

Corso

# Progetto di strutture in zona sismica

Catania

ottobre - dicembre 2016

01 - Terremoti e pericolosità sismica

12 ottobre 2016

Aurelio Ghersi

# I terremoti

Cosa sono?

Quali terremoti ci  
aspettiamo in un  
determinato sito?

# I terremoti

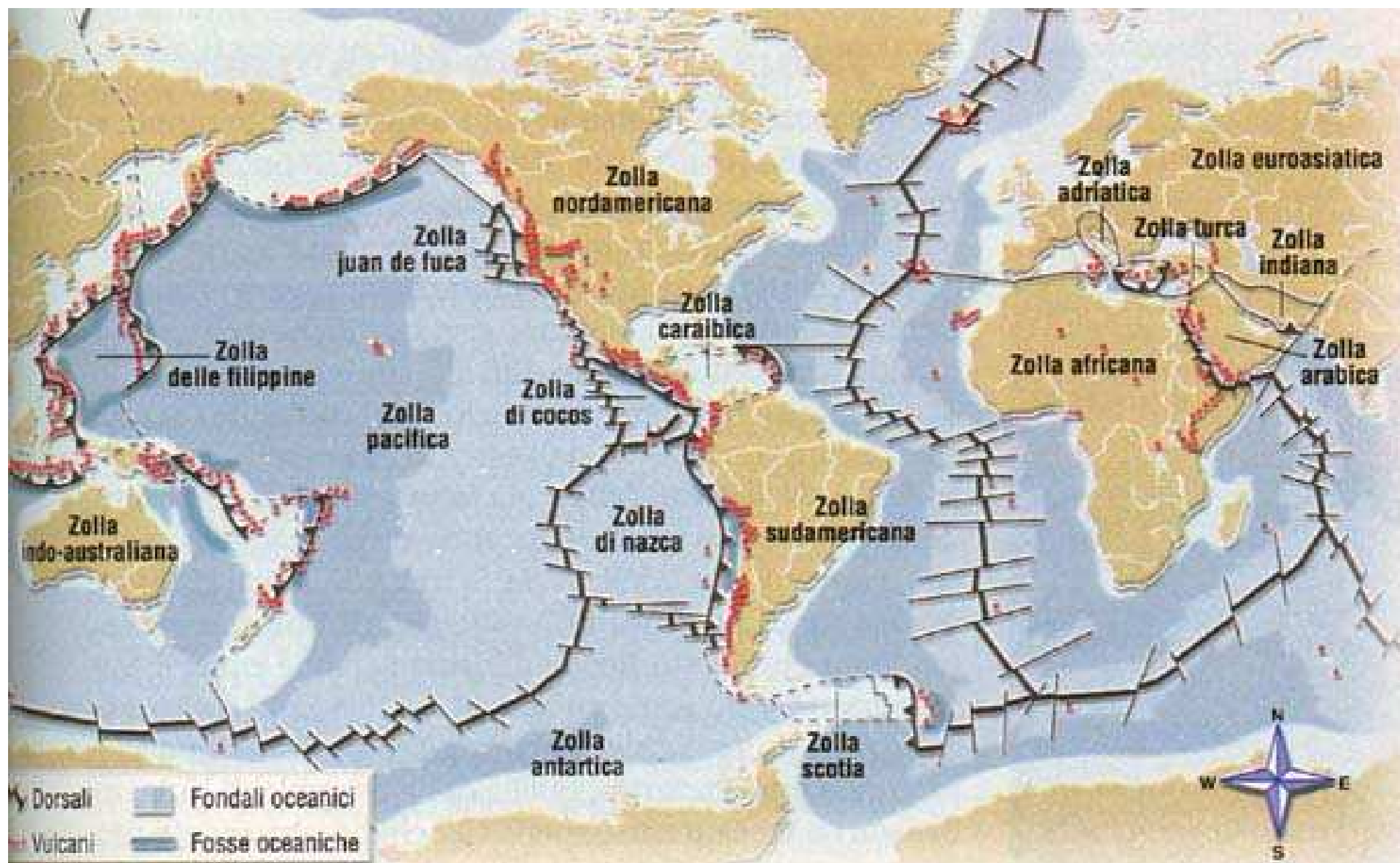
Cosa sono?

Quali effetti producono?

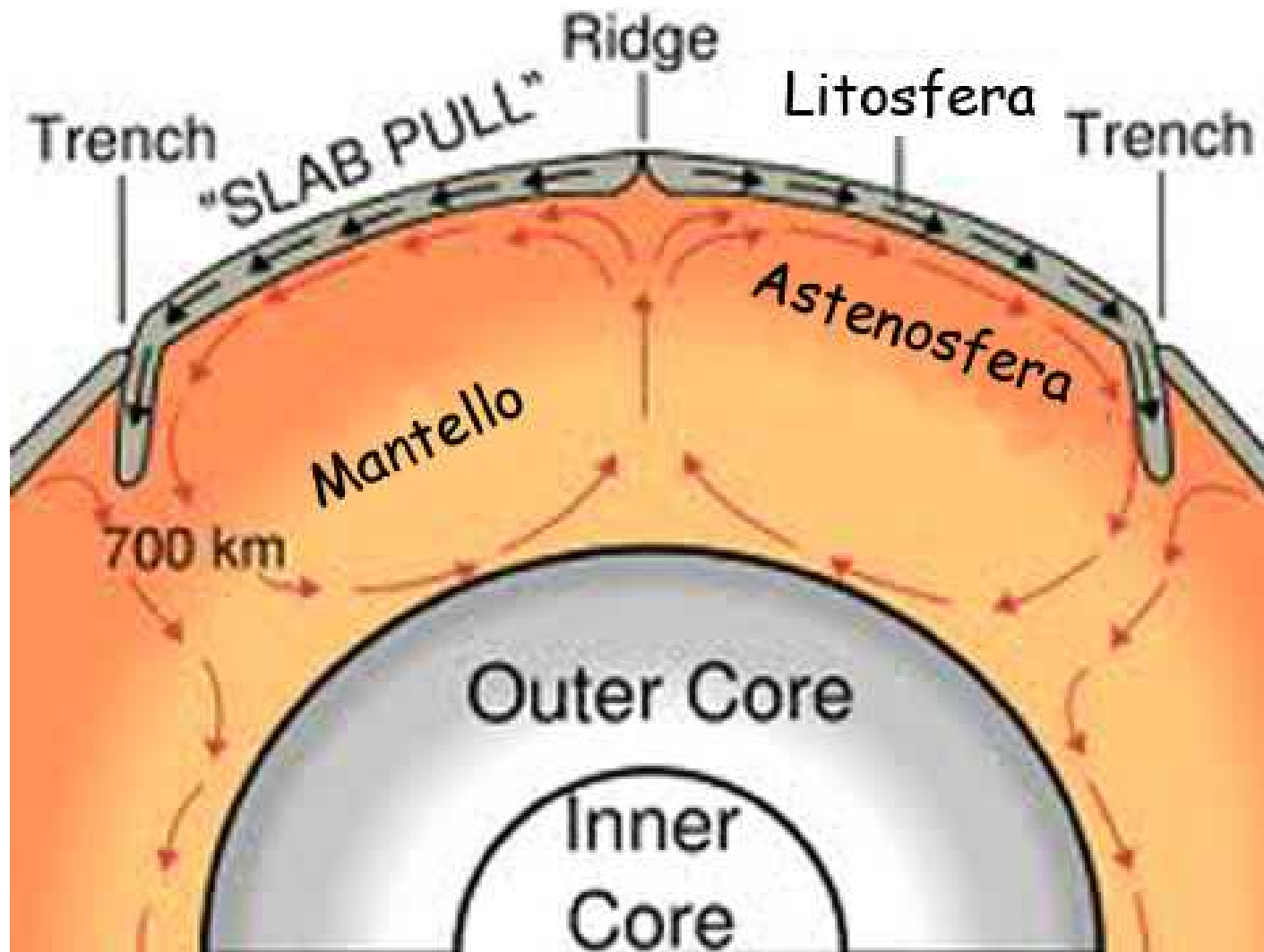
Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

Quali terremoti ci  
aspettiamo in un  
determinato sito?

# Zolle crostali, vulcani e terremoti



# Moti convettivi nel mantello e movimento delle zolle



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

1



blocchi di crosta in riposo

2



scorrimento impedito: deformazione  
con accumulo di energia

3



il momento della rottura:  
rilascio dell'energia

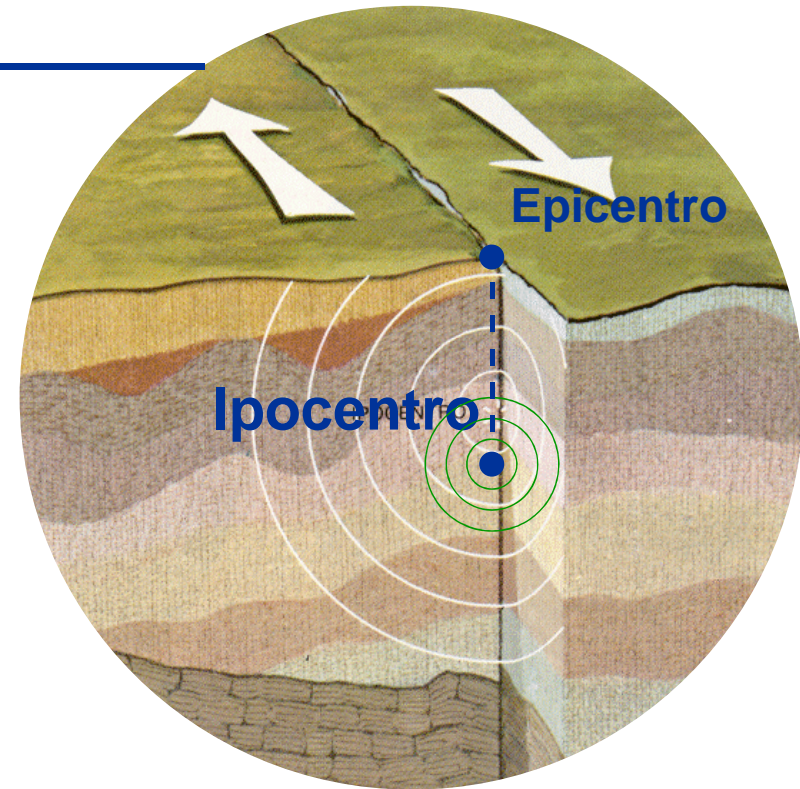
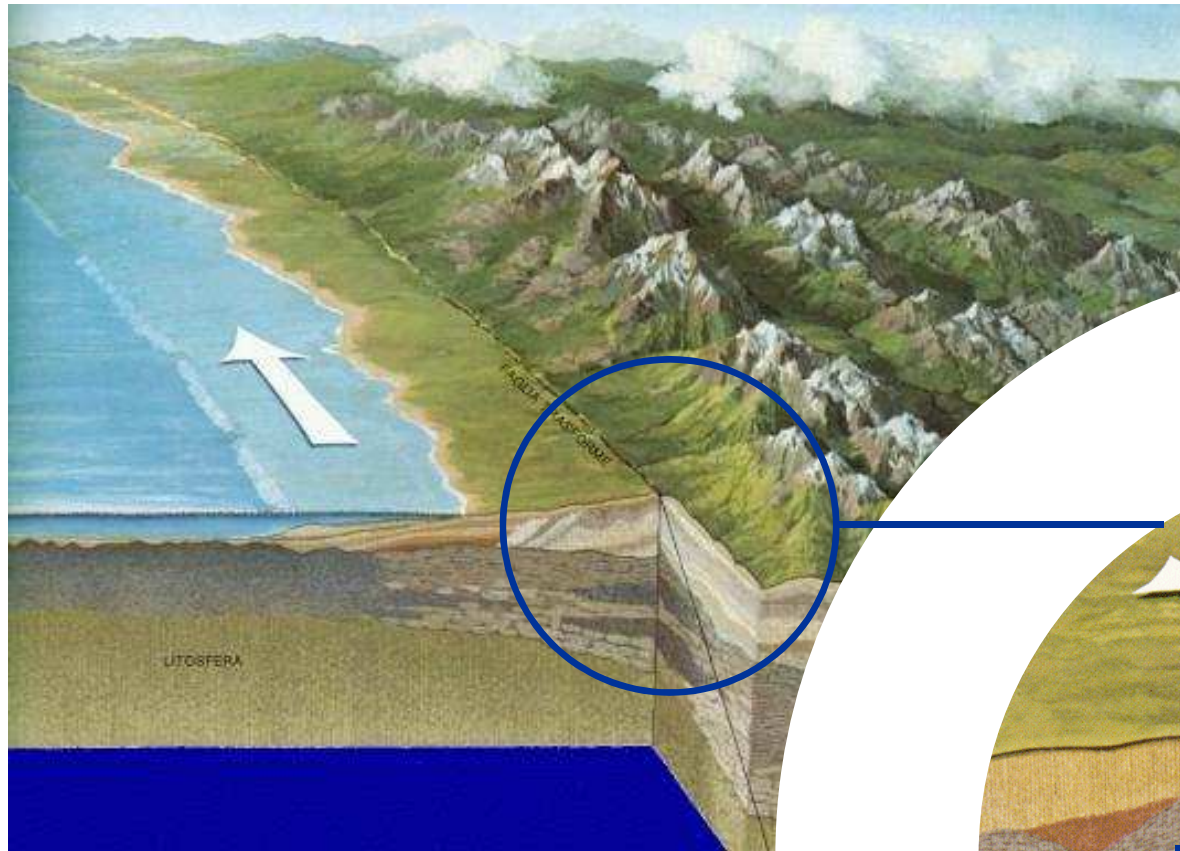
4



brusco scorrimento, verso un nuovo  
equilibrio

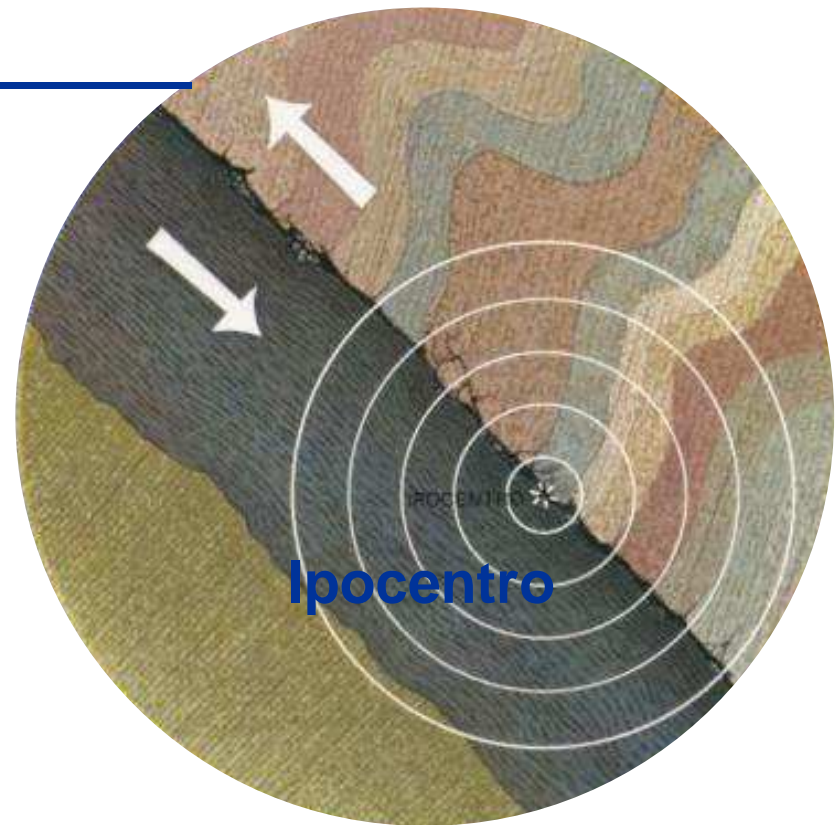
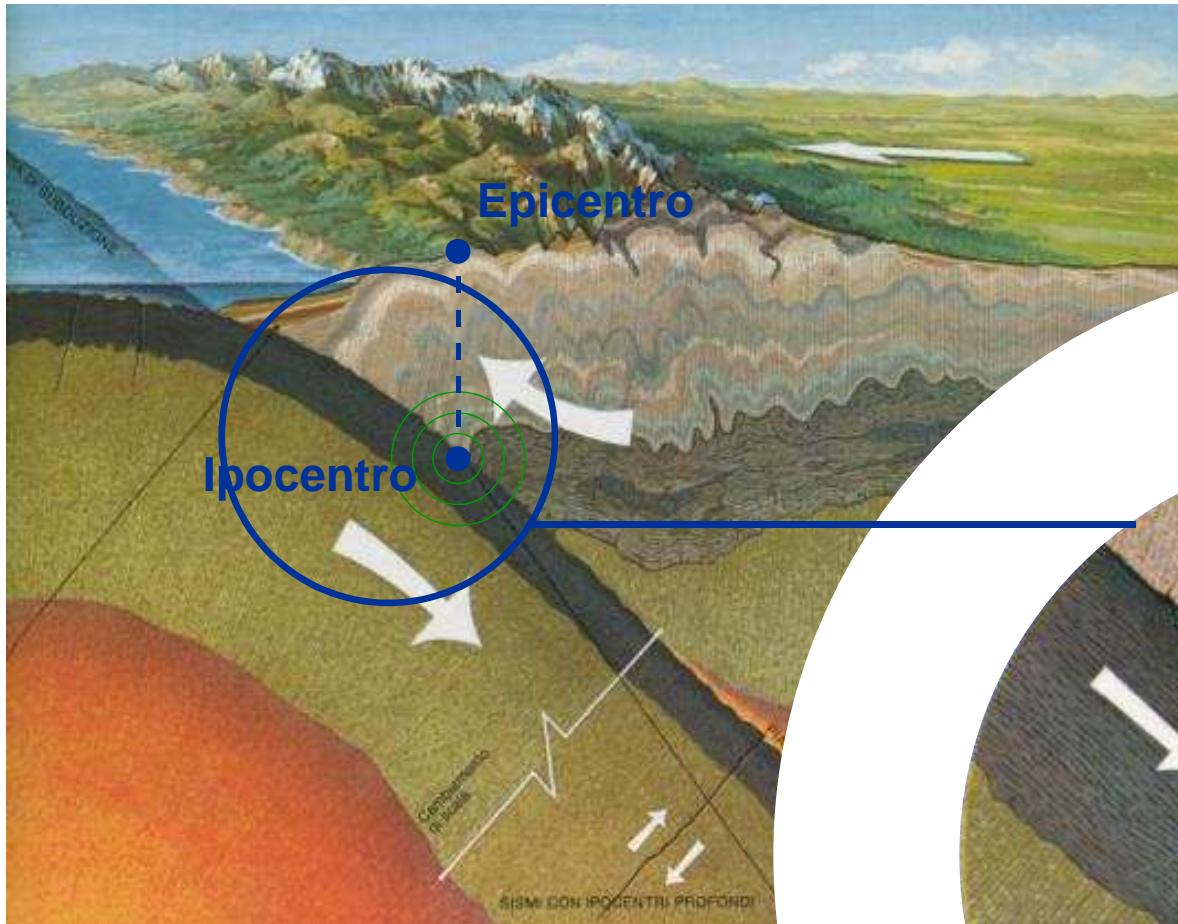


# Faglie trasformi



Zolle che scorrono  
orizzontalmente, l'una  
rispetto all'altra

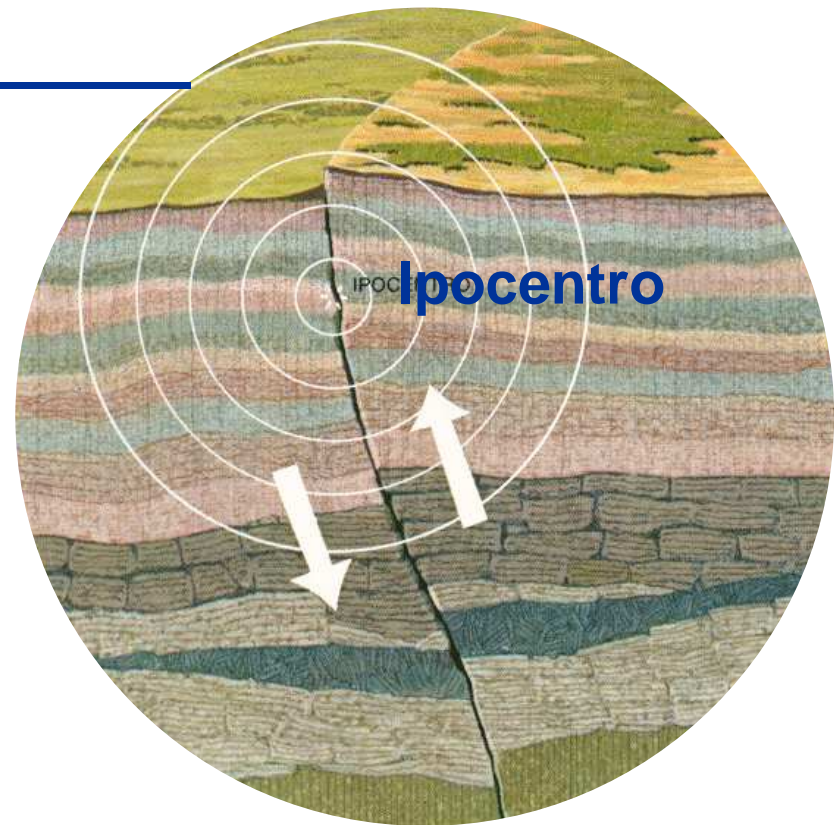
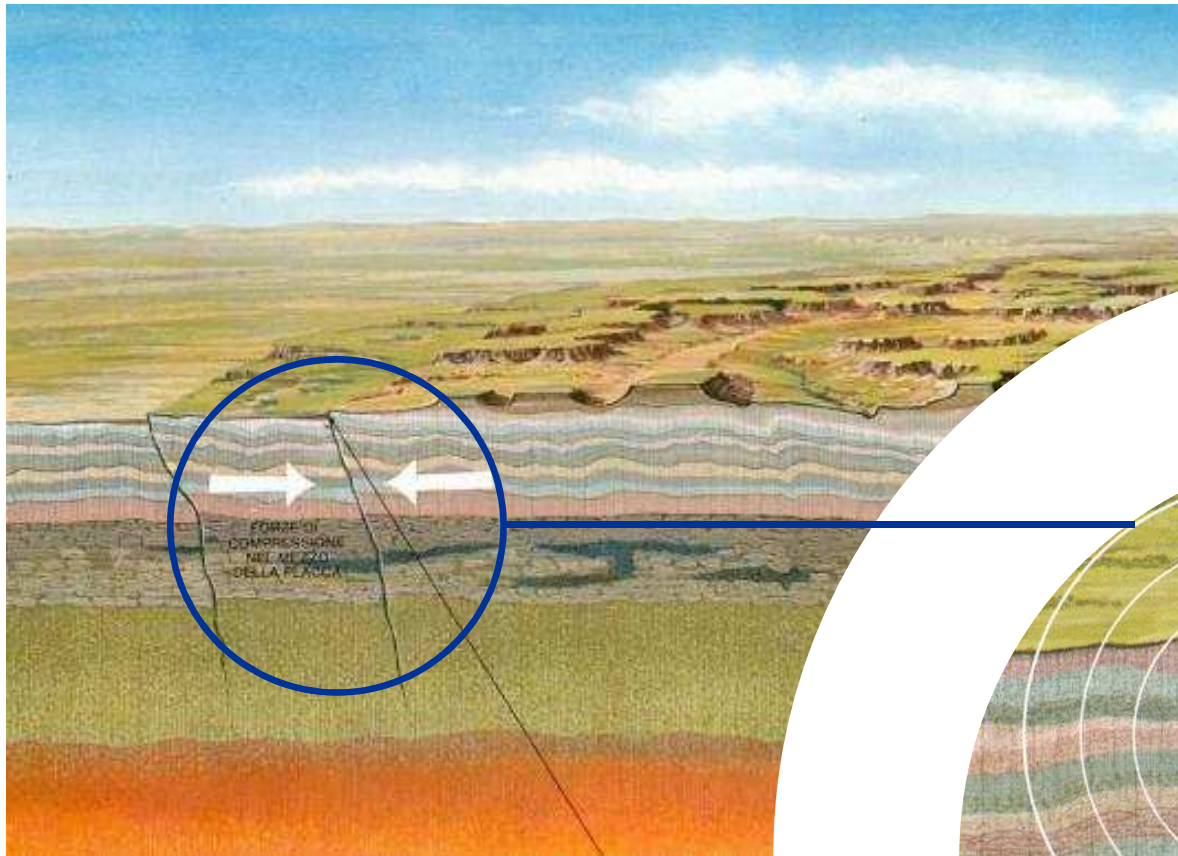
# Zone di subduzione



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

# 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)

# Registrazione di un evento sismico

Si fa riferimento all'accelerogramma, che diagramma l'accelerazione in funzione del tempo



Primo parametro di interesse: accelerazione massima

Ma sono importanti anche: durata, contenuto energetico

# Misura dell'intensità sismica

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  $\geq M$ :

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

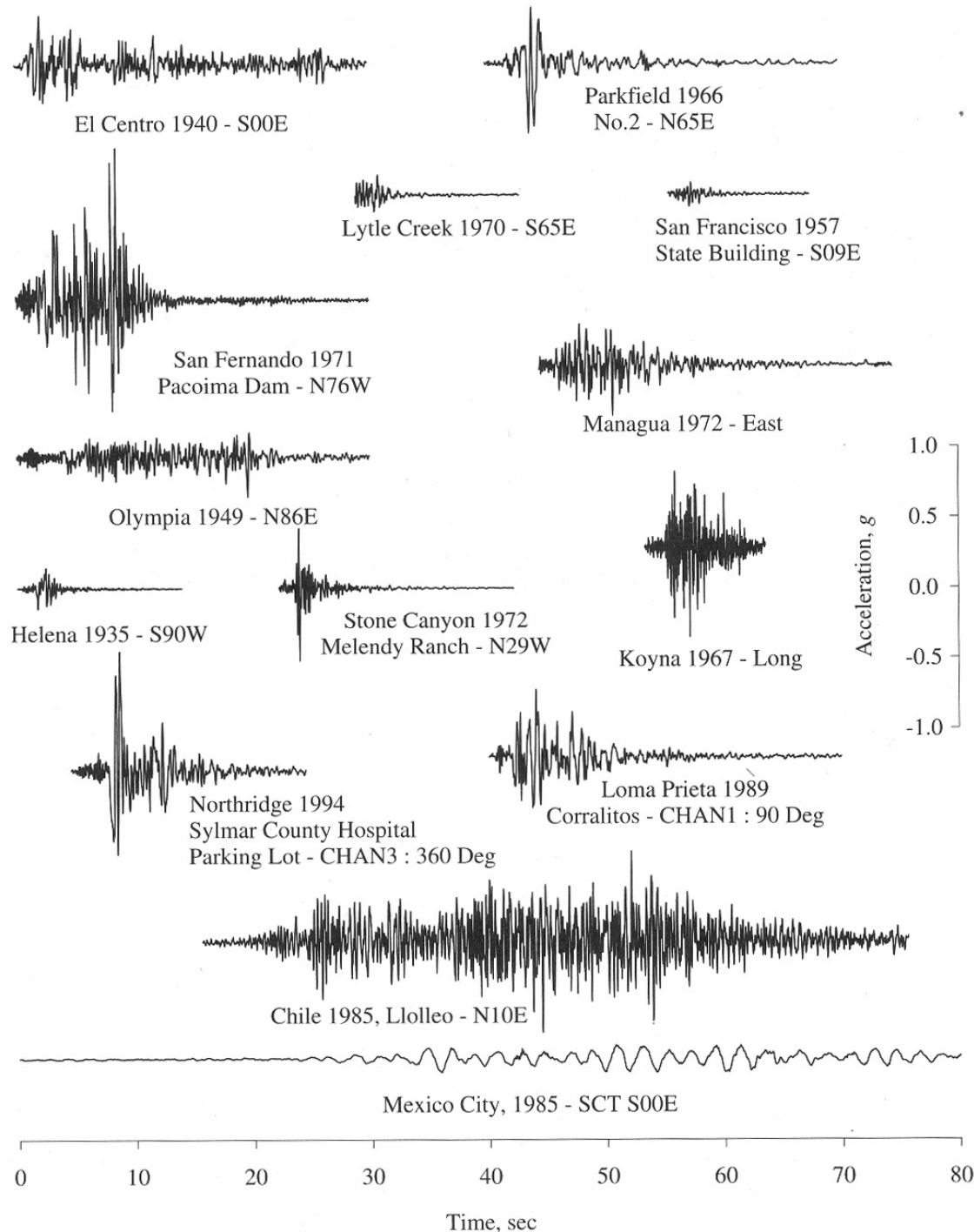
# Accelerogrammi

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





# Dove trovare accelerogrammi?

Sono disponibili vari database:

- European Strong Motion Database (ESD)  
<http://esm.mi.ingv.it/>  
[http://www.isesd.hi.is/ESD\\_Local/frameset.htm](http://www.isesd.hi.is/ESD_Local/frameset.htm)
- Italian Accelerometric Archive (ITACA)  
<http://itaca.mi.ingv.it/>

Si veda anche:

- Selected Input Motions for Displacement-Based Assessment and Design (SIMBAD)  
[http://wpage.unina.it/iuniervo/SIMBAD\\_Database\\_Polimi.pdf](http://wpage.unina.it/iuniervo/SIMBAD_Database_Polimi.pdf)

# Dove trovare accelerogrammi?

Per selezionare accelerogrammi può essere utile il programma REXEL

- [http://www.reluis.it/index.php?option=com\\_content&view=article&id=118&Itemid=105&lang=it](http://www.reluis.it/index.php?option=com_content&view=article&id=118&Itemid=105&lang=it)

Questo programma permette la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri in accelerazione di normativa o definiti dall'utente arbitrariamente. Gli accelerogrammi possono anche rispecchiare caratteristiche di sorgente di interesse in termini di magnitudo, distanza epicentrale e misure d'intensità del terremoto

# Visualizzare e usare gli accelerogrammi

## Il programma Oscill

È stato messo a disposizione il file [Oscill\\_22a.zip](#)

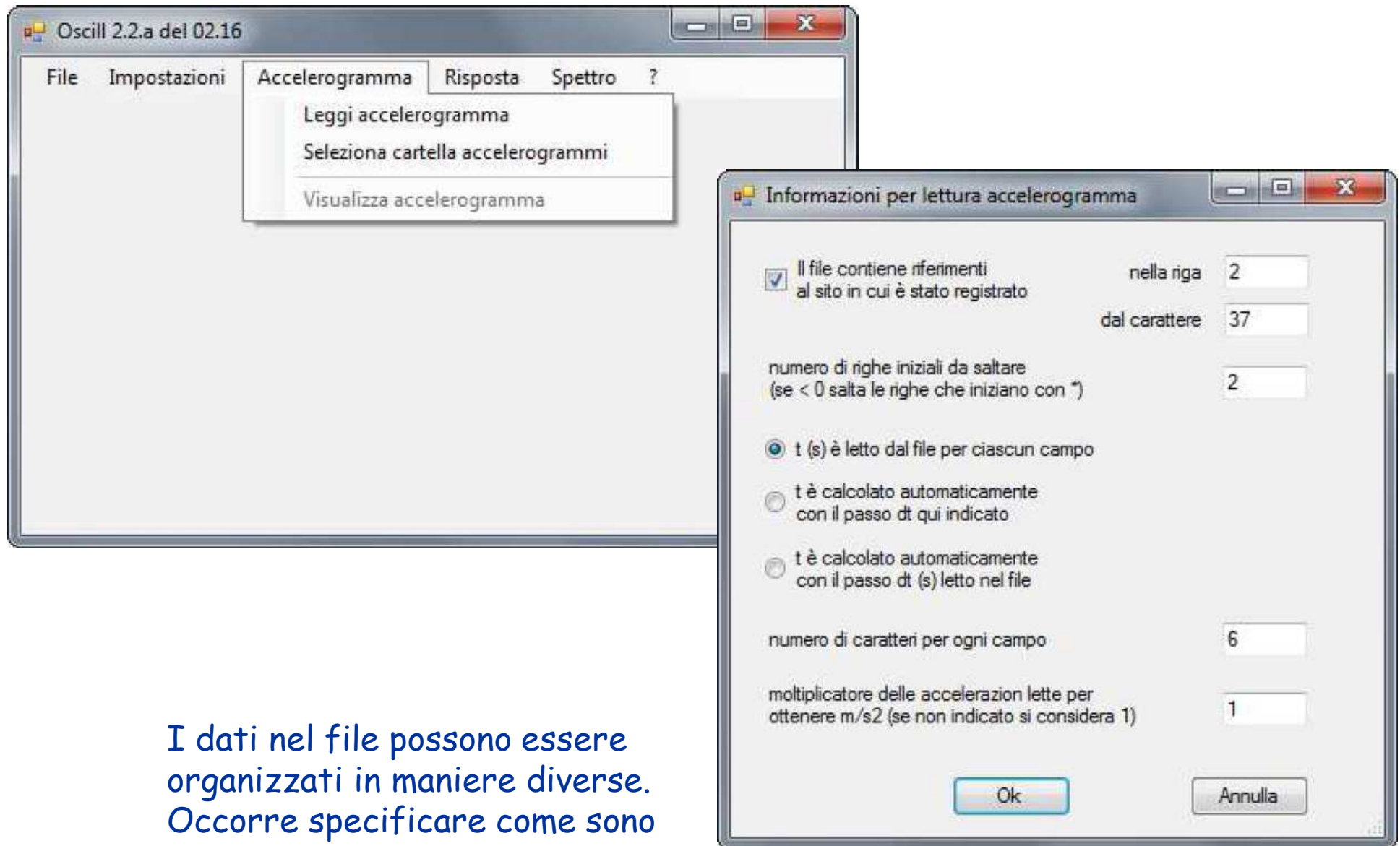
- Unzippare il file
- Dalla cartella [Installazione di Oscill](#) mandare in esecuzione il file [Setup](#)
- Consultare la documentazione di Oscill (in particolare il file [Oscill 22a](#))
- Possono essere utilizzati come esempio gli accelerogrammi contenuti nelle cartelle [5 accelerogrammi](#), [accelerogrammi1](#), [accelerogrammi2](#)

# Il programma Oscill



# Il programma Oscill

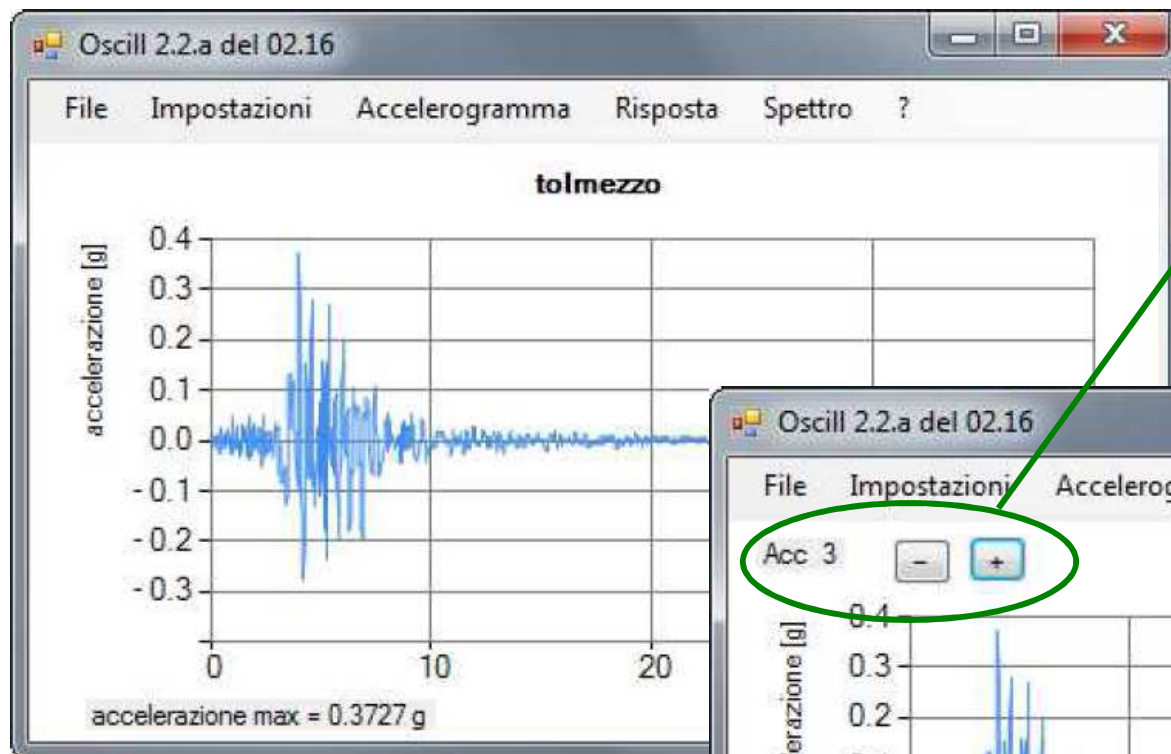
## Selezionare accelerogrammi



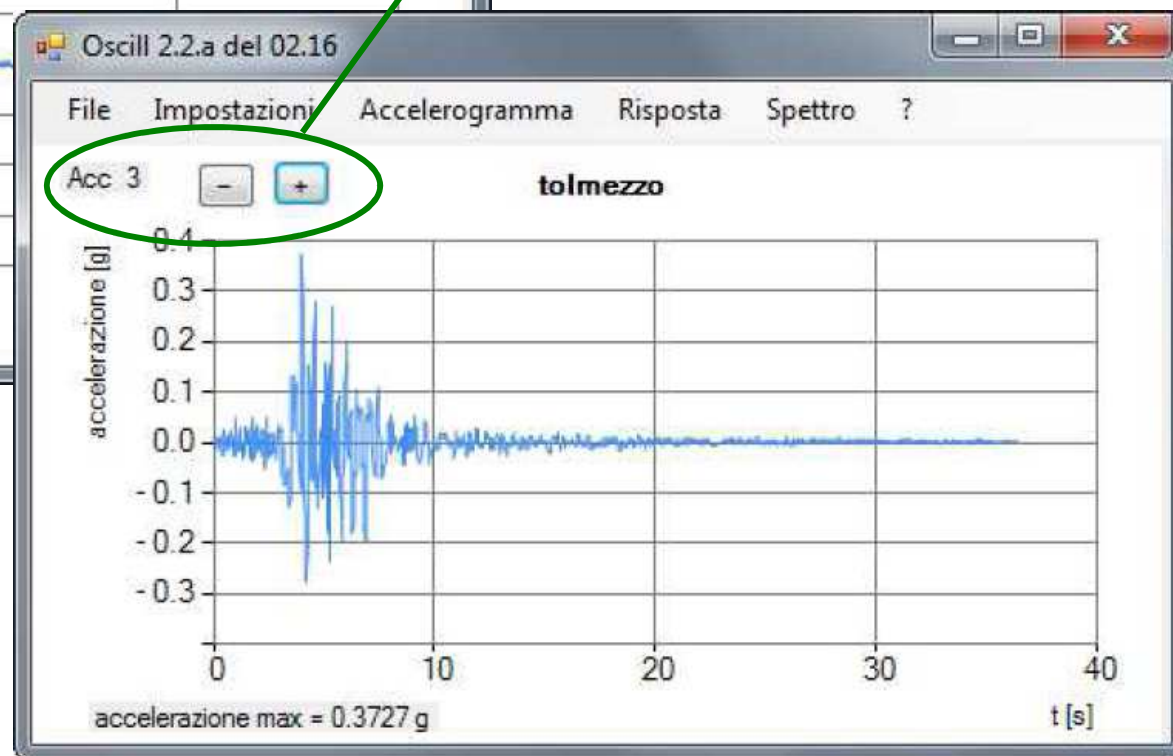


# Il programma Oscill

## Visualizzare accelerogrammi



Se si è selezionata una cartella, si possono scorrere tutti gli accelerogrammi



# I terremoti

Cosa sono?

Quali effetti producono?

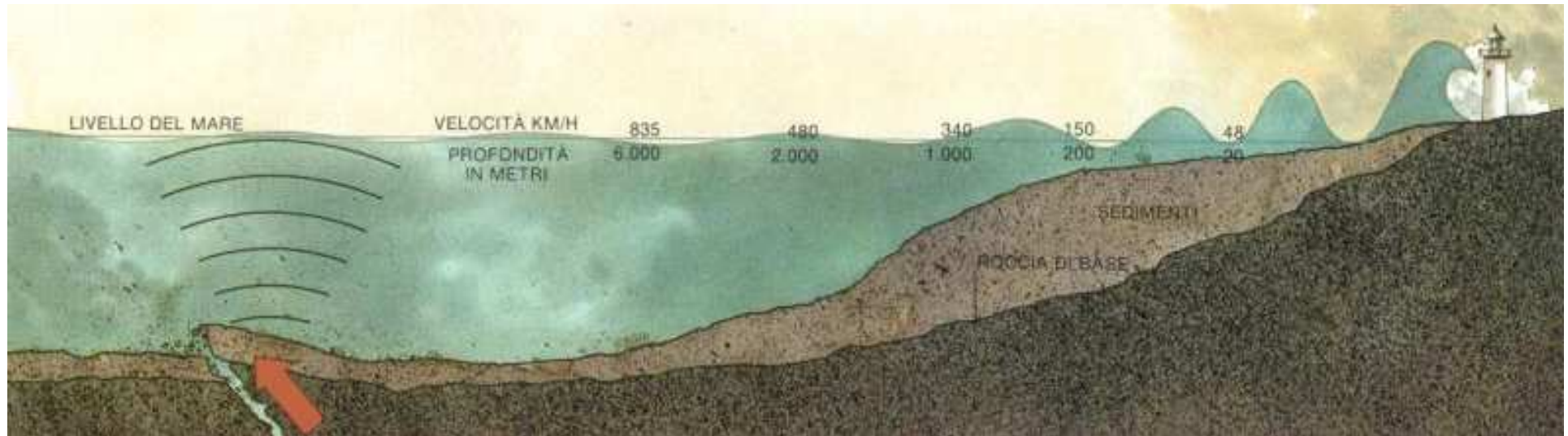


Particolare  
attenzione a ...

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

Quali terremoti ci  
aspettiamo in un  
determinato sito?

# 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

# Tsunami



# Tsunami

## Commenti:

- È impossibile garantire la sicurezza delle costruzioni e la salvaguardia della vita
- È indispensabile la prevenzione, ovvero:
  - Evitare costruzioni in zone litoranee a rischio di maremoto
  - Creare sistemi di allarme e piani di evacuazione che consentano di mettere in salvo le persone



# Scorrimenti della faglia

---



1999 - Turchia

# Scorrimenti della faglia

## Commenti:

- Non si devono realizzare costruzioni in zone poste in prossimità di faglie
- Rimane comunque il problema per le opere di comunicazione (strade, ferrovie) che sono costrette ad attraversare zone di faglia



# Movimenti della faglia, smottamenti del terreno, frane



1999 - Turchia



## Cedimenti del terreno



1997 - Umbria

# Smottamenti del terreno, frane

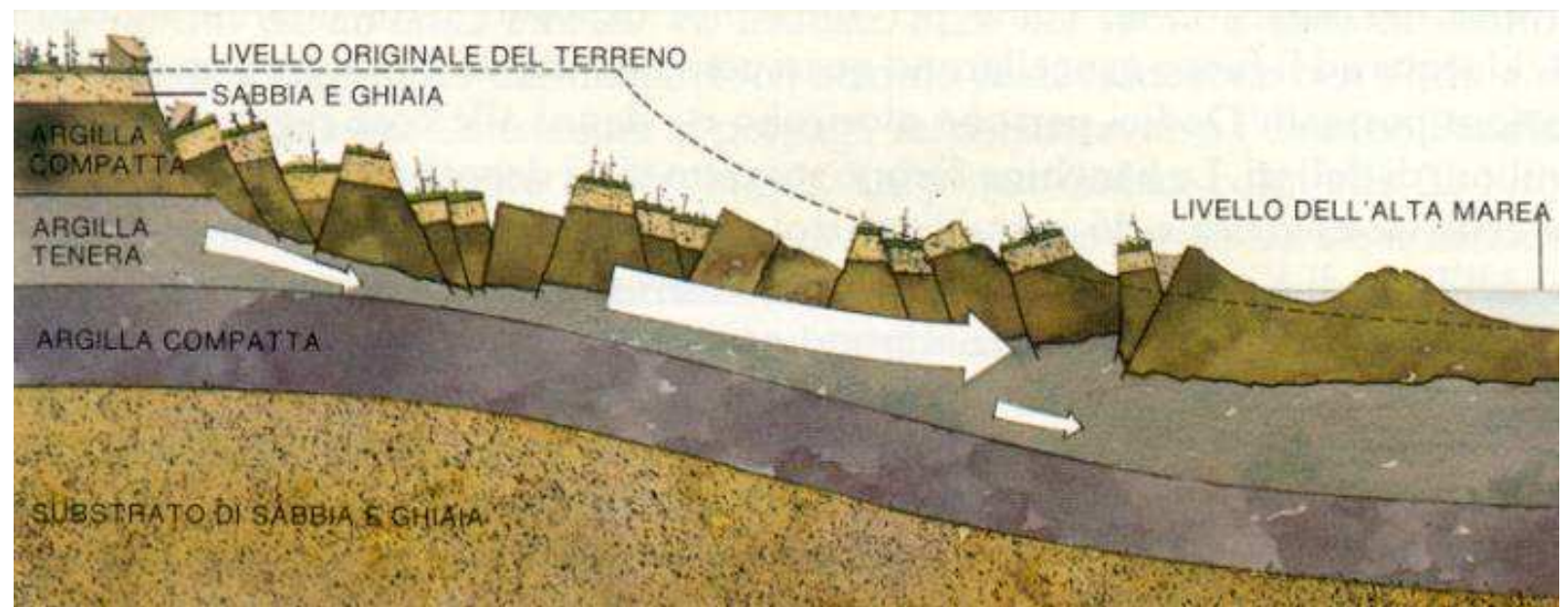
## Commenti:

- Occorre conoscere bene il rischio di frane nel territorio in cui si costruisce
- Dovrebbero essere gli enti pubblici (comuni, ecc.) ad individuare nel piano regolatore le zone a rischio di frana e considerarle non edificabili
- In ogni caso, il progettista deve curare particolarmente le fondazioni, per evitare la possibilità di movimenti relativi tra i punti alla base dell'edificio





# Liquefazione di strati sotterranei



1964 - Alaska

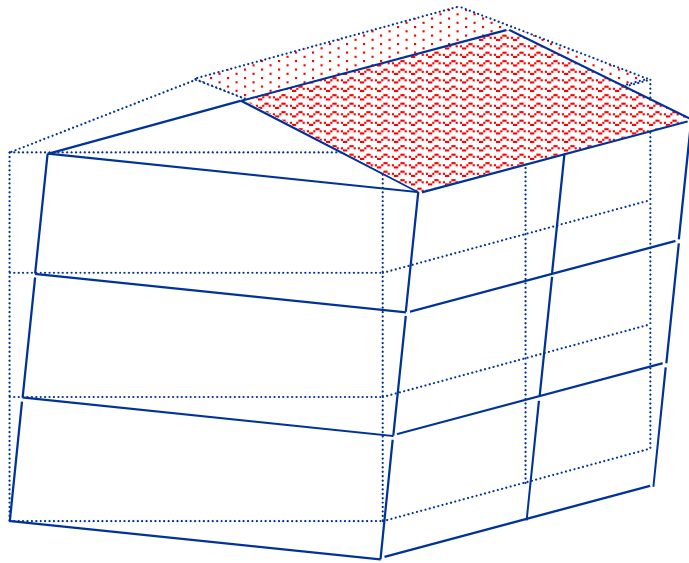


# Liquefazione del terreno



1999 – Turchia

# Liquefazione del terreno



1999 – Turchia



# Liquefazione del terreno



1999 – Turchia

# Liquefazione del terreno

## Commenti:

- Occorre evitare di costruire in zone in cui si può avere liquefazione di strati sotterranei, perché questo può provocare spostamenti nel terreno non sostenibili
- In presenza di strati superficiali suscettibili di liquefazione è necessario realizzare fondazioni profonde, che si ancorino in un suolo che non dà questi problemi

# I terremoti

Cosa sono?

Quali effetti producono?



Accelerazione  
sismica  
medio-bassa

Basso periodo  
di ritorno

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

Quali terremoti ci  
aspettiamo in un  
determinato sito?



# Ribaltamento di mobili



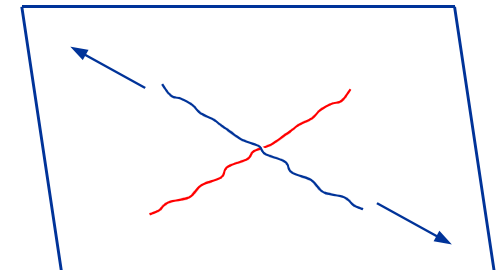
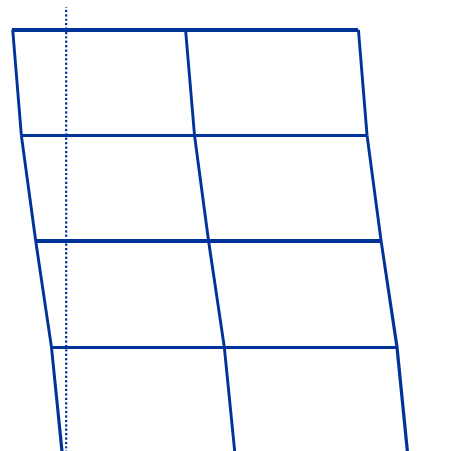
Napoli,  
Facoltà di Ingegneria

23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

# Danni ai tramezzi



Napoli,  
Facoltà di  
Ingegneria

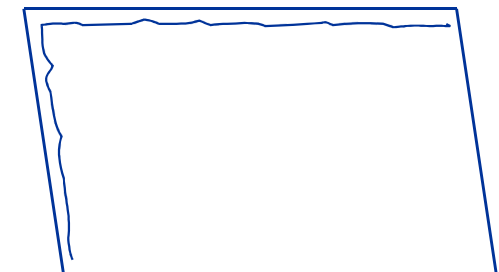
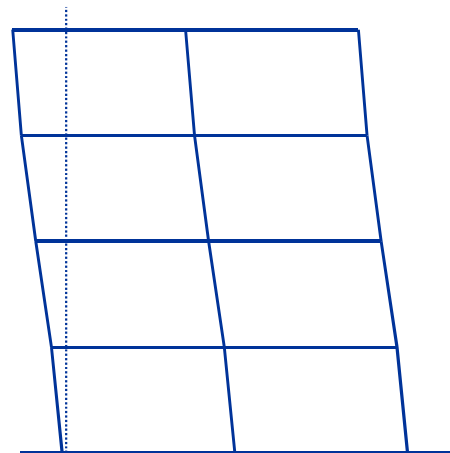


23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

# Danni ai tramezzi



Napoli,  
Facoltà di  
Ingegneria



23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

oppure distacco  
dei tramezzi dagli  
elementi strutturali



# Espulsione delle pareti di tamponamento per azioni ortogonali al loro piano



1999 - Turchia

# Espulsione delle pareti di tamponamento



1994 - Northridge



# Altre conseguenze dei terremoti

Incendi

Rottura delle  
condotte idriche



1906 - San Francisco



# Terremoti di intensità medio-bassa con basso periodo di ritorno

## Commenti:

- I danni a tramezzature e tamponature, anche se facilmente riparabili, hanno un costo notevole e possono causare lunghi periodi di inutilizzabilità di un edificio
- Il crollo di tramezzature e tamponature o di mobili può causare perdite di vite umane
- La rottura di impianti può causare grossi danni



Occorre tener conto di questo nella progettazione

# I terremoti

Cosa sono?

Quali effetti producono?



Accelerazione  
sismica  
elevata

Alto periodo  
di ritorno

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

Quali terremoti ci  
aspettiamo in un  
determinato sito?

# Danno agli elementi strutturali



2002 – Santa Venerina

foto G. Gaeta

# Danni e difetti costruttivi



Mancanza di  
staffe in testa  
al pilastro e  
nel nodo



# Danni e difetti costruttivi



2002 – Santa Venerina



foto G. Gaeta

# Danni e difetti costruttivi



Mancanza di  
staffe in testa  
al pilastro

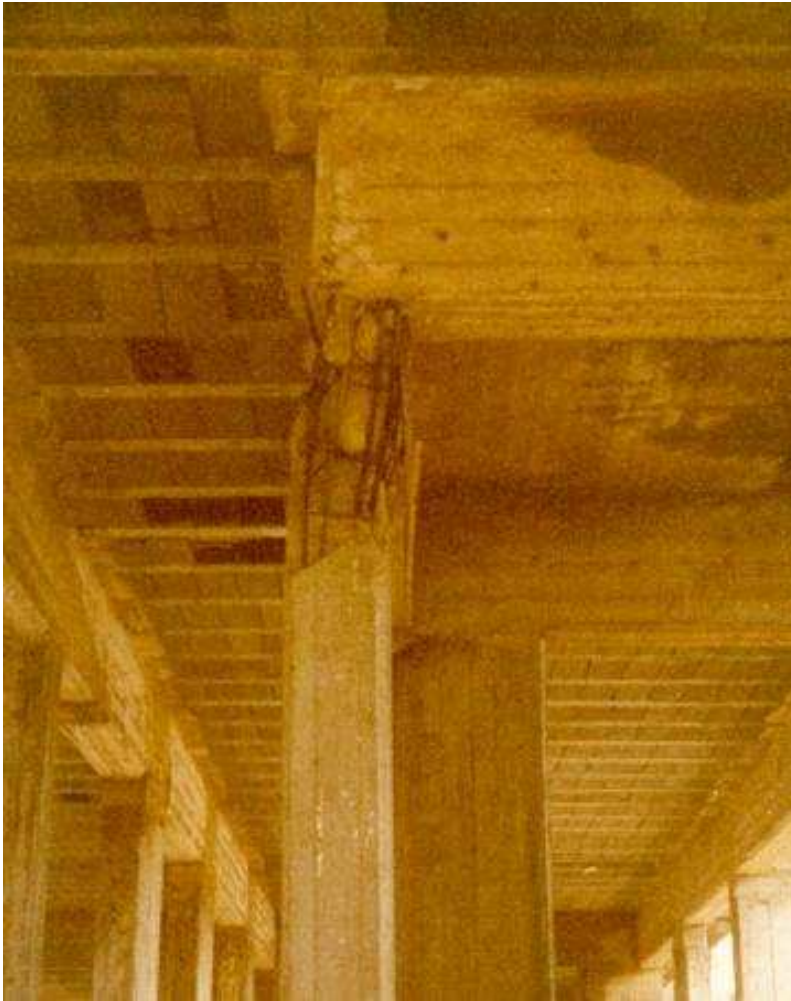


La barra  
compressa si  
instabilizza



# Danni e difetti costruttivi ...

foto A. Gheresi



S. Angelo dei Lombardi,  
edificio in costruzione



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

... possono portare a meccanismi di piano



1999 – Turchia



# Meccanismi di piano - senza crollo



1999 – Turchia

# Meccanismi di piano - senza crollo



1999 – Turchia



Fino al crollo totale ...  
Così, possono essere gli edifici  
a investire le automobili



1994 – Northridge



# Meccanismi di piano - crollo totale, con traslazione degli impalcati

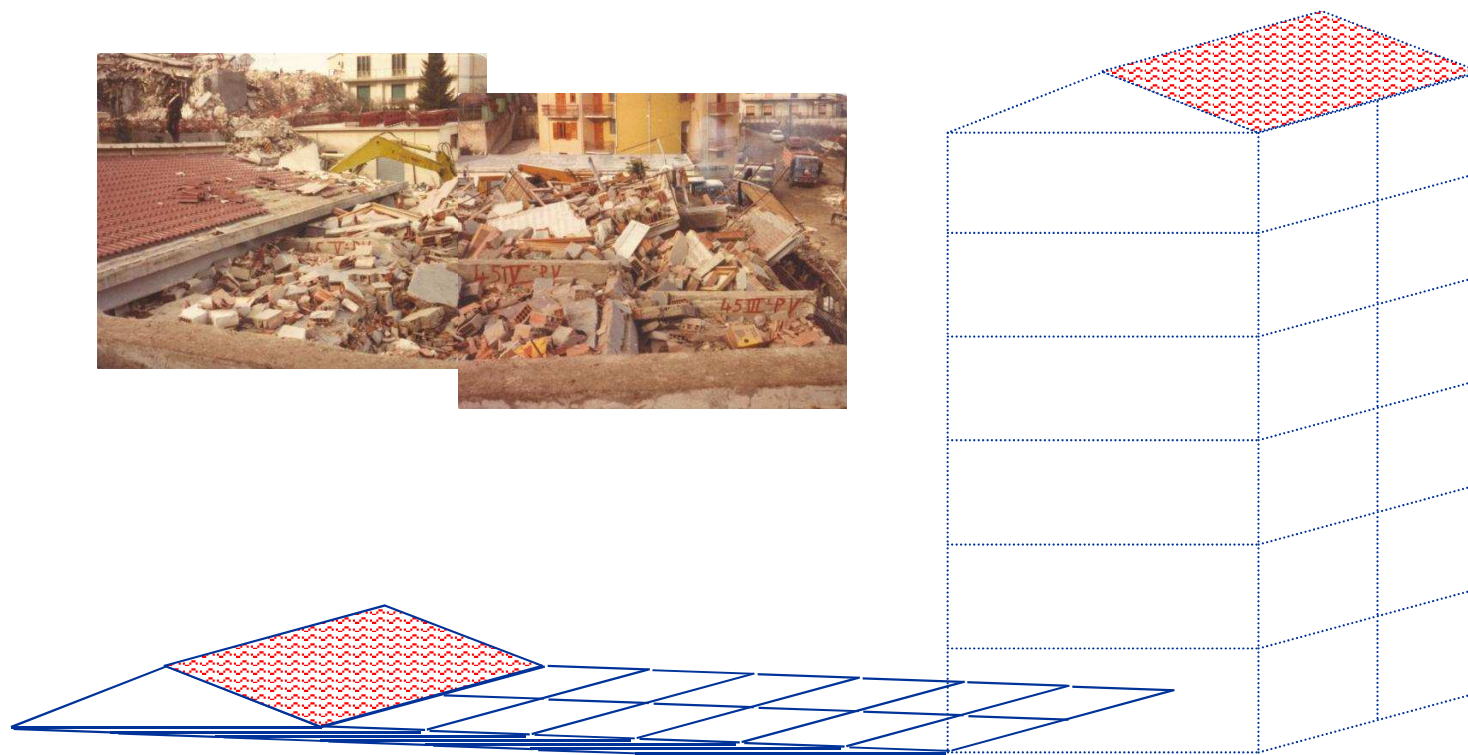
S. Angelo dei Lombardi,  
edificio 1



foto A. Gherzi

23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

# Crollo totale, con traslazione degli impalcati



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

# S. Angelo dei Lombardi

## Edificio 2



foto A. Gherzi

23/11/1980 – Irpinia e Basilicata



## S. Angelo dei Lombardi edificio 2



foto A. Gheresi

23/11/1980 – Irpinia e Basilicata





# S. Angelo dei Lombardi edificio 2



foto A. Gheresi

23/11/1980 – Irpinia e Basilicata





# Il meccanismo di piano è facilitato da difetti locali ...



foto A. Gherzi

23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

S. Angelo dei Lombardi  
edificio 2



# S. Angelo dei Lombardi

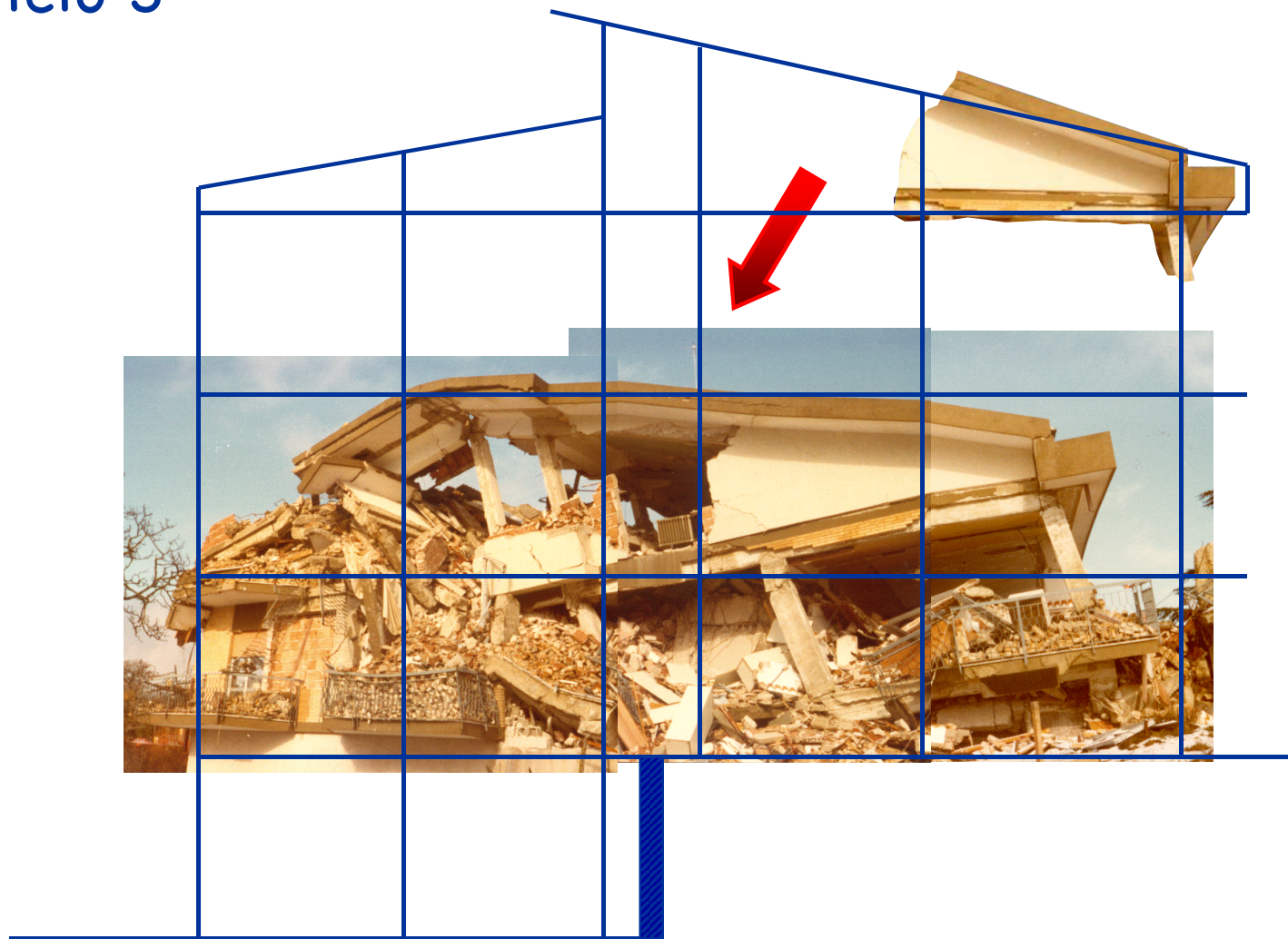
## Edificio 3



foto A. Gheresi

23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

# S. Angelo dei Lombardi edificio 3





## S. Angelo dei Lombardi - edificio 3



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

foto A. Gherzi

# Crollo totale - tipico (pilastri scadenti)



1999 – Turchia



# Crollo totale - pilastri di ottima fattura



1994 – Northridge



# Crollo totale



1994 – Northridge



# Oppure ...



Espulsione di blocchi di  
calcestruzzo

Scorrimento  
lungo la lesione





... con risultati fatali



1999 – Turchia



foto A. Ghersi



# Perdita del piano inferiore

Lioni,  
edificio del Banco di Napoli



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata



foto A. Gheresi



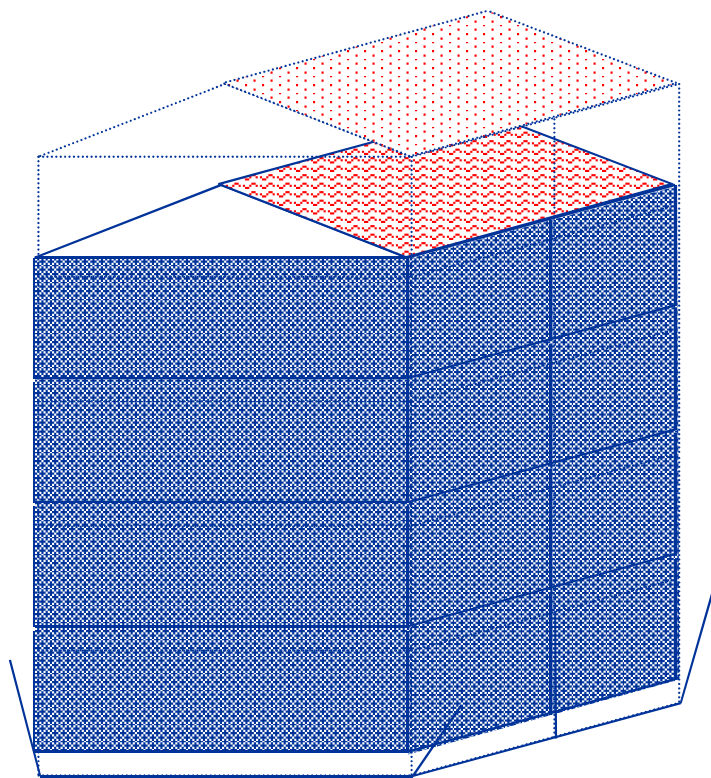
## Lioni, edificio del Banco di Napoli



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

foto A. Ghersi

# Lioni, edificio del Banco di Napoli



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata





# Lioni, edificio del Banco di Napoli



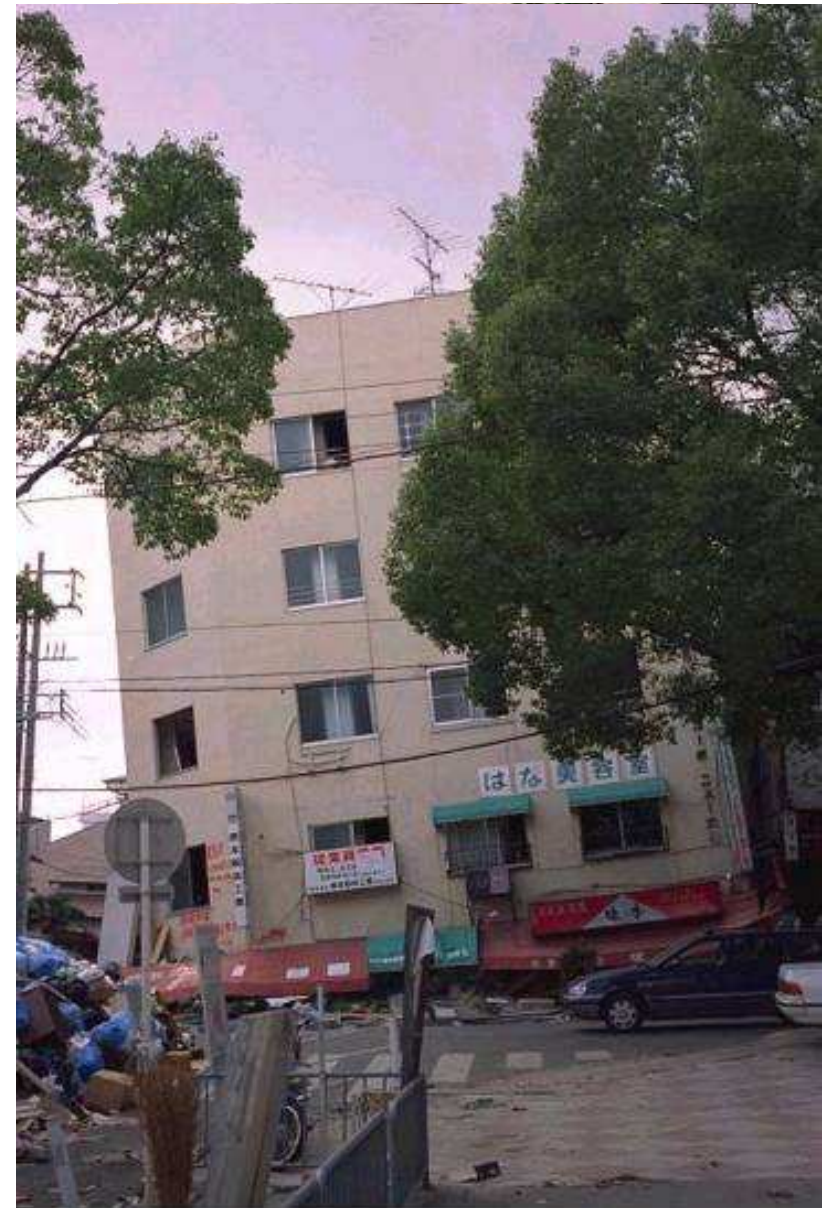
23/11/1980 – Irpinia e Basilicata



foto A. Ghersi

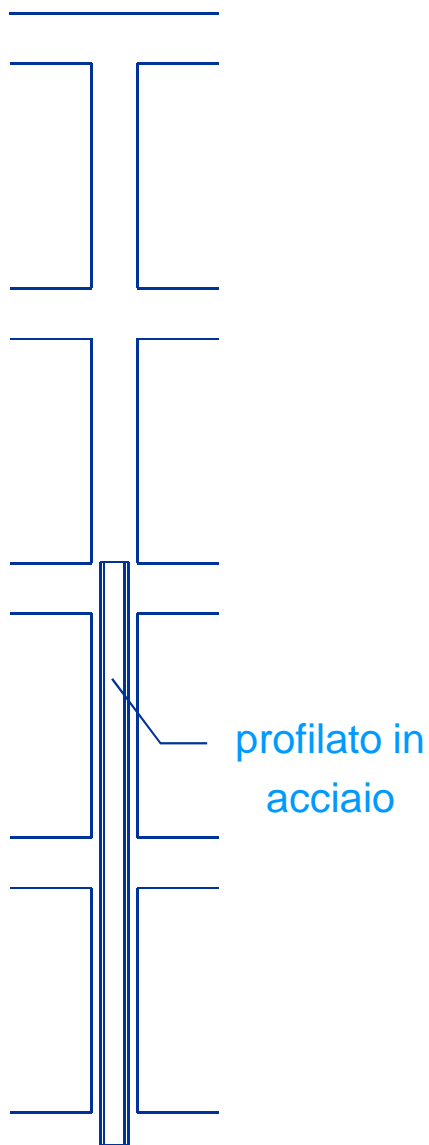


# Perdita del piano inferiore



1995 – Kobe

# Perdita di un piano intermedio

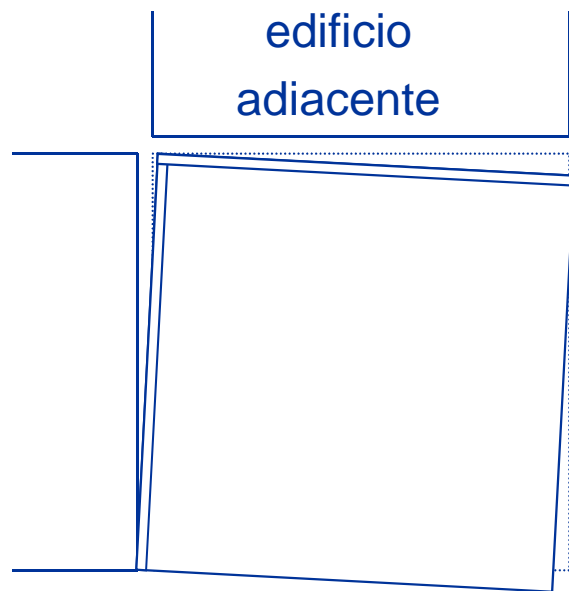


1995 – Kobe



# Perdita di un piano intermedio

possibili effetti torsionali  
in pianta



1995 – Kobe



# Terremoti di intensità elevata con alto periodo di ritorno

## Commenti:

- Evitare danni alle strutture sarebbe troppo costoso e quindi non conviene economicamente
- Bisogna però evitare il crollo e la perdita di vite umane



Occorre tener conto di questo nella progettazione  
e nella realizzazione dell'opera

# I terremoti

Cosa sono?

Quali effetti producono?

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

Quali terremoti ci  
aspettiamo in un  
determinato sito?

# Problematiche:

per terremoti con basso periodo di ritorno

Poiché questi avvengono con frequenza,  
è importante evitare danni eccessivi  
ed interruzioni troppo lunghe dell'uso





# Problematiche:

per terremoti con alto periodo di ritorno

Non è economico progettare la struttura in modo da evitare danni - l'importante è che non crolli

C1

Bisogna tener conto del differente comportamento delle strutture oltre il limite elastico (con "coefficienti di struttura")

C2

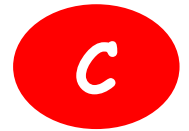
Bisogna garantire maggior sicurezza a strutture "importanti" (per la protezione civile, ecc.)

C3

Problematiche:  
per terremoti con basso periodo di ritorno



Problematiche:  
per terremoti con alto periodo di ritorno



Più in generale

Bisogna imporre alla struttura prestazioni diverse  
in funzione del periodo di ritorno del terremoto  
e dell'importanza dell'edificio



# Eventi sismici, classificazione sismica e indicazioni della normativa

La normativa sismica si è evoluta nel tempo, quasi sempre con nuove norme emesse subito dopo un forte evento sismico

Evento sismico



Nuova classificazione delle zone sismiche



Nuova norme sismiche



# Prime norme sismiche in Italia

Fine '700 ed '800:

Norme che fornivano prescrizioni costruttive e limitazioni all'altezza degli edifici



C1

## Problematica

Per terremoti con alto periodo di ritorno:  
non è economico progettare la struttura in modo da evitare danni - l'importante è che non crolli

C1

# Classificazione sismica e normativa 1909

Terremoto: Messina (1908)  
80000 morti e 600 miliardi di lire (di allora) di danni

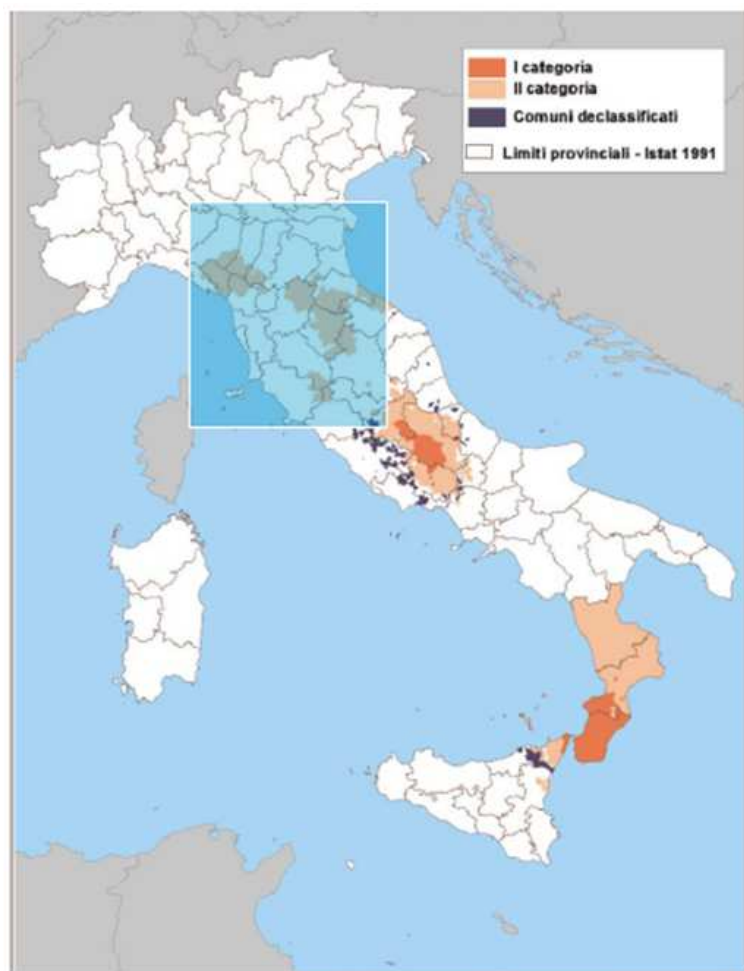


R.D. 18 aprile 1909, n.193  
Impone di tener conto, nei  
calcoli di resistenza delle  
costruzioni, di "azioni  
dinamiche dovute al moto  
sismico ondulatorio,  
rappresentandole con  
accelerazioni applicate alle  
masse del fabbricato"

C1

# Classificazione sismica e normativa 1916-1927

Terremoti:      Alto Adriatico, Riminese (1916), Val Tiberina (1917)  
Appennino Romagnolo (1918), Mugello, Toscana  
meridionale (1919), Garfagnana (1920)



Decreto Legge n. 1526/1916  
Regio Decreto n. 2089/1924  
Regio Decreto n. 431/1927

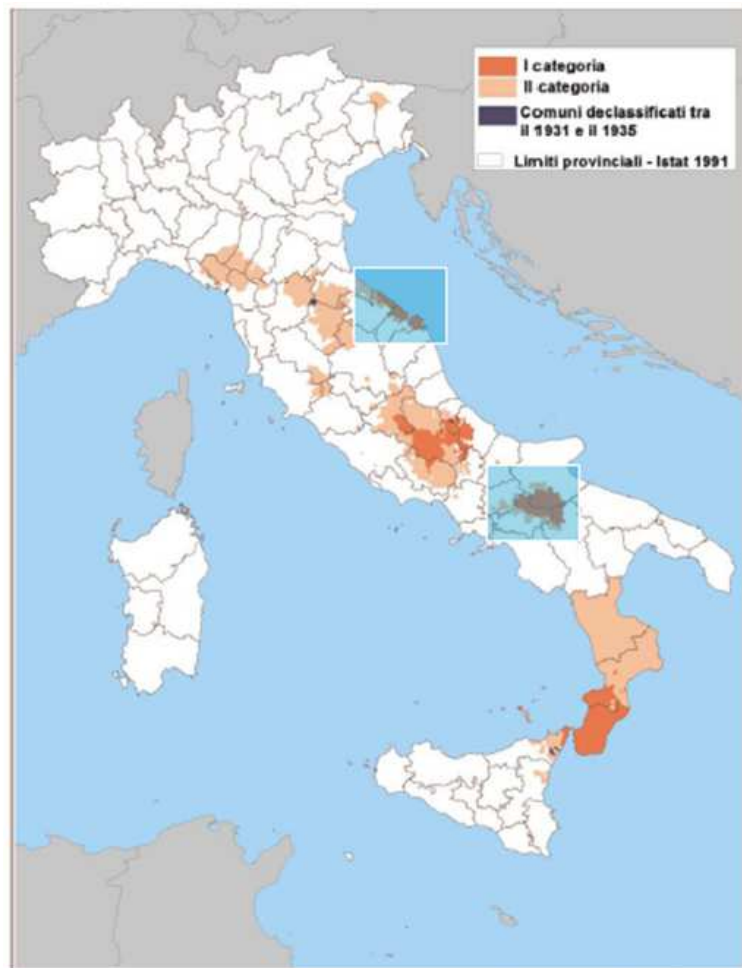


Viene introdotta la zona  
sismica di seconda categoria



# Classificazione sismica e normativa 1930-1935

Terremoti: Irpinia, Marche settentrionali (1930), Monte Baldo (1932), Maiella (1933)

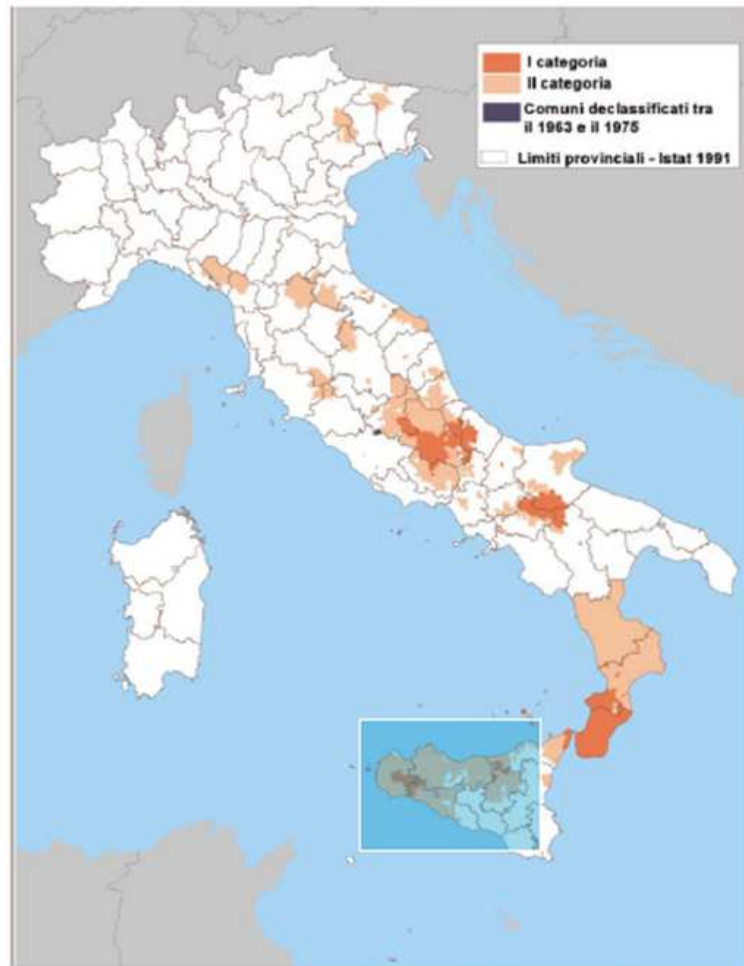


R.D. 25 marzo 1935, n. 640  
Impone azioni di entità analoga a  
quelle utilizzate fino a fine XX  
secolo (ma con accelerazione  
uguale a tutti i piani)  
Impone l'uso di cordoli in c.a. per  
edifici in muratura

C1

# Classificazione sismica e normativa 1962-1975

Terremoti: Monti Nebrodi (1967), Valle del Belice (1968),  
Tuscania (1971)



Legge n. 64/1974

D.M. 3 marzo 1975

Le forze corrispondono ad una  
accelerazione crescente col piano  
Introduce un "coefficiente  
di struttura"  
Consente l'analisi dinamica  
(modale)

# Classificazione sismica e normativa 1962-1975

Terremoti: Monti Nebrodi (1967), Valle del Belice (1968),  
Tuscania (1971)



Legge n. 64/1974

D.M. 3 marzo 1975

Le forze corrispondono ad una  
accelerazione crescente col piano

Introduce un "coefficiente  
di struttura" →

C2

Consente l'analisi dinamica  
(modale)

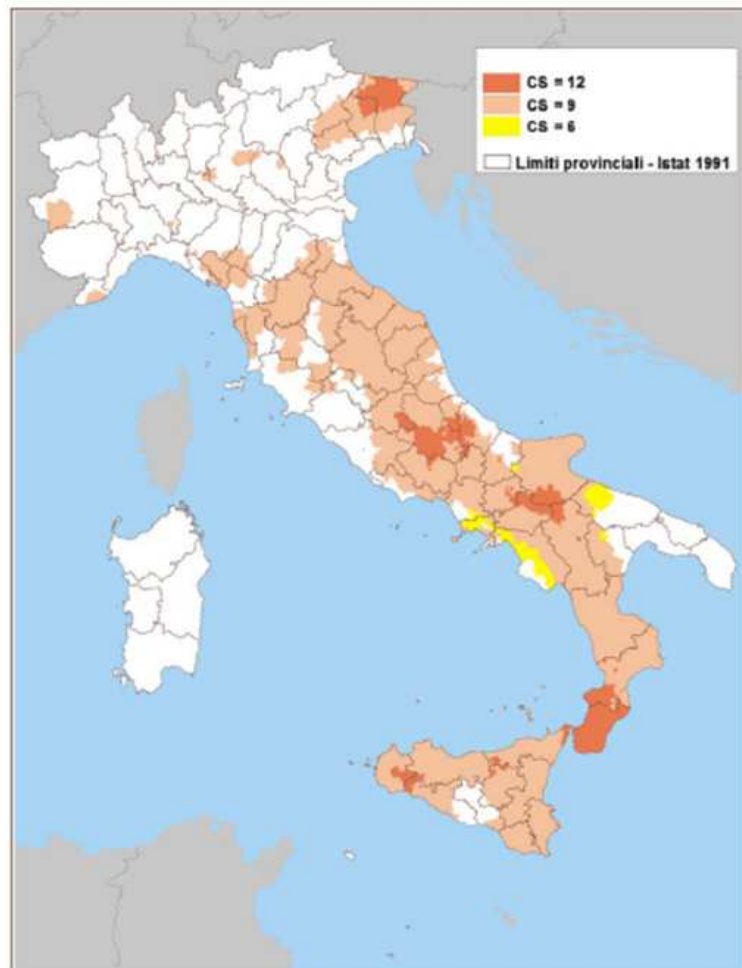
Bisogna tener conto del differente  
comportamento delle strutture  
oltre il limite elastico

C2



# Classificazione sismica e normativa 1976-1996

Terremoti: Friuli (1976), Calabria meridionale, golfo di Patti (1978), Valnerina (1979), Irpinia-Basilicata (1980)



D.M. 3 giugno 1981 n. 515

Viene introdotta la zona sismica di terza categoria

D.M. 2 luglio 1981, n. 593

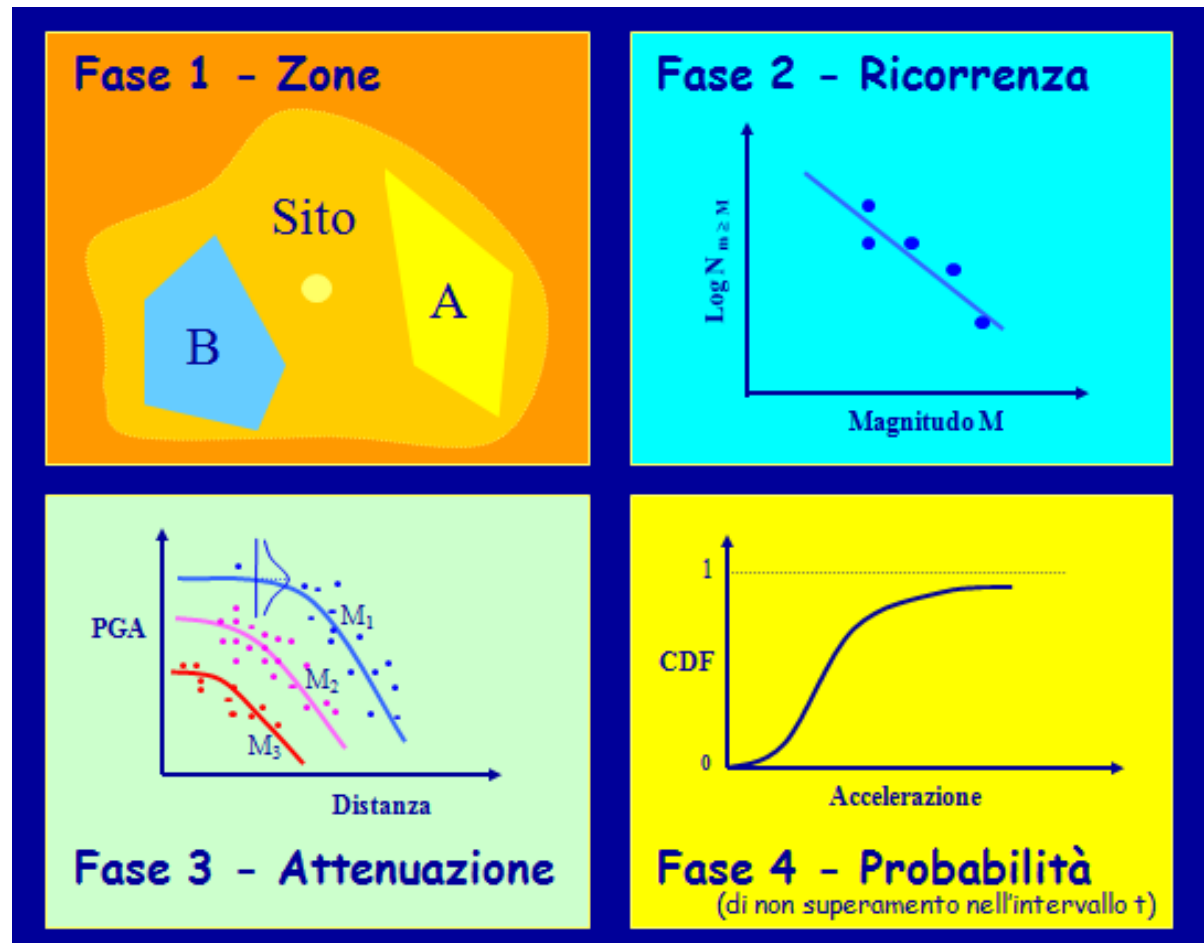
Fornisce indicazioni per riparazione e rafforzamento di edifici danneggiati dal sisma del 1980

Introduce il calcolo anche per gli edifici in muratura

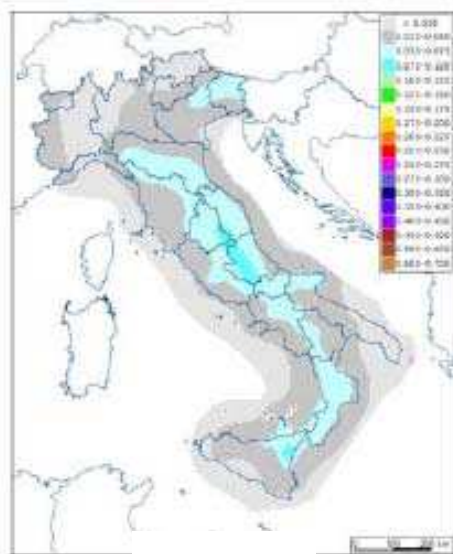
# Evoluzione della classificazione sismica anni finali del '900

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

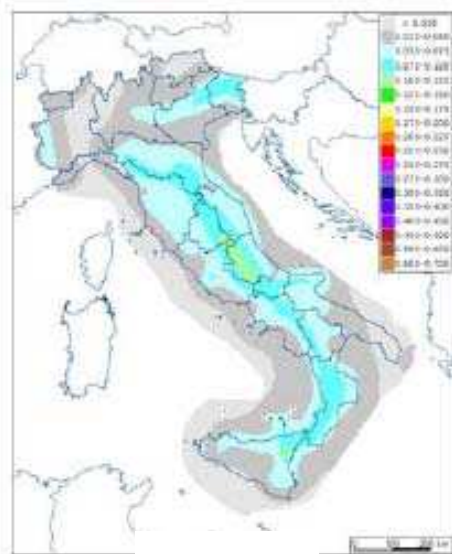
Partendo dallo studio  
geologico, dall'individuazione  
delle faglie, dalla ricorrenza  
degli eventi sismici e dalla  
attenuazione delle onde  
sismiche con la distanza si  
valuta la probabilità di avere  
assegnate accelerazioni in  
ciascun sito



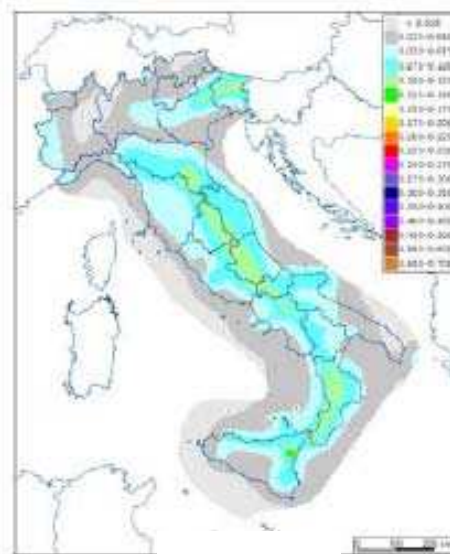
# Carte di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni



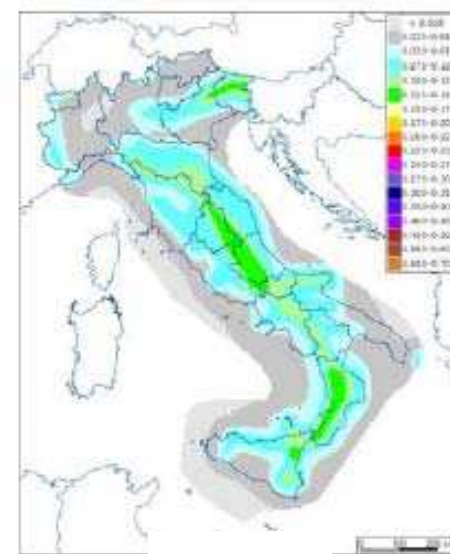
81%



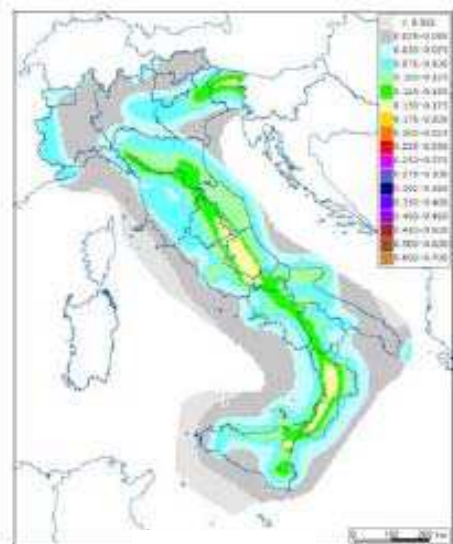
63%



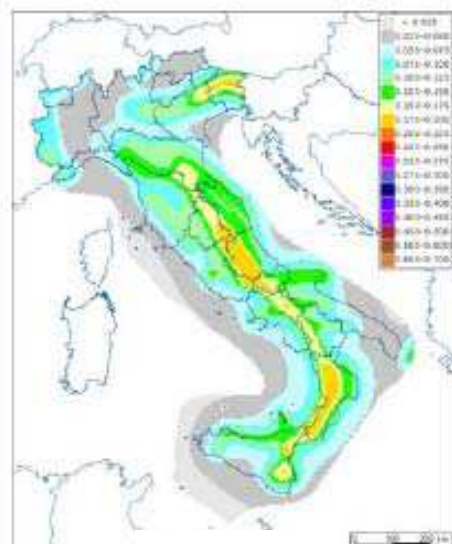
50%



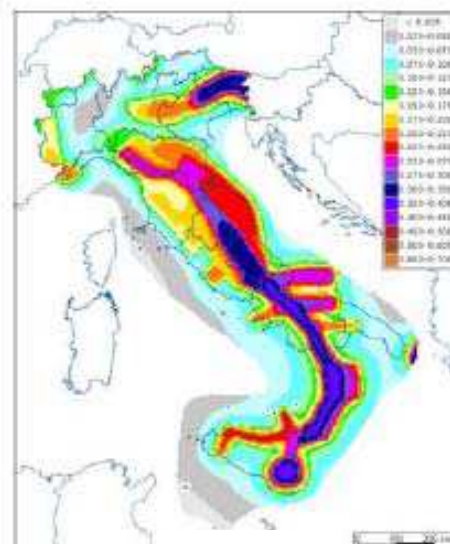
39%



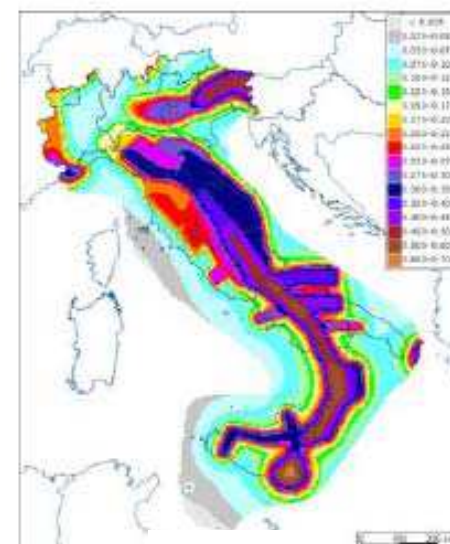
30%



22%



5%

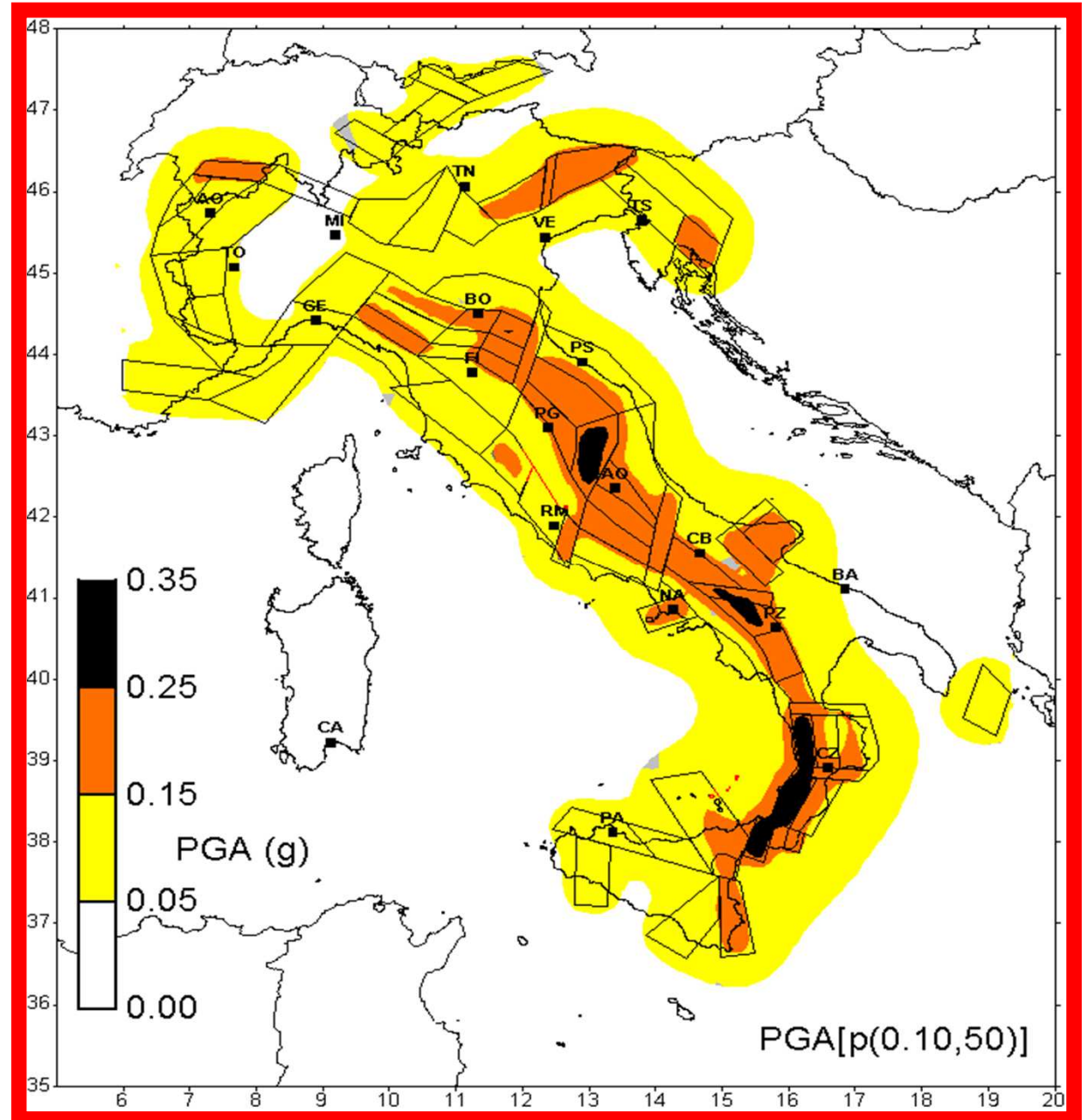


2%

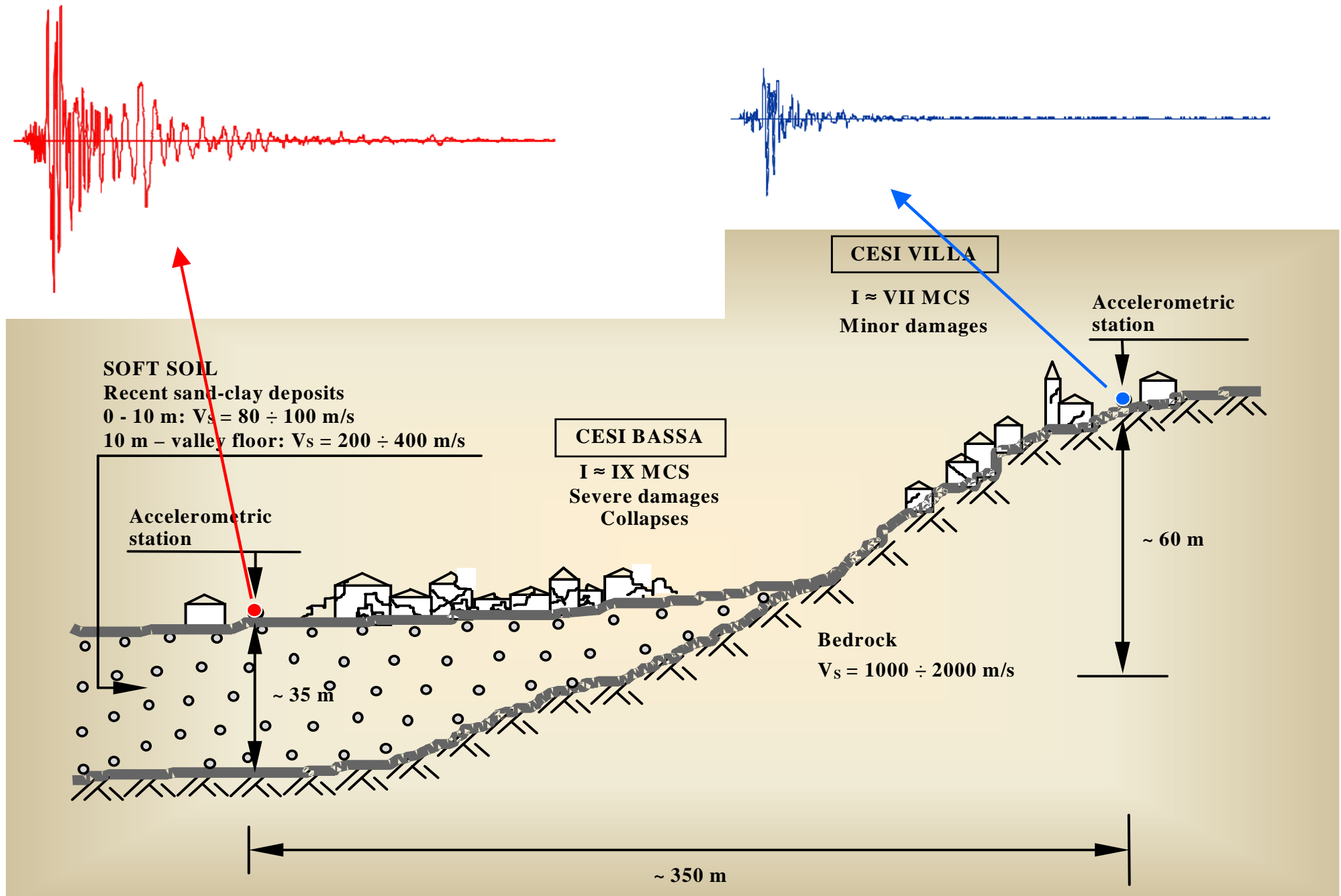


# Analisi di pericolosità

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



# Influenza del terreno e microzonazione



# Anni finali del '900, Italia

D.M. 24 gennaio 1986

Introduce un "coefficiente di importanza" →

C3

## Problematica

Bisogna garantire maggior sicurezza a strutture "importanti"  
(per la protezione civile, ecc.)

C3

D.M. 16 gennaio 1996

Consente la verifica col metodo degli stati limite

Introduce limiti agli spostamenti di interpiano →

D

## Problematica

Per terremoti con basso periodo di ritorno:

poiché questi avvengono con frequenza, è importante evitare  
danni eccessivi ed interruzioni troppo lunghe dell'uso

D



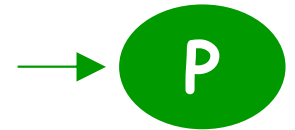
# Anni finali del '900, Stati Uniti

Norme americane FEMA

Introducono il concetto di "Performance based design" "

cioè

prestazione richiesta per un assegnato terremoto



## Problematica

Bisogna imporre alla struttura prestazioni diverse in funzione del periodo di ritorno del terremoto e dell'importanza dell'edificio



# I terremoti

Cosa sono?

Quali effetti producono?

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

Quali terremoti ci  
aspettiamo in un  
determinato sito?

# Trattazione probabilistica degli eventi sismici

## Distribuzione di Poisson:

- Un evento può accadere in maniera casuale in un qualsiasi istante
- L'occorrenza di un evento in un determinato intervallo di tempo è indipendente da quanto si ha in un qualsiasi altro intervallo
- La probabilità di occorrenza di un evento in un piccolo intervallo  $\Delta t$  è proporzionale a  $\Delta t$  e può essere espressa con  $\lambda_s \Delta t$ , dove  $\lambda_s$  è la possibilità media di occorrenza dell'evento (assunta costante)

Bibliografia: Alfredo H-S. Ang, Wilson H. Tang, Probability concepts in Engineering Planning and Design, John Wiley & Sons



# Trattazione probabilistica degli eventi sismici

Distribuzione di Poisson:

- Si indica con  $T_{R,i}$  il **periodo di ritorno** (in anni) di un terremoto di intensità pari o superiore ad un valore assegnato  $s_i$
- Si ha quindi  $\lambda_s(s_i) = \frac{1}{T_{r,i}}$

# Trattazione probabilistica degli eventi sismici

- Per ciascuna struttura può essere definita una “**vita di riferimento**”  $V_R$   
ovvero il periodo di tempo per il quale vogliamo che la struttura si mantenga idonea allo scopo per il quale è stata progettata
- È quindi importante conoscere che probabilità vi sia di avere, durante tale periodo, eventi sismici di intensità pari o superiore ad un certo valore (ovvero quale accelerazione sismica ha una determinata probabilità di essere superata)

# Vita di riferimento $V_R$

La vita di riferimento è definita dalla normativa (Norme Tecniche per le costruzioni 2008, NTC08) e dipende da:

- Vita nominale  $V_N$
- Classe d'uso



# Vita nominale $V_N$

- **Vita nominale:**  
numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata

	TIPI DI COSTRUZIONE	Vita nominale $V_N$
1	Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	$\leq 10$ anni
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$ anni
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$ anni

# Classe d'uso

- **Classe d'uso:**  
è legata alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche

TIPI DI COSTRUZIONE	Classe d'uso
Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli	I
Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali	II
Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi	III
Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità	IV

# Vita di riferimento $V_R$

Dipende da:

- Vita nominale  $V_N$
- Classe d'uso

$$V_R = V_N \times C_U \geq 35 \text{ anni}$$

Il coefficiente d'uso  $C_U$  dipende dalla classe d'uso

Classe d'uso	I	II	III	IV
$C_U$	0.7	1.0	1.5	2.0



# Periodo di riferimento $V_R$ per l'azione sismica

<div>Vita nominale</div> <div>Classe d'uso</div>	I	II	III	IV
10	35	35	35	35
50	35	50	75	100
100	70	100	150	200

Esempio: edificio per abitazione di nuova realizzazione

Opera ordinaria

Normale affollamento

# Trattazione probabilistica degli eventi sismici

Per una distribuzione di Poisson, la probabilità  $P$  di avere  $x$  eventi in un intervallo di tempo  $t$ , indicata con  $P(X_i = x)$ , è data da:

$$P(X_i = x) = \frac{(\lambda_s t)^x}{x!} e^{-\lambda_s t}$$

La probabilità  $P(X_i=0)$  che non vi sia alcun evento sismico in un intervallo di tempo  $V_R$  è

$$P(X_i = 0) = \frac{(\lambda_s V_R)^0}{0!} e^{-\lambda_s V_R} = e^{-V_R / T_{R,i}}$$

# Trattazione probabilistica degli eventi sismici

La “probabilità di superamento”  $P_{VR}$ , cioè la probabilità che vi sia almeno un evento sismico di intensità pari o superiore ad un valore assegnato  $s_i$  in un intervallo di tempo  $V_R$ , è

$$P_{VR} = 1 - P(X_i = 0) = 1 - e^{-V_R / T_{R,i}}$$

Si ha quindi la seguente relazione tra  $T_R$  e  $P_{VR}$

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$



# Livelli di intensità sismica

Sono legati alla "vita di riferimento"  $V_R$   
della struttura

Livello	Probabilità di superamento
Frequente	81% in $V_R$ anni
Occasionale	63% in $V_R$ anni
Raro	10% in $V_R$ anni
Estremamente raro	5% in $V_R$ anni

# Relazione tra periodo di ritorno $T_R$ e probabilità di superamento $P_{VR}$

È fornita dalla relazione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \cong \frac{V_R}{P_{VR}}$$

Esempio:

probabilità di superamento del 10% in 50 anni

Il periodo di ritorno è:

$$T_R = -\frac{50}{\ln(1 - 0.10)} = 474.6 \cong 475 \text{ anni}$$

# Livelli di intensità sismica

Sono legati alla "vita di riferimento"  $V_R$   
della struttura

Livello	Probabilità di superamento	Periodo di ritorno *
Frequente	81% in $V_R$ anni	30 anni
Occasionale	63% in $V_R$ anni	50 anni
Raro	10% in $V_R$ anni	475 anni
Estremamente raro	5% in $V_R$ anni	975 anni



# Evoluzione del concetto di protezione sismica

Prime normative

Unico obiettivo

- Evitare perdite  
di vite umane

nel caso di terremoto  
con periodo di ritorno molto alto





ovvero terremoto "raro"

# Evoluzione del concetto di protezione sismica

Normative più recenti

## Doppio livello di protezione

- Evitare perdite di vite umane  
nel caso di terremoto con periodo di ritorno molto alto  
  
ovvero terremoto "raro"
- Limitare i danni  
nel caso di terremoto con periodo di ritorno più basso  
  
ovvero terremoto "occasionale"

Normativa italiana, a partire dal 1996 - Normativa europea (Eurocodice 8)

# Evoluzione del concetto di protezione sismica

## Performance based design

Tendenza della normativa:

Più livelli di prestazione

- Evitare il crollo
- Evitare perdite di vite umane
- Consentire un rapido ripristino dell'operatività
- Mantenere l'operatività

associati a diversi livelli di intensità sismica



# Livelli di prestazione

## Ovvero Stati Limite da rispettare

### Stati Limite di Esercizio

#### Stato Limite di Operatività - SLO

Danni ad elementi strutturali, non strutturali e impianti talmente modesti da non creare interruzioni d'uso significative

#### Stato Limite di Danno - SLD

Danni ad elementi strutturali, non strutturali e impianti modesti, tali da non compromettere significativamente resistenza e rigidità. L' opera dopo il sisma deve rimanere utilizzabile, pur se con limitazione d'uso di attrezzature

# Livelli di prestazione

## Ovvero Stati Limite da rispettare

### Stati Limite Ultimi

#### Stato Limite di salvaguardia della Vita - SLV

Rottura di elementi non strutturali e impianti, danni significativi agli elementi strutturali con perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali. Esiste ancora un margine di sicurezza nei confronti del collasso.

#### Stato Limite di prevenzione del Collasso - SLC

Rottura di elementi non strutturali e impianti, danni molto gravi agli elementi strutturali. Esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso.

# Intensità sismica corrispondente ad una assegnata probabilità di superamento

Dove troviamo, per un qualsiasi sito, l'intensità sismica corrispondente ad una assegnata probabilità di superamento?

- Deriva dal Progetto Finalizzato Geodinamica
- È riportata in dettaglio nel sito INGV, suddivisa in più fogli di calcolo Excel
- È sintetizzata nelle NTC08, Tabella 1 e 2

# Intensità sismica corrispondente ad una assegnata probabilità di superamento

- In realtà il valore dell'accelerazione corrispondente ad una assegnata probabilità di superamento non è definito in maniera certa ma mediante una distribuzione probabilistica lognormale

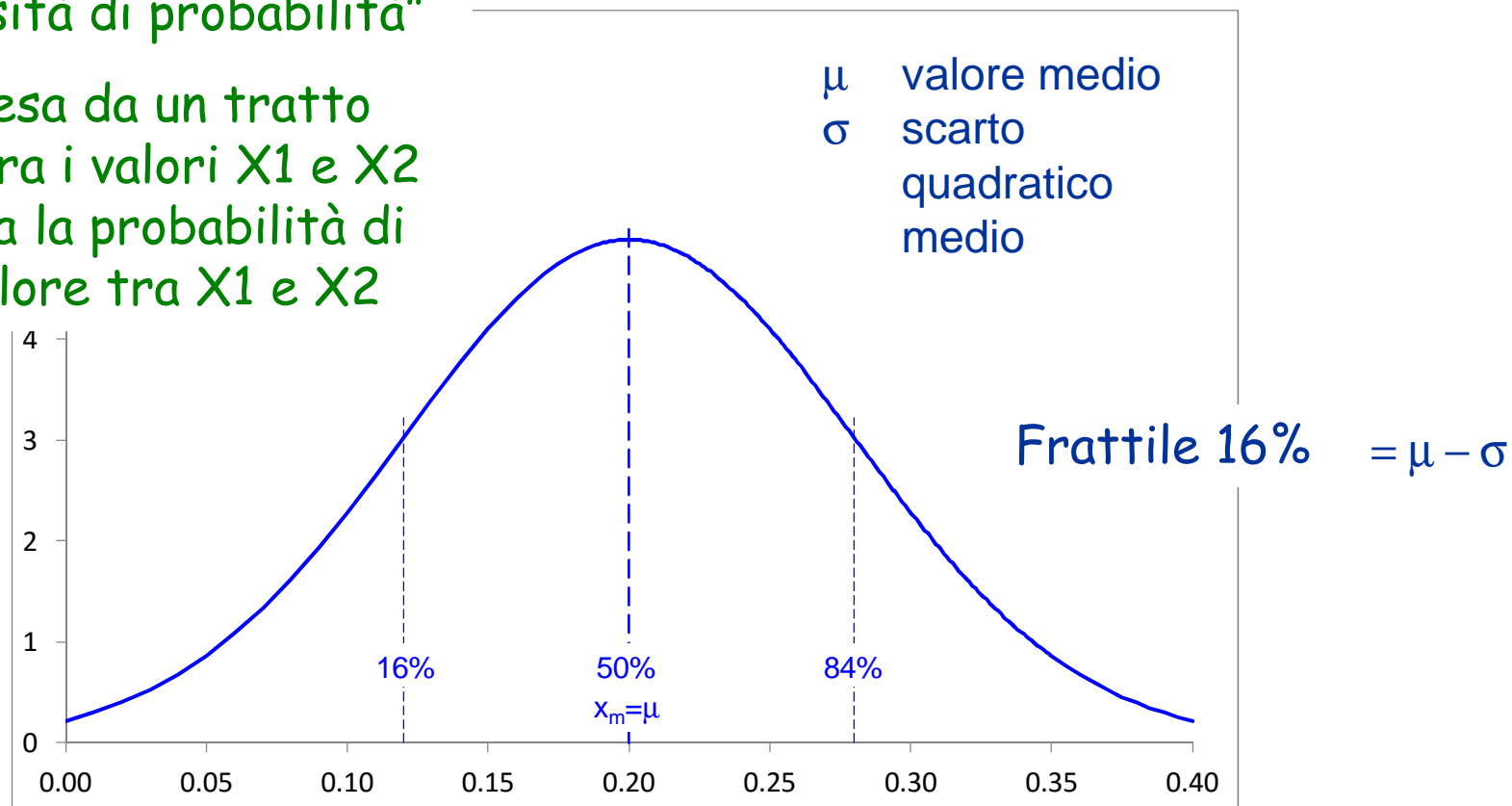


# Distribuzione normale o Gaussiana

- Definita con l'equazione 
$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Curva "densità di probabilità"

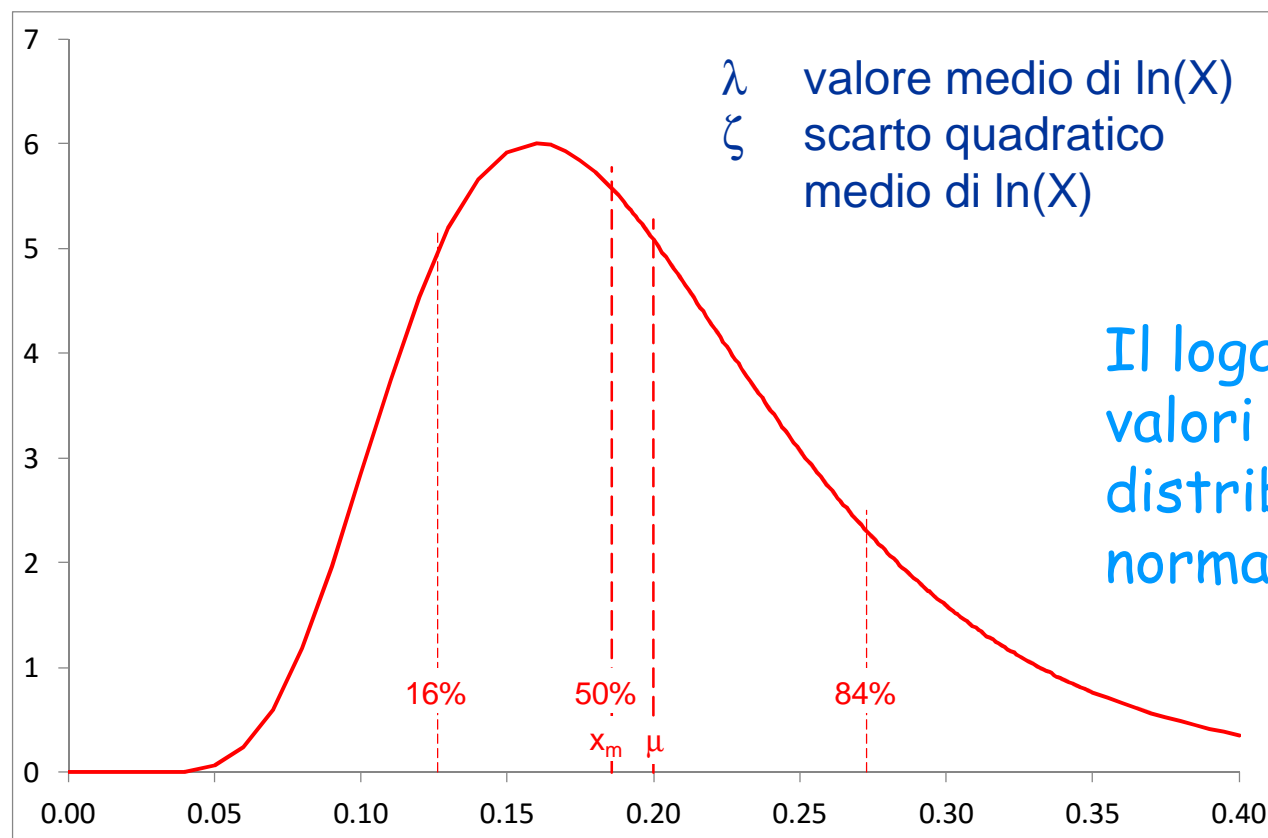
L'area sottesa da un tratto compreso tra i valori  $X_1$  e  $X_2$  rappresenta la probabilità di avere un valore tra  $X_1$  e  $X_2$



Distribuzione simmetrica rispetto al valore medio  $\mu = \text{mediano } x_m$

# Distribuzione lognormale

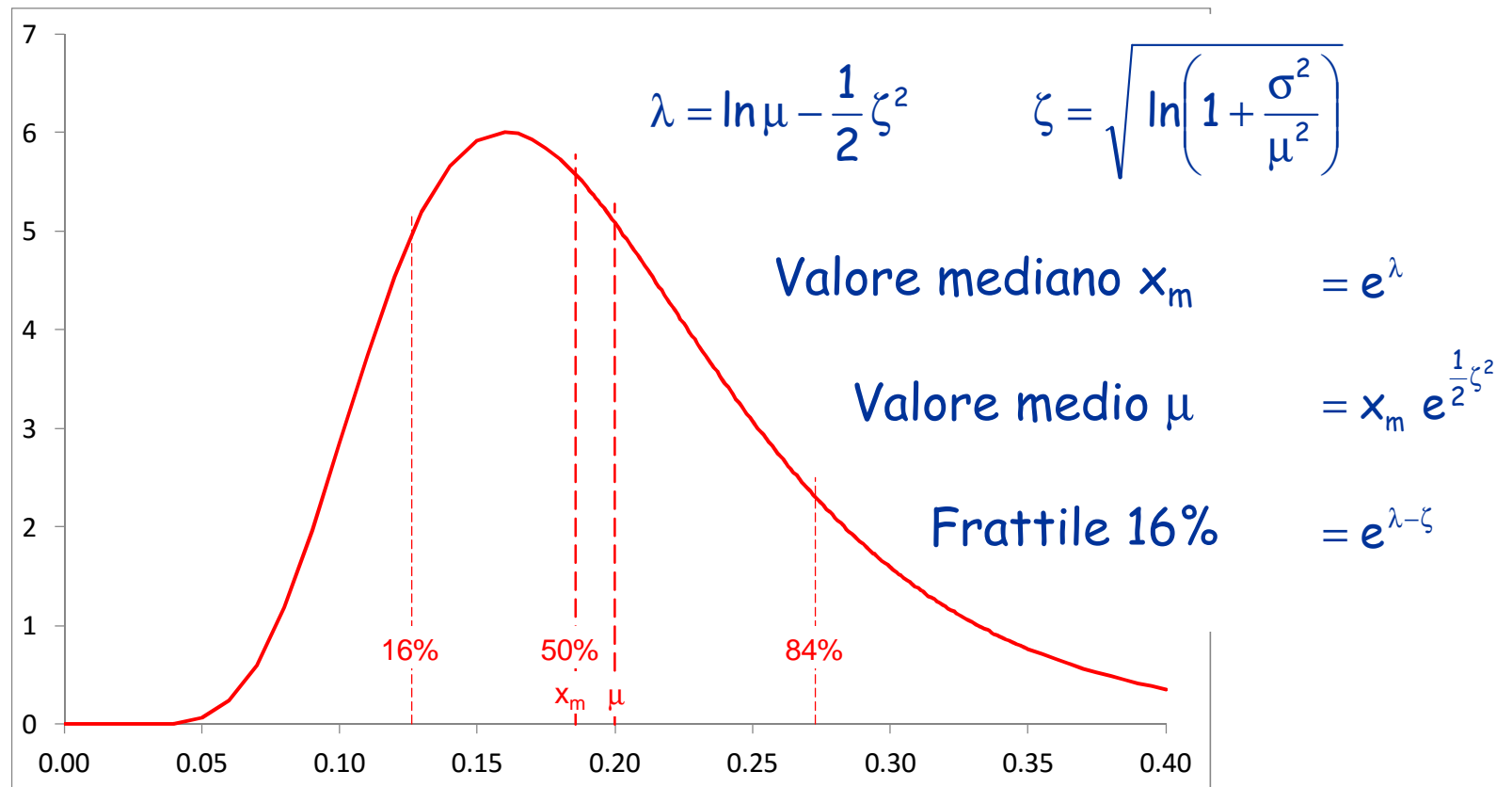
- Definita con l'equazione  $f_X(x) = \frac{1}{\zeta x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln x - \lambda}{\zeta} \right)^2}$



Distribuzione non simmetrica; valore medio  $\mu \neq$  mediano  $x_m$

# Distribuzione lognormale

- Definita con l'equazione  $f_x(x) = \frac{1}{\zeta x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln x - \lambda}{\zeta} \right)^2}$



Distribuzione non simmetrica; valore medio  $\mu \neq$  mediano  $x_m$

# Intensità sismica corrispondente ad una assegnata probabilità di superamento

Dal sito  
INGV

Foglio 10%

punto di  
riferimento  
(Spoleto)

I valori sono forniti per  
diverse probabilità di  
superamento

in 50 anni	TR	$\lambda_s = 1/TR$
81%	30	0.033215
63%	50	0.019885
50%	72	0.013863
39%	101	0.009886
30%	140	0.007133
22%	201	0.004969
10%	475	0.002107
5%	975	0.001026
2%	2475	0.000404

id	lon	lat	ag	84perc	16perc
24735	12.2649	42.7284	0.1504	0.1734	0.1361
24736	12.3330	42.7291	0.1527	0.1761	0.1384
24737	12.4010	42.7298	0.1552	0.1769	0.1400
24738	12.4691	42.7304	0.1590	0.1777	0.1427
24739	12.5372	42.7310	0.1654	0.1790	0.1483
24740	12.6052	42.7315	0.1760	0.1882	0.1586
24741	12.6733	42.7320	0.1938	0.2060	0.1744
24742	12.7414	42.7325	0.2156	0.2344	0.1928
24743	12.8094	42.7329	0.2377	0.2547	0.2107
24744	12.8775	42.7333	0.2531	0.2743	0.2245
24745	12.9455	42.7336	0.2521	0.2792	0.2308
24746	13.0136	42.7339	0.2555	0.2820	0.2332
24747	13.0817	42.7342	0.2572	0.2835	0.2346
24748	13.1497	42.7344	0.2576	0.2838	0.2350
24749	13.2178	42.7346	0.2569	0.2831	0.2341
24750	13.2859	42.7348	0.2541	0.2797	0.2310
24751	13.3540	42.7349	0.2472	0.2688	0.2242

valore di  $a_g$   
mediano

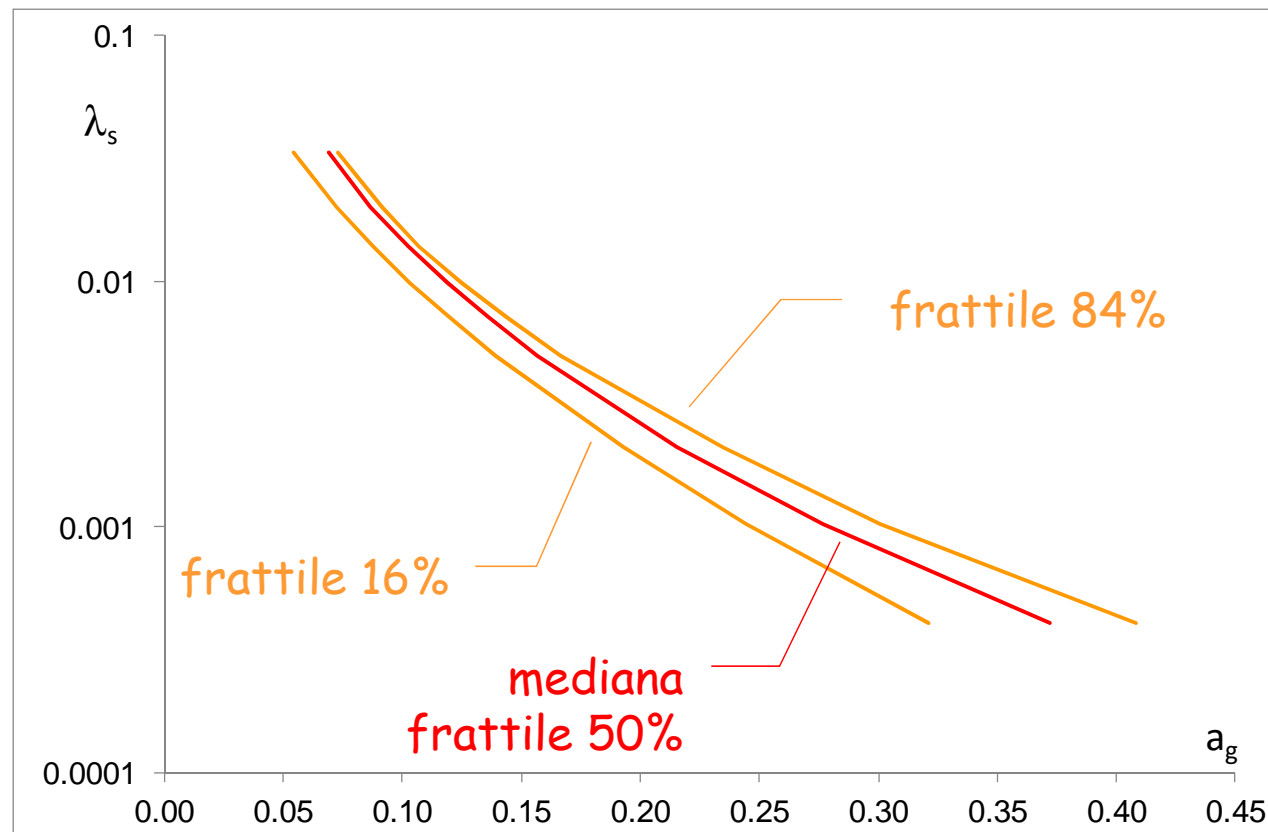
frattili  
84% e 16%

Foglio Excel spettri e pericolosità



# Curva di pericolosità

- La curva di pericolosità mostra la relazione tra la possibilità media di occorrenza  $\lambda_s = 1/T_R$  e l'accelerazione  $a_g$  (mediana, frattili 16% e 84%)



# Curva di pericolosità

- È possibile calcolare e diagrammare anche il valore medio, ma questo non differisce in maniera rilevante dal valore mediano

