

Corso di aggiornamento

## **Progettazione sismica di edifici in c.a.**

2 - Terremoti e norma sismica

Lecce

21-24 settembre 2011

Aurelio Ghersi

# I terremoti

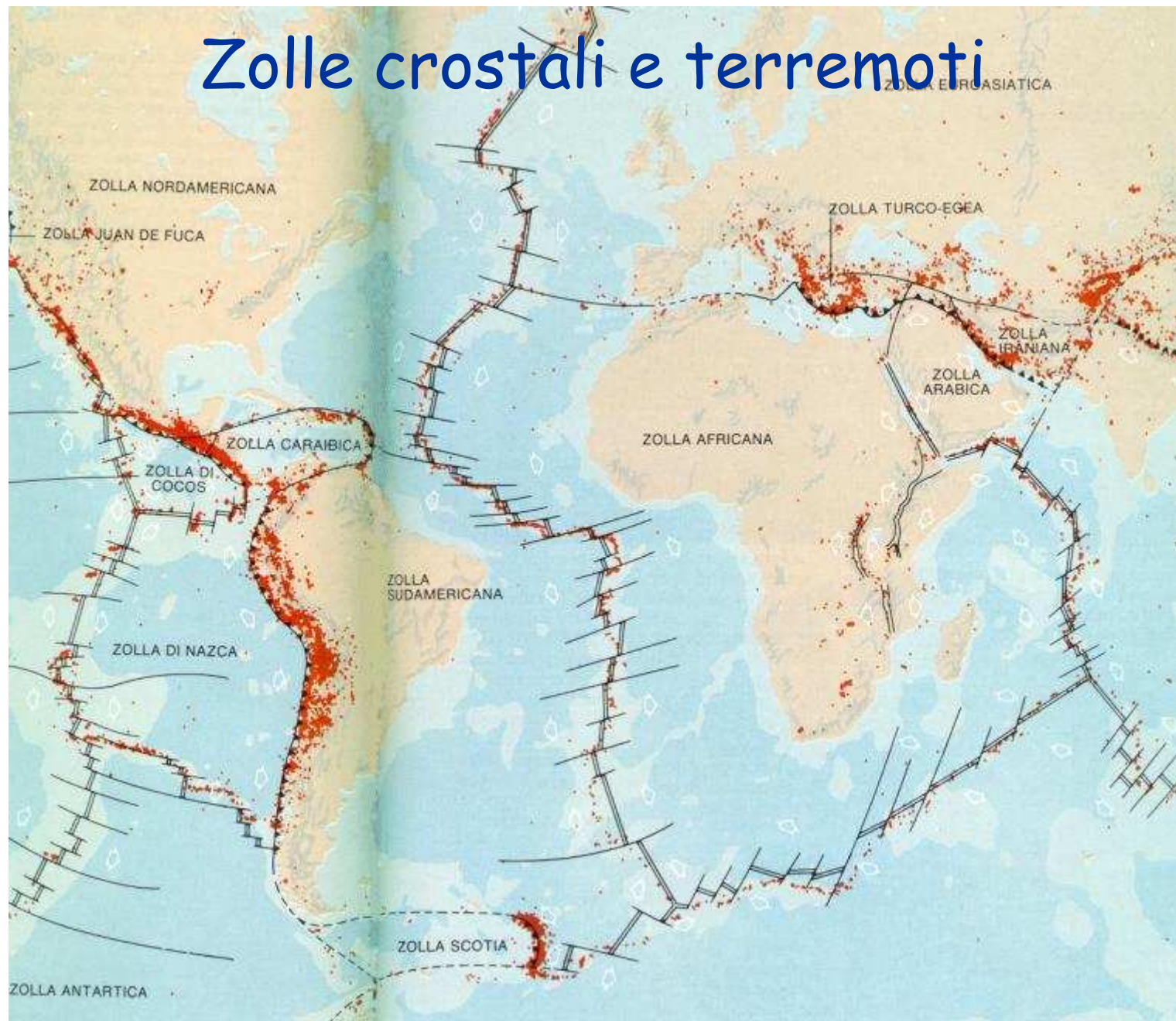
Cosa sono?

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



blocchi di crosta in riposo



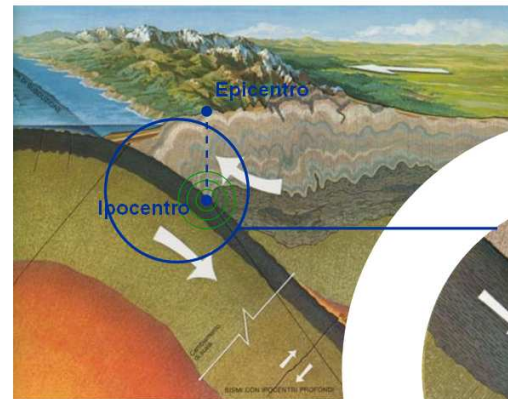
scorrimento impedito: deformazione  
con accumulo di energia



il momento della rottura:  
rilascio dell'energia



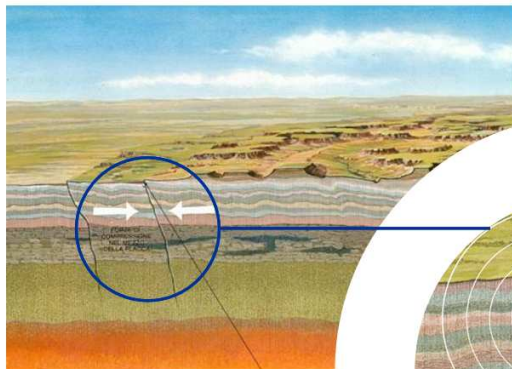
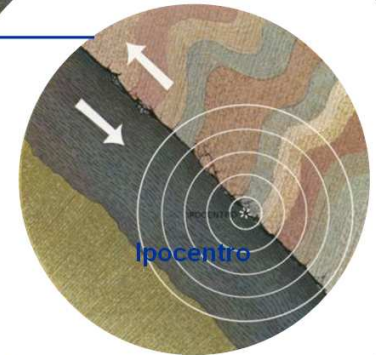
brusco scorrimento, verso un nuovo  
equilibrio



Zone di  
subduzione

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

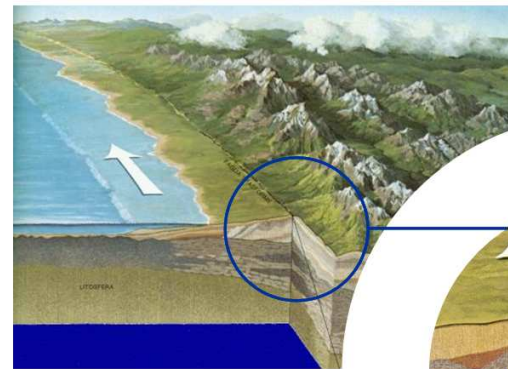
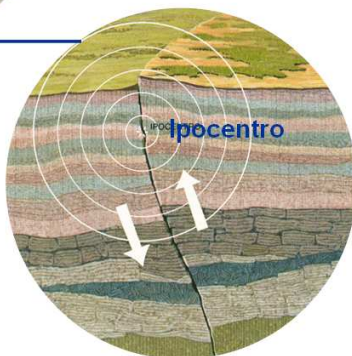
la più leggera affonda  
scorrendo sotto l'altra



Zolle  
in collisione

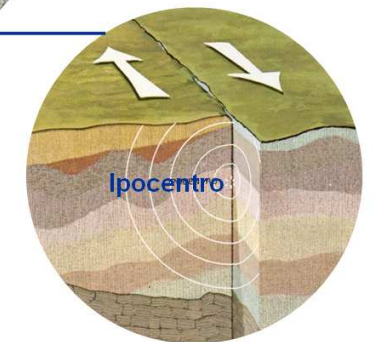
Zolle in movimento, l'una  
verso l'altra:

se sono entrambe molto  
spesse, nessuna affonda



Faglie  
trasformi

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



# 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:

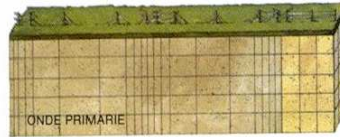
- onde di volume, che si propagano per tutto il volume terrestre (più veloci)
- onde di superficie, che si propagano solo nello strato superficiale (maggior contenuto energetico)

## Onde di volume

Si hanno:

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

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

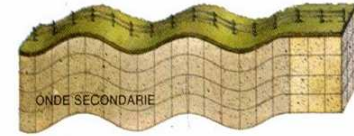


## Onde di volume

Si hanno:

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

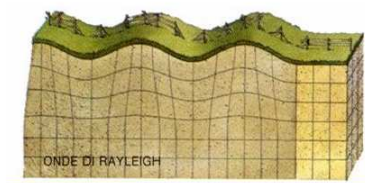
$$v_s = \frac{v_p}{\sqrt{3}} \quad \text{non si propagano nei liquidi}$$



## Onde di superficie

Si hanno vari tipi, tra cui:

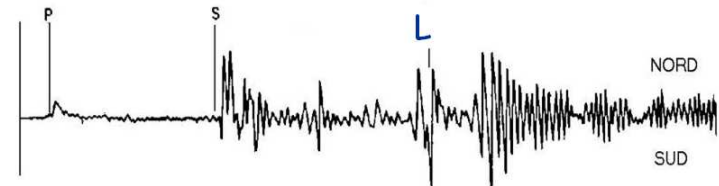
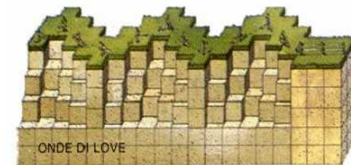
- Onde di Rayleigh (R)  
con moto secondo un'ellisse  
nel piano verticale



## 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



# 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.   |      |  | 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.<br>B = Buon manufatto con malta; rinforzato, ma non destinato in particolare a resistere a forze laterali.<br>C = Manufatto ordinarlo con malta, senza tiranti agli angoli né rinforzi.<br>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  $\geq M$ :

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

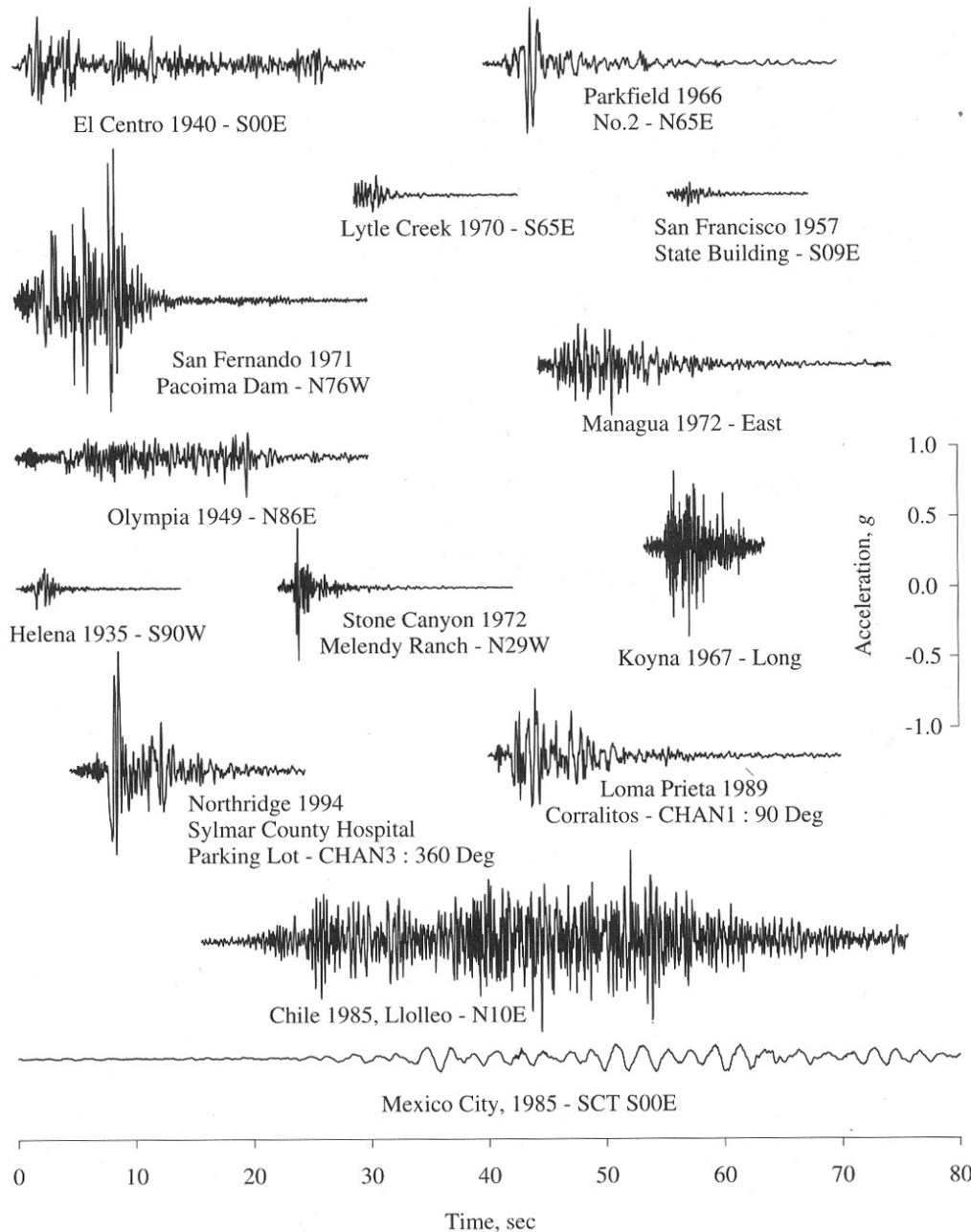
# Accelerogramma

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

# 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

# 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:

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



I terremoti:  
quali effetti producono?

Particolare attenzione a ...

# 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



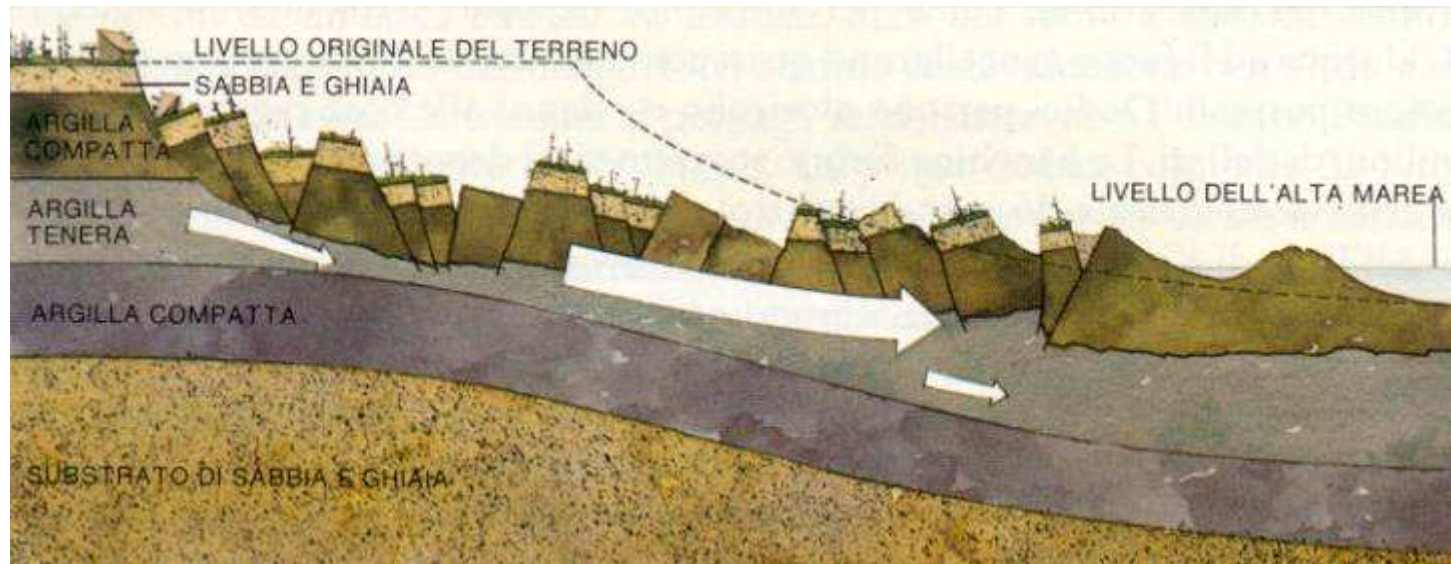
## Cedimenti del terreno



1997 - Umbria



## Liquefazione di strati sotterranei



1964 - Alaska

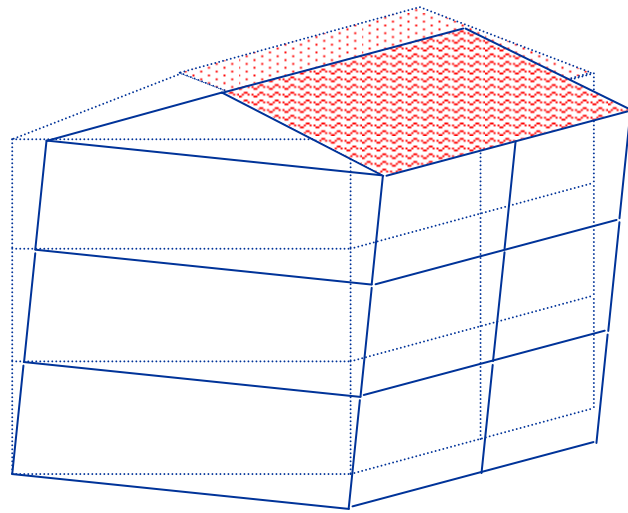


# Liquefazione del terreno



1999 – Turchia

# Liquefazione del terreno



1999 – Turchia



# Liquefazione del terreno



1999 – Turchia



# Liquefazione del terreno



1999 – Turchia

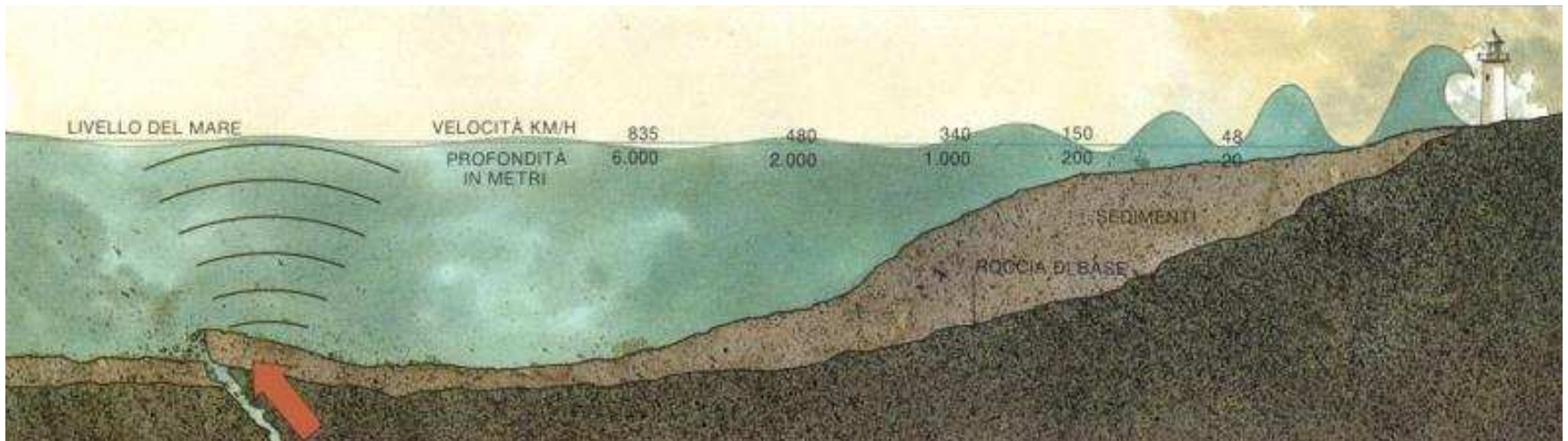
# Liquefazione del terreno



1999 – Turchia



# 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

# I terremoti: quali effetti producono?

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



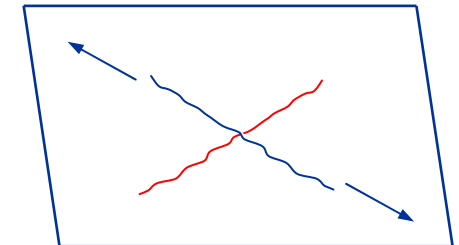
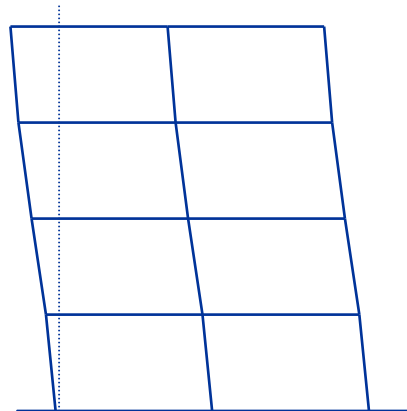
Napoli,  
Facoltà di  
Ingegneria

23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

# Danni ai tramezzi



Napoli,  
Facoltà di  
Ingegneria

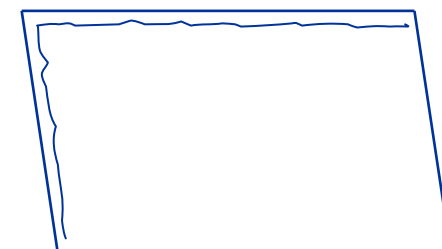
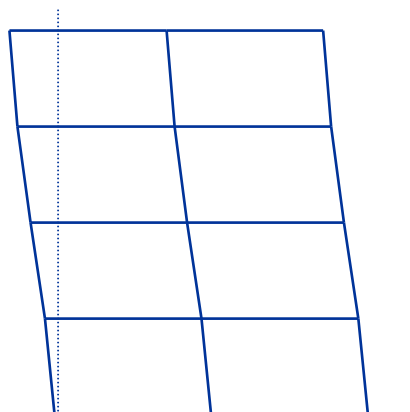


23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

# 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



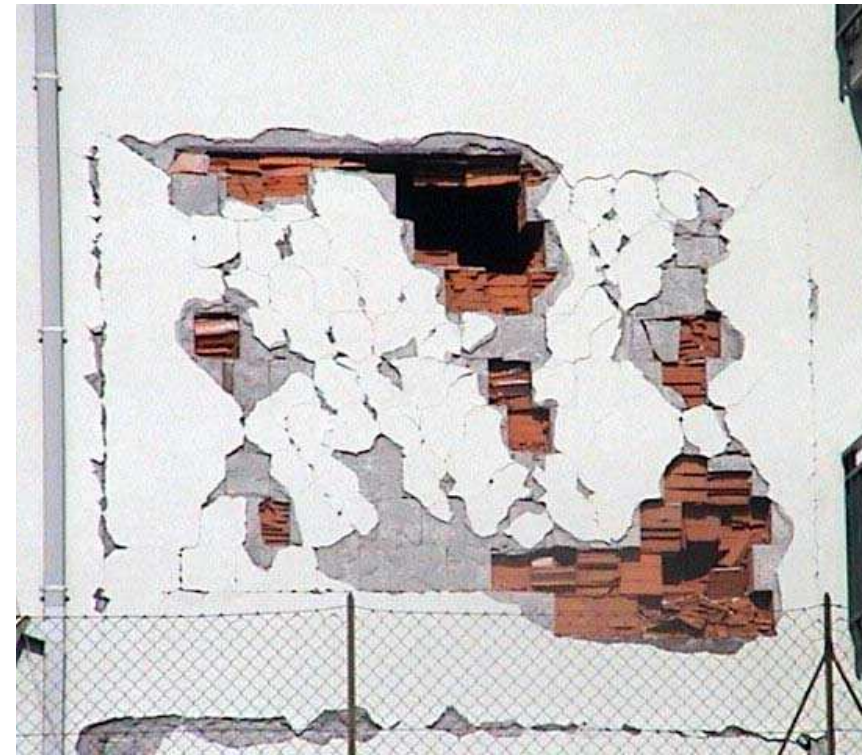
# Danni alle pareti di tamponamento per azioni nel loro piano



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

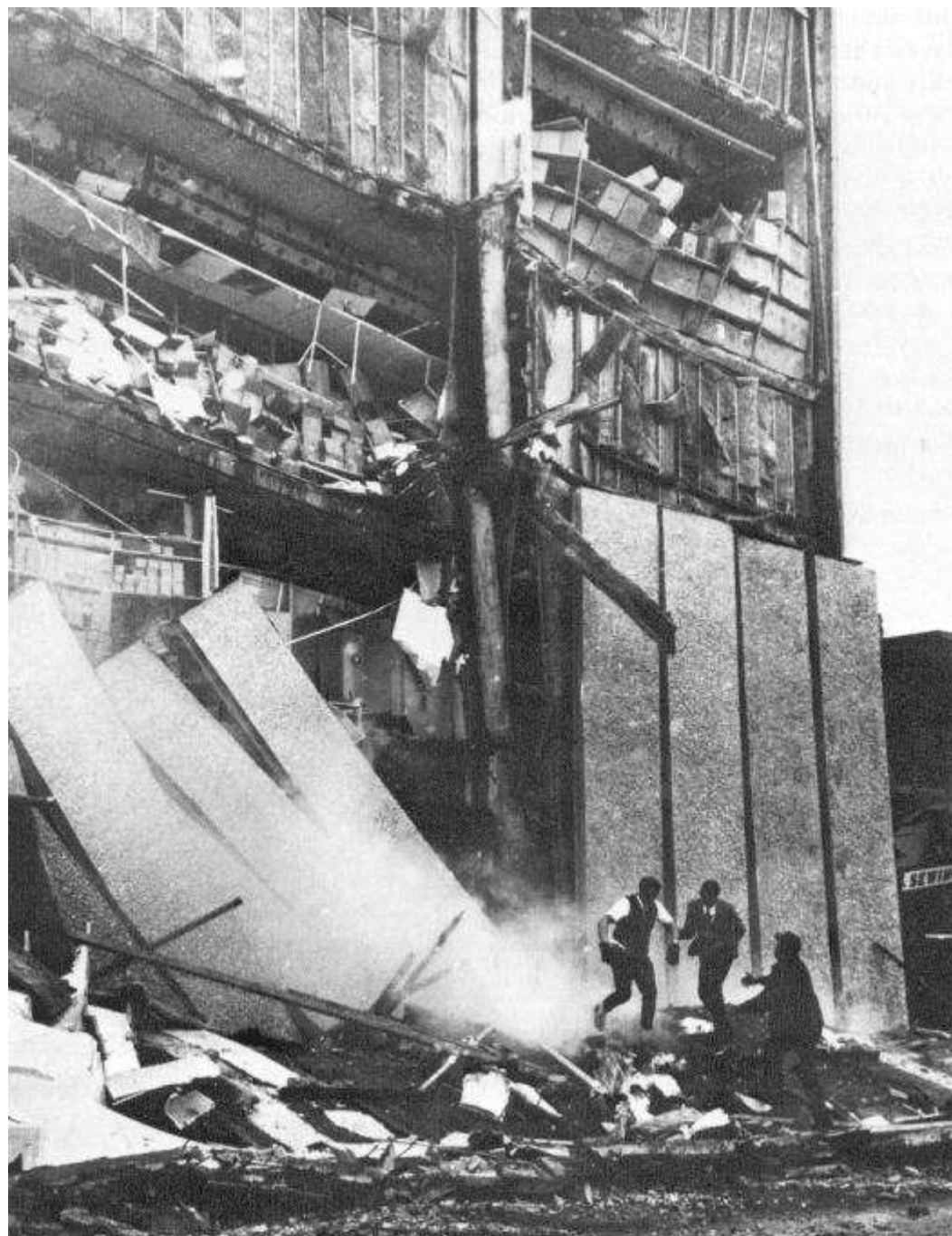


1994 - Northridge



Espulsione delle  
pareti di  
tamponamento

Rischio di  
perdita di vite



1964 - Alaska

# I terremoti: quali effetti producono?

Accelerazione sismica elevata  
Alto periodo di ritorno

# Danno agli elementi strutturali



Lesione a  
taglio nel  
pilastro



# 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 ...



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

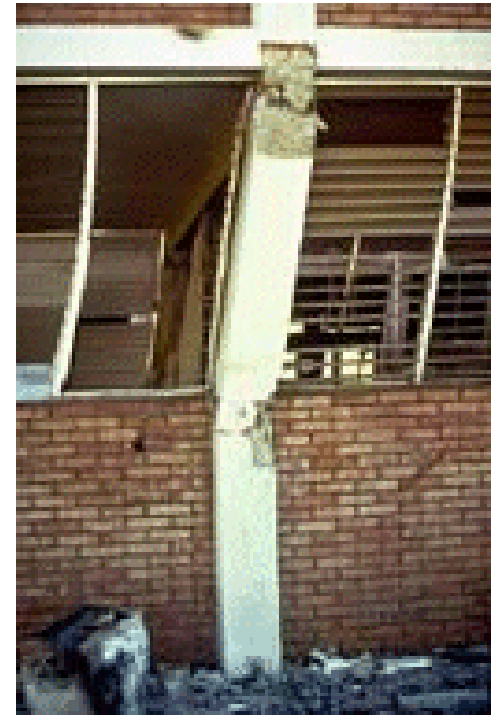
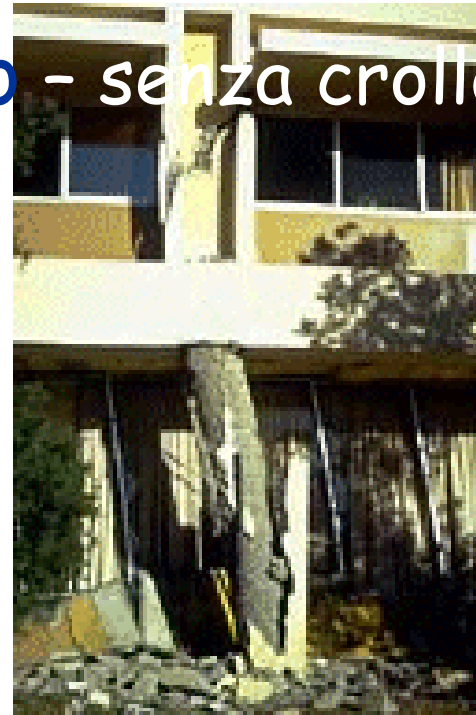
# Meccanismi di piano - senza crollo



1999 – Turchia

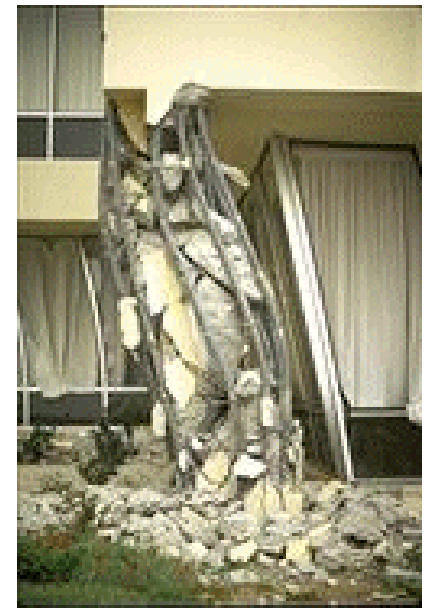
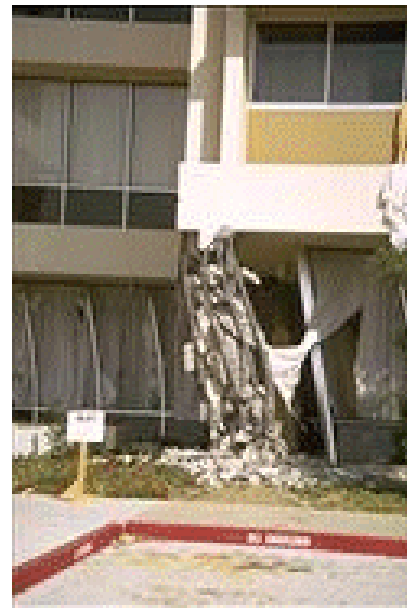
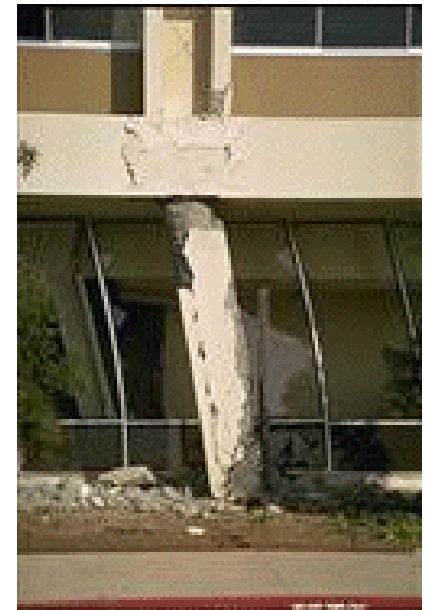


# Meccanismi di piano - senza crollo





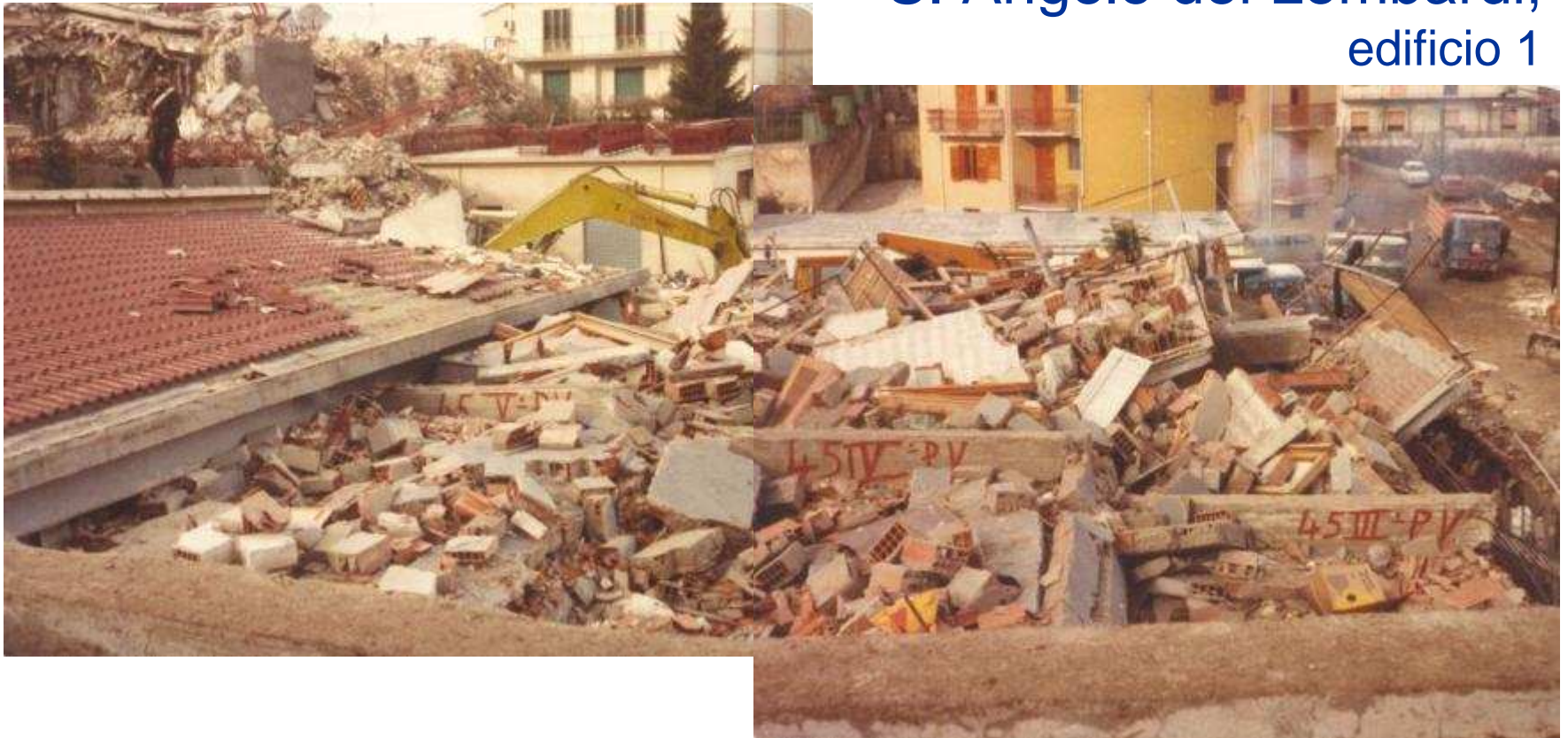
# Meccanismi di piano - senza crollo



1971 – San Fernando

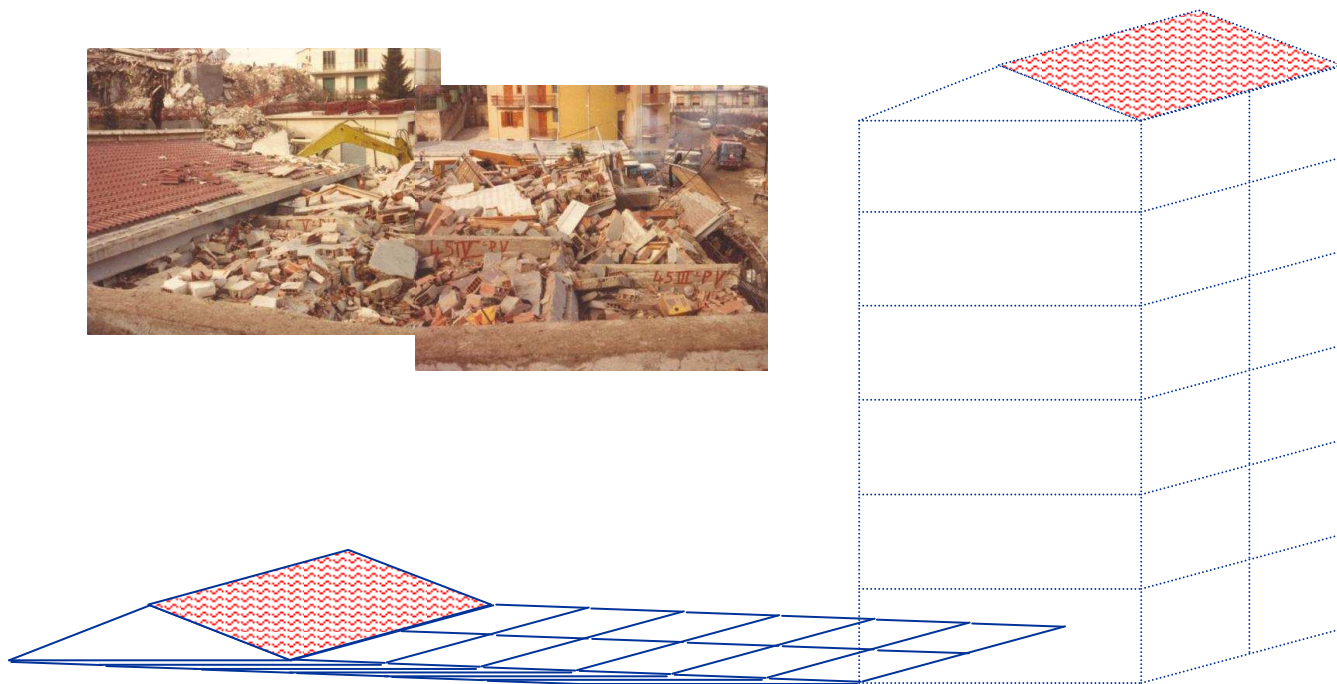
# Meccanismi di piano - crollo totale, con traslazione degli impalcati

S. Angelo dei Lombardi,  
edificio 1



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

# 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

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



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

S. Angelo dei Lombardi  
edificio 2



# S. Angelo dei Lombardi

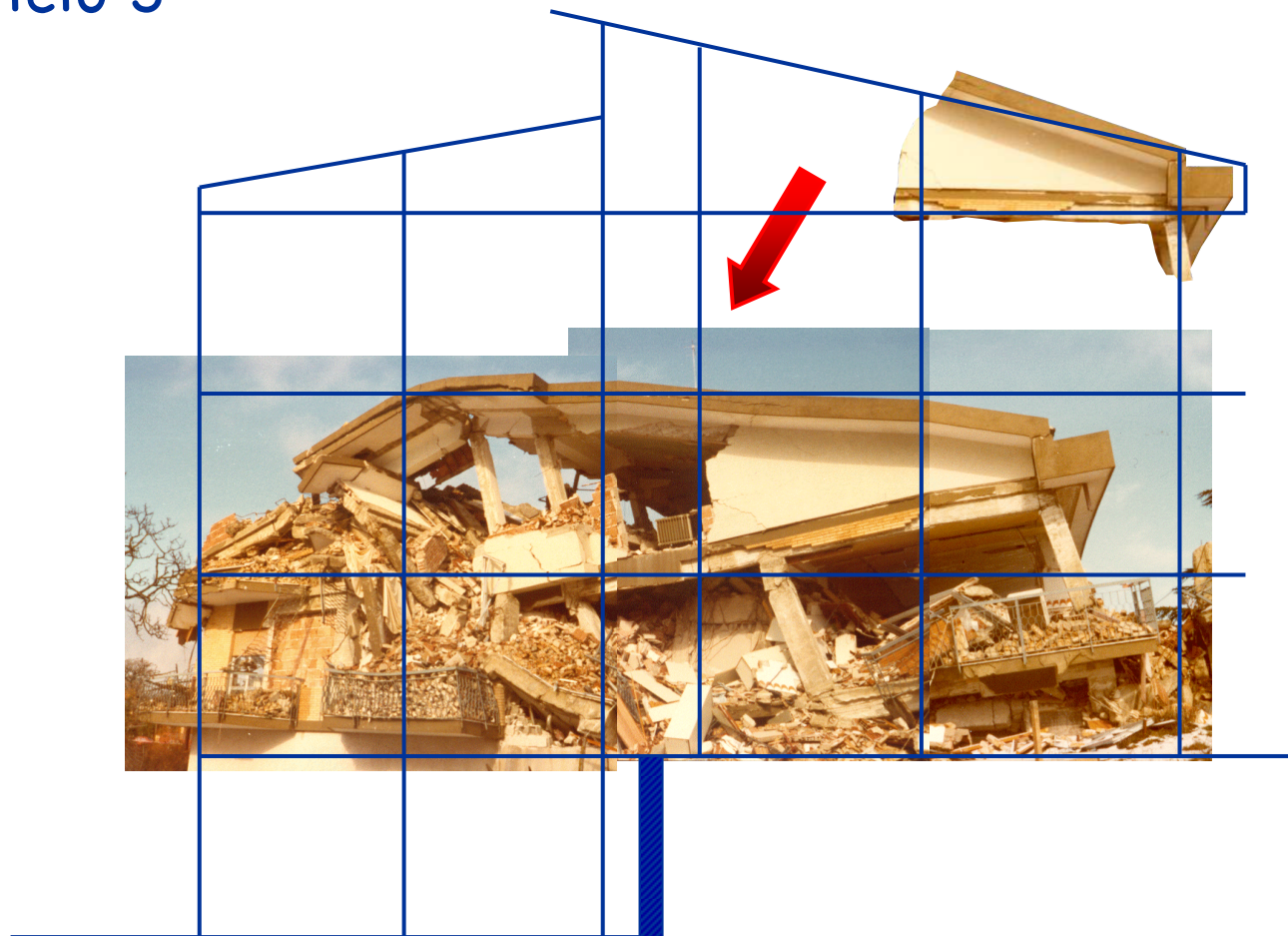
## Edificio 3



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

# Oppure ...



Espulsione di blocchi di  
calcestruzzo

Scorrimento  
lungo la lesione





... con risultati fatali



1999 – Turchia

foto A. Gherzi



# Perdita del piano inferiore

Lioni,  
edificio del Banco di Napoli



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

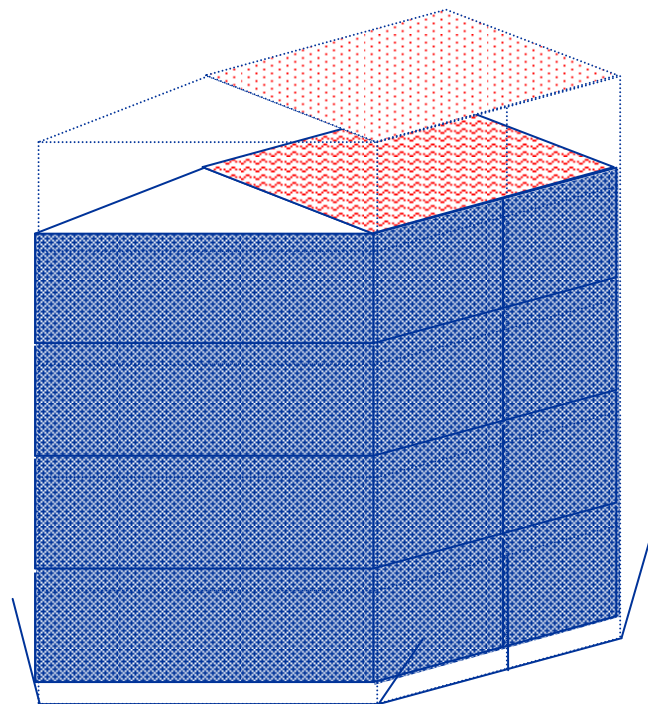


## Lioni, edificio del Banco di Napoli



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 (?)

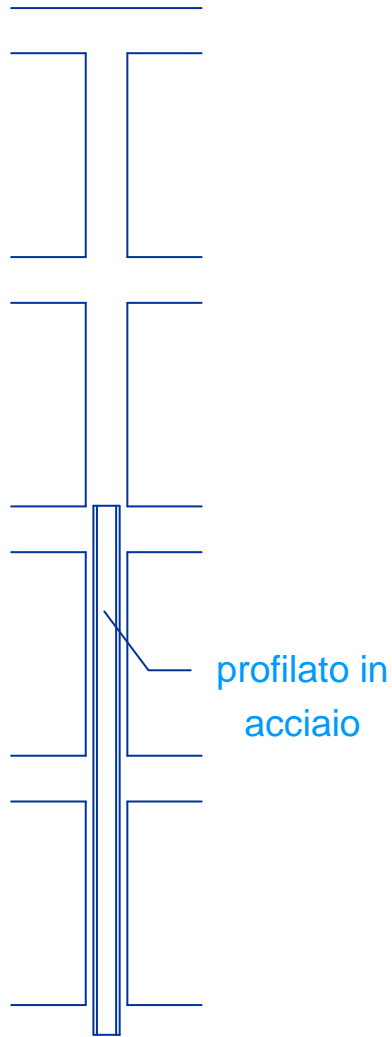


# Perdita del piano inferiore



1995 – Kobe

# Perdita di un piano intermedio



1995 – Kobe



# Perdita di un piano intermedio



1995 – Kobe

# Perdita di un piano intermedio



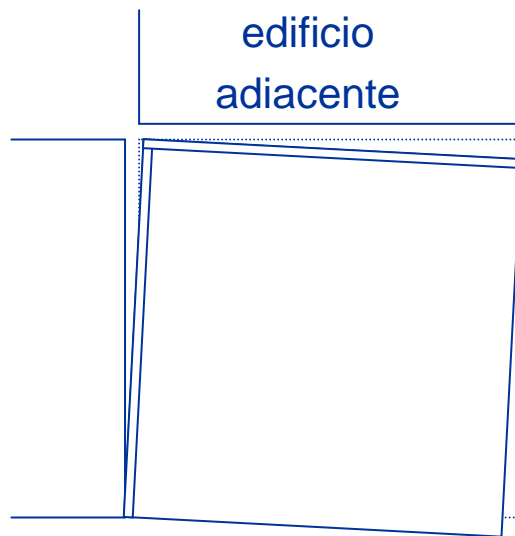
1995 – Kobe





# Perdita di un piano intermedio

possibili effetti torsionali  
in pianta



1995 – Kobe

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

Indicazioni della  
normativa



# 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



# 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"

# 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

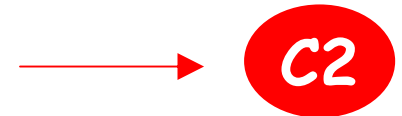
Legge 25 novembre 1962, n. 1684

D.M. 3 marzo 1975

Le forze corrispondono ad una accelerazione crescente col piano

Introduce un "coefficiente di struttura"

Consente l'analisi dinamica (modale)





# 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

# 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

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" →

P

cioè

prestazione richiesta per un assegnato terremoto



# 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



# Obiettivi prestazionali

|                          | SLO | SLD | SLV | SLC |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Frequente<br>(30 anni)   |     |     |     |     |
| Occasionale<br>(50 anni) |     |     |     |     |
| Raro<br>(475 anni)       |     |     |     |     |
| Molto raro<br>(975 anni) |     |     |     |     |

**Prestazioni non accettabili**

**Obiettivi di base**

*Strutture critiche per la sicurezza*

NTC 08

# 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<br>$V_N$ |
|---|--|------------------------|
| 1 | Opere provvisorie - Opere provvisionali -<br>Strutture in fase costruttiva                                   | $\leq 10$ anni         |
| 2 | Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e<br>dighe di dimensioni contenute o di importanza<br>normale | $\geq 50$ anni         |
| 3 | Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e<br>dighe di grandi dimensioni o di importanza<br>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<br/>nominale</div> <div>Classe<br/>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

- 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



# Ma attenzione alle interpretazioni...

- Se gli edifici strategici vengono considerati come tipo 3 (vita di riferimento 100 anni, anziché 50) si ha un ulteriore incremento delle accelerazioni di circa il 40%

In questo caso vi sono forti differenze rispetto al passato