

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

Costruzioni in zona sismica

Terremoti - cause ed effetti

11 ottobre 2011

Aurelio Ghersi

I terremoti

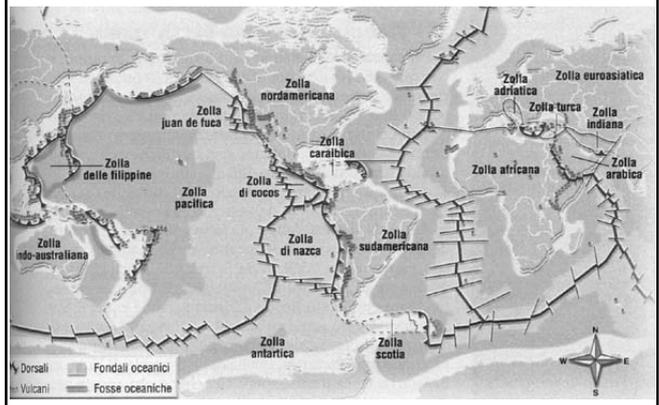
Cosa sono?

Quali effetti producono?

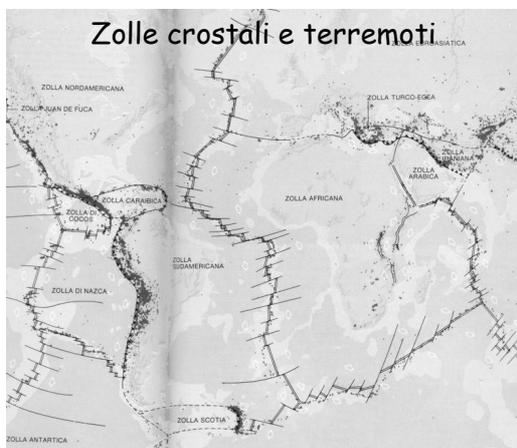
Qual è l'obiettivo della
progettazione antisismica?

I terremoti:
cosa sono?

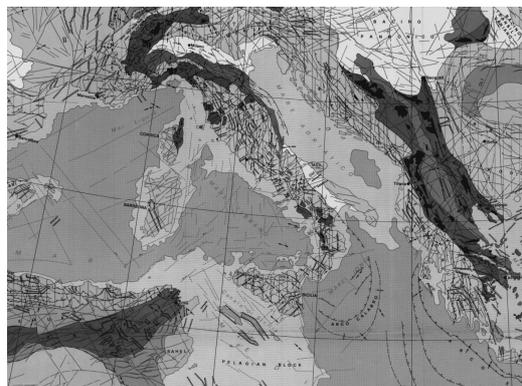
Zolle crostali e vulcani

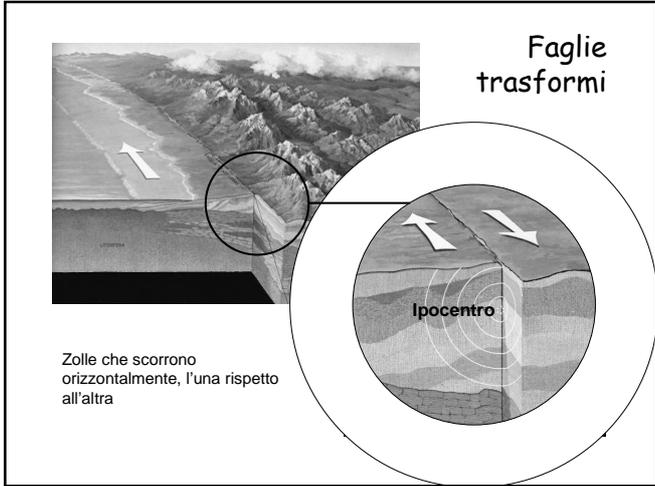
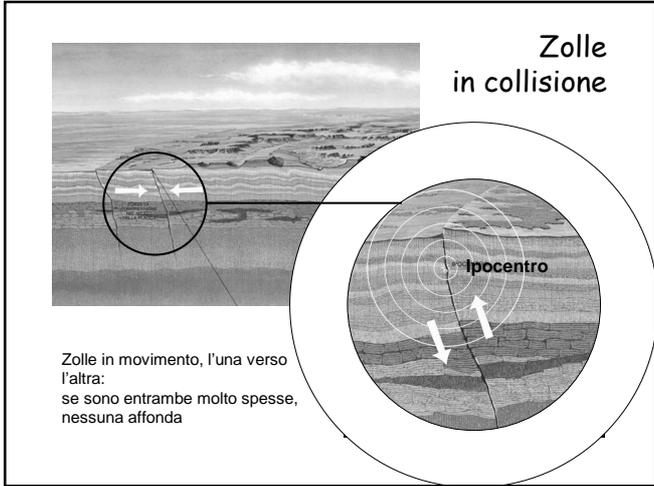
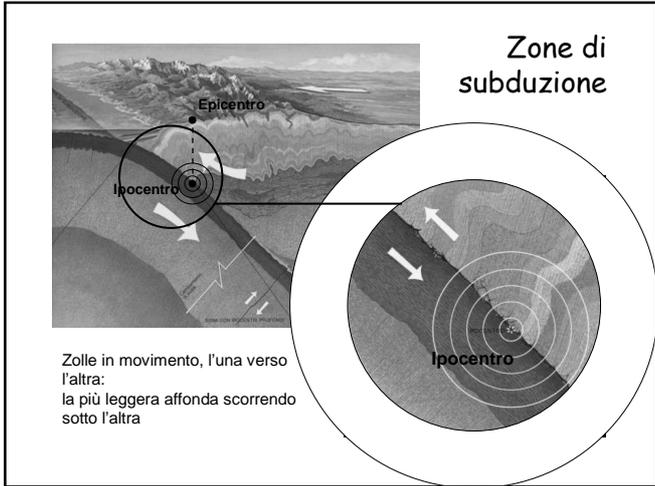
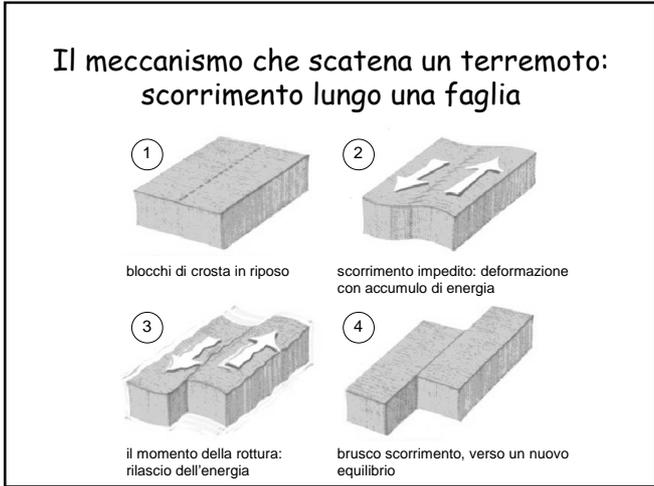
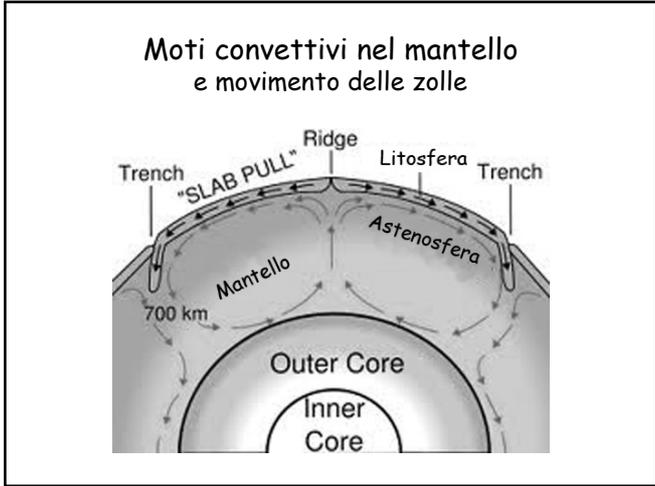


Zolle crostali e terremoti



Carta geologica - Italia





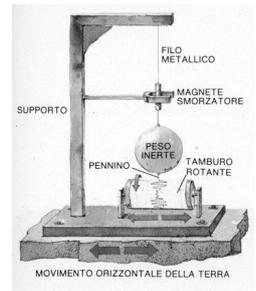
Onde sismiche

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



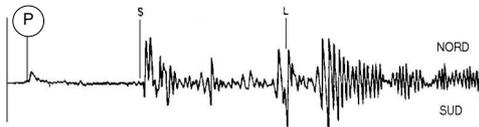
Onde di volume

Si hanno:

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



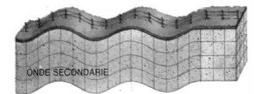
$$v_p \cong 1.1 \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \text{per roccia, } v_p \cong 5+6 \text{ km/s}$$



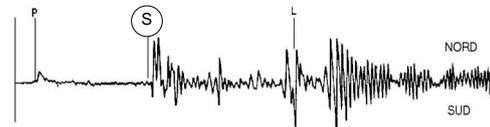
Onde di volume

Si hanno:

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



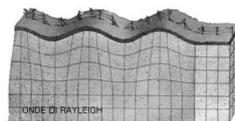
$$v_s = \frac{v_p}{\sqrt{3}} \quad \text{non si propagano nei liquidi}$$



Onde di superficie

Si hanno vari tipi, tra cui:

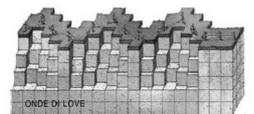
- Onde di Rayleigh (R) con moto secondo un'ellisse nel piano verticale



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



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

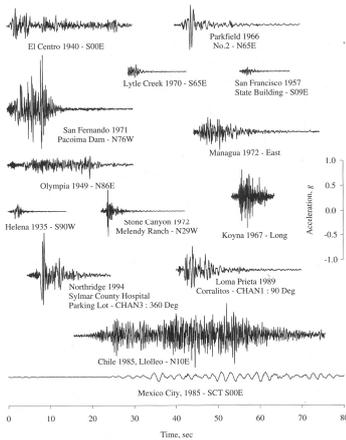
Accelerogrammi

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

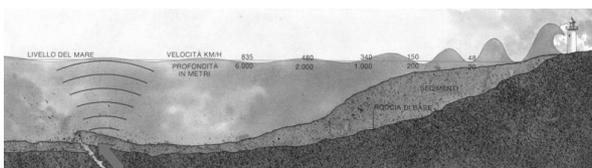
forti differenze nel contenuto in frequenza e nella durata



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

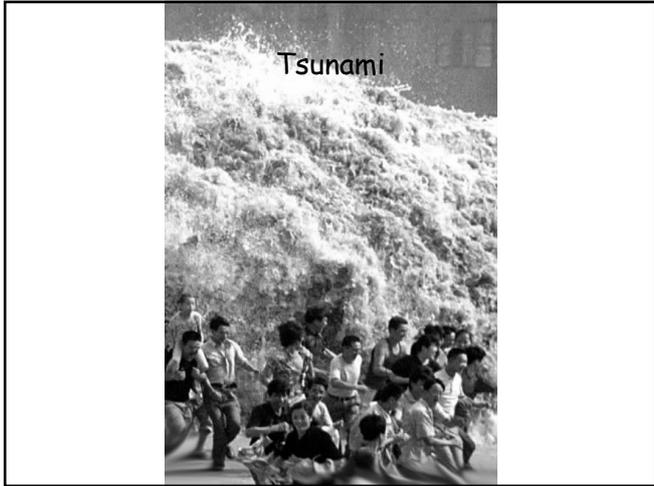


Tsunami



Tsunami





Tsunami

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

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





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 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



23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

Napoli,
Facoltà di Ingegneria

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



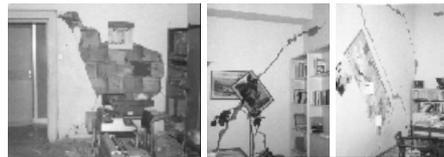
Danni ai tramezzi



Napoli,
Facoltà di
Ingegneria

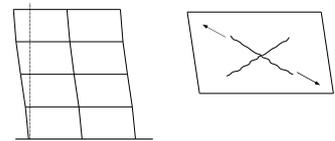
23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

Danni ai tramezzi

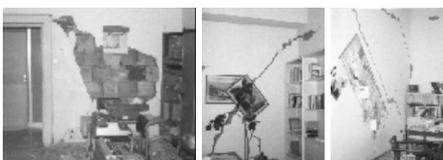


Napoli,
Facoltà di
Ingegneria

23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

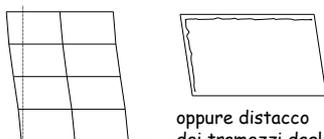


Danni ai tramezzi



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

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



Lesione a
taglio nel
pilastro

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



2002 – Santa Venerina

foto G. Gaeta

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...



2002 – Santa Venerina

foto G. Gaeta



... la trascuratezza
degli operai

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



parte compressa
dei pilastri

1999 - Turchia

Meccanismi di piano - senza crollo



Stati Uniti (2)



Meccanismi di piano - senza crollo



1971 - San Fernando

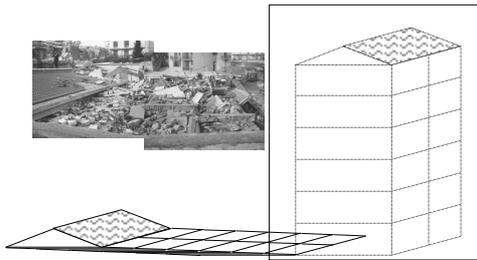
Meccanismi di piano - crollo totale, con traslazione degli impalcati

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

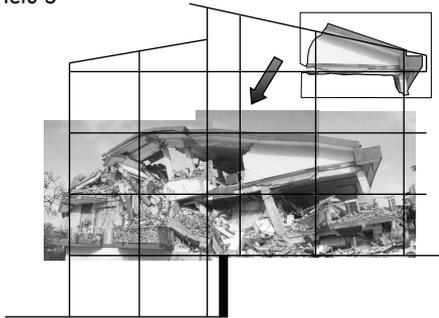
S. Angelo dei Lombardi edificio 2

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



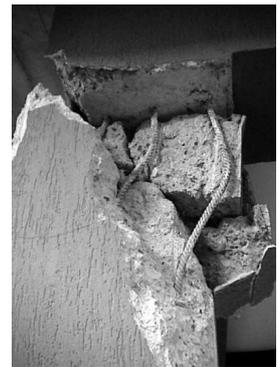
1994 – Northridge

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



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata



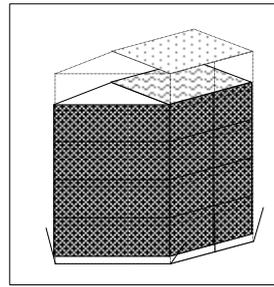
Lioni,
edificio del Banco di Napoli

Lioni, edificio del Banco di Napoli



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

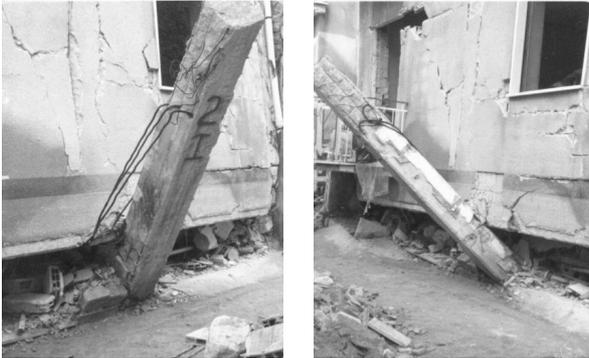
Lioni, edificio del Banco di Napoli



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



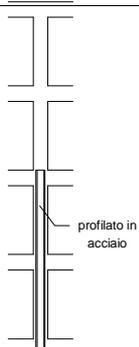
1999 – Turchia (?)

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