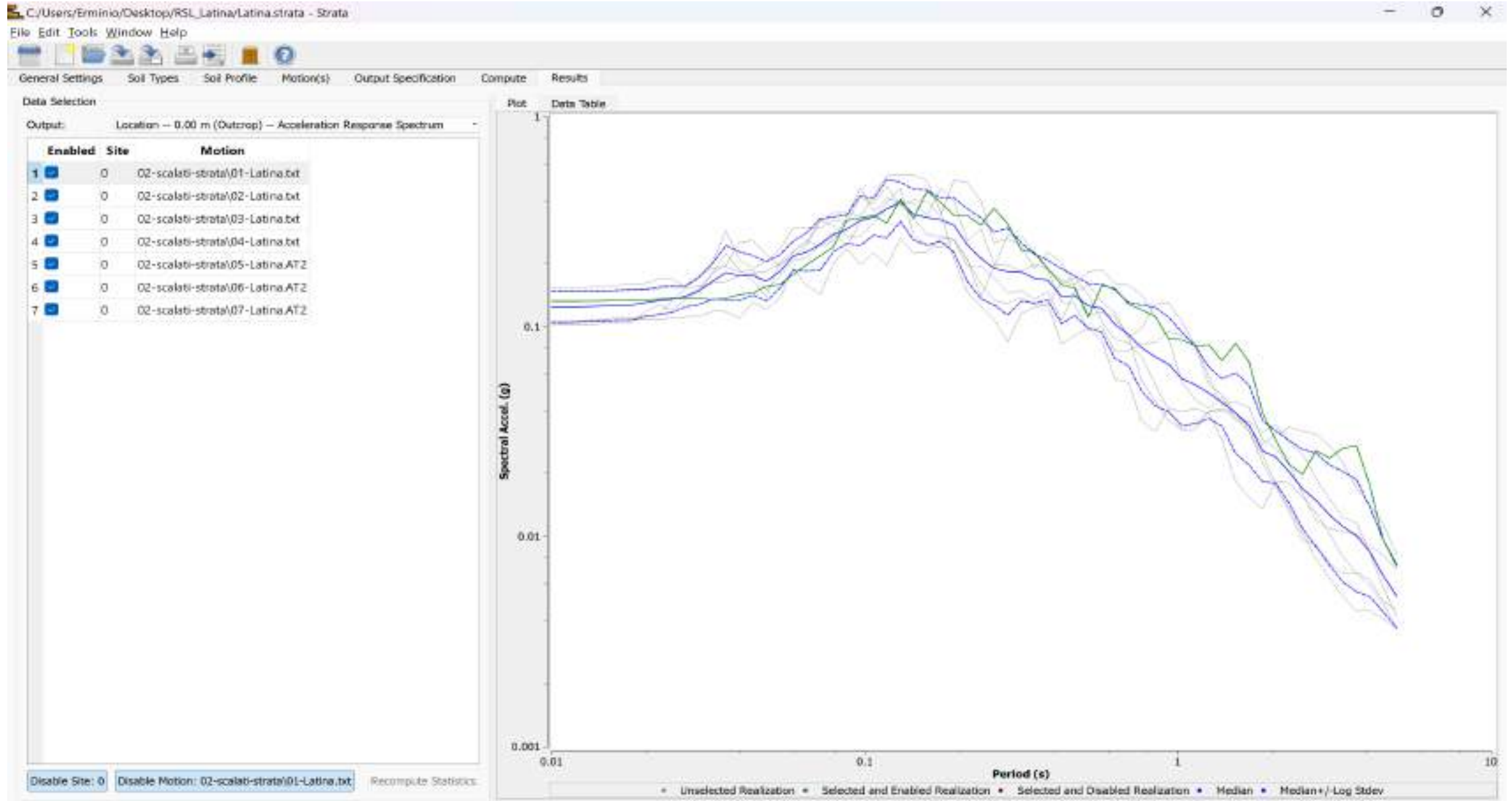
Point count: 512

Spacing: Log

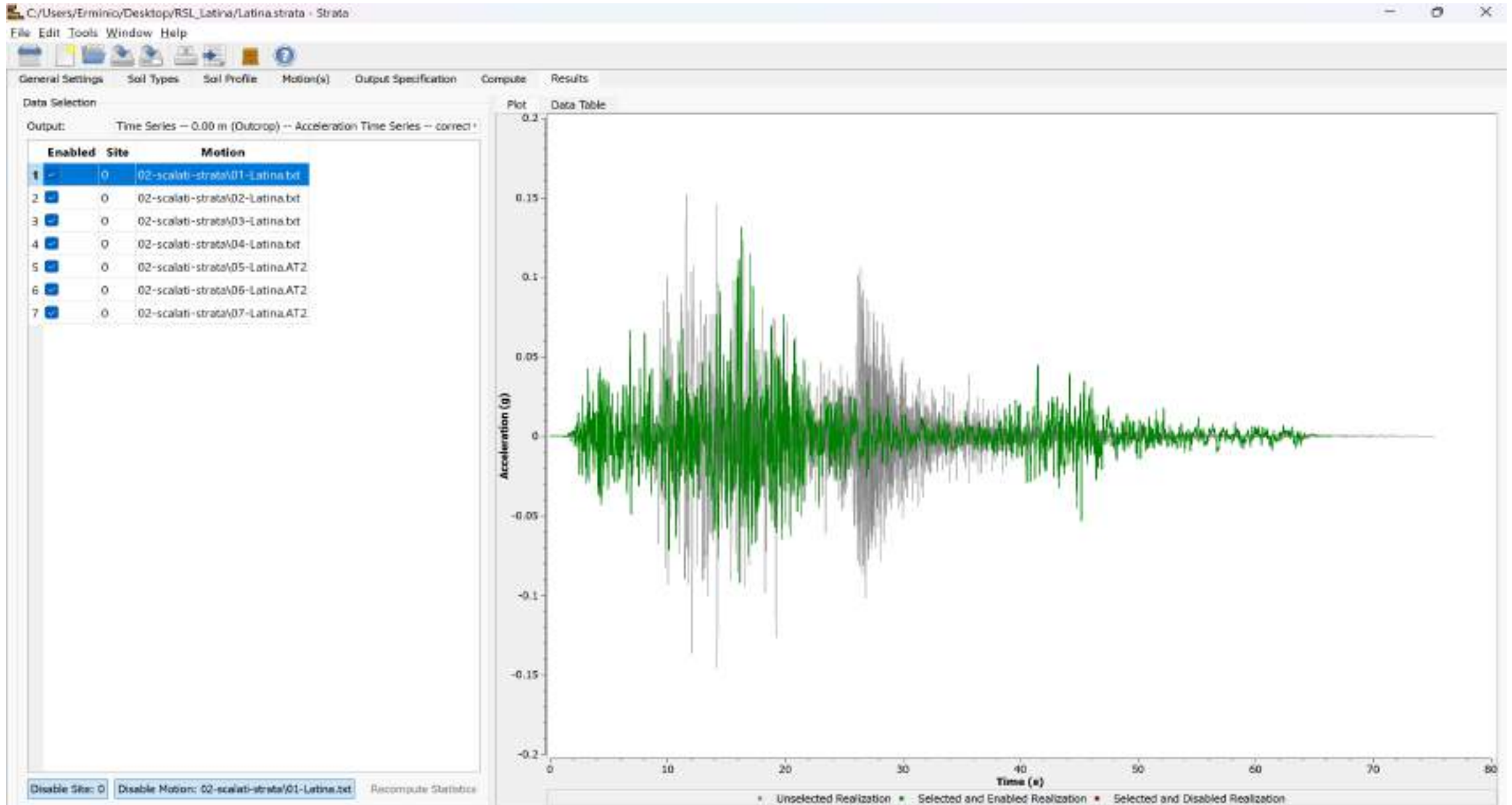
Logging Properties

Logging level: Low

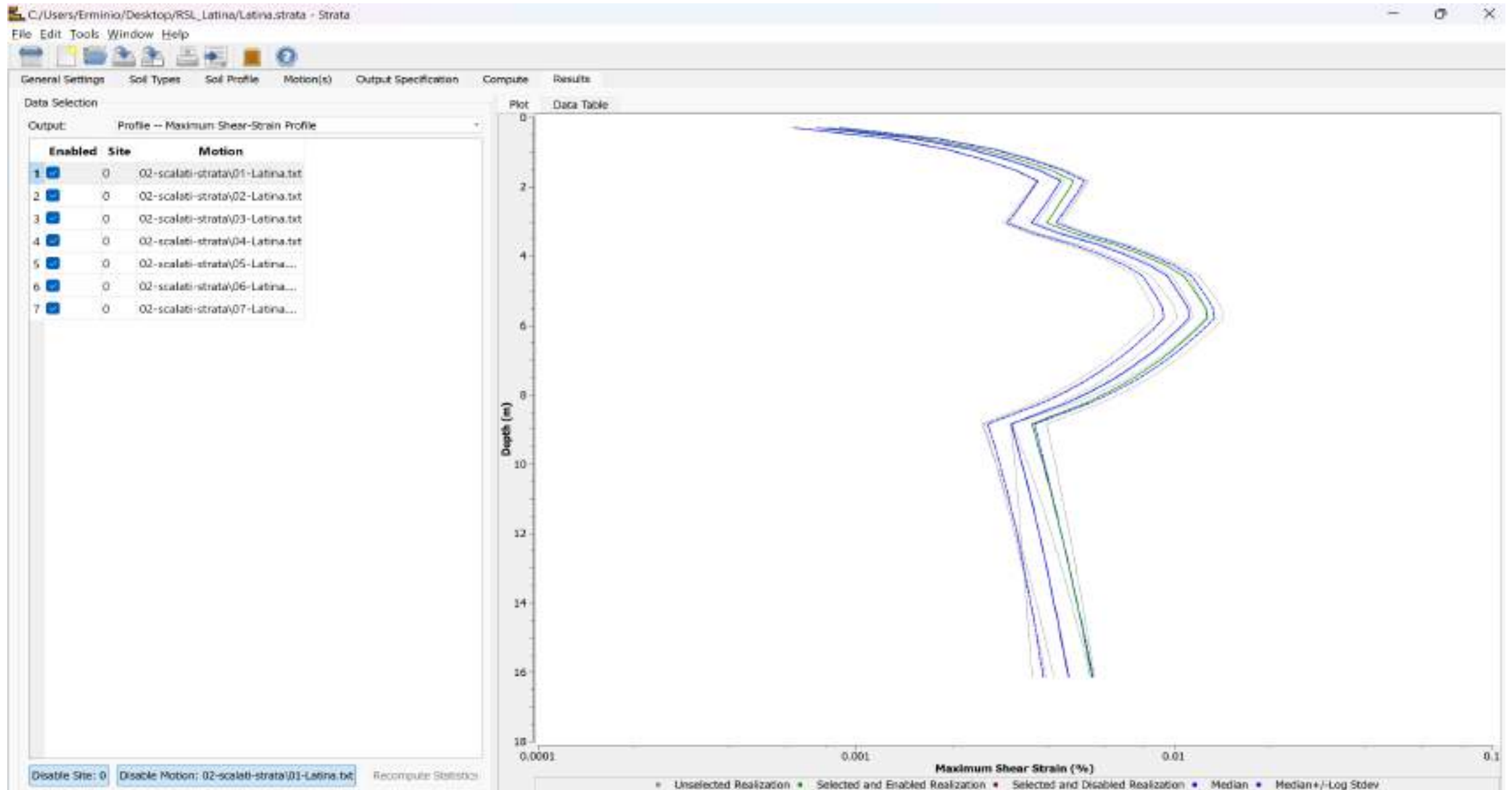
Esempio di RSL Latina



Esempio di RSL Latina

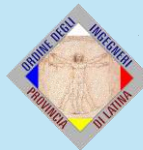


Esempio di RSL Latina





ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA
DI FROSINONE



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI LATINA



ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO



ORDINE DEGLI
INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI
RIETI



GRAZIE PER L'ATTENZIONE