

Corso di aggiornamento

Progettazione strutturale e  
Norme Tecniche per le Costruzioni

**Progetto di edifici antisismici in c.a.**

2b - Terremoti e norma sismica

(versione estesa, lasciata come documentazione)

Spoletto

27-28 aprile 2015

Aurelio Ghersi

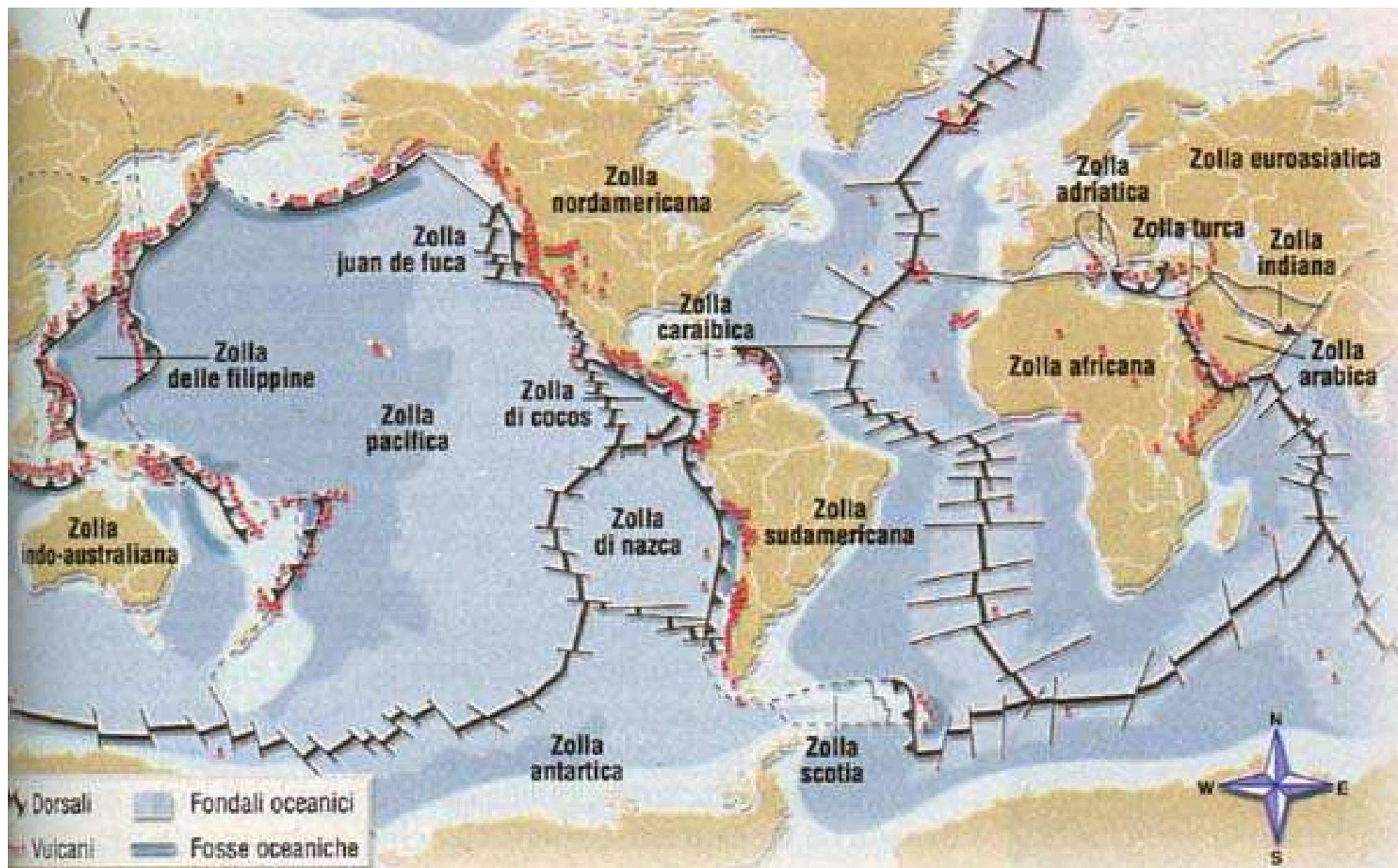
# I terremoti

Cosa sono?

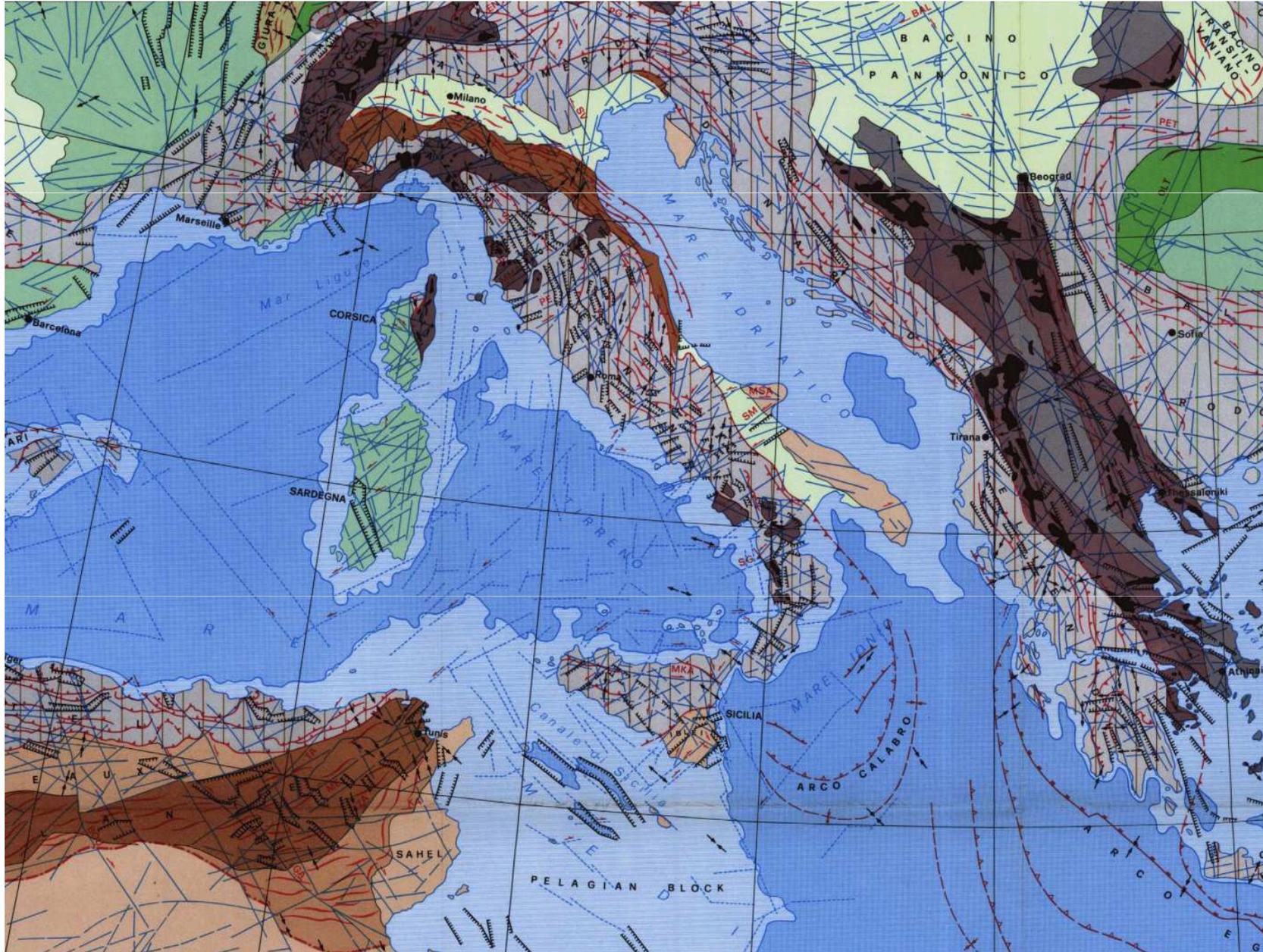
Quali effetti producono?

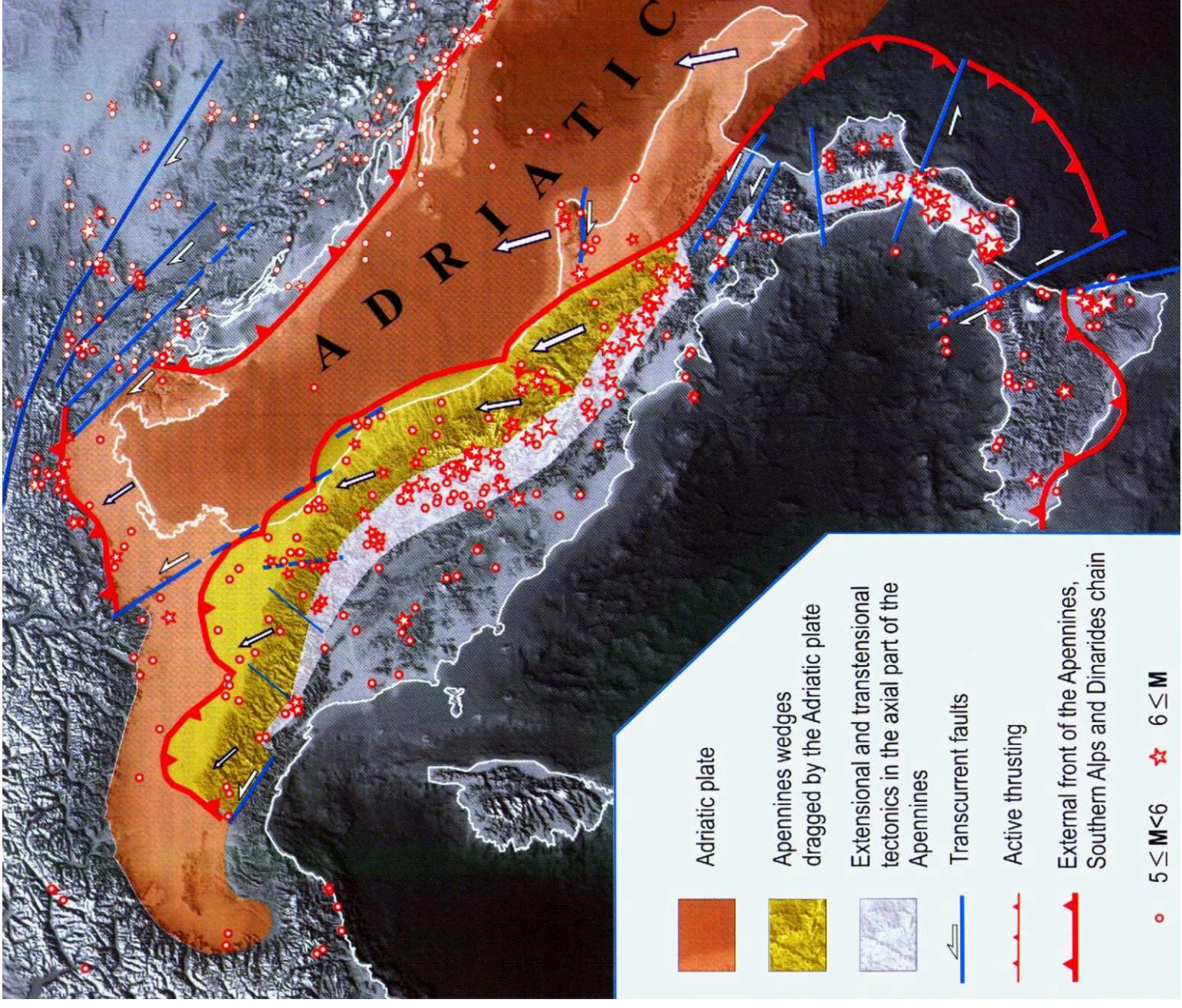
Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

# Zolle crostali e vulcani

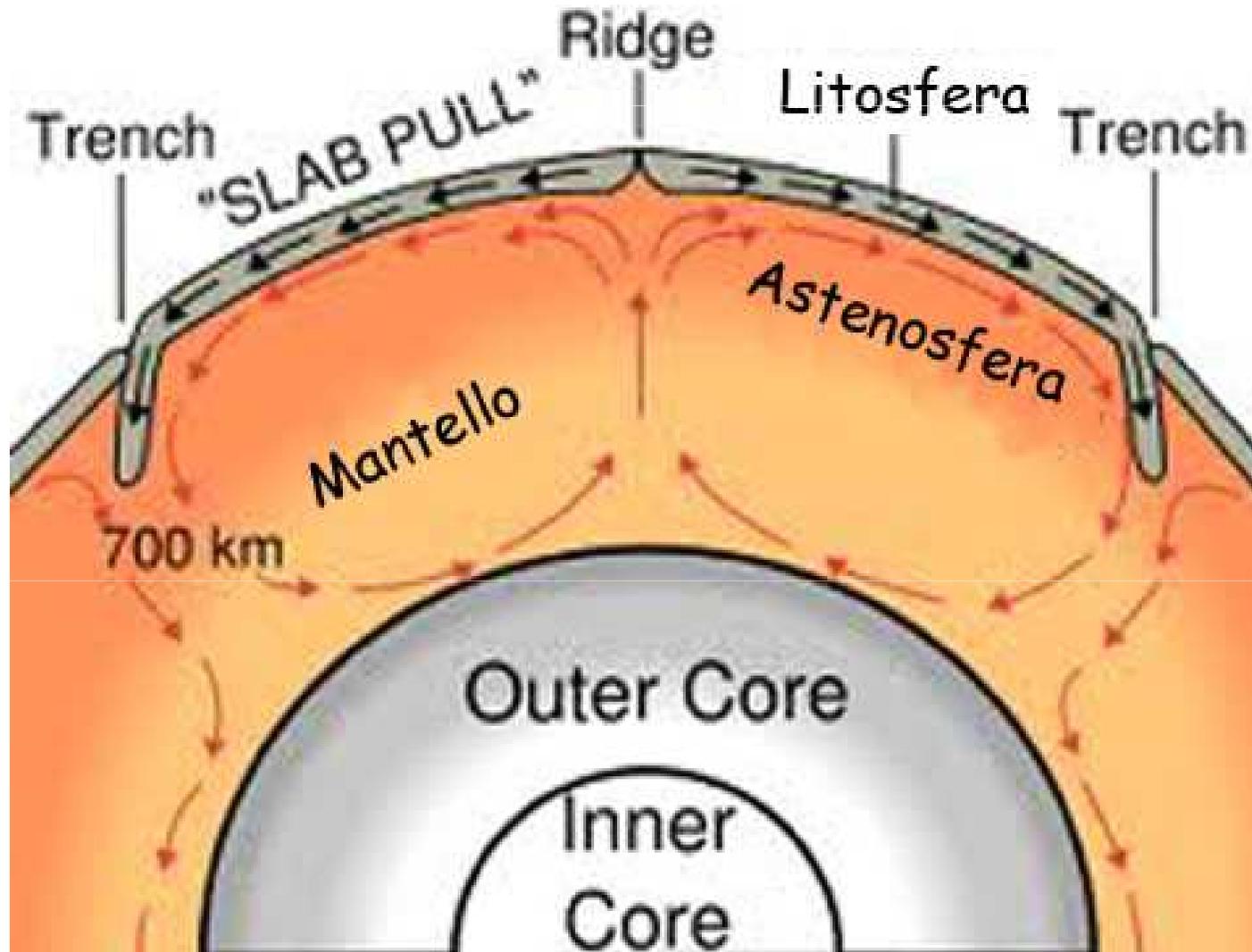


# Carta geologica - Italia

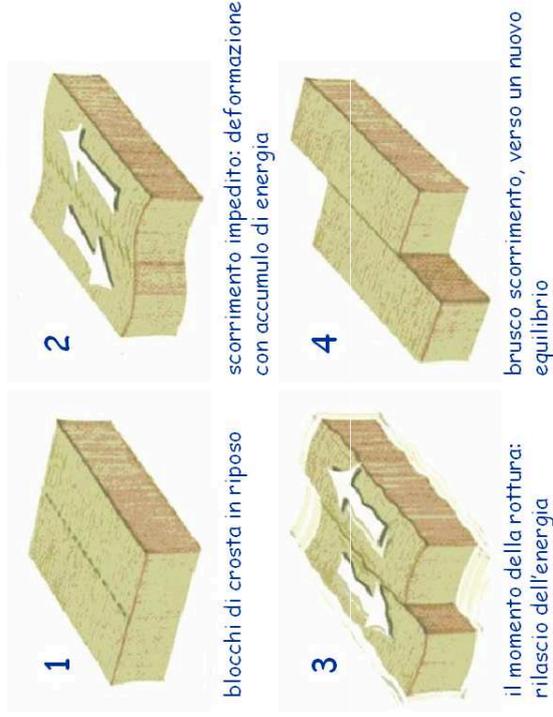




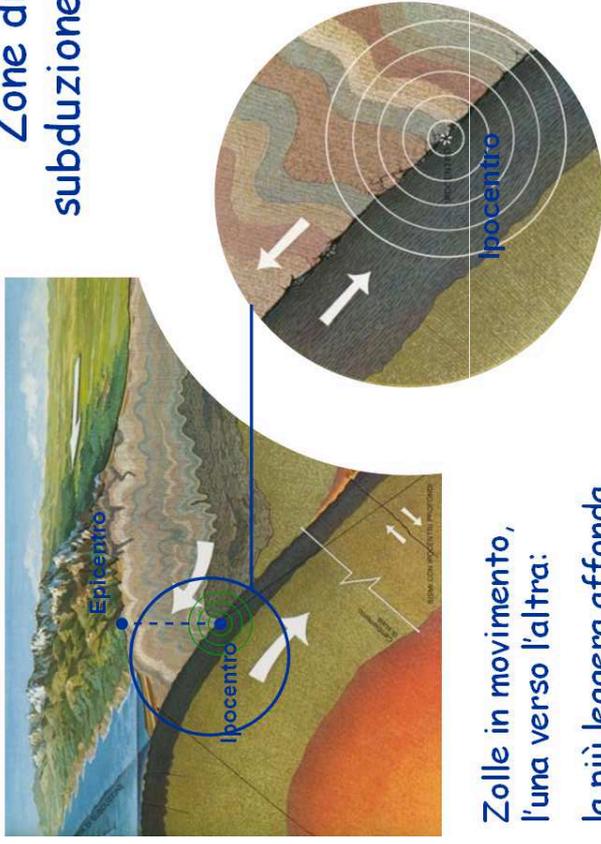
# Moti convettivi nel mantello e movimento delle zolle



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

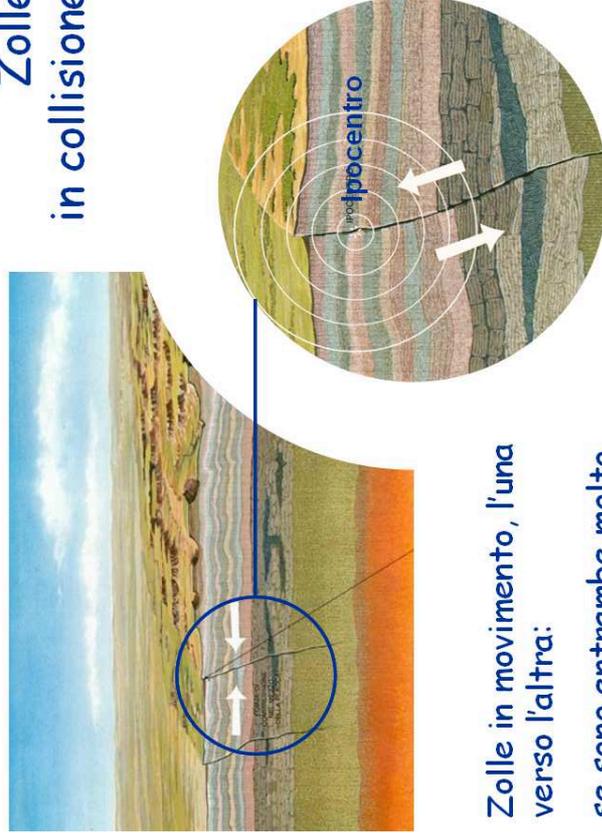


## Zone di subduzione



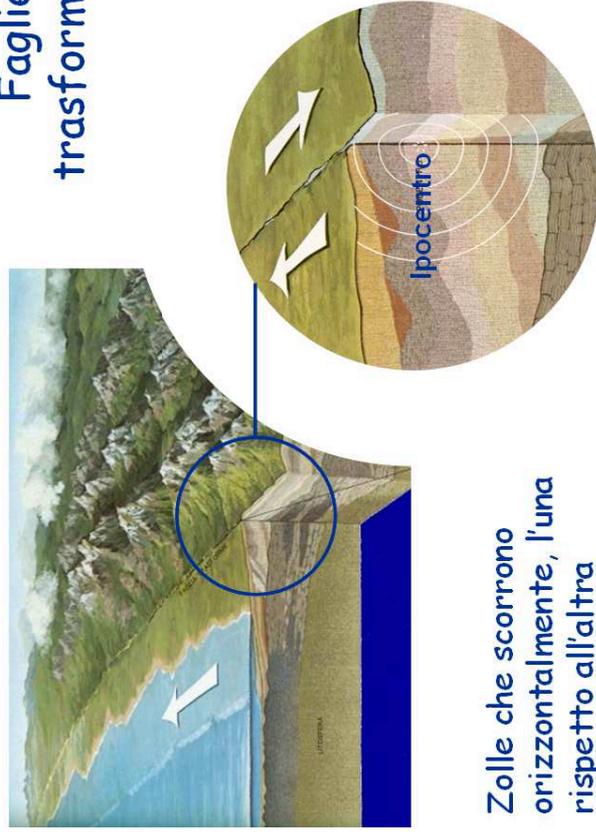
Zolle in movimento, l'una verso l'altra: la più leggera affonda scorrendo sotto l'altra

## Zolle in collisione



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

## Faglie trasformi



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

# 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:

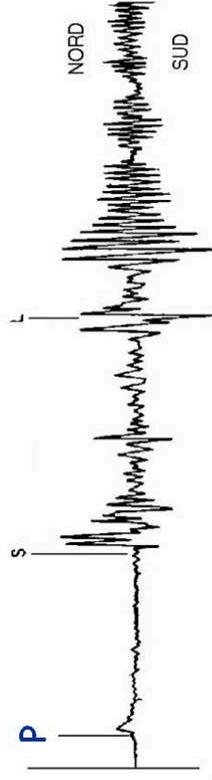
- onde di volume, che si propagano per tutto il volume terrestre (più veloci)
- onde di superficie, che si propagano solo nello strato superficiale (maggior contenuto energetico)

## Onde di volume

Si hanno:

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

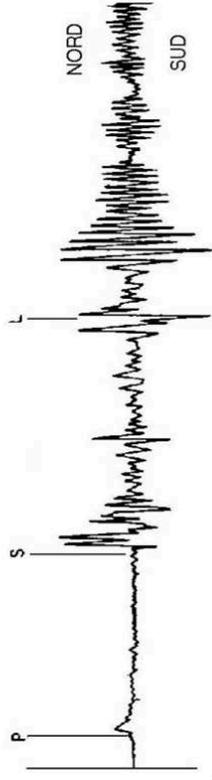
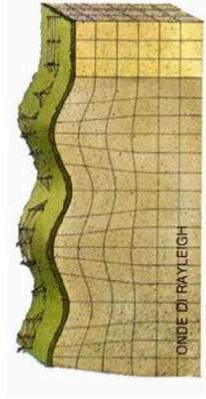
$$v_p \cong 1.1 \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \text{per roccia, } v_p \cong 5\div 6 \text{ km/h}$$



## Onde di superficie

Si hanno vari tipi, tra cui:

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

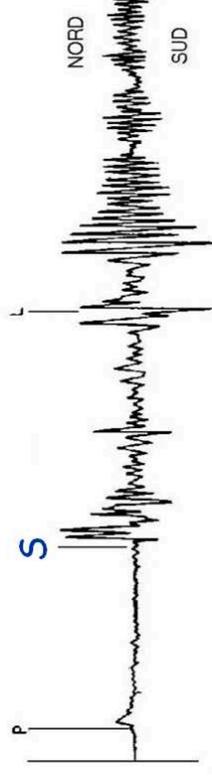
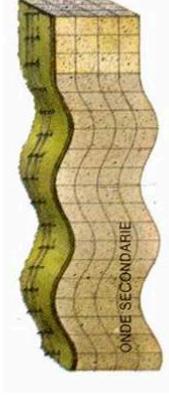


## Onde di volume

Si hanno:

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

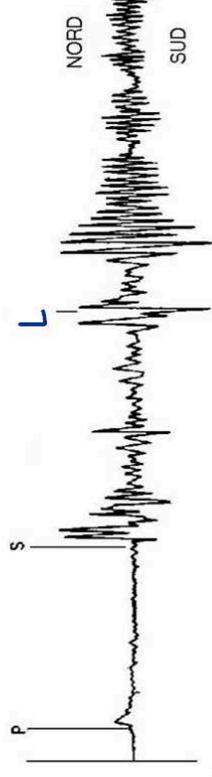
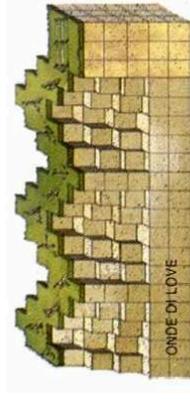
$$v_s = \frac{v_p}{\sqrt{3}} \quad \text{non si propagano nei liquidi}$$



## Onde di superficie

Si hanno vari tipi, tra cui:

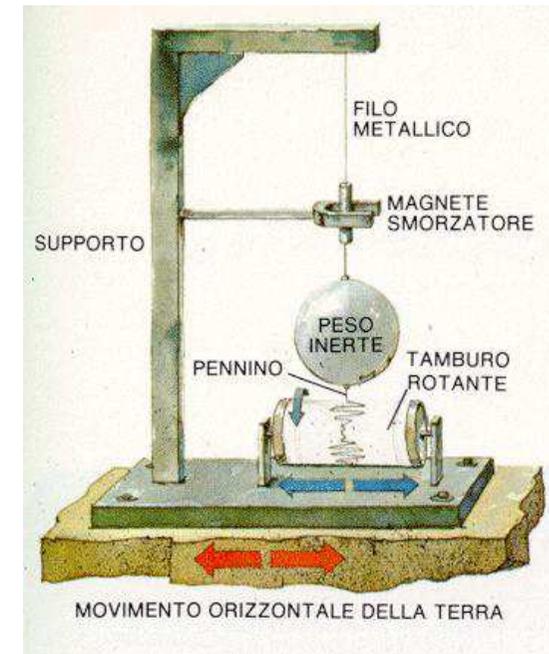
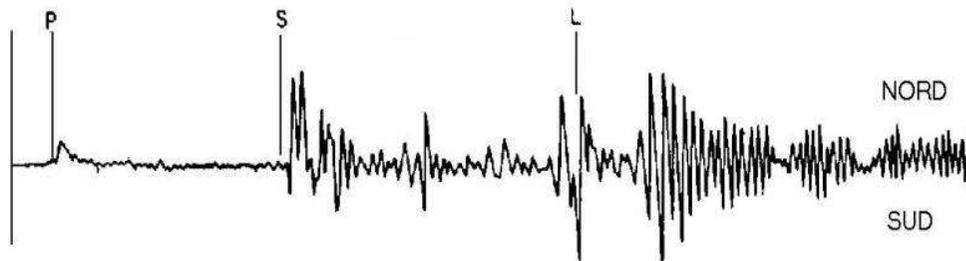
- Onde di Rayleigh (R) con moto secondo un'ellisse nel piano verticale
- Onde di Love (L) con moto tipo onde di taglio nel piano orizzontale



# Registrazione di un evento sismico

- In tempi remoti si faceva riferimento al sismogramma (spostamento nel tempo) ...

Sismografo:  
misura gli  
spostamenti del  
terreno



- ... e l'intensità di un terremoto veniva misurata con scale empiriche, basate sull'esame dei danni prodotti

# Misura dell'intensità sismica

## Scala Mercalli (1902, modificata nel 1931 e 1956)

I	Non percepito dalle persone.	VII	Difficile stare in piedi. Risentito dai guidatori di automezzi. Tremolio di oggetti sospesi. Rottura di mobili. Danni alle murature tipo D(*), incluse fenditure. Rotture di comignoli deboli situati sul colmo dei tetti. Caduta di intonaci, mattoni, pietre, tegole, cornicioni (anche di parapetti isolati e ornamenti architettonici). Qualche lesione a murature tipo C(*). Formazione di onde sugli specchi d'acqua; intorbidamento di acque. Piccoli smottamenti e scavernamenti in depositi di sabbia e ghiaia. Forte suono di campane. Danni a canali d'irrigazione rivestiti.	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. Disalveamento delle acque di canali, fiumi, laghi ecc. Traslazione orizzontale di sabbie e argille sulle spiagge e su regioni piane. Rotaie debolmente deviate.
II	Percepito da persone in riposo, nei piani superiori delle case o in posizione favorevole			XI	Rotaie fortemente deviate. Tubazioni sotterranee completamente fuori servizio.
III	Percepito nelle case. Oscillazione di oggetti appesi. Vibrazioni come al passaggio di autocarri leggeri. Stime della durata. Talora non riconosciuto come terremoto.			XII	Distruzione pressoché totale. Spostamento di grandi masse rocciose. Linee di riferimento deformate. Oggetti lanciati in aria.
IV	Oscillazione di oggetti appesi. Vibrazioni come al passaggio di autocarri pesanti, o scossa come di una pesante palla che colpisca le pareti. Oscillazione di automezzi fermi. Movimento di porte e finestre. Tintinnio di vetri. Vibrazione di vasellami. Nello stadio superiore del IV, scricchiolio di pareti e di strutture in legname.	VIII	Risentito nella guida di automezzi. Danni a murature tipo C(*), crolli parziali. Alcuni danni a murature tipo B(*), non tipo A(*). Caduta di stucchi e di alcune pareti in muratura. Rotazione e caduta di camini, monumenti, torri, serbatoi elevati. Costruzioni con strutture in legname smosse dalle fondazioni se non imbullonate; pannelli delle pareti lanciati fuori. Rottura di palizzate deteriorate. Rottura di rami di alberi. Variazioni di portata o temperatura di sorgenti e pozzi. Crepacci nel terreno e sui pendii ripidi.	(*)	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 ordinarlo con malta, senza tiranti agli angoli né rinforzi. D = Materiali deboli, come mattoni cotti al sole; malte povere; manufatto di bassa qualità, debole orizzontalmente.
V	Risentito all'esterno; stima della direzione. Sveglia di persone dormienti. Movimento della superficie dei liquidi, versamento di taluni 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 passe di orologi a pendolo.				
VI	Sentito da tutti. Spavento e fuga all'esterno. Barcollare di persone in moto. Rottura di vetrine, piatti, vetrerie. Caduta dagli scaffali di ninnoli, libri ecc. e di quadri dalle pareti. Spostamento o rotazione di mobili. Screpolature di intonaci deboli e di murature tipo D(*). Suono di campanelli (di chiese, di scuole). Stormire di alberi e di cespugli.	IX	Panico generale. Distruzione di murature tipo D(*), gravi danni a murature tipo C(*) talvolta con crollo completo; seri danni a murature tipo B(*) (danni generali alle fondazioni). Gravi danni ai serbatoi. Rottura di tubazioni sotterranee. Rilevanti crepacci nel terreno. Nelle aree alluvionali espulsione di sabbie e fango, formazione di crateri di sabbia.		

# Registrazione di un evento sismico

Oggi 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

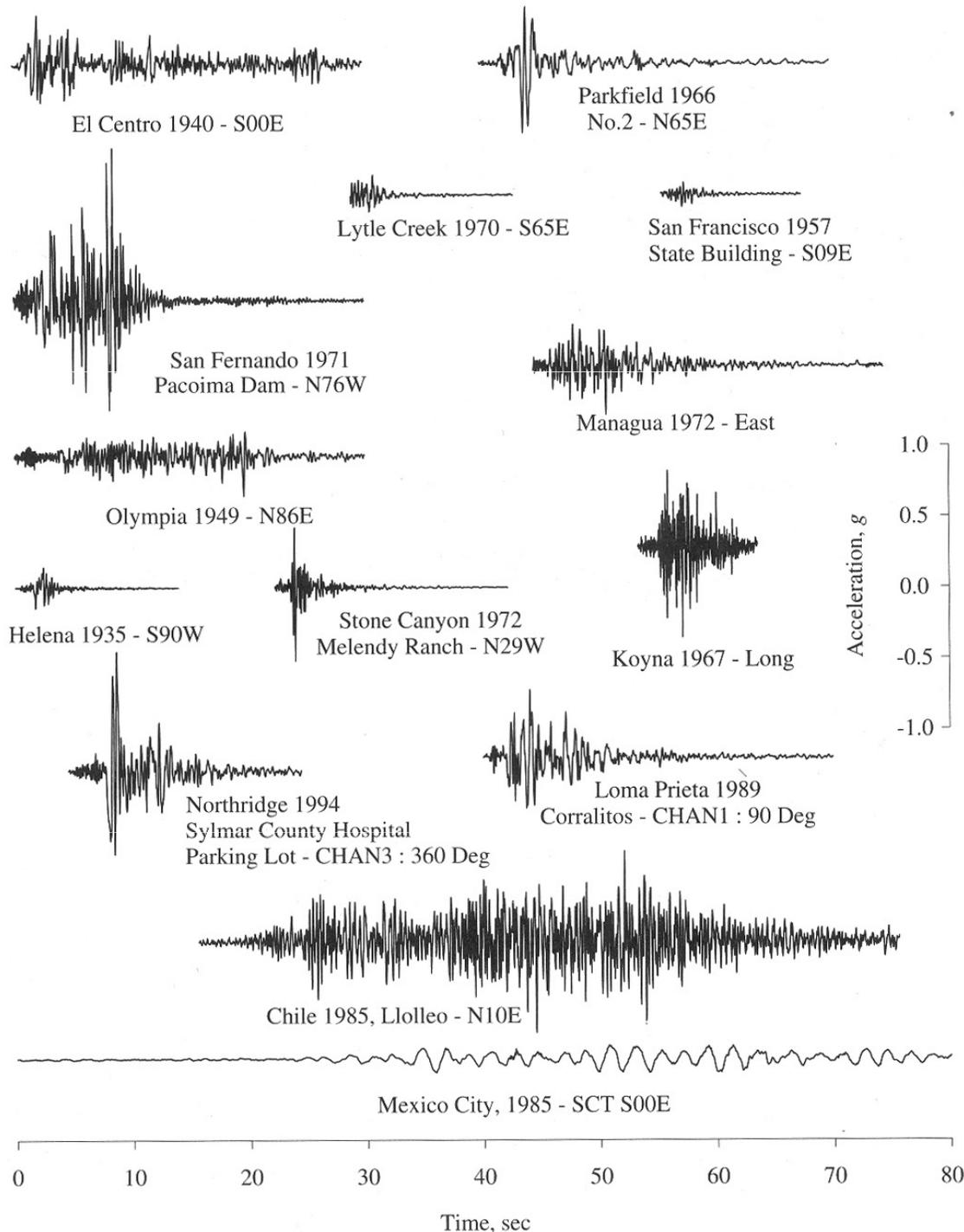
# Accelerogrammi

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



# 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  $\geq M$ :

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

# I terremoti

Cosa sono?

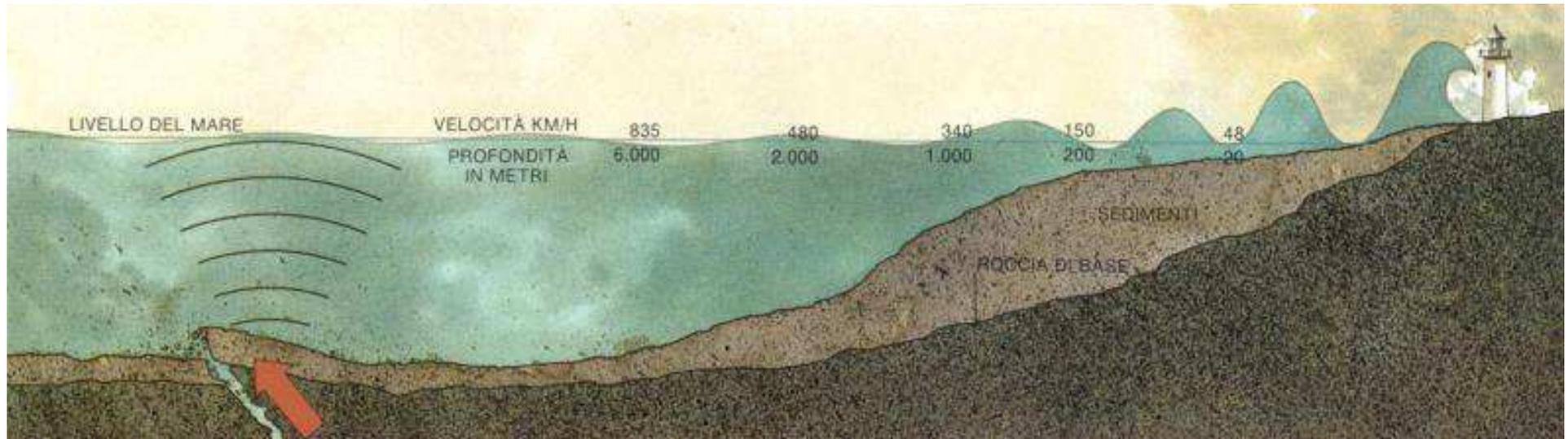
Quali effetti producono?



Particolare  
attenzione a ...

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

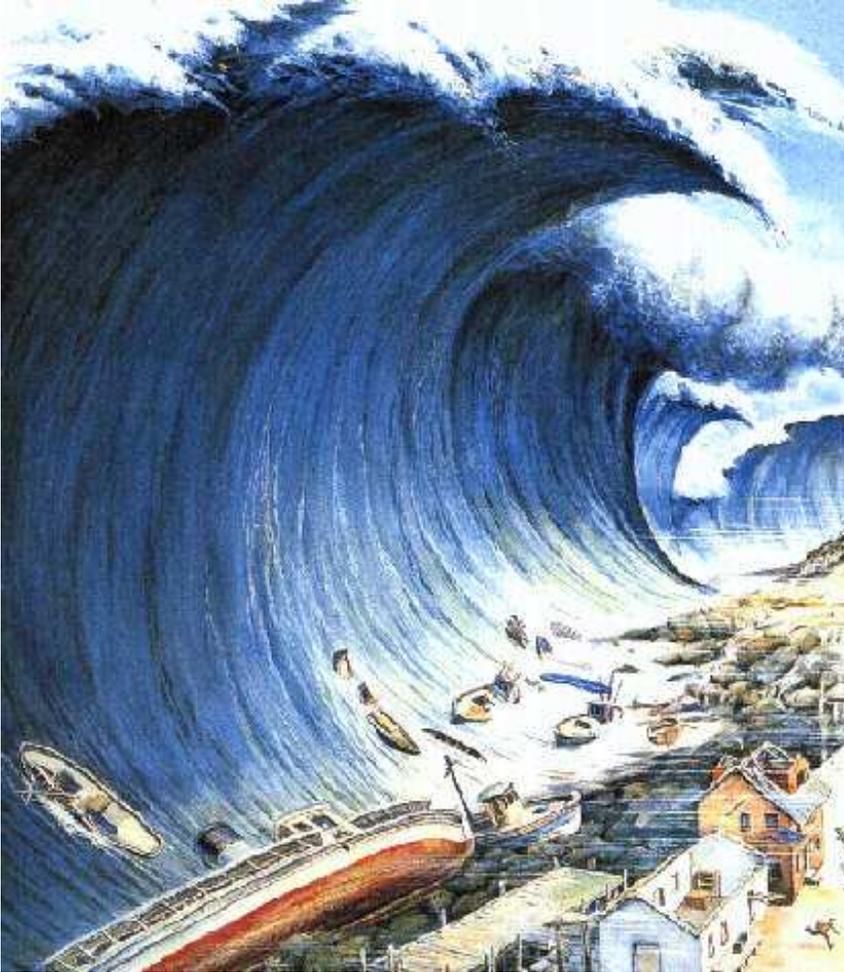
# Maremoti, tsunami



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



# Tsunami



# Tsunami



# Tsunami



# Tsunami



# Tsunami



# 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

Movimenti della faglia,  
smottamenti del terreno,  
frane



1948 - Giappone



1999 - Turchia

Movimenti della faglia,  
smottamenti del terreno,  
frane

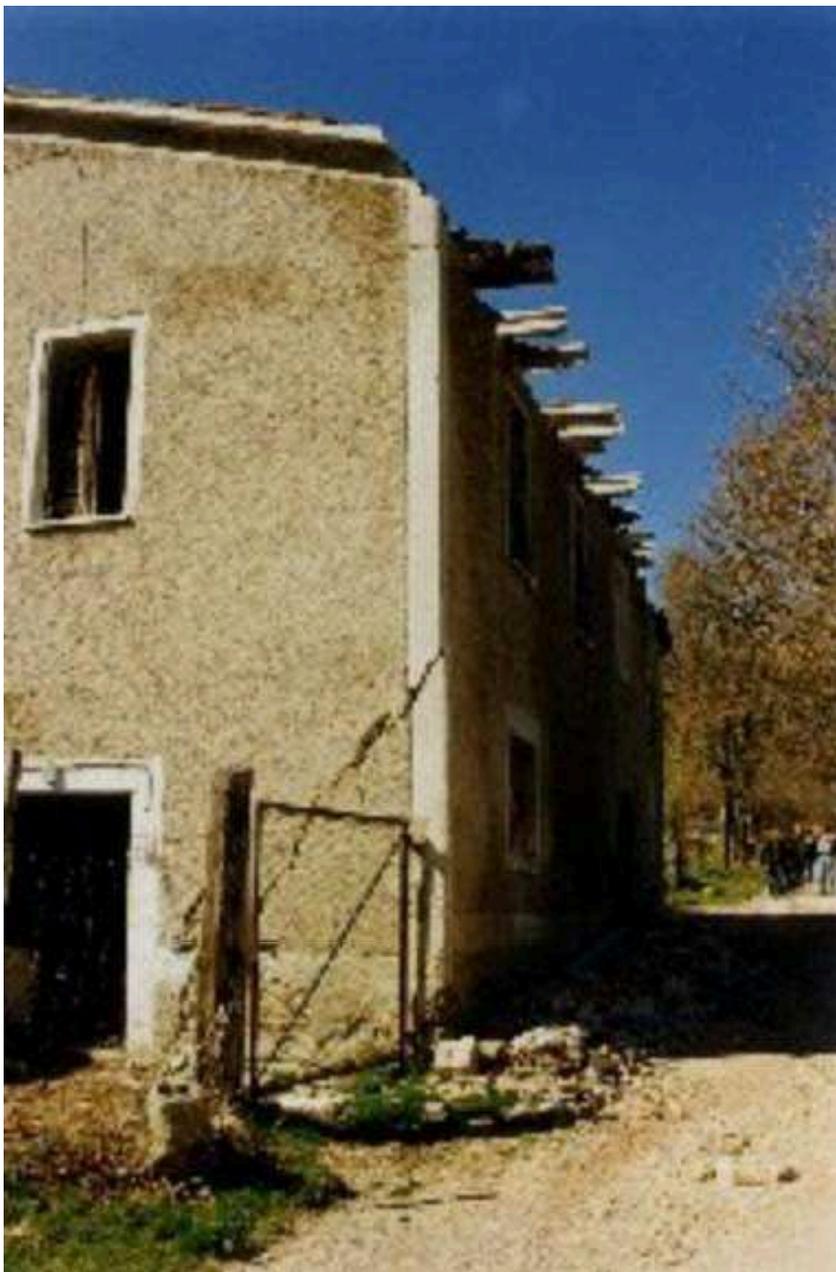


12/4/1998 – Slovenia



1999 – Turchia

## Cedimenti del terreno



1997 - Umbria

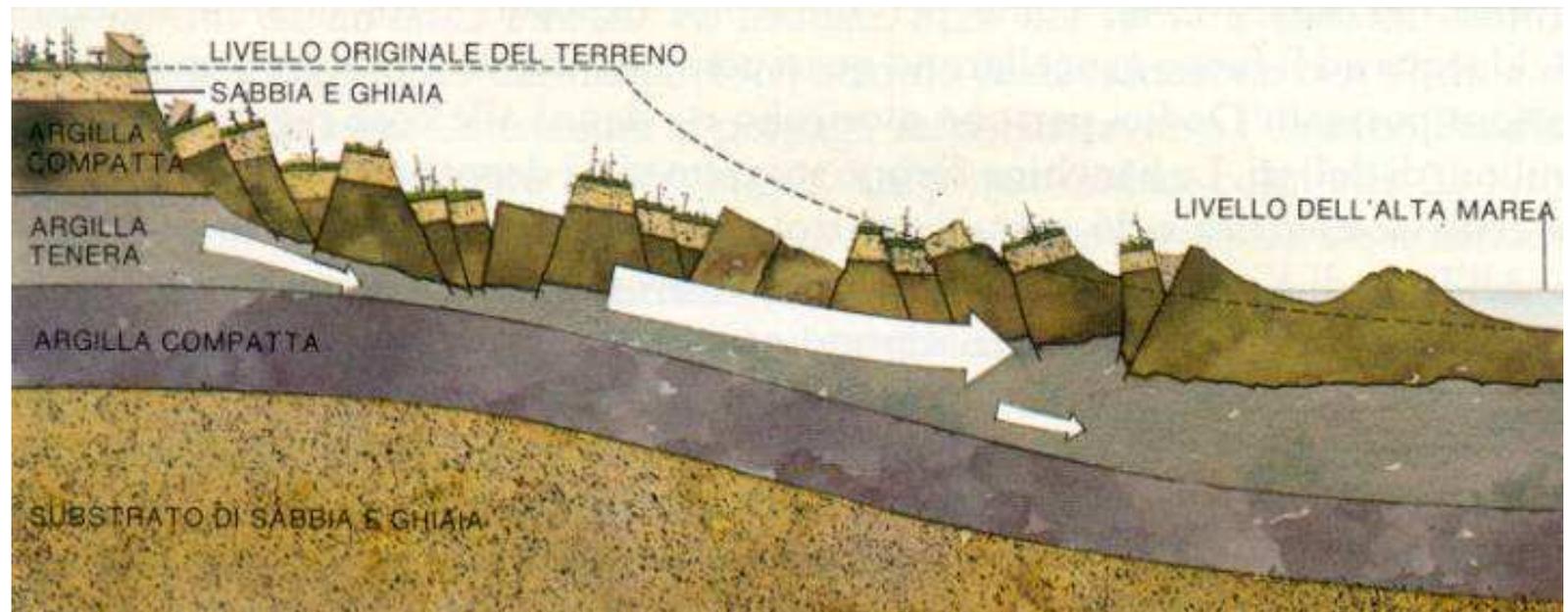
# Smottamenti del terreno, frane

## 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



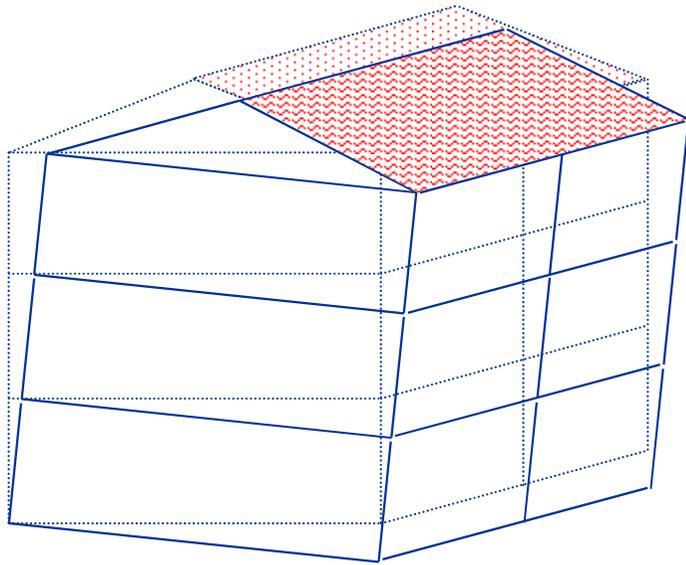
1964 - Alaska

# Liquificazione del terreno



1999 – Turchia

# Liquefazione del terreno



1999 – Turchia

# 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?

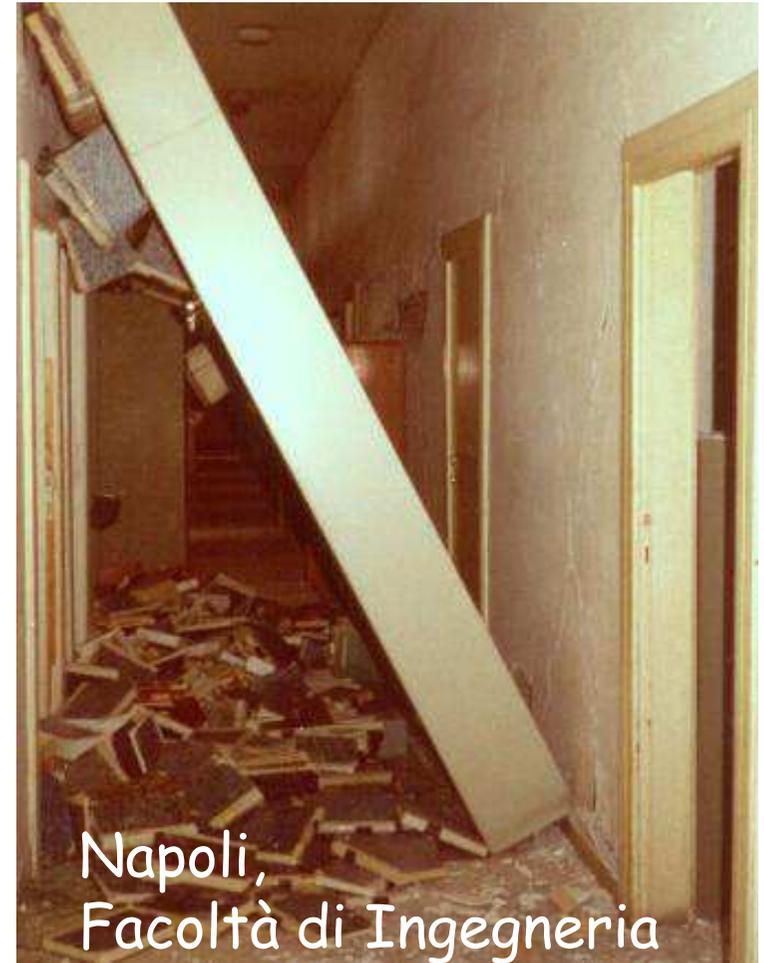


Accelerazione  
sismica  
medio-bassa

Basso periodo  
di ritorno

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

# 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



# Danni ai tramezzi



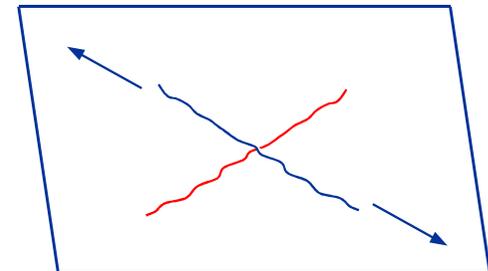
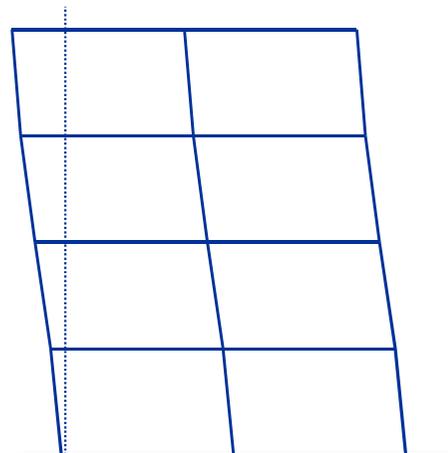
Napoli,  
Facoltà di  
Ingegneria

23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

# Danni ai tramezzi



Napoli,  
Facoltà di  
Ingegneria

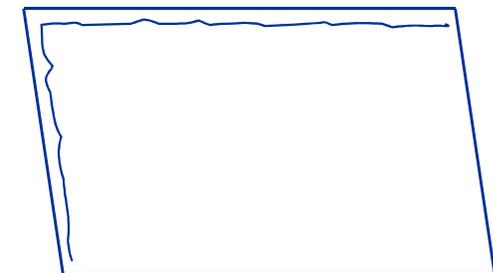
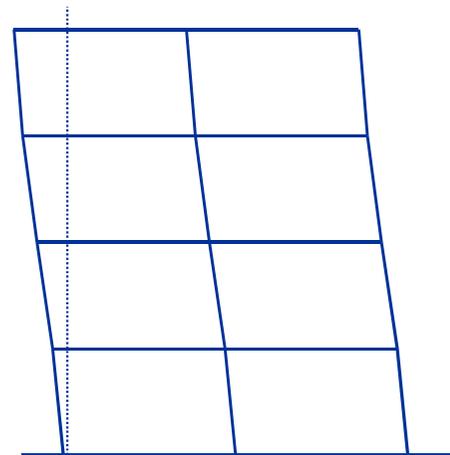


23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

# Danni ai tramezzi



Napoli,  
Facoltà di  
Ingegneria



oppure distacco  
dei tramezzi dagli  
elementi strutturali

23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

# Danni alle pareti di tamponamento per azioni nel loro piano



2002 - Santa Venerina

foto G. Gaeta

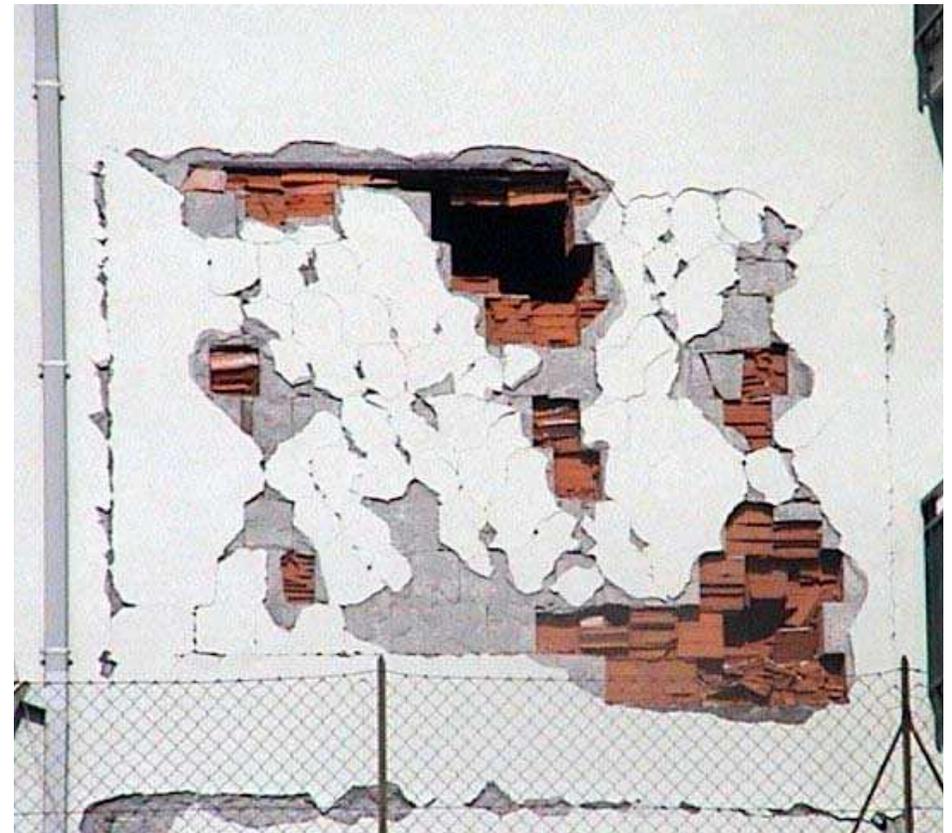
# Danni alle pareti di tamponamento per azioni nel loro piano



2002 - Santa Venerina

foto G. Gaeta

# Danni alle pareti di tamponamento per azioni nel loro piano



2002 - Santa Venerina

foto G. Gaeta

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



1999 - Turchia

# Espulsione delle pareti di tamponamento



1999 - Turchia

# Espulsione delle pareti di tamponamento



2002 - Santa Venerina

foto G. Gaeta

# Espulsione delle pareti di tamponamento



1994 - Northridge

Espulsione delle  
pareti di  
tamponamento

Rischio di  
perdita di vite

1964 - Alaska



# 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?

# Danno agli elementi strutturali



2002 – Santa Venerina

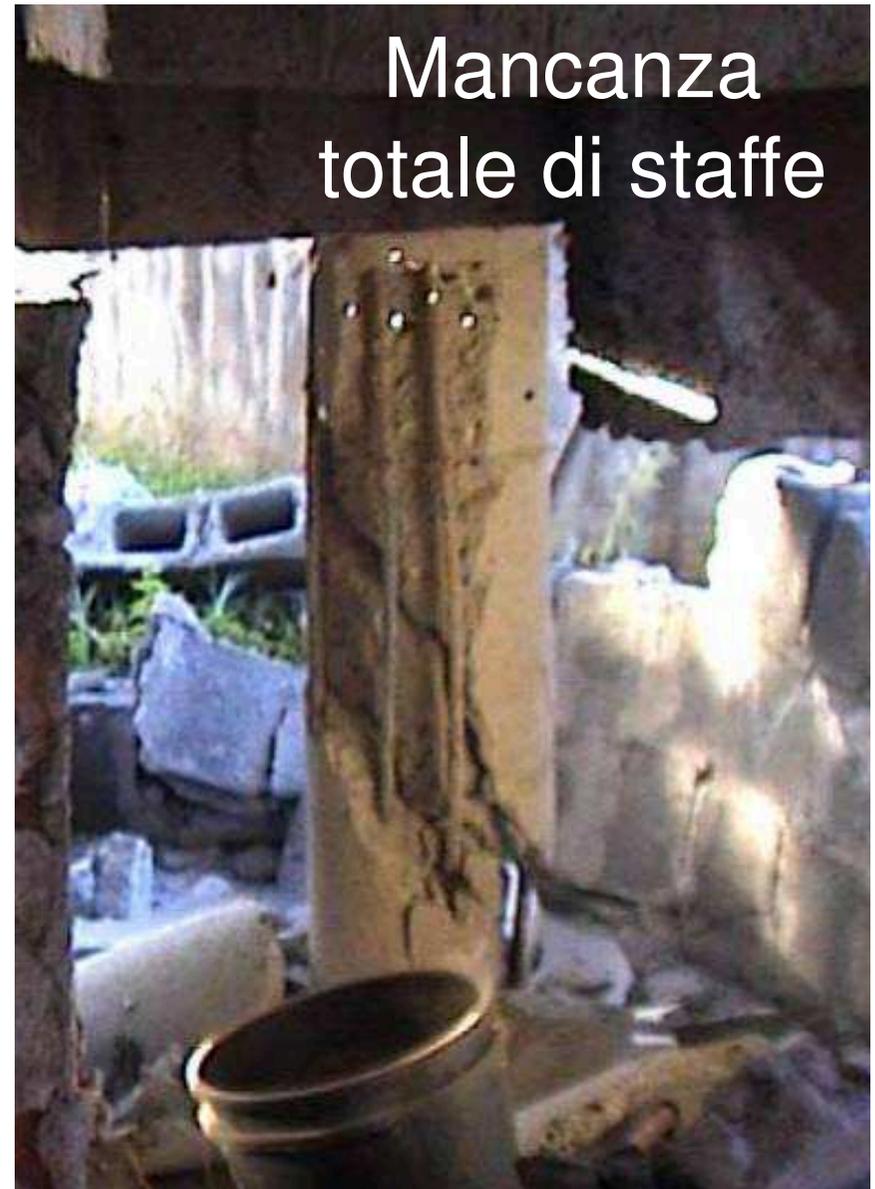
foto G. Gaeta

# 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

# Ma tra i difetti ...

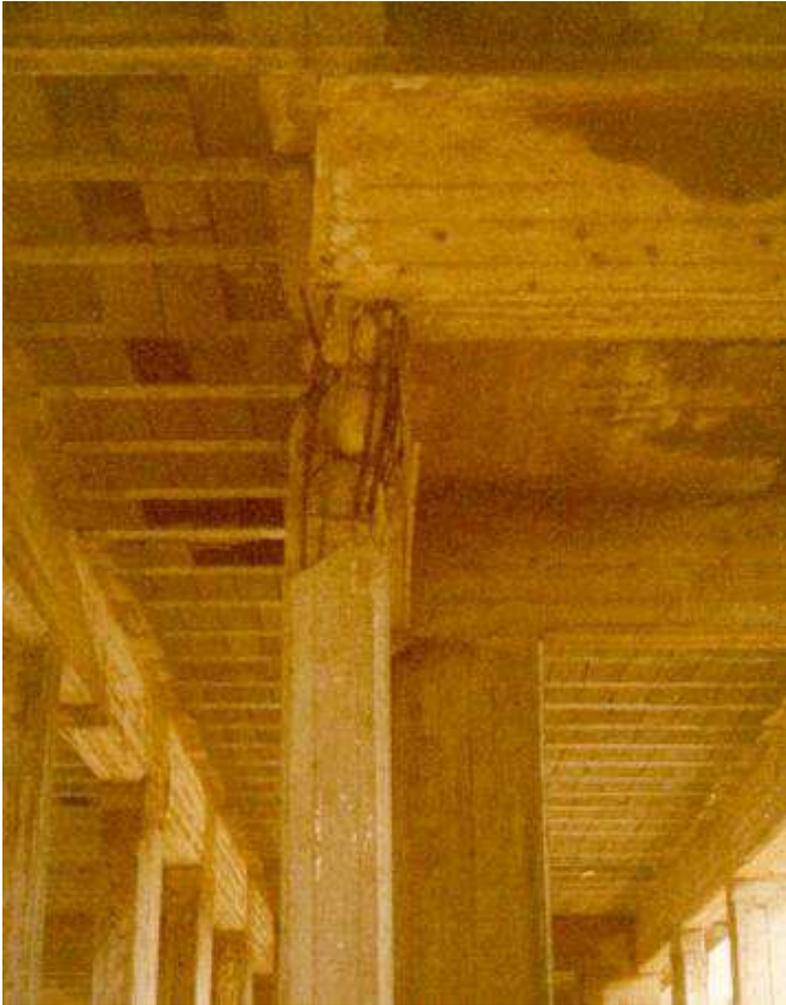
oltre alla differenza tra il  
calcestruzzo sopra e  
sotto la ripresa di getto...



... la trascuratezza  
degli operai

# Danni e difetti costruttivi ...

foto A. Ghersi



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

# Meccanismi di piano - senza crollo



Stati Uniti (?)



# Meccanismi di piano - senza crollo



1971 – San Fernando

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

S. Angelo dei Lombardi,  
edificio 1

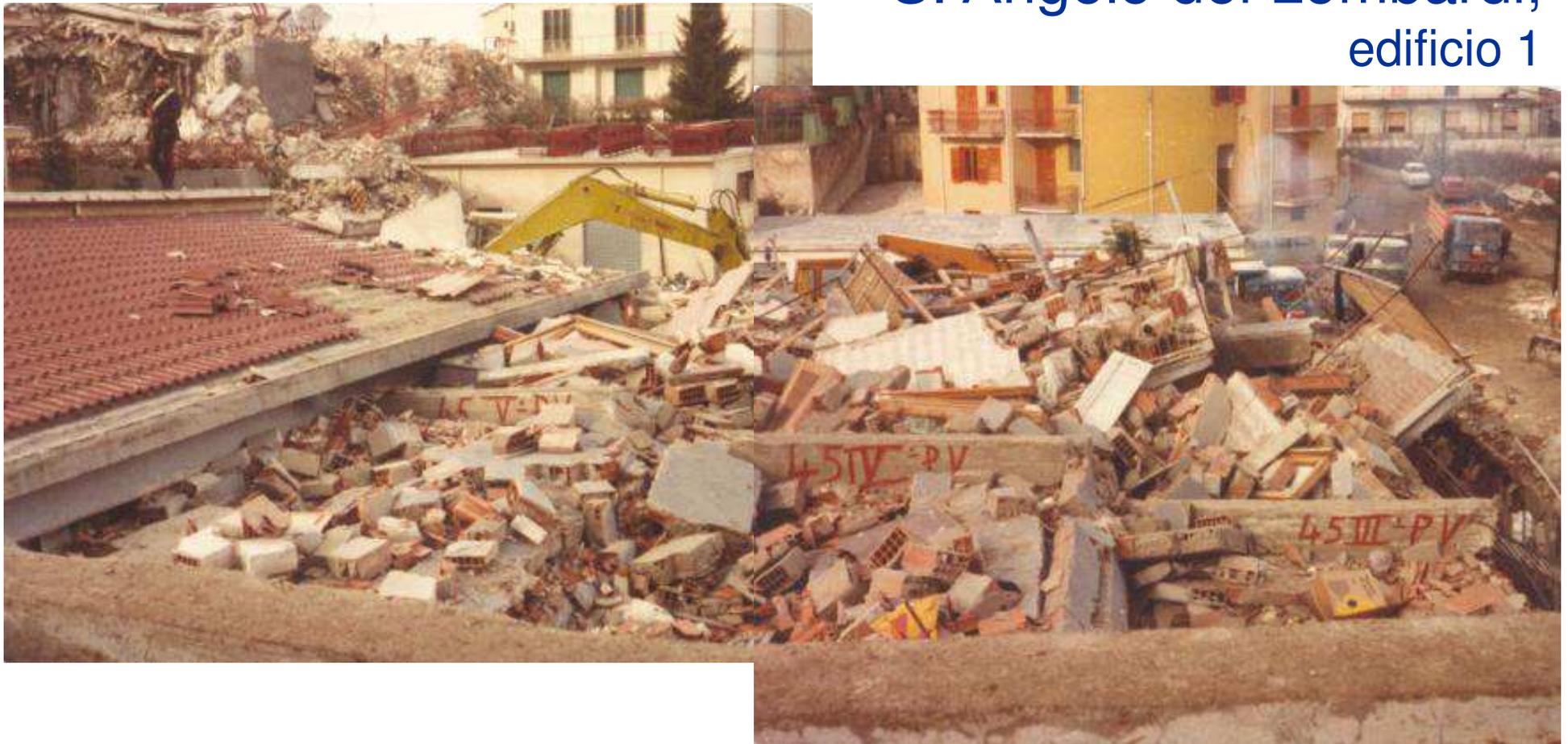
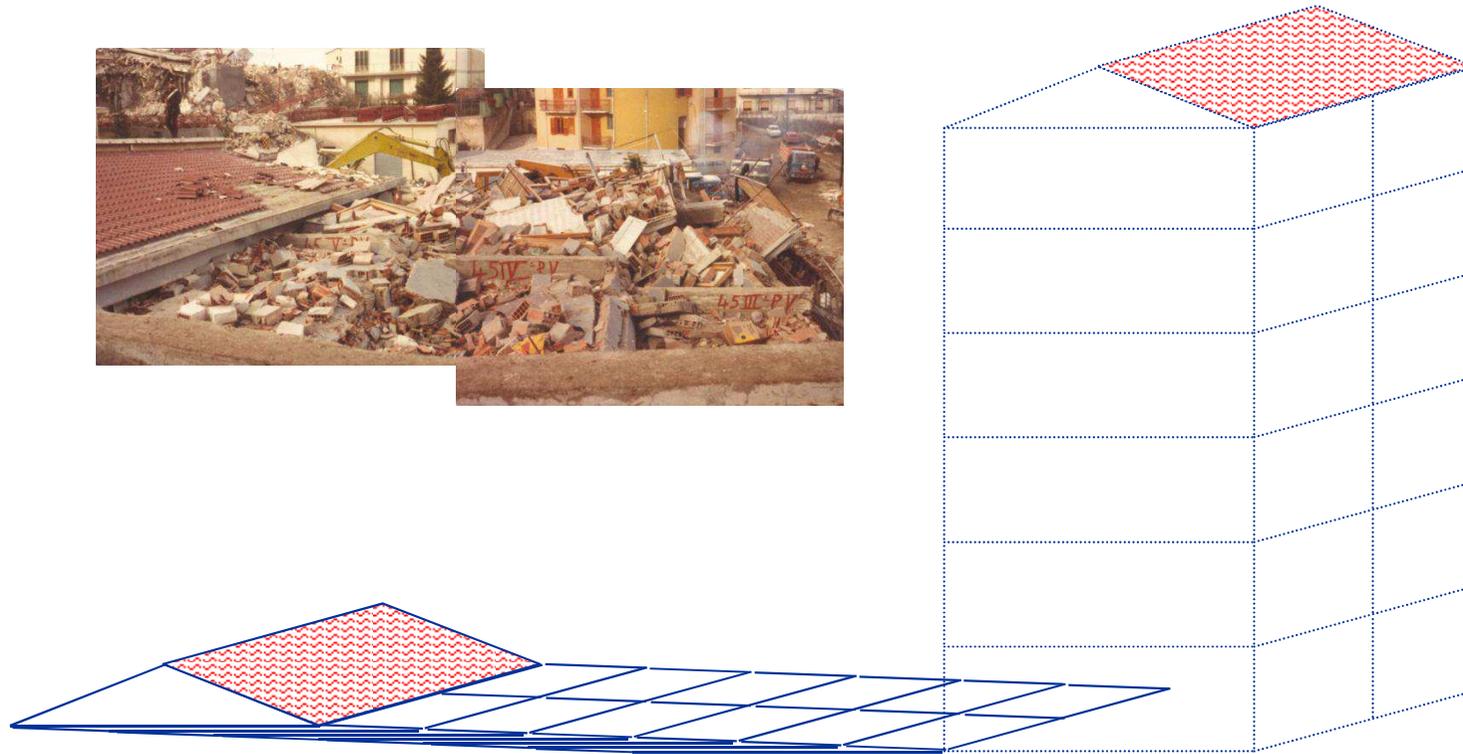


foto A. Ghersi

23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

# Crollo totale, con traslazione degli impalcati



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

Così, possono essere gli edifici  
a investire le automobili ...



1994 – Northridge

# Automobili schiacciate dagli edifici



1994 – Northridge

# S. Angelo dei Lombardi

## Edificio 2



foto A. Ghersi

23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

# S. Angelo dei Lombardi edificio 2



foto A. Ghersi



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

# S. Angelo dei Lombardi edificio 2



foto A. Ghersi

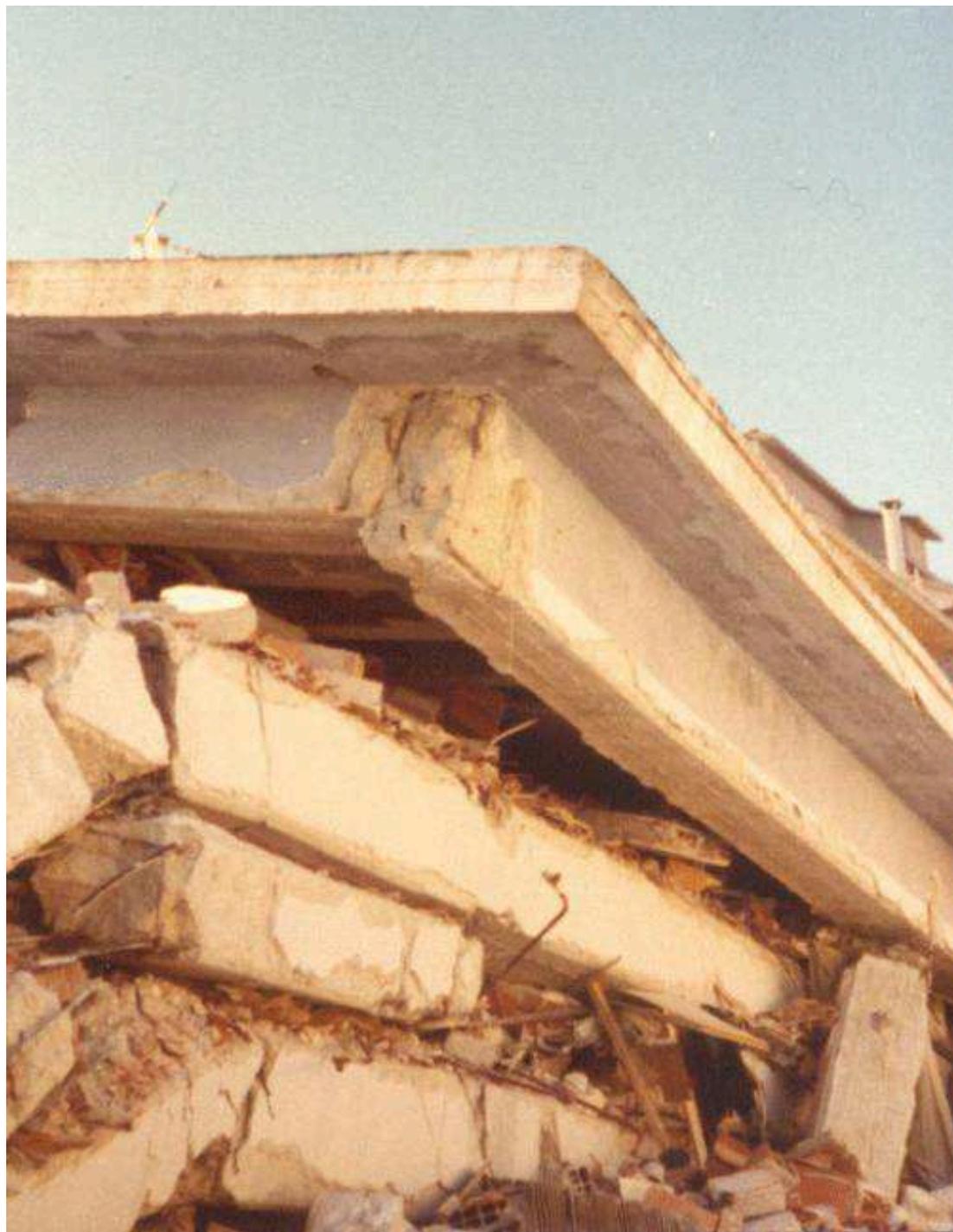
23/11/1980 – Irpinia e Basilicata



# S. Angelo dei Lombardi edificio 2



foto A. Ghersi



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

# S. Angelo dei Lombardi edificio 2



foto A. Ghersi



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

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



foto A. Ghersi

23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

S. Angelo dei Lombardi  
edificio 2

# S. Angelo dei Lombardi

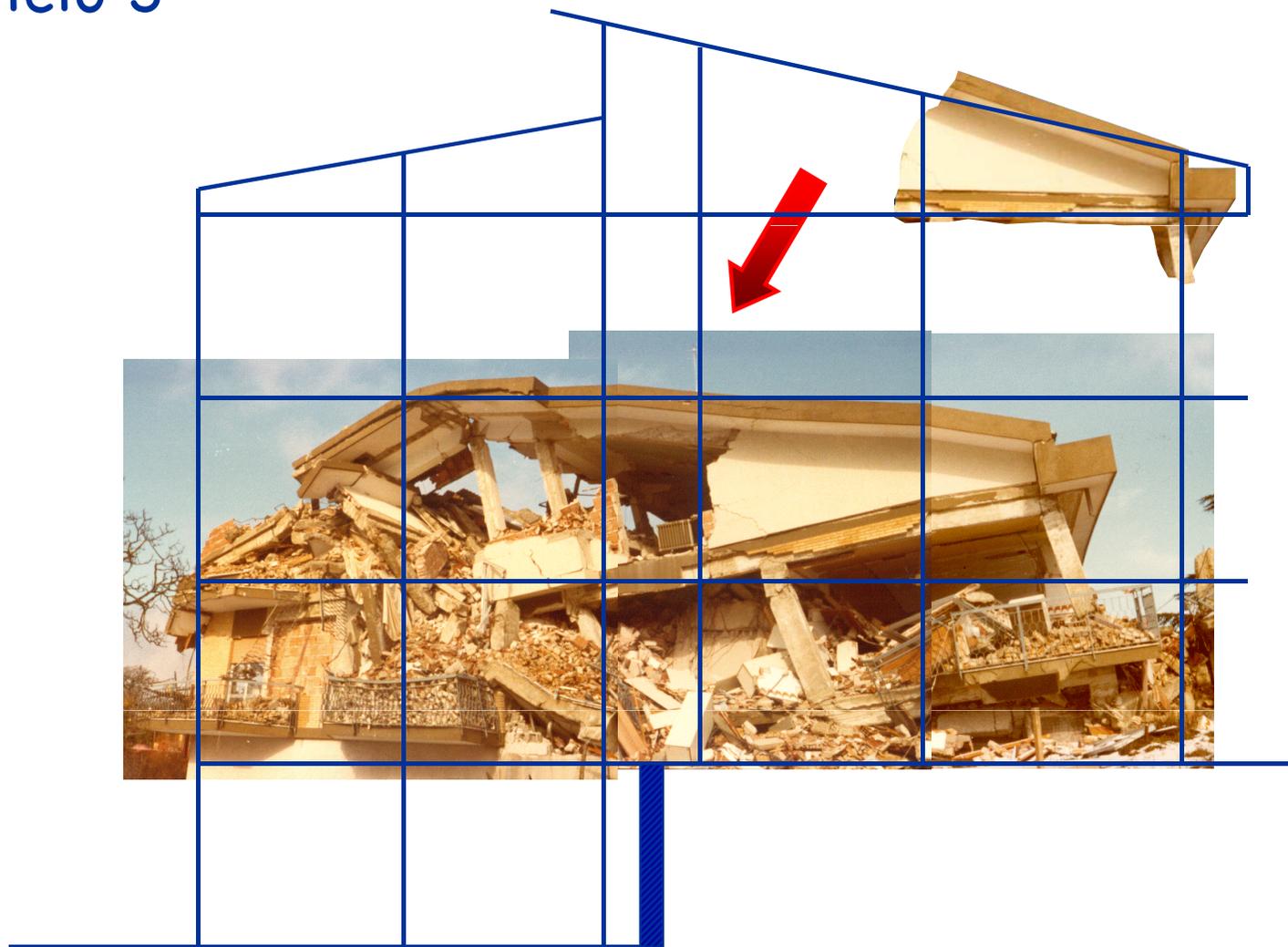
## Edificio 3



foto A. Ghersi

23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

# S. Angelo dei Lombardi edificio 3



# S. Angelo dei Lombardi edificio 3



foto A. Ghersi



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

## S. Angelo dei Lombardi - edificio 3



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

foto A. Ghersi

# Crollo totale - tipico (pilastri scadenti)



1999 – Turchia

# Crollo totale



1999 – Turchia

# Crollo totale - pilastri di ottima fattura



1994 – Northridge

# Crollo totale



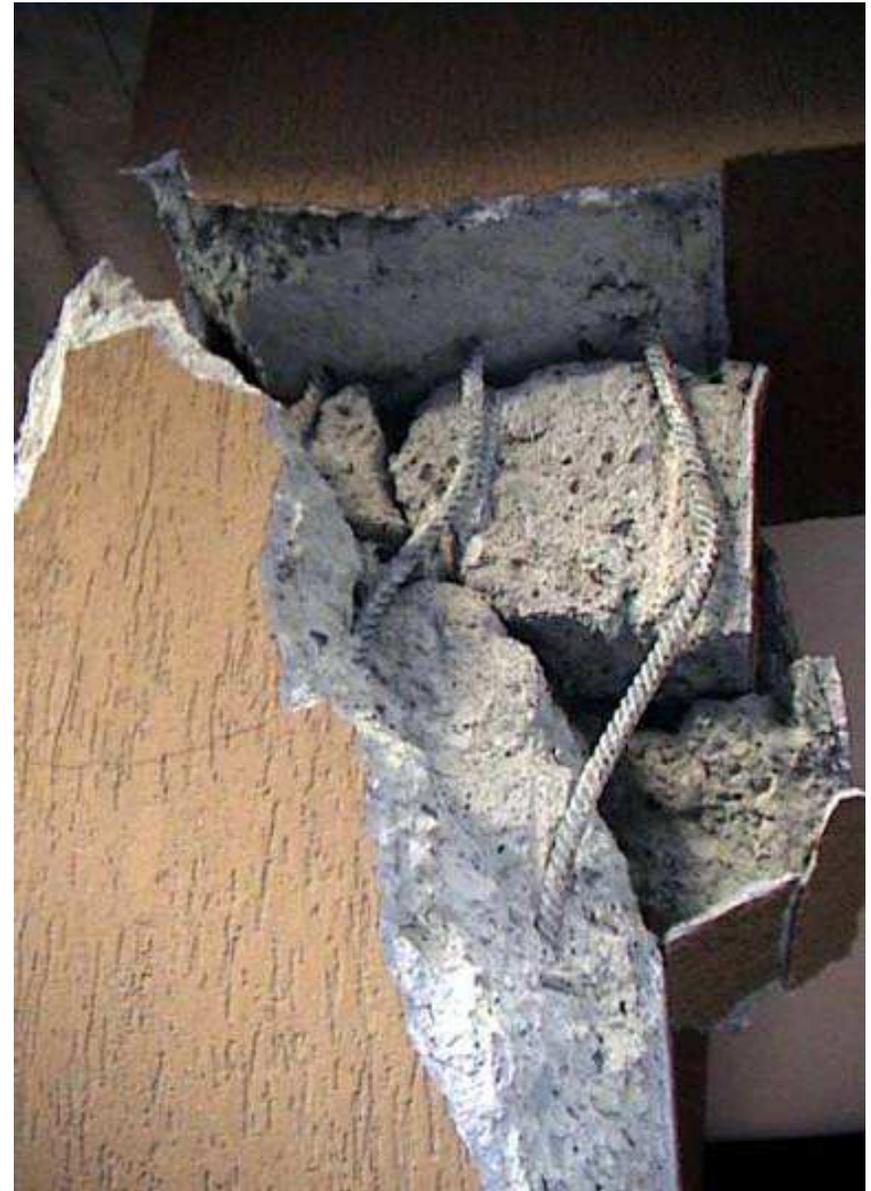
1994 – Northridge

# 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. Ghersi

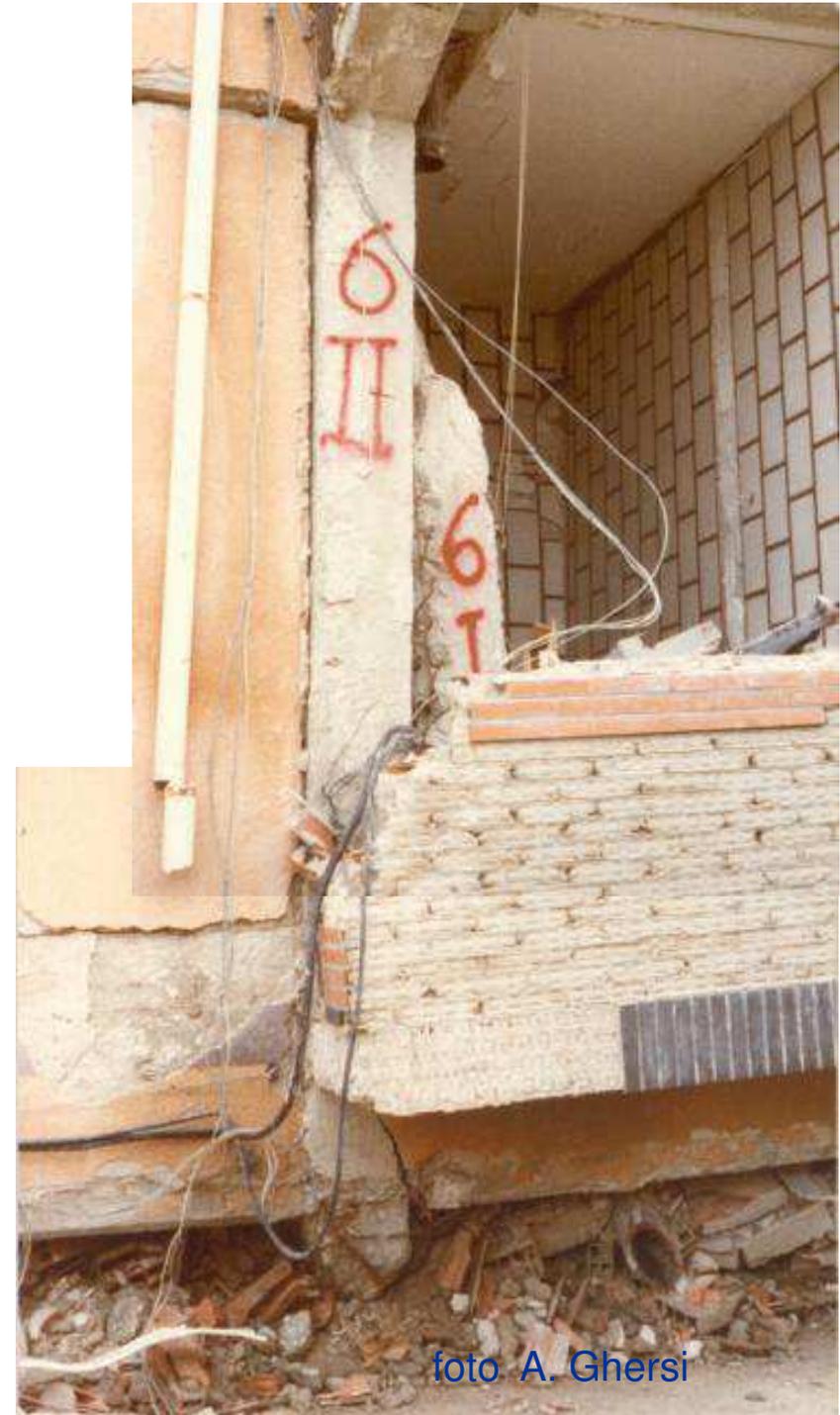
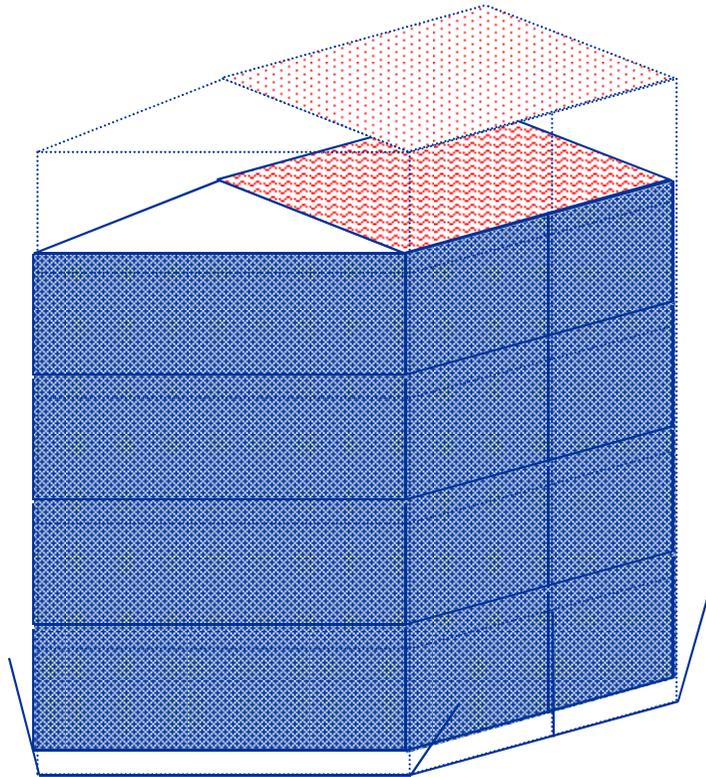
# Lioni, edificio del Banco di Napoli



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

foto A. Ghersi

# Lioni, edificio del Banco di Napoli



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

foto A. Ghersi

# 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



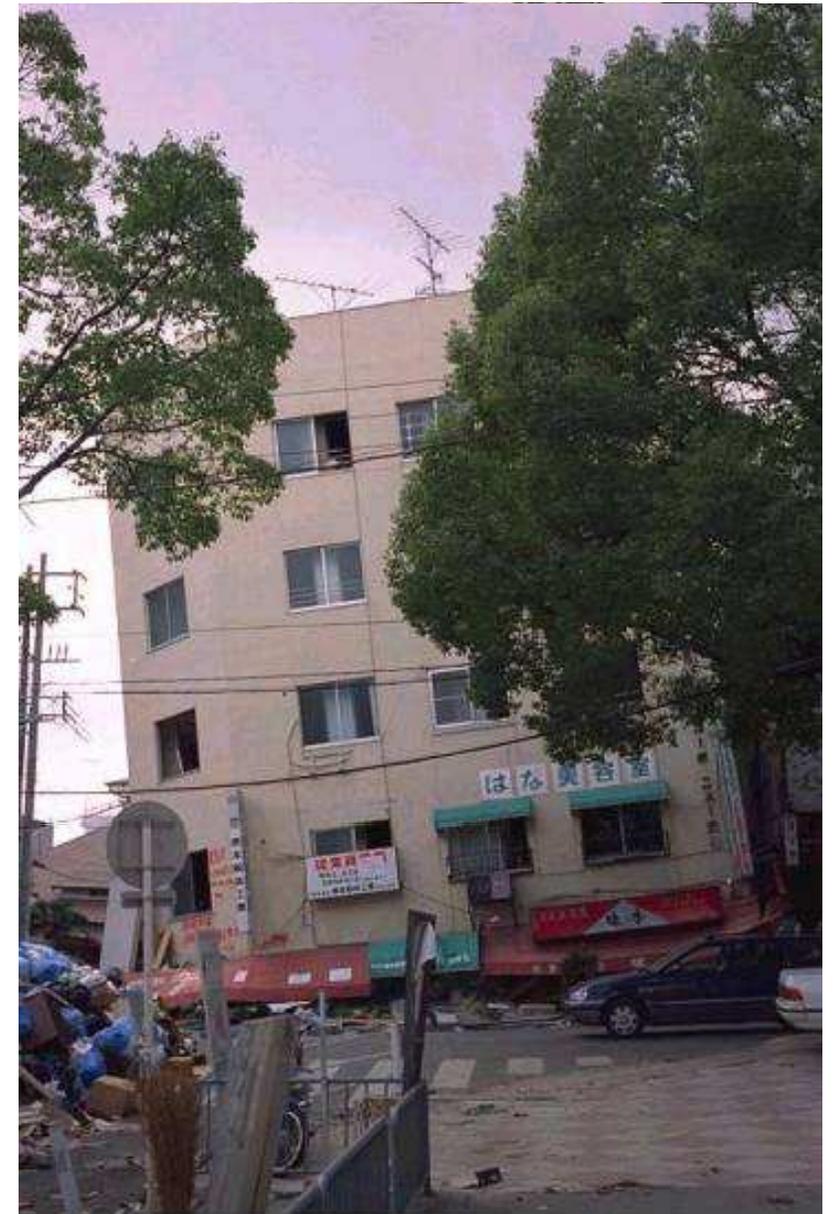
foto A. Ghersi

# Perdita del piano inferiore - altri esempi



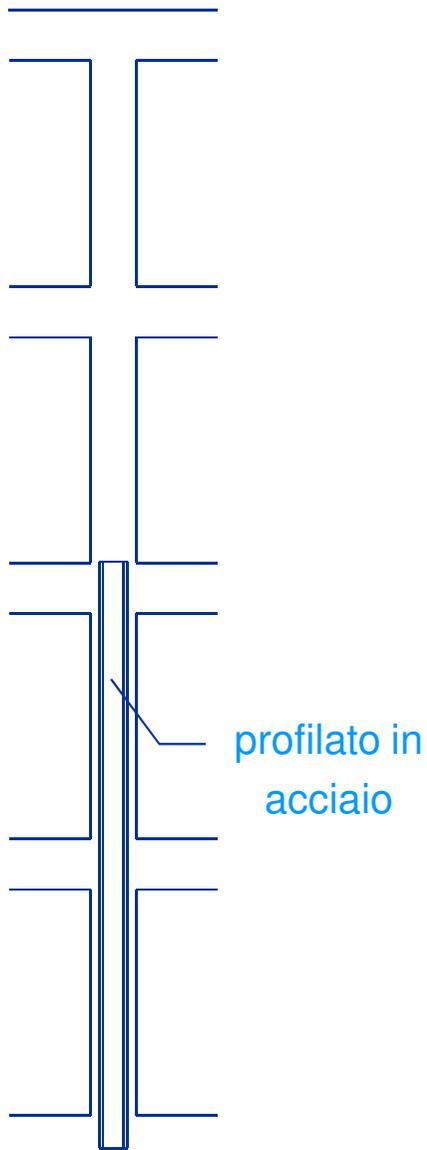
1999 – Turchia (?)

# Perdita del piano inferiore



1995 – Kobe

# Perdita di un piano intermedio



1995 – Kobe

# Perdita di un piano intermedio



1995 – Kobe

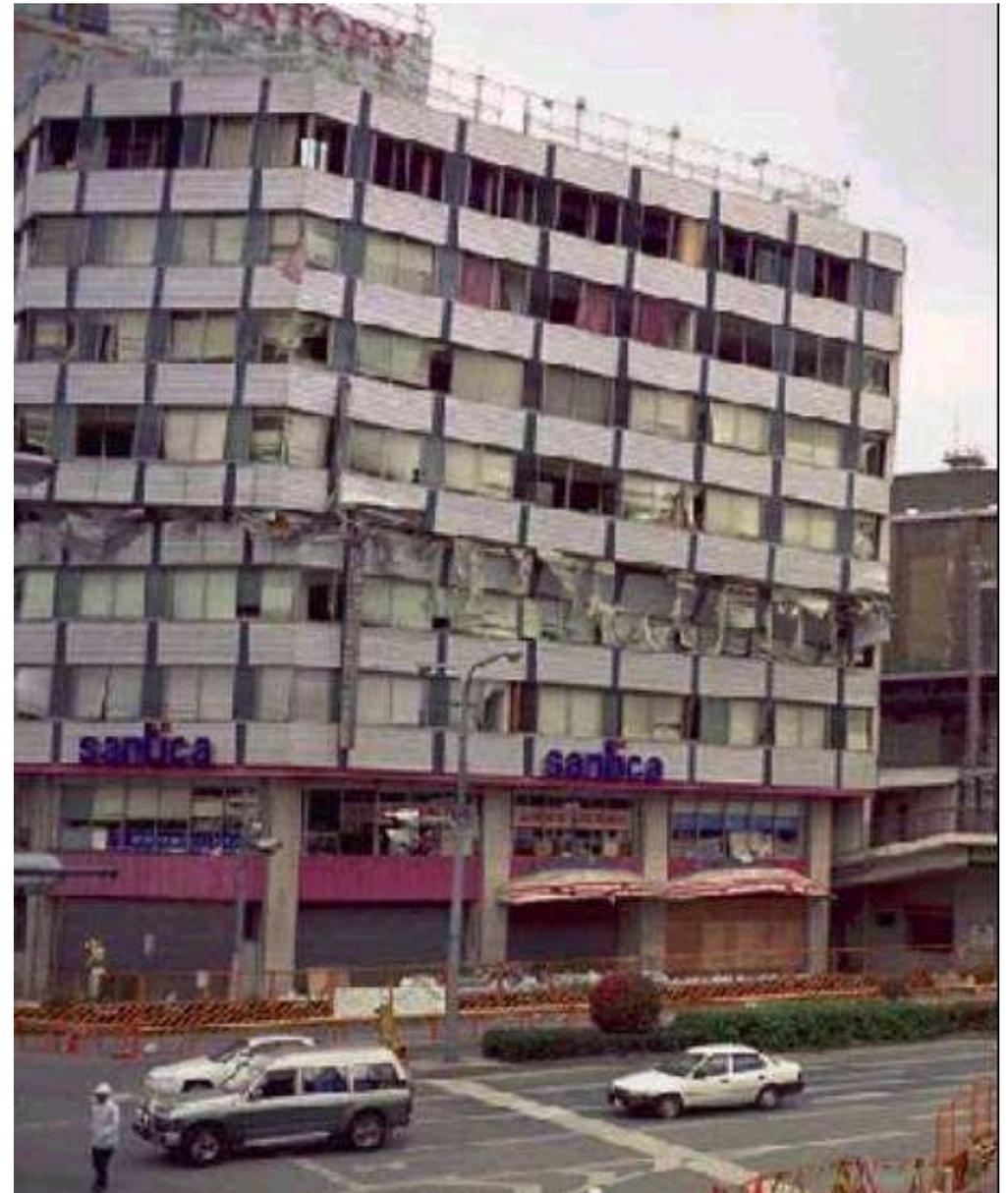
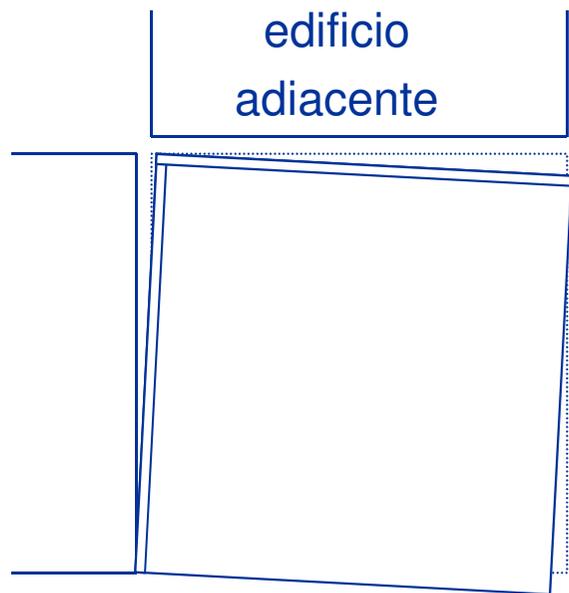
# Perdita di un piano intermedio



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?

# 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

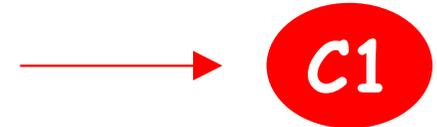


Nuova norme sismiche

# Prime norme sismiche in Italia

Fine '700 ed '800:

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



## 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

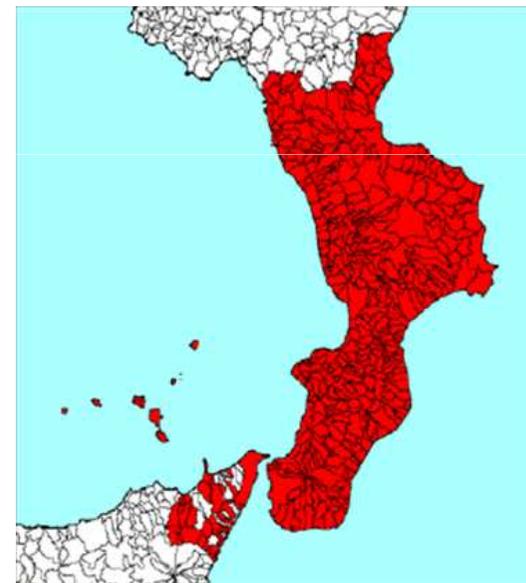


# Classificazione sismica e normativa 1909

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



Regio Decreto n. 193/1909  
Regio Decreto n. 542/1909



# 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"

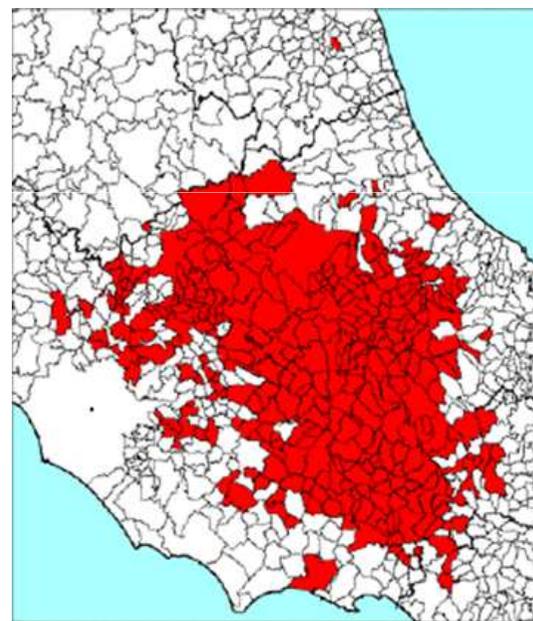
1

# Classificazione sismica e normativa 1909-1915

Terremoti: Area etnea (1911), Avezzano (1915)  
oltre 30000 morti

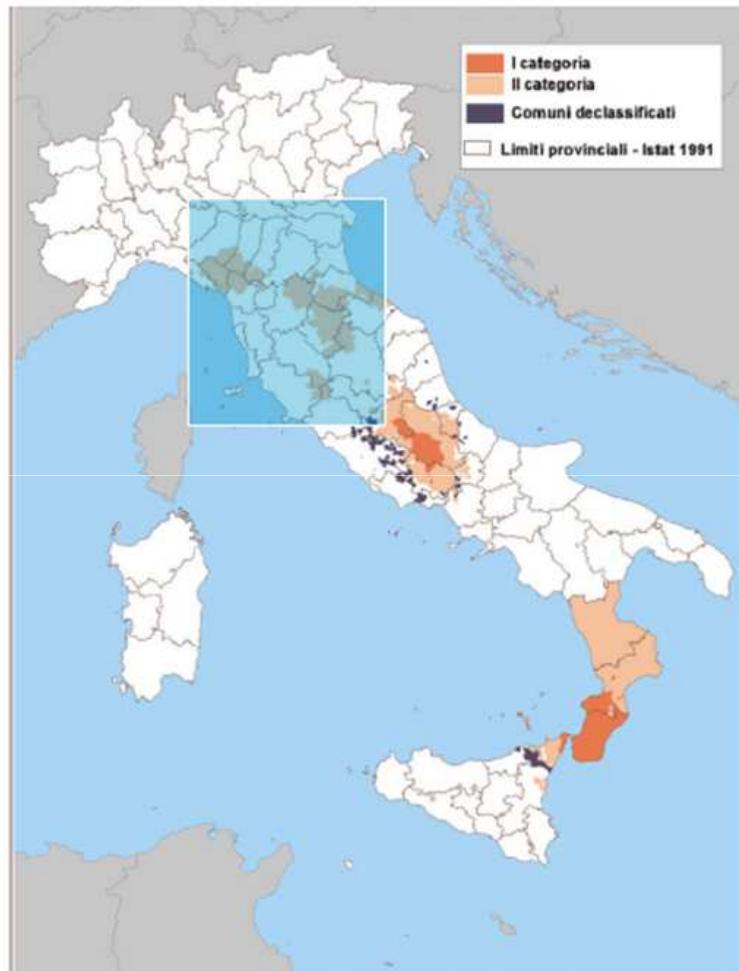


Regio Decreto n. 573/1915



# Classificazione sismica e normativa 1916-1927

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



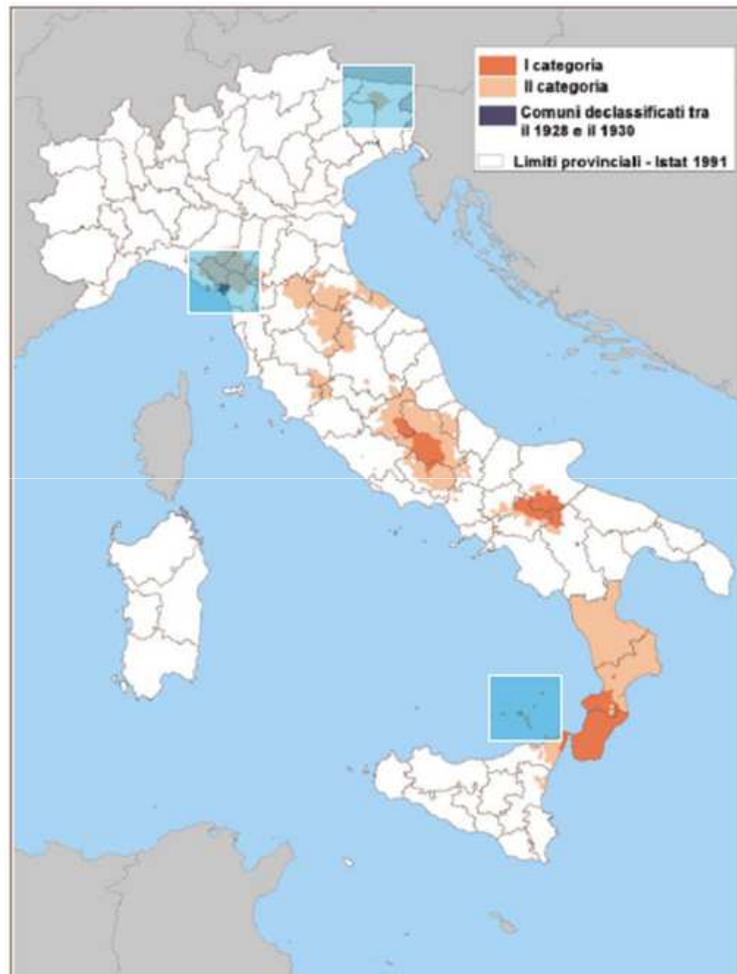
Decreto Legge n. 1526/1916  
Regio Decreto n. 2089/1924  
Regio Decreto n. 431/1927



Viene introdotta la zona  
sismica di seconda categoria

# Classificazione sismica e normativa 1927-1930

Terremoti: Colli Albani (1927), Friuli (1928), Bolognese (1929)



# Classificazione sismica e normativa 1930-1935

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

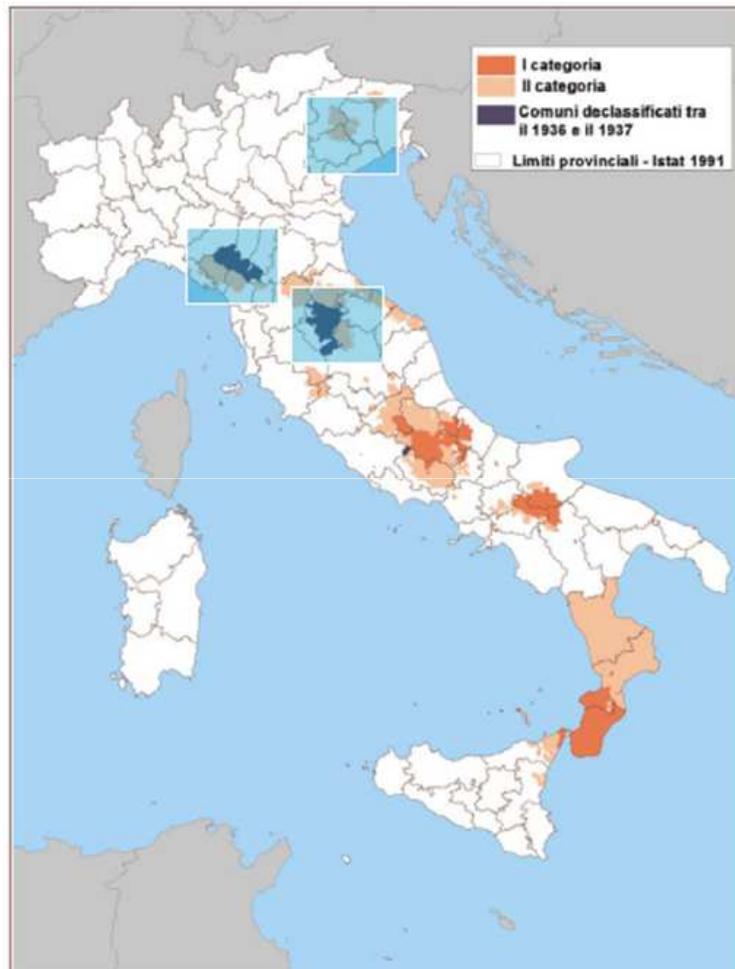


R.D. 25 marzo 1935, n. 640  
Impone azioni di entità analoga a  
quelle utilizzate fino a fine XX  
secolo (ma con accelerazione  
uguale a tutti i piani)  
Impone l'uso di cordoli in c.a. per  
edifici in muratura

C1

# Classificazione sismica e normativa 1935-1937

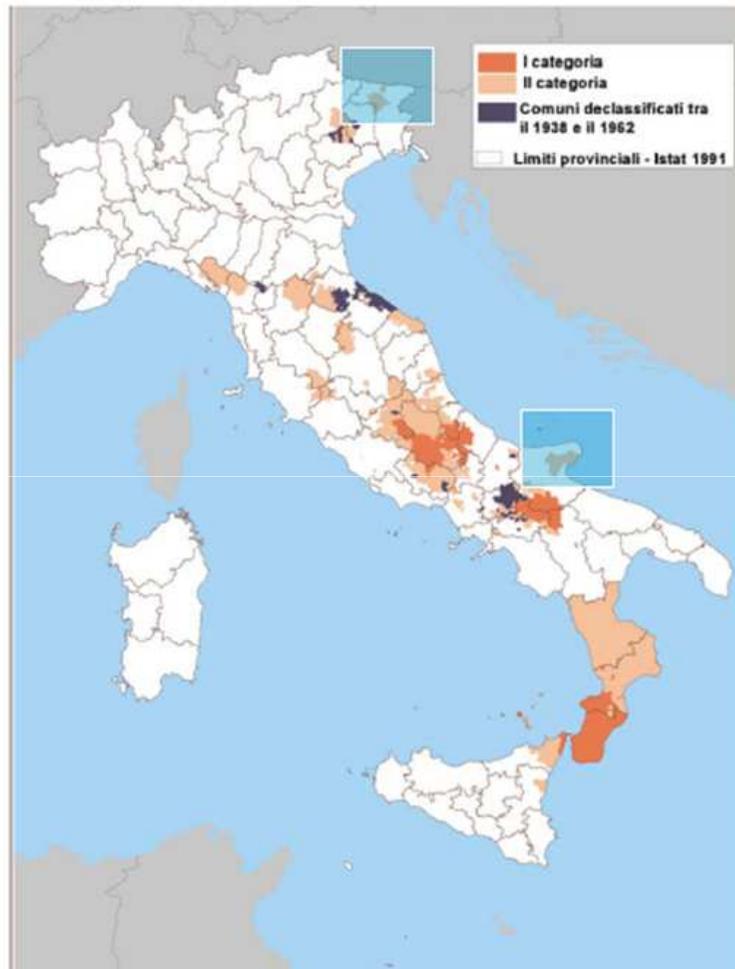
Terremoto: Alpago-Cansiglio (1936)



Regio Decreto Legge  
n. 2125/1937

# Classificazione sismica e normativa 1937-1962

Terremoti: Golfo di Palermo (1940), Marche meridionali e Abruzzo (1943), Calabria centrale (1947), Carnia (1959), Valle della Velina (1961), Irpinia (1962)



1937-42:

Inclusione di comuni delle province di Ascoli Piceno e Teramo, declassificazione di altri comuni

Legge 25 novembre 1962,  
n. 1684

# 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

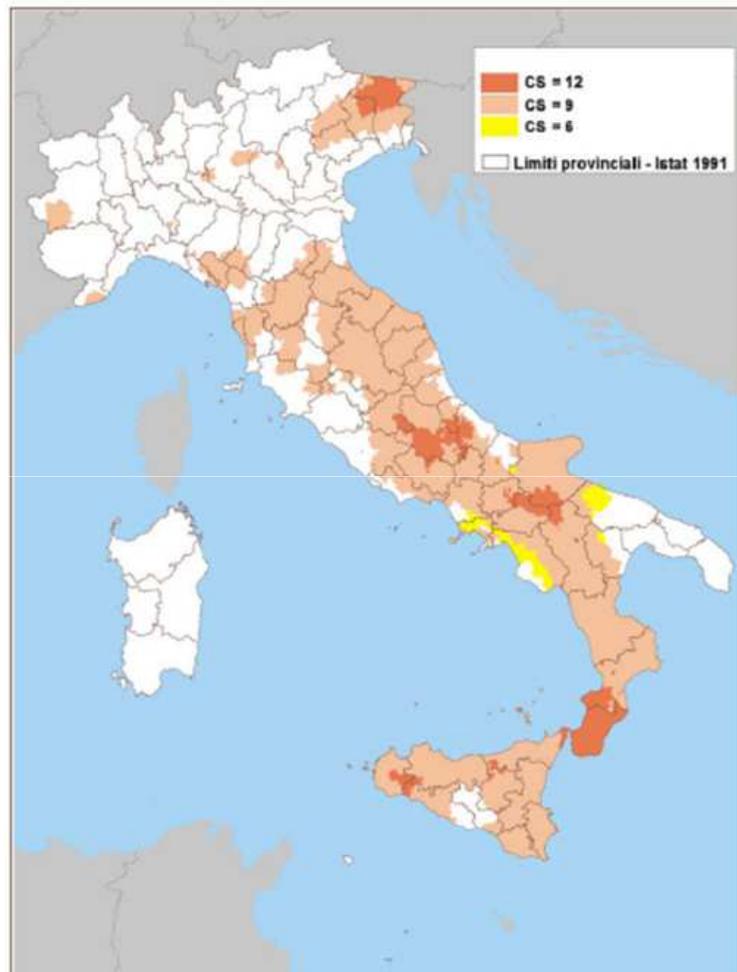
Consente l'analisi dinamica  
(modale)

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)



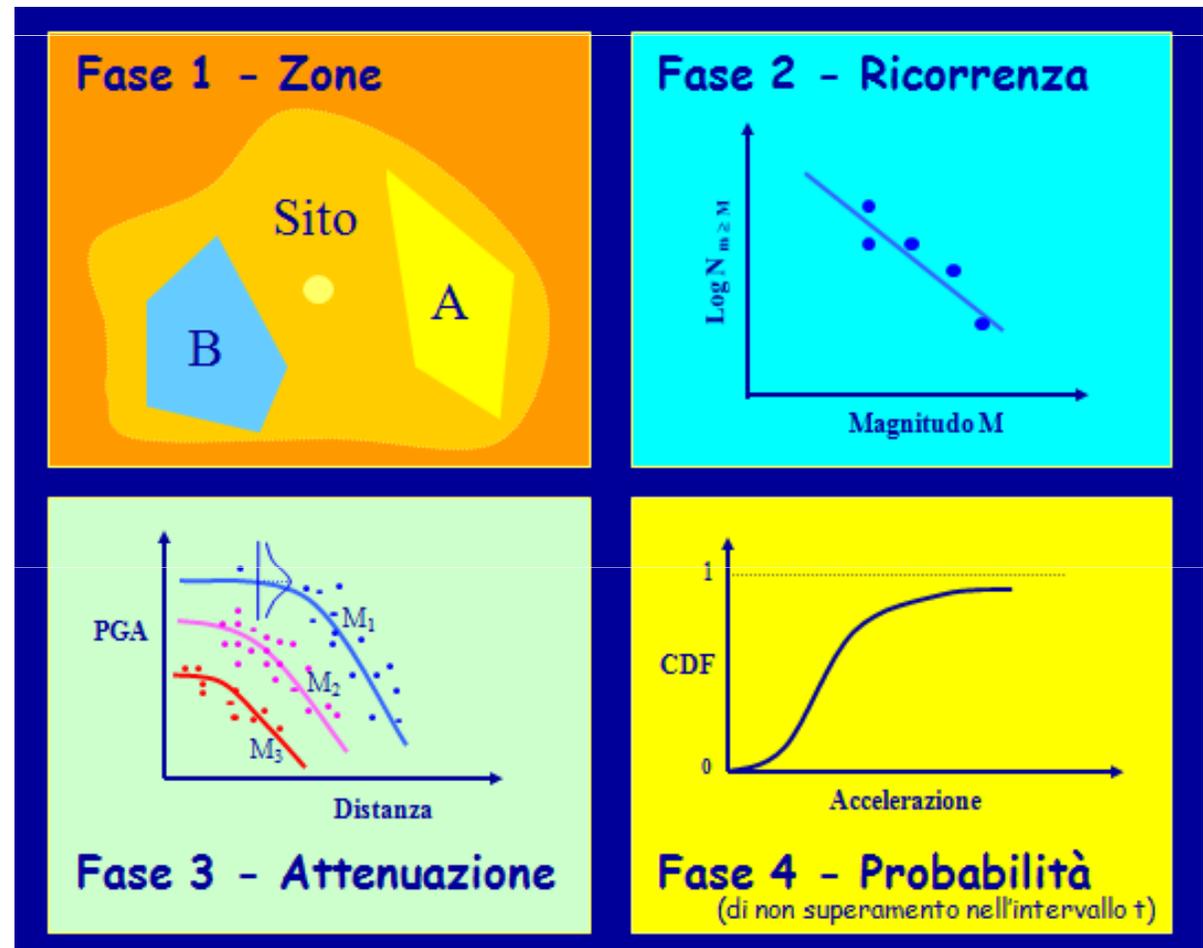
D.M. 3 giugno 1981 n. 515  
Viene introdotta la zona sismica di terza categoria

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



# Evoluzione della classificazione sismica anni finali del '900

Valutazione probabilistica dell'intensità dei terremoti

Probabilità di superamento  $P_{VR}$  = probabilità che si verifichi un evento sismico di intensità maggiore di quella assegnata in un periodo di riferimento

Esempio: probabilità di superamento del 10%  
in 50 anni

oppure

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

Esempio: periodo di ritorno di 475 anni

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

È fornita dalla relazione:

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

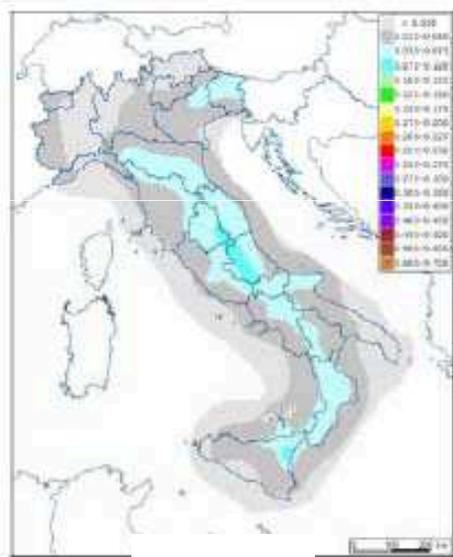
Esempio:

probabilità di superamento del 10% in 50 anni

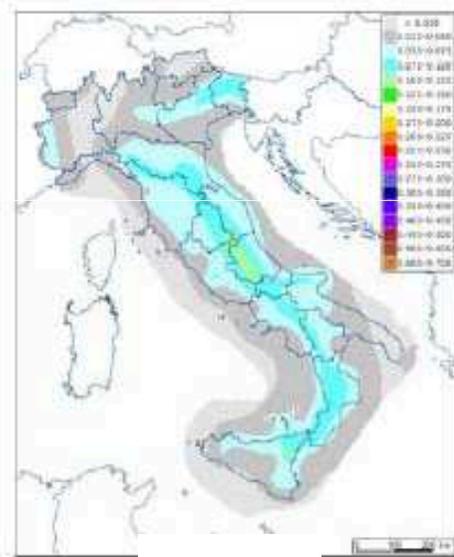
Il periodo di ritorno è:

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

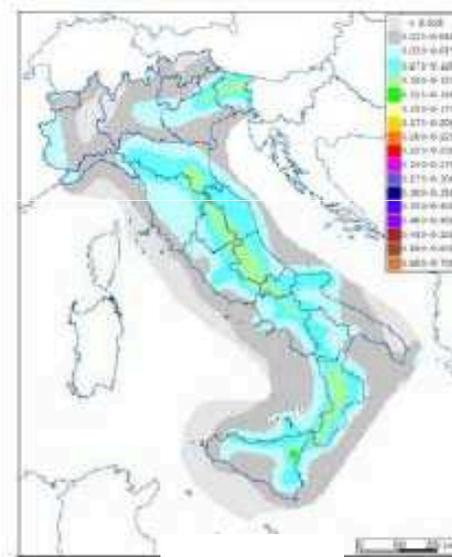
# Carte di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni



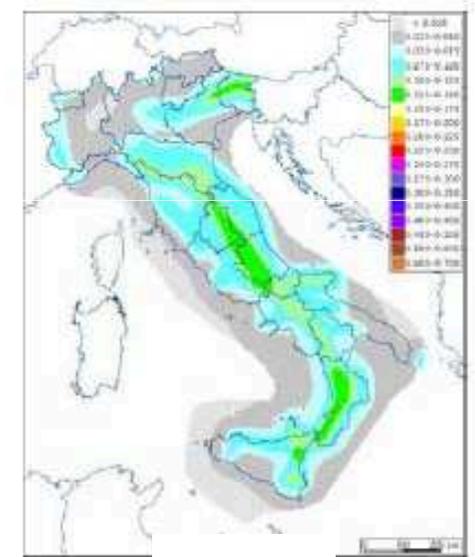
81%



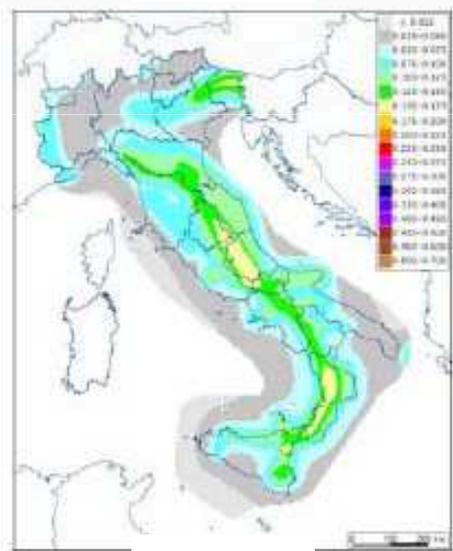
63%



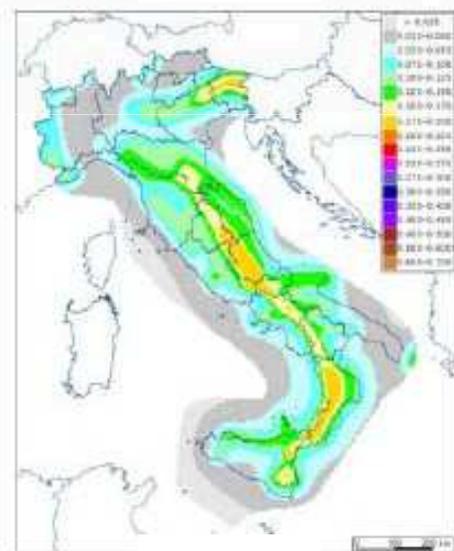
50%



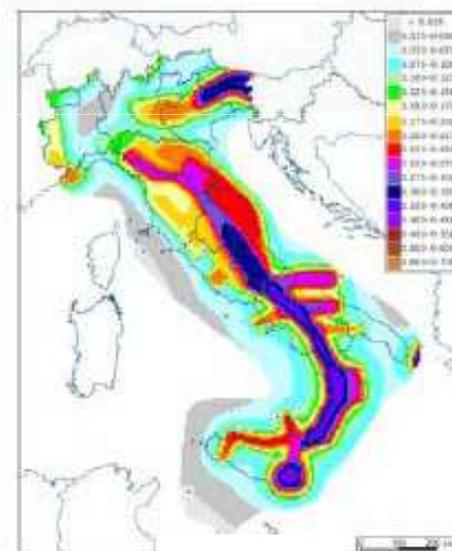
39%



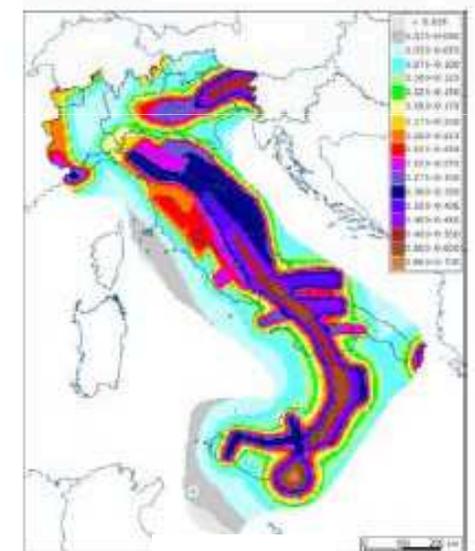
30%



22%



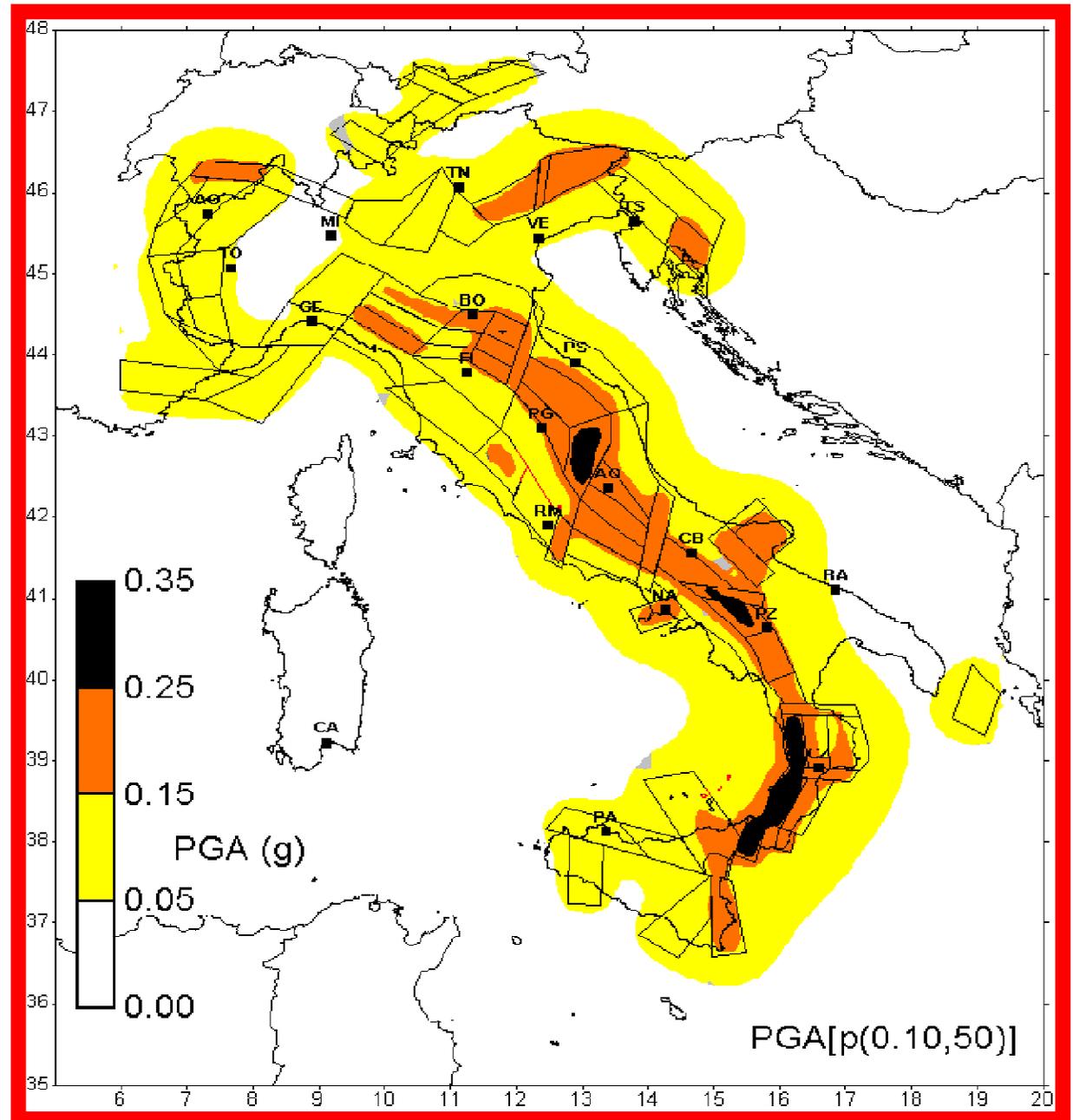
5%



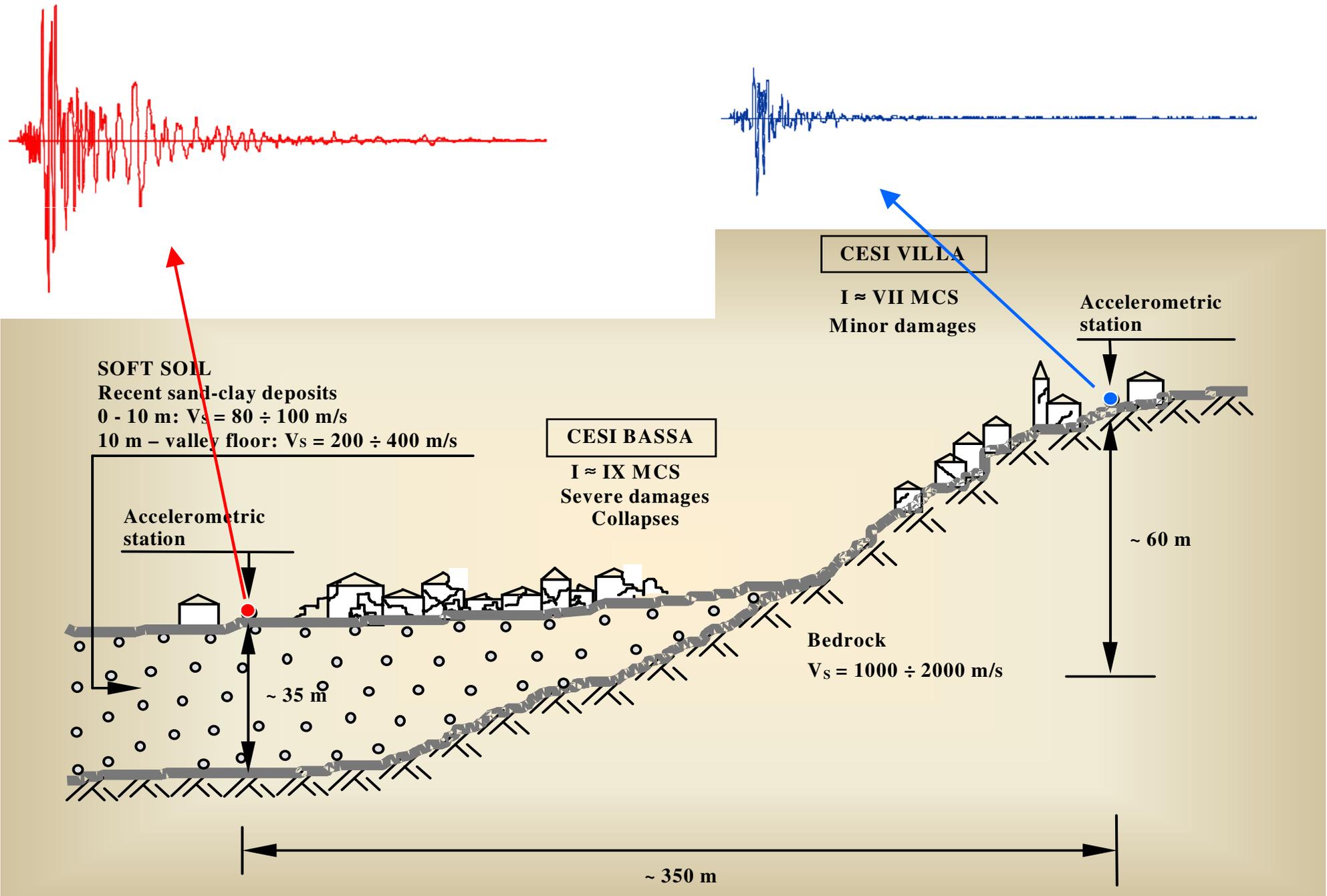
2%

# 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

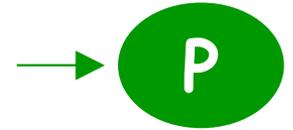
# Anni finali del '900, Stati Uniti

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



# Classificazione sismica e normativa 1997-2003

Terremoti: Umbro-Marchigiano 1997, zona etnea (Santa Venerina) 2001, Molise (San Giuliano di Puglia) 2002

Dal 2003 partono una serie di norme,  
che modificano radicalmente il  
panorama normativo

# Inizio del XXI secolo, in Italia

Ordinanza 3274 del 20 marzo 2003

Ordinanza 3431 del 3 maggio 2005

Impone la verifica col metodo degli stati limite

Consente altre modalità di analisi (statica non lineare, dinamica non lineare)

Chiarisce meglio tutte le problematiche di base (SLU-SLD, fattore di struttura, ecc.)

Introduce il concetto di "regolarità strutturale"

D.M. 14 settembre 2005 (annullato dal D.M. 14/1/08)

Recepisce le Ordinanze

# Oggi

Eurocodice 8

È la base da cui è stata tratta l'Ordinanza 3274-3431  
Ad esso si allineano quasi perfettamente le NTC 08

D.M. 14 gennaio 2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni  
Sostanzialmente in linea con gli Eurocodici  
Prime basi di "Performance based design"



Bozza Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC15)  
Piccoli aggiustamenti, senza variazioni rilevanti  
Cambiano alcuni termini molto usati

# 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

# Evoluzione del concetto di protezione sismica

Normative attuali:

## Doppio livello di protezione

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

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**

Normativa americana FEMA

Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

# 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.

# 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

# Obiettivi prestazionali e livelli di intensità sismica

**FEMA**

	SLO	SLD	SLV	SLC
Frequente (30 anni)				
Occasionale (50 anni)				
Raro (475 anni)				
Molto raro (975 anni)				

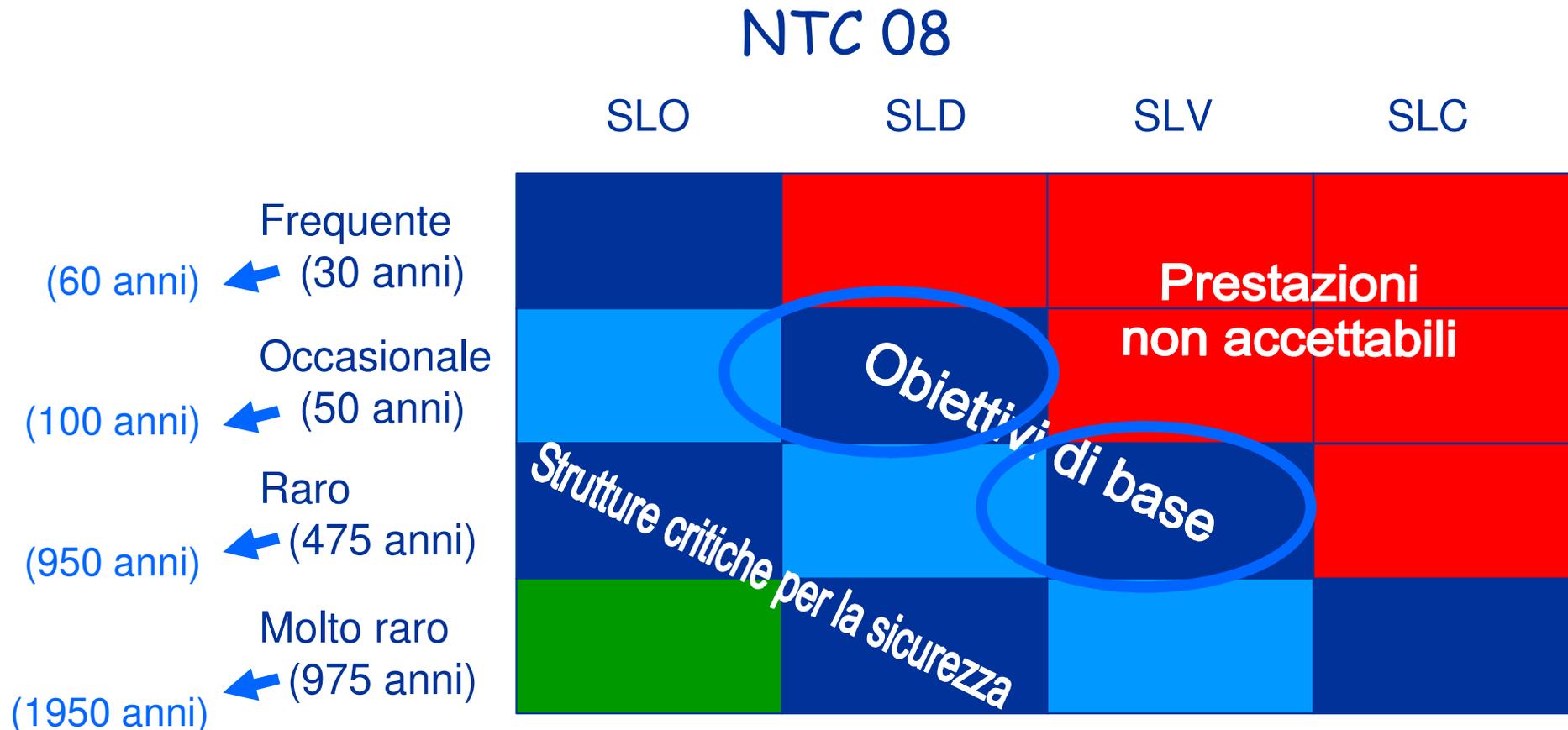
*Strutture critiche per la sicurezza*

*Obiettivi di base*

**Prestazioni non accettabili**

schema unico, la differenziazione si ottiene cambiando la relazione tra stato limite e intensità sismica

# Obiettivi prestazionali e livelli di intensità sismica



la differenziazione si ottiene  
cambiando il periodo di riferimento  
dell'evento sismico

# Accelerazione di picco

L'intensità sismica è espressa come accelerazione di picco (PGA, peak ground acceleration)

L'accelerazione di picco dipende da:

- Sito (collocazione geografica, tipo di terreno, ecc.)
- Periodo di ritorno dell'evento che interessa

# Vita di riferimento $V_R$

L'intensità sismica è definita in funzione del periodo di ritorno  $T_r$  del sisma, che è legato alla vita di riferimento.

La vita di riferimento 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

Vita nominale \ Classe d'uso	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

# Periodo di ritorno $T_r$

Periodo di ritorno  $T_r$  (in anni)  
in funzione di  $V_R$  e  $P_{VR}$

Stato limite	$P_{VR}$	$V_R=35$ anni	$V_R=50$ anni	$V_R=75$ anni	$V_R=100$ anni
SLO	81%	21	30	45	60
SLD	63%	35	50	75	100
SLV	10%	332	475	712	950
SLC	5%	682	975	1462	1950

# Relazione tra accelerazione di picco e periodo di ritorno

- Non esiste una relazione rigorosa
- Approssimativamente si può ritenere che l'accelerazione di picco vari con la radice quadrata del periodo di ritorno

Esempio:

per un periodo di ritorno  $T_r=475$  anni si ha  $a_g=0.25 g$

per un periodo di ritorno  $T_r=950$  anni si ha

$$a_g \cong 0.25 \times \sqrt{\frac{950}{475}} = 1.41 \times 0.25 = 0.35 g$$

# Considerazioni

- A cosa servono le "classi d'uso" degli edifici?
  - Forniscono il coefficiente d'uso  $C_U$  che, moltiplicato per la vita nominale  $V_N$ , dà la vita di riferimento  $V_R$
  - Per classe d'uso II si ha  $C_U = 1$   
quindi per verifica di resistenza di costruzioni usuali  $V_R = 50$  anni, periodo di ritorno  $T_r = 475$  anni  
si ha, ad esempio,  $a_g = 0.25 g$
  - Per classe d'uso III (edifici con affollamento)  $C_U = 1.5$   
quindi per verifica di resistenza di costruzioni usuali  $V_R = 50 \times 1.5$  anni, periodo di ritorno  $T_r = 475 \times 1.5$  anni  
si ha  $a_g \cong 0.25 \times \sqrt{1.5} = 1.22 \times 0.25 g$
  - Per classe d'uso IV (edifici strategici)  $C_U = 2$   
quindi  $a_g \cong 0.25 \times \sqrt{2} = 1.41 \times 0.25 g$

# Considerazioni

- Nel passato: coefficiente di importanza  $I$ 
  - Moltiplicatore delle forze di progetto
  - Per costruzioni usuali  $I = 1$
  - Per edifici con affollamento  $I = 1.2$
  - Per edifici strategici  $I = 1.4$

# Considerazioni

- A cosa servono le "classi d'uso" degli edifici?
  - Forniscono il coefficiente d'uso  $C_U$  che, moltiplicato per la vita nominale  $V_N$ , dà la vita di riferimento  $V_R$
  - Per classe d'uso II si ha  $C_U = 1$   
quindi per verifica di resistenza di costruzioni usuali  $V_R = 50$  anni, periodo di ritorno  $T_r = 475$  anni  
si ha, ad esempio,  $a_g = 0.25 g$
  - Per classe d'uso III (edifici con affollamento)  $C_U = 1.5$   
quindi per verifica di resistenza di costruzioni usuali  $V_R = 50 \times 1.5$  anni, periodo di ritorno  $T_r = 475 \times 1.5$  anni  
si ha  $a_g \cong 0.25 \times \sqrt{1.5} = 1.22 \times 0.25 g$  nel passato 1.2
  - Per classe d'uso IV (edifici strategici)  $C_U = 2$   
quindi  $a_g \cong 0.25 \times \sqrt{2} = 1.41 \times 0.25 g$  nel passato 1.4

# Normativa europea considerazioni

L'Eurocodice 8 prevede solo due requisiti:

- Requisito di non-collasso
  - Equivale a SLV
  - È riferito ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ovvero a un periodo di ritorno di 475 anni
- Requisito di limitazione del danno
  - Equivale a SLD
  - È riferito ad una probabilità di superamento del 10% in 10 anni, ovvero a un periodo di ritorno di 95 anni

La differenziazione in base all'uso viene fatta mediante il coefficiente di importanza  $\gamma_I$