

Metodi di analisi in condizioni sismiche

Differiscono in funzione del livello di complessità

Approfondimento analisi ed indagini ↓	Metodo di analisi	Moto sismico	Legame costitutivo	Prove geotecniche	Risultati tipici	Affidabilità dei risultati ↓
	Pseudo-statica	a_{\max}	Rigido-plastico	Tradizionali (sito & lab)	Coefficiente di sicurezza	
	Dinamica semplificata (metodo di Newmark agli spostamenti)	$a(t)$	Rigido-plastico Effetti della deformabilità	c.s. Misure di V_s	Spostamenti	
	Dinamica completa	$a(t)$	Mezzo polifase elasto-plastico	c.s. + prove cicliche/ dinamiche di laboratorio	c.s. + deformazioni, pressioni interstiziali, tensioni efficaci	

Azione sismica per metodo pseudo-statico

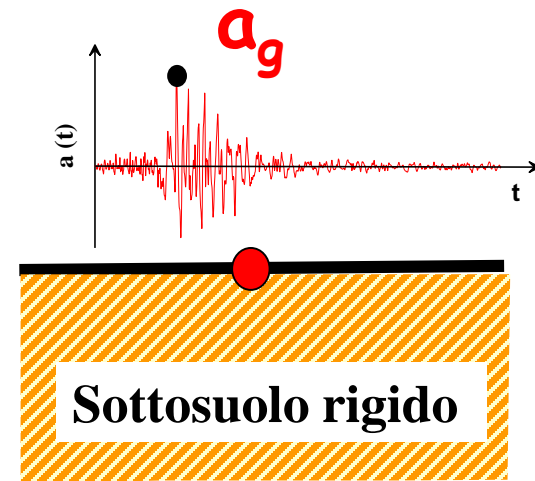
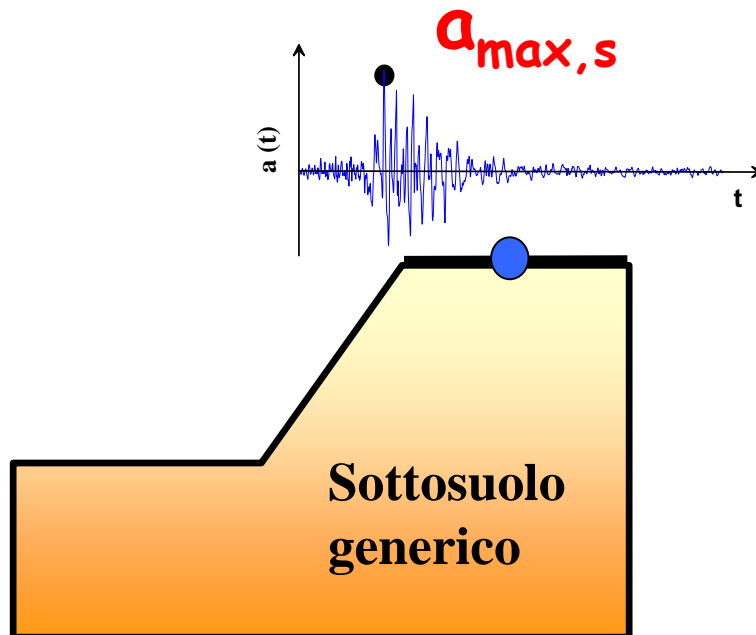
Procedura semplificata secondo NTC18

Accelerazione massima in superficie

$$a_{\max,s} = S a_g = S_S S_T a_g$$

$$S = S_S S_T$$

- ✓ S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica
- ✓ S_T = coefficiente di amplificazione topografica



Valutazione degli effetti locali nelle NTC18

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

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.

Azione sismica per metodo pseudo-statico

Procedura semplificata secondo NTC18

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

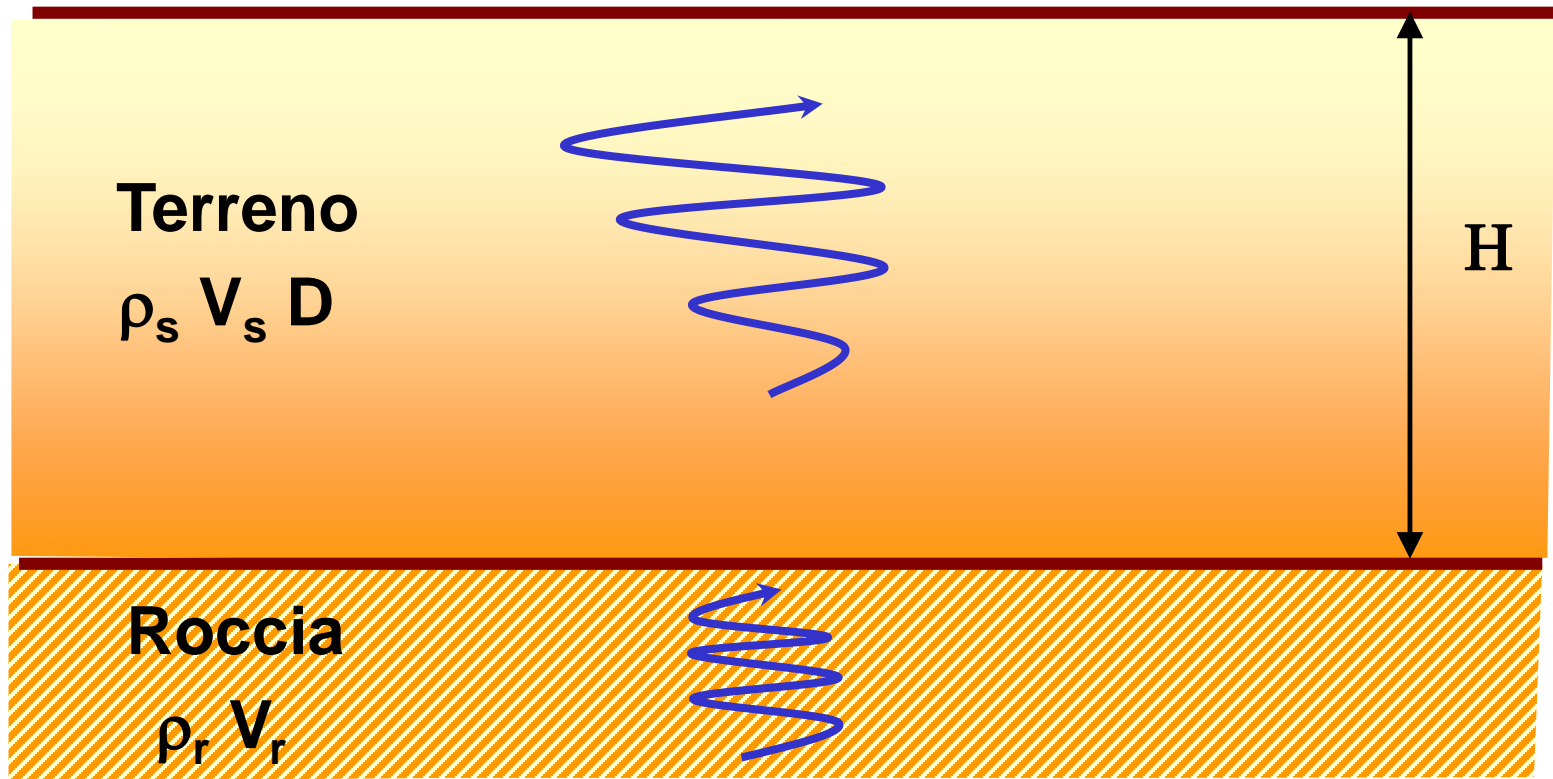
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>Depositi 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.</i>
D	<i>Depositi 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.</i>
E	<i>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.</i>

La procedura semplificata **NON** è applicabile
per le discariche RSU

**Qualunque sia il metodo di analisi adottato,
sono sempre necessarie analisi di RSL**

Amplificazione di un deposito di terreno

Deposito di terreno su bedrock



$$T_0 = \frac{1}{f_0} = \frac{4H}{V_s}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{G_0}{\rho_s}}$$

$$\rho_s = \gamma/g$$

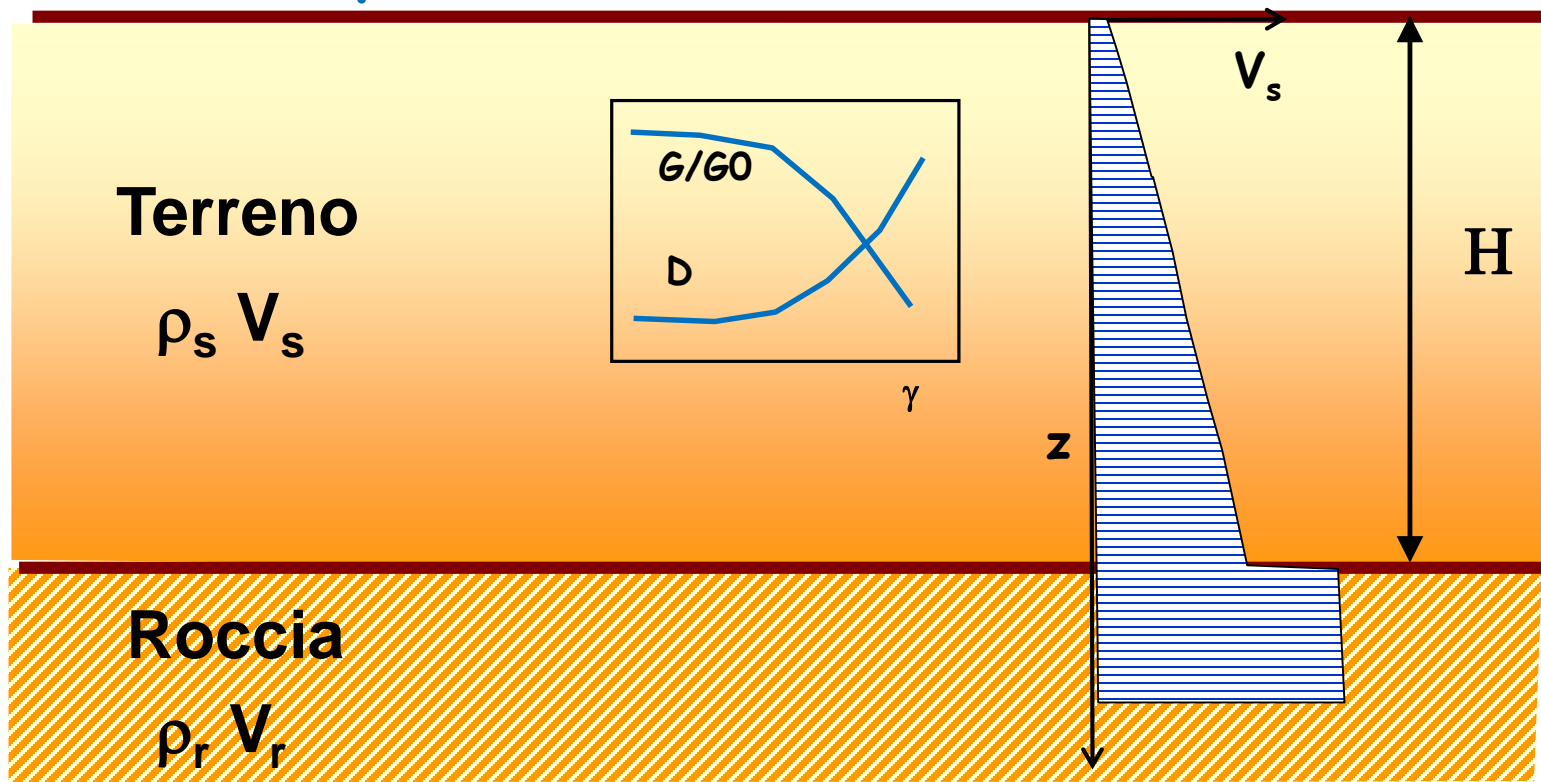
$$I = \frac{\rho_r V_r}{\rho_s V_s}$$

rapporto di
impedenza
roccia-terreno

Periodo fondamentale

Amplificazione di un deposito di terreno

Deposito di terreno su bedrock



$$T_0 = \frac{1}{f_0} = \frac{4H}{V_s}$$

$V_s = \sqrt{\frac{G_0}{\rho_s}}$
 $\rho_s = \gamma/g$

$$I = \frac{\rho_r V_r}{\rho_s V_s}$$

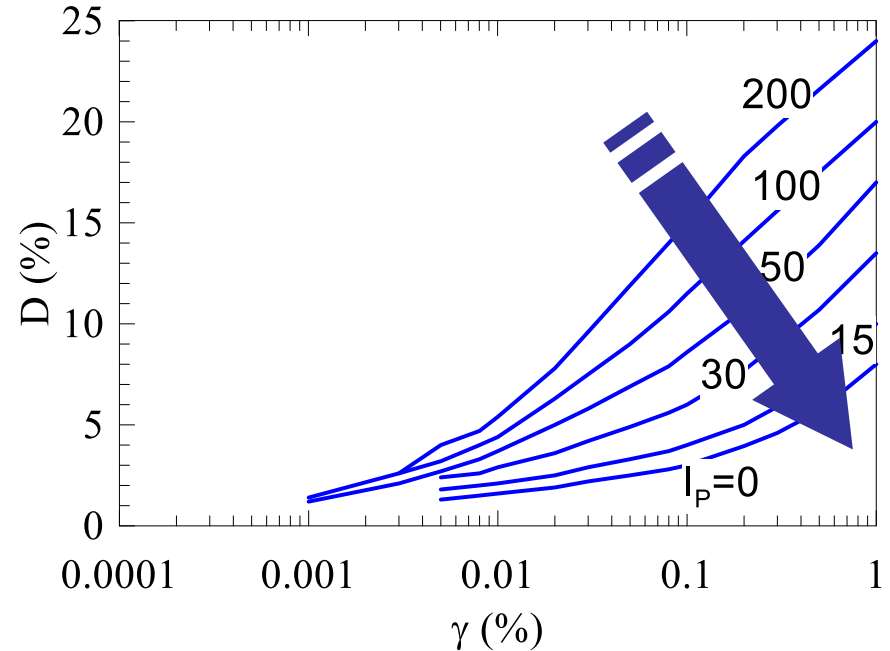
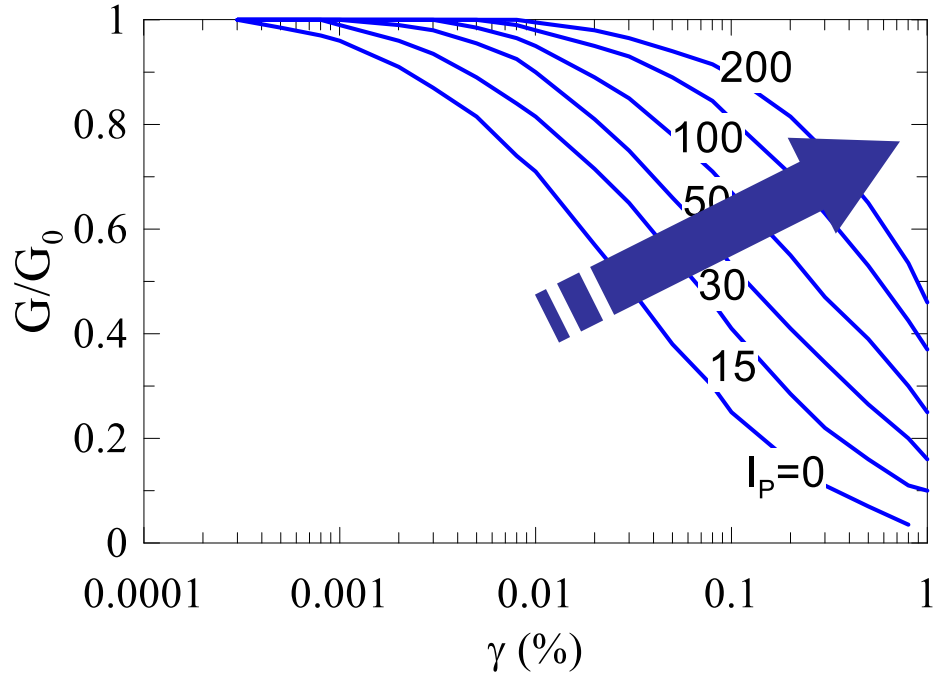
rapporto di
impedenza
roccia-terreno

Periodo fondamentale

Caratteristiche di non linearità

Fattori influenti sulle curve G/G_0 - γ and D - γ
di terreni naturali a grana fina

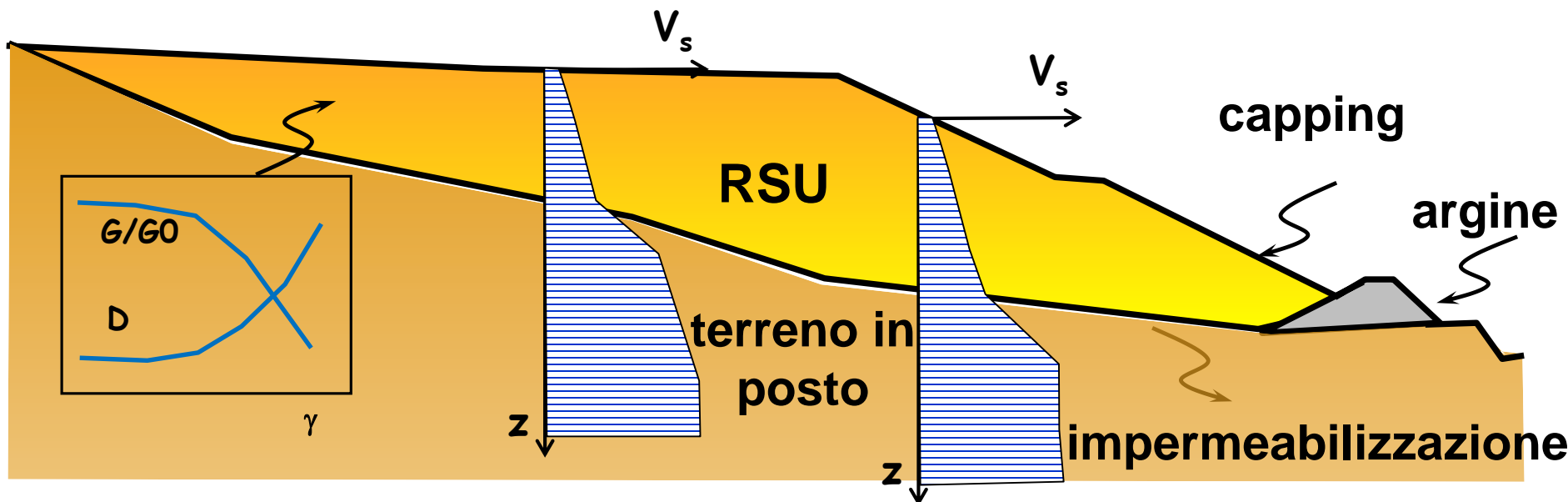
Influenza dell'indice di plasticità I_p



Vucetic e Dobry (1991)

Proprietà geotecniche dei RSU

Parametri necessari in condizioni sismiche

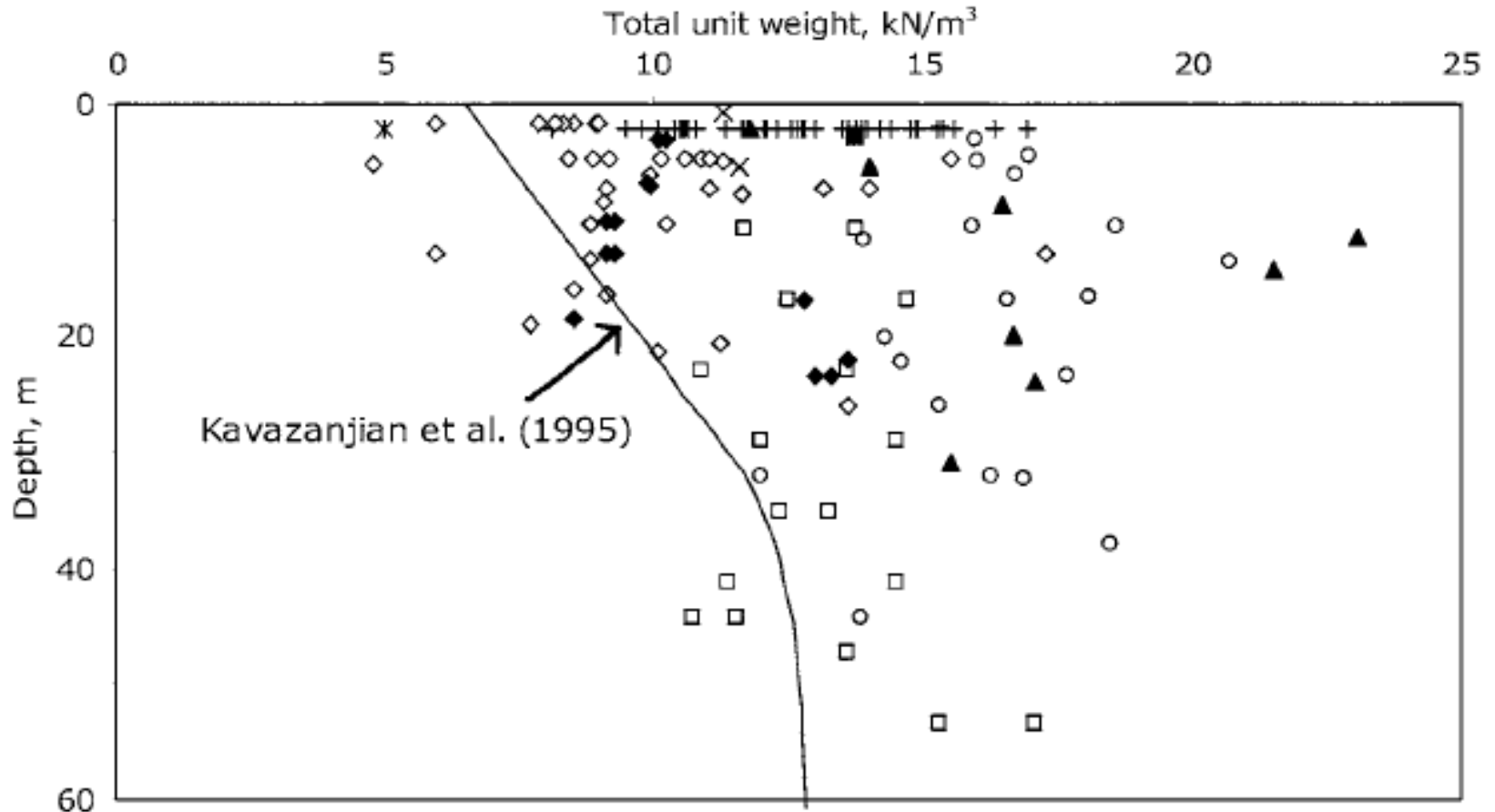


Per tutti i materiali:

- ✓ peso dell'unità di volume γ ($\gamma = \rho g$)
- ✓ profilo di velocità delle onde di taglio V_s (oppure G_0)
- ✓ curve di rigidezza e smorzamento con il livello di deformazione
- ✓ profilo di velocità delle onde di compressione V_p (oppure coefficiente di Poisson ν)

Proprietà geotecniche dei RSU per analisi sismiche

Peso dell'unità di volume γ



Dati sperimentali di 11 studi internazionali

Zekkos et al. (2006)

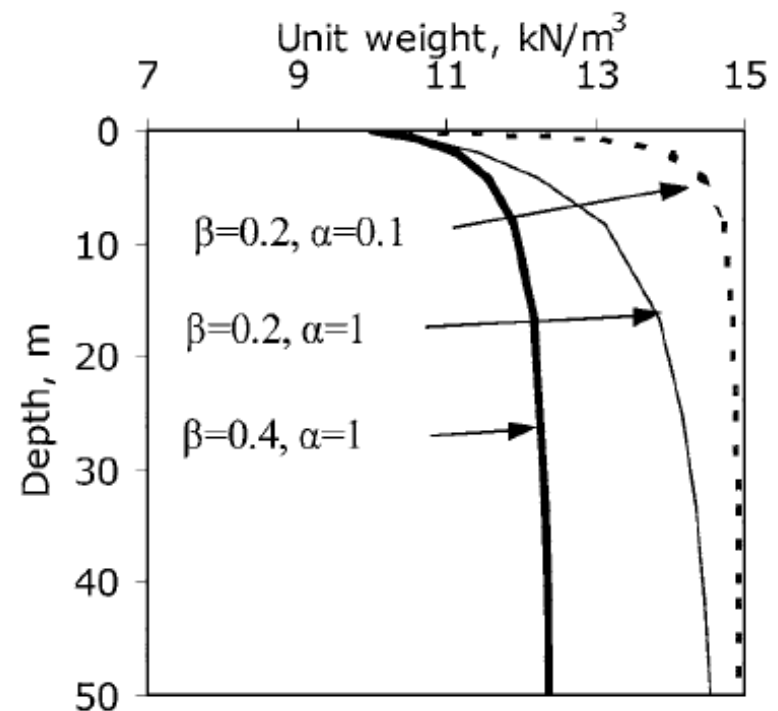
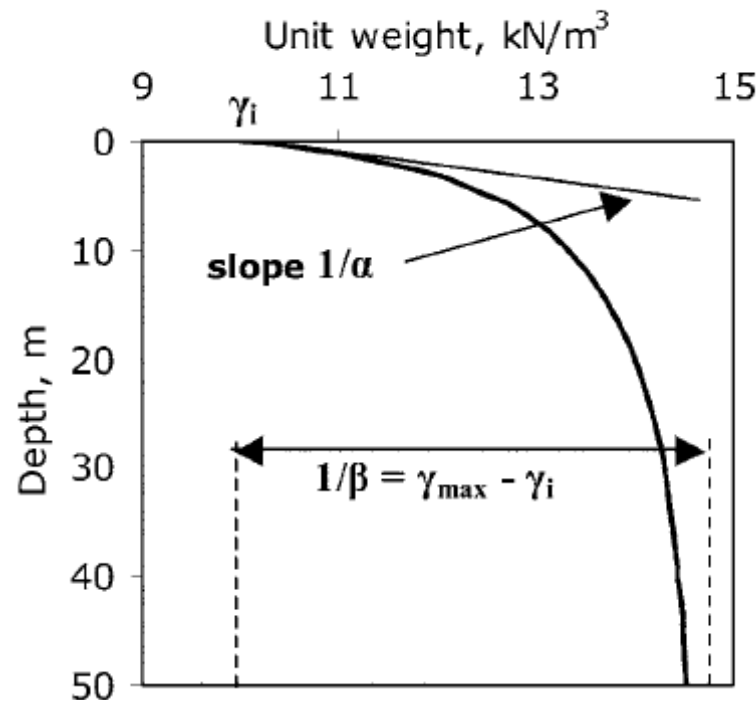
Proprietà geotecniche dei RSU per analisi sismiche

Peso dell'unità di volume γ

$$\gamma = \gamma_i + \frac{z}{\alpha + \beta \cdot z}$$

γ_i = peso dell'unità di volume in superficie

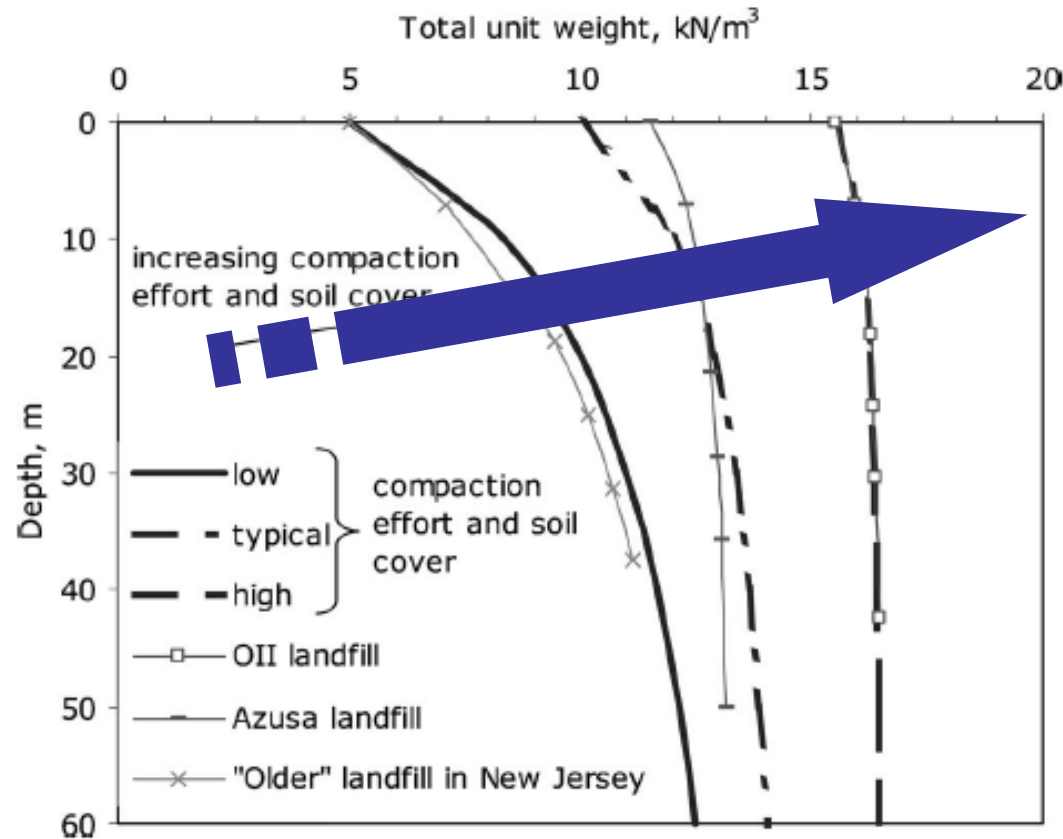
α & β = parametri del modello



Zekkos et al. (2006)

Proprietà geotecniche dei RSU per analisi sismiche

Peso dell'unità di volume γ

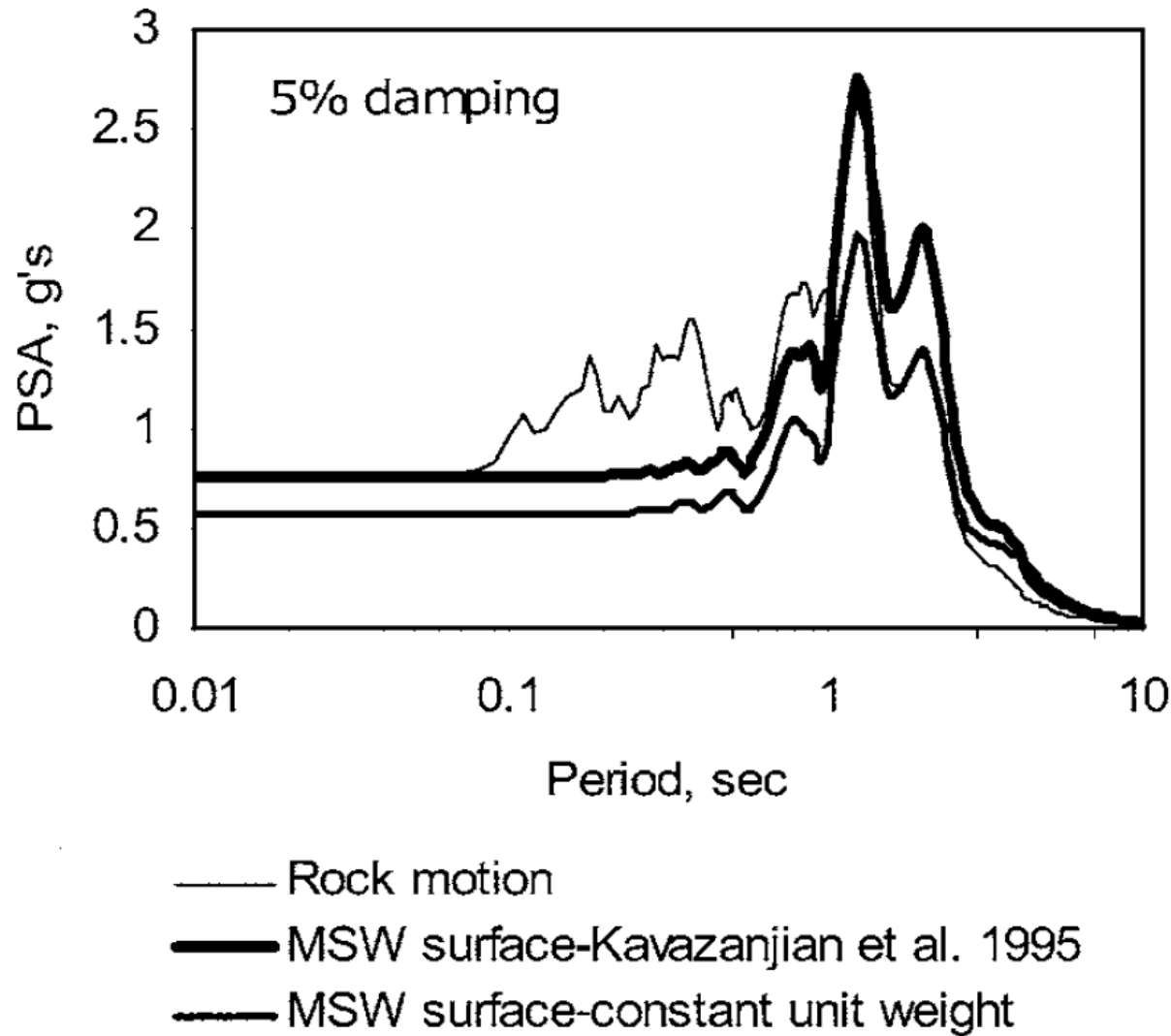


Profili di γ raccomandati

Zekkos et al. (2006)

Proprietà geotecniche dei RSU per analisi sismiche

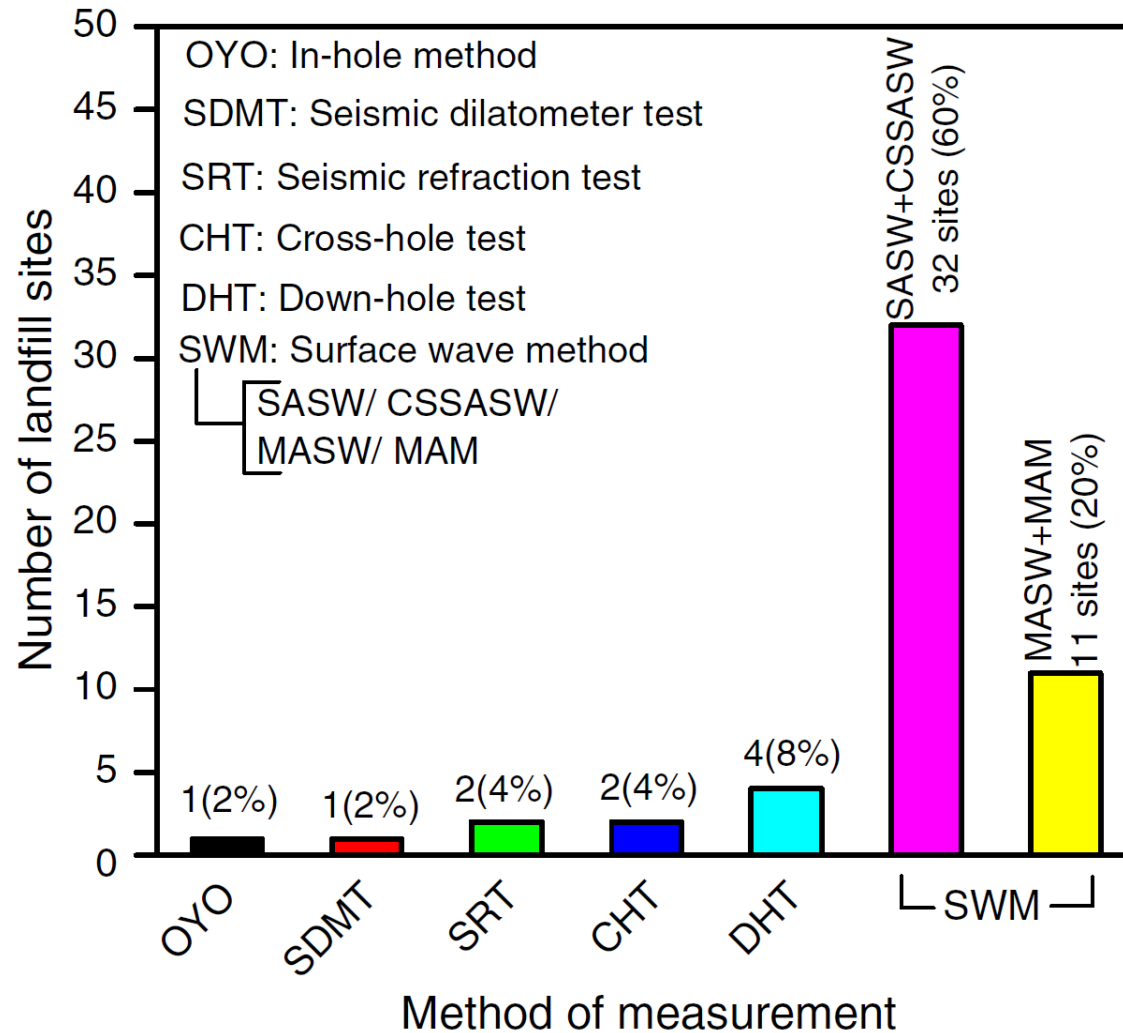
Influenza del peso dell'unità di volume γ sulla RSL



Zekkos et al. (2006)

Proprietà geotecniche dei RSU per analisi sismiche

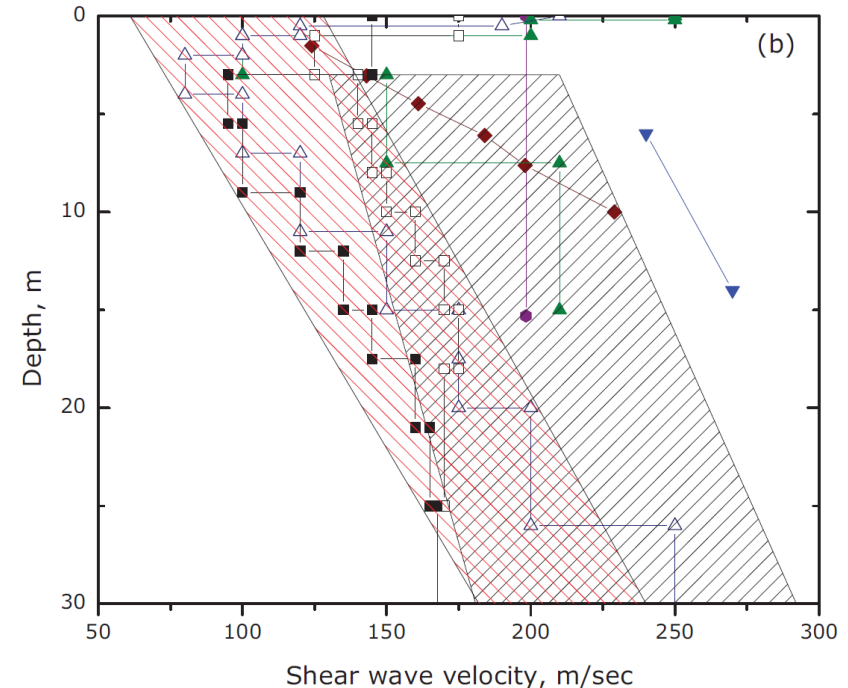
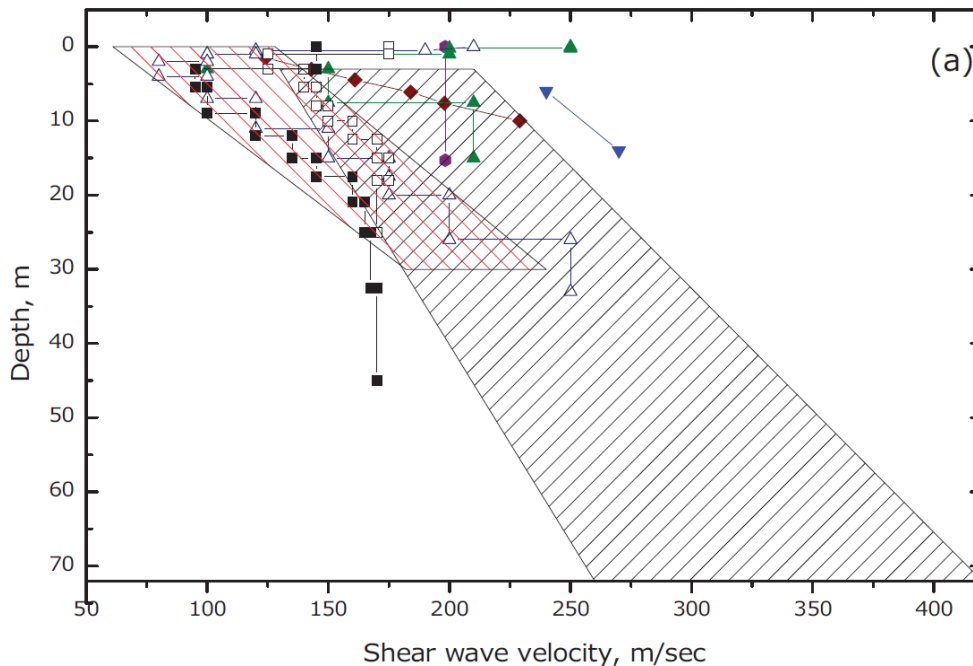
Profilo di velocità delle onde S



Ramaiah et al. (2015)

Proprietà geotecniche dei RSU per analisi sismiche

Profilo di velocità delle onde S

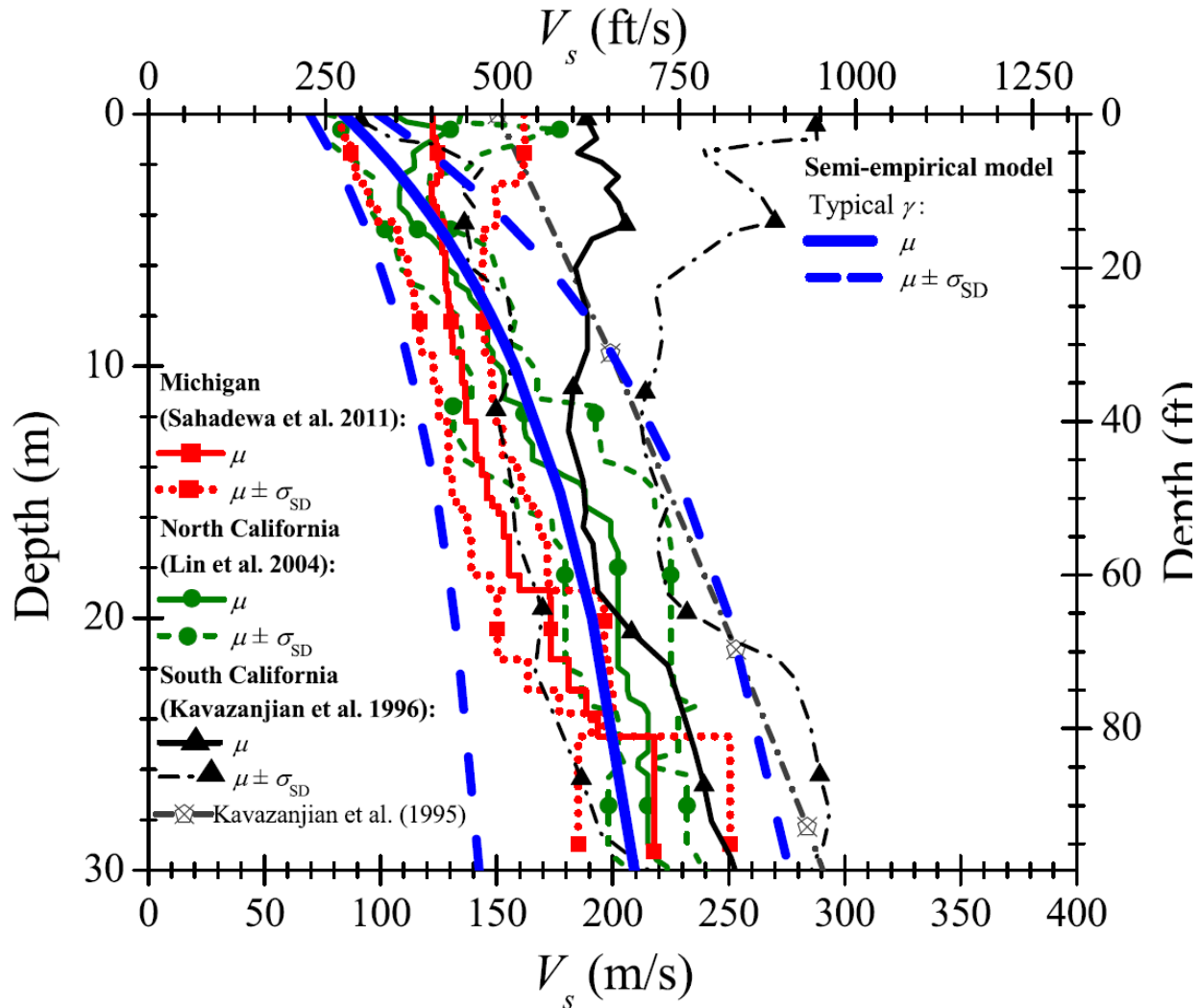


- Richmond landfill, CA (Sharma et al. 1990)
- ▼— Puente Hills landfill, Los Angeles, CA (Earth Technology)
- ◆— Northwest Regional Landfill Facility, Arizona (Houston et al. 1995)
- ▲— Villalba landfill, Madrid, Spain (Cuellar et al. 1998)
- △— Valdemingomez landfill, Madrid, Spain (Pereira et al. 2002)
- Bolton Landfill, Atlanta, Georgia (Rix et al. 1998)
- Sanifill Landfill, Atlanta, Georgia (Rix et al. 1998)
- ▨ Southern California Landfills range (Kavazanjian et al. 1996)
- ▧ Tri-Cities, Altamont, Redwood landfills (Lin et al. 2004)

Zekkos et al. (2008)

Proprietà geotecniche dei RSU per analisi sismiche

Profilo di velocità delle onde S



- ✓ 49 profili di V_s relativi a 19 discariche RSU
- ✓ discariche USA (tranne 2 in Spagna)
- ✓ SASW (per la maggior parte) e MASW

Zekkos et al. (2014)

Proprietà geotecniche dei RSU per analisi sismiche

Curve $G/G_0-\gamma$ e $D-\gamma$

I dati disponibili in letteratura derivano da:

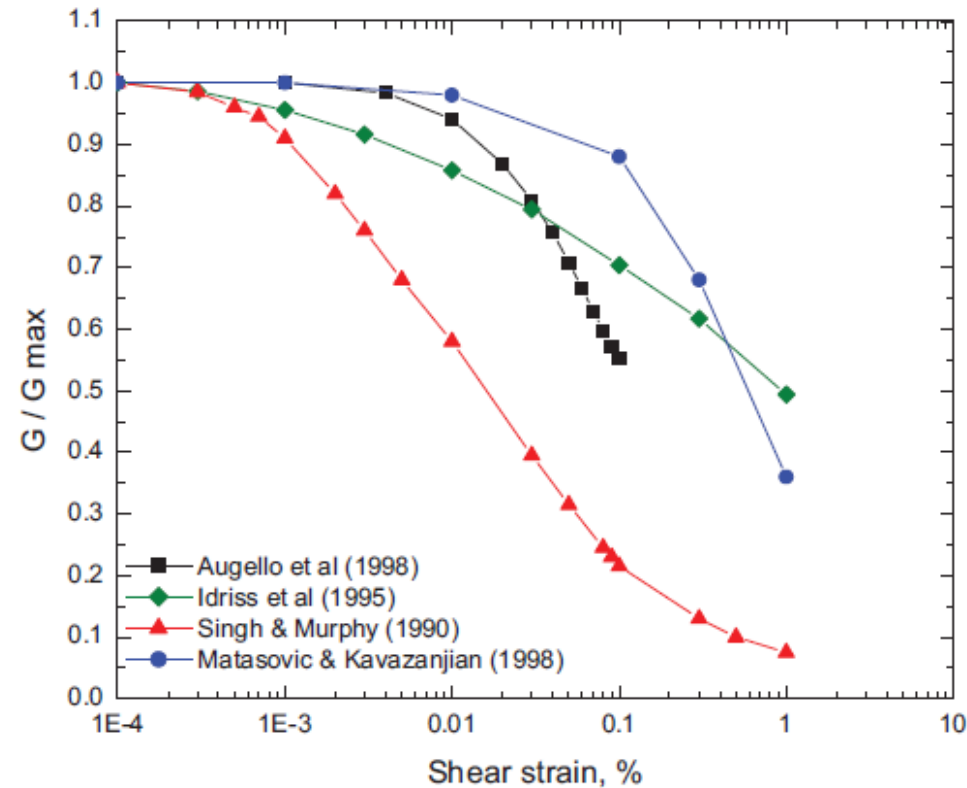
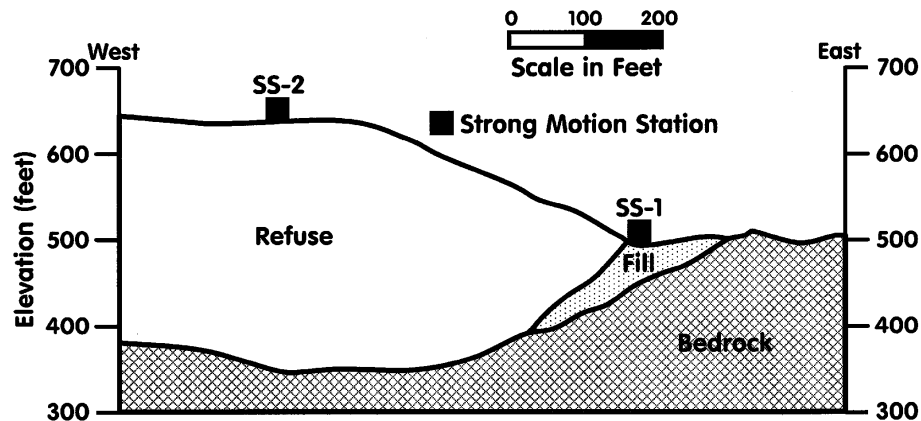
- ✓ *back-analysis* di registrazioni accelerometriche in corrispondenza della discarica *Operating Industries Inc. (OII)*;
- ✓ prove di laboratorio su campioni ricostituiti RSU di grandi dimensioni.

Proprietà geotecniche dei RSU per analisi sismiche

Curve G/G_0 - γ e D - γ

Curve ottenute da back-analysis di
registrazioni accelerometriche

Operating Industries Inc.
(OII)



Zekkos et al. (2008)

Proprietà geotecniche dei RSU per analisi sismiche

- ✓ 90 prove triassiali cicliche
- ✓ 25 provini di grandi dimensioni ($d=300$ mm; $h=630$ mm)
- ✓ discarica Tri-Cities (San Francisco)

Influenza di diversi parametri

Property Effect of...	Small-strain shear modulus, G_{\max}	Normalized shear modulus reduction curve, G/G_{\max} vs. γ	Material damping curve, λ vs. γ
Composition	Most important	Most important at larger strains	Most important at larger strains
Confining stress	Important	Important	Likely important
Unit weight	Important	Not important	Not important
Loading frequency	Important	Not important	Not important
Time under confinement	Important	Not Important	Not Important

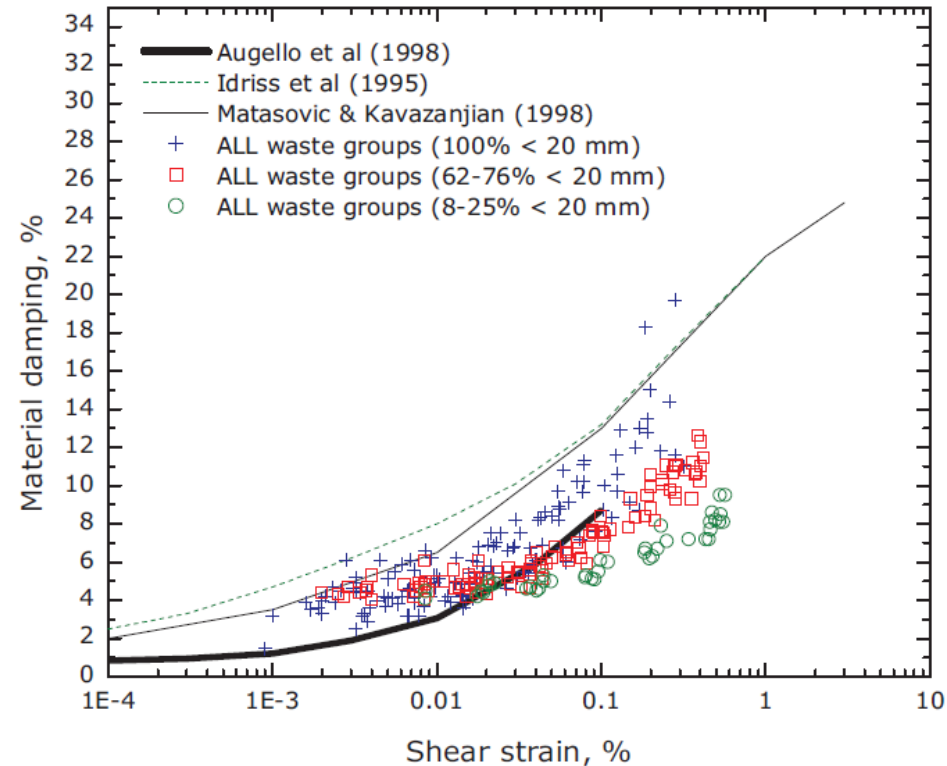
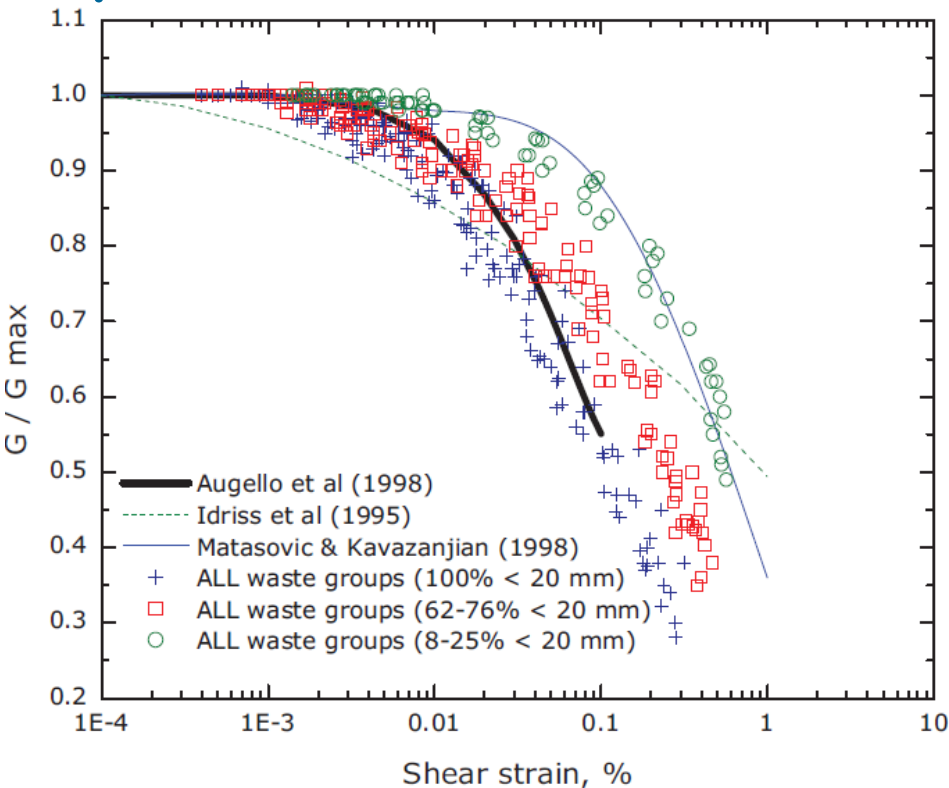
Zekkos et al. (2008)

Proprietà geotecniche dei RSU per analisi sismiche

curve $G/G_0-\gamma$ e $D-\gamma$ funzione della composizione

✓ 3 gruppi: 100% < 20mm; 62-76% < 20mm e 8-25% < 20mm

✓ spostamento delle curve $G/G_0-\gamma$ verso destra e delle curve $D-\gamma$ verso il basso al crescere del percentuale in peso del materiale > 20 mm

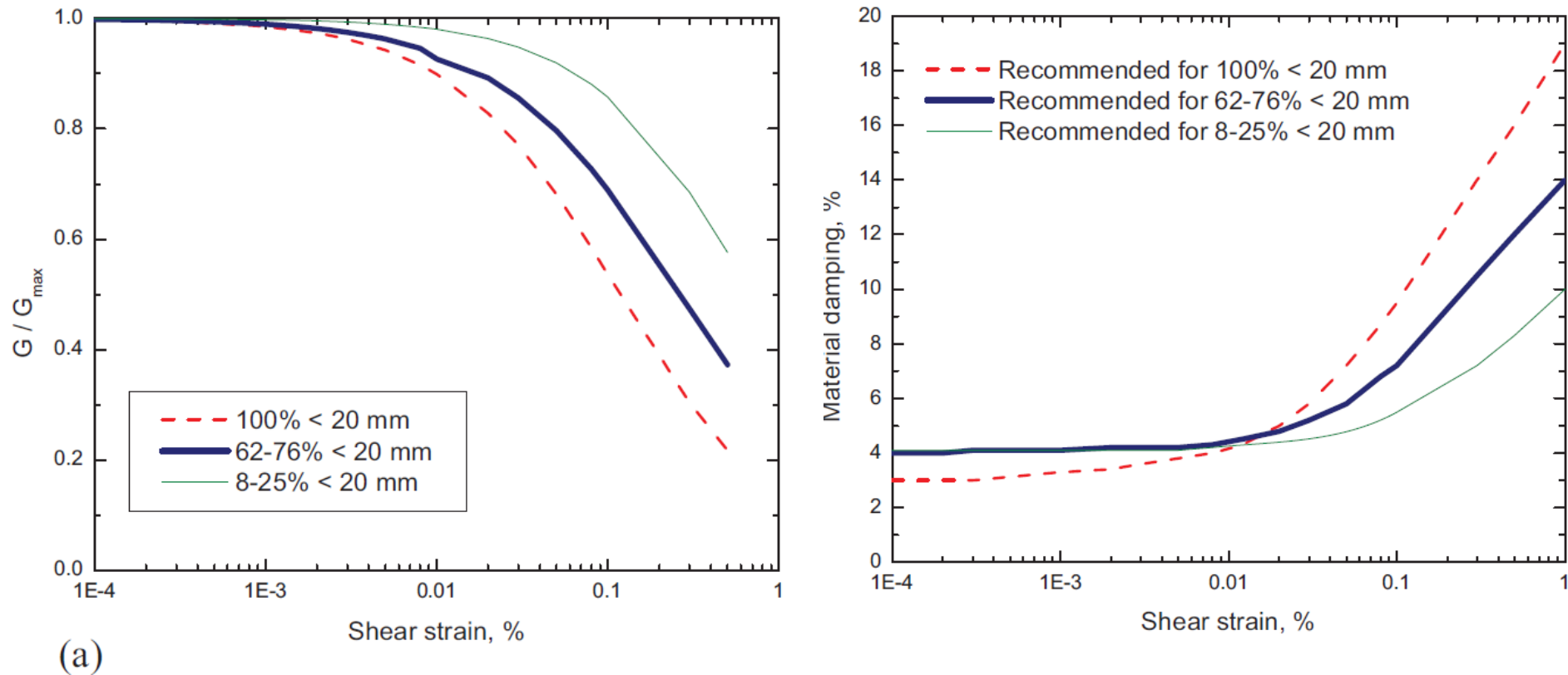


Zekkos et al. (2006)

Proprietà geotecniche dei RSU per analisi sismiche

Curve G/G_0 - γ e D - γ

Raccomandate in funzione della composizione

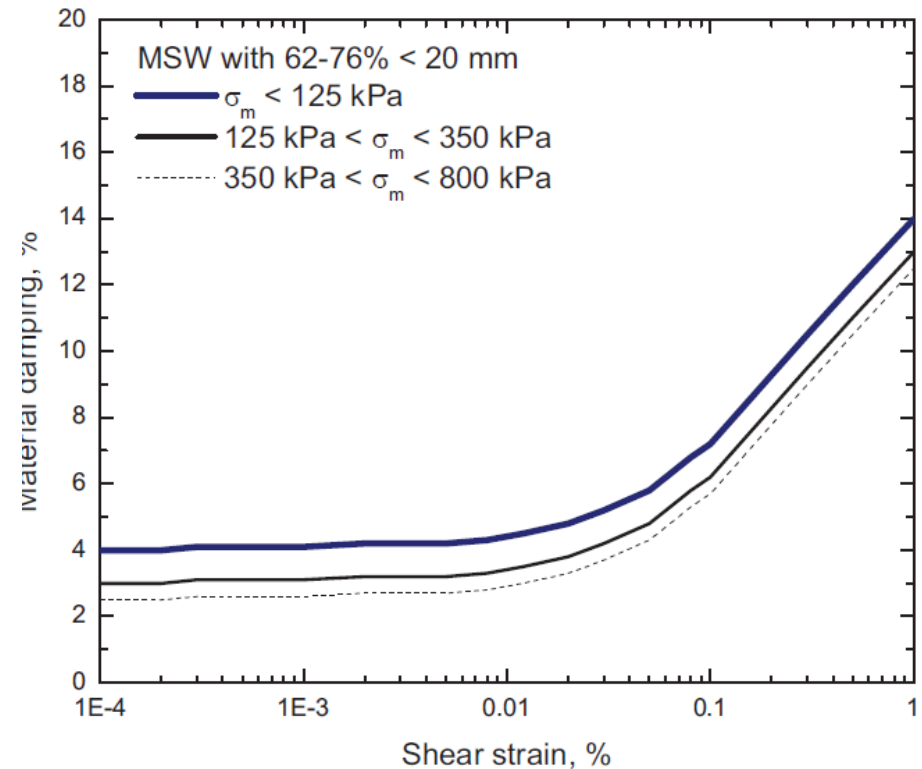
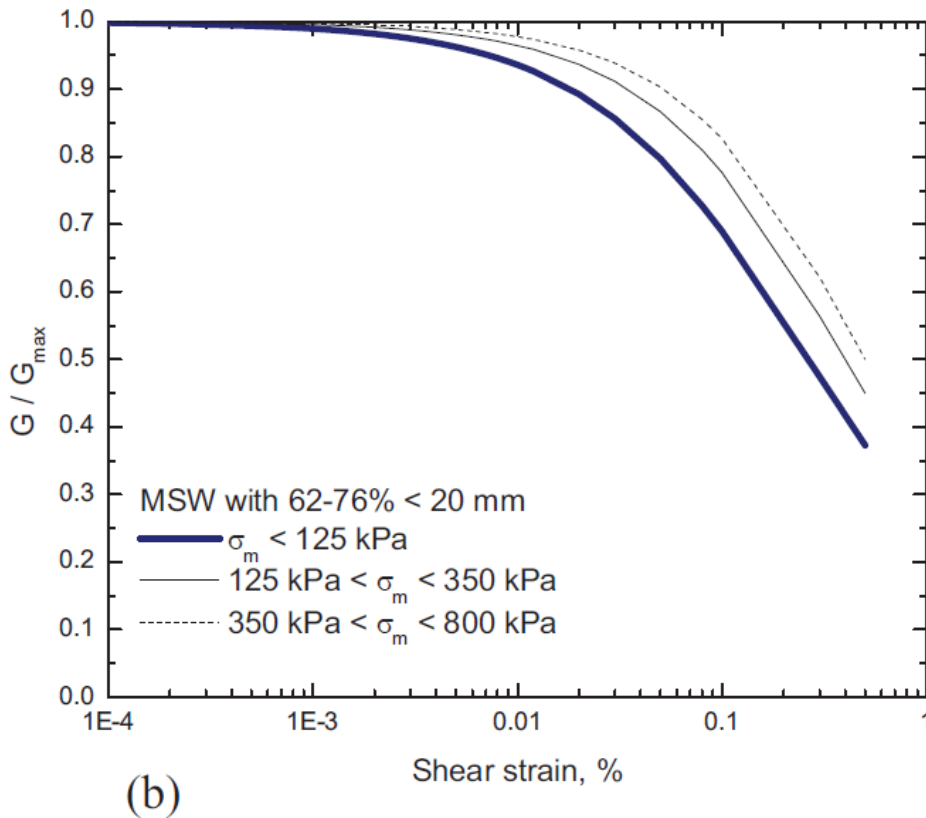


Zekkos et al. (2006)

Proprietà geotecniche dei RSU per analisi sismiche

Curve G/G_0 - γ e D - γ

Raccomandate in funzione della pressione di confinamento



Zekkos et al. (2006)

Considerazioni conclusive

La caratterizzazione dinamica del materiale RSU per analisi sismiche non ha ancora raggiunto un livello di conoscenze consolidato:

- ✓ difficoltà di effettuare prove in sito e di laboratorio;
- ✓ limitati dati sperimentali;
- ✓ grande variabilità dei parametri influenti (e.g. peso dell'unità di volume, profili di velocità, curve di rigidezza e smorzamento);
- ✓ limitati casi di studio che potrebbero consentire una calibrazione, anche in campo lineare, dei modelli geotecnici

Sono sempre opportune prove sito-specifiche per costruire un più robusto modello geotecnico