

Corso sulla normativa sismica

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI CATANIA

L'azione sismica

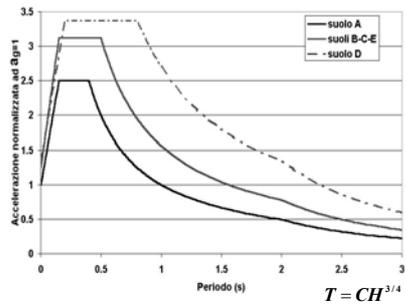
Dott. Ing. Tito Sanò

Indice

- Ragioni del cambiamento nella definizione dell'azione sismica
- Zonazione sismica del territorio nazionale
- Analisi di pericolosità (Hazard)
- Amplificazione sismica locale

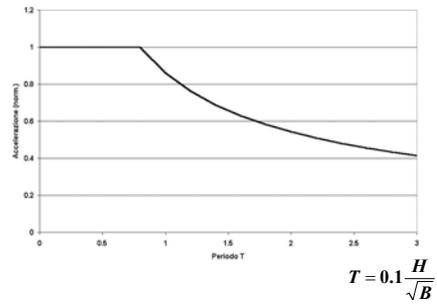
Confronto tra nuova normativa e quella vecchia

Nuova normativa



Zona	Valore di a_g
1	0.35 g
2	0.25 g
3	0.15 g
4	0.05 g

Vecchia normativa sismica



Categoria	Valore di a_g
1	0.10 g
2	0.07 g
3	0.04 g

Reggio Calabria e Messina 1908, M = 7.2, circa 90.000 morti



Messina, Palazzo Navigazione Generale Italiana

1909: cos'è il sisma nella norma

Criteri informativi delle Norme Tecniche approvate con R.D. 18.4.1909, n. 193

Vietate le nuove costruzioni e ricostruzioni (non le riparazioni) “*su terreni posti sopra e presso **fratture, franosi** o atti comunque a scoscendere, od a comunicare ai fabbricati **vibrazioni e sollecitazioni tumultuarie per differente costituzione geologica o diversa resistenza delle singole parti di essi**”*”

Ministero dei Lavori Pubblici – Direzione Generale dei Servizi Speciali, 1932, “L'azione del Governo Fascista per la ricostruzione delle zone danneggiate da calamità”

Sono già chiare le caratteristiche generali dell'azione sismica: scuotimento e sue modifiche locali, deformazioni permanenti

Misure dello scuotimento –forze

Per lungo tempo le norme hanno specificato l'azione sismica mediante forze statiche equivalenti. L'entità di queste forze è stata fin dal 1909 non molto differente da quella utilizzata fino ai giorni nostri

ESEMPIO I.

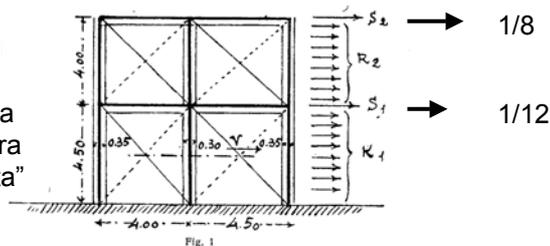
Edificio a due piani con doppia fila di ambienti, costruito in cemento armato con ossatura perfettamente irrigidita, riducibile per le verifiche di stabilità e resistenza ad un sistema a maglie triangolari. — Le dimensioni fondamentali della sezione trasversale dell'edificio sono:

Altezza del piano terreno $h_1 =$ m. 4,50.

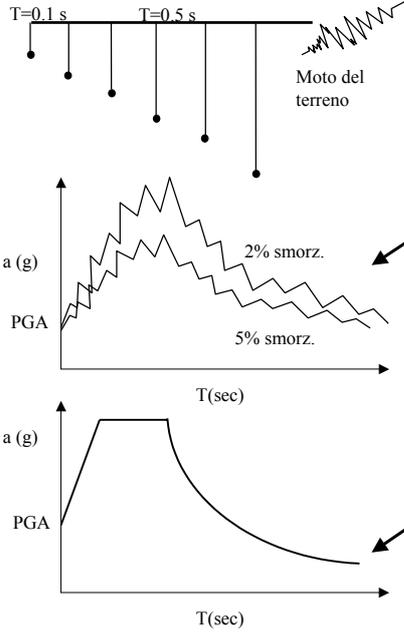
Altezza del 1° piano $h_2 =$ m. 4,00.

Larghezza degli ambienti misurata dai paramenti estremi dei muri di perimetro alla mezzaria del muro intermedio m. 4 e m. 4,50.

Esempio di calcolo di un edificio in c.a. costruito dopo il sisma del 1908 “con ossatura perfettamente irrigidita”



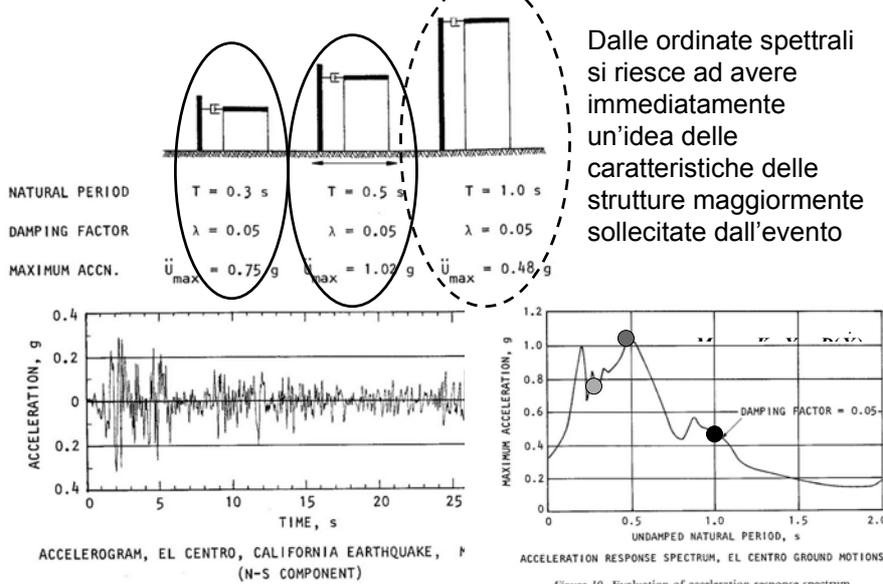
Misure dello scuotimento – gli spettri di risposta elastici



SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO di una registrazione
Ampezze massime di oscillazione di una serie di oscillatori smorzati sottoposti alle oscillazioni forzate del moto del terreno
 Le ampezze, espresse in termini di accelerazione, velocità o spostamento sono riportate in funzione del periodo o della frequenza degli oscillatori.
 Il valore dello spettro di accelerazione aT=0 sec coincide con ag (PGA).

SPETTRO DI RISPOSTA DI NORMA
 Elaborazione statistica di spettri di risposta ottenuti da registrazioni. Rappresenta un'azione sismica di riferimento.
 Il valore di ancoraggio (PGA) deriva da una analisi di pericolosità.

Misure dello scuotimento – gli spettri di risposta elastici



Dalle ordinate spettrali si riesce ad avere immediatamente un'idea delle caratteristiche delle strutture maggiormente sollecitate dall'evento

Da Seed & Idriss, 1982

Effetti locali e scuotimento – gli spettri di norma (2003)

Suoli della norma

A - Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi.

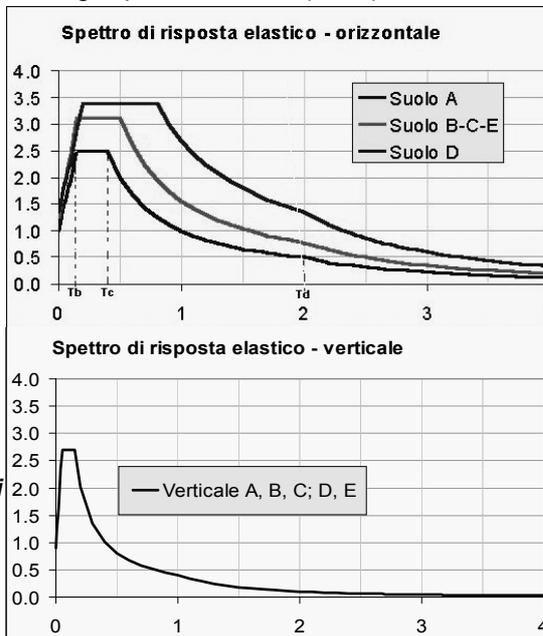
B - Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti

C - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza,

D - Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti ,

E - Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.

S1 ed S2 situazioni speciali con rischio di collasso di fondazione o liquefazione



Categorie di suolo di fondazione

- **A - Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi** caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
- **B - Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti**, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $NSPT > 50$, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa).
- **C - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza**, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < NSPT < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa).
- **D - Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti**, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($NSPT < 15$, $c_u < 70$ kPa).
- **E - Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali**, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.
- S1 - Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s ($10 < c_u < 20$ kPa)
- S2 - Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti
- Nelle definizioni precedenti V_{s30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

- dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10-6$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.
- Il sito verrà classificato sulla base del valore di V_{s30} , se disponibile, altrimenti sulla base del valore di $NSPT$.

Spettri orizzontali

Categoria suolo	<i>S</i>	<i>TB</i>	<i>TC</i>	<i>TD</i>
A	1,0	0,15	0,40	2,0
B, C, E	1,25	0,15	0,50	2,0
D	1,35	0,20	0,80	2,0

Spettri verticali

Categoria suolo	<i>S</i>	<i>TB</i>	<i>TC</i>	<i>TD</i>
A, B, C, D, E	1,0	0,05	0,15	1,0

Spettri elastici e progetto

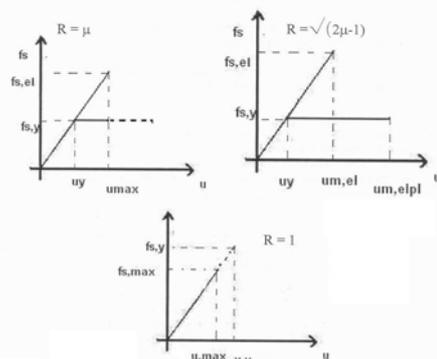
Gli spettri elastici descrivono l'azione sismica effettivamente attesa in termini di risposta di una struttura elastica lineare, quindi che non si danneggia.

Le azioni che derivano da questi spettri sono molto forti e non è in generale economico progettare direttamente a fronte di esse se si utilizzano i procedimenti "classici", che prevedono la verifica delle strutture con i materiali impegnati ben al di sotto delle loro capacità ultime.

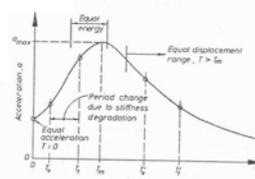
**P. es. in zona 1 con un terreno medio (B) l'ordinata spettrale per un edificio di 5-6 piani vale
Se = 0.25g x 1.25 x 2.5 x g = 0.78g (80% del peso)**



Fattori di struttura



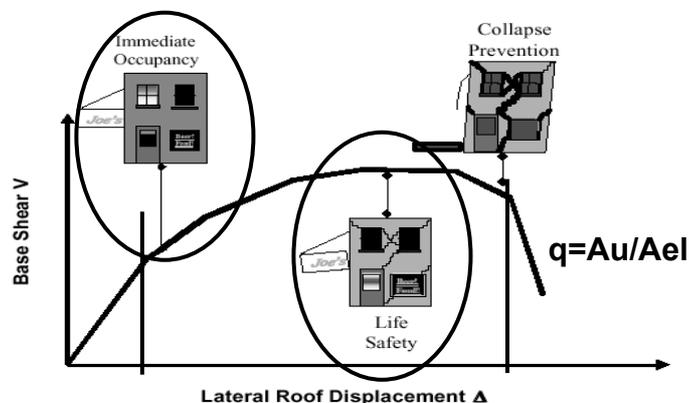
Relazione fra forze e spostamenti di un sistema non lineare e uno lineare per strutture con periodo proprio elevato [$T > 0.5$ sec] (sinistra), basso [$0.2 < T < 0.5$ sec] (centro), molto basso [$T < 0.2$ sec] (destra). $R = f_{e,pl} / f_{e,y}$ = fattore di riduzione della forza.



Influenza del periodo sulla relazione fra risposta di un sistema non lineare e risposta di un sistema elastico con la stessa rigidezza iniziale [Paulay e Priestley, 1992].

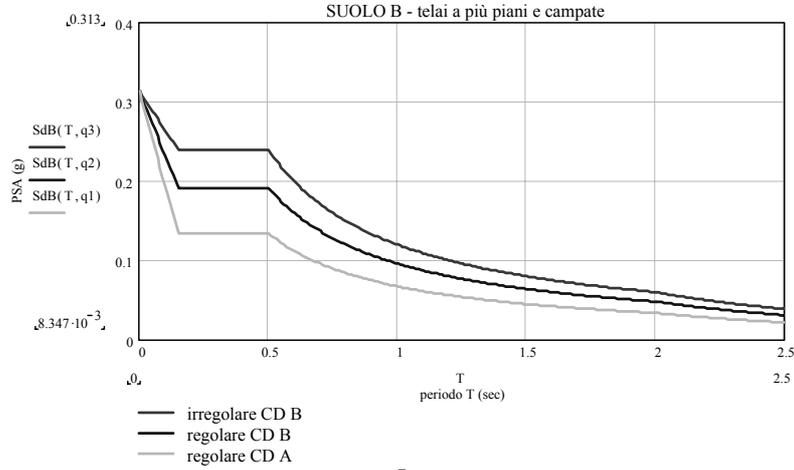
Danno e normativa

La norma consente di progettare per un'azione sismica inferiore a quella realmente attesa perché tale azione è molto rara e comunque a fronte di essa riesce comunque a garantire la sicurezza per la vita grazie al controllo del livello di danno.



regole di progetto - regolarità

Spettri di progetto per telai a più piani e più campate in zona 2



Regole di progetto - q

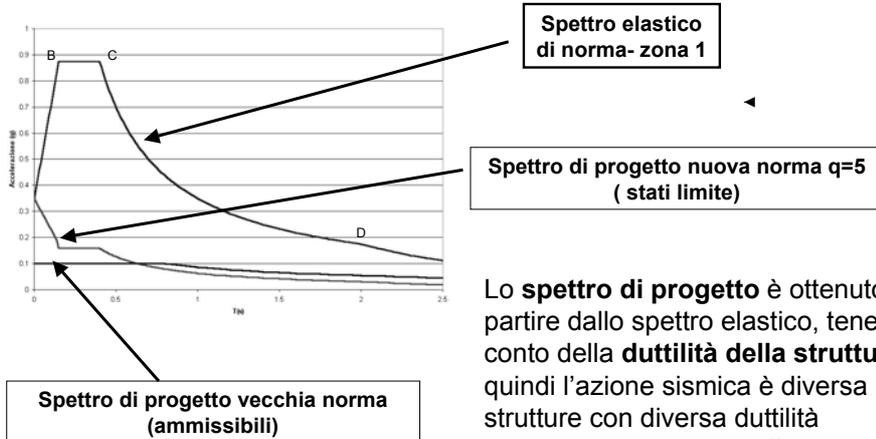
Fattori di struttura q per edifici in cemento armato $q = q_0 K_D K_R$

FATTORI DI STRUTTURA q Edifici in Cemento Armato

Tipologia Strutturale	Edifici REGOLARI			Edifici NON REGOLARI			
	Schema	CD "A"	CD "B"	Schema	CD "A"	CD "B"	
TELAIO	Più Piani Più Campate		5.85	4.1		4.7	3.3
	Più Piani Una sola campata		5.4	3.8		4.3	3.0
	Telaio di un piano		4.95	3.5		3.95	2.8
PARETI	Pareti Non accoppiate		4.4	3.1		3.5	2.5
	Pareti Accoppiate		4.8	3.4		3.85	2.7

Immagine concessa dal prof. Decanini

Danno e azione di progetto



Lo **spettro di progetto** è ottenuto a partire dallo spettro elastico, tenendo conto della **duttilità della struttura**, quindi l'azione sismica è diversa per strutture con diversa duttilità
Lo spettro di progetto differisce dal vecchio soprattutto nei periodi alti.

Danno e normativa – requisiti di sicurezza

La normativa tecnica: Obiettivi di sicurezza sismica delle costruzioni

Legge 64/74
Vecchie norme
D.M. del 16.1.1996

Tutte le costruzioni la cui sicurezza possa interessare la pubblica incolumità ... sono disciplinate ... da specifiche norme tecniche...

Per limitare la danneggiabilità delle parti non strutturali e gli impianti gli spostamenti relativi sono da valutare ... (DM 96/1996)

Ord. 3274 del 20.3.2003
Eurocodice 8

Residua resistenza e rigidezza nei confronti delle azioni sismiche ed intera capacità per carichi verticali a seguito di eventi sismici con probabilità di superamento del 10% in 50 anni

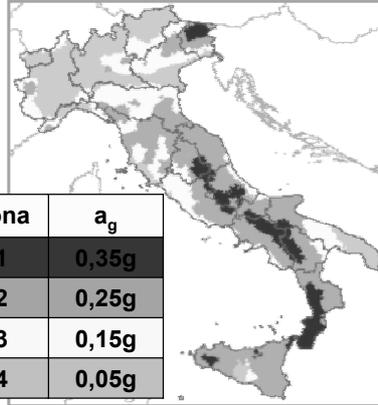
Danni non gravi e continuità d'uso per eventi con probabilità di superamento più elevata (circa 10% in 10 anni)

Misure dello scuotimento – parametri di picco

I parametri di picco del moto a_g , v_g , d_g , sono la misura più semplice della severità dello scuotimento

La nuova classificazione sismica prevede che

il territorio nazionale sia suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore di a_g , accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A, avente probabilità di superamento del 10% in 50 anni



Zona	a_g
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

La norma fornisce anche i valori dello spostamento e della velocità orizzontali massimi del suolo (d_g) e (v_g), che sono:

$$d_g = 0,025 \cdot S \cdot TC \cdot TD \cdot a_g$$

$$v_g = 0,16 S \cdot TC \cdot a_g$$

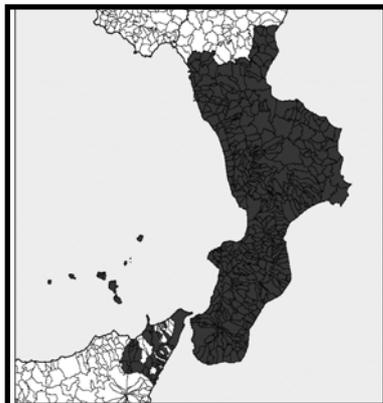
In zona 1, $a_g = 0.35 \text{ g}$ →

Suolo	A	BCE	D
d_g (cm)	6.9	8.6	13.7
v_g (cm/s)	22.0	34.3	59.3

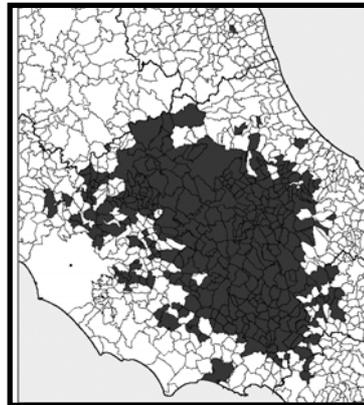
L'azione dello Stato

la classificazione del territorio ha seguito il verificarsi dei terremoti

RD n.193/1909



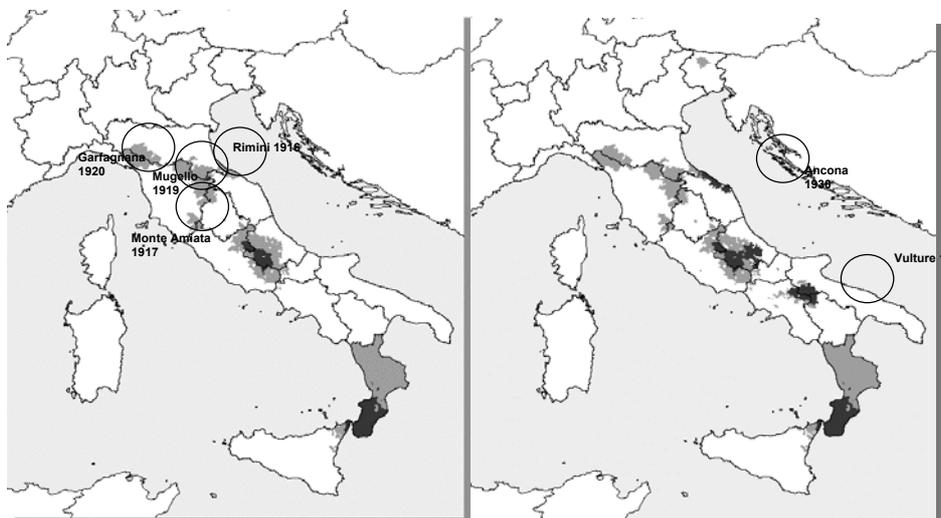
RD n. 573/1915



L'azione dello Stato

RD n. 431/1927

RD n. 640/1935



L'azione dello Stato

Dopo il terremoto del Friuli (6 maggio 1976)

inizia i suoi lavori il

Progetto Finalizzato Geodinamica (C.N.R.)

che nel 1979 produce una

Proposta di riclassificazione del territorio nazionale

basata su criteri tecnico-scientifici

I max (I max \geq valore medio comuni già classificati)

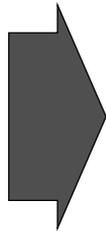
I(500) (I max per un periodo di ritorno 500 anni)

C/Crif (rapporto coefficiente sismico sito/coefficiente sismico di riferimento)

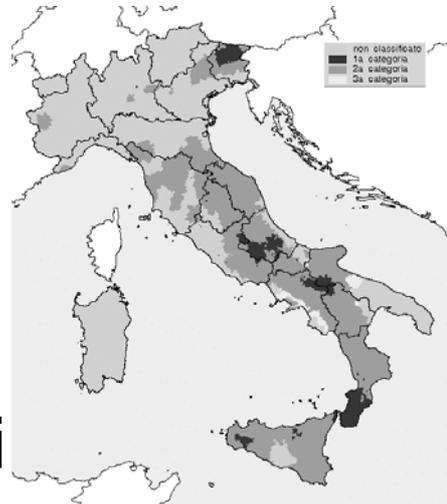
l'azione dello Stato

Prima
1600 comuni

Dopo



2965 comuni



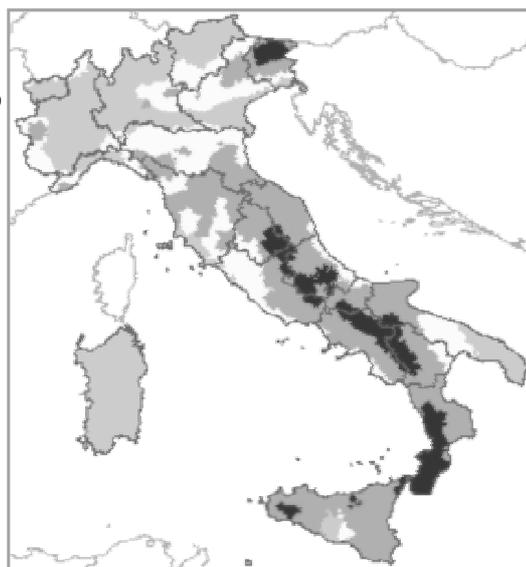
Ultima zonazione sismica del territorio italiano

Basata su una precedente effettuata nel 1997-98 da un gruppo di lavoro istituito dalla Protezione Civile

- $I \leq X$, IX, VIII grado
- H50 per $T_r=475$ anni
- H10 per $T_r=95$ anni

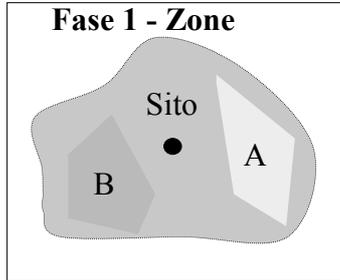
$$H_{50} = \int_0^T PSV(T, \xi) \cdot dT$$

$$H_{10} = \int_0^T PSV(T, \xi)^{0.5} \cdot dT$$

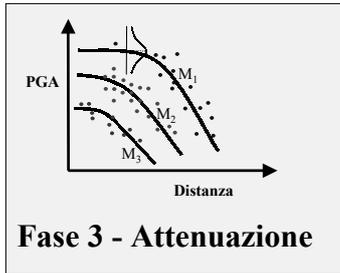
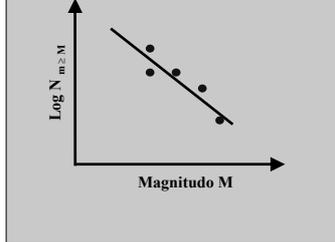


Analisi di Pericolosità

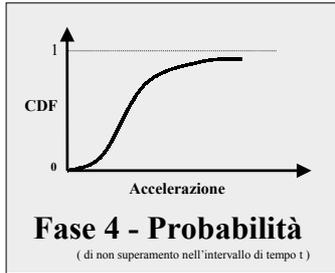
Fase 1 - Zone



Fase 2 - Ricorrenza



Fase 3 - Attenuazione

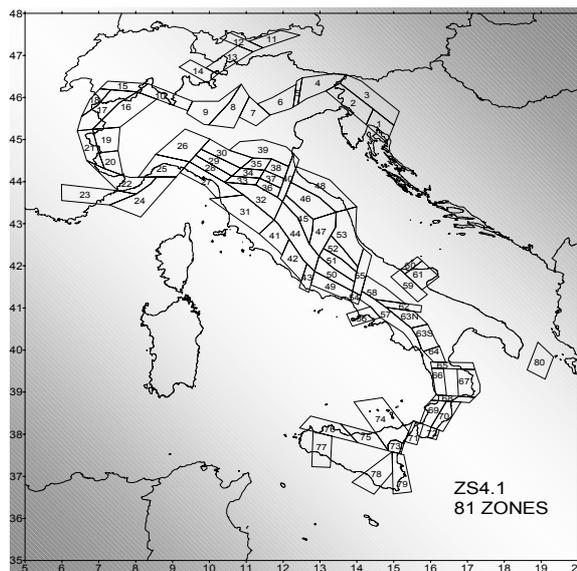


Fase 4 - Probabilità

(di non superamento nell'intervallo di tempo t)

Zonazione

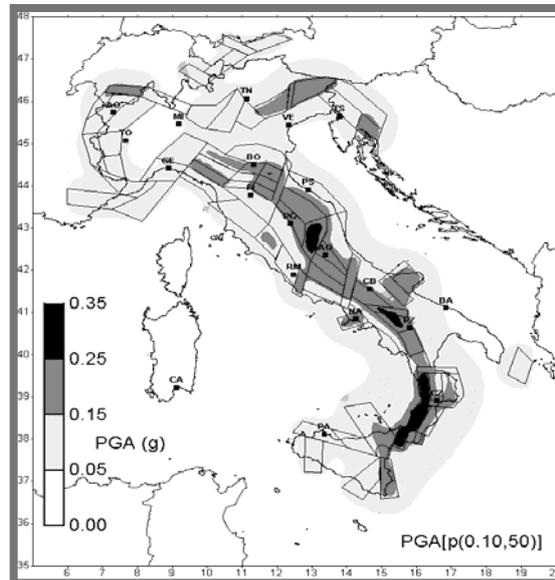
ZS4
(GNDT)



Analisi di Pericolosità

- Accelerazione
- $T_r \approx 500$ anni
(10 % di eccedenza in 50 anni)
- Sito di riferimento

$$T_r = -\frac{T}{\ln(1-p)} \approx \frac{T}{p}$$

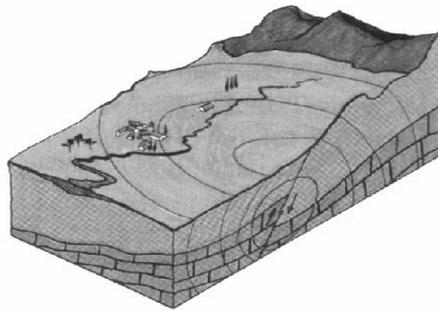


- a) Le "Norme tecniche" indicano 4 valori di accelerazioni orizzontali (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico e le norme progettuali e costruttive da applicare; pertanto, il numero delle zone è fissato in 4.
- b) Ciascuna zona sarà individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo lo schema seguente:

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a_g/g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a_g/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

- a) Le valutazioni di a_g dovranno essere effettuate utilizzando: i) metodologie recenti e accettate a livello internazionale;
- ii) dati di base aggiornati (con particolare riferimento ai dati sulle sorgenti sismogenetiche, ai cataloghi dei terremoti, alle leggi di attenuazione del moto del suolo, ecc.);
- iii) procedure di elaborazione trasparenti e riproducibili, che evidenzino le assunzioni effettuate e le relative ragioni.

Genesi del terremoto

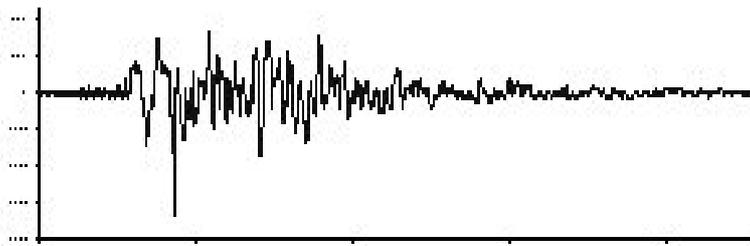


Rottura della crosta terrestre e generazione delle onde sismiche

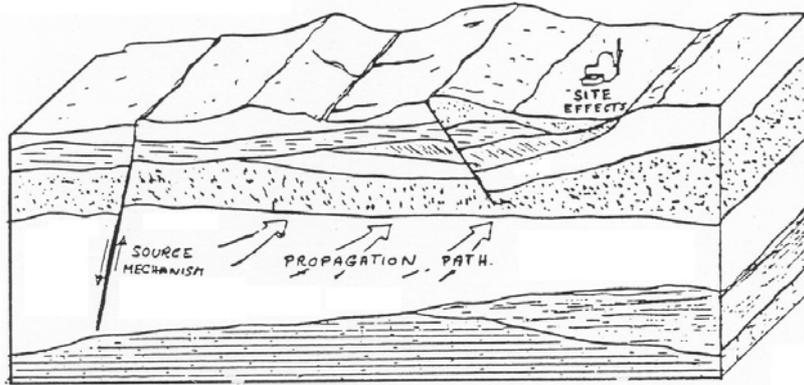
Sismogramma



Accelerogramma



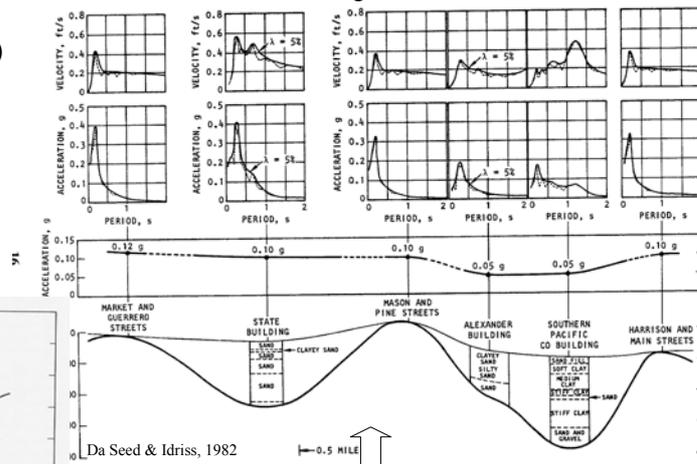
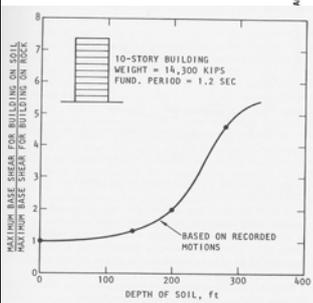
In situazioni reali il moto prima di arrivare in superficie si modifica per effetto delle discontinuità di materiale e per la geometria.



Misure dello scuotimento – gli effetti locali -1

Variazioni dello scuotimento su una sezione di 4 miglia nel terremoto di S. Francisco, 1957 (Seed & Idriss, 1982)

2) Si calcola la risposta di un edificio alto (10 piani) e si scopre che la forza alla base cambia con lo spessore di suolo soffice.



Da Seed & Idriss, 1982

Figure 5. Soil conditions and characteristics of recorded ground motions, San Francisco earthquake, 1957.

1) analizzando le registrazioni in diversi punti della città appare evidente la correlazione fra stratigrafia e modifica dello scuotimento

Misure dello scuotimento – gli effetti locali

L'analisi di un gran numero di registrazioni consente di determinare spettri medi normalizzati, che mostrano specifiche differenze in termini di picco di amplificazione e di contenuto in frequenza.

NEGLI ANNI 70 SI
PROPONGONO
I PRIMI SPETTRI DI
NORMA SITO
DIPENDENTI

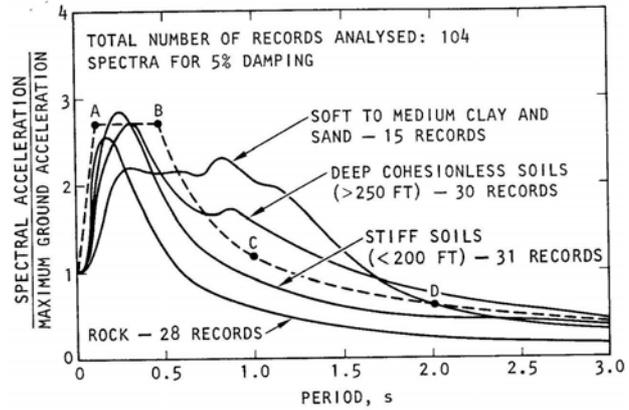
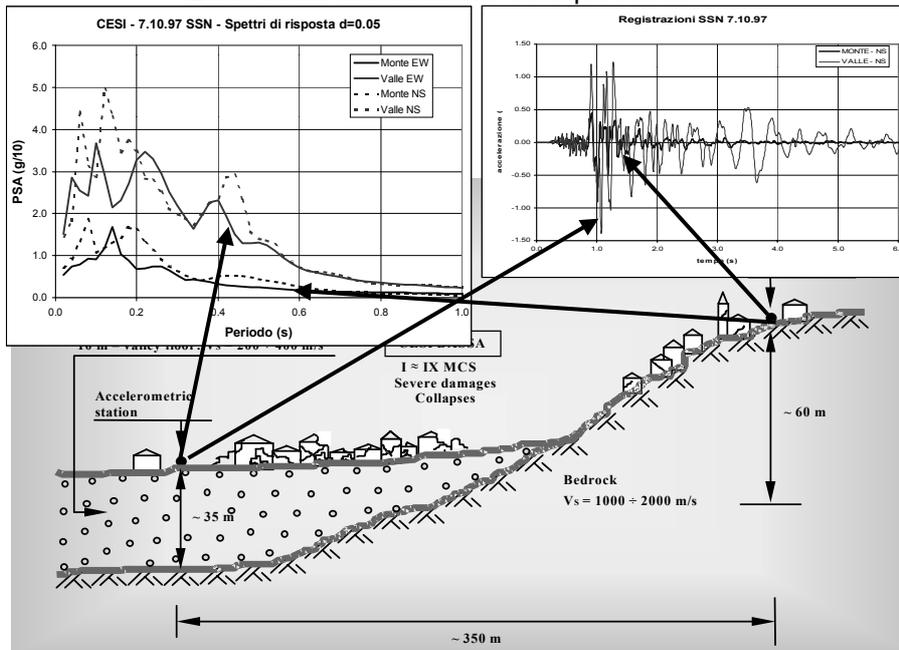
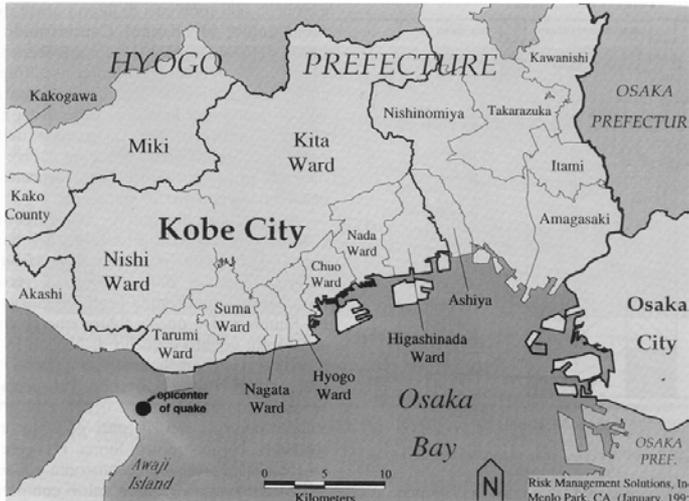


Figure 24. Average acceleration spectra for different site conditions.

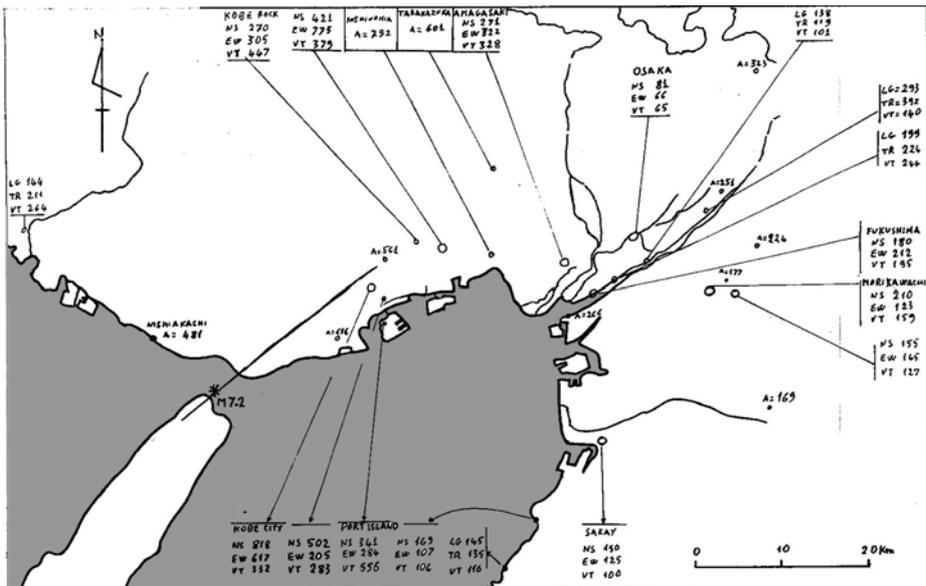
Effetti locali e scuotimento esempio italiano

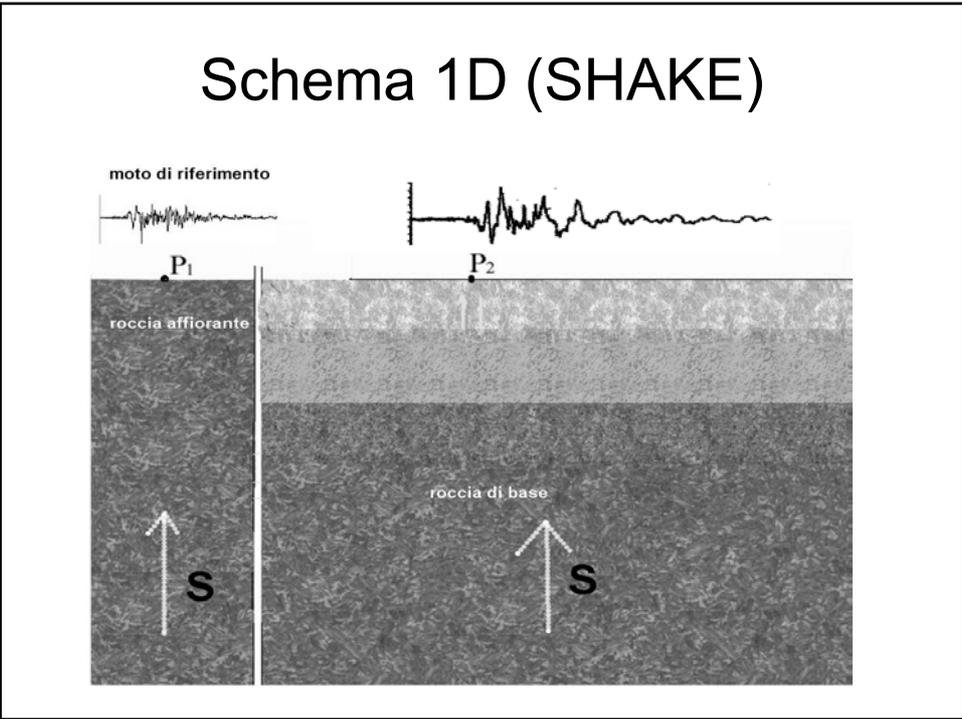
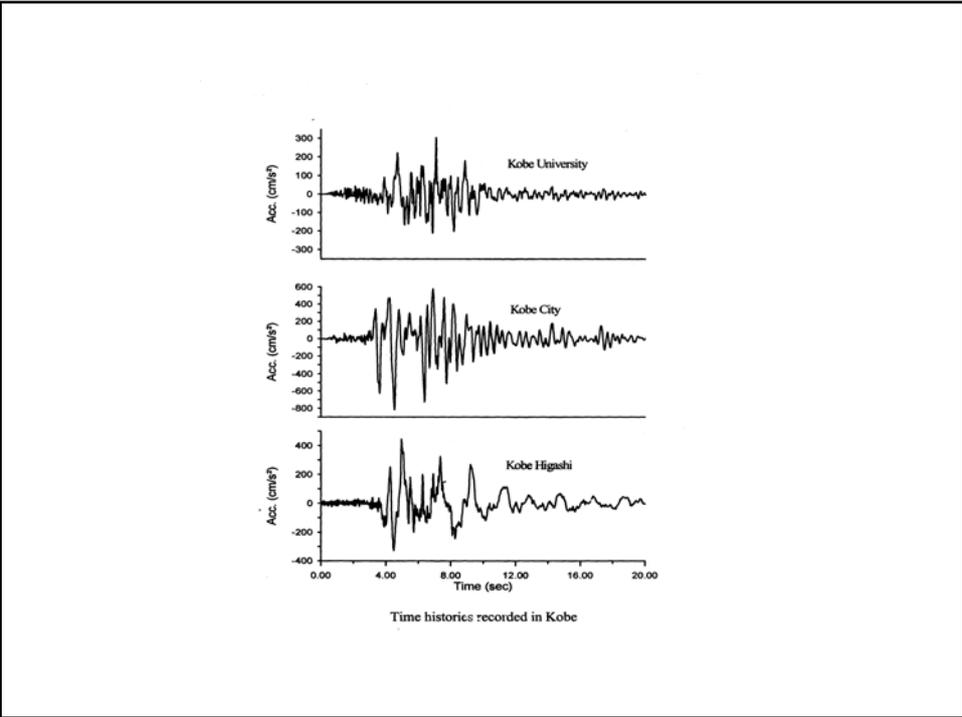


Terremoto di Kobe (1997)



Accelerazioni registrate

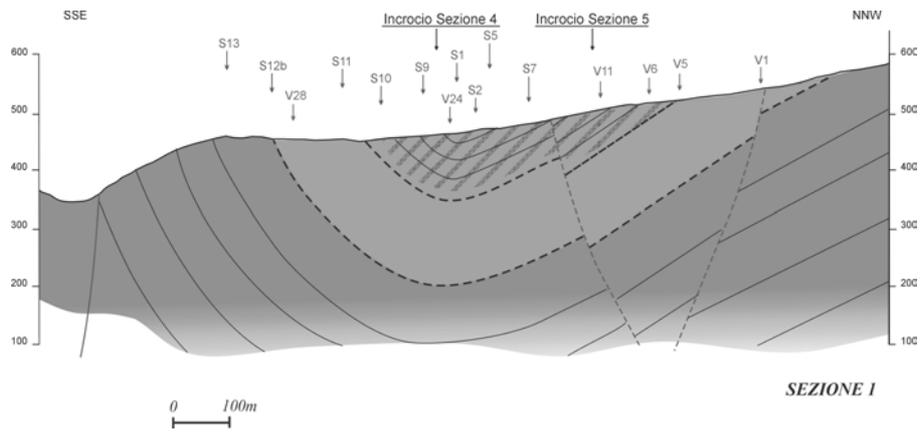




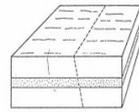
Schemi 2D

Metodi degli elementi finiti: QUAD4

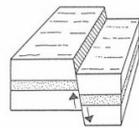
Metodi degli elementi di contorno: BESOIL



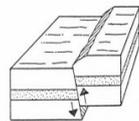
Tipi di faglie



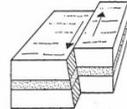
A
Fault, before movement.



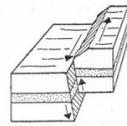
B
Normal fault: Fault surface dips towards downthrown block.



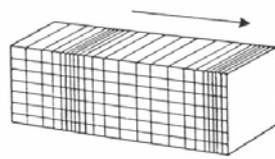
C
Thrust (reverse) fault: Fault surface dips away from downthrown block.



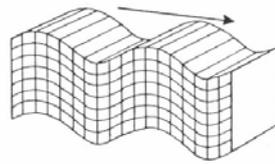
D
Strike-slip (horizontal) fault: with left lateral movement (block opposite the observer has moved to the left). Right lateral movement on a strike-slip fault has the block opposite move to the right.



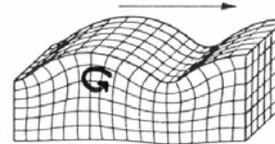
E
Left lateral thrust fault: Combination of movements of C and D, above. This is the type of movement which occurred during the San Fernando earthquake.



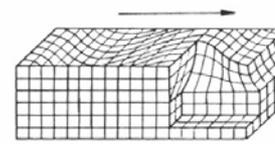
a



b

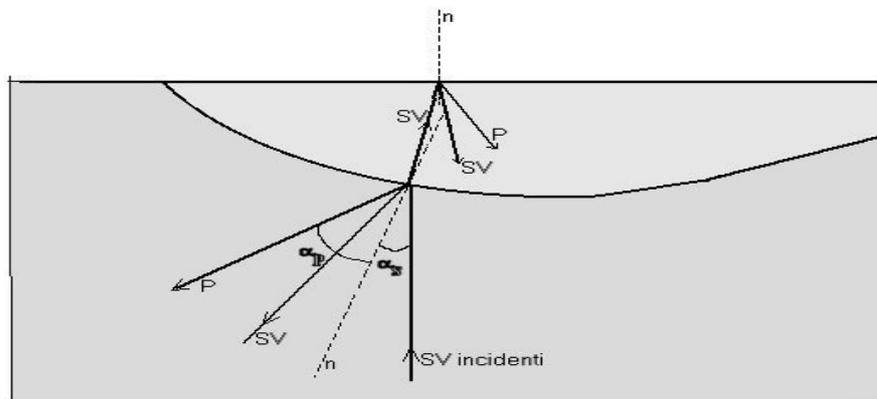


c



d

Tipi di onde elastiche, onde di volume: a) onde longitudinali, b) onde trasversali. Ond superficiali: c) onde di Rayleigh, d) onde di Love.



Schema della propagazione delle onde SV-P

$$\frac{V_p}{\text{sen}(\alpha_p)} = \frac{V_s}{\text{sen}(\alpha_s)}$$

MOTO VIBRATORIO DEL TERRENO

- ONDE P= Onde di pressione o *Primarie*,
 $V_p \sim 6000 \text{ m/s}$ in roccia
- ONDE S= Onde di taglio o *Secondarie*,
 $V_s \sim 3000 \text{ m/s}$ in roccia
- Onde R = onde di superficie con moto nel piano verticale $V_R \sim 0.9 V_s$
- Onde L = onde di superficie con moto nel piano orizzontale. $V_L \sim 0.9 V_s$