

Università di Catania
Corso di laurea in ingegneria civile strutturale e geotecnica

Costruzioni in zona sismica

Terremoti - cause ed effetti

11 ottobre 2011

Aurelio Gheresi

I terremoti

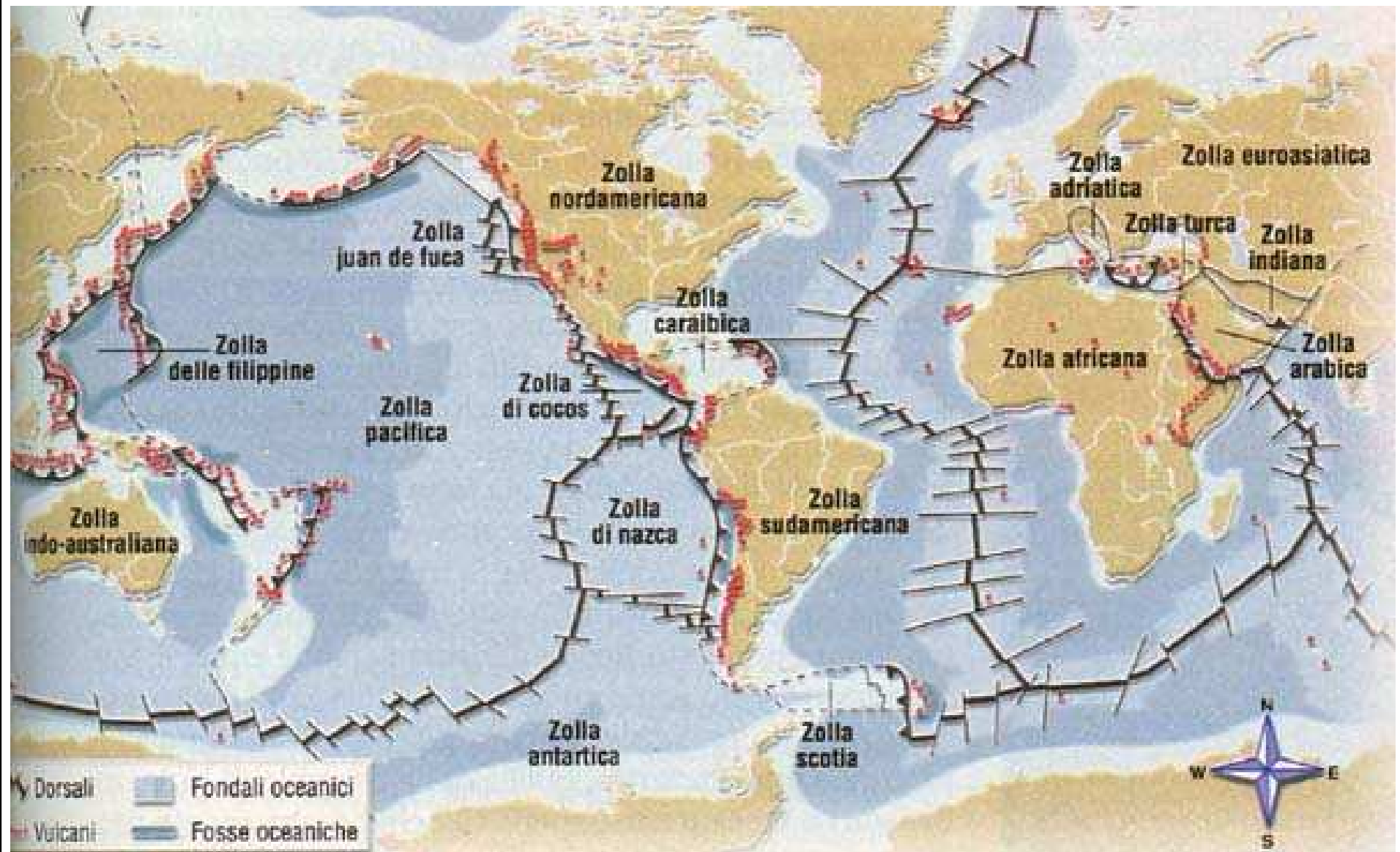
Cosa sono?

Quali effetti producono?

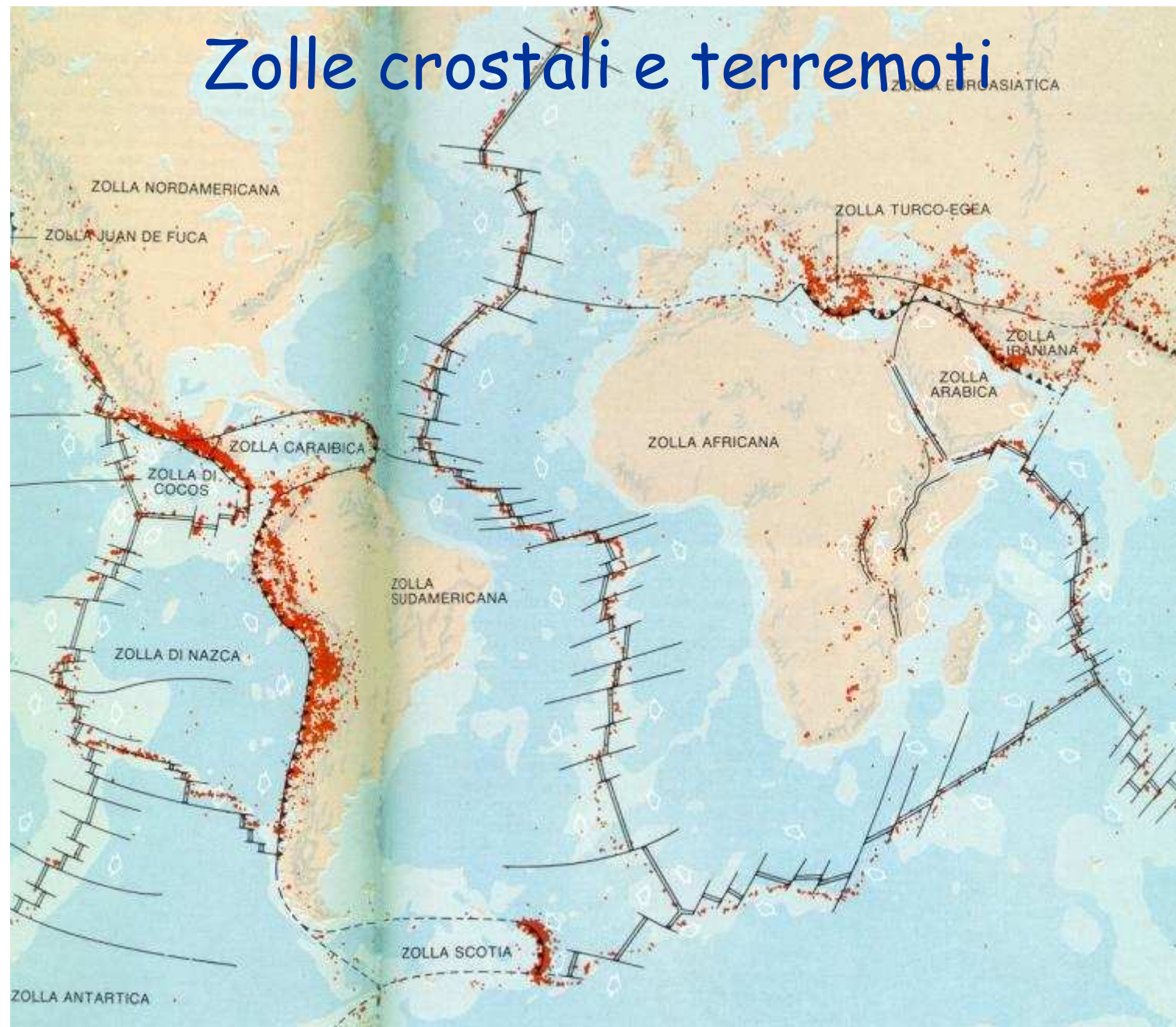
Qual è l'obiettivo della
progettazione antisismica?

I terremoti:
cosa sono?

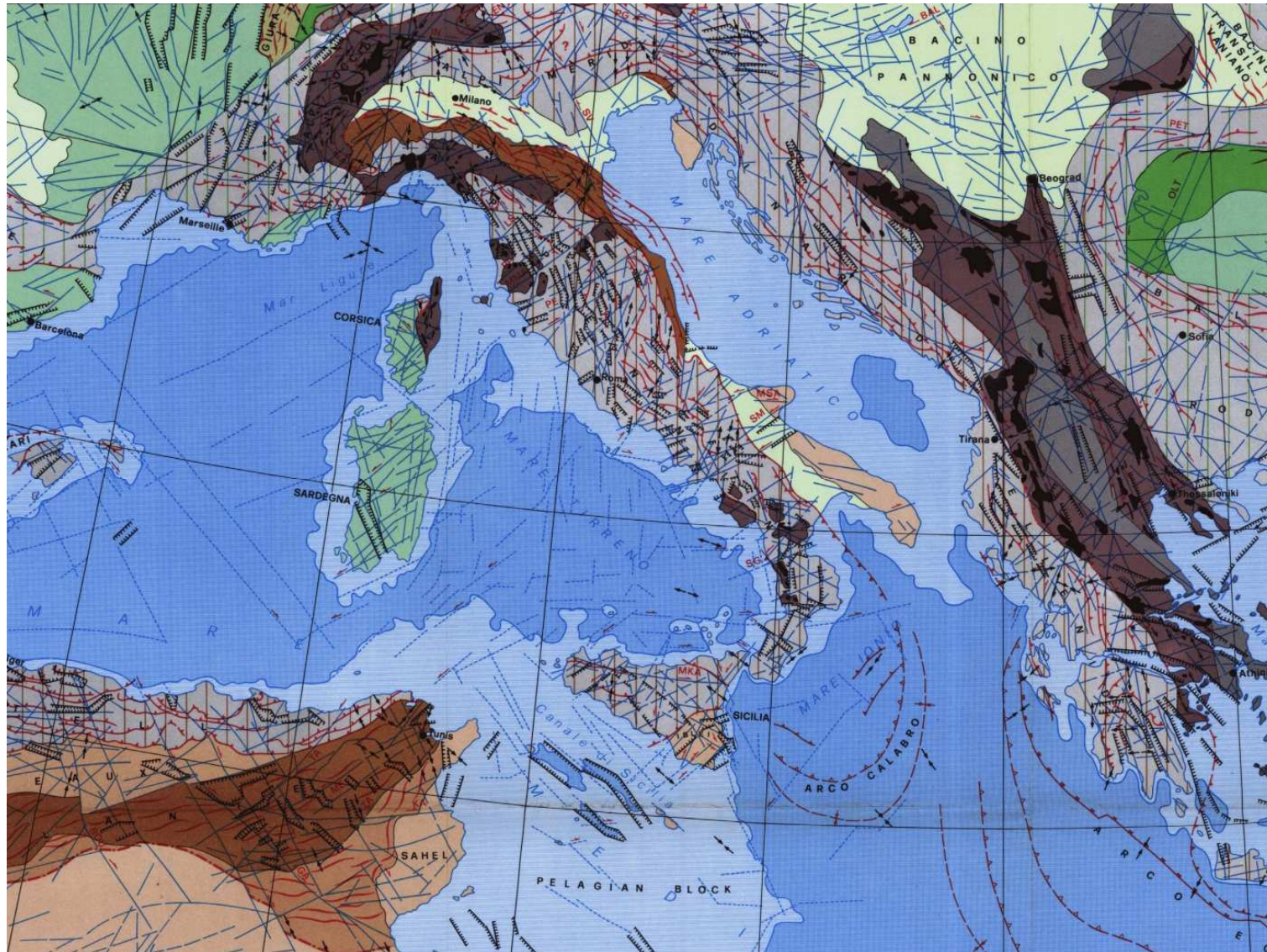
Zolle crostali e vulcani

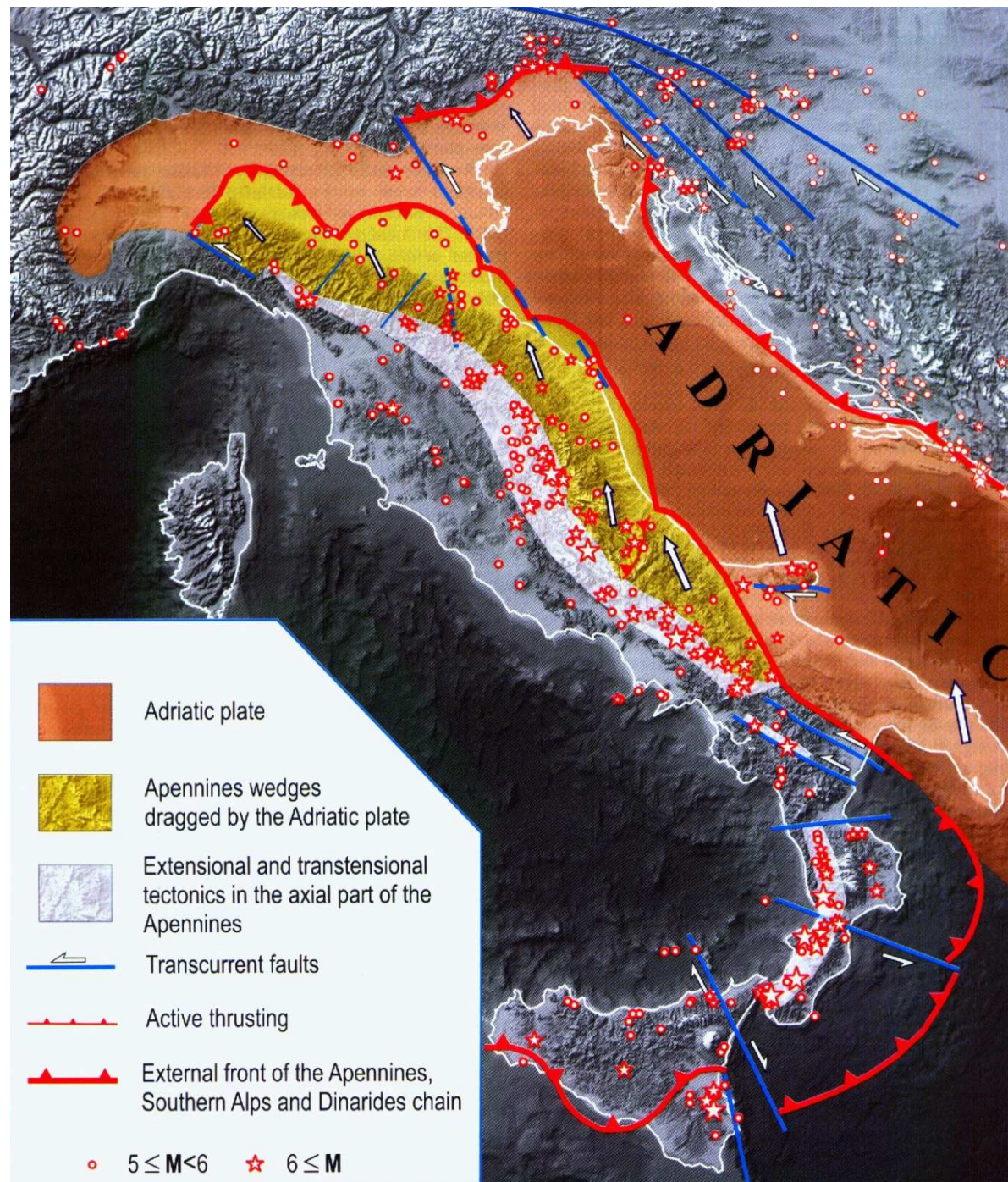


Zolle crostali e terremoti

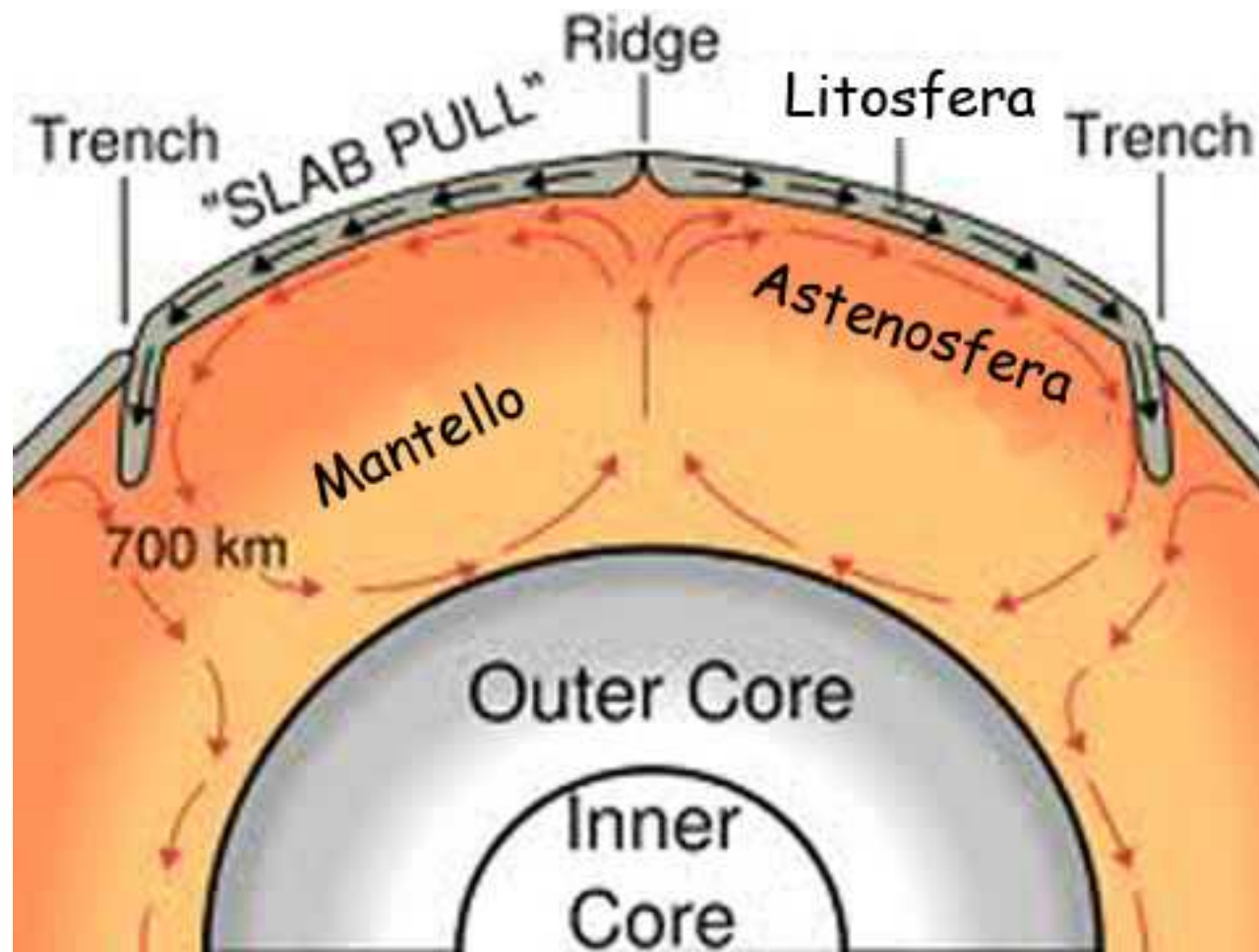


Carta geologica - Italia





Moti convettivi nel mantello e movimento delle zolle



Il meccanismo che scatena un terremoto: scorrimento lungo una faglia

1



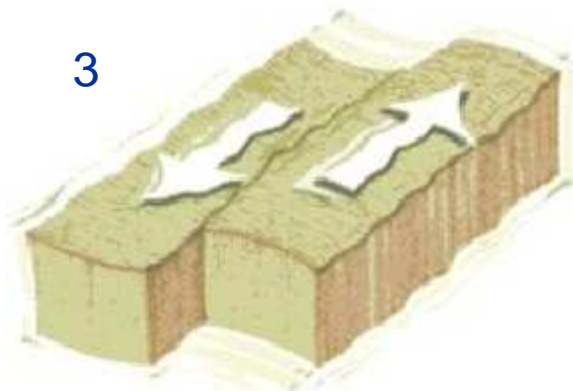
blocchi di crosta in riposo

2



scorrimento impedito: deformazione
con accumulo di energia

3



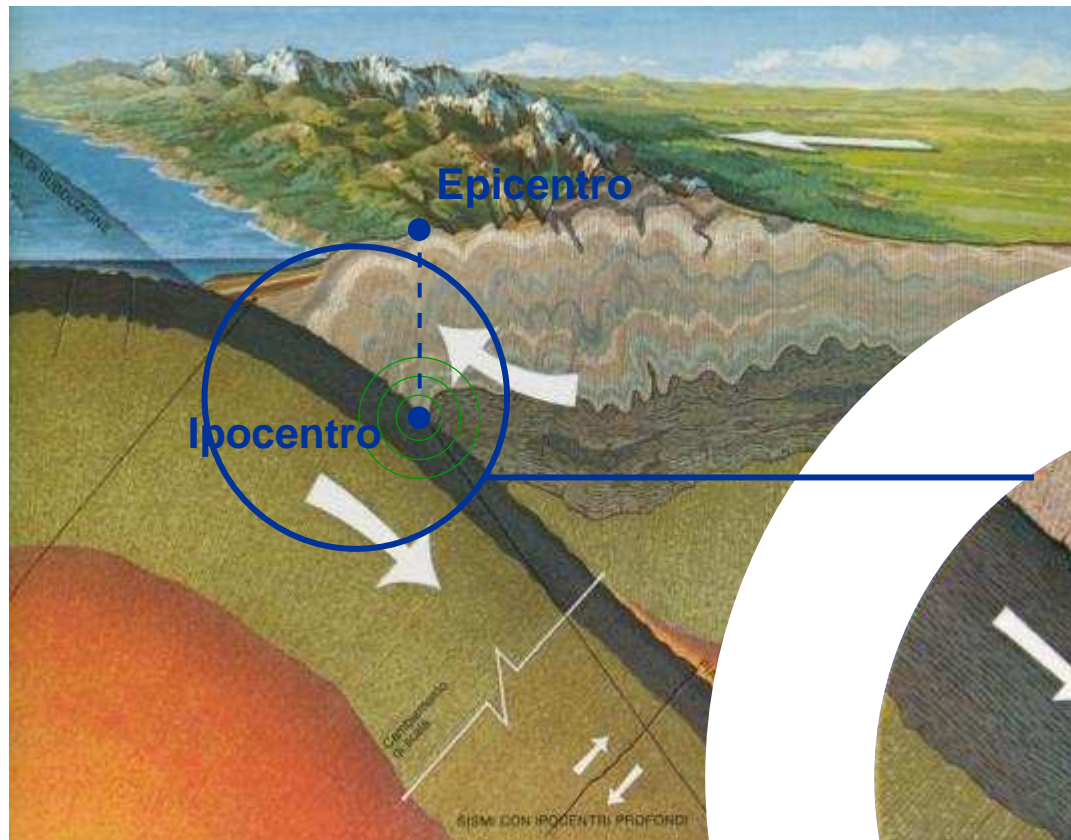
il momento della rottura:
rilascio dell'energia

4

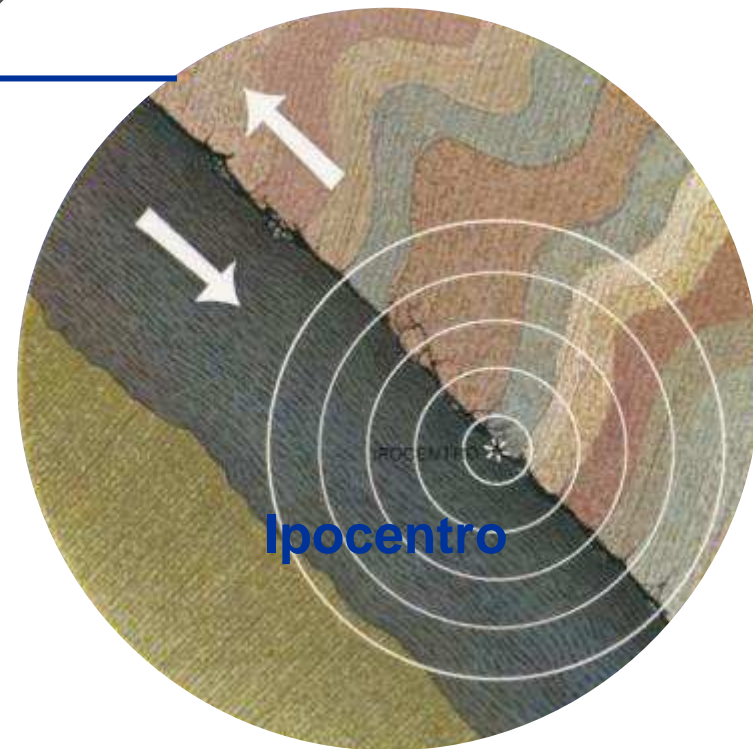


brusco scorrimento, verso un nuovo
equilibrio

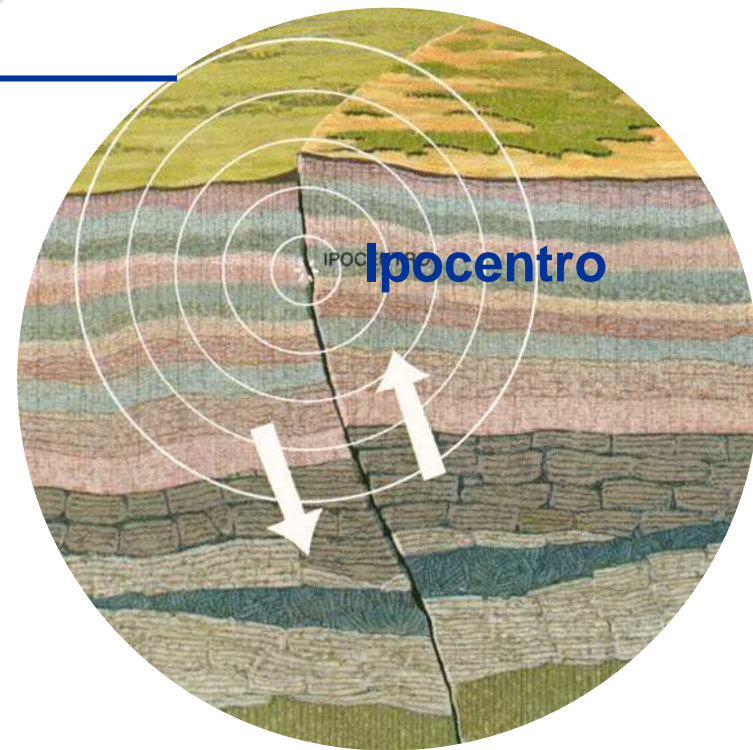
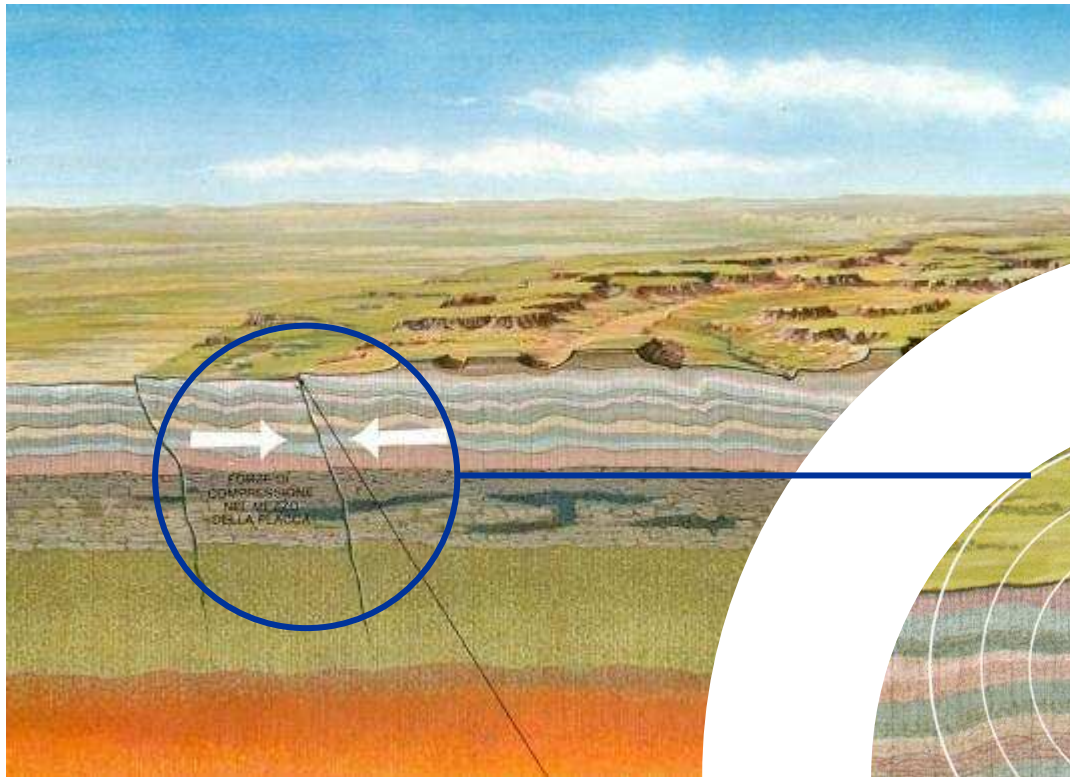
Zone di subduzione



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

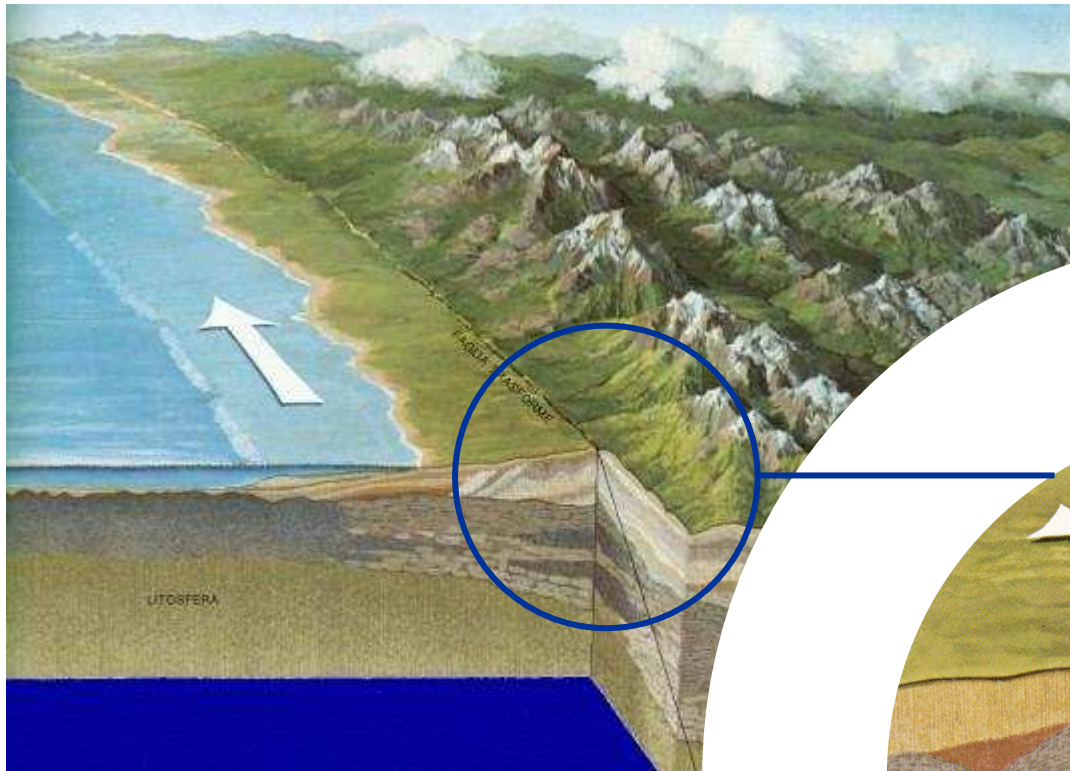


Zolle in collisione

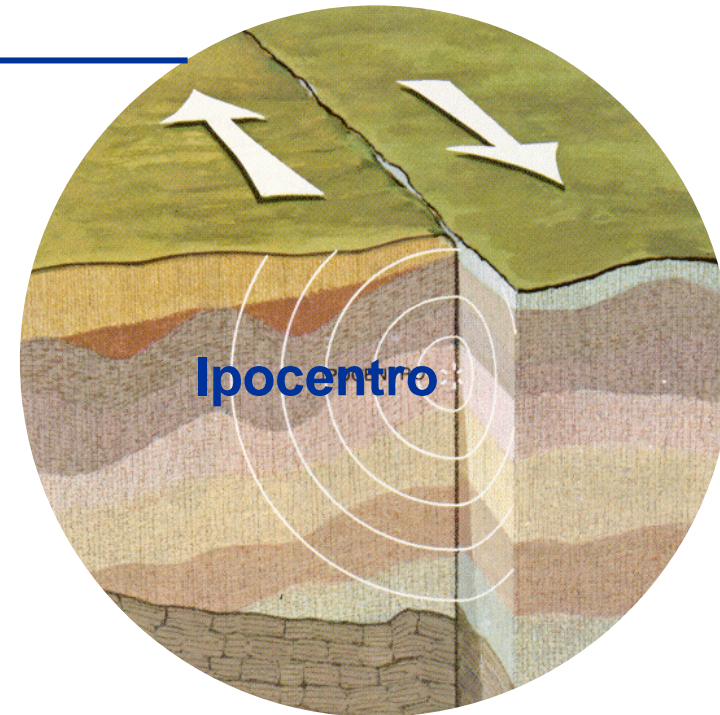


Zolle in movimento, l'una verso
l'altra:
se sono entrambe molto spesse,
nessuna affonda

Faglie trasformi



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



Onde sismiche

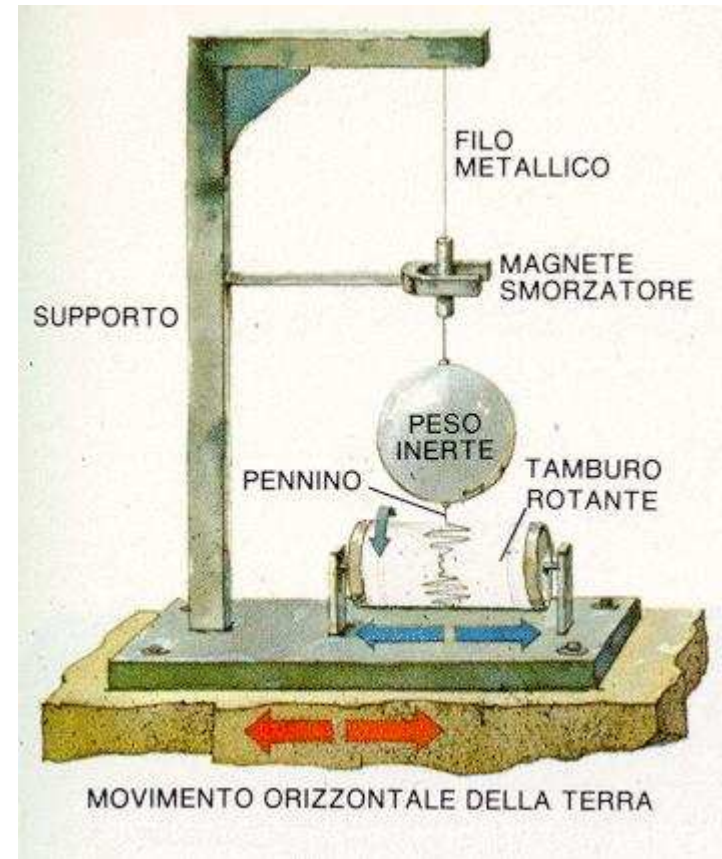
L'energia liberata dal sisma si propaga in onde

Esistono più tipi di onda,
che si propagano con differente velocità
ed hanno un diverso contenuto energetico:

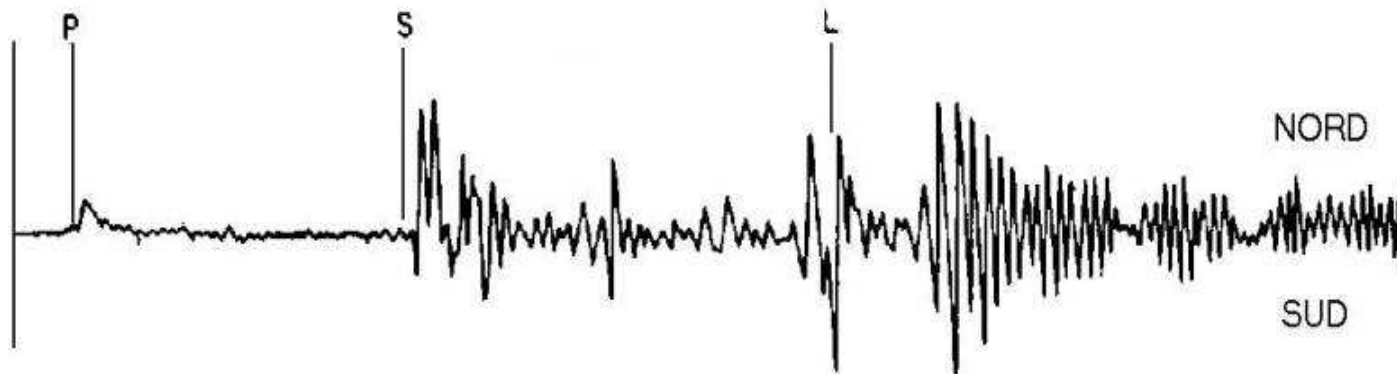
- onde di volume, che si propagano per tutto il volume terrestre (più veloci)
- onde di superficie, che si propagano solo nello strato superficiale (maggior contenuto energetico)

Registrazione del moto del terreno

Sismografo:
misura gli
spostamenti del
terreno



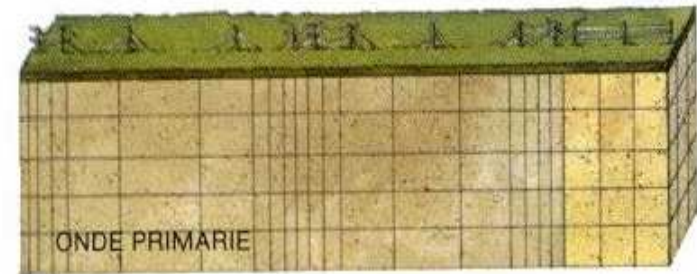
Sismogramma



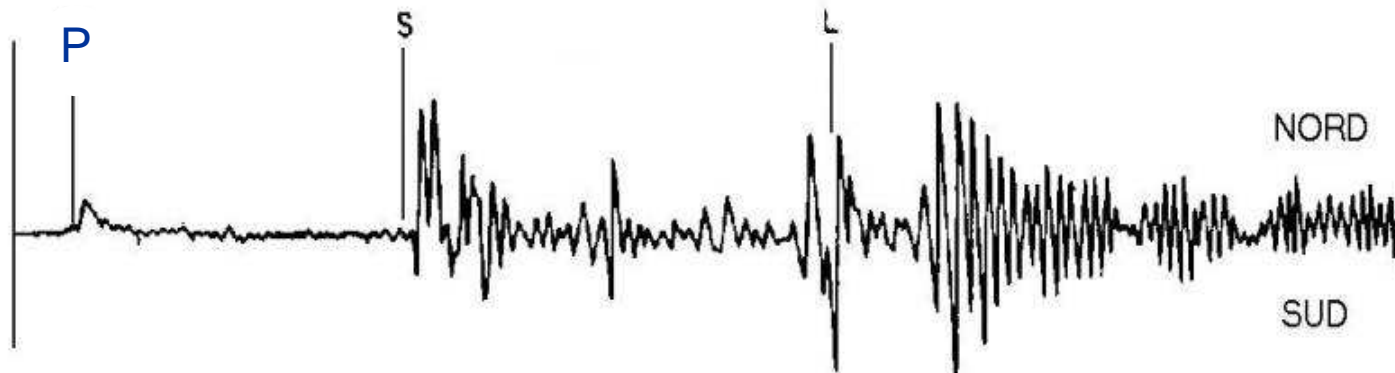
Onde di volume

Si hanno:

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



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



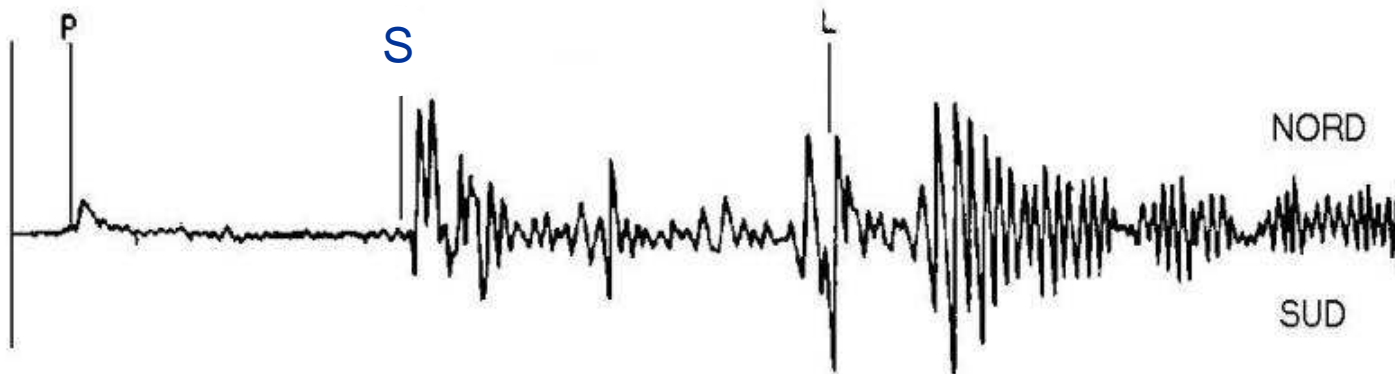
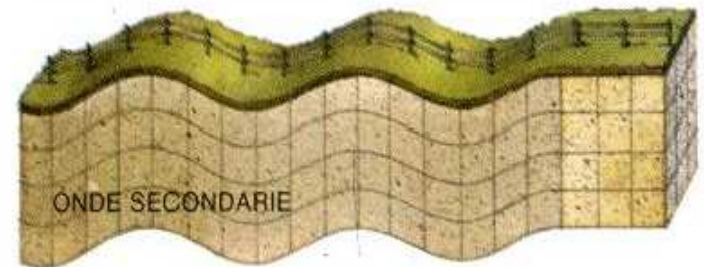
Onde di volume

Si hanno:

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

$$v_s = \frac{v_p}{\sqrt{3}}$$

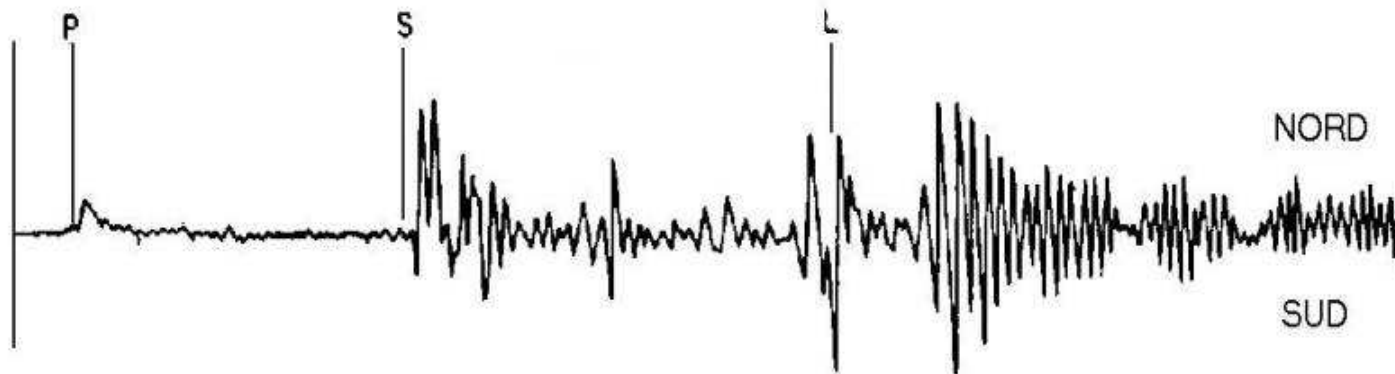
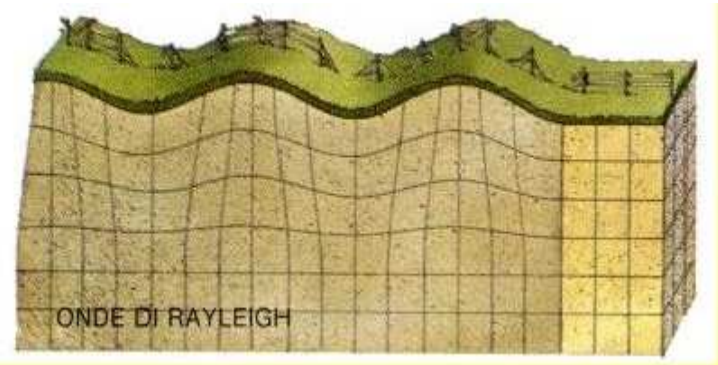
non si propagano
nei liquidi



Onde di superficie

Si hanno vari tipi, tra cui:

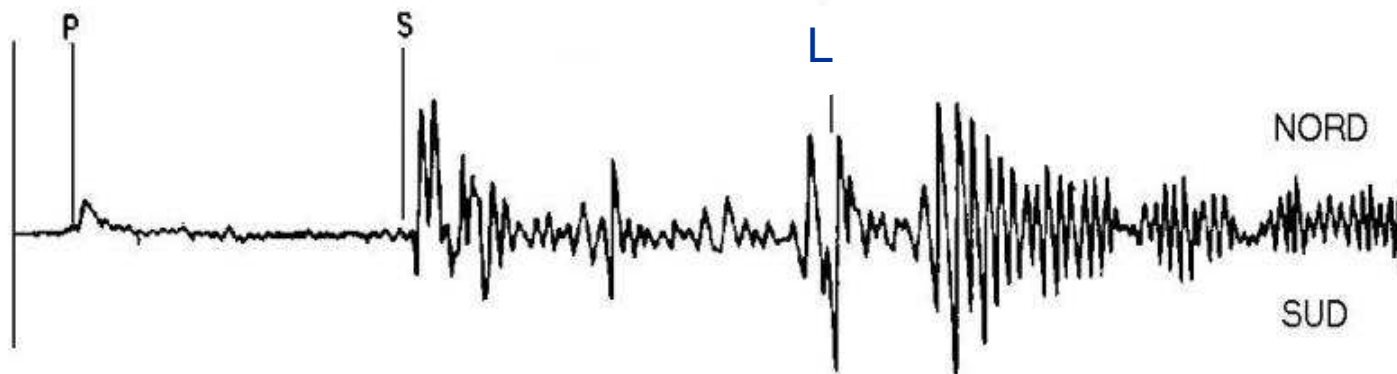
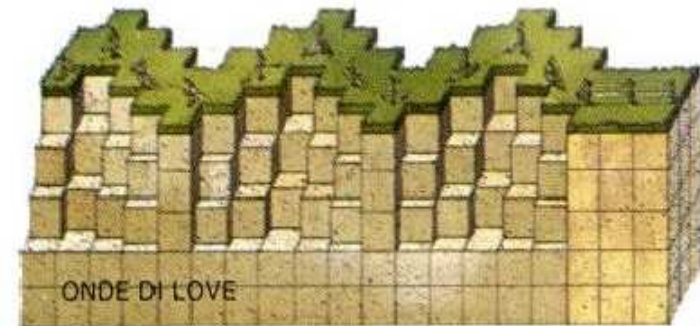
- Onde di Rayleigh (R)
con moto secondo un'ellisse
nel piano verticale



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



Registrazione di un evento sismico

- Oggi non si usa più far riferimento al sismogramma (spostamento nel tempo)
- Si fa riferimento all'accelerogramma (accelerazione nel tempo)

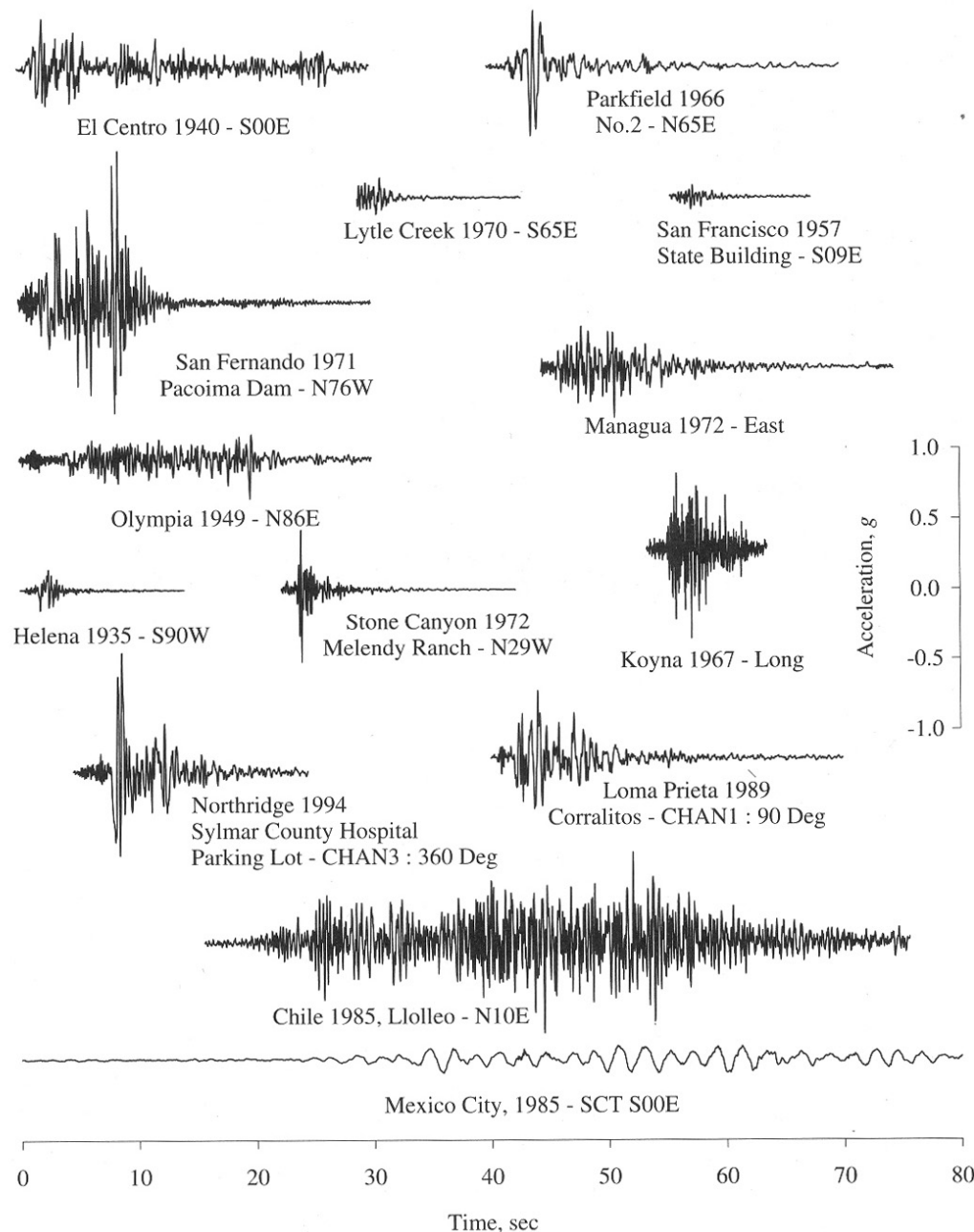
Accelerogramma

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:

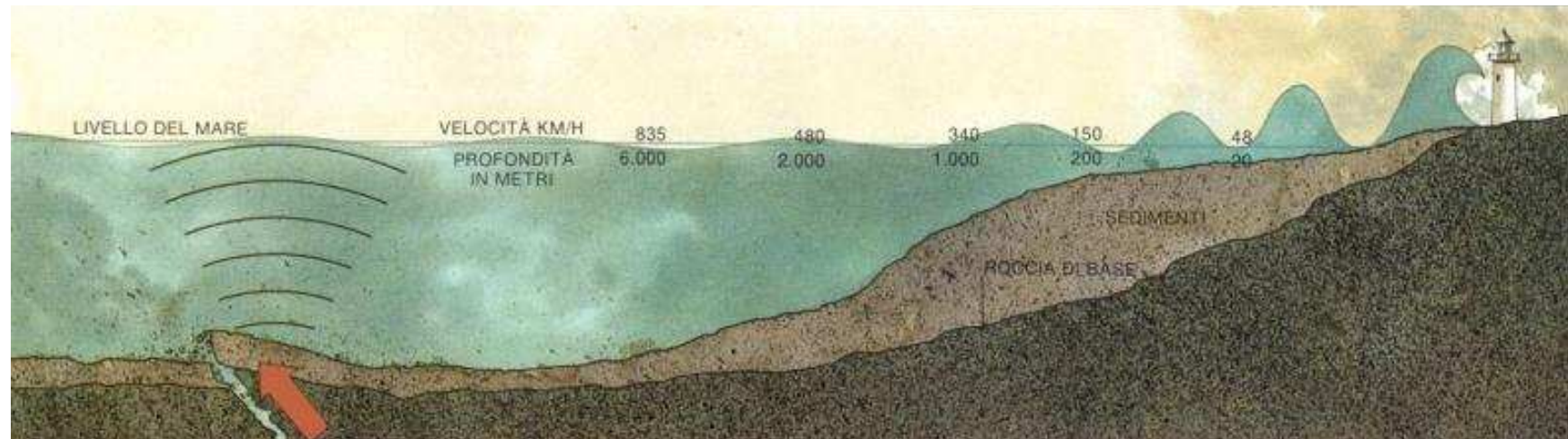
valori del PGA (Peak Ground Acceleration = accelerazione massima) molto alti, da 0.3 a 0.7 g

forti differenze nel contenuto in frequenza e nella durata

I terremoti:
quali effetti producono?

Particolare attenzione a ...

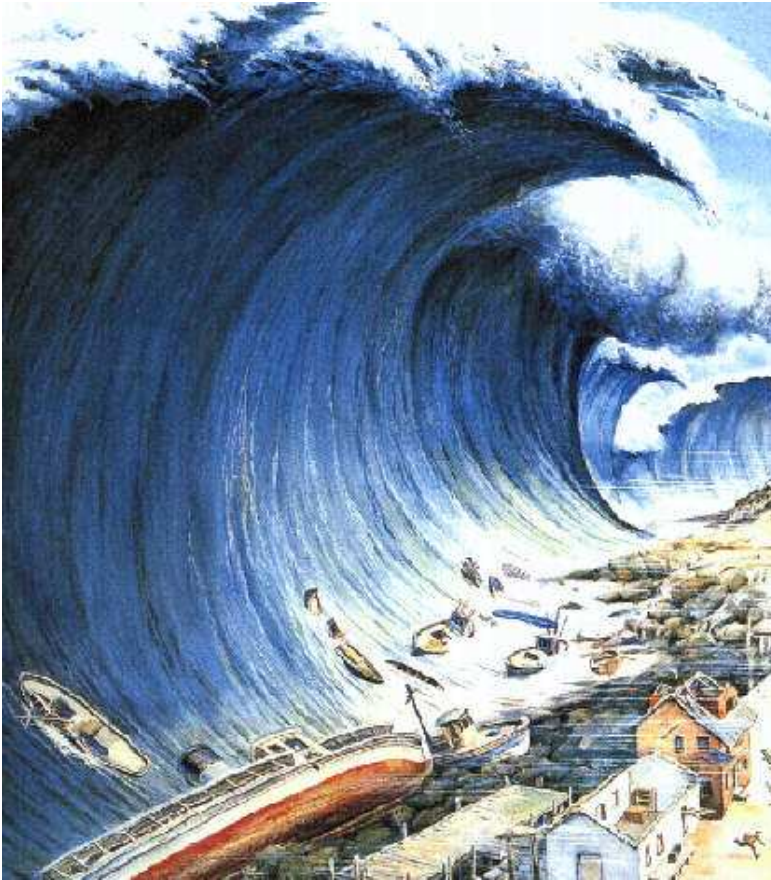
Maremoti, tsunami



Dove l'acqua è profonda le onde viaggiano a velocità elevatissime (es. oltre 800 km/ora)

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

Tsunami



Tsunami



Tsunami



Tsunami



Tsunami



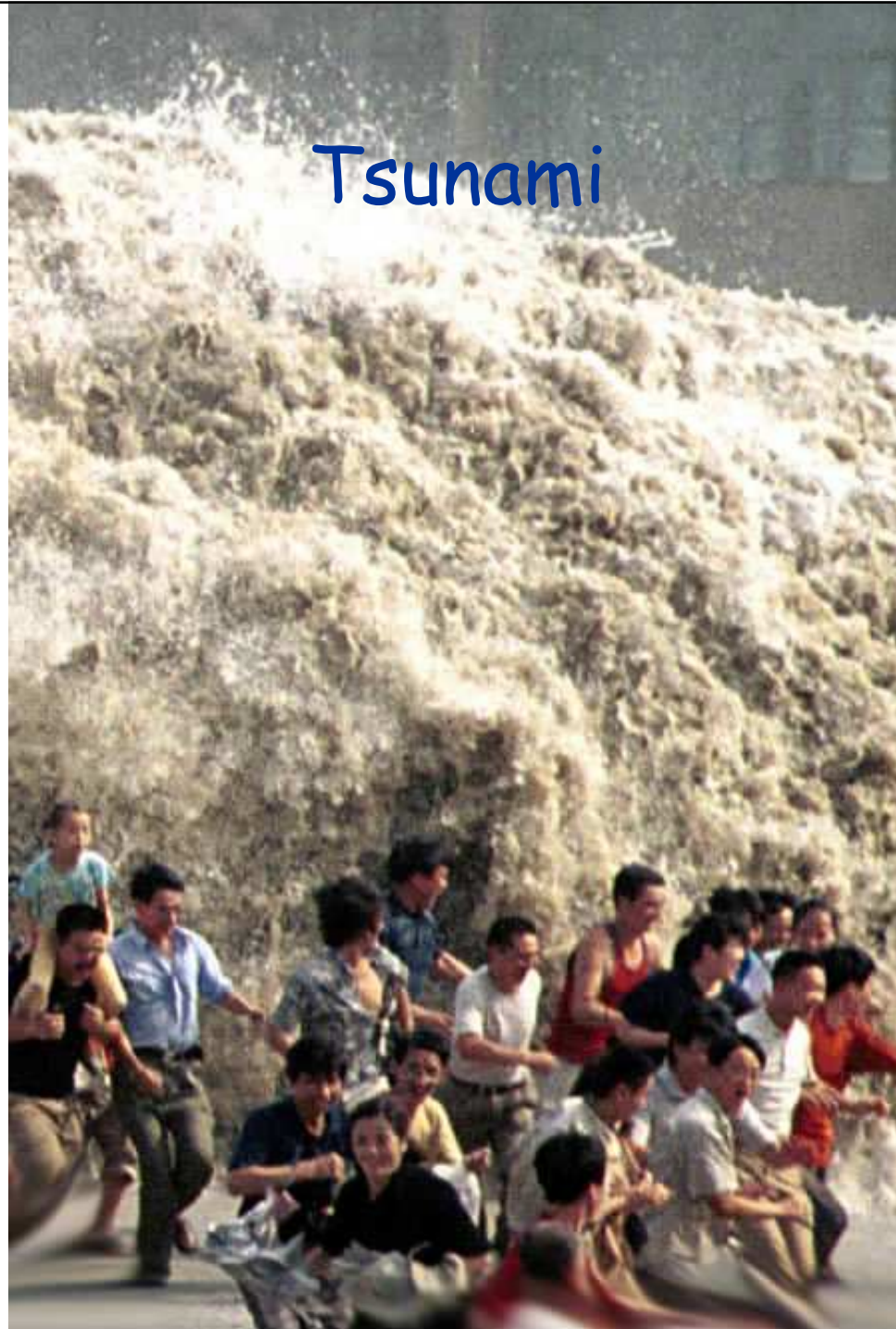
Tsunami



Tsunami



Tsunami



Tsunami

Commenti:

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

Scorrimenti della faglia



1999 - Turchia

Scorrimenti della faglia

Commenti:

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

Movimenti della faglia, smottamenti del terreno, frane



1999 - Turchia

Movimenti della faglia,
smottamenti del terreno,
frane



1948 - Giappone



1999 - Turchia

Movimenti della faglia,
smottamenti del terreno,
frane



12/4/1998 – Slovenia



1999 – Turchia

Cedimenti del terreno



1997 - Umbria

Smottamenti del terreno, frane

Commenti:

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



Liquefazione di strati sotterranei



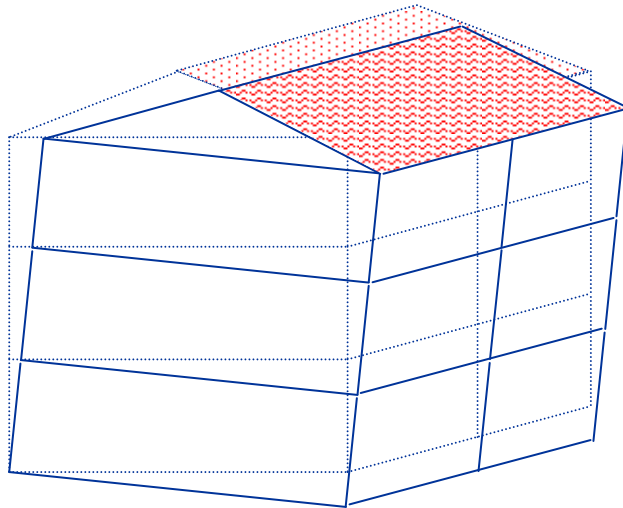
1964 - Alaska

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

Liquefazione del terreno

Commenti:

- Occorre conoscere bene il rischio di liquefazione del terreno
- Dovrebbero essere gli enti pubblici (comuni, ecc.) ad individuare nel piano regolatore le zone a rischio di liquefazione e considerarle non edificabili
- In ogni caso, il progettista deve curare particolarmente le fondazioni, evitando di poggiarle su terreni a rischio di liquefazione (eventualmente usare pali, se così si può arrivare a strati del terreno sicuri)

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



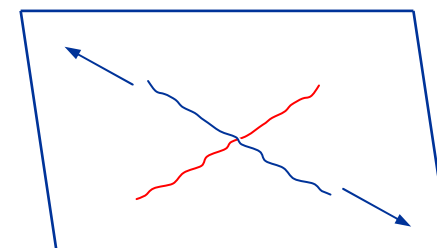
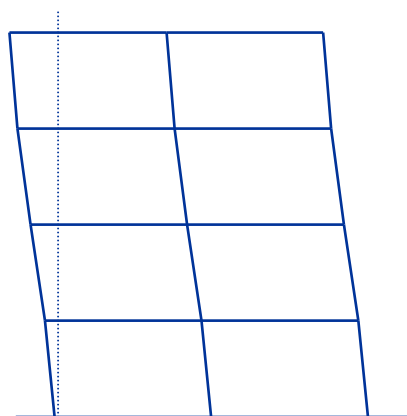
Napoli,
Facoltà di
Ingegneria

23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

Danni ai tramezzi



Napoli,
Facoltà di
Ingegneria



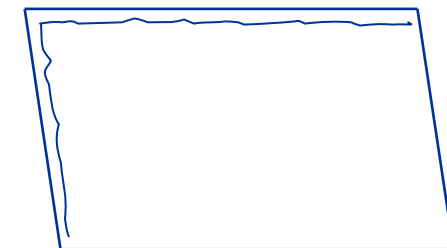
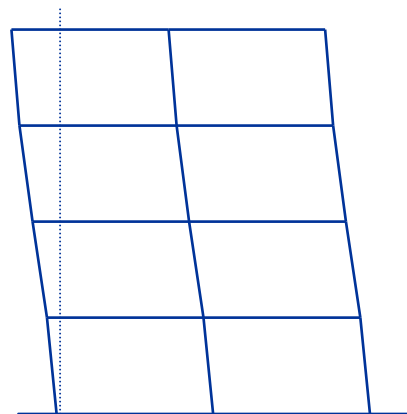
23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

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

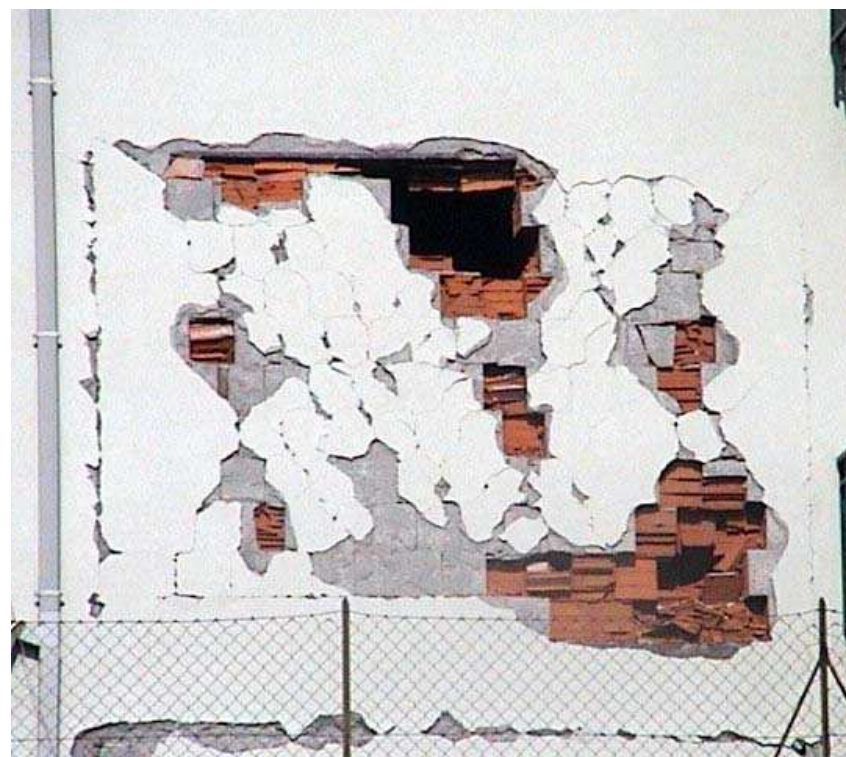
Danni alle pareti di tamponamento per azioni nel loro piano



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



Altre conseguenze dei terremoti



1906 - San Francisco

Incendi

Rottura delle
condotte idriche



Terremoti di intensità medio-bassa con basso periodo di ritorno

Commenti:

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



Occorre tener conto di questo nella progettazione

I terremoti: quali effetti producono?

Accelerazione sismica elevata
Alto periodo di ritorno

Danno agli elementi strutturali



2002 – Santa Venerina

foto G. Gaeta

Danni e difetti costruttivi



Mancanza di
staffe in testa
al pilastro e
nel nodo

2002 – Santa Venerina

foto G. Gaeta

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

2002 – Santa Venerina

foto G. Gaeta

Ma tra i difetti ...

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



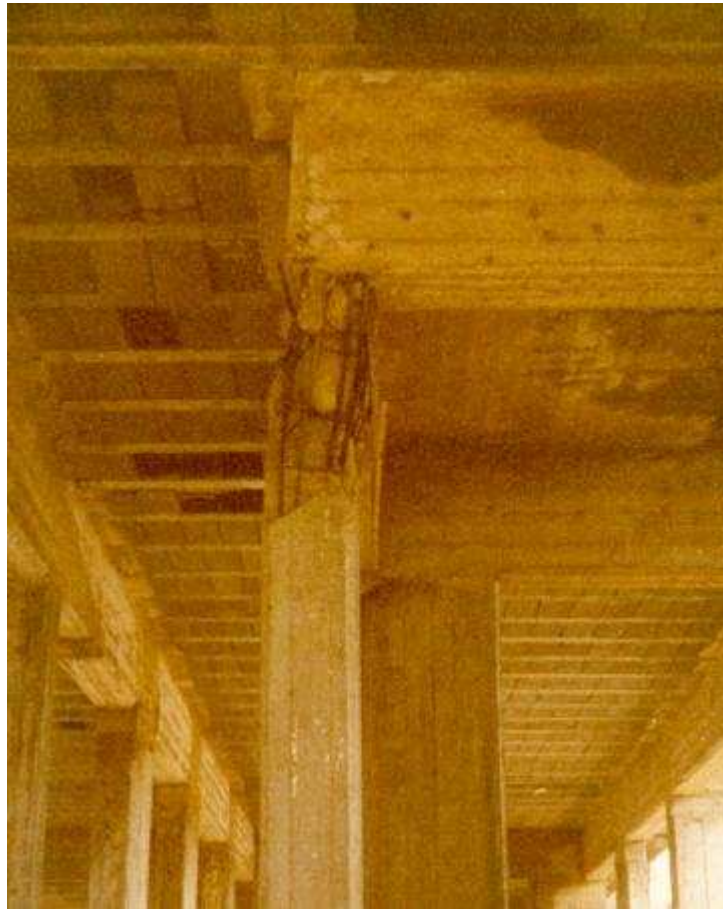
2002 – Santa Venerina



... la trascuratezza
degli operai

foto G.Gaeta

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



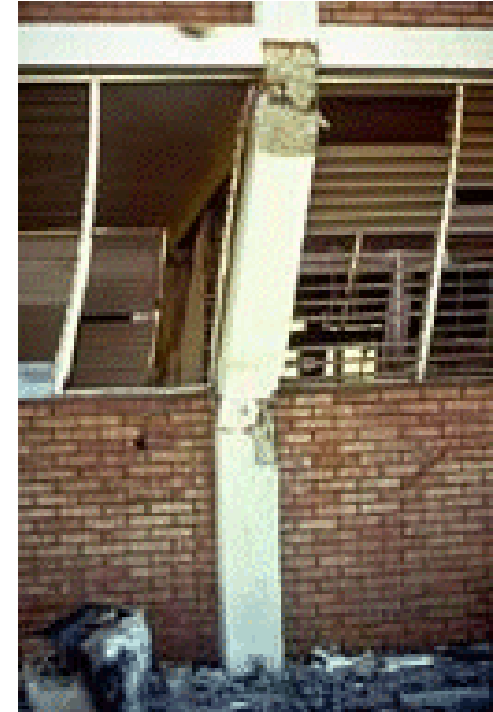
1999 – Turchia

Meccanismi di piano - senza crollo

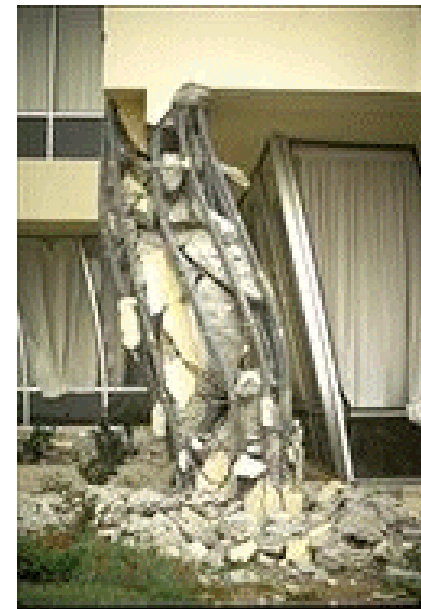
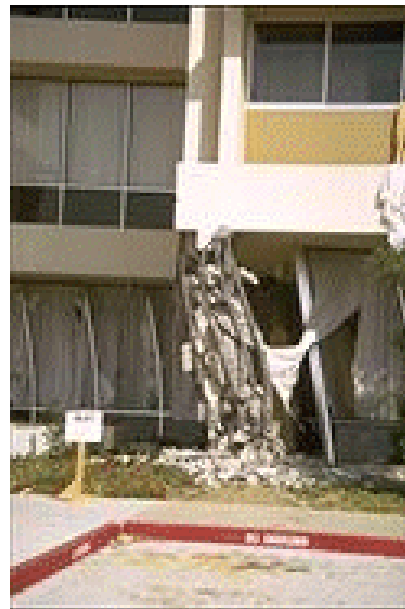
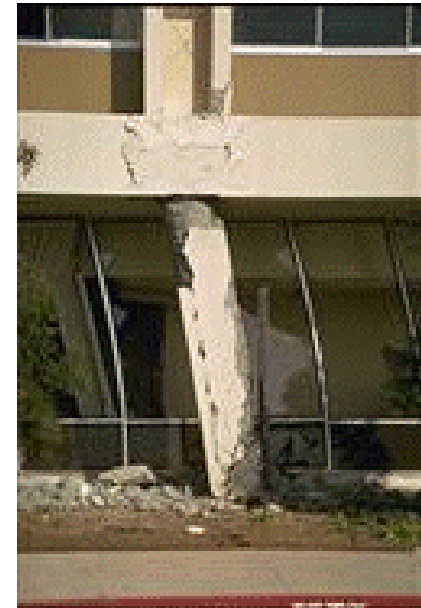


1999 – Turchia

Meccanismi di piano - senza crollo



Meccanismi di piano - senza crollo



1971 – San Fernando

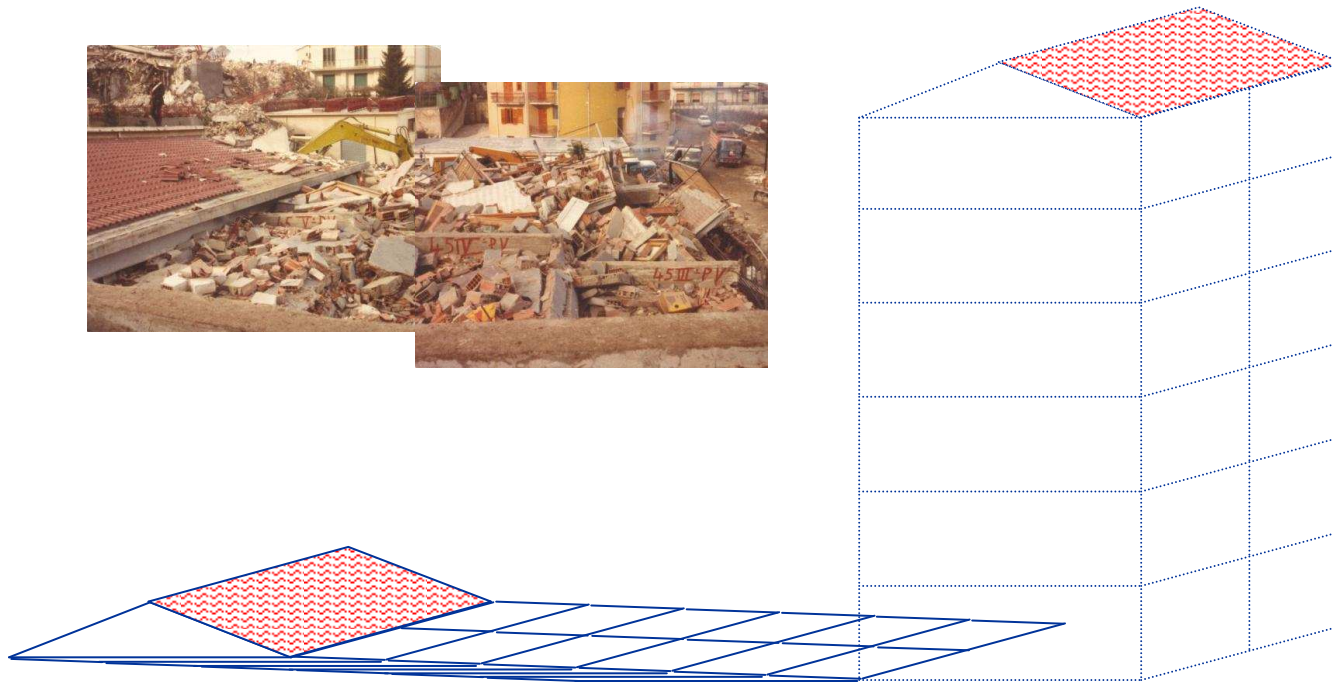
Meccanismi di piano - crollo totale, con traslazione degli impalcati

S. Angelo dei Lombardi,
edificio 1



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

Crollo totale, con traslazione degli impalcati



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

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



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

S. Angelo dei Lombardi
edificio 2

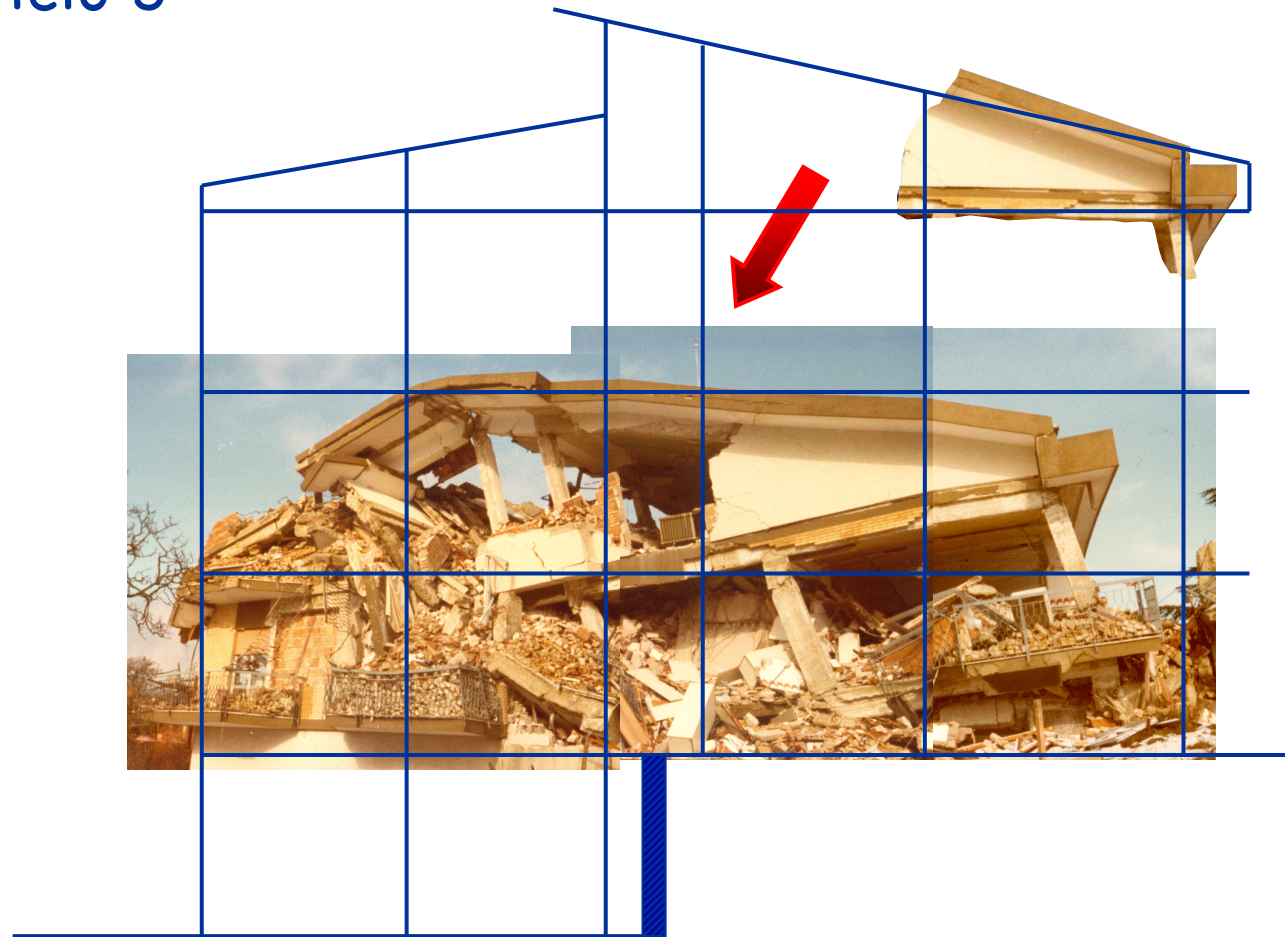
S. Angelo dei Lombardi

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



2002 – Santa Venerina

foto G. Gaeta

... con risultati fatali



1999 – Turchia



foto A. Gherzi

Perdita del piano inferiore

Lioni,
edificio del Banco di Napoli



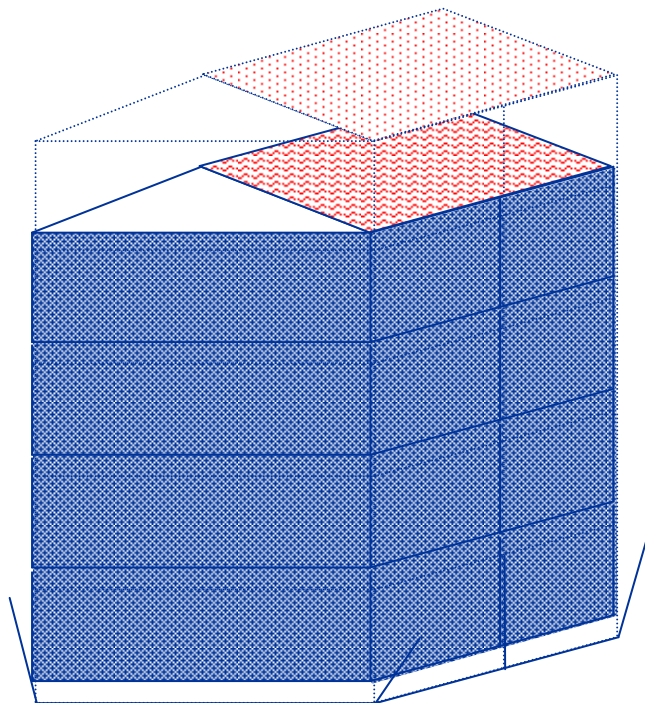
23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

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



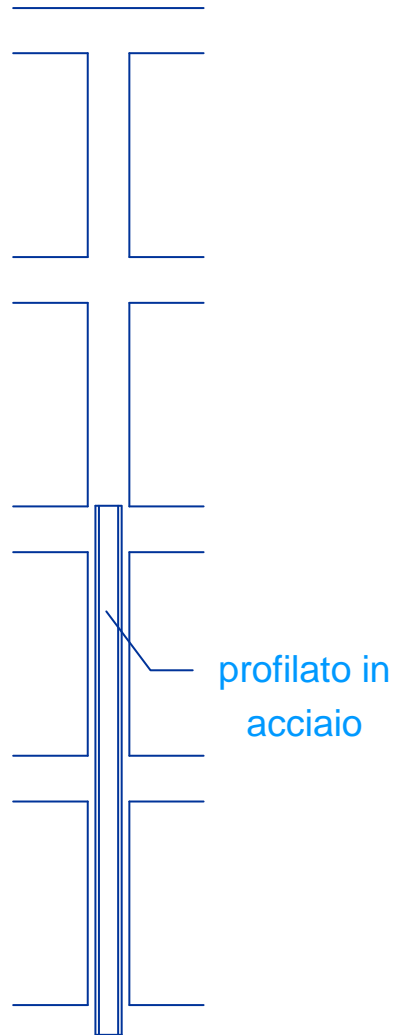
1999 – Turchia (?)

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

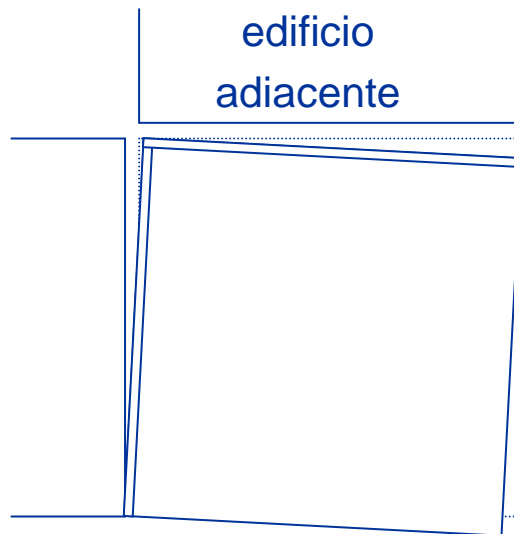


1995 – Kobe



Perdita di un piano intermedio

possibili effetti torsionali
in pianta



1995 – Kobe

Terremoti di intensità elevata con alto periodo di ritorno

Commenti:

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



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