

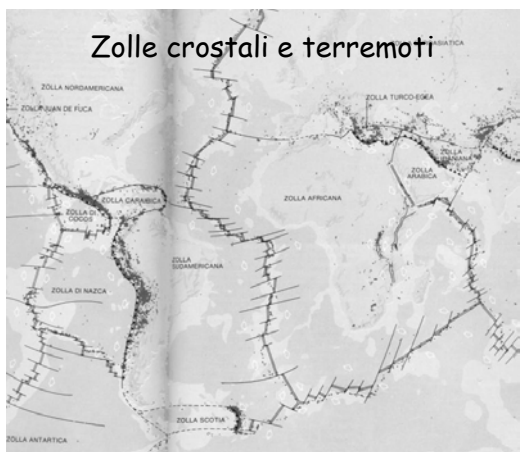
Laboratorio progettuale (strutture)  
Anno accademico 2005/06

## I terremoti: cause ed effetti

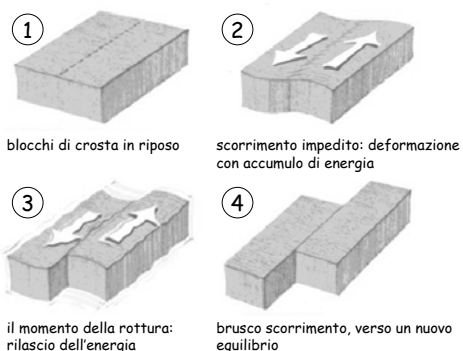
Catania, 8 marzo 2006  
Aurelio Ghersi

Perché avvengono i terremoti?

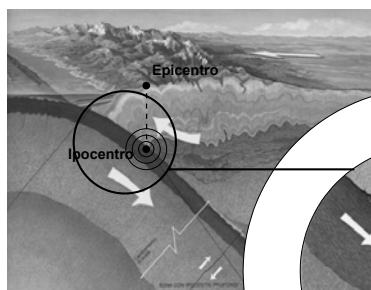
### Zolle crostali e terremoti



### Il meccanismo che scatena un terremoto: scorrimento lungo una faglia

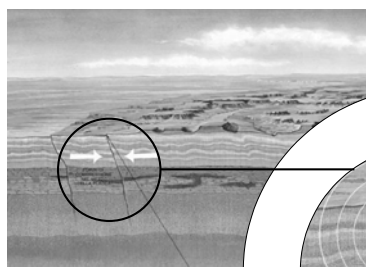


### Zone di subduzione

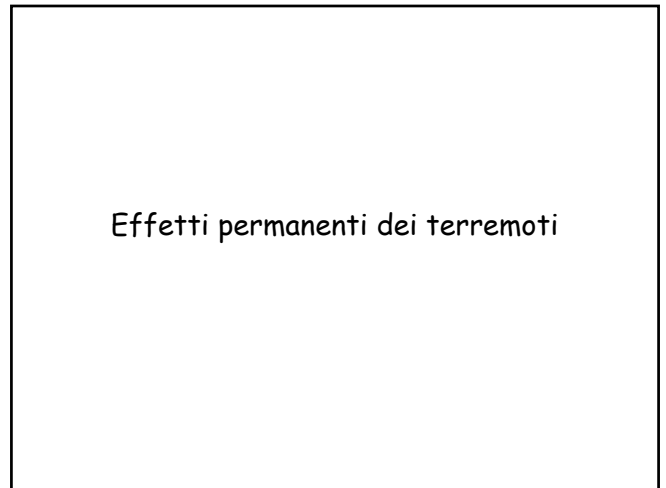
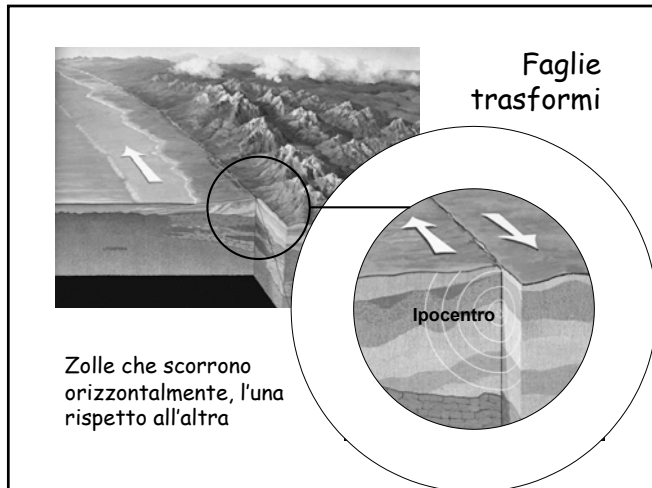


Zolle in movimento,  
l'una verso l'altra:  
la più leggera affonda  
scorrendo sotto l'altra

### Zolle in collisione



Zolle in movimento, l'una  
verso l'altra:  
se sono entrambe molto  
spesse, nessuna affonda





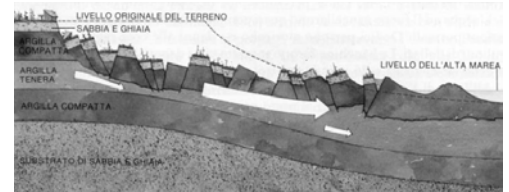
Cedimenti del terreno



1997 - Umbria



Liquefazione di strati sotterranei



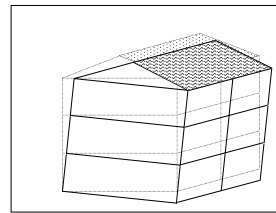
1964 - Alaska



Liquefazione del terreno

1999 - Turchia

Liquefazione del terreno



1999 - Turchia



Liquefazione del terreno

1999 - Turchia



Liquefazione del terreno

1999 - Turchia

## Liquefazione del terreno

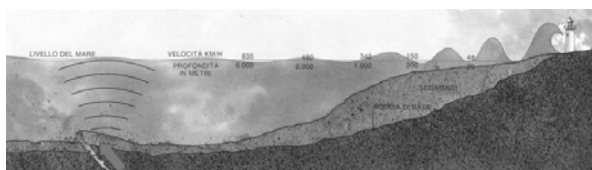


1999 – Turchia

## Effetti transitori dei terremoti

- Maremoti, tsunami
- Moto del terreno

## Maremoti, tsunami



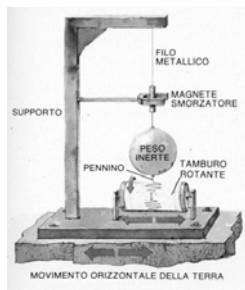
Dove l'acqua è profonda le onde viaggiano a velocità elevatissime (es. oltre 800 km/ora)

Al ridursi della profondità la velocità si riduce ma aumenta enormemente l'altezza dell'onda

## Sismologia: studio del moto del terreno

## Registrazione del moto del terreno

Sismografo:  
misura gli  
spostamenti  
del terreno



Sismogramma



## Onde sismiche

L'energia liberata dal sisma si propaga in onde

Esistono più tipi di onda,  
che si propagano con differente velocità  
ed hanno un diverso contenuto energetico:

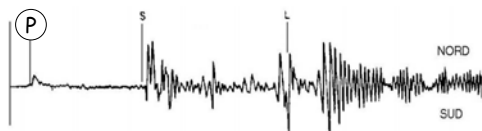
- onde di volume, che si propagano per tutto il volume terrestre (più veloci)
- onde di superficie, che si propagano solo nello strato superficiale (maggior contenuto energetico)

## Onde di volume

Si hanno:

- Onde primarie (P)  
onde longitudinali,  
di compressione e dilatazione  
sono le più veloci

$$v_p \approx 1.1 \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \text{per roccia, } v_p \approx 5-6 \text{ km/h}$$

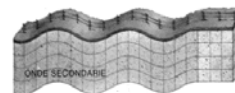


## Onde di volume

Si hanno:

- Onde primarie (P)
- Onde secondarie (S)  
onde trasversali, di taglio

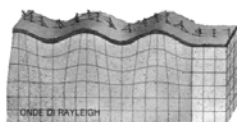
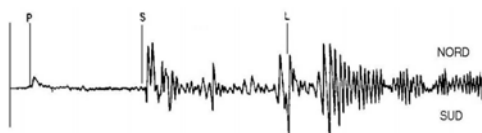
$$v_s = \frac{v_p}{\sqrt{3}} \quad \text{non si propagano nei liquidi}$$



## Onde di superficie

Si hanno vari tipi, tra cui:

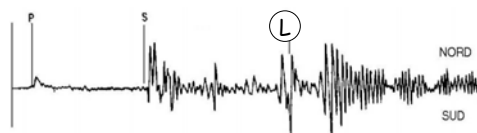
- Onde di Rayleigh (R)  
con moto secondo un'ellisse  
nel piano verticale



## Onde di superficie

Si hanno vari tipi, tra cui:

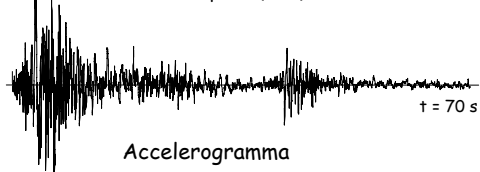
- Onde di Rayleigh (R)  
con moto secondo un'ellisse  
nel piano verticale
- Onde di Love (L)  
con moto tipo onde di taglio  
nel piano orizzontale



## Accelerogramma

Più interessante ai fini ingegneristici è rappresentare l'accelerazione in funzione del tempo

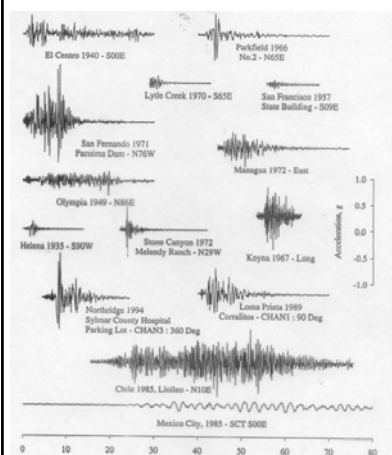
- accelerazione di picco (PGA)



Accelerogramma

Primo parametro di interesse: accelerazione massima

Ma sono importanti anche: durata, contenuto energetico



## Accelerogrammi

relativi a sismi di forte intensità in America

Notare:

valori del PGA (Peak Ground Acceleration = accelerazione massima) molto alti, da 0.3 a 0.7 g  
forti differenze nel contenuto in frequenza e nella durata

## Classificazione dei terremoti

Scale di intensità empiriche, basate sugli effetti:

MM = Mercalli modificata

MCS = Mercalli-Cancani-Sieberg

MSK = Medvedev-Sponheur-Karnik

Scale basate su misurazioni di grandezze (energia, ecc.):

M = Magnitudo Richter

## Scala Mercalli dell'intensità sismica (1902, modificata nel 1931 e 1956)

- II Percepito da persone in riposo, nei piani superiori delle case o in posizioni favorevoli.
- III Percepito nelle case. Oscillazione di oggetti appesi. Vibrazioni come al passaggio di autocarri leggeri. Sime della durata. Talora non riconosciuto come terremoto.
- IV Oscillazione di oggetti appesi. Vibrazioni come al passaggio di autocarri pesanti, o scosse come di una pesante palla che colpisce le pareti. Oscillazione di automobili fermi. Movimento di porte e finestre. Tremolio di vetri. Vibrazione di vasellame. Nello stato superiore del IV, scricchiolio di pareti e di strutture in legname.
- V Rientito all'esterno, senza della direzione. Sveglia di persone dormienti. Movimento della superficie dei liquidi, versamento di liquidi dai recipienti. Spostamento o rovesciamento di piccoli oggetti instabili. Oscillazione di porte che si aprono o si chiudono. Movimento di imposte e quadri. Arresto, messa in moto, cambiamento del passo di orologi a pendolo.
- VI Sentito da tutti. Spavento e fuga all'esterno. Barcollare di persone in moto. Rottura di vetri, piatti, vasi. Caduta dagli scaffali di rinocchi, libri ecc. e di quadri dalle pareti. Spostamento o rotazione di mobili. Scroscio di intonaci deboli e di murature tipo D (\*). Spostamento di capannoni (di chiese, di scuole). Stornare di alberi e di cestugli.
- VII Difficile stare in piedi. Rientito dai guidatori di automobili. Tremolio di oggetti sospesi. Rottura di mobili. Danni alle murature tipo D (\*), incuse fenditure. Rottura di cornici deboli situati sul capo dei letti. Caduta di intonaci, mattoni, pietre, tegole, cornicioni (anche di parapetti isolati e ornamenti architettonici). Qualche lesione a murature tipo C (\*). Formazione di orzi sugli specchi d'acqua. Intorbidamento di acque. Piccoli smottamenti e sconvolgimenti in depositi di sabbia e ghiaia. Forte scuoto di campani. Danni a canali d'irrigazione irrigati.
- IX Pánico generale. Distruzione di murature tipo C (\*), gravi danni a murature tipo C (\*) talvolta con crollo completo; seri danni a murature tipo B (\*) (danni generali alle fondazioni). Gravi danni ai verbati. Rottura di tubazioni sotterranee. Rientito crollo nel terreno. Nelle aree alluvionali espulsione di sabbie e fango, formazione di crateri di sabbia.
- X Distruzione di gran parte delle murature e delle strutture in legname, con le loro fondazioni. Distruzione di alcune robuste strutture in legname e di ponti. Gravi danni a dighe, briglie, argini. Grandi frane. Disallineamento delle acque di canali, fiumi, laghi ecc. Traslazione orizzontale di sabbie e argille sulle spiagge e su regioni d'altre. Rotta completamente divisa.
- XI Rotta fortemente deviana. Tubazioni sotterranee completamente fuori servizio.
- XII Distruzione pressoché totale. Spostamento di grandi masse rocciose. Linee di riferimento deformate. Oggetti lanciati in aria.
- (\*) A = Buon manufatto, legato insieme con ferri, calcestruzzo ecc., progettato per resistere a forze laterali.  
B = Buon manufatto con malta, rinforzato, ma non destinato in particolare a resistere a forze laterali.  
C = Manufatto ordinario con malta, senza ferri agli angoli né rinforzi.  
D = Manufatto debole, come mattoni colti al sole, malte povere, manufatto di bassa qualità, deboli concatenamenti.

## Magnitudo (Richter, 1935)

È il logaritmo dell'ampiezza massima di oscillazione (in micron), misurata a 100 km dall'epicentro

Energia rilasciata da un sisma:  
è legata alla magnitudo dalla relazione

$$\log E = 4.4 + 1.5 M \quad (E \text{ in joule})$$

Frequenza annua N di terremoti con intensità  $\geq M$ :

$$\log N = a - b M \quad (a \approx 5.5, b \approx 1.1 \text{ nel Mediterraneo})$$

## Classificazione sismica del territorio

Nel passato:  
classificazione in base ai danni provocati dai terremoti avvenuti

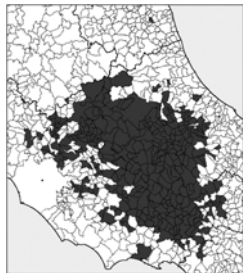
Oggi:  
valutazione statistica della pericolosità sismica

## Classificazione sismica, nel passato

Terremoto:  
Messina, 1908  
RD n. 193/1909

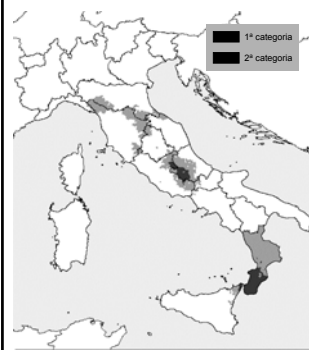


Terremoto:  
Avezzano, 1915  
RD n. 573/1915



## Classificazione sismica, nel passato

RD n. 431/1927



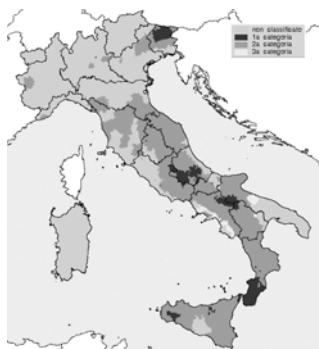
RD n. 640/1935



## Classificazione sismica, anni '80

Dopo il terremoto del Friuli (1976) parte il Progetto Finalizzato Geodinamica (CNR)

| Zona                     |
|--------------------------|
| 1 <sup>a</sup> categoria |
| 2 <sup>a</sup> categoria |
| 3 <sup>a</sup> categoria |
| non classificato         |



## Classificazione sismica, oggi

Valutazione probabilistica dell'intensità dei terremoti

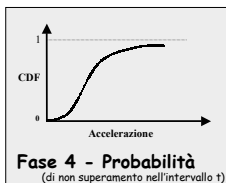
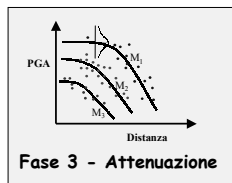
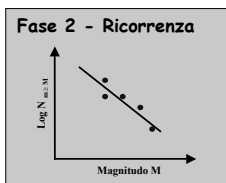
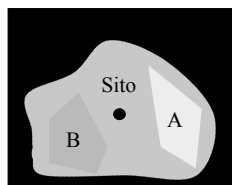
Periodo di ritorno  $T_r$  = tempo medio che intercorre tra due eventi sismici di assegnata intensità

Relazione tra probabilità  $p_1$  di superamento nel tempo  $T_1$  e periodo di ritorno  $T_r$ :

$$T_r = -\frac{T_1}{\ln(1-p_1)} \cong \frac{T_1}{p_1}$$

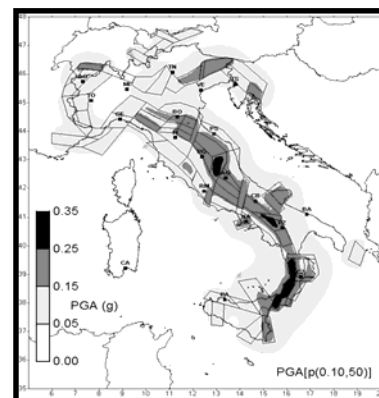
Terremoto di riferimento per il progetto: probabilità di superamento del 10% in 50 anni ovvero periodo di ritorno di 475 anni

## Classificazione sismica, oggi



## Analisi di pericolosità

Classificazione del territorio in base alla probabilità di superamento di PGA del 10% in 50 anni ( $T_r = 475$  anni)

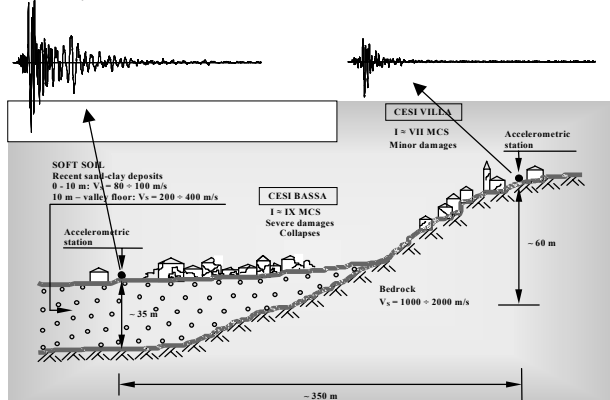


## Classificazione sismica, oggi (ordinanza 3274)

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



## Influenza del terreno e microzonazione



FINE

Tratta (con aggiunte) dalla presentazione  
per CT:  
Azioni2

Immagini tratte da:  
Pianeta Terra. I terremoti,  
Mondadori, 1984

Foto scattate da:  
A. Gherzi

Altre foto fornite da:  
M. Muratore, S. Pantano, P.P. Rossi

Per questa presentazione:

coordinamento

realizzazione

ultimo aggiornamento

A. Gherzi

A. Gherzi

3/03/2006