

Risposta Sismica Locale Quando?

Quando si presenta il problema?



Ing. Roberto Di Girolamo
Via G. di Giovanni 10B – 62032 Camerino (MC)
Skype: roberto.di.girolamo – canale telegram: https://t.me/RSL_SISMA2016
<http://www.robertodigirolamo.engineer> - info@robertodigirolamo.engineer
port.: +393356394081 - rdigirolamo66@gmail.com

1

Perché la Risposta Sismica Locale

- › Lo studio dei terremoti equivale ad una quantificazione del livello di **Rischio Sismico (\mathcal{R})** che deve essere fatta mediante la valutazione della **Pericolosità Sismica (P)** della **Vulnerabilità (V)** del sistema da analizzare (edificio, terreno, infrastruttura) e del grado di **Esposizione (E)** della comunità interessata:

$$\mathcal{R} = P \times V \times E$$

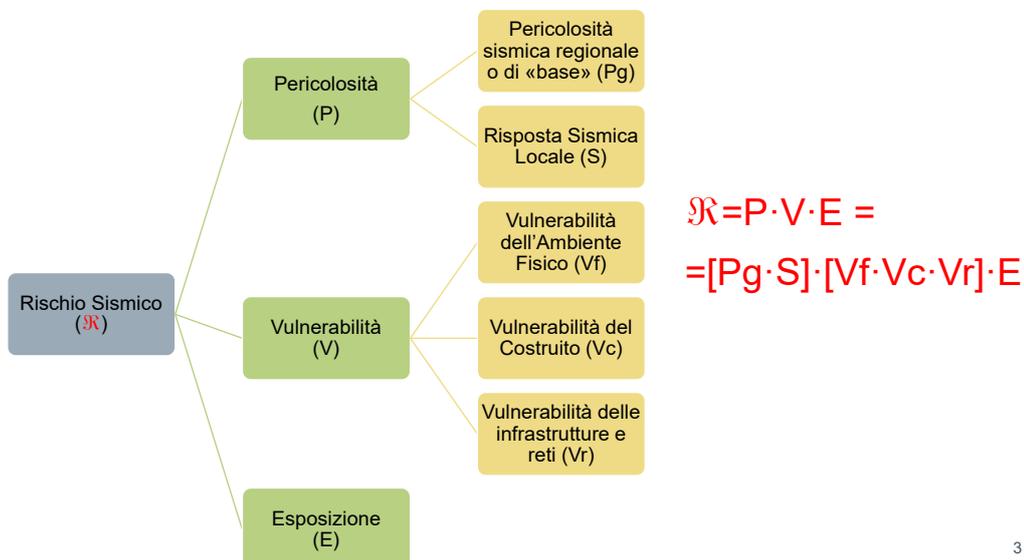
- › Una componente essenziale della pericolosità è costituita dalla **Risposta Sismica Locale**, cioè la variabilità del moto sismico in fase di affioramento in superficie in relazione alle proprietà dei depositi di terreni attraversati.

Lanzo-Silvestri, Risposta Sismica Locale

2

Rischio Sismico

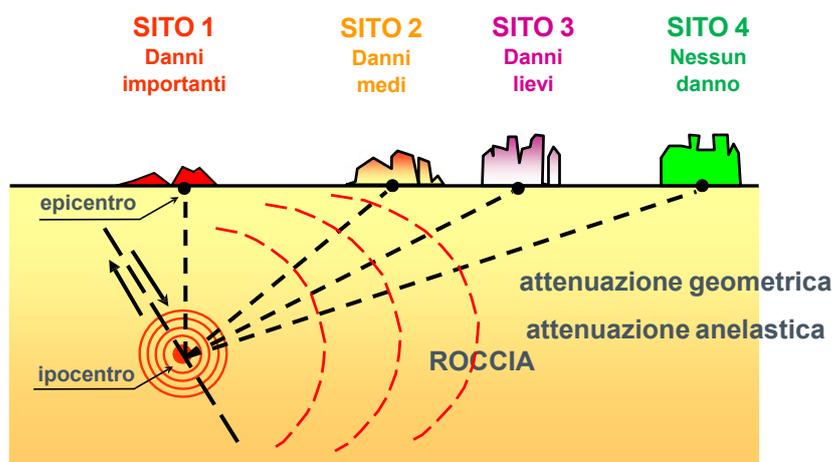
Elementi necessari per quantificare il Rischio Sismico (\mathcal{R}):



3

Risposta Sismica Locale

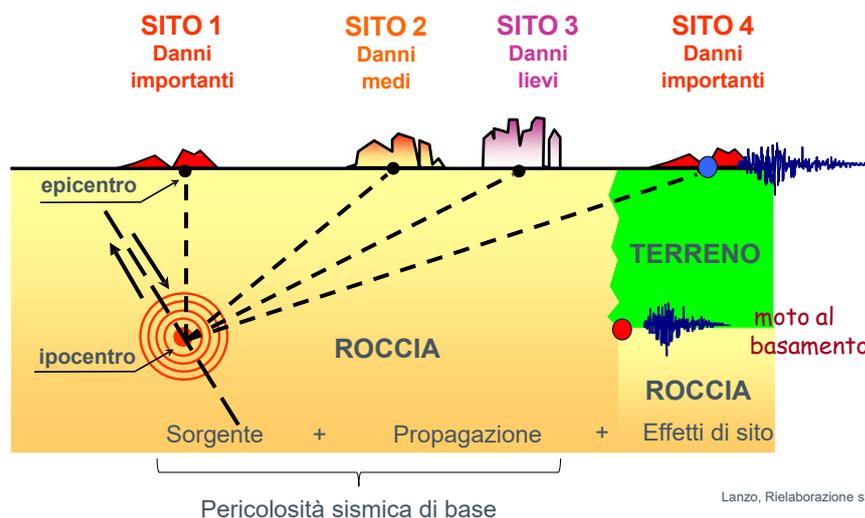
Sottosuolo rigido (roccia) con piano campagna orizzontale



Lanzo, Rielaborazione slide corso
4

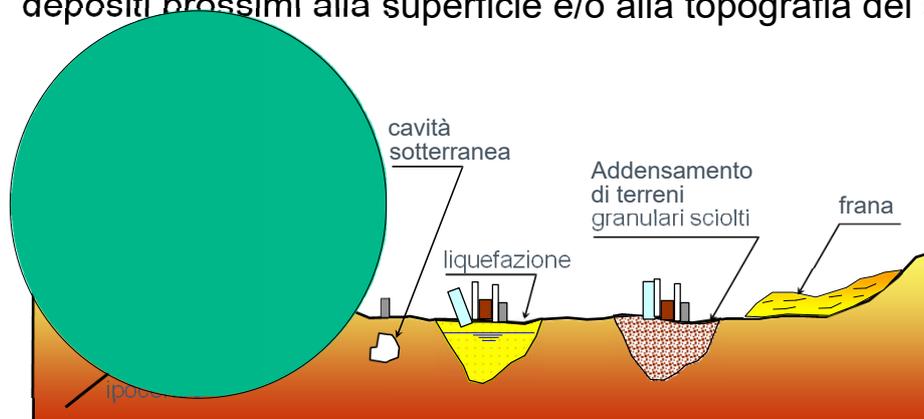
Risposta Sismica Locale

Sottosuolo generico con piano campagna orizzontale



Risposta Sismica Locale

› L'analisi di RSL ha lo scopo di valutare, in un sito specifico, l'insieme di variazioni che il moto sismico subisce in relazione alle proprietà meccaniche e geometriche dei depositi prossimi alla superficie e/o alla topografia del sito.



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

Risposta Sismica Locale

Diverse condizioni stratigrafiche e morfologiche

a) roccia

b) deposito su bedrock

c) valle alluvionale

d) pendio

Lanzo, Rielaborazione slide corso
7

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

Risposta Sismica Locale

- > Cosa devo sapere:
 - > **Caratteristiche morfologiche** dei depositi e degli ammassi rocciosi superficiali;
 - > **Caratteristiche stratigrafiche** dei depositi e degli ammassi rocciosi superficiali;
 - > **Proprietà fisiche e meccaniche** dei materiali che li costituiscono;

8

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

Risposta Sismica Locale

```

graph LR
  A[Cosa devo sapere] --- B[Caratteristiche morfologiche]
  A --- C[Caratteristiche stratigrafiche]
  A --- D[Proprietà fisiche e meccaniche]
  
```

9

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

Risposta Sismica Locale

- > Effetti:
- > Modifica il moto sismico in termini di **Ampiezza**;
- > Modifica il moto sismico in termini di **Contenuto in frequenza**;
- > Modifica il moto sismico in termini di **Durata**.

```

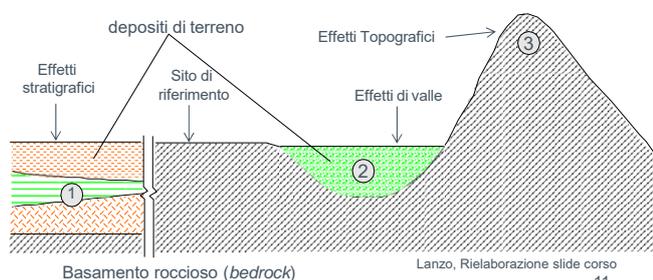
graph LR
  A[Effetti] --- B[Modifica dell'ampiezza]
  A --- C[Modifica del contenuto in frequenza]
  A --- D[Modifica durata]
  
```

10

Risposta Sismica Locale

A seconda dei principali fenomeni fisici responsabili della modifica delle caratteristiche del moto sismico è possibile distinguere effetti di sito:

1. Effetti stratigrafici (1D);
2. Effetti di valle o di morfologia sepolta (2D-3D);
3. Effetti topografici o di cresta (2D-3D).

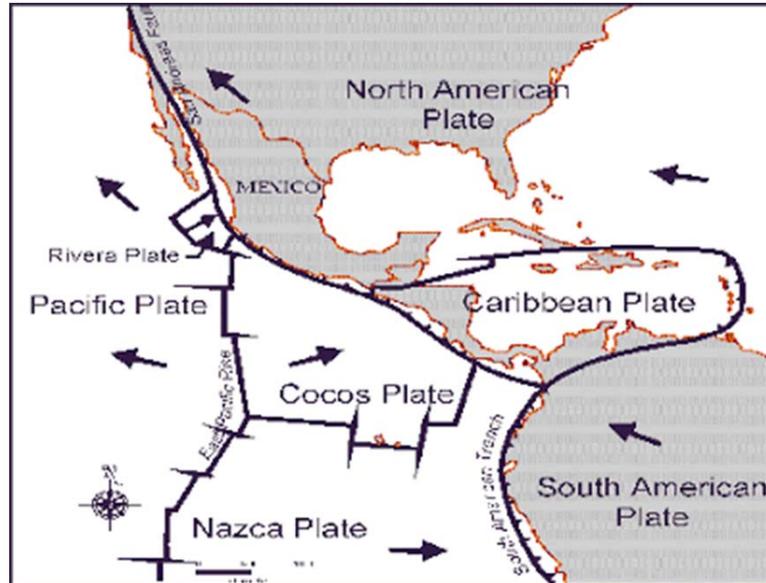


Lanzo, Rielaborazione slide corso
11

**Chiacchiere teoriche
o
ci sono implicazioni
pratiche?**

12

Città del Messico 19.09.1981 – Magnitudo=8.1

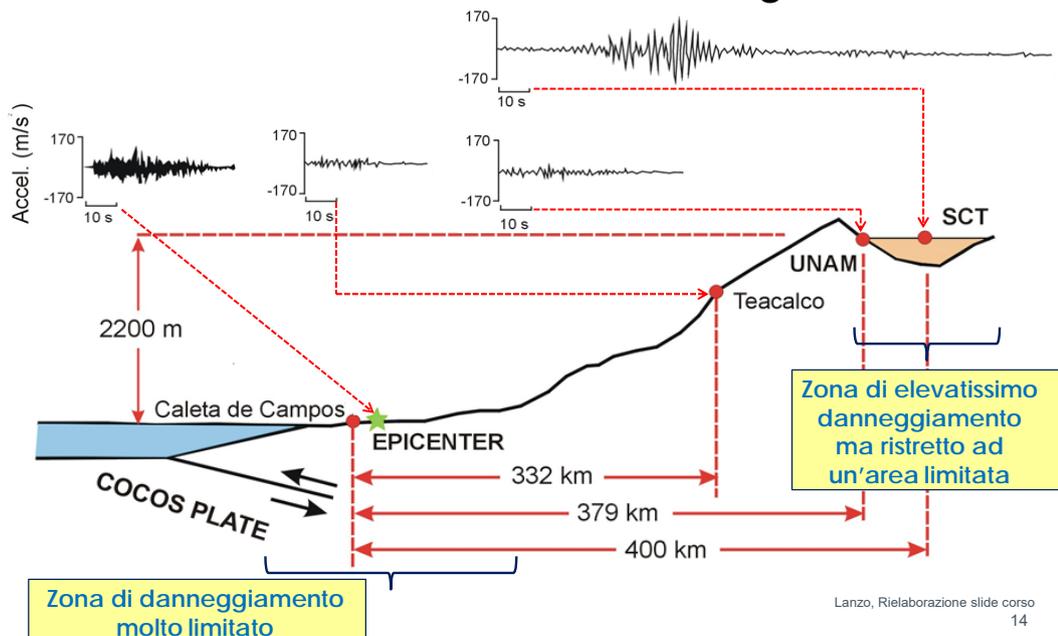


13

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

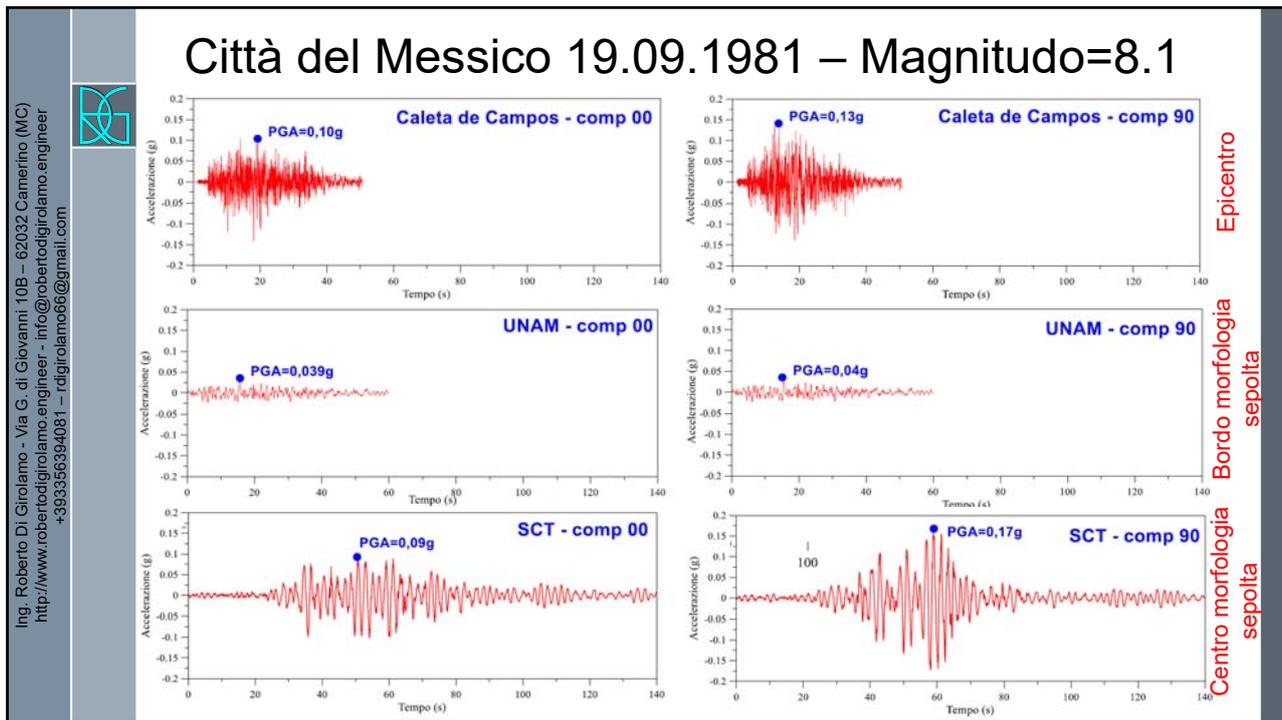


Città del Messico 19.09.1981 – Magnitudo=8.1



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





Risposta Sismica Locale Parametri Fisici e Meccanici

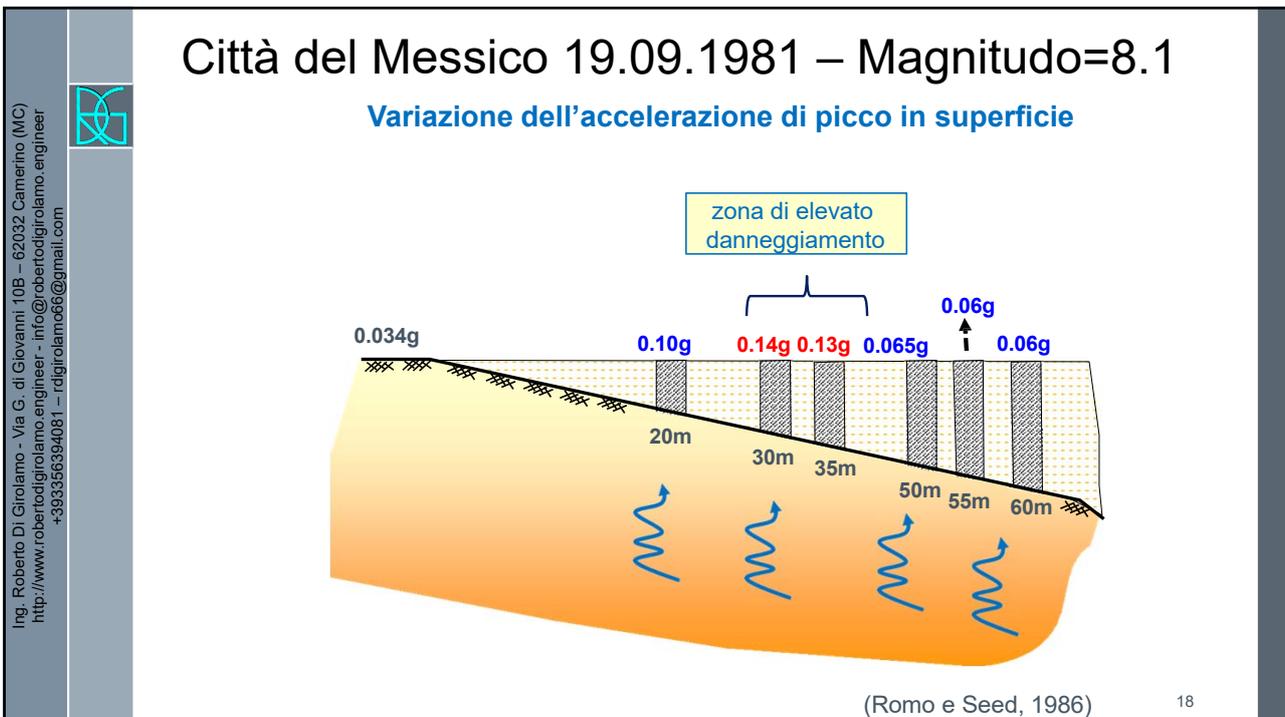
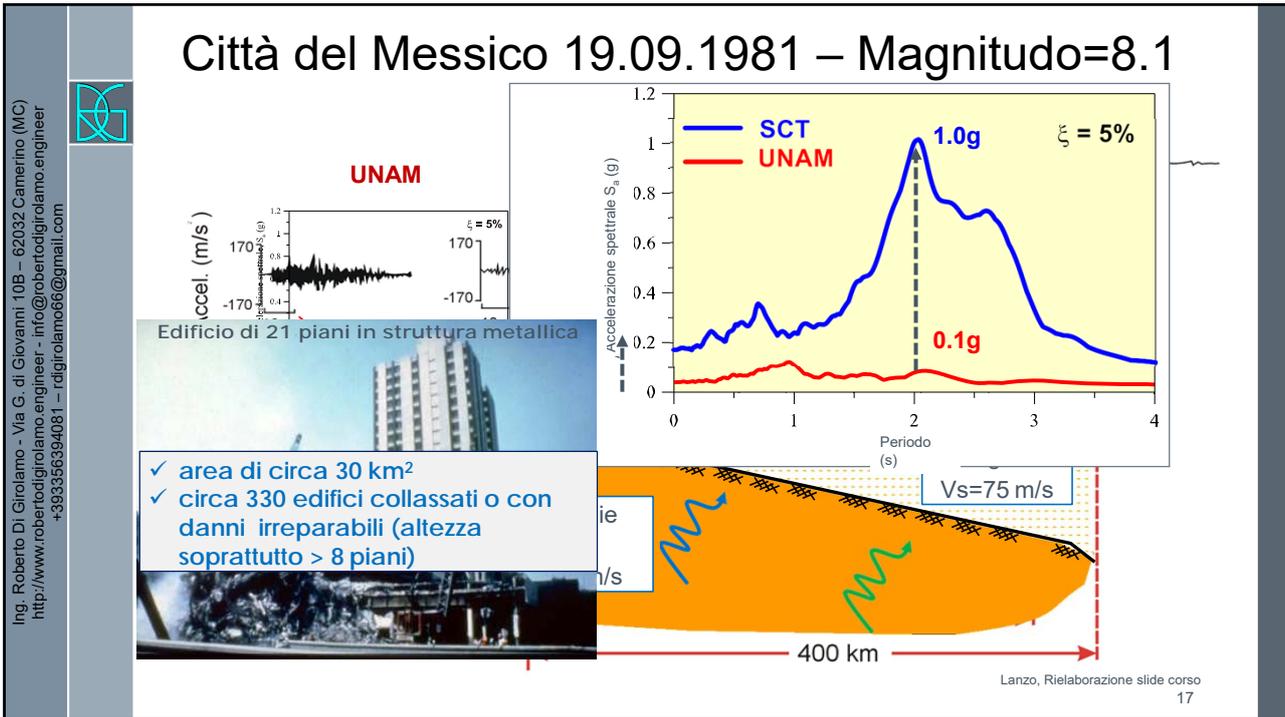
Materiali

| | | |
|----------------|---|---|
| Terreno | { | ρ_s = densità V_s = velocità onde di taglio $\rho_s V_s$ = impedenza sismica D = fattore di smorzamento |
| Roccia | { | ρ_r = densità V_r = velocità onde di taglio $\rho_r V_r$ = impedenza sismica |

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

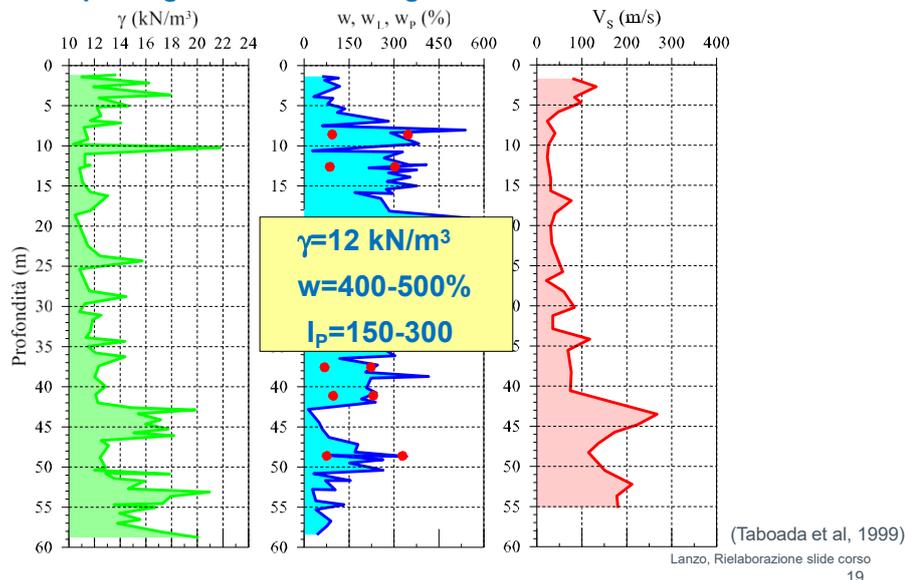
rapporto di impedenza
roccia-terreno

Lanzo, Rielaborazione slide corso
16



Città del Messico 19.09.1981 – Magnitudo=8.1

Proprietà geotecniche dell'argilla di Città del Messico



Cesi - Sequenza sismica Umbria- Marche del 1997



Cesi bassa

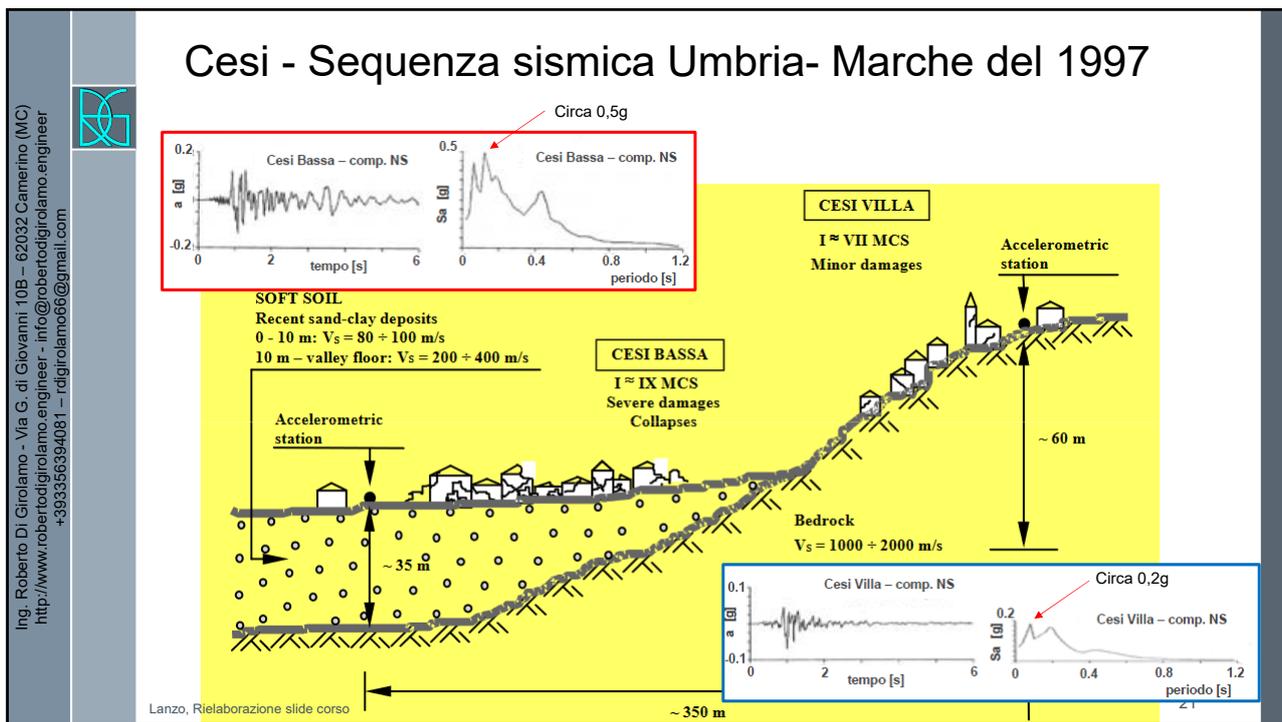


Cesi alta

A Cesi Bassa i danneggiamenti corrispondono al IX grado MCS, mentre a Cesi Villa si hanno danni corrispondenti al VII grado MCS.

La distanza tra le due aree è di poche centinaia di metri e le costruzioni non presentano differenze di vulnerabilità tali da spiegare le differenze di intensità macrosismica di due gradi osservate.

20

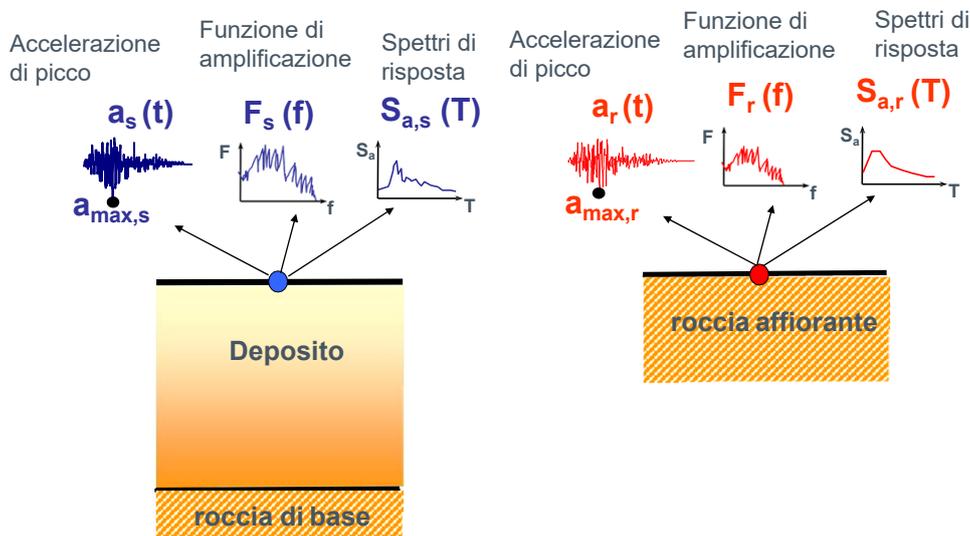


Risposta Sismica Locale come si quantifica?

22

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

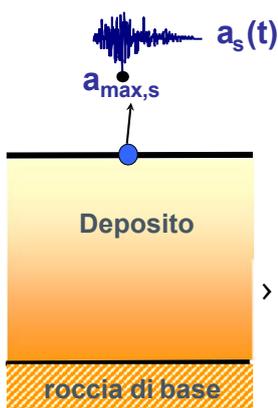
Valutazione della RSL



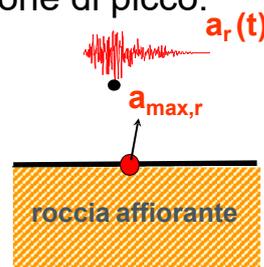
Lanzo, Rielaborazione slide corso
23

RSL e fattore di amplificazione

> Fattore di amplificazione dell'accelerazione di picco:



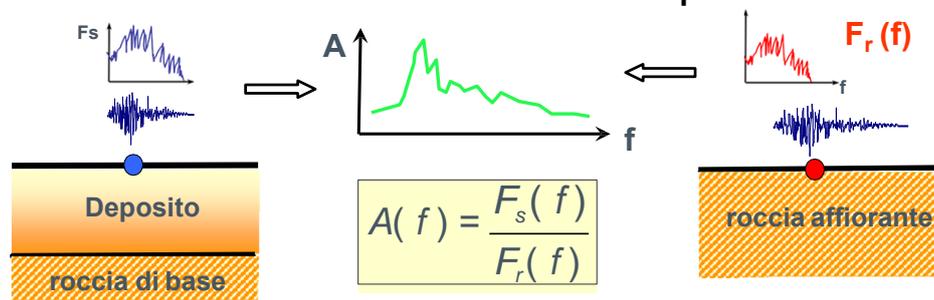
$$A_a = \frac{a_{max,s}}{a_{max,r}}$$



> Il termine **“fattore di amplificazione”** è in realtà improprio in quanto esso può assumere valori sia maggiori che inferiori all'unità e quindi possono esserci tanto fenomeni amplificativi che deamplificativi del moto.

Lanzo, Rielaborazione slide corso
24

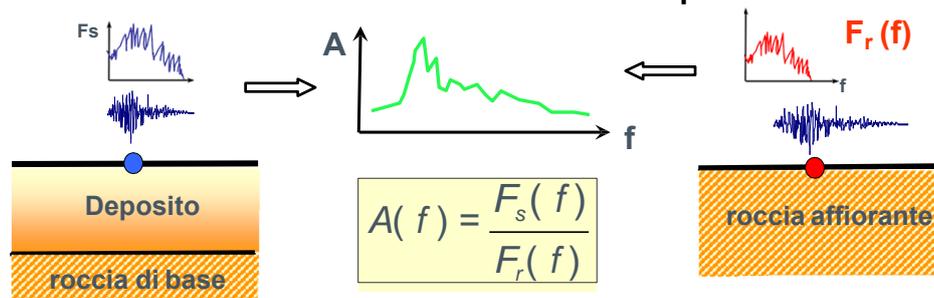
RSL in termini di funzione di amplificazione



- › Confronto tra parametri rappresentativi del moto sismico alla superficie del deposito e su roccia affiorante ubicata nelle vicinanze.
Ad es., in termini di Spettro di Fourier $F(f)$

Lanzo, Rielaborazione slide corso
25

RSL in termini di funzione di amplificazione



Funzione di amplificazione $A(f)$

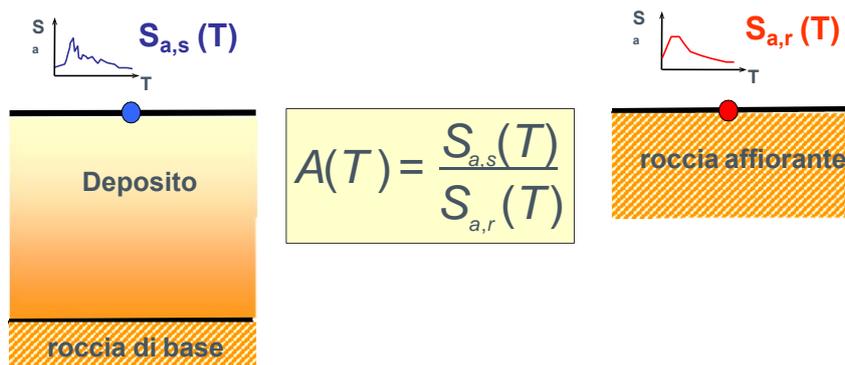
- › $A(f)$ indica quali frequenze del moto sismico sono state amplificate nel passaggio attraverso il terreno, quali sono state smorzate e in quale rapporto.
- › Fornisce quindi una descrizione sintetica ed efficace dell'**effetto filtrante** esercitato dal terreno sul moto sismico

Lanzo, Rielaborazione slide corso
26

RSL in termini di spettri di risposta

Rapporto spettrale $A(T)$

Confronto tra gli spettri di risposta del moto sismico alla superficie del deposito e all'affioramento roccioso.

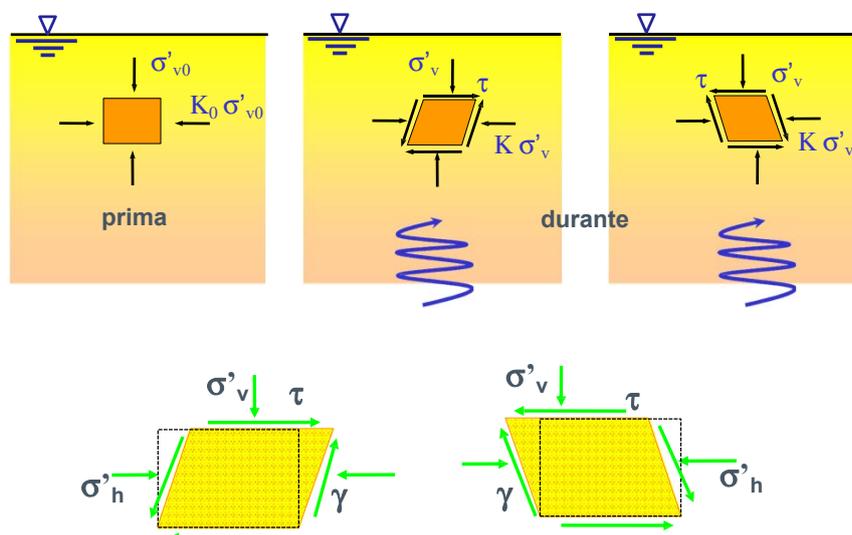


Lanzo, Rielaborazione slide corso
27

Cosa succede nel terreno durante il sisma?

28

Terreno e azioni sismiche



29

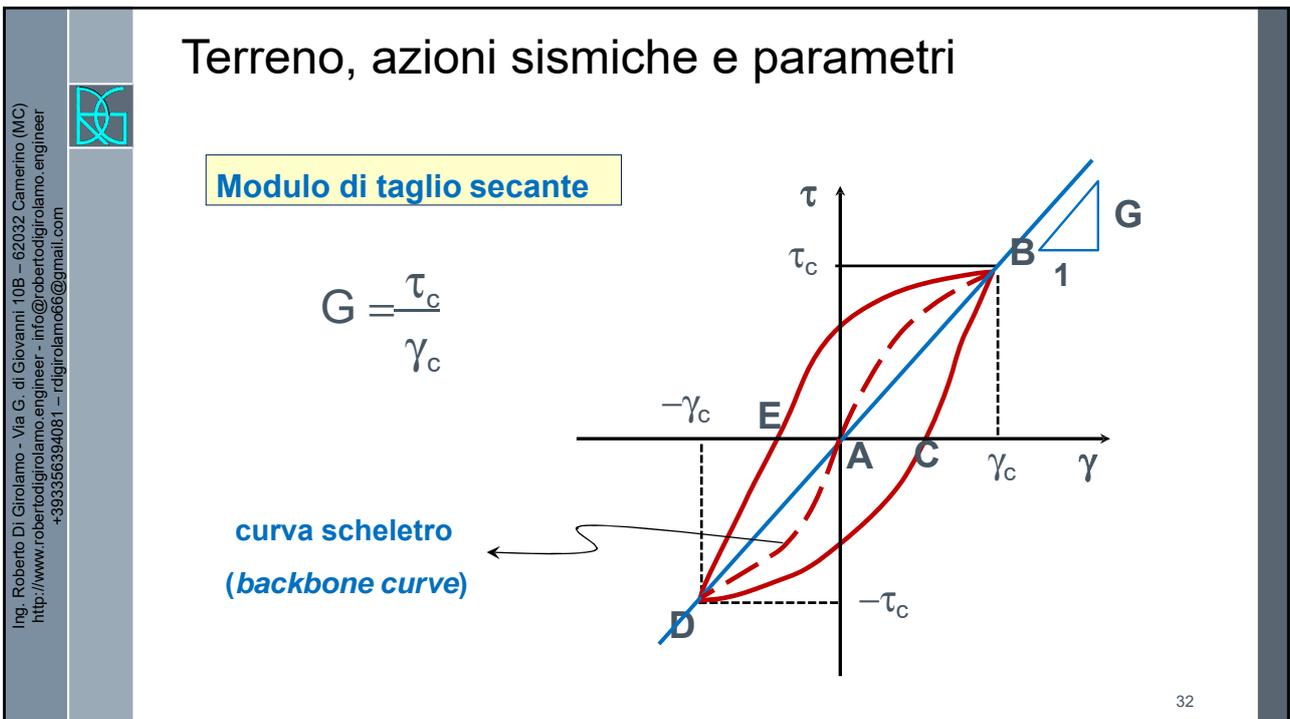
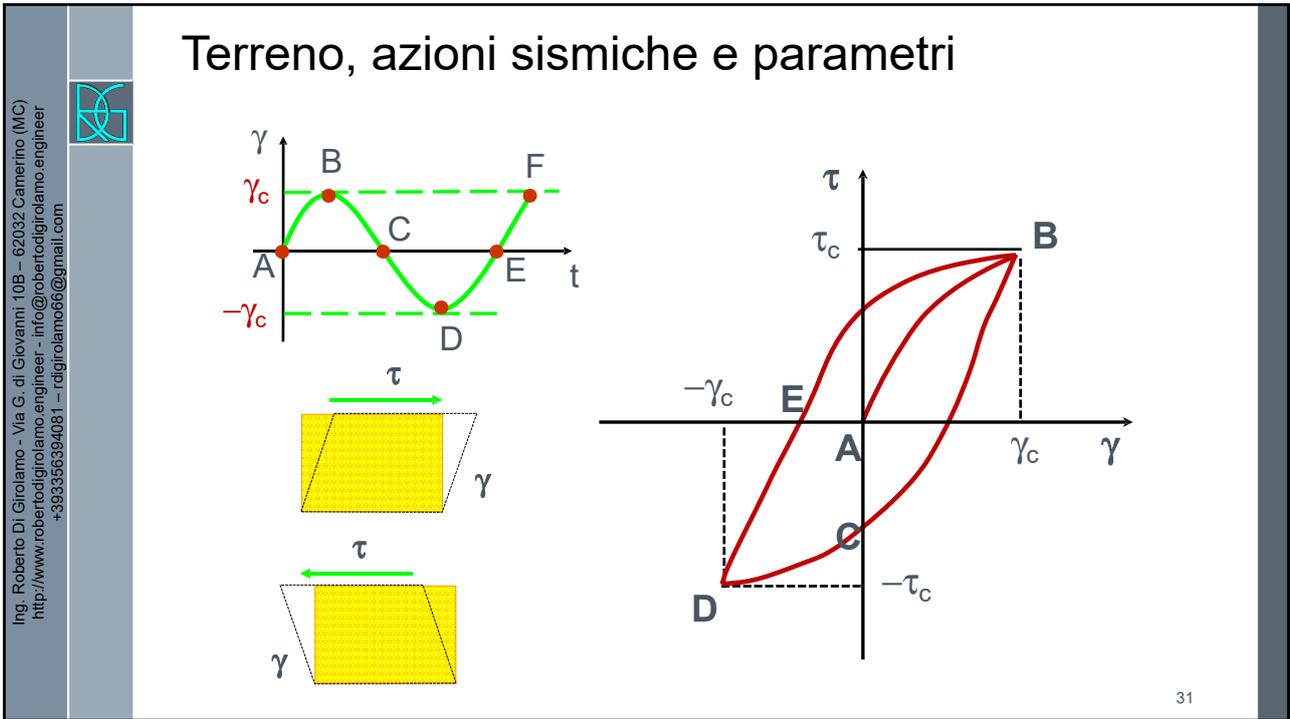
Terreno e azioni sismiche

Le condizioni di drenaggio

Generalmente nei problemi dinamici riguardanti i terreni saturi la velocità di applicazione delle sollecitazioni è sufficientemente elevata da potere assumere condizioni di drenaggio impedito (**condizioni non drenate**).

- > le deformazioni predominanti sono quelle di **pura distorsione**.
- > per la risoluzione dei problemi applicativi è sufficiente tenere conto del **legame sforzi tangenziali τ - deformazioni tangenziali γ**

30

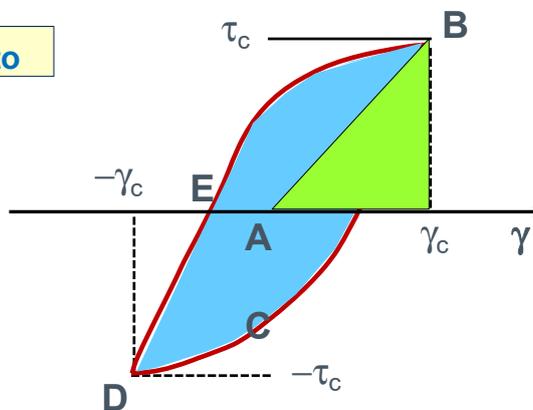


Terreno, azioni sismiche e parametri

Fattore di smorzamento

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W}{W}$$

$$W = \frac{1}{2} \tau_c \gamma_c$$



- ΔW = Energia dissipata durante il ciclo
- W = Energia elastica immagazzinata durante la fase di primo carico

33

Terreno, azioni sismiche e parametri

Sia G sia D variano fortemente al variare del livello di deformazione.

È possibile individuare tre domini in funzione dell'ampiezza della deformazione ciclica γ che è il parametro fondamentale che governa il comportamento dei terreni in dinamica dei terreni:

Si possono distinguere 3 comportamenti:

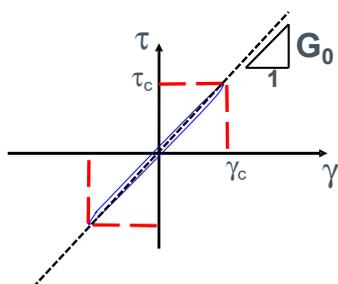
- > piccole deformazioni: $\gamma_c < 0,001\%$
- > medie deformazioni: $0,001\% < \gamma_c < 0,1\%$
- > elevate deformazioni: $\gamma_c > 0,1\%$

34

Comportamento a piccole deformazioni

A **piccole deformazioni** ($\gamma_c < 0,001\%$) il legame sforzi tangenziali -deformazioni tangenziali è ai fini pratici schematizzabile con un **modello elastico lineare**

$$G_0 = G_{\max} = \rho V_s^2 = \frac{\gamma}{g} V^2$$



Modulo di taglio massimo o iniziale

$$G = G_0 = G_{\max}$$

Fattore di smorzamento iniziale

$$D = D_0$$

35

Comportamento a piccole deformazioni

Dominio a comportamento elastico lineare ($\gamma < \gamma_l$):

> $G = G_0 = \text{cost}$

> $D = D_0 = \text{cost}$

I parametri G_0 e D_0 non variano al variare della deformazione ciclica γ ; le deformazioni plastiche sono trascurabili; il rapporto di smorzamento iniziale D_0 assume valori molto piccoli ma non nulli (modesta dissipazione di energia).

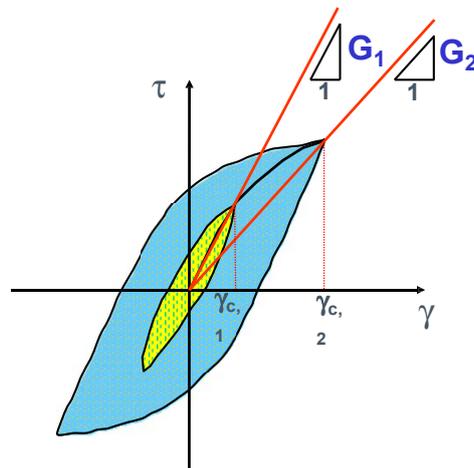
36

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



Comportamento a medie deformazioni

A **medie deformazioni** ($0.001\% < \gamma_c < 0.1\%$) il legame τ - γ è **non lineare e dissipativo**



$$G_2 < G_1$$

$$D_2 > D_1$$

$$\gamma_c \uparrow \quad G \downarrow \quad D \uparrow$$

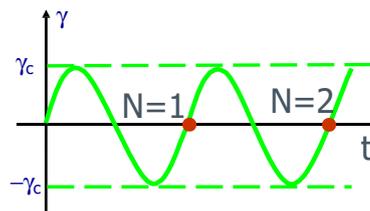
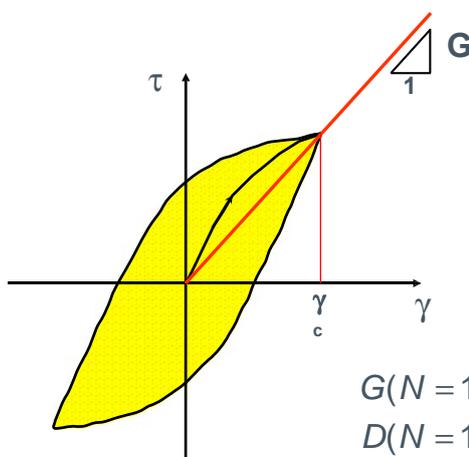
37

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



Comportamento a medie deformazioni

A **medie deformazioni** il legame τ - γ **non è** influenzato dal **numero dei cicli N**



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

$$D(N=1) = D(N=2) = \dots = D(N=n)$$

38

Comportamento a medie deformazioni

Dominio a comportamento isteretico stabile ($\gamma_l < \gamma < \gamma_v$):

> $G = G(\gamma)$

> $D = D(\gamma)$

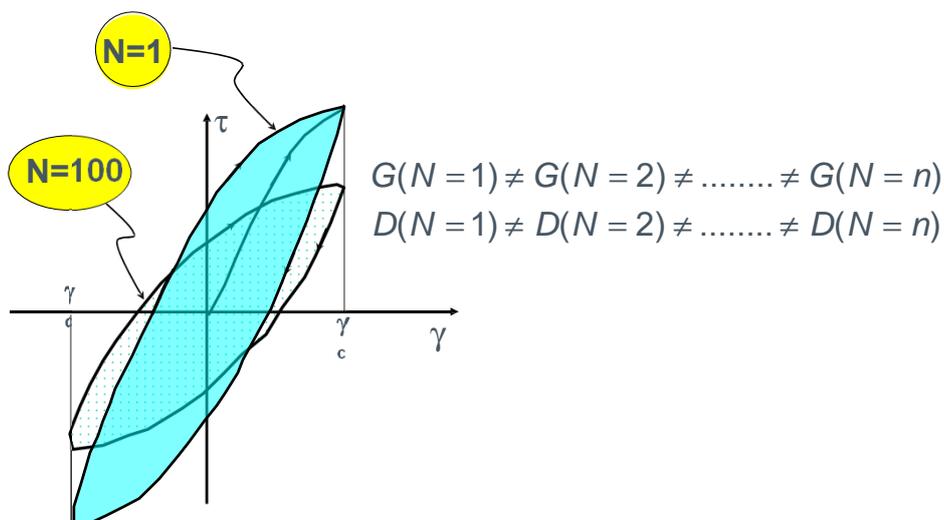
Il legame sforzi-deformazioni è non lineare e dissipativo. I parametri G e D variano al crescere della deformazione ciclica γ .

Marcata dissipazione di energia. Al progredire dei cicli di carico, i cicli di isteresi si sovrappongono. Gli eccessi di pressione interstiziale oscillano intorno alle zero. Deformazioni permanenti modeste.

39

Comportamento a elevate deformazioni

A **deformazioni elevate** il legame τ - γ è influenzato dal **numero dei cicli N**



40

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



Comportamento a elevate deformazioni

Dominio a comportamento isteretico instabile ($\gamma > \gamma_v$):

- > $G = G(\gamma, N)$
- > $D = D(\gamma, N)$

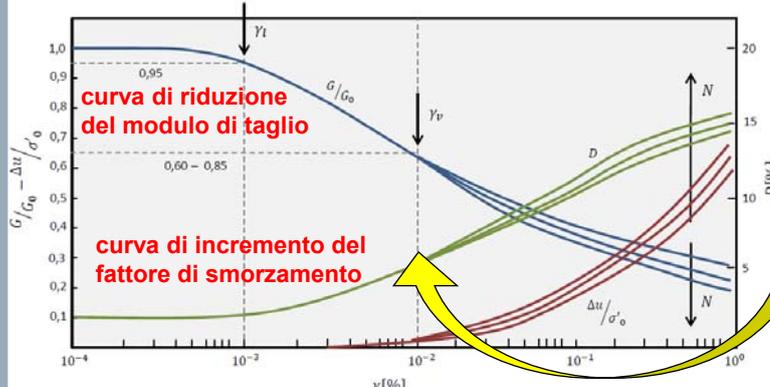
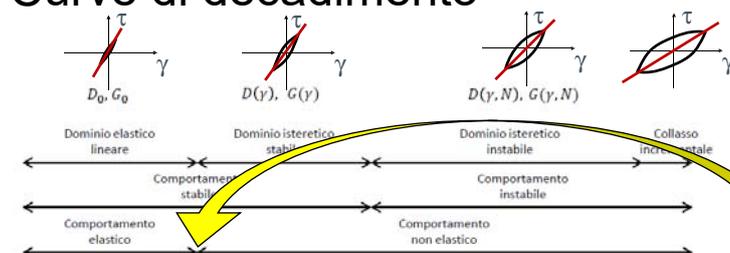
Il legame sforzi-deformazioni è marcatamente non lineare e dissipativo. Il terreno è interessato da modifiche irreversibili che sono sempre più importanti al crescere del numero dei cicli:

- > Nei terreni asciutti si accumulano deformazioni distorsionali e variazioni di volume al crescere del numero dei cicli;
- > Nei terreni saturi si accumulano deformazioni distorsionali e sovrappressioni interstiziali al crescere del numero dei cicli.

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



Curve di decadimento



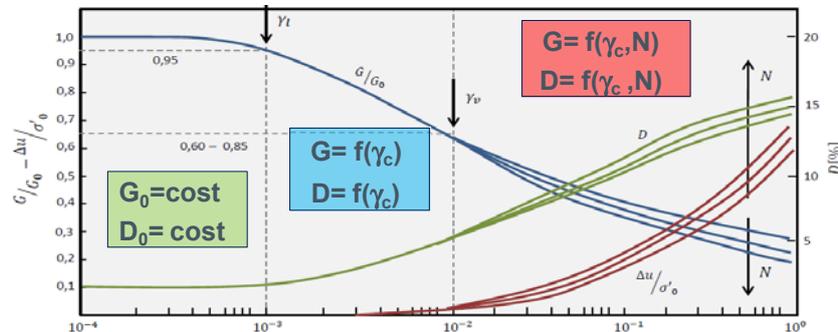
Soglia Lineare γ_l
 Jamiolkowski et al. ('95)
 $G/G_0 = 0,95$
 Tika et al. ('98) e Vucetic ('94)
 $G/G_0 = 0,98$

Soglia Volumetrica γ_v
 Vucetic ('94)
 $G/G_0 = 0,65$
 Georgiannou et al. (1991)
 $G/G_0 = 0,65/0,85$
 Tika et al. (1999) $G/G_0 = 0,60/0,90$

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



Valori delle deformazioni di taglio nei problemi applicativi



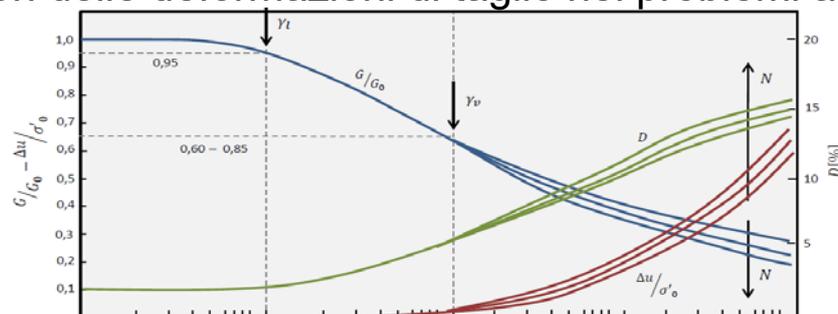
10

Al di sopra di γ_v si osserva:

- In condizioni non drenate incremento ed accumulo di sovrapressioni interstiziali.
- In condizioni drenate tale soglia corrisponde all'inizio di deformazioni di volume irreversibili.

43

Valori delle deformazioni di taglio nei problemi applicativi



| Deformazione di taglio γ (%) | PICCOLA | | MEDIA | | ELEVATA | | ROTTURA |
|-------------------------------------|--|--|----------------------------|--|---------|-----------------|---------|
| Lineare elastico | [Diagram showing linear elastic deformation] | | | | | | |
| Non lineare elastico | [Diagram showing non-linear elastic deformation] | | | | | | |
| Elasto-plastico | [Diagram showing elasto-plastic deformation] | | | | | | |
| Rottura | [Diagram showing rupture] | | | | | | |
| Modello | Lineare visco-elastico | | Non lineare visco-elastico | | | Elasto-plastico | |
| Campi di deformazione di taglio | <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;">Fondazioni di macchine vibranti</div> <div style="width: 40%;">Terremoti</div> <div style="width: 20%;">Opere di sostegno</div> <div style="width: 10%;">Fondazioni</div> <div style="width: 10%;">Gallerie</div> </div> | | | | | | |
| | Prove geofisiche | | | | | | |

44

Risposta Sismica Locale

La complessa geometria del sottosuolo,

La complessa natura e geometria della generazione delle onde sismiche,

La complessa propagazione delle onde sismiche nei terreni,

La complessa risposta del terreno alle azioni dinamiche generate,

La complessità ci dovrebbe far arrendere?

NO, al solito il professionista, in maniera ingegneristica, dovrà ridurre e semplificare il problema consapevole dei limiti, delle incertezze e della sensibilità del modello ad ogni singola variabile considerata.

Lanzo-Silvestri, Risposta Sismica Locale
modificato da Roberto Di Girolamo

45



FUMETTI PALLOSI #13



46