

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

Catania

11-26 novembre 2008

Aurelio Gheresi

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

Catania

11-26 novembre 2008

Aurelio Gheresi

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

Catania

11-26 novembre 2008

Aurelio Gheresi

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

Catania

11-26 novembre 2008

Aurelio Gheresi

# I terremoti

Cosa sono?

Quali effetti producono?

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

# I terremoti

Cosa sono?

Quali effetti producono?

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

# I terremoti

Cosa sono?

Quali effetti producono?

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

# I terremoti

Cosa sono?

Quali effetti producono?

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

# I terremoti

Cosa sono?      Già discusso nel  
                        primo modulo

Quali effetti producono?

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

# I terremoti

Cosa sono?      Già discusso nel  
                        primo modulo

Quali effetti producono?

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

# I terremoti

Cosa sono?      Già discusso nel  
primo modulo

Quali effetti producono?

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

# I terremoti

Cosa sono?      Già discusso nel  
                                         primo modulo

Quali effetti producono?

Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

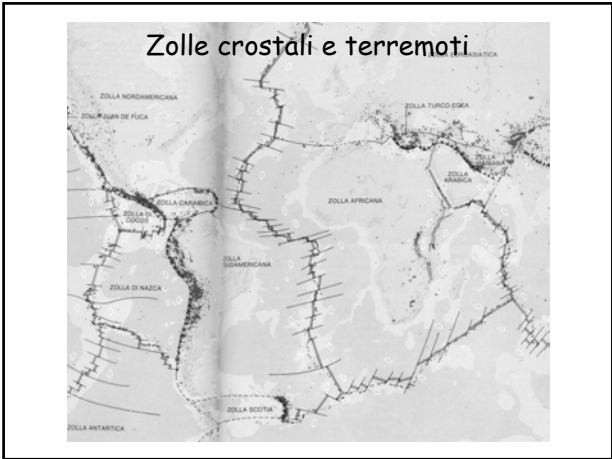
# I terremoti

Cosa sono?      Già discusso nel  
                                         primo modulo

Quali effetti producono?

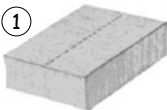
Qual è l'obiettivo della  
progettazione antisismica?

I terremoti:  
cosa sono?




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

1



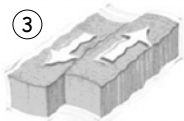
blocchi di crosta in riposo

2



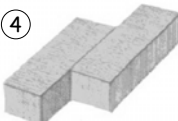
scorrimento impedito: deformazione con accumulo di energia

3

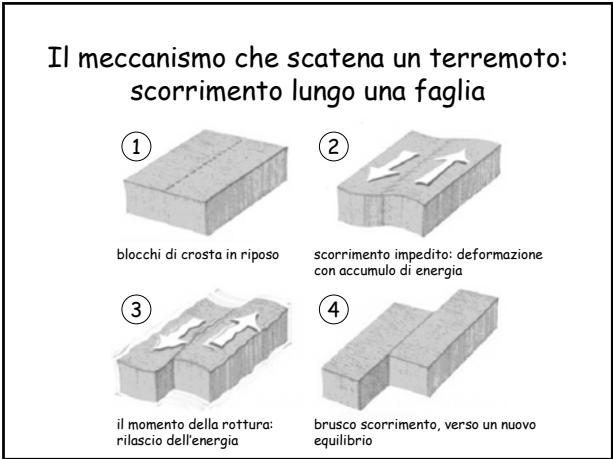


il momento della rottura:  
rilascio dell'energia

4

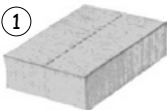


brusco scorrimento, verso un nuovo equilibrio




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

1



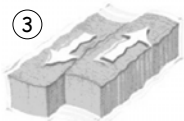
blocchi di crosta in riposo

2



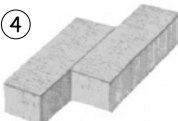
scorrimento impedito: deformazione con accumulo di energia

3

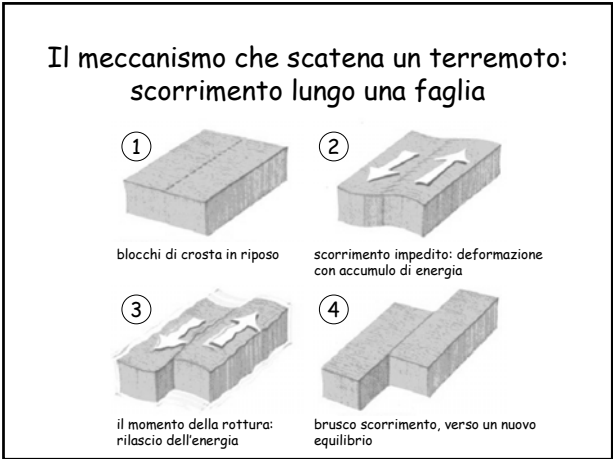


il momento della rottura:  
rilascio dell'energia

4

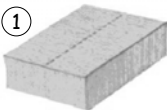


brusco scorrimento, verso un nuovo equilibrio




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

1



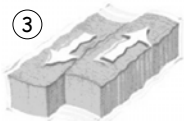
blocchi di crosta in riposo

2



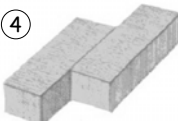
scorrimento impedito: deformazione con accumulo di energia

3

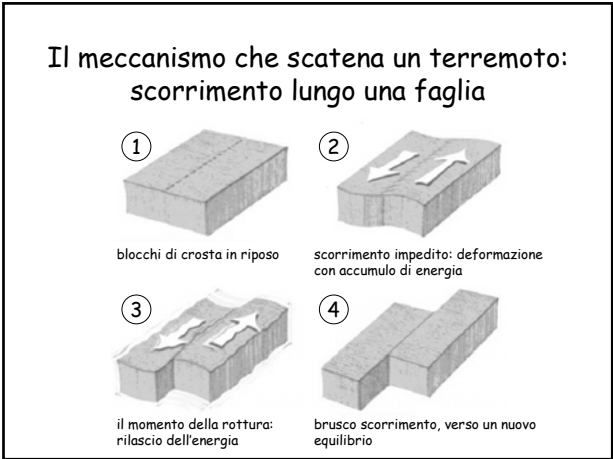


il momento della rottura:  
rilascio dell'energia

4

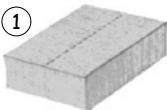


brusco scorrimento, verso un nuovo equilibrio




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

1



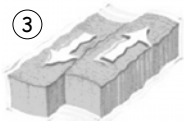
blocchi di crosta in riposo

2



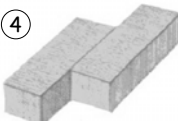
scorrimento impedito: deformazione con accumulo di energia

3

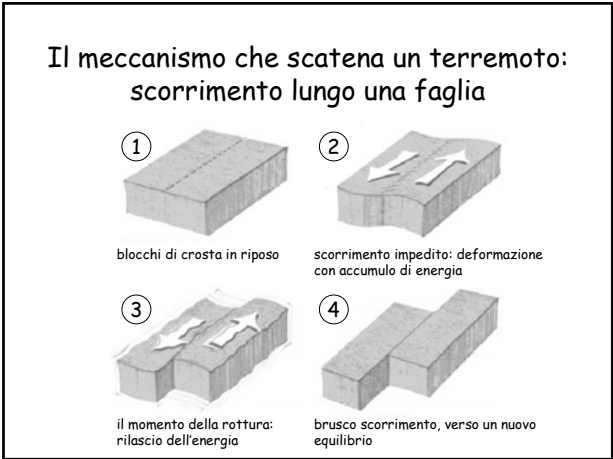


il momento della rottura:  
rilascio dell'energia

4

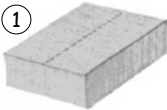


brusco scorrimento, verso un nuovo equilibrio




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

1



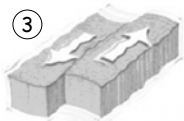
blocchi di crosta in riposo

2



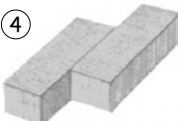
scorrimento impedito: deformazione  
con accumulo di energia

3

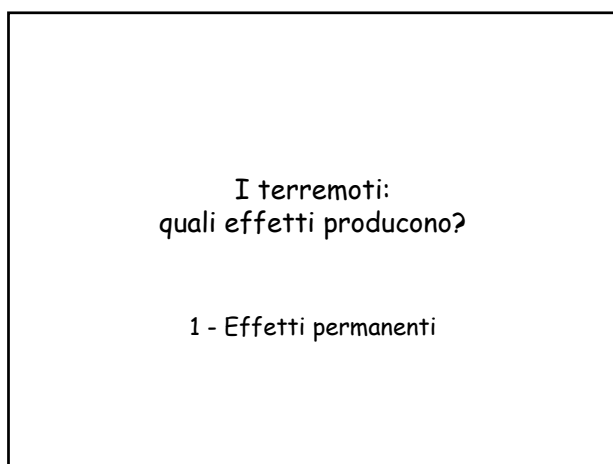
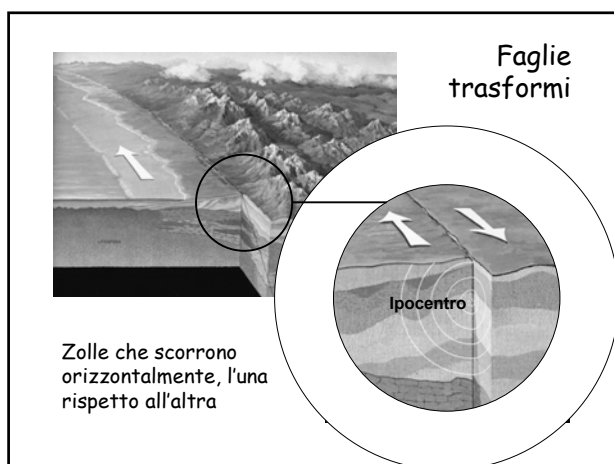
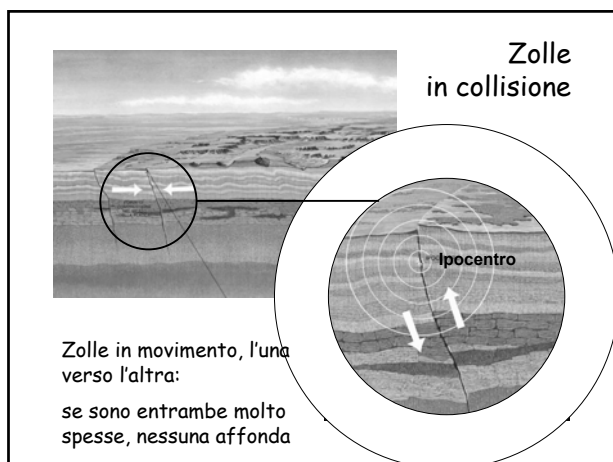
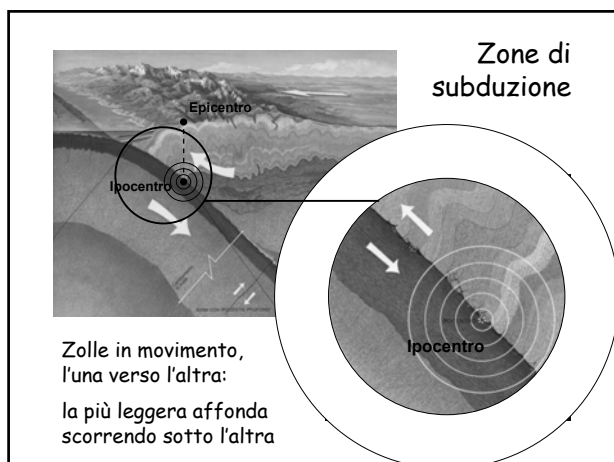


il momento della rottura:  
rilascio dell'energia

4



brusco scorrimento, verso un nuovo  
equilibrio





1948 - Giappone

Movimenti della faglia,  
smottamenti del terreno,  
frane



1999 - Turchia



12/4/1998 - Slovenia

Movimenti della faglia,  
smottamenti del terreno,  
frane



1999 - Turchia

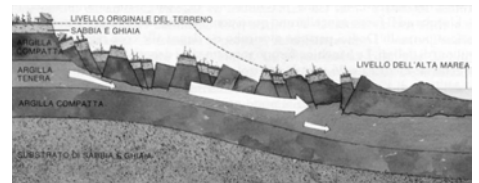


1997 - Umbria

Cedimenti del terreno



Liquefazione  
di strati  
sotterranei



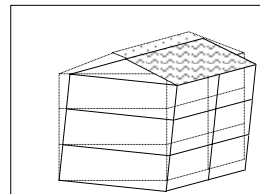
1964 - Alaska



1999 - Turchia

Liquefazione del terreno

Liquefazione del  
terreno



1999 - Turchia



## Liquefazione del terreno



1999 – Turchia

## Liquefazione del terreno



1999 – Turchia

## Liquefazione del terreno

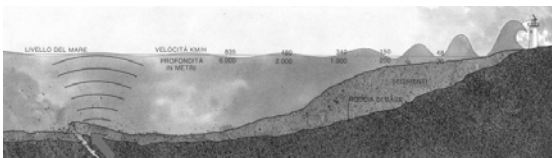


1999 – Turchia

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)

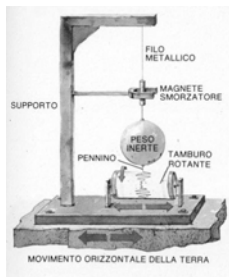
Al ridursi della profondità la velocità si riduce ma aumenta enormemente l'altezza dell'onda

## Moto del terreno

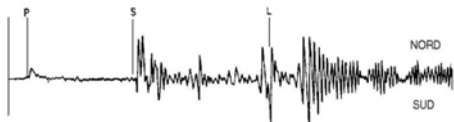
È l'aspetto sul quale ci soffermeremo

## 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)

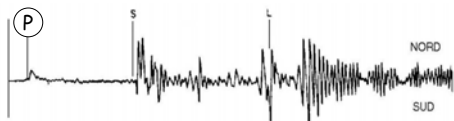
## Onde di volume

Si hanno:

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



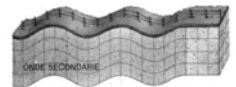
$$v_p \approx 1.1 \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \text{per roccia, } v_p \approx 5 \div 6 \text{ km/h}$$



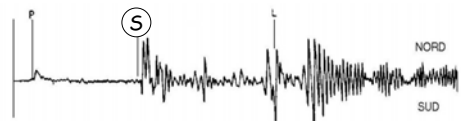
## Onde di volume

Si hanno:

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



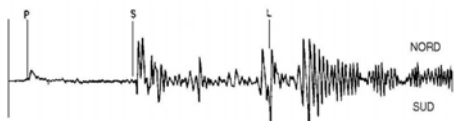
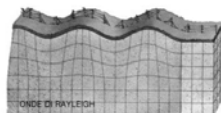
$$v_s = \frac{v_p}{\sqrt{3}} \quad \text{non si propagano nei liquidi}$$



## Onde di superficie

Si hanno vari tipi, tra cui:

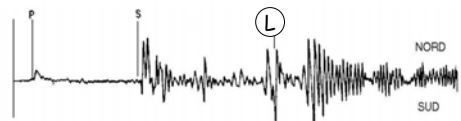
- Onde di Rayleigh (R)  
con moto secondo un'ellisse  
nel piano verticale



## 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

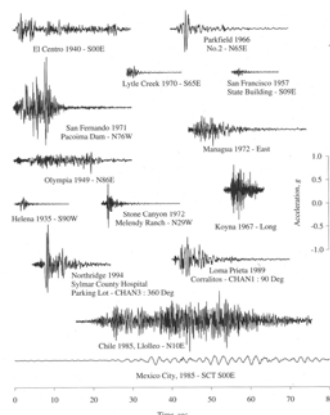
Più interessante ai fini ingegneristici è rappresentare l'accelerazione in funzione del tempo



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. Rientro dai guidatori di automezzi. Tremolio di oggetti sospesi. Rotura di mobili. Danni alle murature tipo D <sup>(*)</sup> , incluse fenditure.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | X   | Distruzione di gran parte delle murature e delle strutture in legno, con le loro fondazioni. Distruttione di alcune robuste strutture in legno e di ponti. Grandi danni a dighe, briglie, argini. Grandi frane. Dislivellamento delle acque di canali, fiumi, laghi ecc. Traslazione orizzontale di sabbie e argille sulle spiagge e su regioni pianie. Rotte debolmente deviate.                                        |
| II  | Percepito da persone in riposo, nei piani superiori delle case o in posizione favorevole                                                                                                                                                                                                                                                                                 | VIII | Rientro nella guida di automezzi. Danni a murature tipo C <sup>(*)</sup> , crolli parziali. Alcuni danni a murature tipo B <sup>(*)</sup> , non tipo A <sup>(*)</sup> . Caduta di stucchi e di alcune pareti in muratura. Rotazione e caduta di camini, monumenti, torri, serbatoi elevati. Costruzioni con strutture in legno smosse dalle fondazioni se non imbullonate; pannelli delle pareti lanciati fuori. Rotura di rammi di alberi. Variazioni di portata e temperatura di sorgenti e pozzi. Crepacci nel terreno e sui pendii ripidi. | XI  | Rotae fortemente deviate. Tubazioni sotterranee completamente fuori servizio.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| III | Percepito nelle case. Oscillazione di oggetti appesi. Vibrazioni come al passaggio di automezzi leggeri. Seme della durata. Talora non riconosciuto come terremoto.                                                                                                                                                                                                      | IX   | Panico generale. Distruttione di murature tipo D <sup>(*)</sup> , gravi danni a murature tipo C <sup>(*)</sup> lancia con crollo completo; seri danni a murature tipo B <sup>(*)</sup> (danni generali alle fondazioni). Gravi danni ai serbatoi. Rotura di tubazioni sotterranee. Rilevanti crepacci nel terreno. Nelle aree alluvionali espulsione di sabbie e fango, formazione di crateri di sabbia.                                                                                                                                       | XII | Distruttione pressoché totale. Spostamento di grandi masse rocciose. Lines di riferimento deformate. Oggetti lanciati in aria.                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| IV  | Oscillazione di oggetti appesi. Vibrazioni come al passaggio di automezzi pesanti, o scossa come di una pesante palla che colpisce le pareti. Oscillazione di automezzi fermi. Movimento di porte e finestre. Tintinnio di vetri. Vibrazione di vasetti. Nello stadio superiore del IV, scricchiolio di pareti e di strutture in legno.                                  |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | (*) | A = Buon manufatto, legato insieme con ferri, calcestruzzo ecc., progettato per resistere a forze laterali.<br>B = Buon manufatto con malta; rinforzato, ma non destinato in particolare a resistere a forze laterali.<br>C = Manufatto ordinario con malta, senza trarsi agli angoli né rinforzi.<br>D = Materiali deboli, come mattoni cotti al sole; malte povere; manufatto di bassa qualità, debolmente rinforzato. |
| V   | Rientro all'esterno; stima della direzione. Sveglia di persone dormienti. Movimento della superficie dei liquidi, versamento di liquidi dai recipienti. Spostamento o rovesciamento di piccoli oggetti instabili. Oscillazione di porte che si aprono o si chiudono. Movimento di imposte e quadri. Arresto, messa in moto, cambiamento del passo di orologi a pendolo.  |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| VI  | Sentito da tutti. Spavento e fuga all'esterno. Barcollare di persone in moto. Rotura di vetrine, piatti, vetri. Caduta dagli scaffali di rinoli, libri ecc. e di quadri dalle pareti. Spostamento o rotazione di mobili. Scroscio di intonaci deboli e di murature tipo D <sup>(*)</sup> . 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  $\geq M$ :

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

I terremoti:  
quali effetti producono?

## 2 - Effetti transitori

Accelerazione sismica medio-bassa  
Basso periodo di ritorno

## Ribaltamento di mobili



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

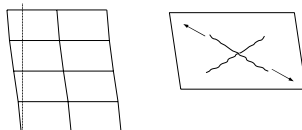


## Danni ai tramezzi



Napoli,  
Facoltà di  
Ingegneria

23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

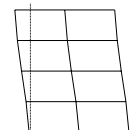


## Danni ai tramezzi



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

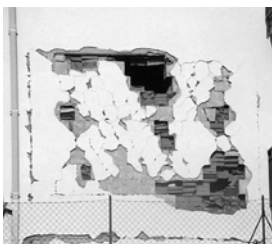
foto G. Gaeta

### 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

D

I terremoti:  
quali effetti producono?

2 - Effetti transitori

Accelerazione sismica  
elevata

## Danno agli elementi strutturali



2002 - Santa Venerina

foto G. Gaeta

### Danni e difetti costruttivi



2002 – Santa Venerina

foto G. Gaeta

Mancanza di  
staffe in testa  
al pilastro e  
nel nodo

### Danni e difetti costruttivi



2002 – Santa Venerina

foto G. Gaeta

### Danni e difetti costruttivi



2002 – Santa Venerina

foto G. Gaeta

Mancanza di  
staffe in testa  
al pilastro



La barra  
compressa si  
instabilizza

### Danni e difetti costruttivi ...



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

S. Angelo dei Lombardi,  
edificio in costruzione



... 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

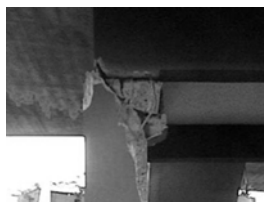


## Meccanismi di piano - senza crollo



1971 - San Fernando

## Ma il danno progredisce ...



Espulsione di blocchi di calcestruzzo  
Scorrimento lungo la lesione



2002 - Santa Venerina

foto G. Gaeta

## ... 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

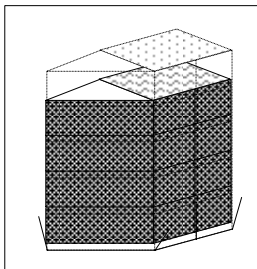


## Lioni, edificio del Banco di Napoli



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



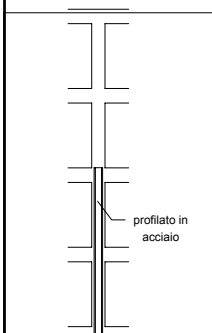
1999 – Turchia (?)

### 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

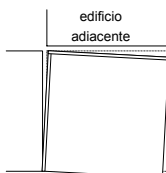


1995 – Kobe



### Perdita di un piano intermedio

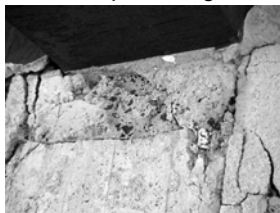
possibili effetti torsionali  
in pianta



1995 – Kobe

### Ma tra i difetti ...

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



2002 – Santa Venerina



... la trascuratezza  
degli operai

foto G. Gaeta

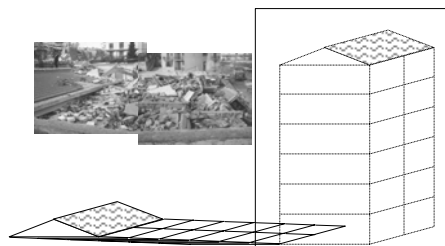
Risultato: crollo totale,  
con traslazione degli impalcati

S. Angelo dei Lombardi,  
edificio 1



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

Crollo totale,  
con traslazione degli impalcati



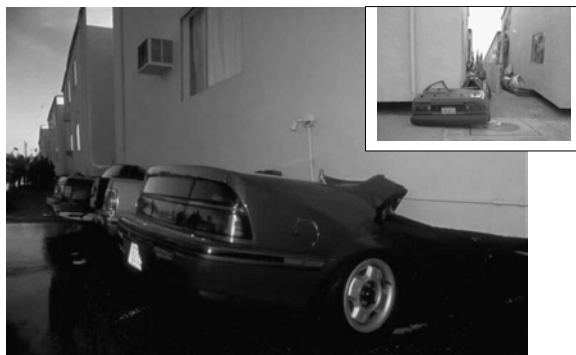
23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

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



1994 – Northridge

Automobili schiacciate dagli edifici



1994 – Northridge

S. Angelo dei Lombardi  
Edificio 2



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



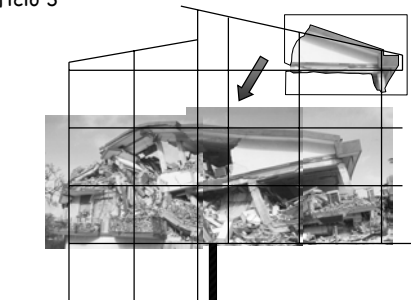
23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

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



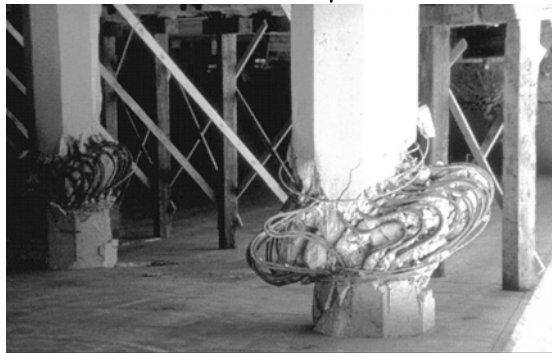
### Particolari dei pilastri



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

D

### Problematiche:

per terremoti con alto periodo di ritorno

C

### Più in generale

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

P

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"

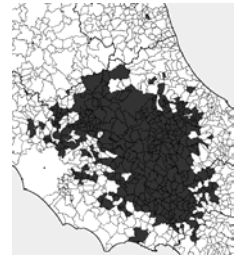
## Classificazione sismica, nel passato

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" →

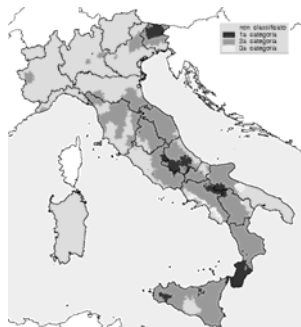
C2

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" → P

## 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" → P

cioè

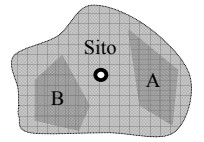
prestazione richiesta per un assegnato terremoto



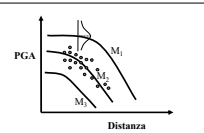
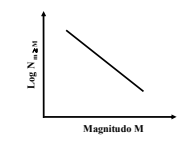
## Classificazione sismica, oggi

Valutazione probabilistica della pericolosità sismica

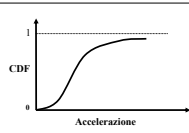
Fase 1 - Zone



Fase 2 - Ricorrenza



Fase 3 - Attenuazione



Fase 4 - Probabilità  
(di non superamento nell'intervallo t)

## 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?

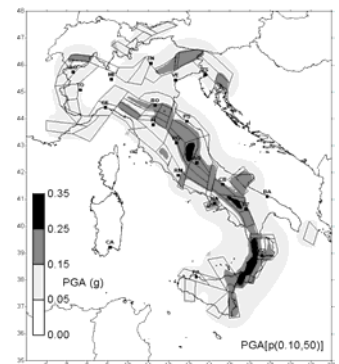
Obiettivo:

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  $T_R$

## 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

- $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  (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

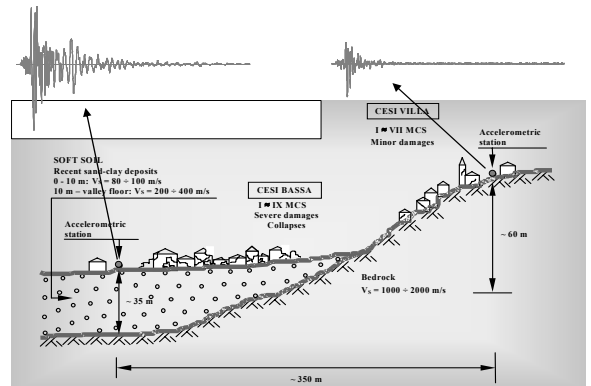
## Spettri di risposta NTC 08

parametri  $a_g$   $F_0$   $T_C^*$

ID	LON	LAT	$T_R=30$			$T_R=50$		
			$a_g$	$F_0$	$T_C^*$	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$
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

NTC08, punto 3.2.1

## 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

NTC08, punto 3.2.1

## 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

NTC08, punto 3.2.1

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

È fornita dalla relazione:

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

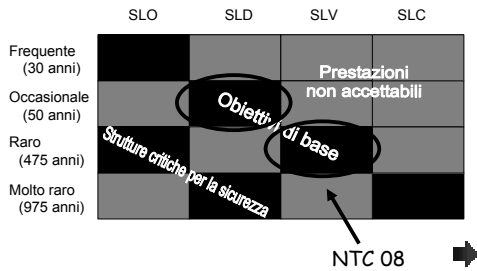
Esempio:

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



## 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

NTC08, punto 2.4.1

## 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

NTC08, punto 2.4.2

## 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

Classe d'uso \ Vita nominale	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

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

## 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  $V_R$

indirizzo

classe

vita nominale

Periodo di riferimento  $V_R$

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

## Determinazione dei dati sismici

Periodo di riferimento  $V_R$

indirizzo

classe

vita nominale

Periodo di riferimento  $V_R$

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

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

## Impostazione prestazionale

- Principi
  - Regole applicative
- obiettivi da raggiungere,  
obbligatori
- 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