

Corso di aggiornamento

Progettazione strutturale sulla base  
delle normative più recenti

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

Terremoti: cause ed effetti

Indicazioni generali delle norme sismiche

Villa Redenta, Spoleto

6-8 novembre 2008

Aurelio Gheresi

# I terremoti

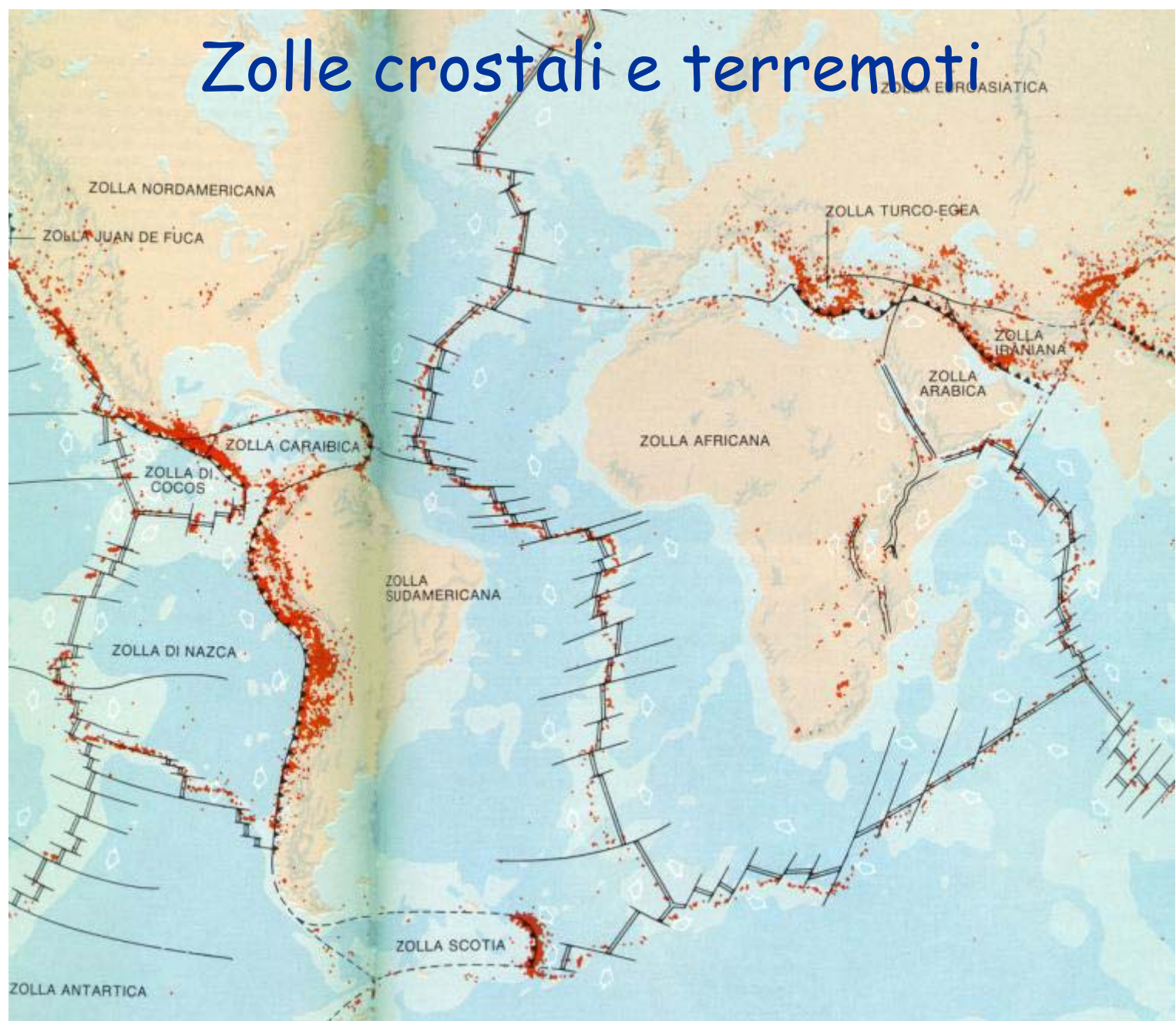
Cosa sono?

Quali effetti producono?

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

I terremoti:  
cosa sono?

# Zolle crostali e terremoti





# 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



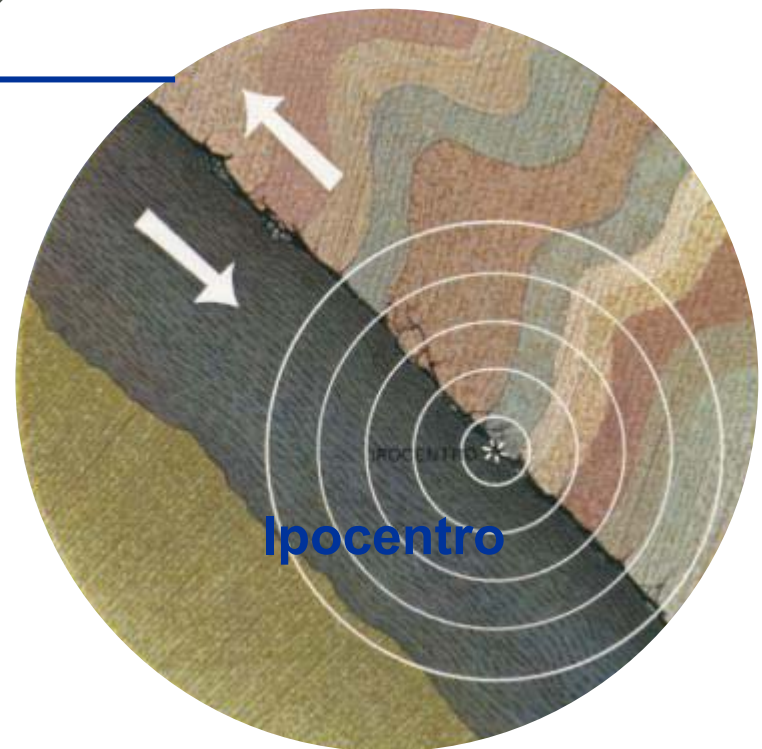
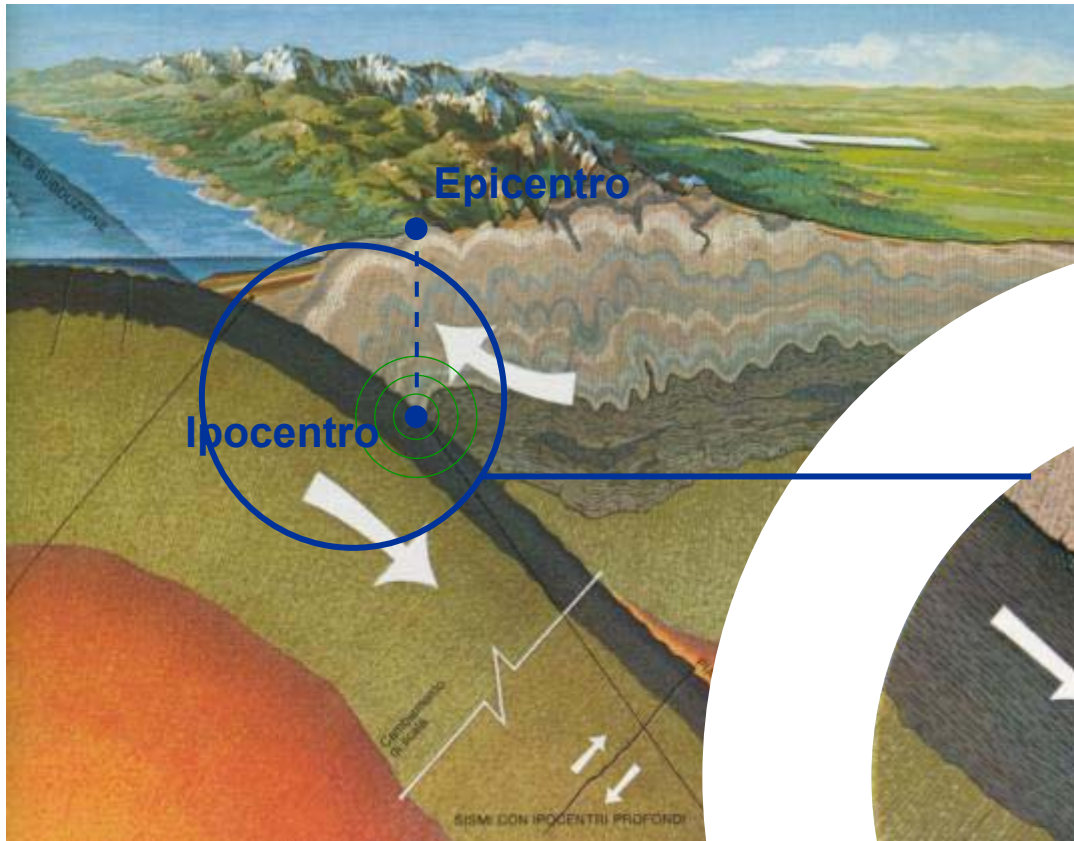
il momento della rottura:  
rilascio dell'energia

4



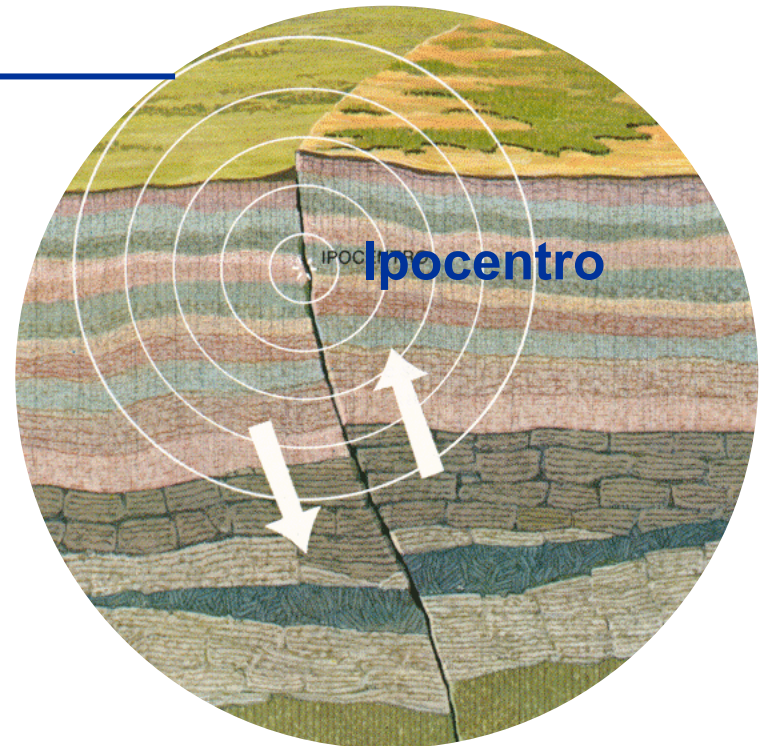
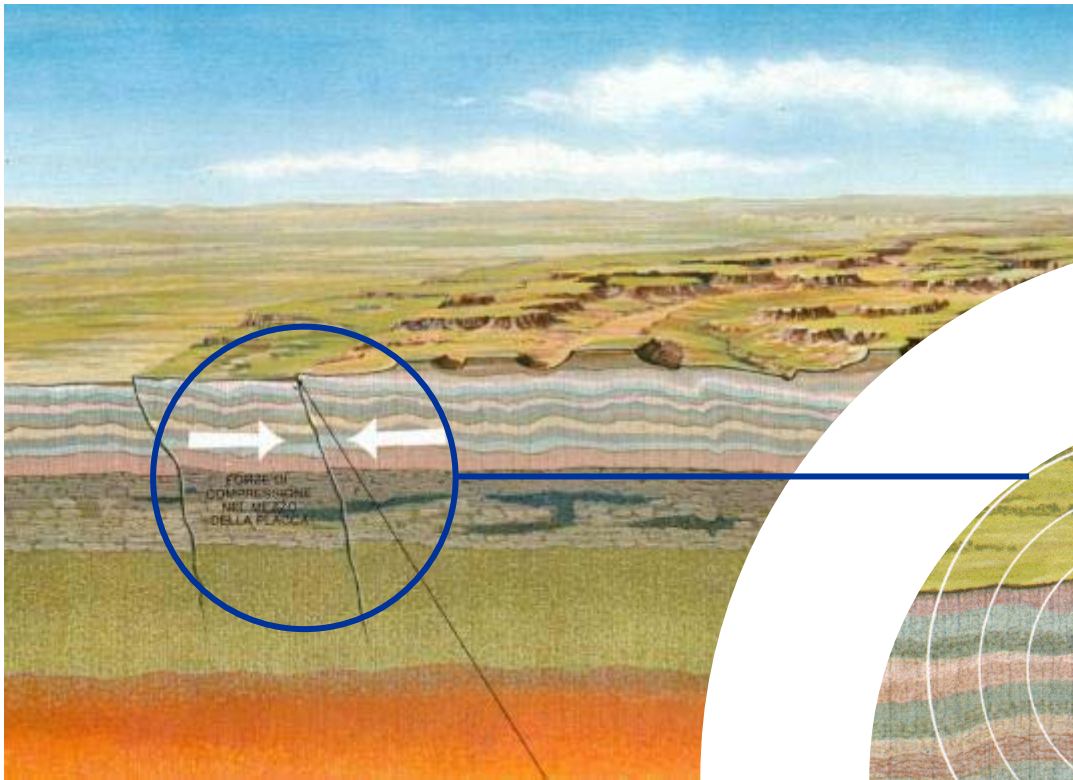
brusco scorrimento, verso un nuovo  
equilibrio

# Zone di subduzione



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

# Zolle in collisione

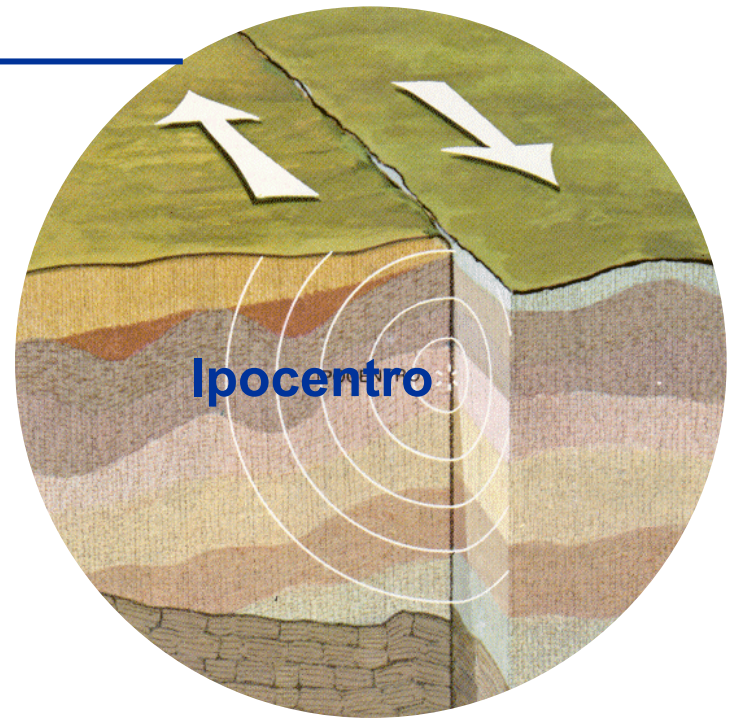
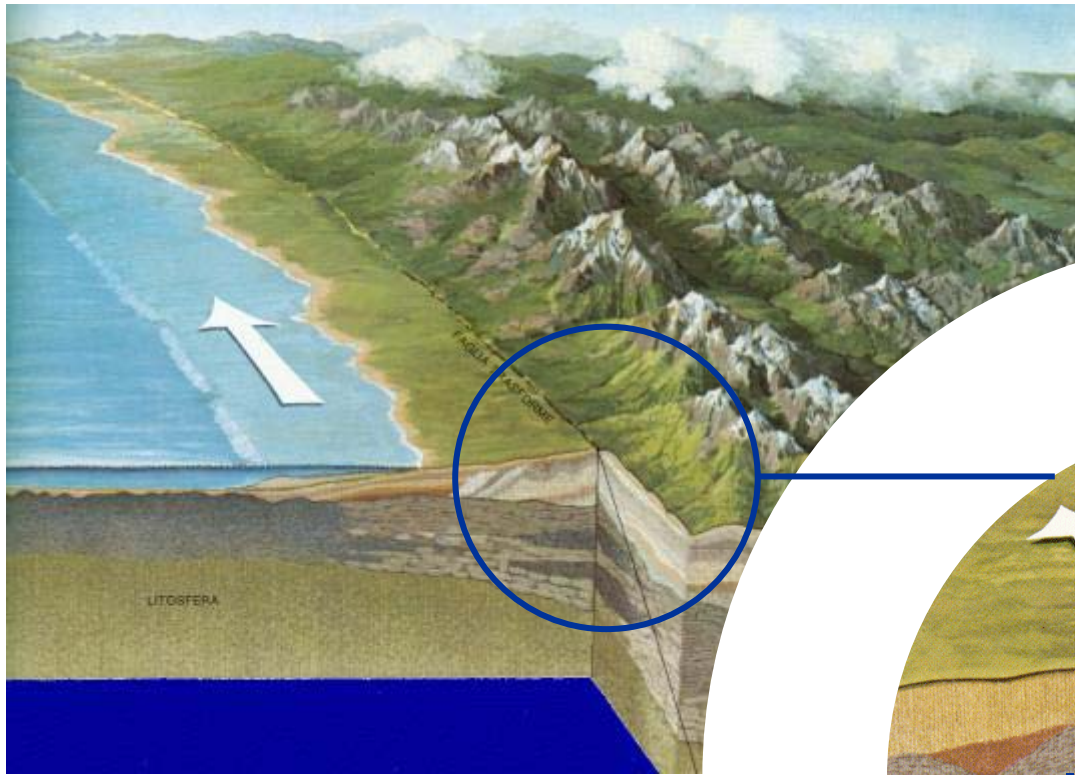


Zolle in movimento, l'una  
verso l'altra:

se sono entrambe molto  
spesse, nessuna affonda



# Faglie trasformi



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

I terremoti:  
quali effetti producono?

1 - Effetti permanenti

# Scorrimenti della faglia



1999 – Turchia



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



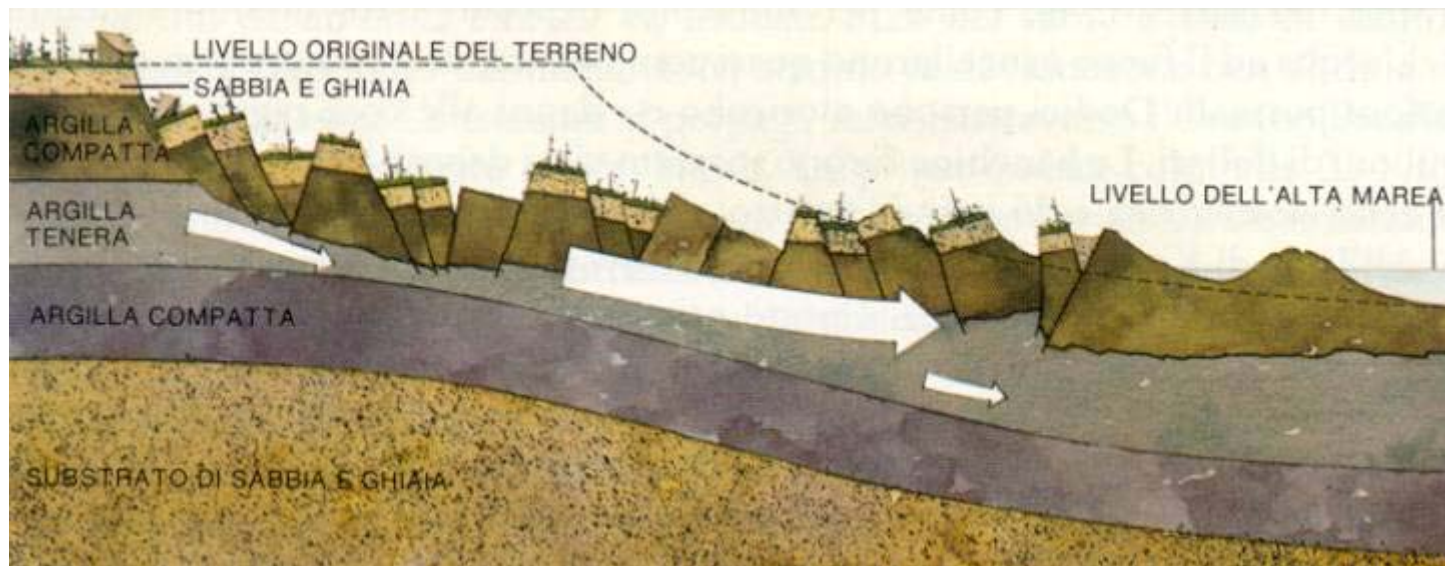
## Cedimenti del terreno



1997 - Umbria



## Liquefazione di strati sotterranei



1964 - Alaska

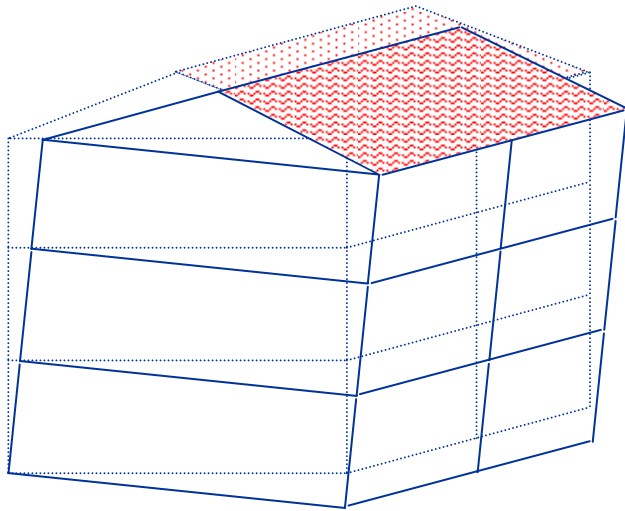


# Liquefazione del terreno



1999 – Turchia

# Liquefazione del terreno



1999 – Turchia



# Liquefazione del terreno



1999 – Turchia



# Liquefazione del terreno



1999 – Turchia

# Liquefazione del terreno



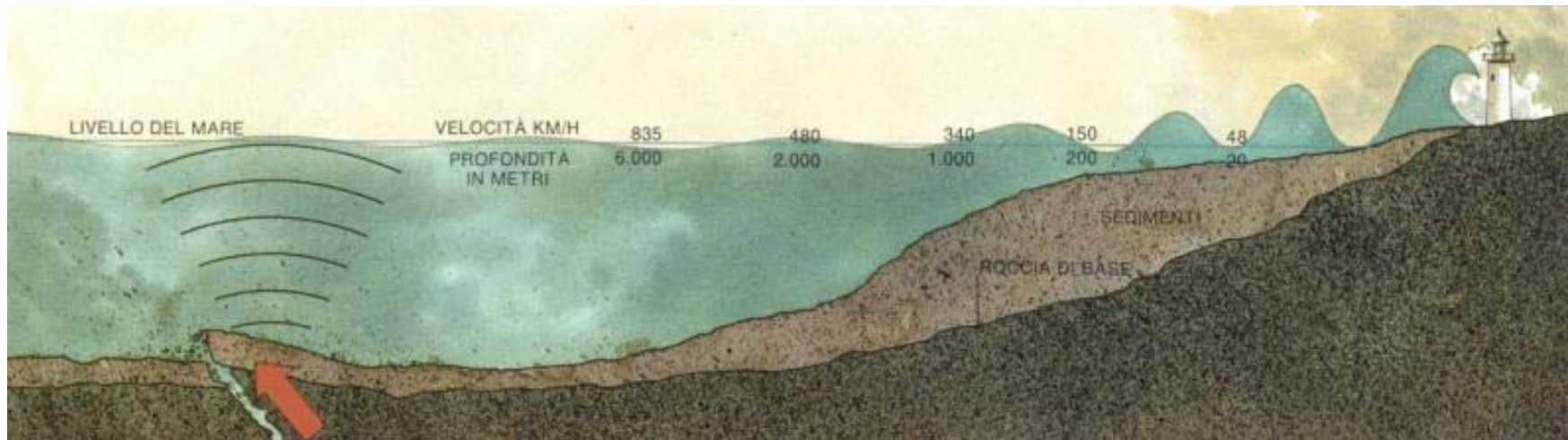
1999 – Turchia

I terremoti:  
quali effetti producono?

2 - Effetti transitori



# 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

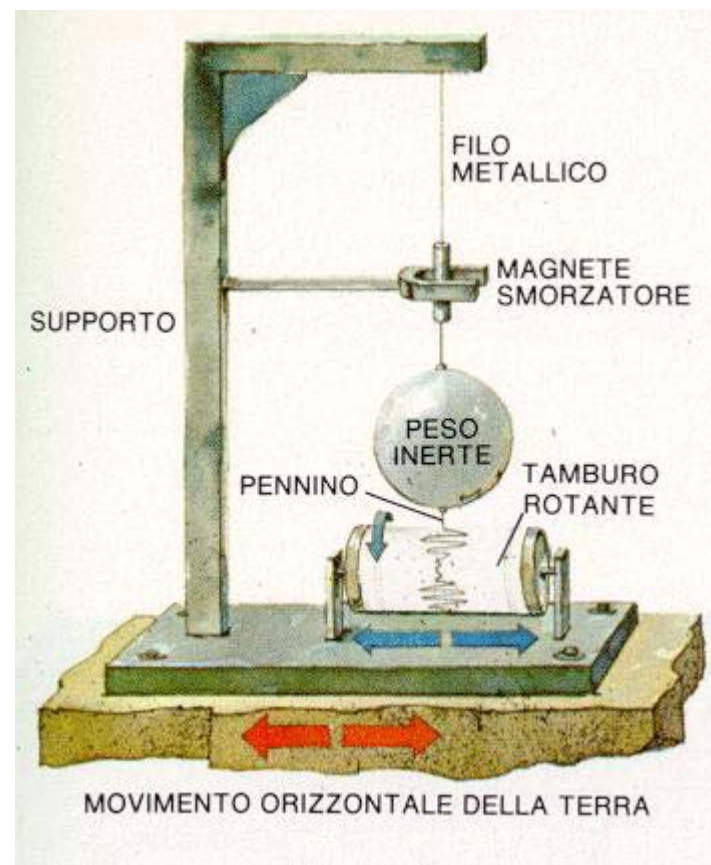
# Moto del terreno

È l'aspetto sul quale ci soffermeremo

# 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)

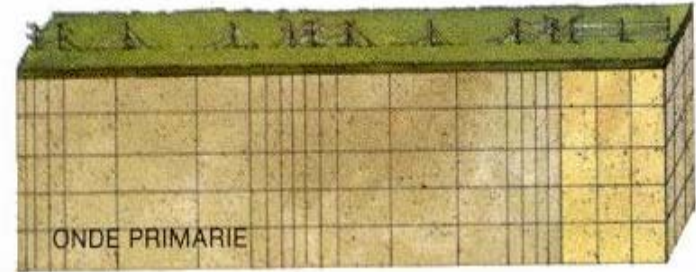


# Onde di volume

Si hanno:

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

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

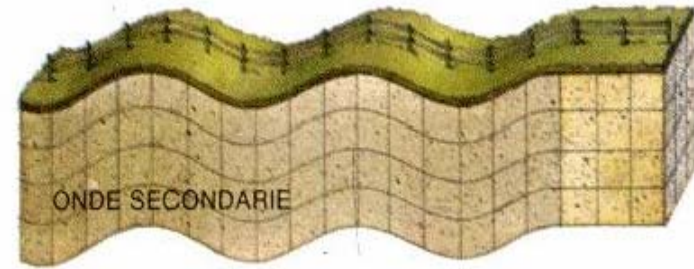


# Onde di volume

Si hanno:

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

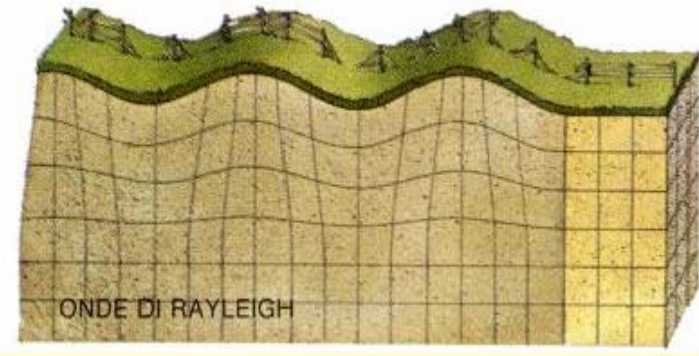
$$v_S = \frac{v_P}{\sqrt{3}} \quad \text{non si propagano nei liquidi}$$



# Onde di superficie

Si hanno vari tipi, tra cui:

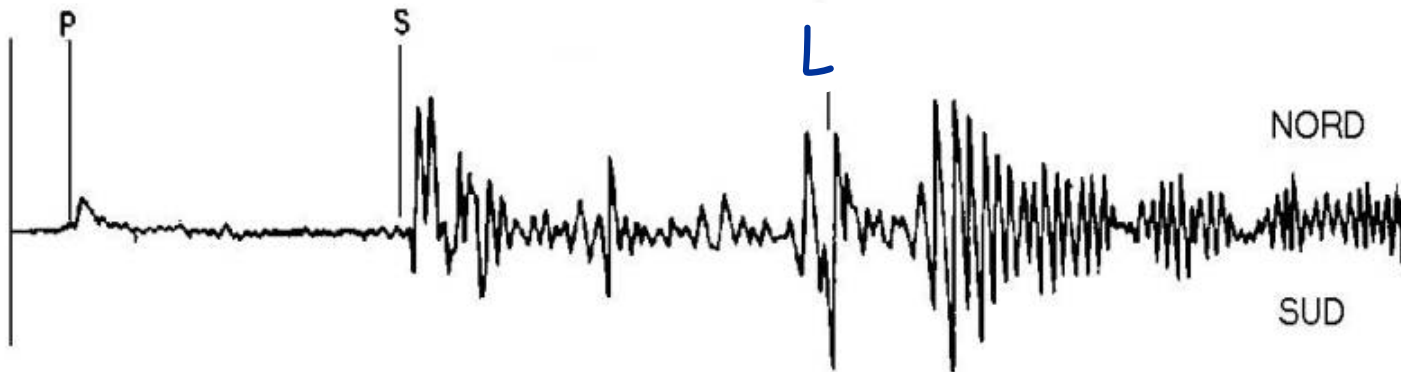
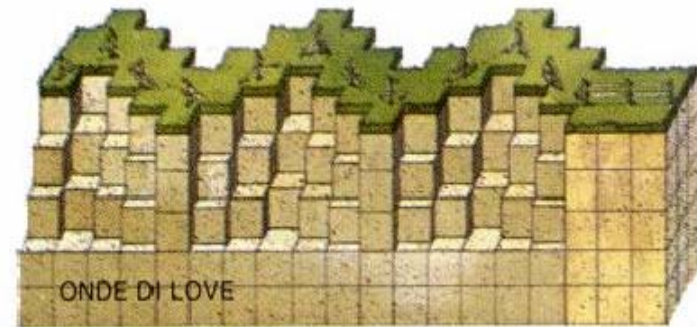
- Onde di Rayleigh (R)  
con moto secondo un'ellisse  
nel piano verticale



# Onde di superficie

Si hanno vari tipi, tra cui:

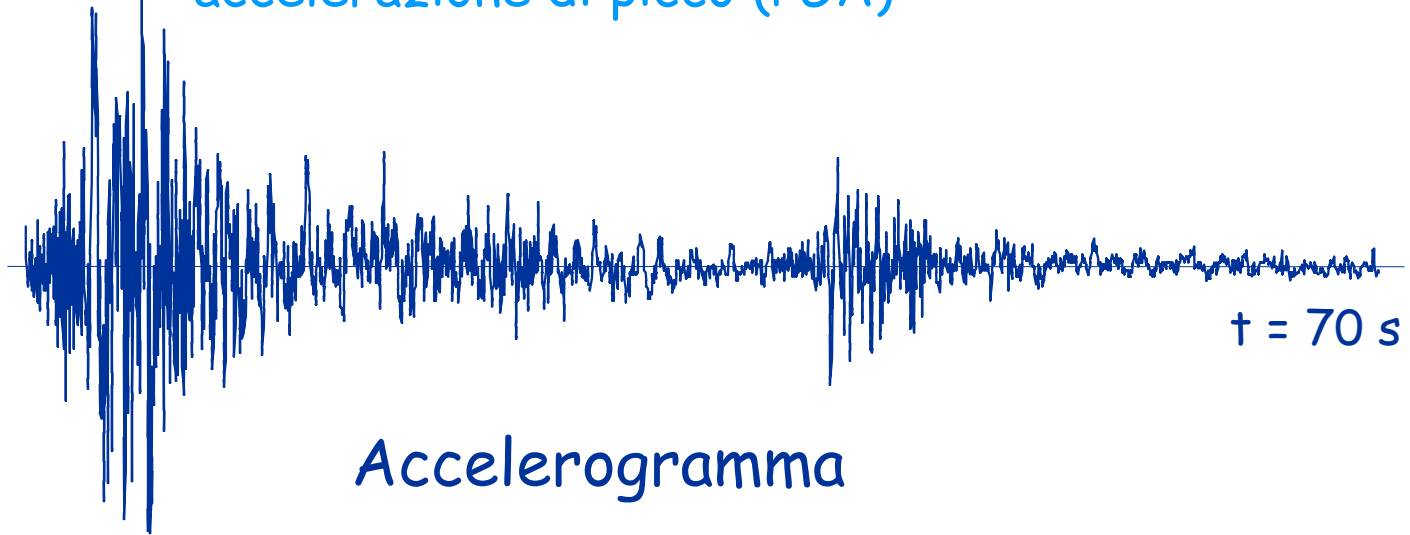
- Onde di Rayleigh (R)  
con moto secondo un'ellisse  
nel piano verticale
- Onde di Love (L)  
con moto tipo onde di taglio  
nel piano orizzontale



# Accelerogramma

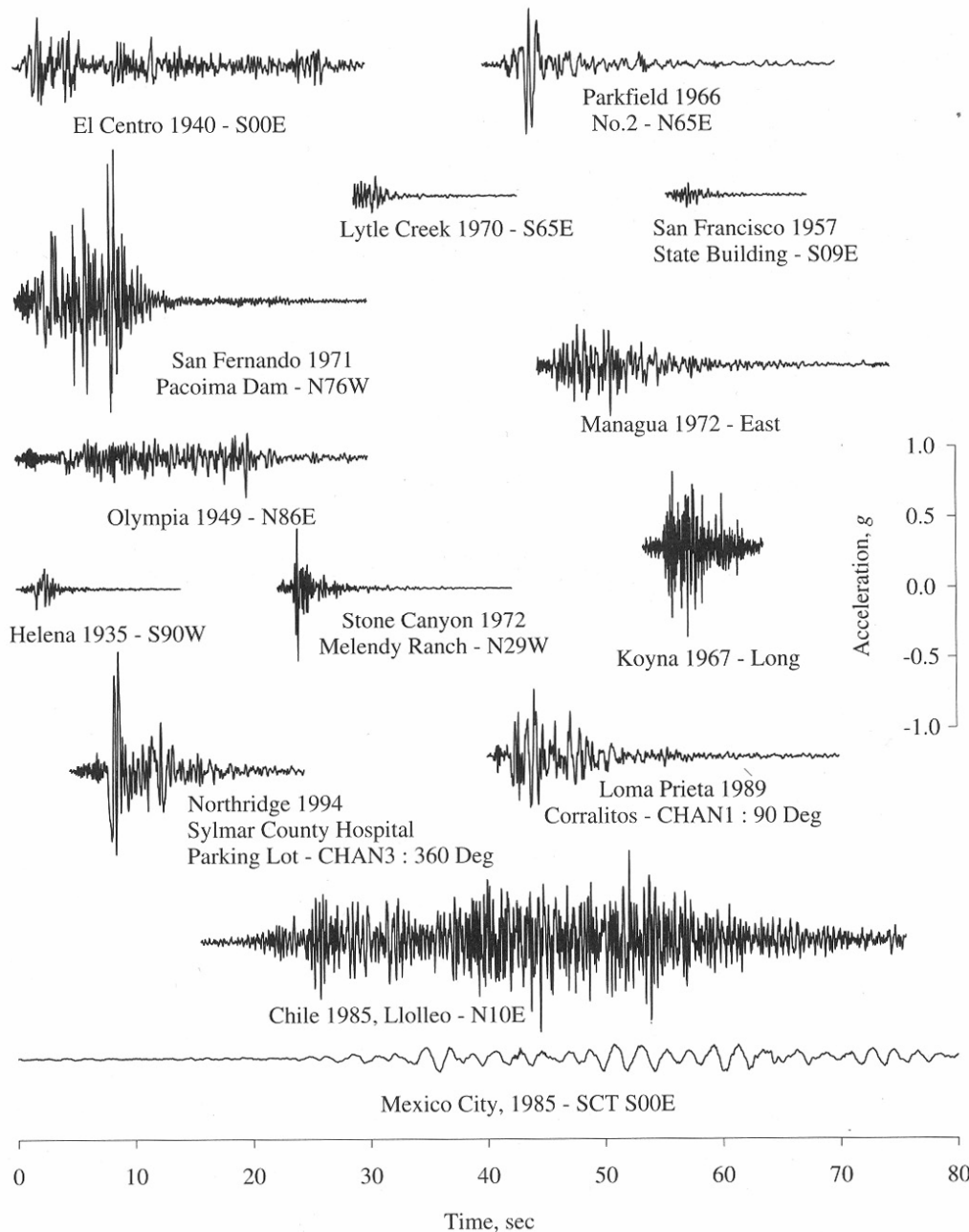
Più interessante ai fini ingegneristici è rappresentare l'accelerazione in funzione del tempo

● accelerazione di picco (PGA)



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)

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 scavarnamenti 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.	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.	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.			(*)	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.	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.		
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.				

# 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:  
quali effetti producono?

## 2 - Effetti transitori

Accelerazione sismica medio-bassa  
Basso periodo di ritorno

# 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



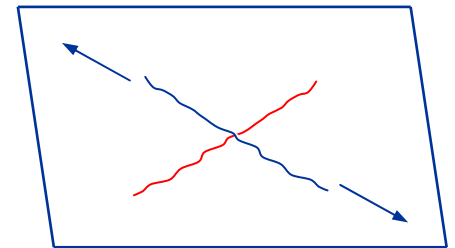
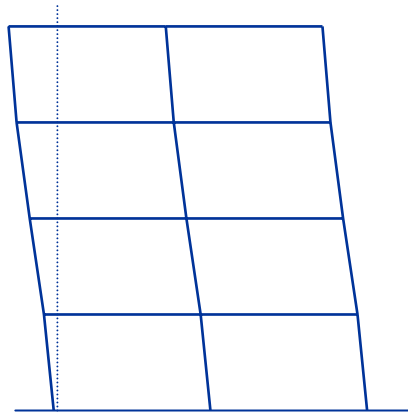
Napoli,  
Facoltà di  
Ingegneria

23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

# Danni ai tramezzi



Napoli,  
Facoltà di  
Ingegneria



23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

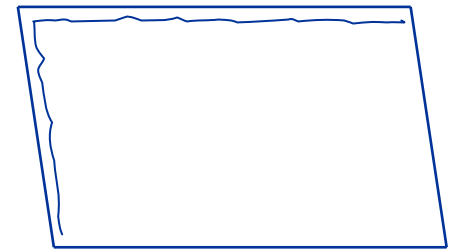
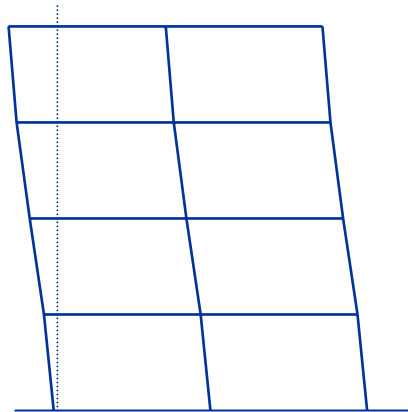


# Danni ai tramezzi



Napoli,  
Facoltà di  
Ingegneria

23/11/1980 - Irpinia e Basilicata



oppure distacco  
dei tramezzi dagli  
elementi strutturali

# 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

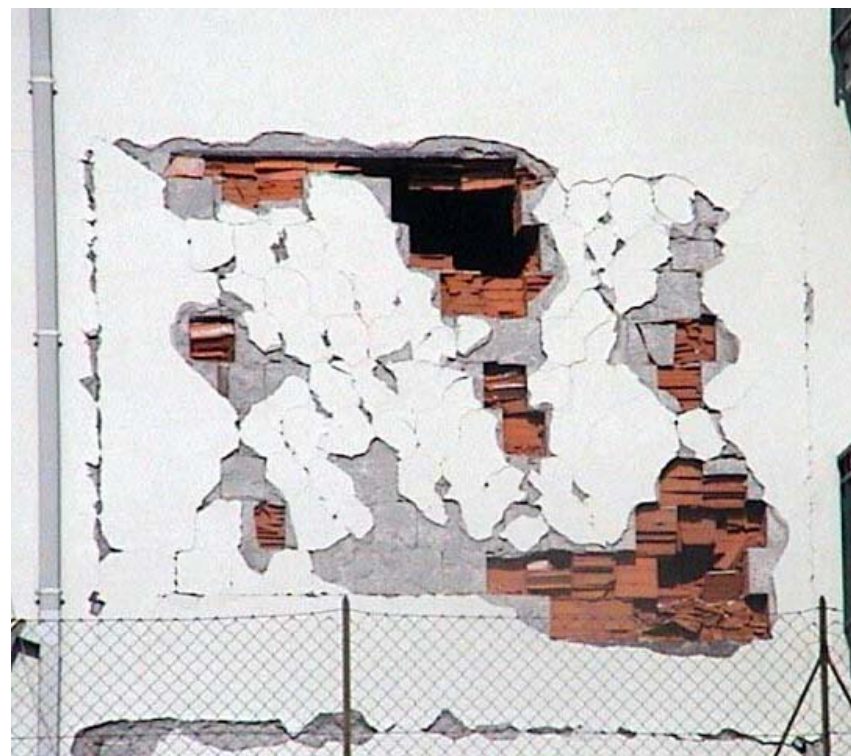


2002 - Santa Venerina

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



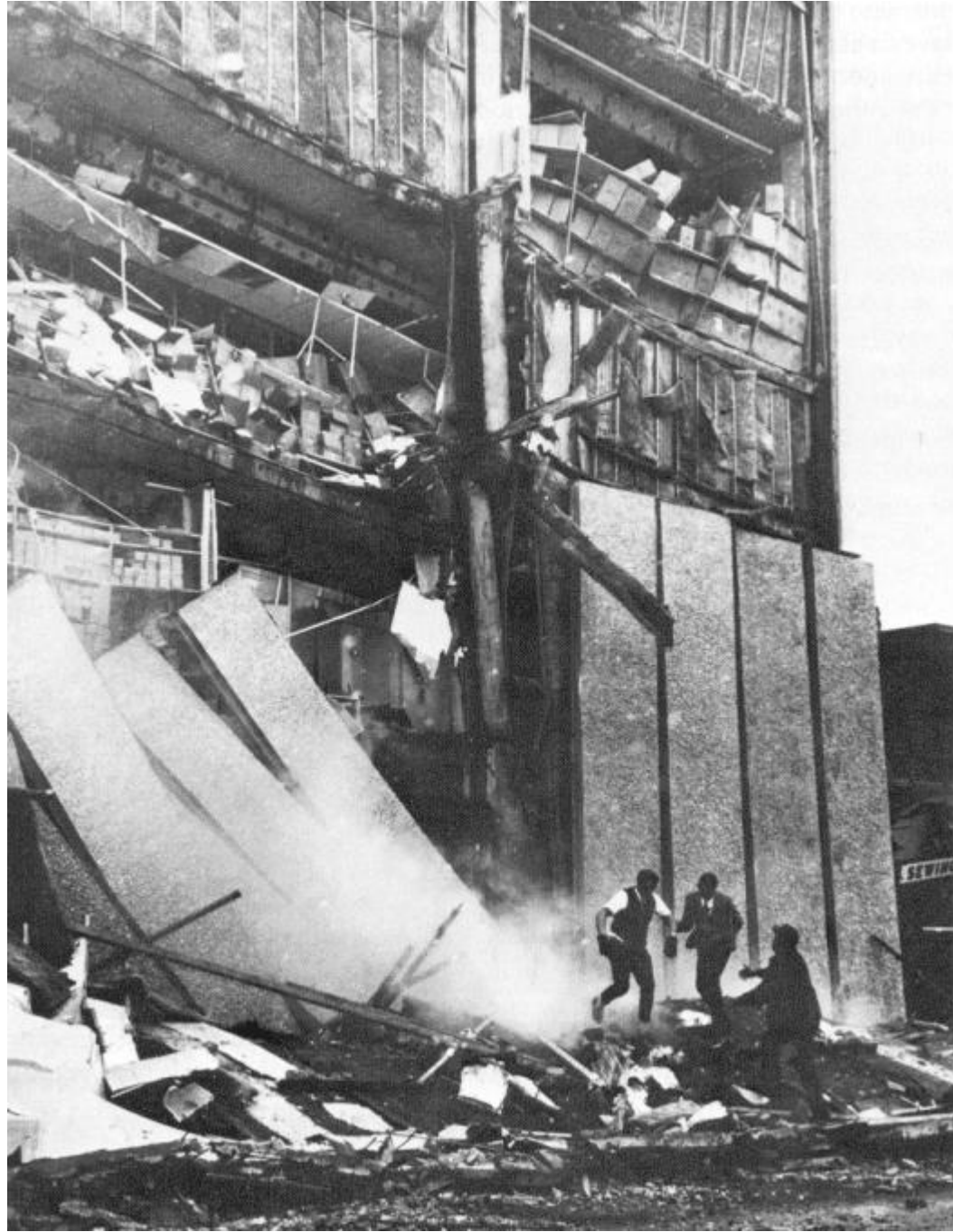
1994 - Northridge



Espulsione delle  
pareti di  
tamponamento

Rischio di  
perdita di vite

1964 - Alaska



# Altre conseguenze dei terremoti

Incendi

Rottura delle  
condotte idriche



1906 - San Francisco

# Problematiche:

per terremoti con basso periodo di ritorno

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



I terremoti:  
quali effetti producono?

2 - Effetti transitori

Accelerazione sismica  
elevata



# Danno agli elementi strutturali



# 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



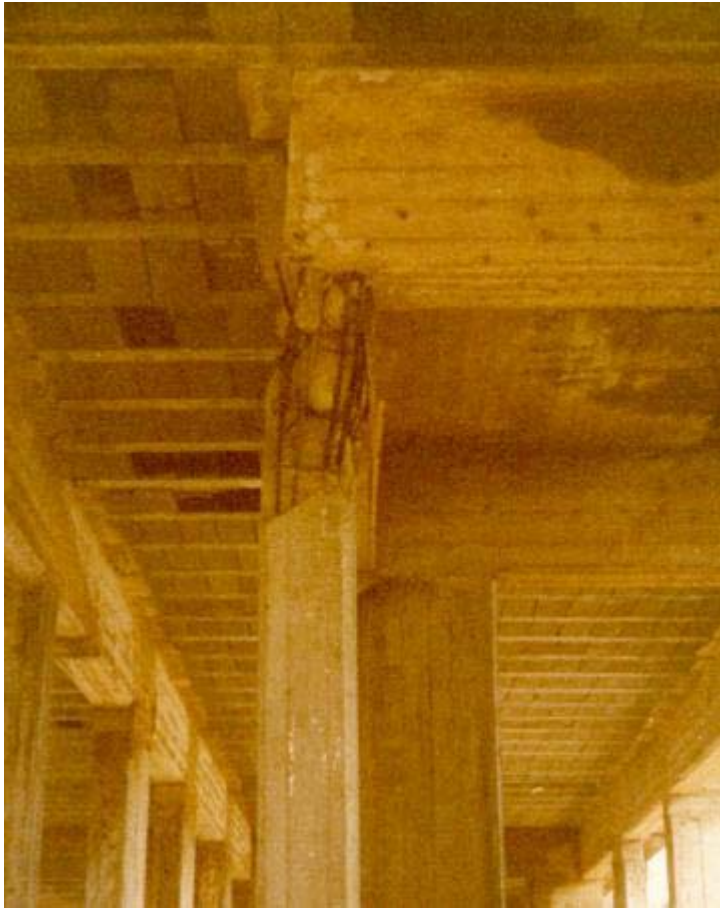
Mancanza di  
staffe in testa  
al pilastro



La barra  
compressa si  
instabilizza



# Danni e difetti costruttivi ...



S. Angelo dei Lombardi,  
edificio in costruzione



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

... possono portare a meccanismi di piano





# Meccanismi di piano - senza crollo



1999 – Turchia

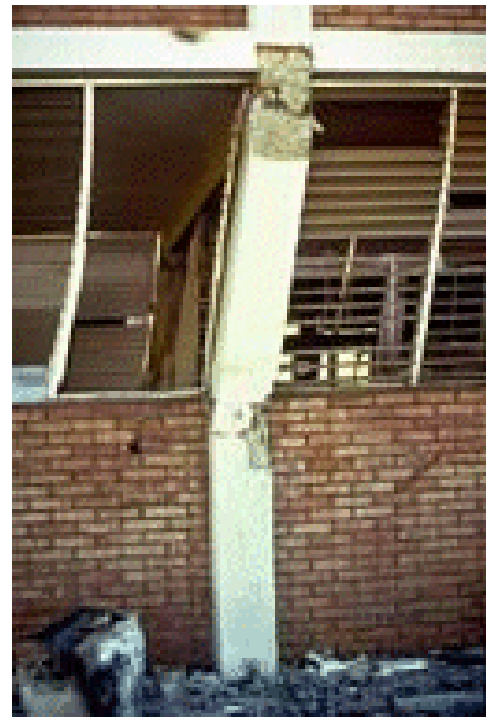
# Meccanismi di piano - senza crollo



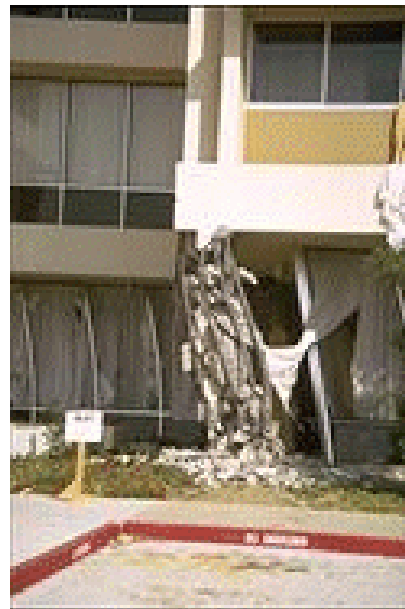
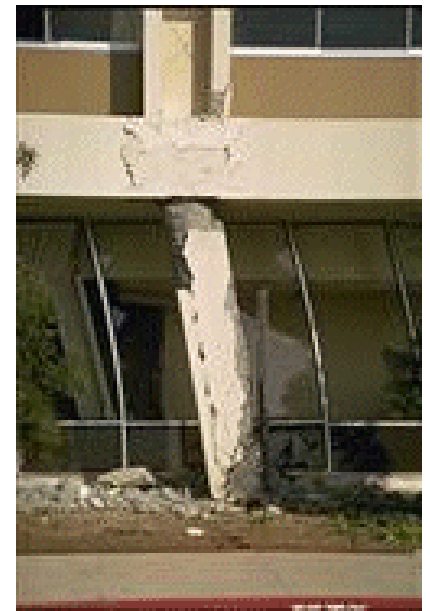
1999 – Turchia



# Meccanismi di piano - senza crollo



# Meccanismi di piano - senza crollo



1971 – San Fernando

# Ma il danno progredisce ...



Espulsione di blocchi di  
calcestruzzo

Scorrimento  
lungo la lesione





... con risultati fatali



1999 – Turchia

foto A. Gherzi



# Perdita del piano inferiore



1999 – Turchia (?)

# Perdita del piano inferiore

Lioni,  
edificio del Banco di Napoli



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

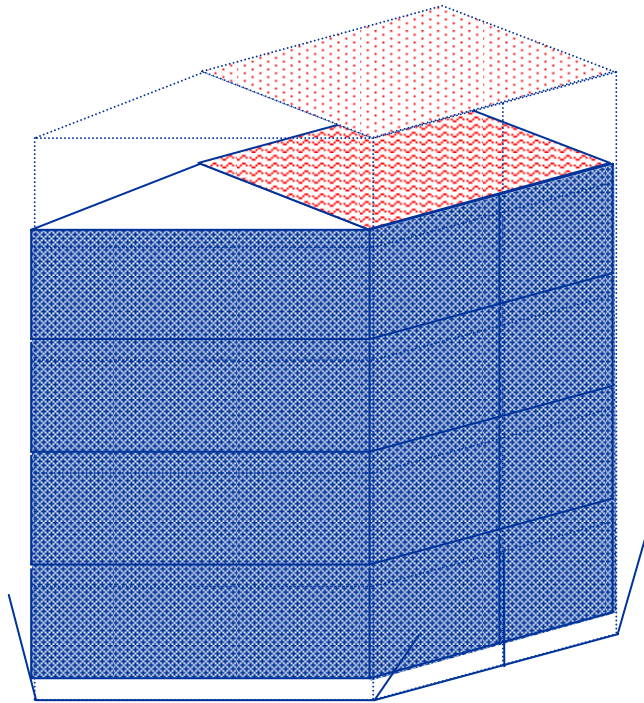


# Lioni, edificio del Banco di Napoli



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

# Lioni, edificio del Banco di Napoli



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata



# Lioni, edificio del Banco di Napoli



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

# Lioni, edificio del Banco di Napoli



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata



# Perdita del piano inferiore - altri esempi



1999 – Turchia (?)

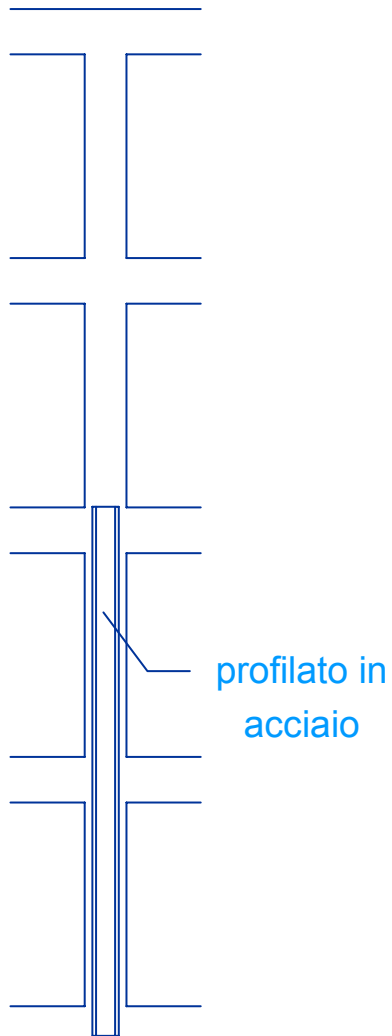
# Perdita del piano inferiore



1995 – Kobe



# Perdita di un piano intermedio



1995 – Kobe

# Perdita di un piano intermedio



1995 – Kobe



# Perdita di un piano intermedio

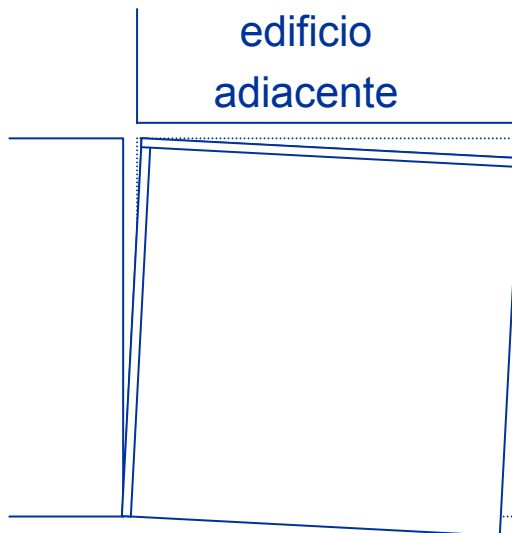


1995 – Kobe



# Perdita di un piano intermedio

possibili effetti torsionali  
in pianta



1995 – Kobe

# Ma tra i difetti ...

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



... la trascuratezza  
degli operai



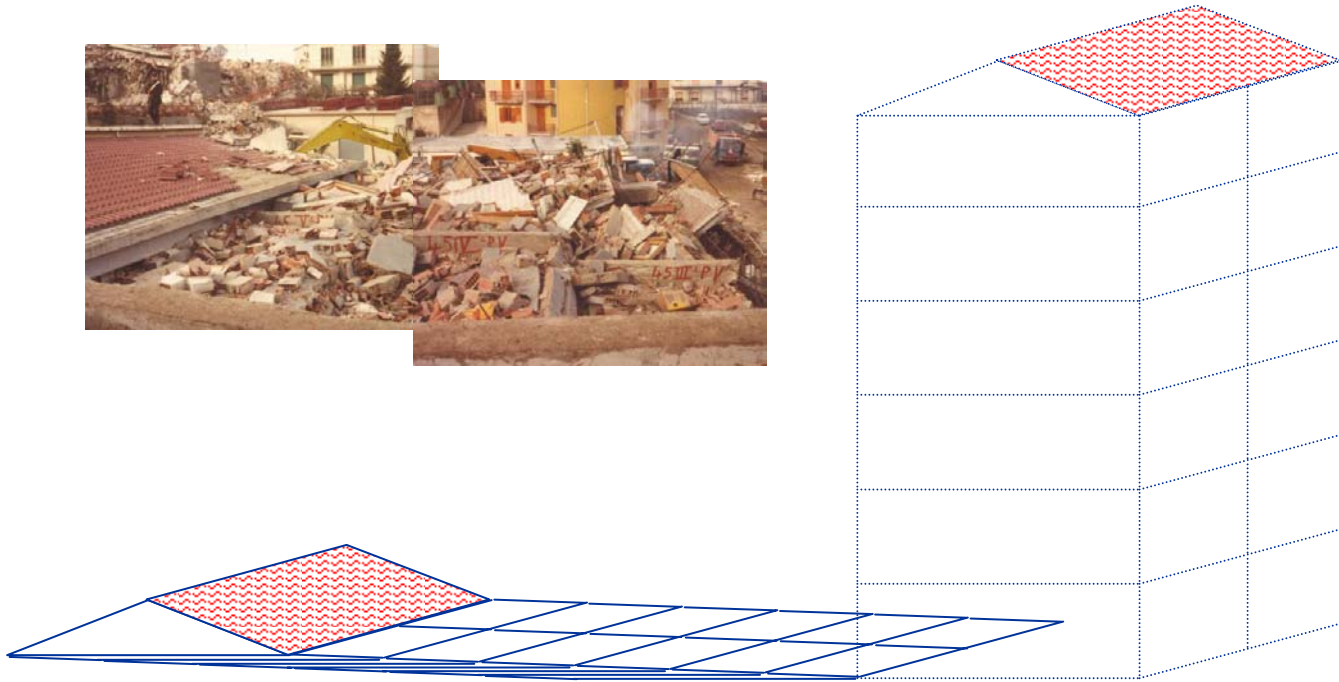
# Risultato: crollo totale, con traslazione degli impalcati

S. Angelo dei Lombardi,  
edificio 1





# Crollo totale, con traslazione degli impalcati



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



1994 – Northridge

# Automobili schiacciate dagli edifici



1994 – Northridge



# S. Angelo dei Lombardi

## Edificio 2



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata



# S. Angelo dei Lombardi edificio 2



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

# S. Angelo dei Lombardi edificio 2



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata



# S. Angelo dei Lombardi edificio 2



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

# S. Angelo dei Lombardi edificio 2



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata



## S. Angelo dei Lombardi - edificio 2



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata



# S. Angelo dei Lombardi

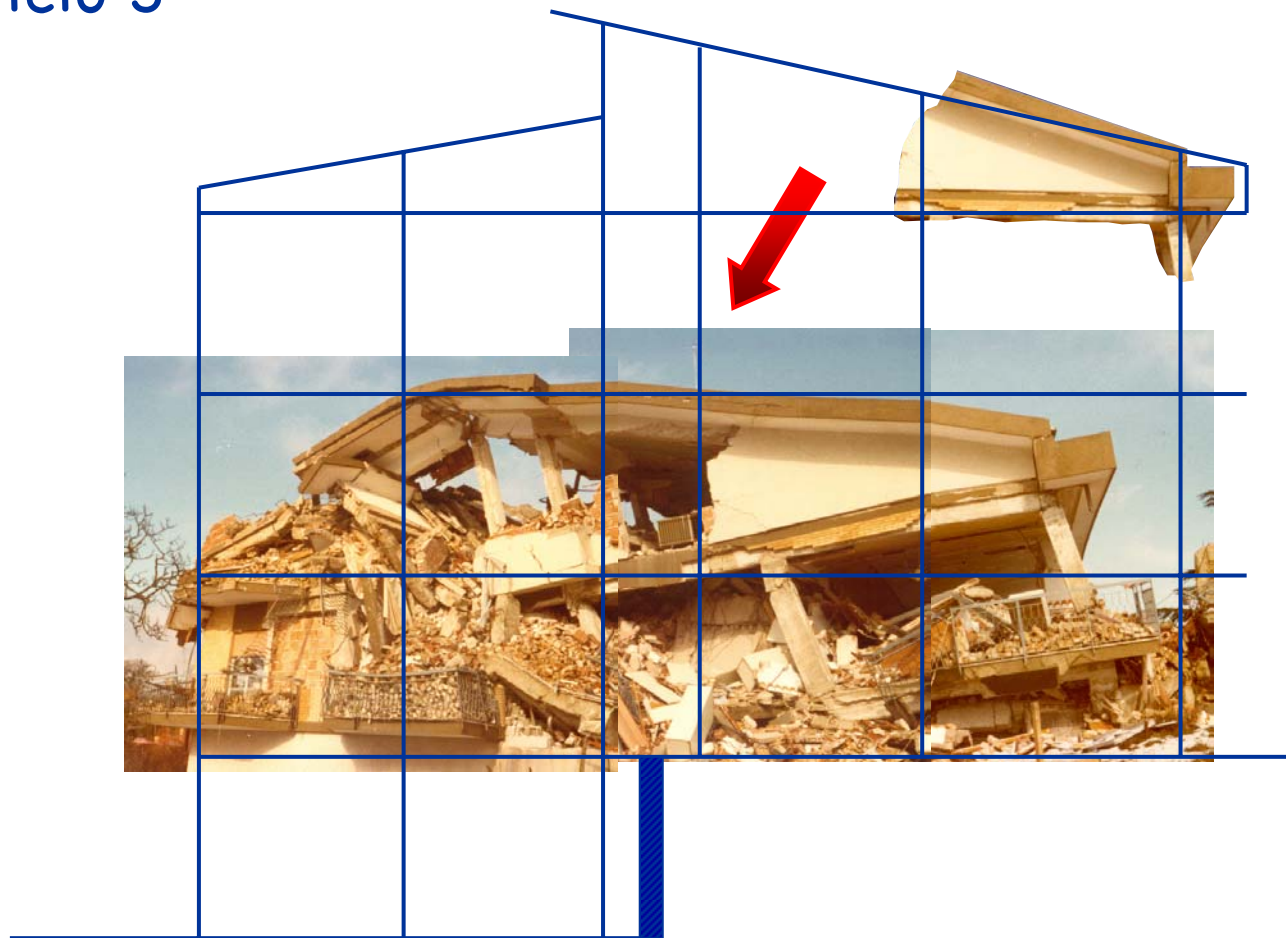
## Edificio 3



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

# S. Angelo dei Lombardi

## edificio 3





# S. Angelo dei Lombardi edificio 3



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata



## S. Angelo dei Lombardi - edificio 3



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

# Crollo totale - tipico (pilastri scadenti)



1999 – Turchia



# Crollo totale



1999 – Turchia



# Crollo totale - pilastri di ottima fattura



1994 – Northridge

# Crollo totale



1994 – Northridge



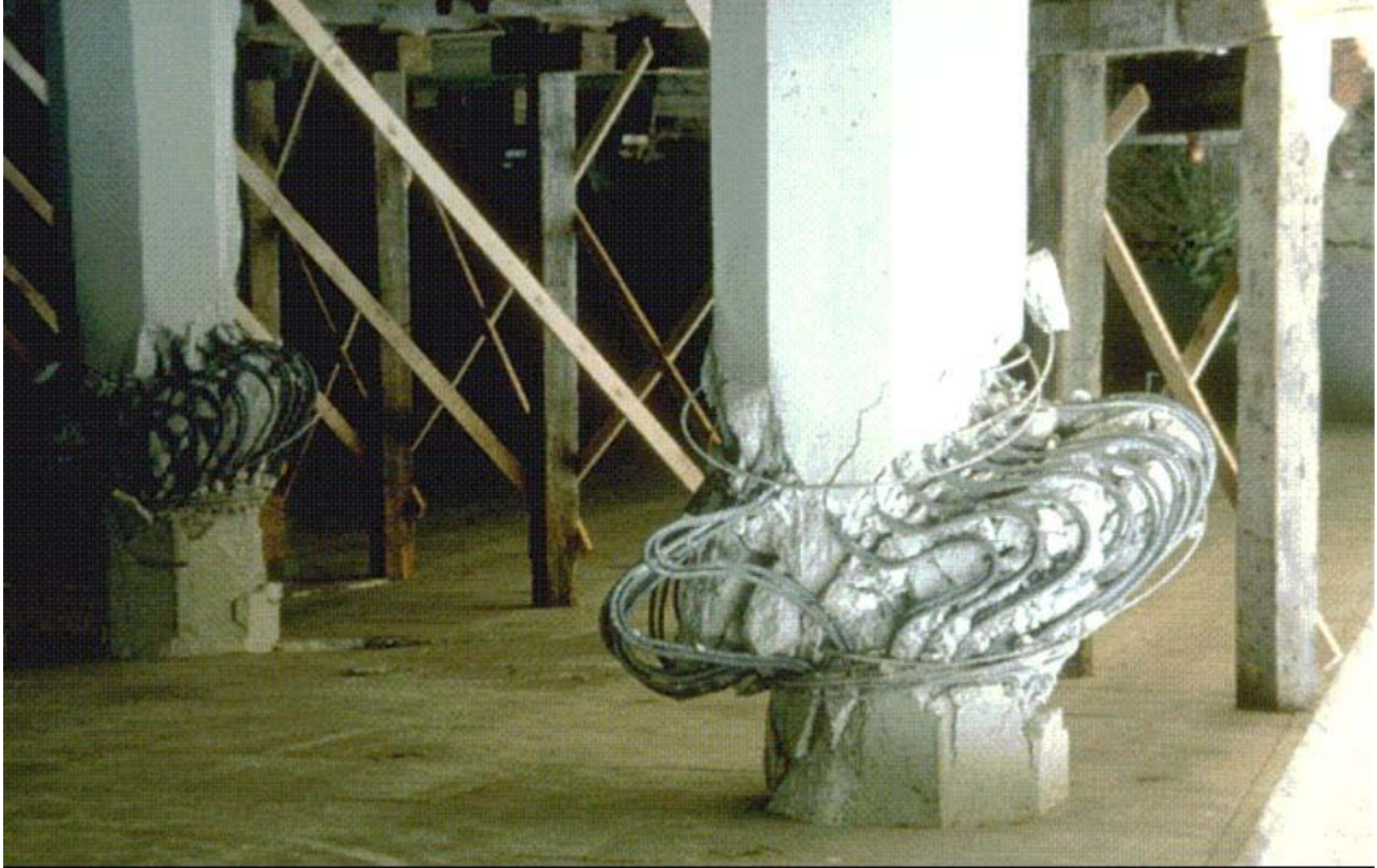
# Particolari dei pilastri



1994 – Northridge



# Particolari dei pilastri



1994 – Northridge

# Particolari dei pilastri



1994 – Northridge

# 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



I terremoti:  
qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

Indicazioni della  
normativa

# Prime norme sismiche in Italia

Fine '700 ed '800:

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

C1

Subito dopo il terremoto di Messina (1908):

R.D. 18 aprile 1909, n.193

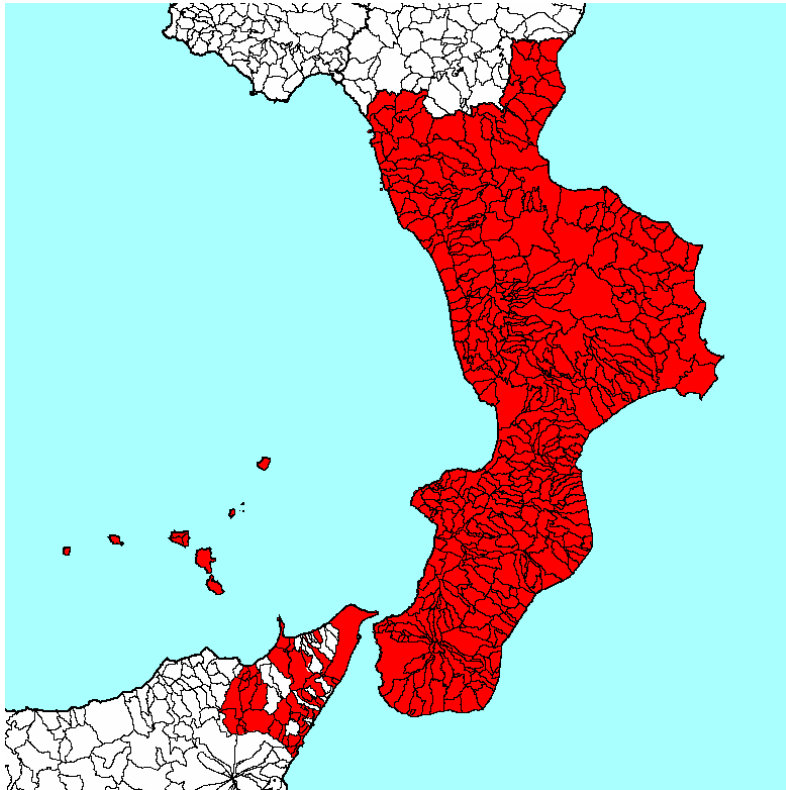
impone di tener conto, nei calcoli di resistenza delle costruzioni, di "azioni dinamiche dovute al moto sismico ondulatorio, rappresentandole con accelerazioni applicate alle masse del fabbricato"



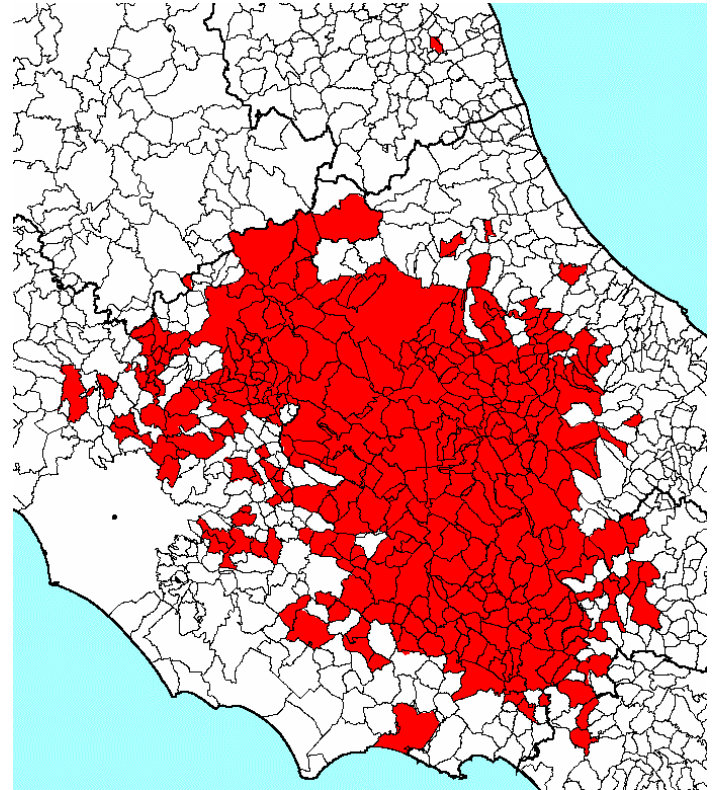
# Classificazione sismica, nel passato

in base ai danni provocati dai terremoti avvenuti

**Terremoto:  
Messina, 1908  
RD n. 193/1909**

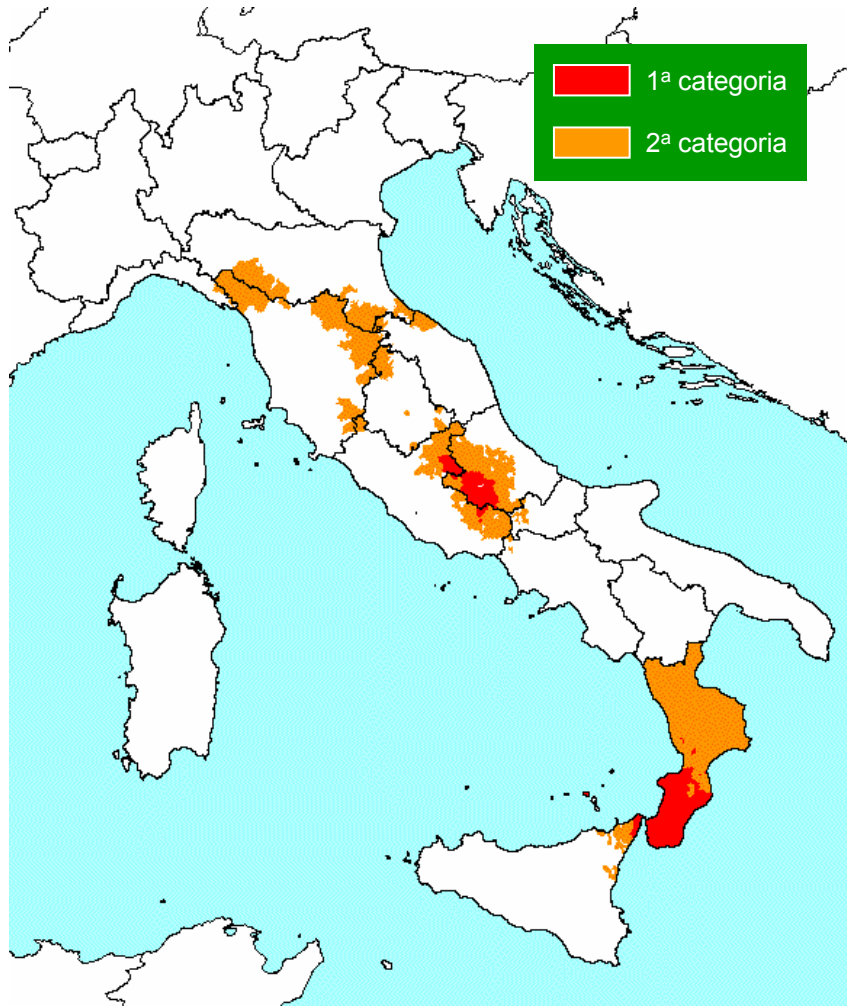


**Terremoto:  
Avezzano, 1915  
RD n. 573/1915**

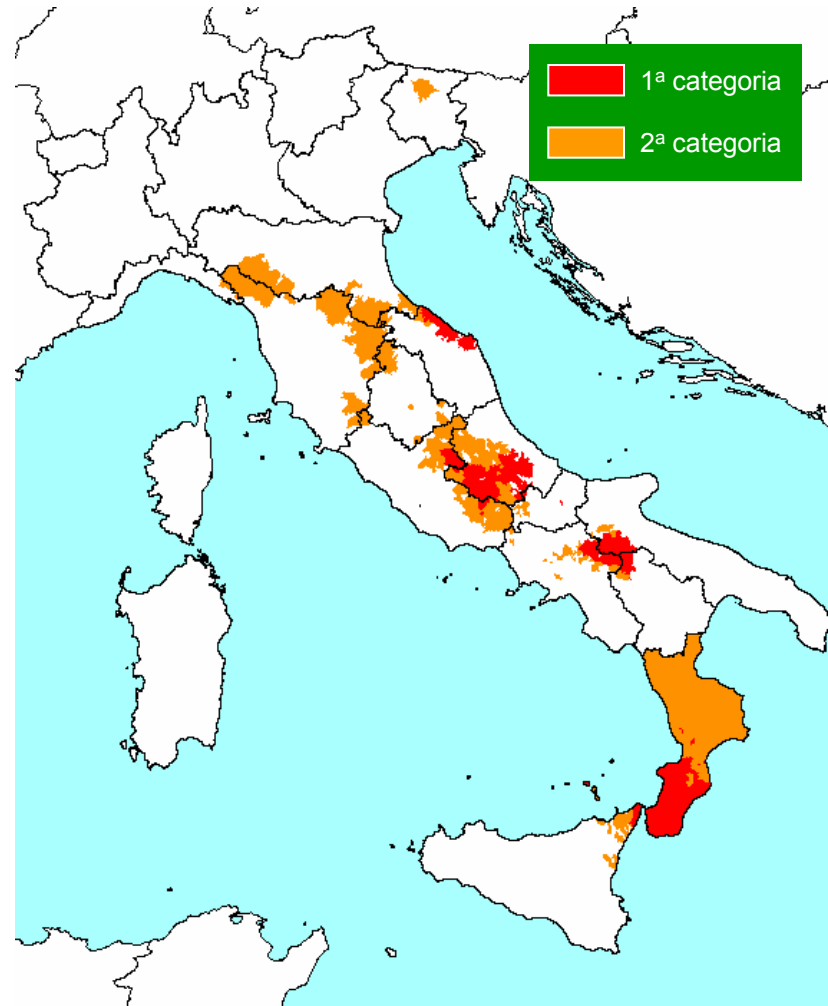


# Classificazione sismica, nel passato

**RD n. 431/1927**



**RD n. 640/1935**



# Principali norme del '900

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

Legge 25 novembre 1962, n. 1684

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)

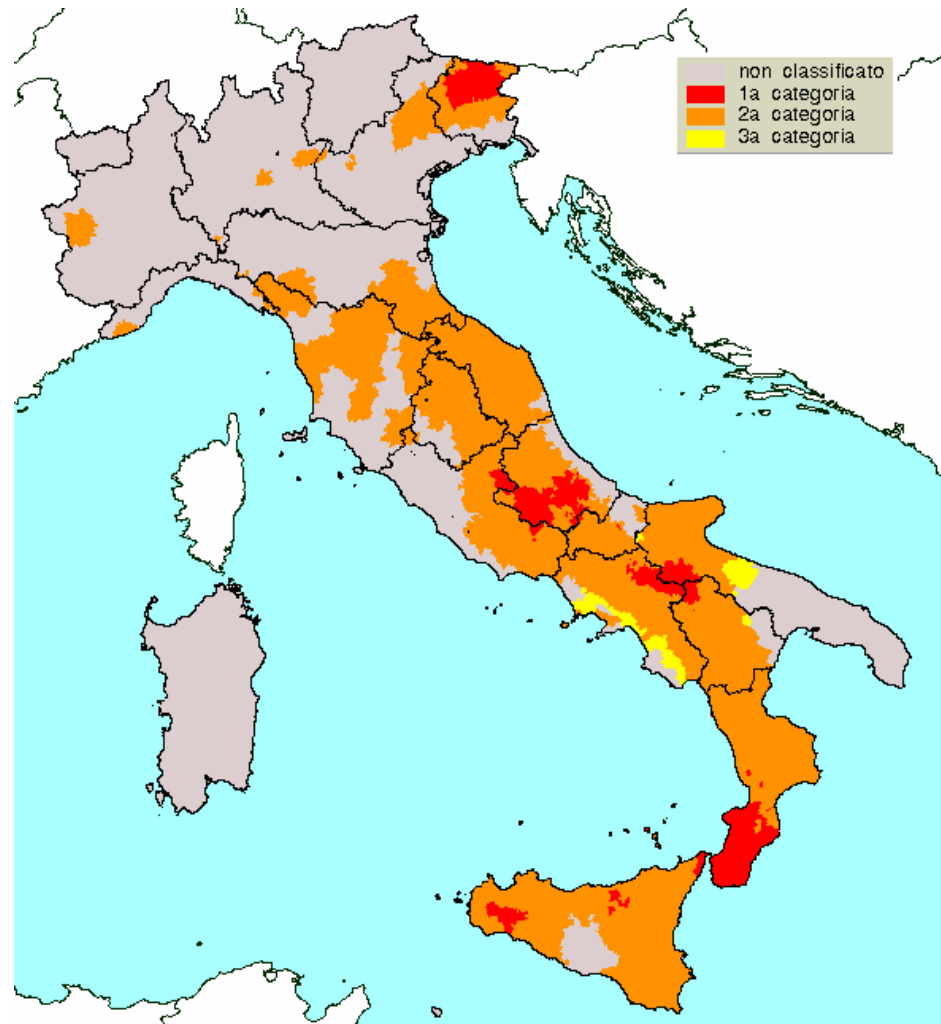


# Classificazione sismica, anni '80

ancora legata ai danni provocati dai terremoti

Zona
1ª categoria
2ª categoria
3ª categoria
non classificato

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



# Principali norme del '900

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

D.M. 24 gennaio 1986

Introduce un "coefficiente di importanza" →

C3

D.M. 16 gennaio 1996

Consente la verifica col metodo degli stati limite

Introduce limiti agli spostamenti di interpiano →

D

# Oggi, 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

D.M. 14 gennaio 2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni

Sostanzialmente in linea con gli Eurocodici

Prime basi di "Performance based design"





# Oggi, all'estero

## Eurocodice 8

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

## Norme americane FEMA

Introducono il concetto di "Performance based design" → 

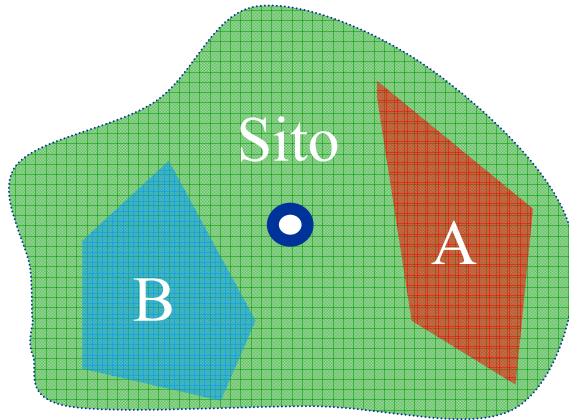
cioè

prestazione richiesta per un assegnato terremoto

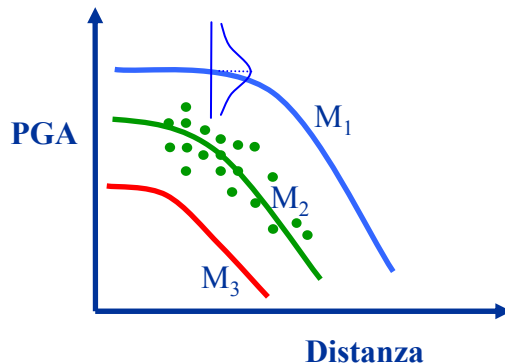
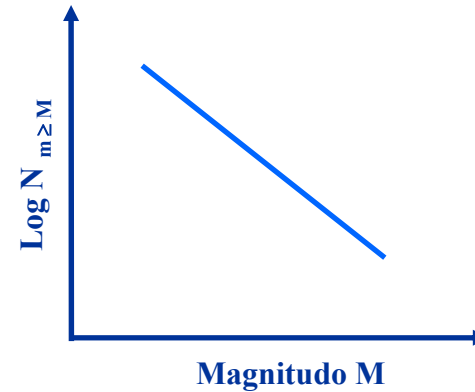
# Classificazione sismica, oggi

## Valutazione probabilistica della pericolosità sismica

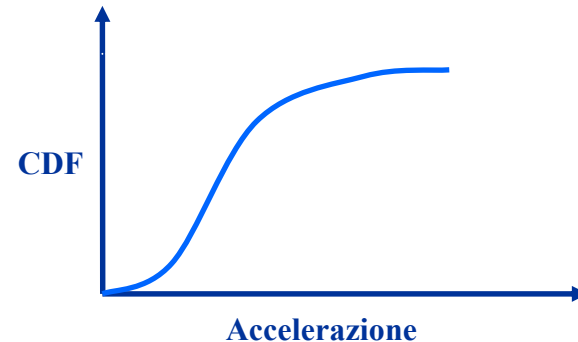
**Fase 1 - Zone**



**Fase 2 - Ricorrenza**



**Fase 3 - Attenuazione**



**Fase 4 - Probabilità**

# 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

Esempio: periodo di ritorno di 475 anni

oppure

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



# Classificazione sismica, oggi

Quali valori di riferimento per la progettazione sismica?

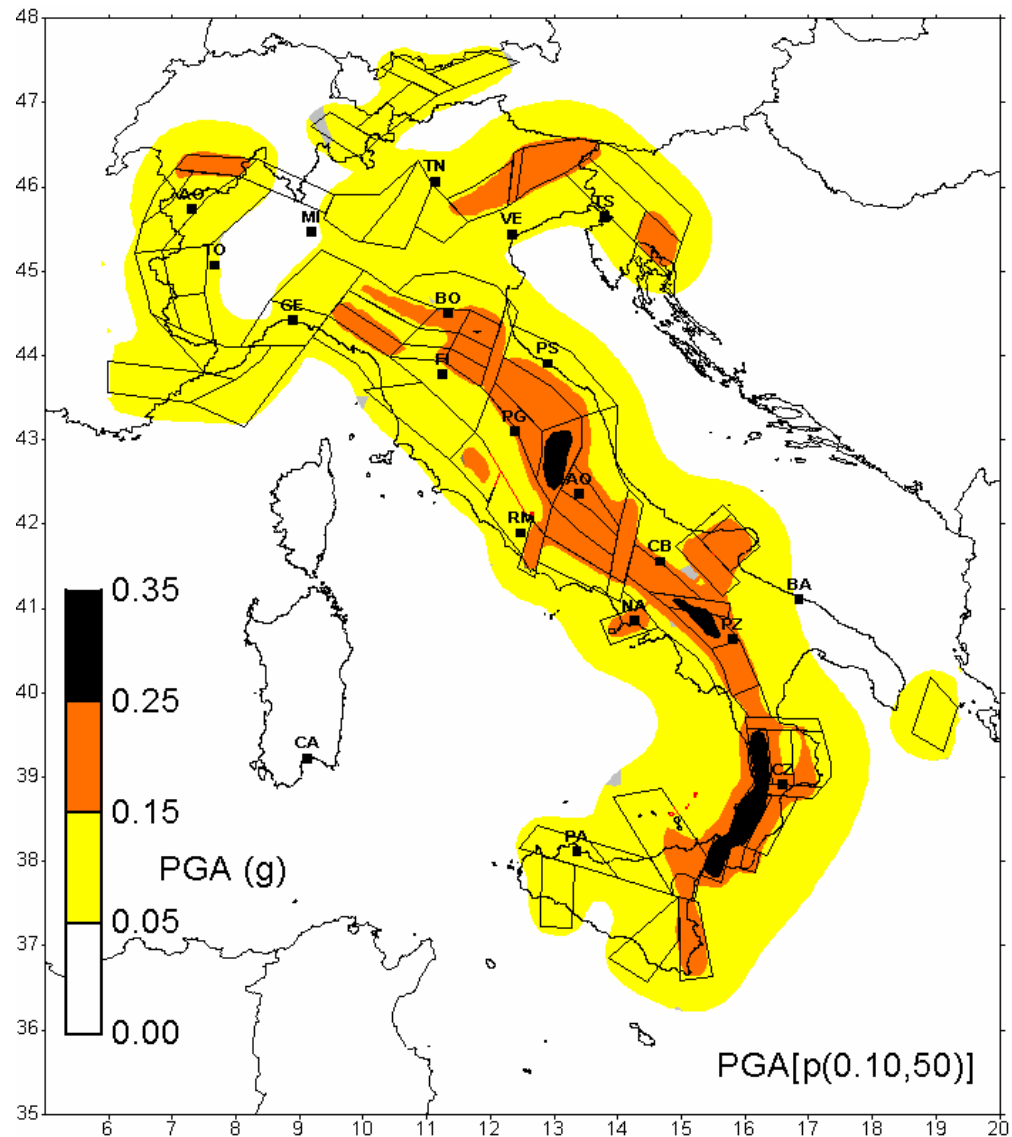
Obiettivo:

Evitare significativi danni agli elementi strutturali e non strutturali.  
Mantenere ancora un consistente margine nei confronti del collasso.  
Si accetta che la funzionalità dell'edificio sia compromessa

Deve essere garantito per un terremoto con probabilità di superamento  $P_{VR}$  del 10% nel periodo di riferimento  $V_R$

# Analisi di pericolosità

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

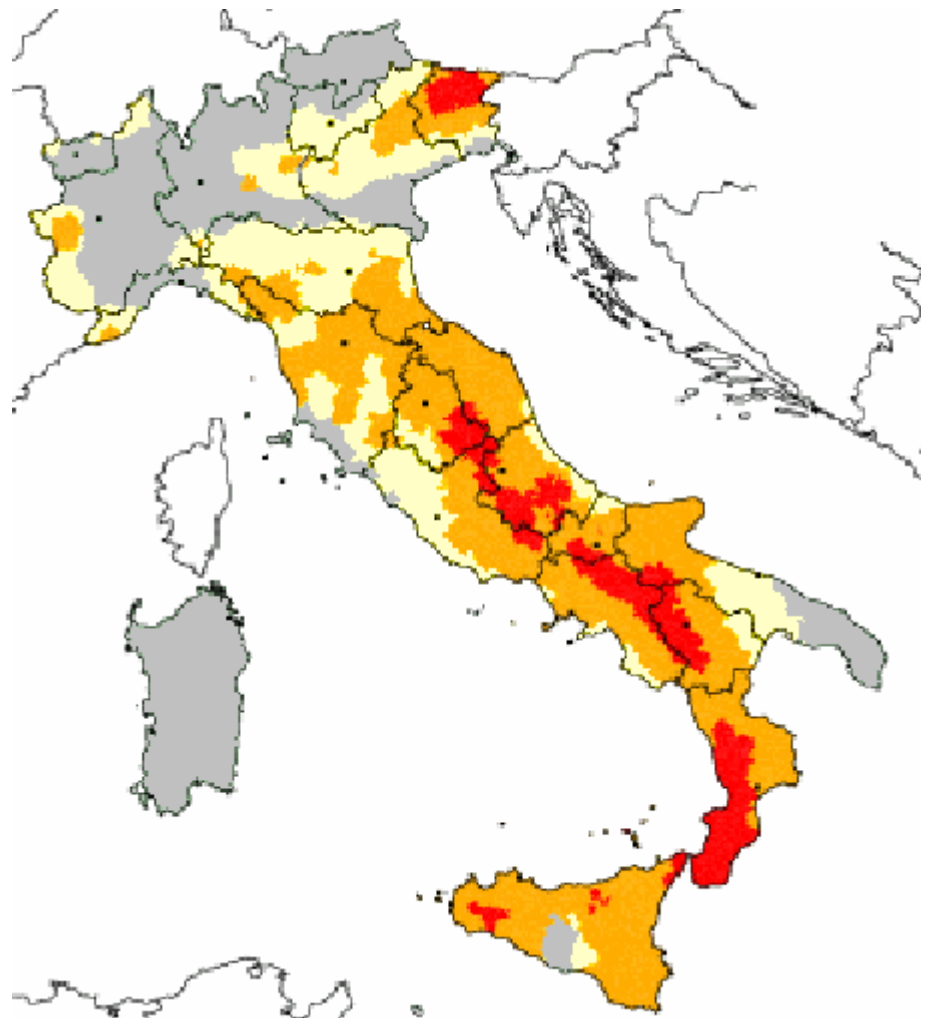


# Classificazione sismica (ordinanza 3274)

Nota: questi valori sembrano molto grandi rispetto a quelli usati nel passato per l'analisi sismica col metodo T.A.

Bisogna tener conto della differenza di impostazione delle nuove norme

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





# Classificazione sismica oggi (NTC 08)

Dati disponibili in 10751 punti

- griglia di circa 10 km di lato
- interpolare per punti interni alla griglia

Dati sismici forniti

- $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  (consentono di definire lo spettro)
- forniti per 9 valori di  $T_R$  (da 30 a 2475 anni)
- interpolare per  $T_R$  non inclusi nell'elenco

Tabella pubblicata come allegato al D.M. 14/1/2008

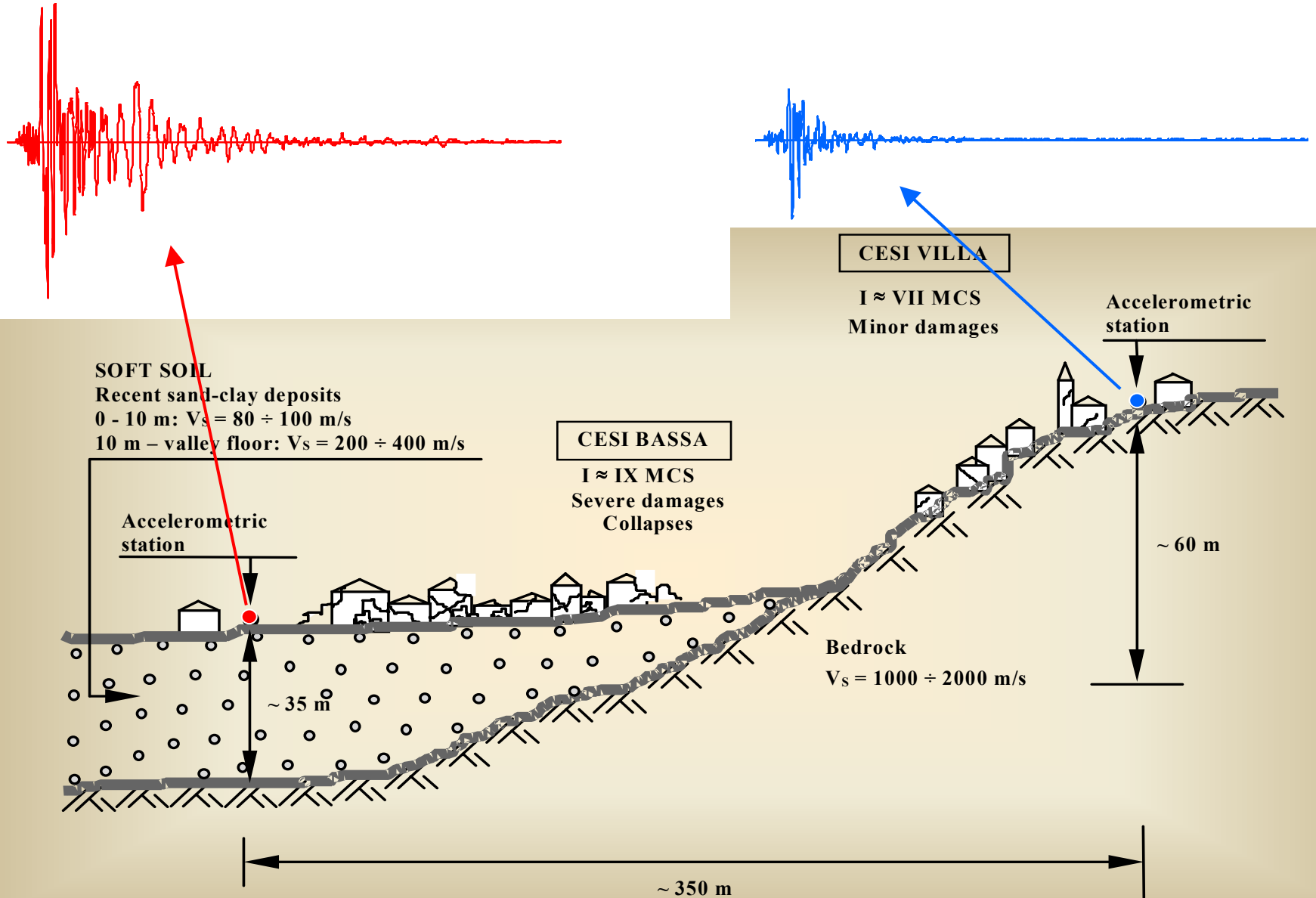
# Spettri di risposta NTC 08

parametri  $a_g$   $F_o$   $T_C^*$

ID	LON	LAT	$T_R=30$			$T_R=50$		
			$a_g$	$F_o$	$T_C^*$	$a_g$	$F_o$	$T_C^*$
13111	6.5448	45.134	0.263	2.50	0.18	0.340	2.51	0.21
13333	6.5506	45.085	0.264	2.49	0.18	0.341	2.51	0.21
13555	6.5564	45.035	0.264	2.50	0.18	0.340	2.51	0.20
13777	6.5621	44.985	0.263	2.50	0.18	0.338	2.52	0.20
12890	6.6096	45.188	0.284	2.46	0.19	0.364	2.51	0.21
13112	6.6153	45.139	0.286	2.46	0.19	0.366	2.51	0.21
13334	6.621	45.089	0.288	2.46	0.19	0.367	2.51	0.21
13556	6.6268	45.039	0.288	2.46	0.19	0.367	2.51	0.21
13778	6.6325	44.989	0.288	2.46	0.19	0.366	2.52	0.21
14000	6.6383	44.939	0.286	2.47	0.19	0.363	2.52	0.21
14222	6.6439	44.889	0.284	2.47	0.19	0.360	2.53	0.21
12891	6.6803	45.192	0.306	2.43	0.20	0.389	2.50	0.21

vedremo più avanti come trovarli e usarli

# Influenza del terreno e microzonazione





# Influenza del terreno e microzonazione

- Ci possono essere localmente forti variazioni dell'azione sismica
  - amplificazione dell'accelerazione sulle creste
  - variazione del contenuto in frequenza in zone di depositi alluvionali
  - possibili amplificazioni in zone di depositi per effetto di rifrazione delle onde sismiche
- La nuova normativa ne tiene conto in alcuni casi
  - tipo di suolo: A, B, C, D, E
  - categoria topografica: pendio, cresta
- In altri casi occorrono studi geologici e geotecnici locali

# 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 estremamente modesti agli elementi non strutturali, tali da non compromettere in alcun modo la funzionalità dell'edificio

#### Stato Limite di Danno - SLD

Danni modesti agli elementi non strutturali e quasi nulli a quelli strutturali. L'utilizzo dell'opera dopo il sisma dovrebbe essere consentito, anche se alcune funzionalità potrebbero risultare compromesse

# Livelli di prestazione

## Ovvero Stati Limite da rispettare

### Stati Limite Ultimi

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

Significativi danni agli elementi strutturali e non strutturali.  
Esiste ancora un consistente margine nei confronti del collasso.  
La funzionalità dell'edificio è compromessa

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

La capacità dell'edificio di portare azioni orizzontali e verticali è compromessa. L'uso dell'edificio dopo l'evento sismico comporterebbe un sensibile livello di rischio



# 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

\* Per  $V_R = 50$  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:

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

# Obiettivi prestazionali

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

**Prestazioni  
non accettabili**

**Obiettivi  
di base**

*Strutture critiche per la sicurezza*

NTC 08



# Vita di riferimento $V_R$

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 \ 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

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

"cambiare tutto per non cambiare niente"

- 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

# Classificazione sismica oggi (NTC 08)

La normativa fornisce  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$

A che servono?

- consentono di definire lo spettro di risposta  
(di cui parleremo tra poco)

I valori sono forniti per ogni punto e per qualsiasi periodo di ritorno

Serve veramente tutta questa precisione?



# Determinazione dei dati sismici

Periodo di riferimento  $V_R$

http://www.acca.it/EdiLus-MS/

## EdiLus-MS

Mappe Sismiche

EdiLus-MS è il software ACCA per individuare la pericolosità sismica di tutte le località italiane direttamente dalla mappa. Scrivi l'indirizzo e/o sposta il segnalino sul sito che ti interessa e otterrai dinamicamente tutti i parametri di pericolosità sismica.

ad es. "Via M. Ciandulli, 114 MONTEFALCONE"

via di Villa Redenta, Spoleto (PG)

Cerca

classe

indirizzo

vita  
nominale

Latitudine

42.74480607

Longitudine

12.74130821

Classe dell'edificio

II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti...

Vita Nominale Struttura .....

50

Periodo di Riferimento per l'azione sismica ..... 50



### Parametri di pericolosità Sismica

"Stato Limite"	$T_r$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T^*_c$ [s]
Operatività	30	0.071	2.422	0.270
Danno	50	0.089	2.416	0.280
Salvaguardia Vita	475	0.222	2.385	0.320
Prevenzione Collasso	975	0.284	2.392	0.332



ACCA software S.p.A.  
il software per l'edilizia

Tel.: 0827/69.504 - Fax: 0827/60.12.35  
P.IVA 01883740647 - E-mail: info@acca.it

42.74387633, 12.74042845

# Determinazione dei dati sismici

Periodo di riferimento  $V_R$

indirizzo

classe

vita nominale

EdiLus-MS  
Mappe Sismiche

EdiLus-MS è il software ACCA per individuare la pericolosità sismica di tutte le località italiane direttamente dalla mappa. Scrivi l'indirizzo e/o sposta il segnalino sul sito che ti interessa e otterrai dinamicamente tutti i parametri di pericolosità sismica.

ad es. "via Mt.Ciandulli, 114 MONTEFALCONE"

via di Villa Redenta, Spoleto (PG)

Cerca

latitudine  
42.74480607

longitudine  
12.74130821

Classe dell'edificio  
II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti...

Vita Nominale Struttura ..... 50

Periodo di Riferimento per l'azione sismica ..... 50

Dati corrispondenti

Stato limite e periodo di ritorno

Parametri di pericolosità Sismica

"Stato Limite"	$T_r$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T^*_c$ [s]
Operatività	30	0.071	2.422	0.270
Danno	50	0.089	2.416	0.280
Salvaguardia Vita	475	0.222	2.385	0.320
Prevenzione Collasso	975	0.284	2.392	0.332

42.74387633, 12.74042845

# Una ulteriore considerazione: evoluzione dell'approccio normativo

Precedente normativa italiana:

Impostazione cogente,  
prescrizionale

indicazioni da seguire,  
obbligatoriamente

Norme europee, nuova normativa italiana:

Impostazione prestazionale

- Principi

obiettivi da raggiungere,  
obbligatori

- Regole applicative

come farlo, consigli  
"autorevoli" ma non obbligatori

# Impostazione prestazionale

- Principi obiettivi da raggiungere, obbligatori
- Regole applicative come farlo, consigli "autorevoli" ma non obbligatori

Giusto, ma...

- Come si capisce se un punto della norma è un principio oppure una regola applicativa?
- Se è una regola applicativa, come si giustifica un modo di procedere diverso da quello indicato?
- Come si valuta la responsabilità
  - del progettista
  - di chi controlla