

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

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

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

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

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

```
graph TD; A[I terremoti] --- B(Cosa sono?); A --- C(Quali effetti producono?); A --- D(Qual è l'obiettivo della progettazione antisismica?);
```

I terremoti

Cosa sono?

Quali effetti producono?

Qual è l'obiettivo della progettazione antisismica?

```
graph TD; A[I terremoti] --- B(Cosa sono?); A --- C(Quali effetti producono?); A --- D(Qual è l'obiettivo della progettazione antisismica?);
```

I terremoti

Cosa sono?

Quali effetti producono?

Qual è l'obiettivo della progettazione antisismica?

```
graph TD; A[I terremoti] --- B(Cosa sono?); A --- C(Quali effetti producono?); A --- D(Qual è l'obiettivo della progettazione antisismica?);
```

I terremoti

Cosa sono?

Quali effetti producono?

Qual è l'obiettivo della progettazione antisismica?

```
graph TD; A[I terremoti] --- B(Cosa sono?); A --- C(Quali effetti producono?); A --- D(Qual è l'obiettivo della progettazione antisismica?);
```

I terremoti

Cosa sono?

Quali effetti producono?

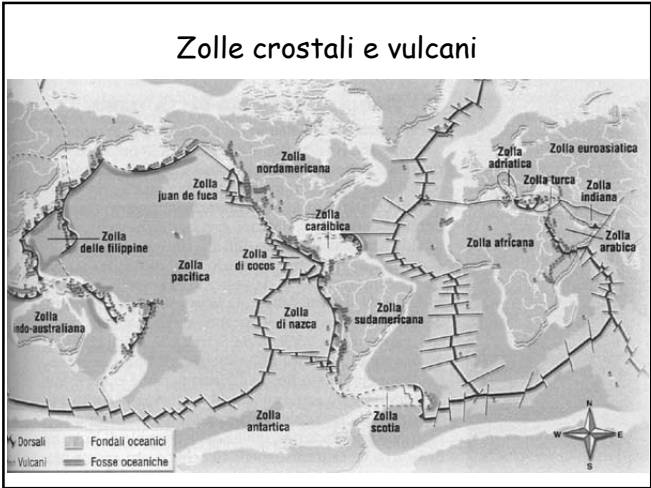
Qual è l'obiettivo della progettazione antisismica?

I terremoti:
cosa sono?


Zolle crostali e vulcani

The map illustrates the global distribution of tectonic plates and volcanic activity. Key features include:

- Tectonic Plates:** Labeled plates include Zolla delle filippine, Zolla indonesiana, Zolla indo-australiana, Zolla pacifica, Zolla di cocos, Zolla di nazca, Zolla sudamericana, Zolla antartica, Zolla nordamericana, Zolla caraibica, Zolla atlantica, Zolla africana, Zolla eurasiatica, Zolla turca, Zolla indiana, Zolla arabica, Zolla adriatica, Zolla juan de fuca, and Zolla scozia.
- Legend:**
 - Dorsali:** Represented by a line with small triangles pointing away from each other.
 - Fondali oceanici:** Represented by a line with small triangles pointing towards each other.
 - Vulcani:** Represented by a line with small circles.
 - Fosse oceaniche:** Represented by a line with small triangles pointing towards each other.
- Compass Rose:** Located in the bottom right corner, showing North (N), South (S), East (E), and West (W).

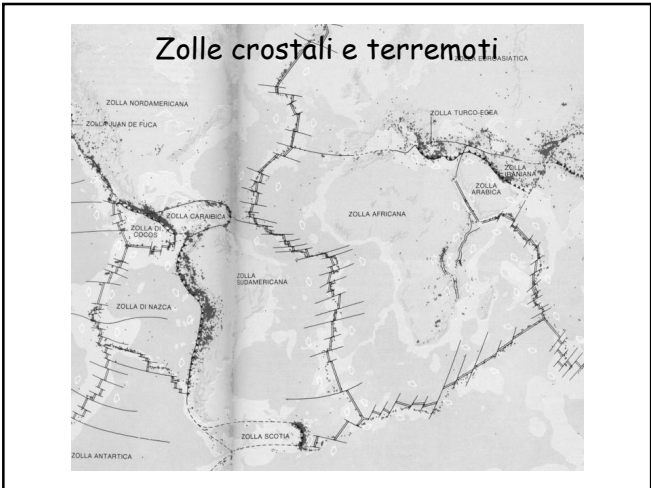
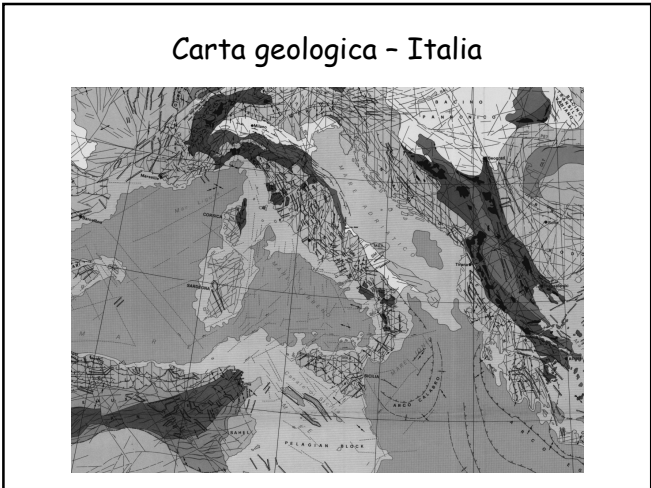


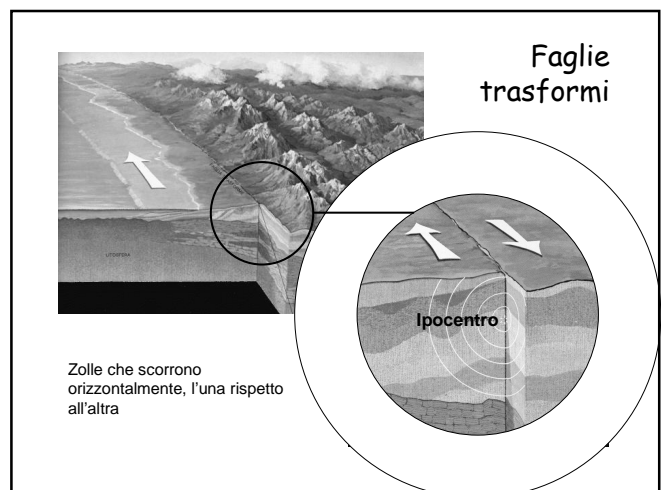
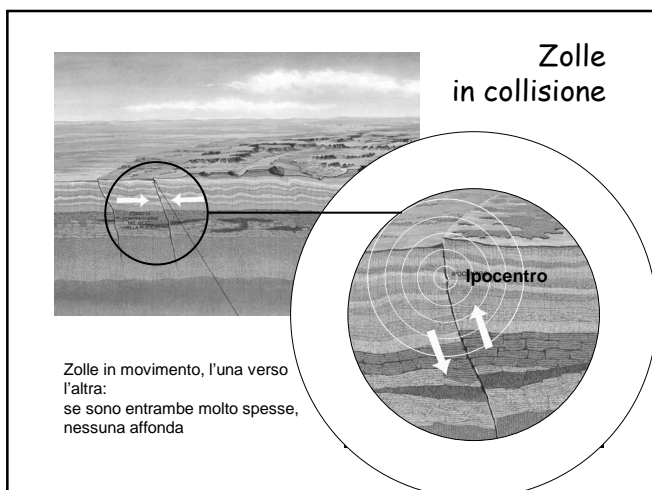
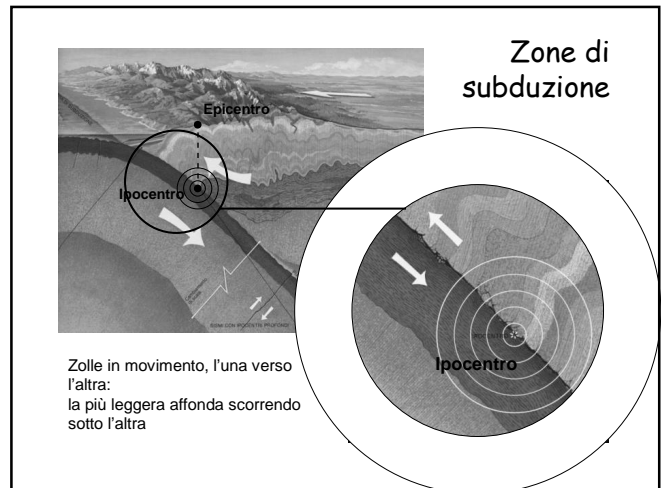
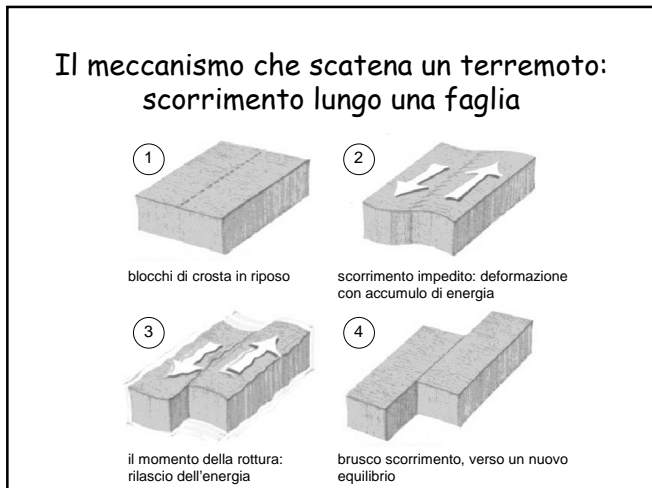
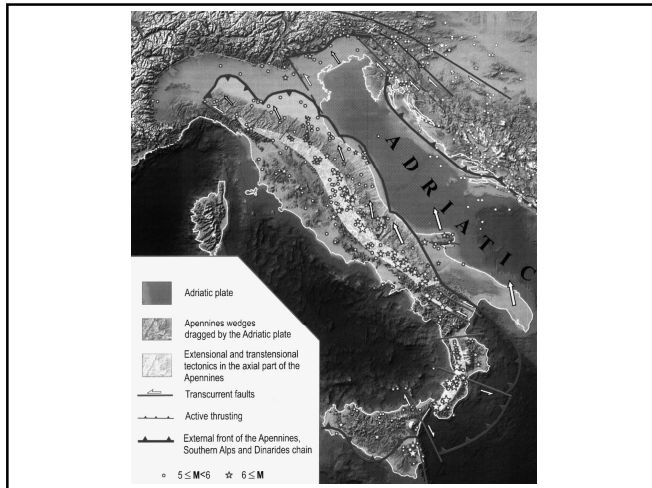
Zolle cristalline e terremoti



The map illustrates the global distribution of tectonic plates. The labels are as follows:

- Zolla Nordamericana
- Zolla Pacifica
- Zolla Africana
- Zolla Sudafricana
- Zolla Antartica
- Zolla Scotia
- Zolla Indianica
- Zolla Australiana
- Zolla Arabica
- Zolla di Cocos
- Zolla di Nazca
- Zolla di Juan de Fuca
- Zolla Turco-Siamese
- Zolla del Mediterraneo
- Zolla dell'Atlantico

[illegible]



Onde sismiche

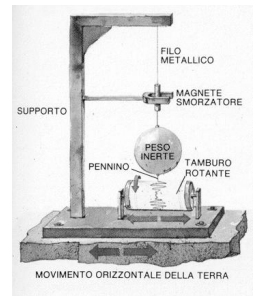
L'energia liberata dal sisma si propaga in onde

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

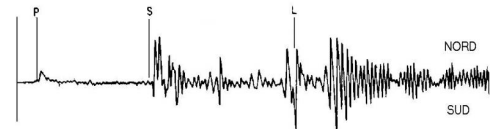
- onde di volume, che si propagano per tutto il volume t terrestre (più veloci)
- onde di superficie, che si propagano solo nello strato superficiale (maggior contenuto energetico)

Registrazione del moto del terreno

Sismografo: misura gli spostamenti del terreno



Sismogramma



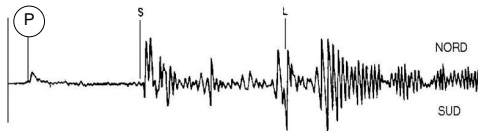
Onde di volume

Si hanno:

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



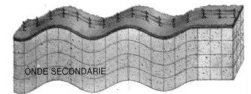
$$v_p \approx 1.1 \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \text{per roccia, } v_p \approx 5+6 \text{ km/s}$$



Onde di volume

Si hanno:

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



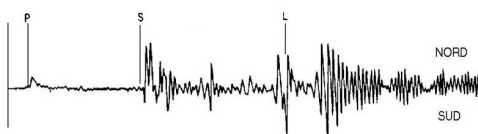
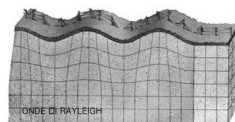
$$v_s = \frac{v_p}{\sqrt{3}} \quad \text{non si propagano nei liquidi}$$



Onde di superficie

Si hanno vari tipi, tra cui:

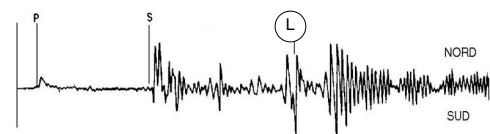
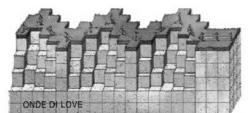
- Onde di Rayleigh (R) con moto secondo un'ellisse nel piano verticale



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

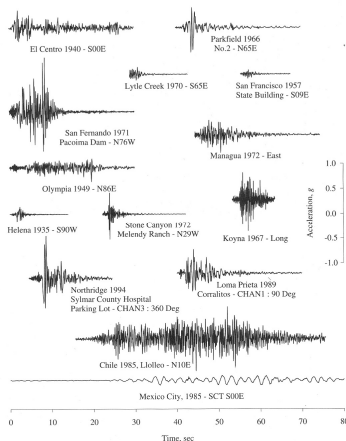
Diagramma l'accelerazione in funzione del tempo



Accelerogramma

Primo parametro di interesse: accelerazione massima

Ma sono importanti anche: durata, contenuto energetico



Accelerogrammi relativi a sismi di forte intensità in America

Notare:

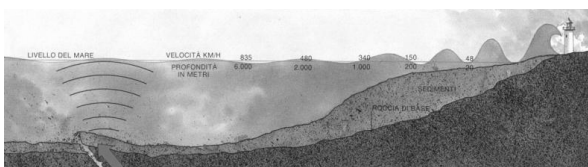
valori del PGA (Peak
Ground Acceleration =
accelerazione massima)
molto alti, da 0.3 a 0.7 g

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



12/4/1998 – Slovenia

Movimenti della faglia,
smottamenti del terreno,
frane



1999 – Turchia



1997 – Umbria

Cedimenti del terreno



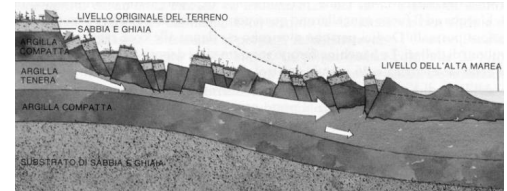
Smottamenti del terreno, frane

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



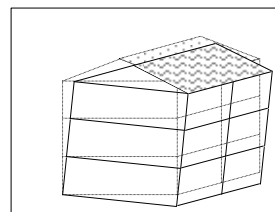
1964 – Alaska



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

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

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

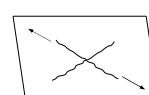
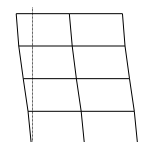
23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

Danni ai tramezzi



Napoli,
Facoltà di
Ingegneria

23/11/1980 - Irpinia e Basilicata

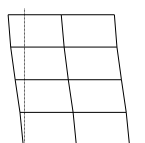


Danni ai tramezzi



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

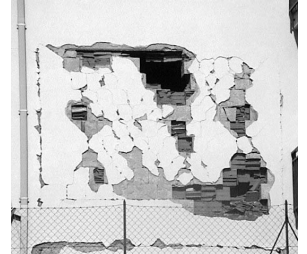
foto G. Gaeta

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

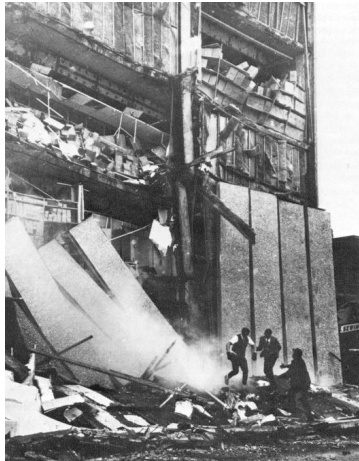


1994 - Northridge

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



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

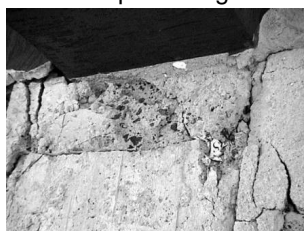
Mancanza di
staffe in testa
al pilastro



La barra
compressa si
instabilizza

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



1999 - Turchia

Meccanismi di piano - senza crollo



Stati Uniti (2)



Meccanismi di piano - senza crollo



1971 - San Fernando

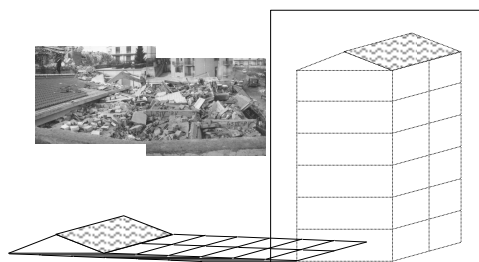
Meccanismi di piano - crollo totale, con traslazione degli impalcati

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

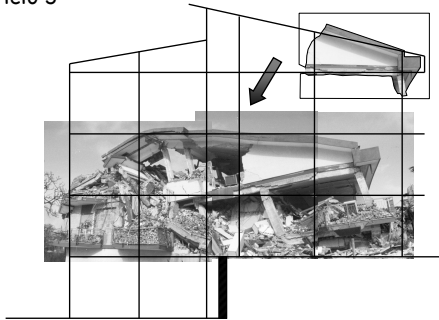
S. Angelo dei Lombardi
edificio 2

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

Lioni,
edificio del Banco di Napoli



23/11/1980 – Irpinia e Basilicata

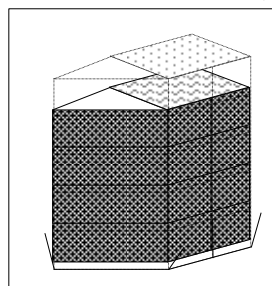




Lioni, edificio del Banco di Napoli

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 (?)

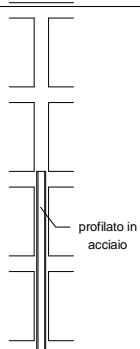
Perdita del piano inferiore



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