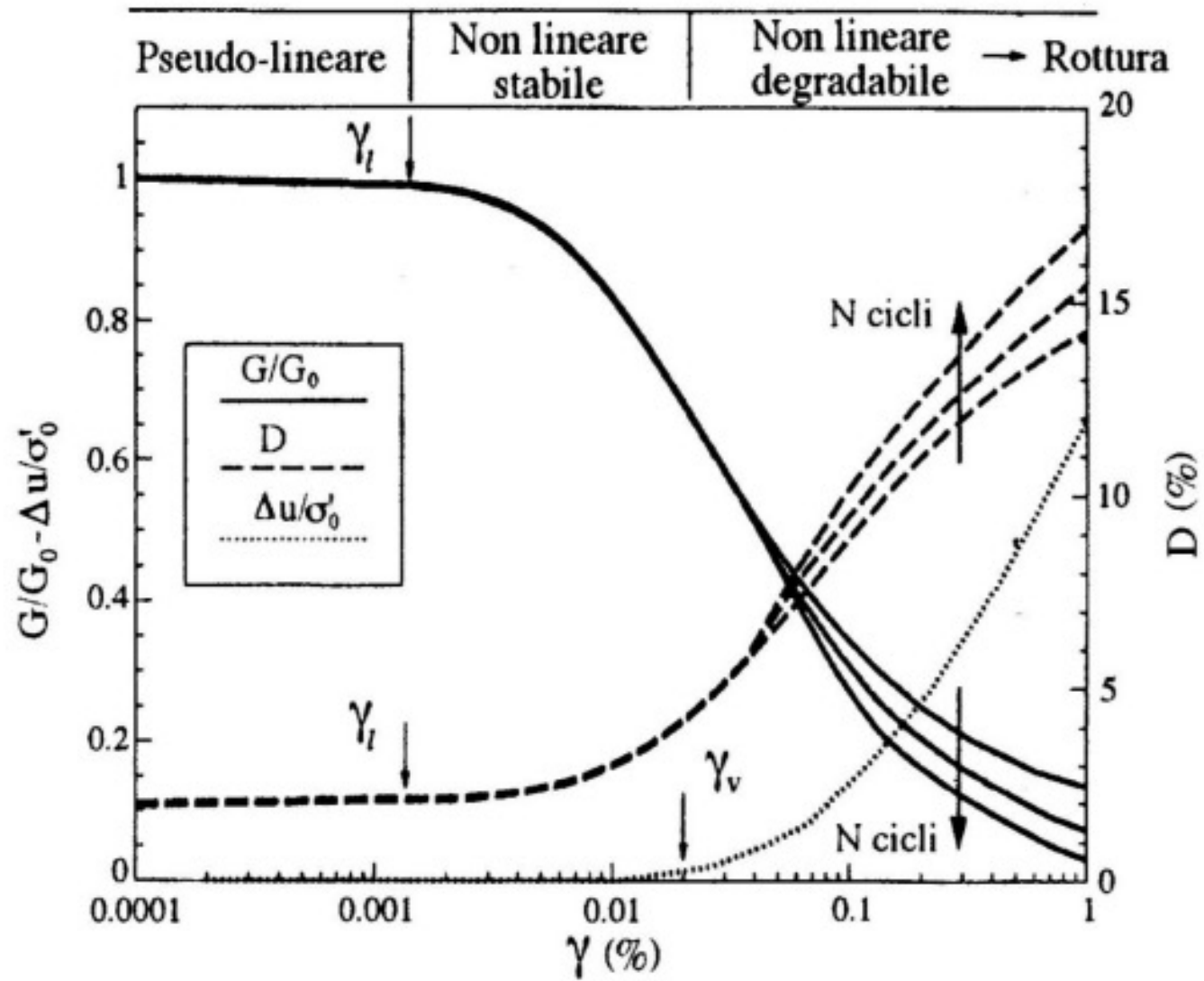


FONDAZIONI

prof. ing. Nunziante Squeglia

3. INDAGINI IN SITO

**Caratterizzazione dinamica per la valutazione
dell'azione sismica**



Testi “consigliati”

Oltre ai soliti Viggiani e/o Lo Presti (II)

Crespellani – Facciorusso

Dinamica dei Terreni

Dario Flaccovio Editore

Kramer

Geotechnical Earthquake Engineering

Prentice Hall

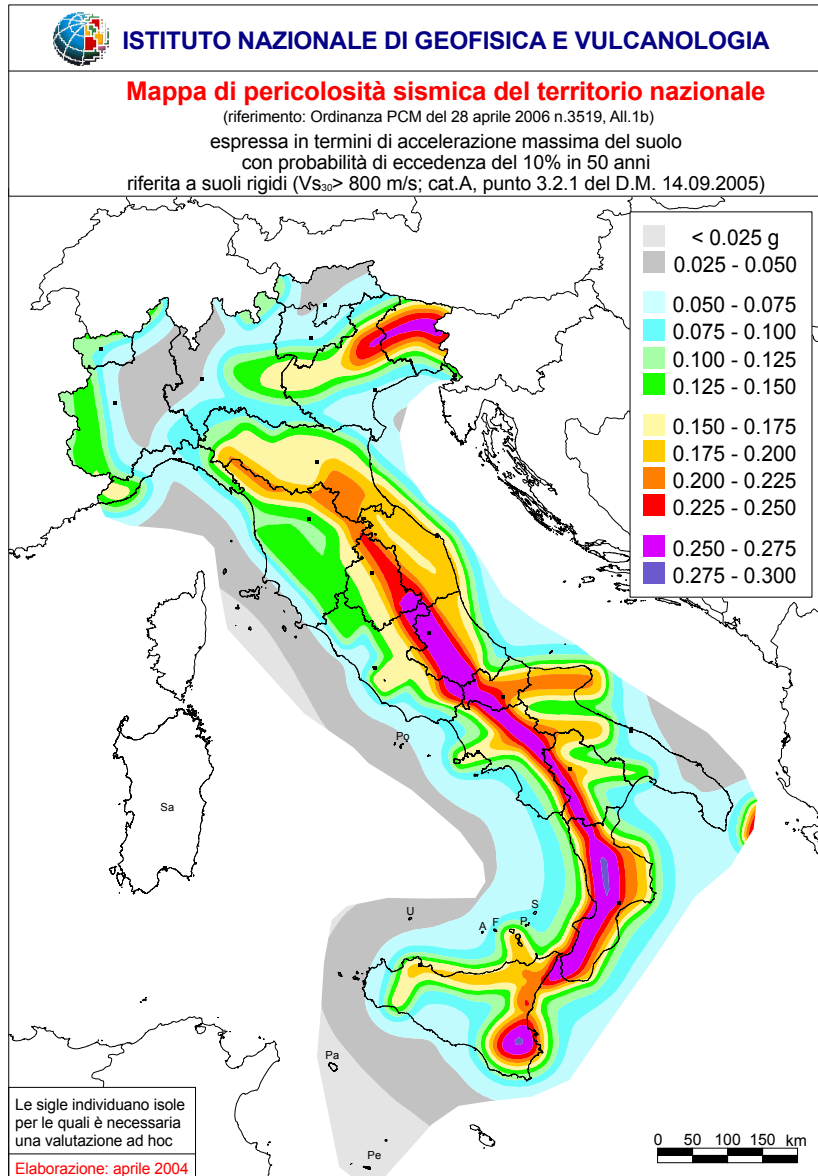
CAPITOLO 3 – NTC 2018

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. Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

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** quale 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_{V_R} , 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 del sito.

- Pericolosità definita in termini di accelerazione attesa
- Categoria del sottosuolo
- Spettro di risposta elastico
- Accelerogrammi



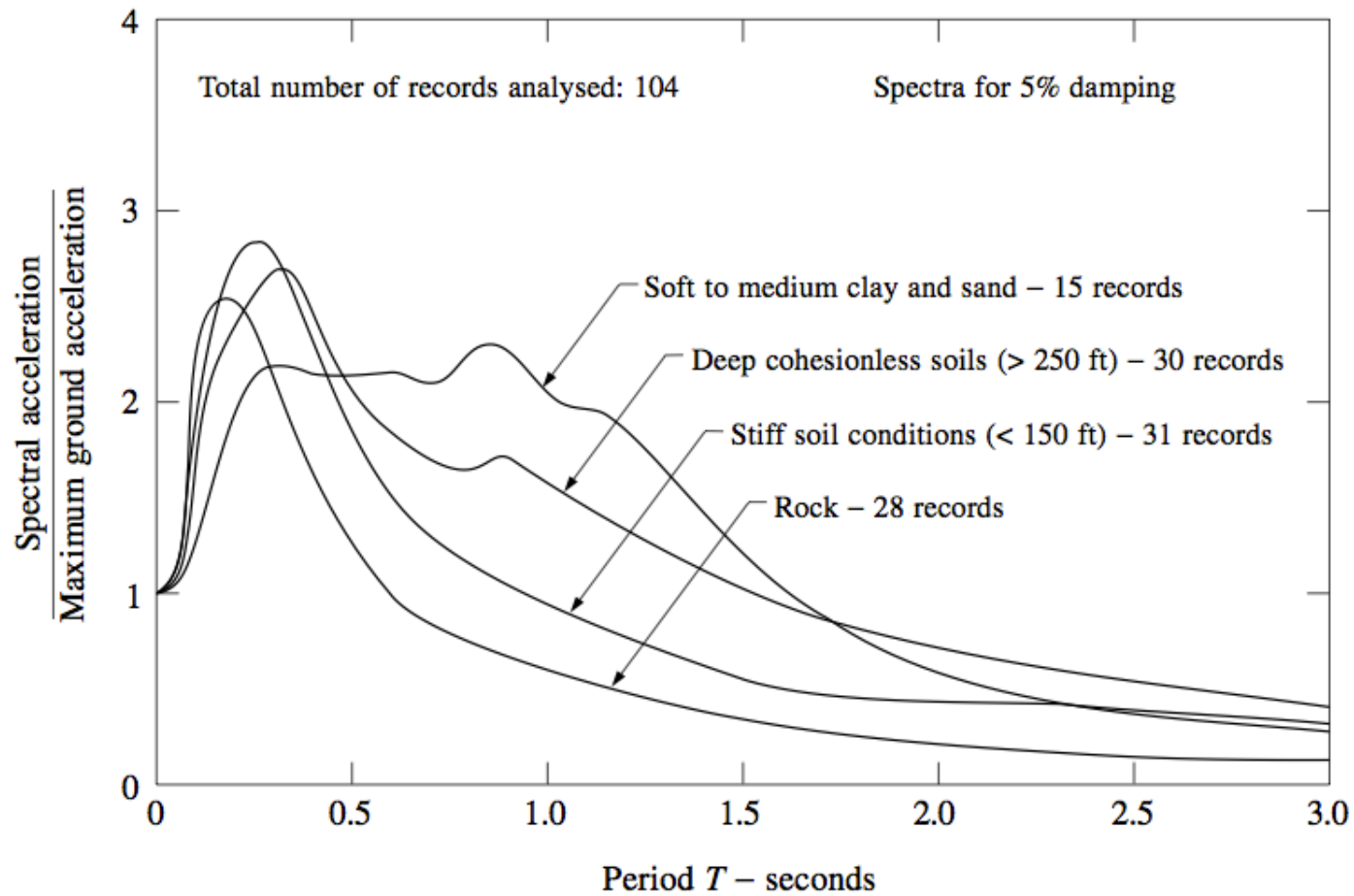
PERICOLOSITA' DI BASE

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

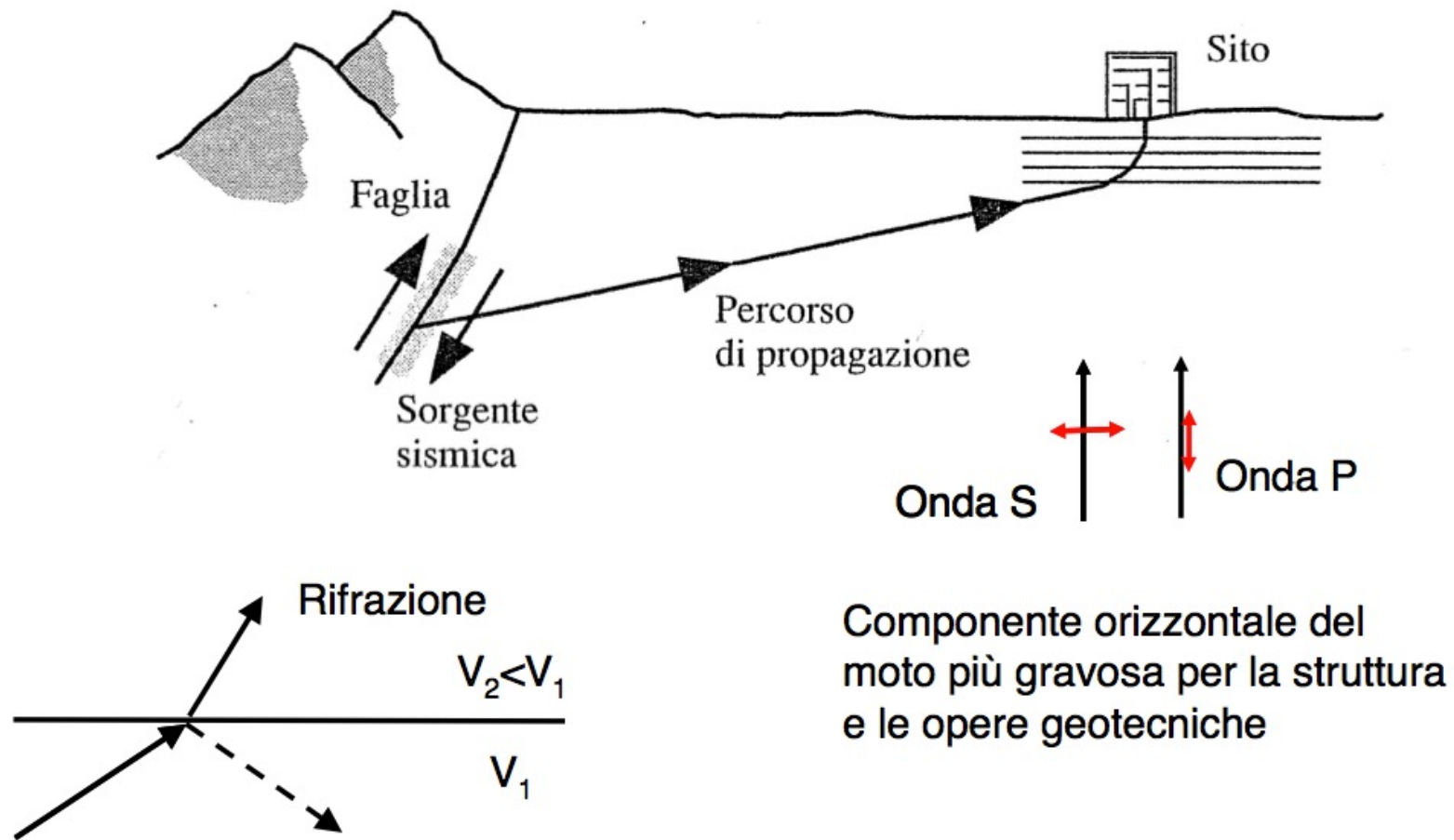
Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

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>

INFLUENZA DEL SOTTOSUOLO SULL'AZIONE SISMICA (Misure)



SCHEMA DELLA PROPAGAZIONE DELL'ONDA SISMICA



Componente orizzontale del moto più gravosa per la struttura e le opere geotecniche

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.

I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

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 le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

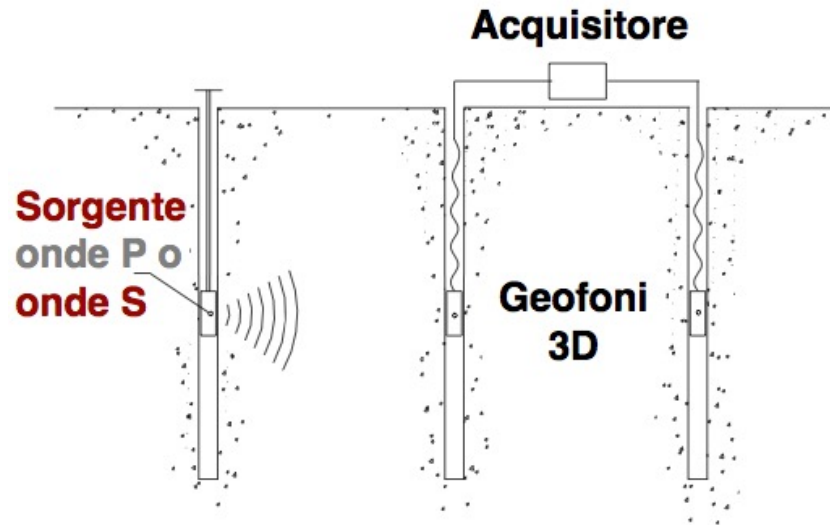
Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

DETERMINAZIONE DEL PROFILO DELLA V_s Bassissimo livello di deformazione ($\gamma < 10^{-6}$)

- Prove in foro
 - Prove Cross-hole
 - Prove Down-hole
 - In foro
 - SCPT-SDMT
- Prove dalla superficie
 - Prove sismica a rifrazione (onde SH)
 - Analisi delle onde superficiali
 - Metodi attivi (SASW, MASW)
 - Metodi passivi (fk, SPAC, ReMi, H/V)

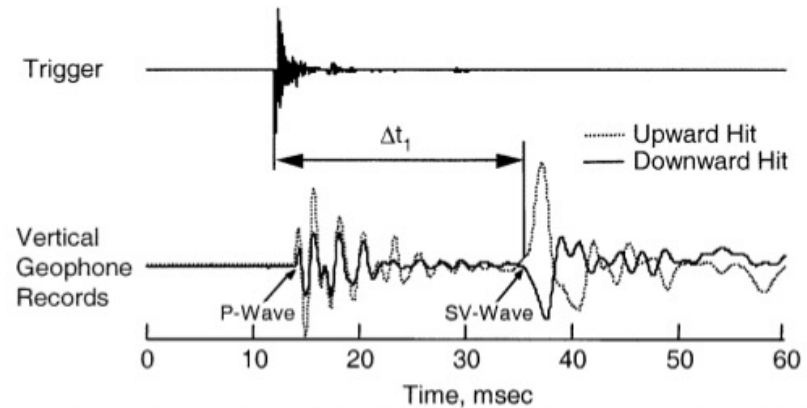
SCHEMA DI UNA PROVA CROSS-HOLE



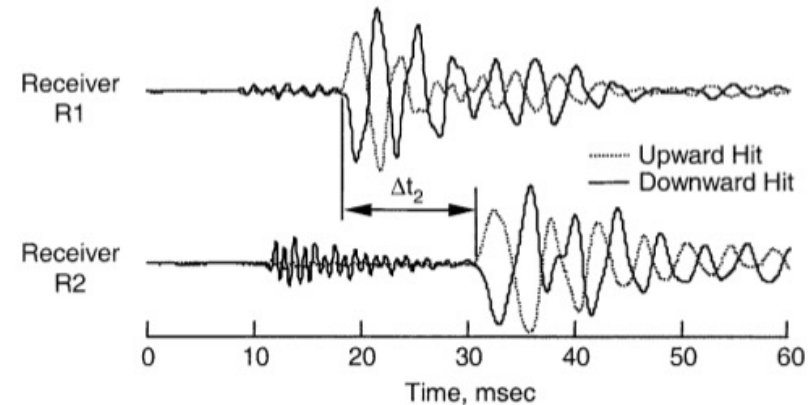
2 o 3 fori rivestiti e cementati con controllo verticalità (costi ↑)

tempi di arrivo → V_p & V_s

onde P Sv Sh

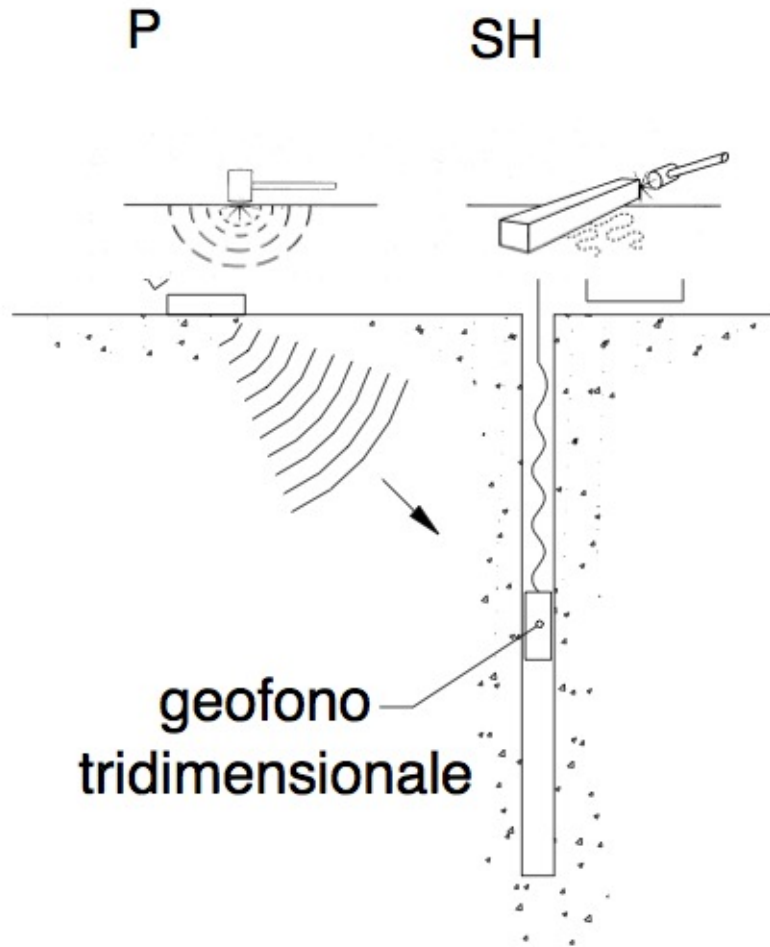


a. Record Illustrating a Direct Travel Time Measurement of an SV Wave



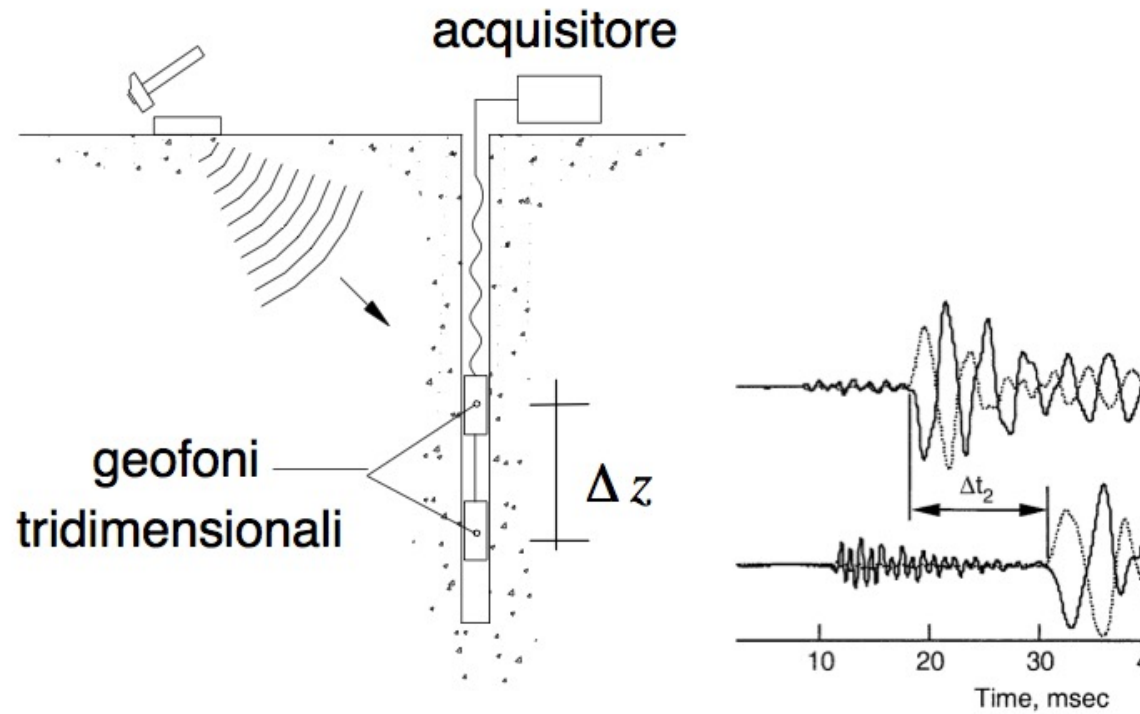
(after Santamarina and Stokoe, 2000)

SCHEMA DI UNA PROVA DOWN-HOLE



UN RICEVITORE

SCHEMA DI UNA PROVA DOWN-HOLE (due ricevitori)

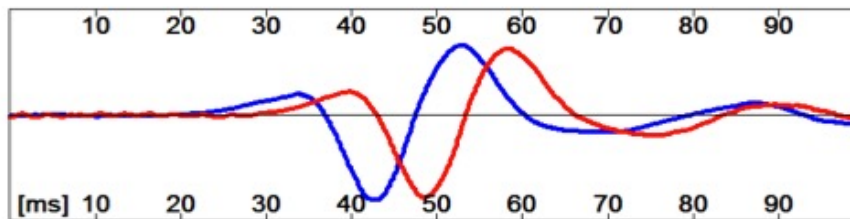


$$V = \frac{\Delta z}{\Delta t_{corr}}$$

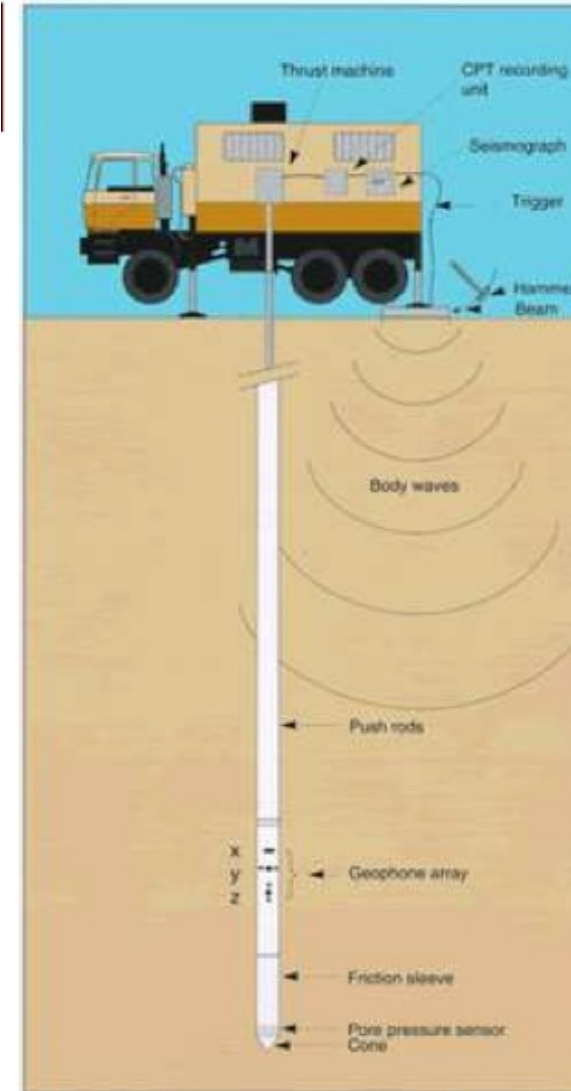
PROVA PENETROMETRICA STATICA CON MODULO SISMICO

- molto efficiente (no fori sondaggio)
- ottimo accoppiamento geofono-terreno (niente rivestimento)
- possibile eseguire prova SCPT in *modalità CHT* usando due coni
- stesse limitazioni CPT/DMT

SDMT: trasmissione del segnale digitalizzato

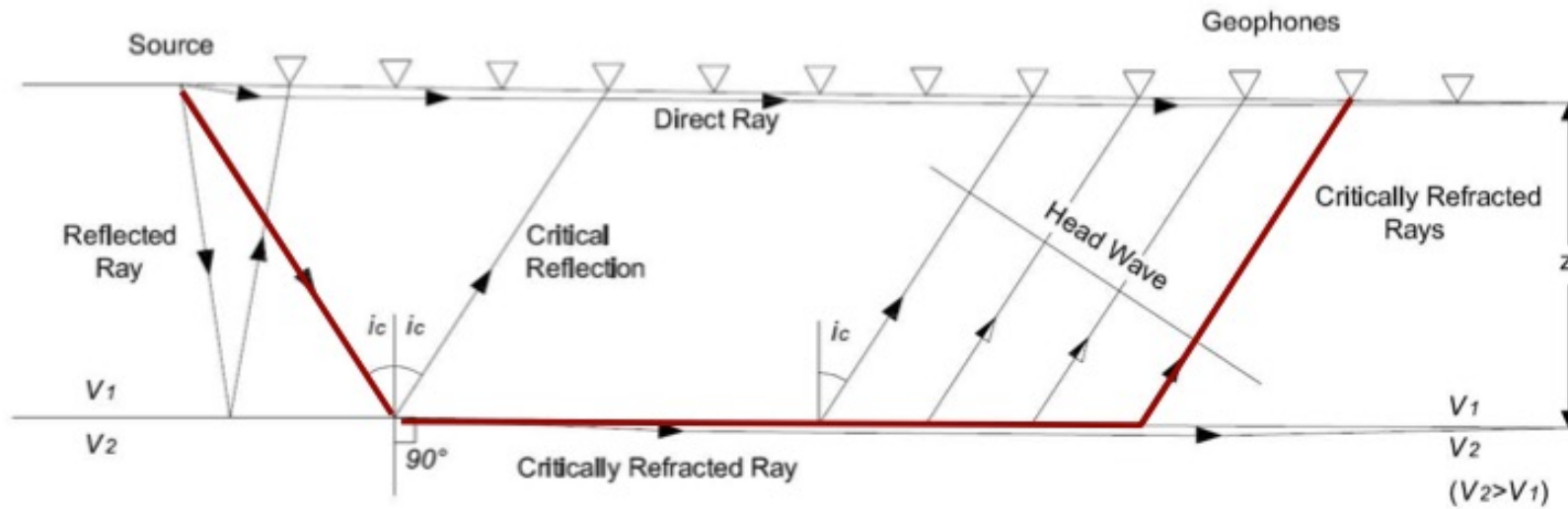


(Marchetti et al., 2006)

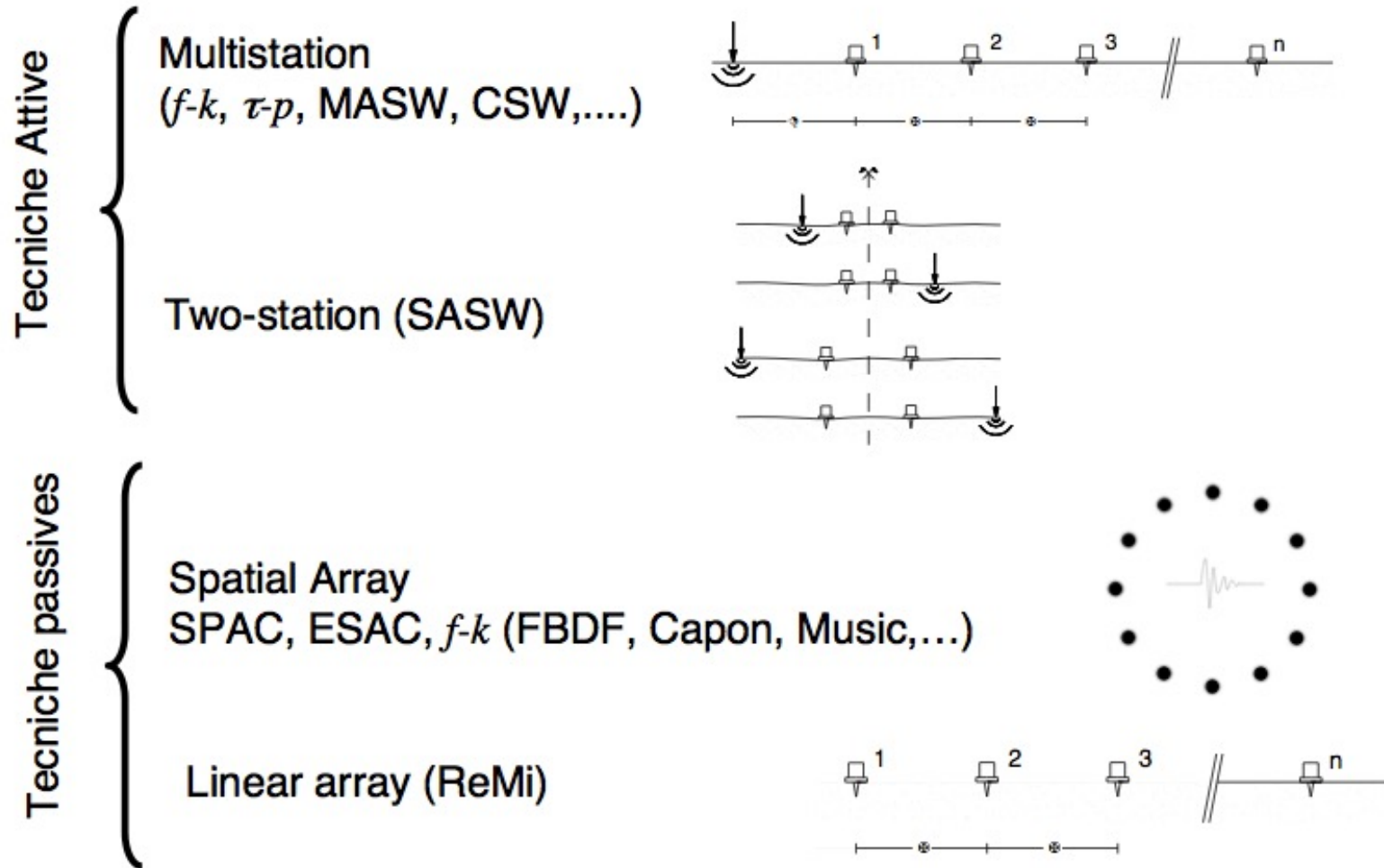


METODI GEOFISICI

Sismica a rifrazione



ALTRE TECNICHE DI SUPERFICIE

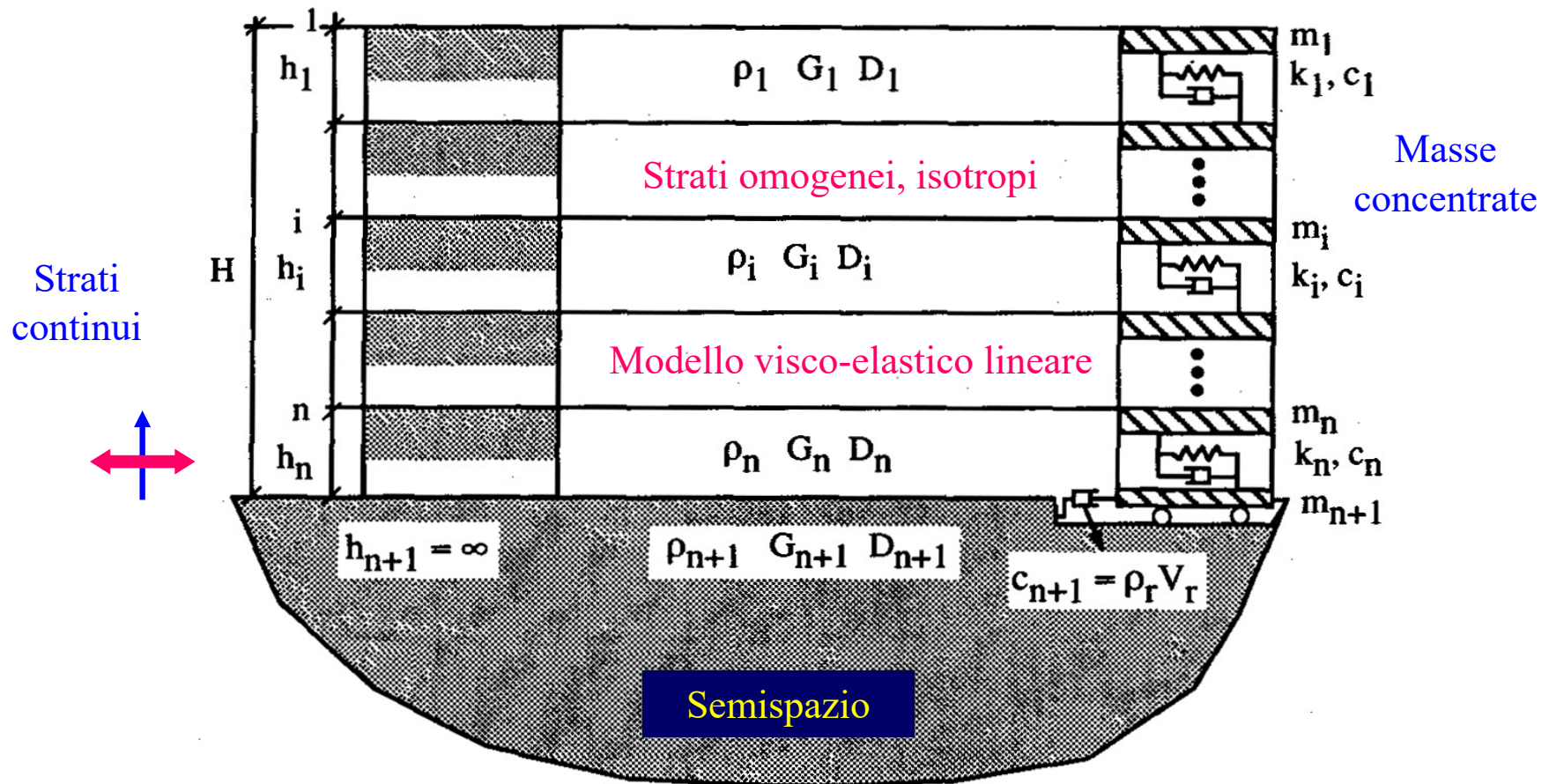


SE IL SOTTOSUOLO NON E' CLASSIFICABILE?

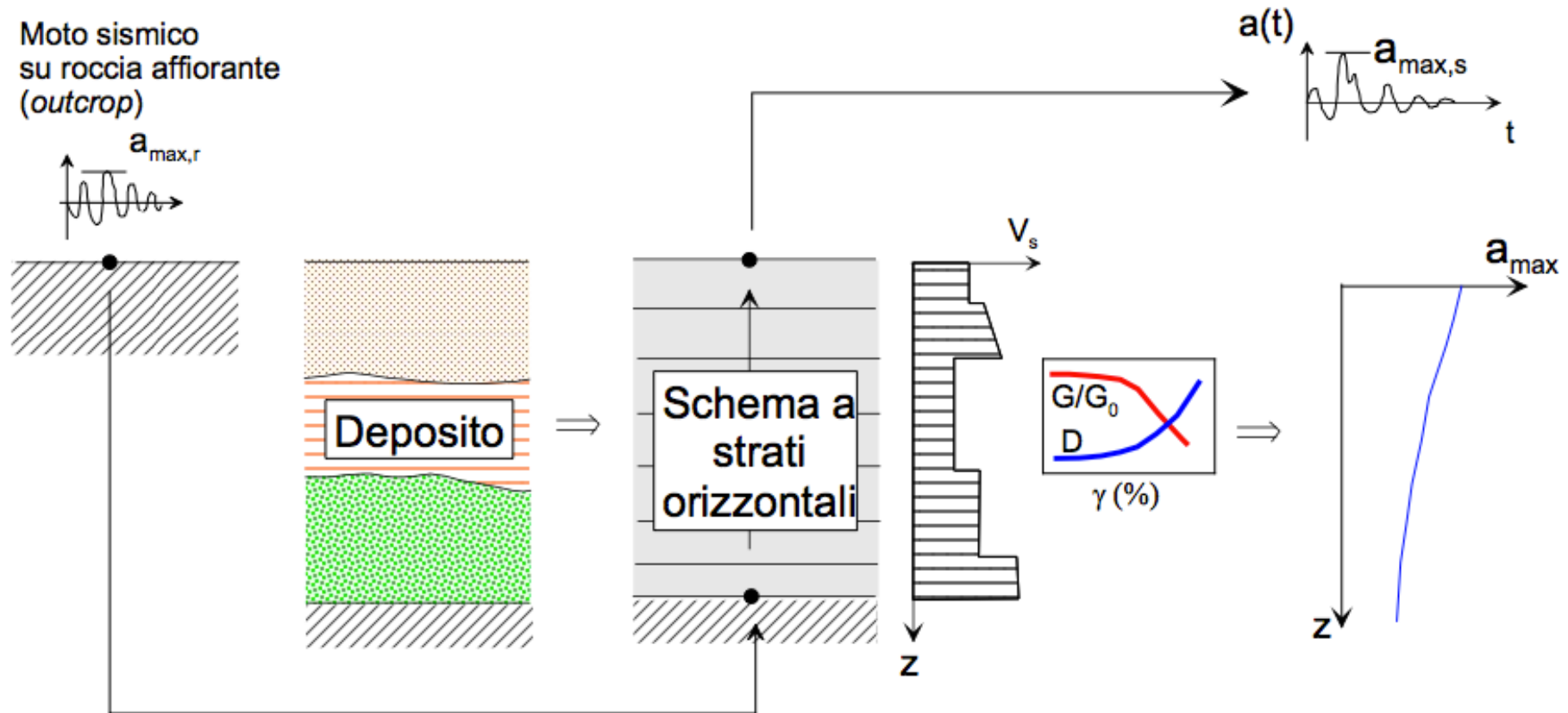
Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti (ndr, Tab. 3.2.II in diapositiva 6), è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Specifiche analisi = Risposta Sismica Locale
(Calcolo dell'azione sismica!)

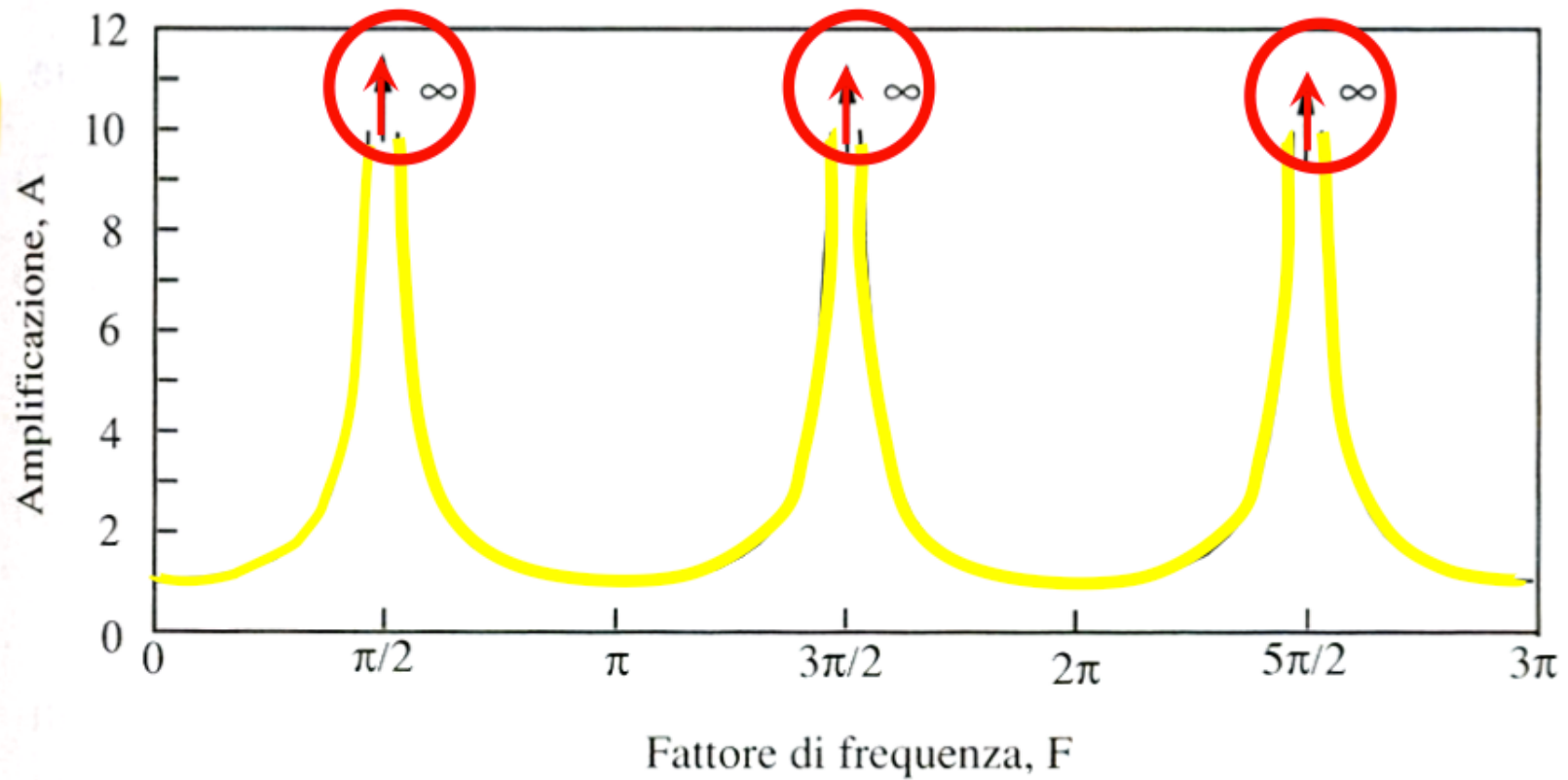
Modellazione monodimensionale Strati e bedrock orizzontali



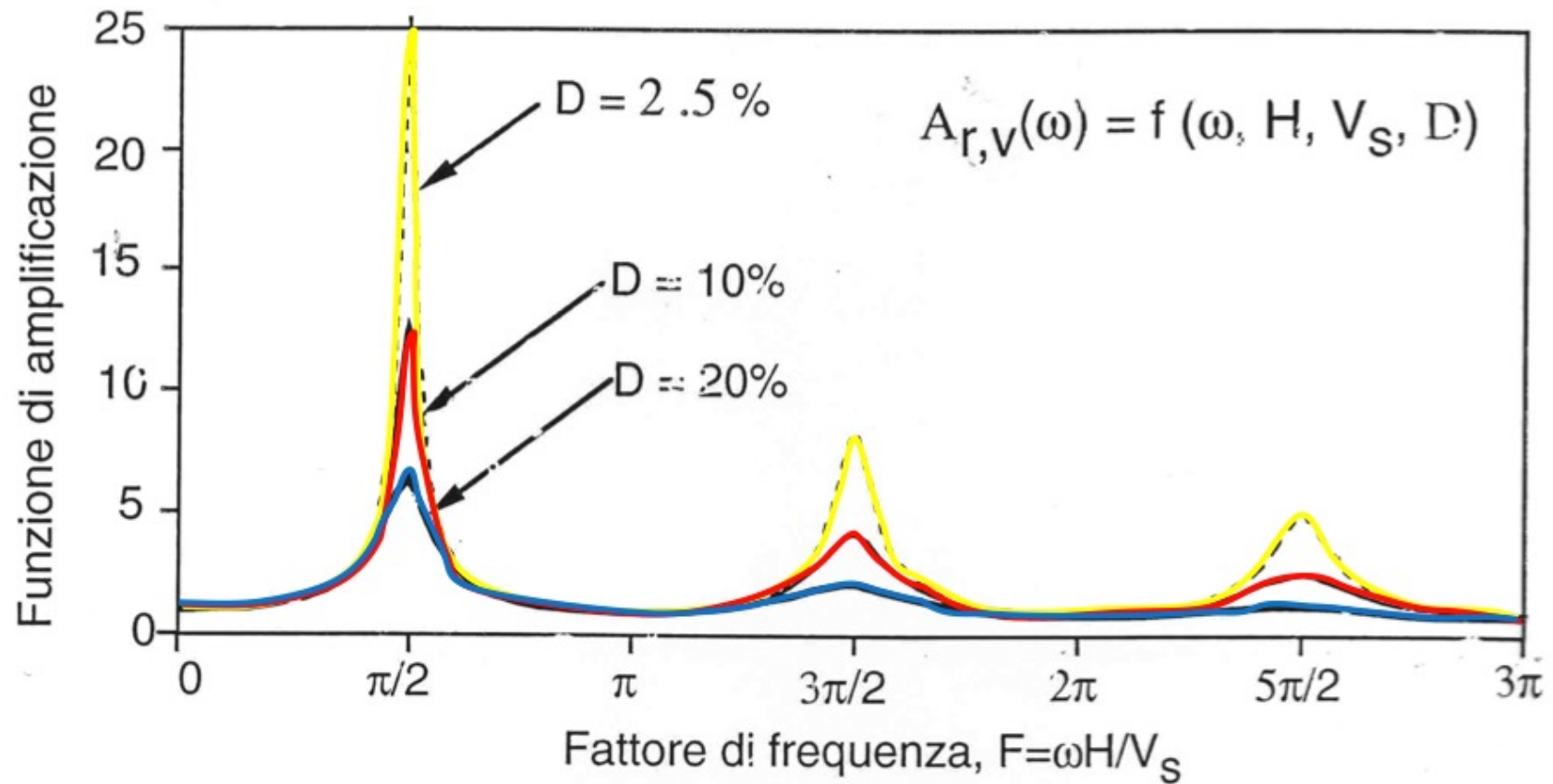
SCHEMA DI UNA ANALISI DI RISPOSTA SISMICA



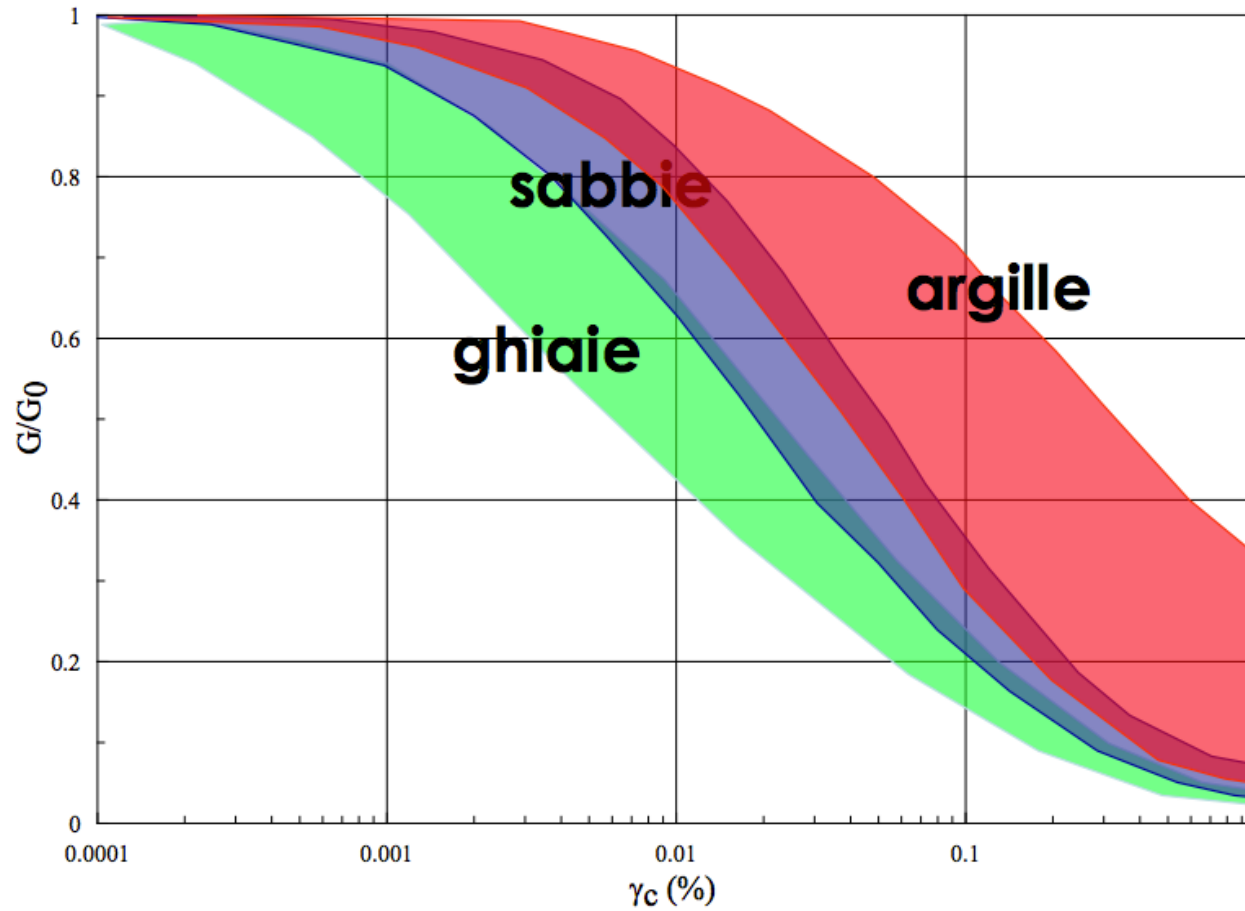
AMPLIFICAZIONE:STRATO ELASTICO LINEARE



AMPLIFICAZIONE:STRATO VISCO ELASTICO



DECADIMENTO DEL MODULO PER DIVERSI TERRENI

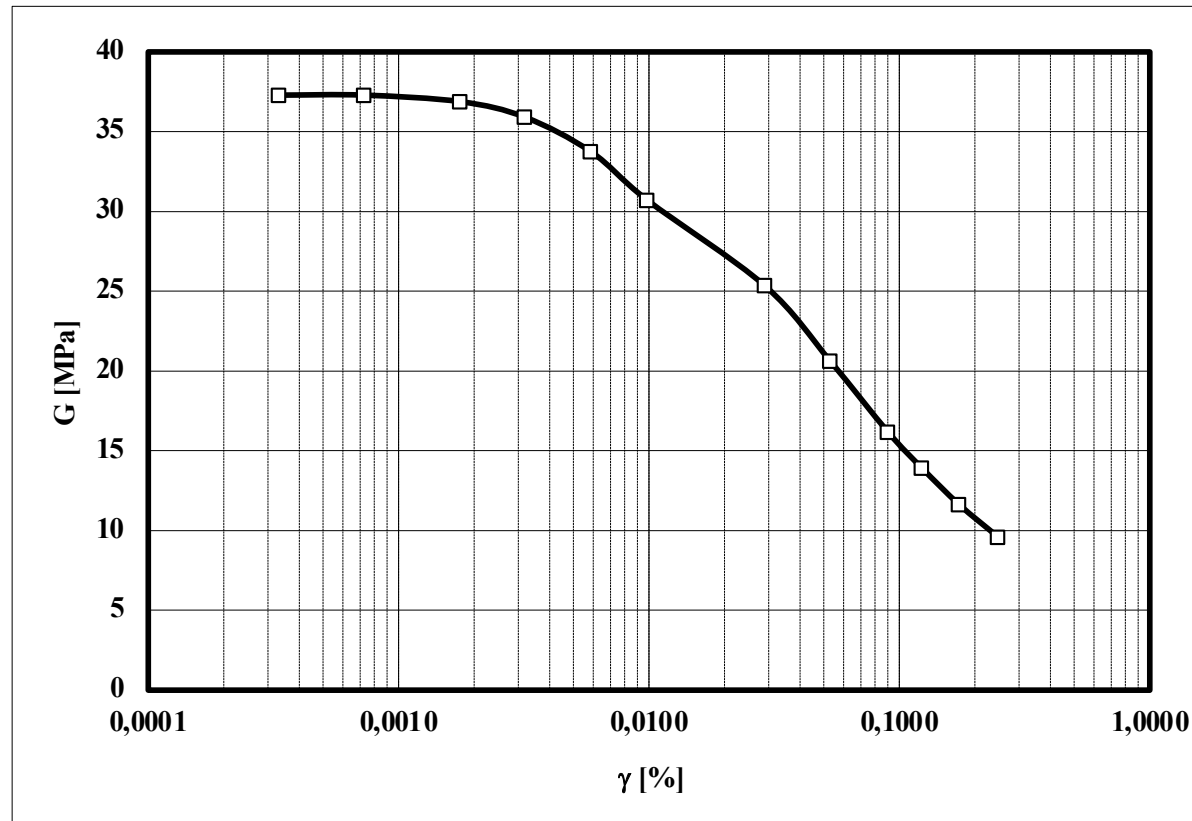


CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DEL TERRENO

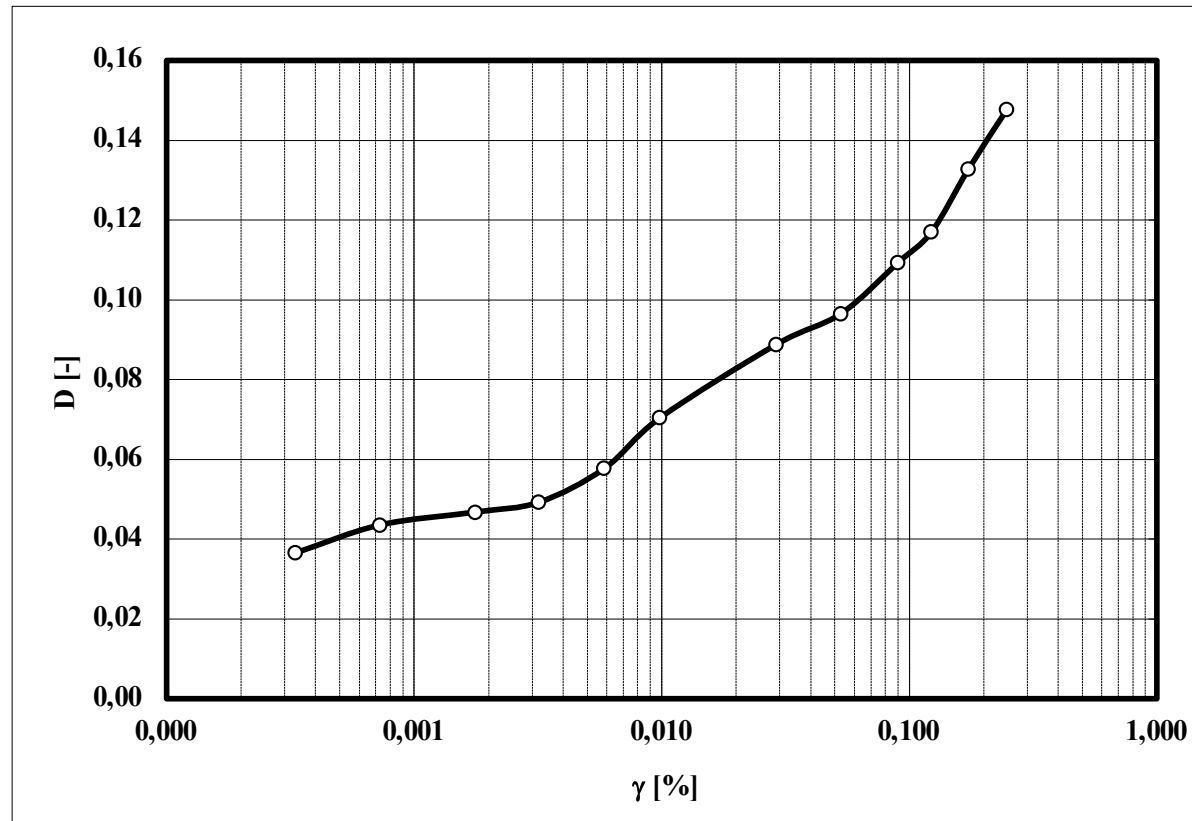
MEZZI DI INDAGINE IN LABORATORIO (su campioni “indisturbati”)

- TRIASSIALI
 - TX (UU, CU, CD)
 - **Cicliche (CLTX)**
- EDOMETRICHE (ED)
- TAGLIO DIRETTO O TAGLIO SEMPLICE (DS, SS)
- **COLONNA RISONANTE (RCT)**
- **TAGLIO TORSIONALE CICLICO (CLTST)**

ANDAMENTO DEL MODULO G



ANDAMENTO DELLO SMORZAMENTO



FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

Sollevamento di un serbatoio interrato



EFFETTI DI UN TERREMOTO

Sprofondamento di alcuni edifici, senza rotture (apparenti) della struttura



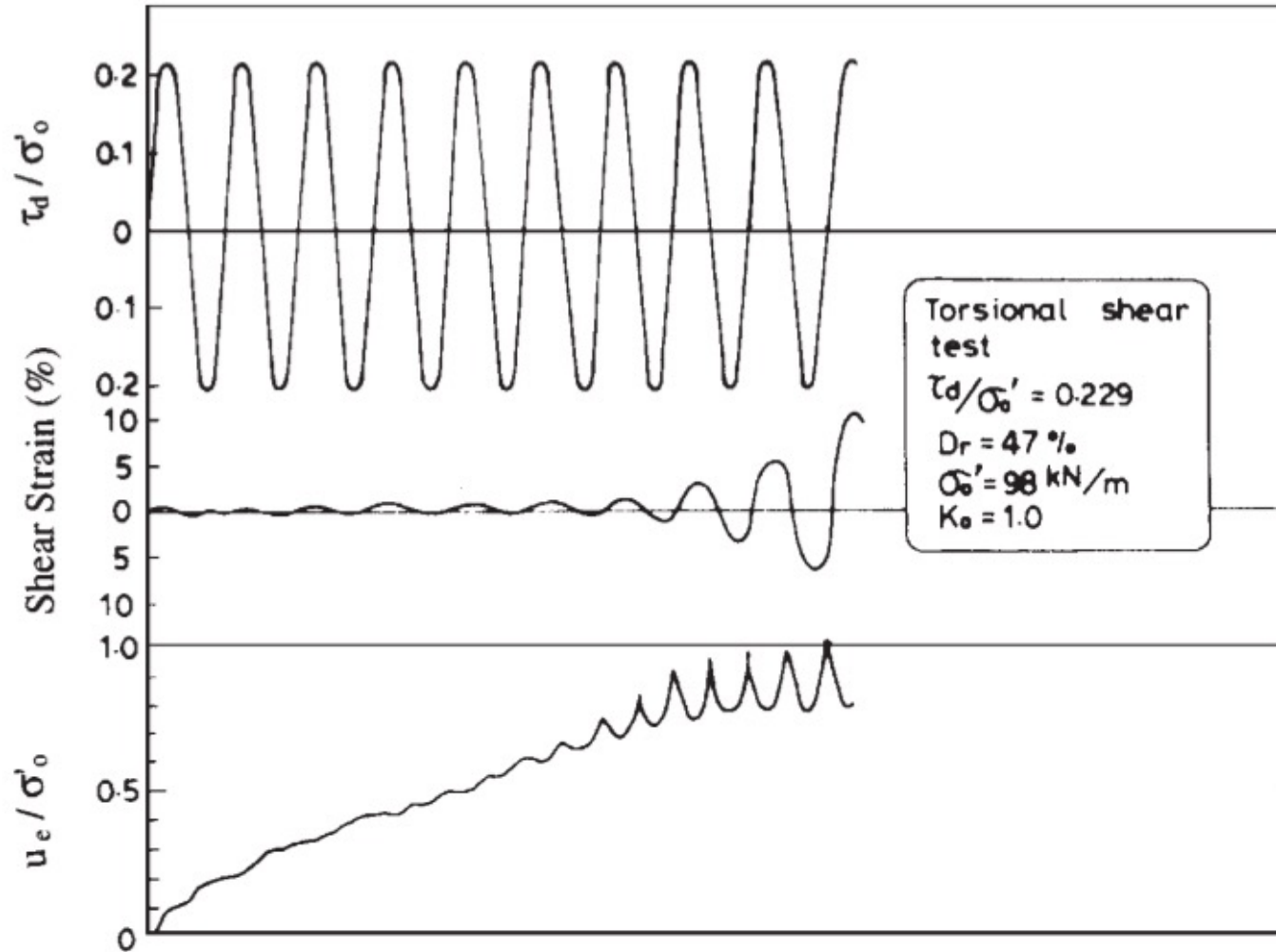


FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

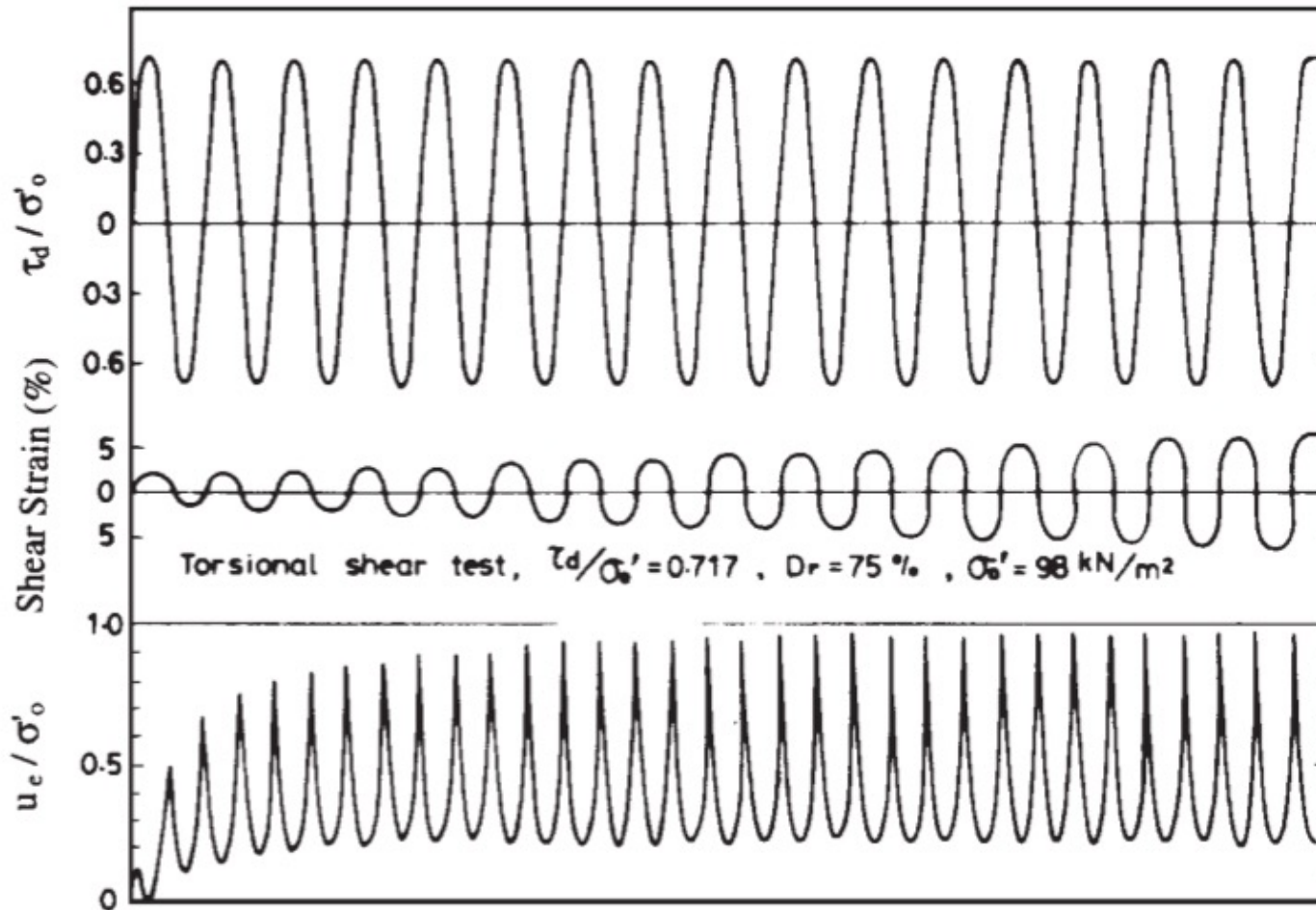
Affondamento di un oggetto
appoggiato sul terreno

Youtube:
Soil liquefaction due
to earthquake.
UTHM
GEOFEST'14

EFFETTO DELL'APPLICAZIONE DI SFORZI DI TAGLIO IN CONDIZIONI NON DRENATE



EFFETTO DELL'APPLICAZIONE DI SFORZI DI TAGLIO IN CONDIZIONI NON DRENATE



COSA DICONO LE NTC 2018 RIGUARDO LA LIQUEFAZIONE?

7.11.3.4.1 Generalità

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

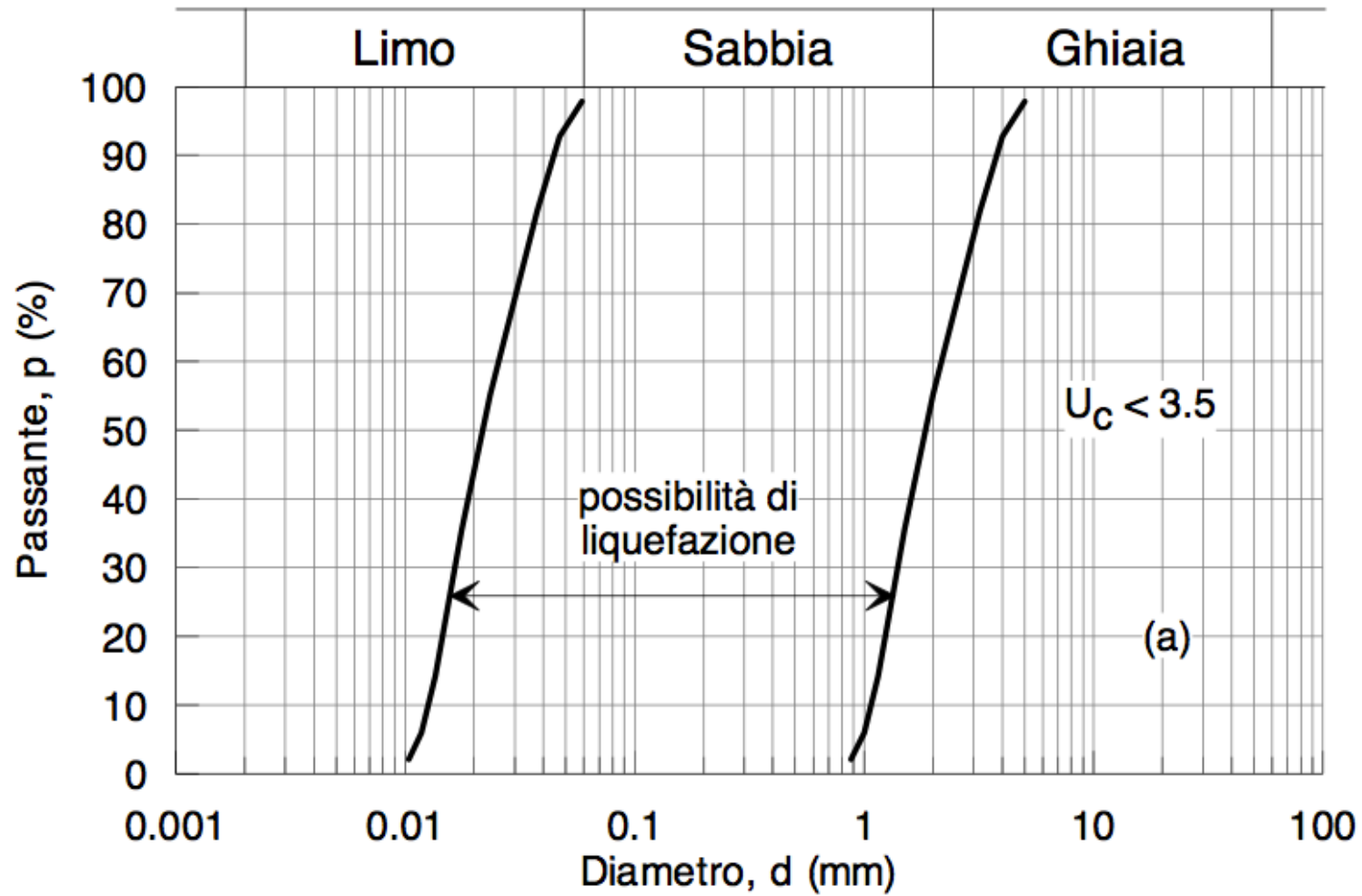
7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

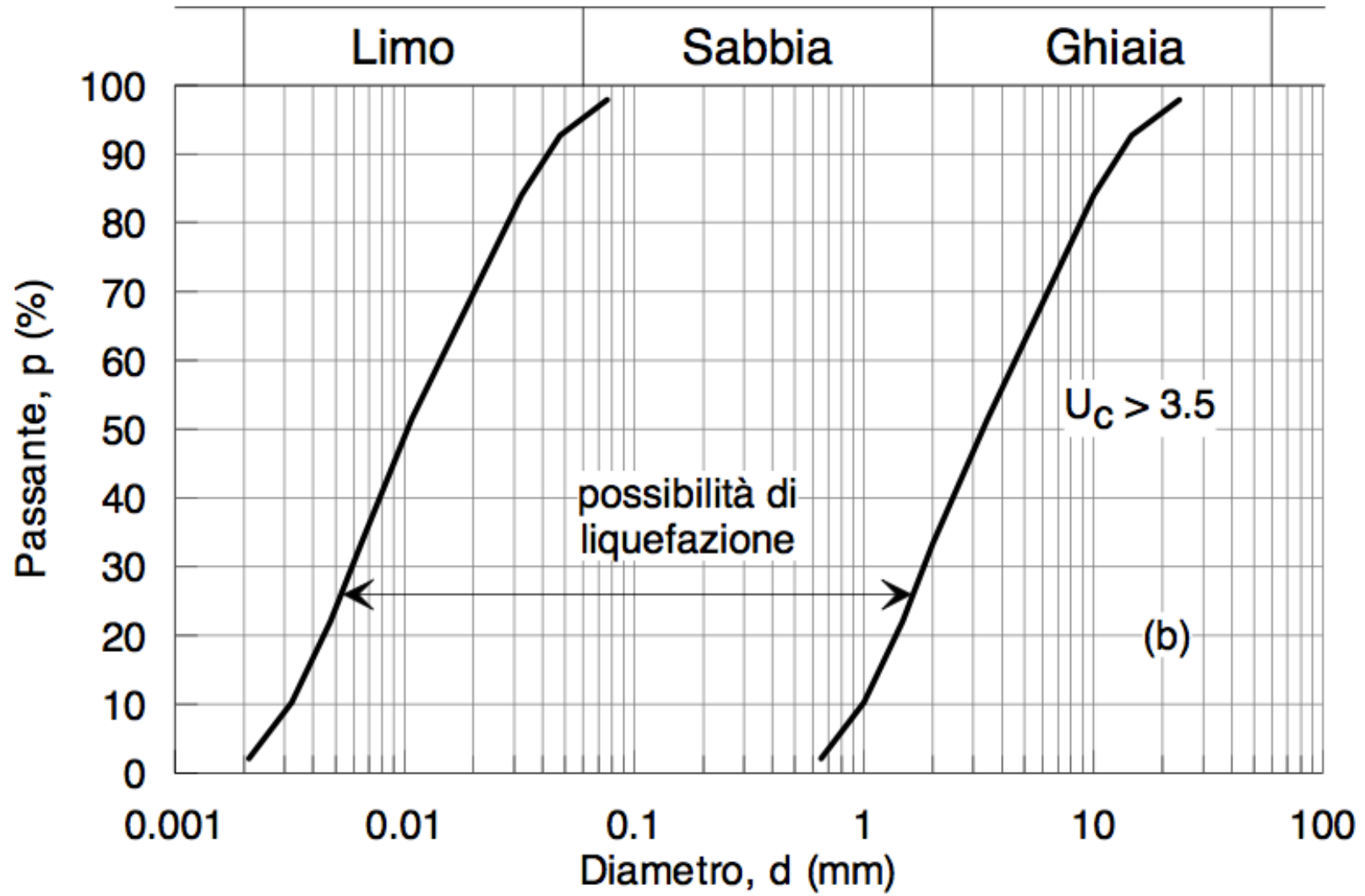
La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

$$q_{c1N} = \frac{q_t}{\sqrt{\sigma'_{v0} \cdot p_{atm}}}$$

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.





7.11.3.43 Metodi di analisi

Quando nessuna delle condizioni del § 7.11.3.4.2 risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse.

L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista.