

Casi di danno alle strutture

Il sisma de L'Aquila

Ing. Romantini Massimo



**Camera di Commercio
Teramo**



Ordine Ingegneri Teramo



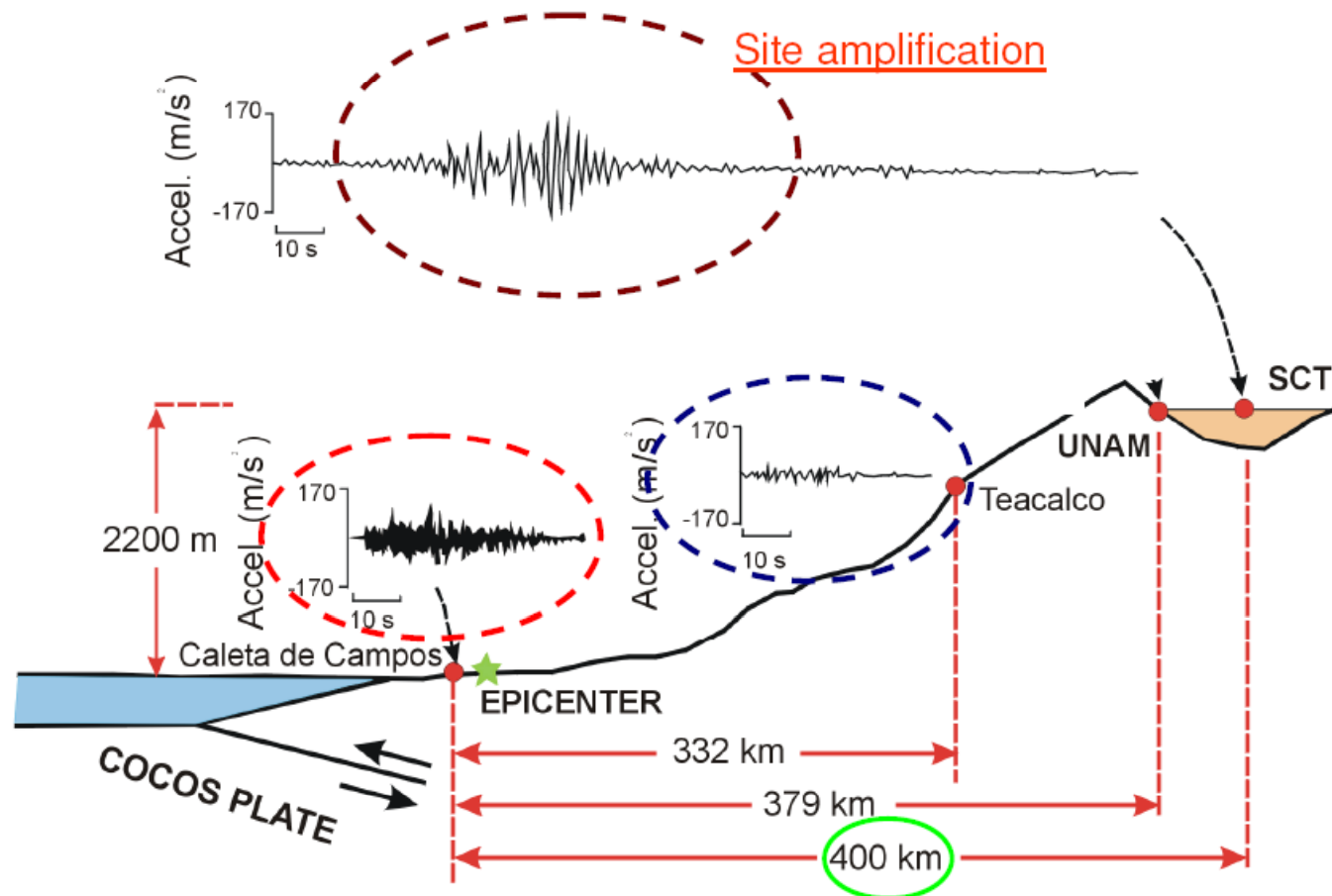
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Teramo

Natura di un terremoto



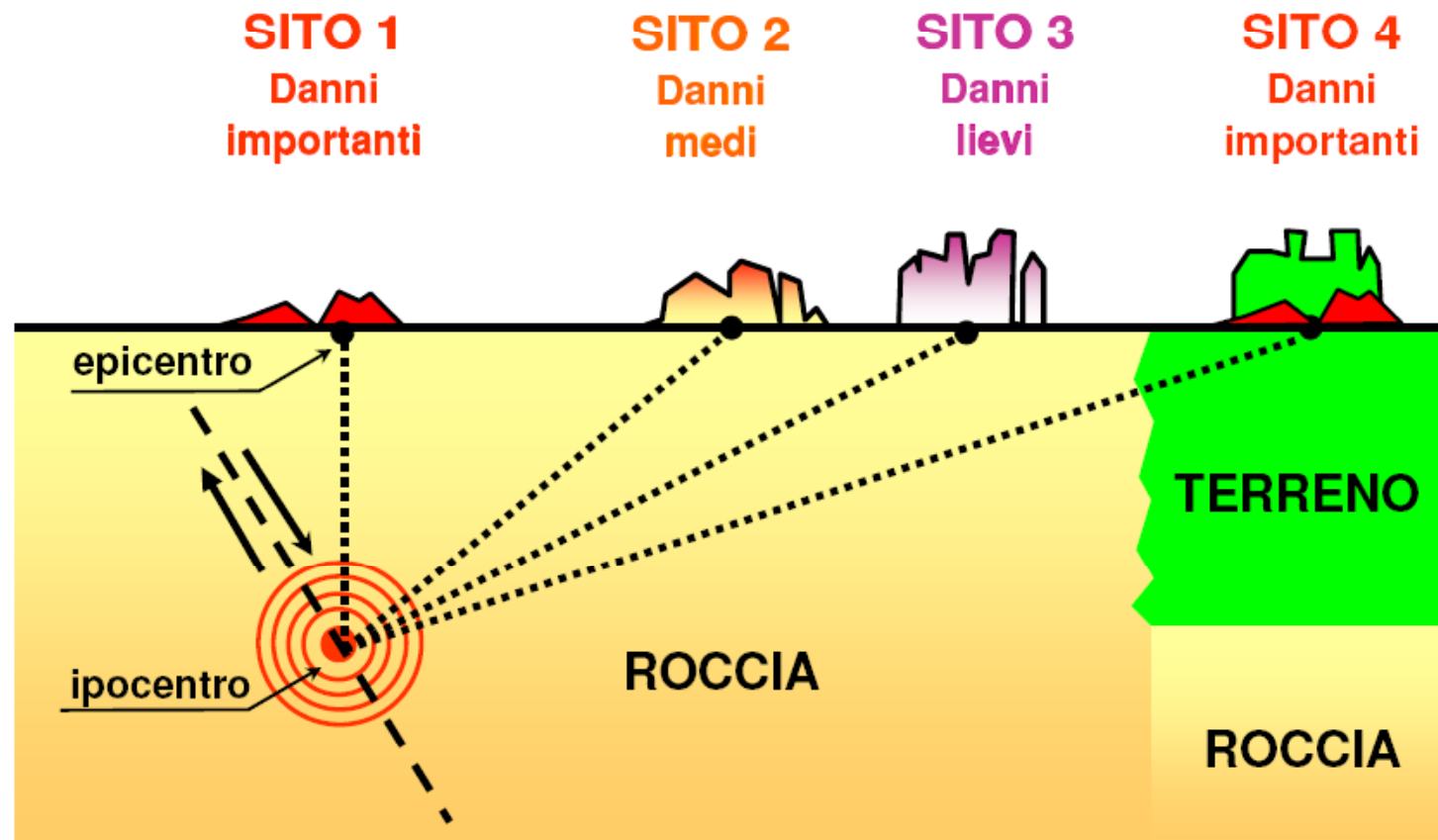
Fenomeni di sito

Mexico City earthquake, 1985 (M=8.1)



Fenomeni di sito

Gli **effetti di sito** possono modificare notevolmente il moto sismico atteso in un dato sito rispetto a quello che si avrebbe su roccia affiorante



Effetti di sito

Surface faulting

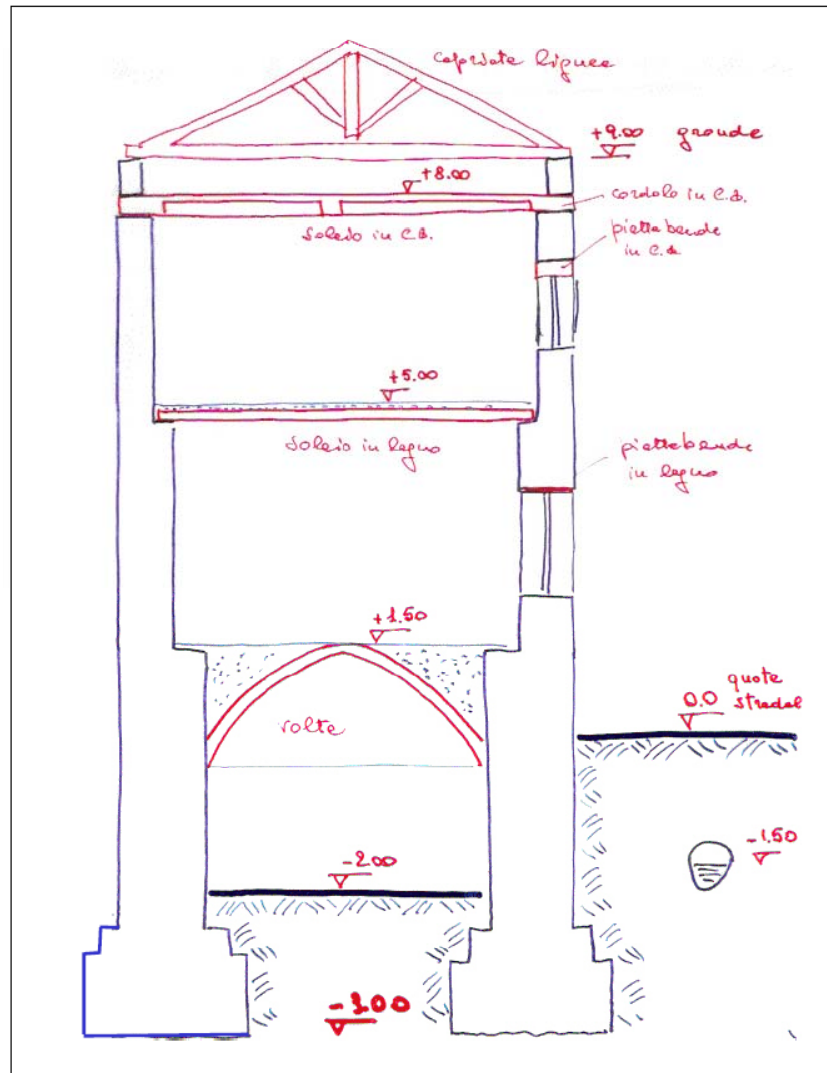


Izmit Earthquake $M = 7.4$ (1999) – “Sandwich” failure of r.c. buildings

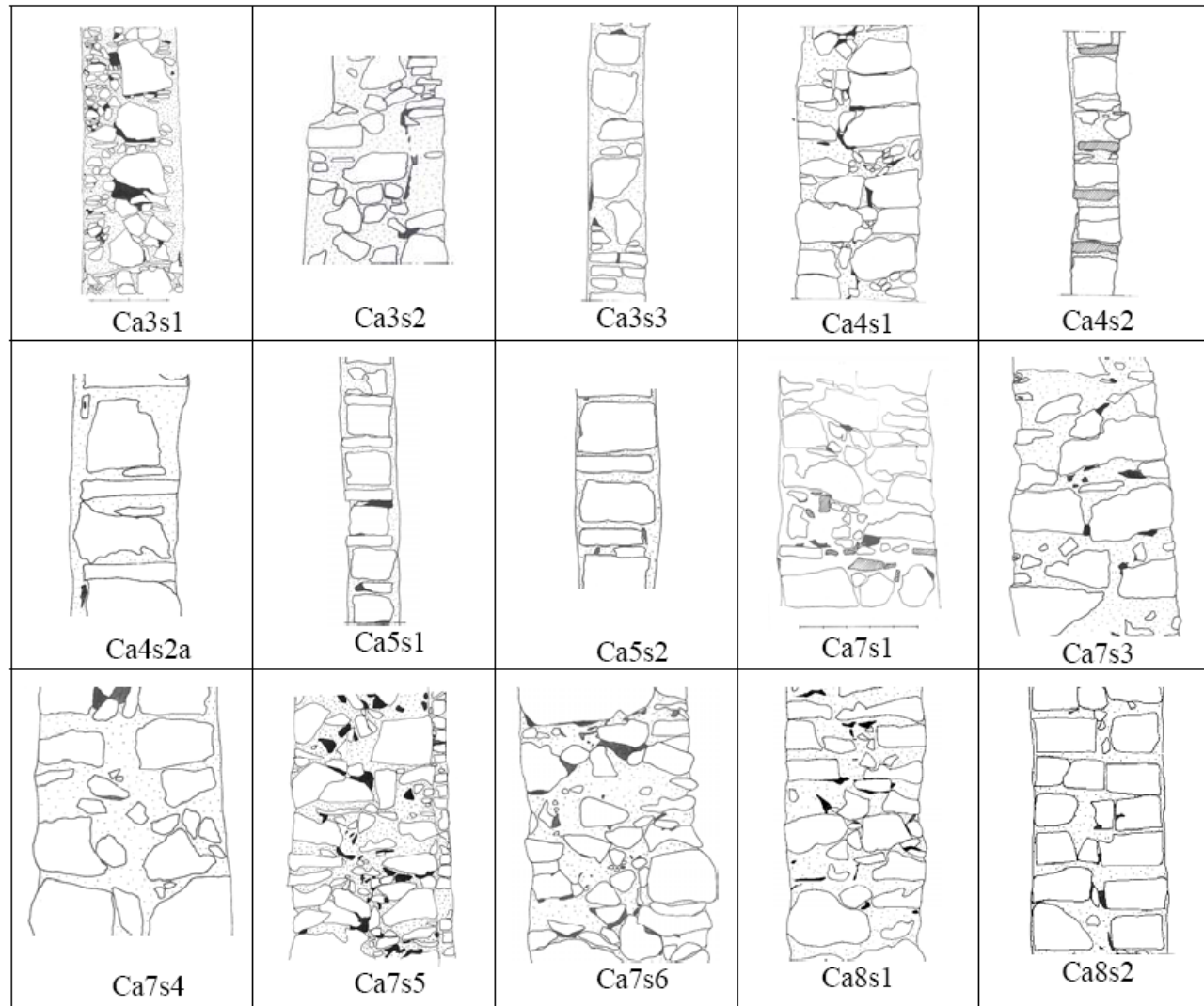
Effetti geotecnici



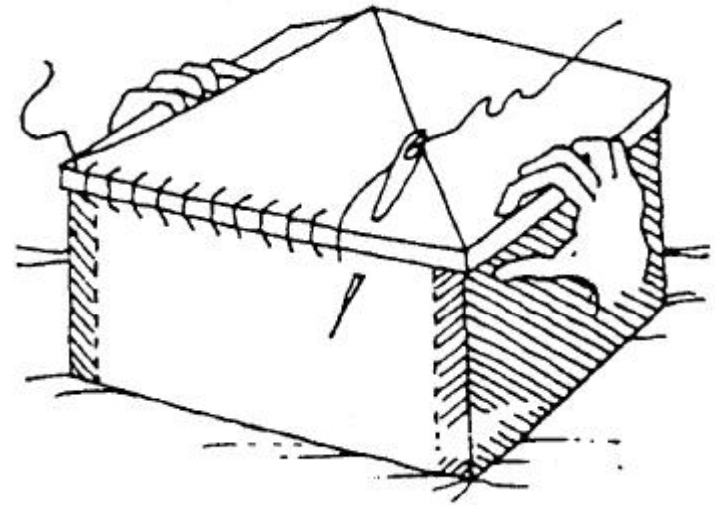
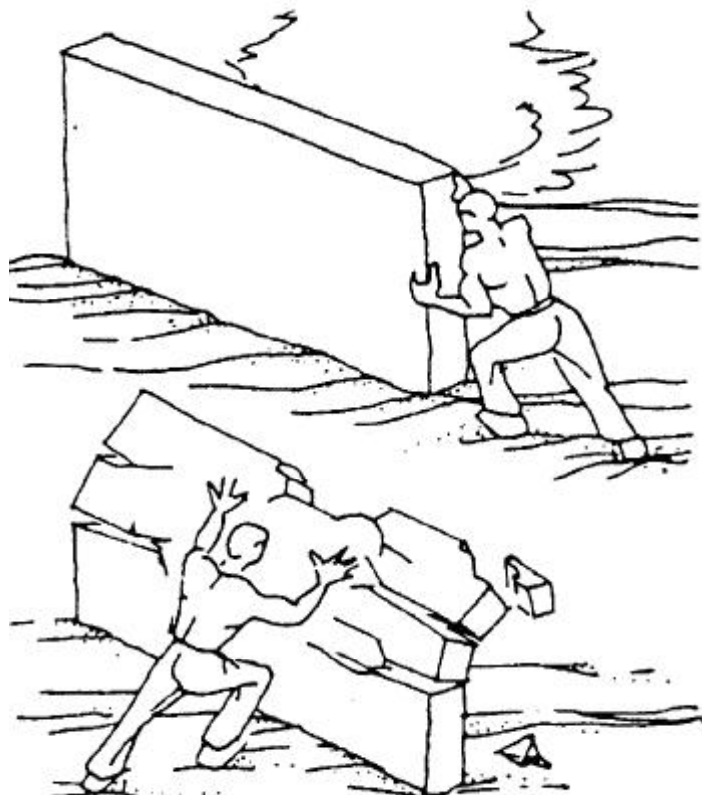
Comportamento delle murature



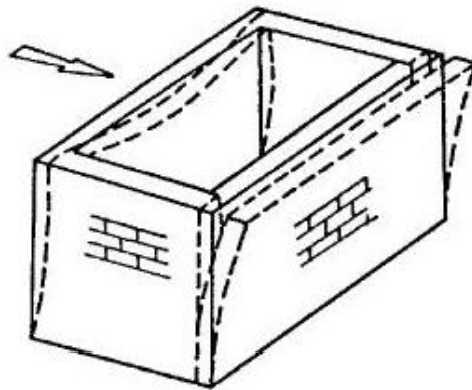
Comportamento delle murature



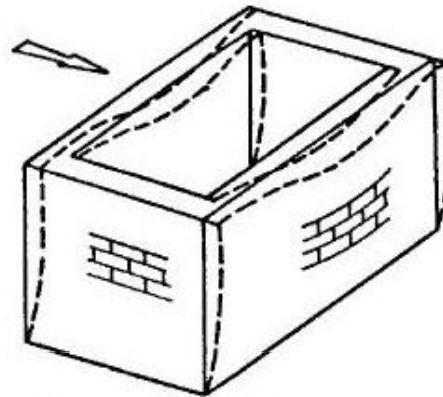
Comportamento delle murature



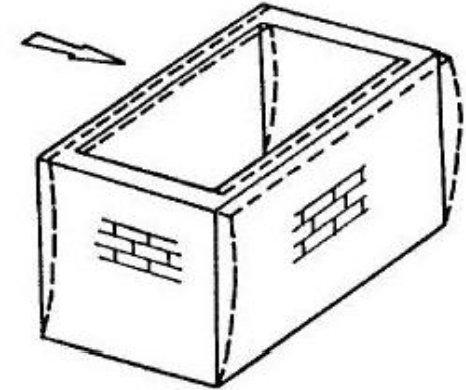
Comportamento delle murature



a) con solaio deformabile e senza cordolo



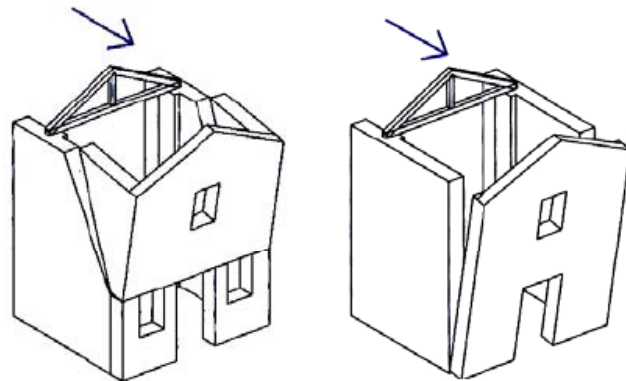
b) con cordolo e con solaio deformabile



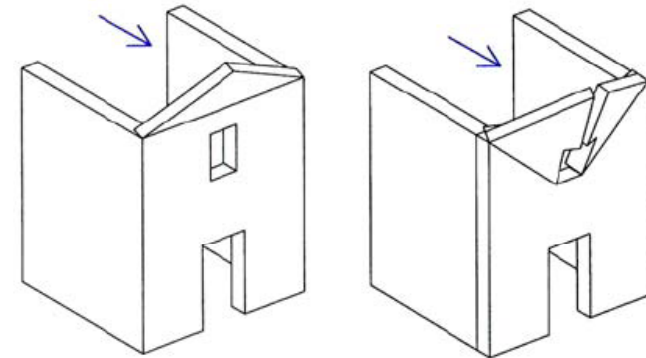
c) con cordolo e con solaio rigido

Comportamento delle murature

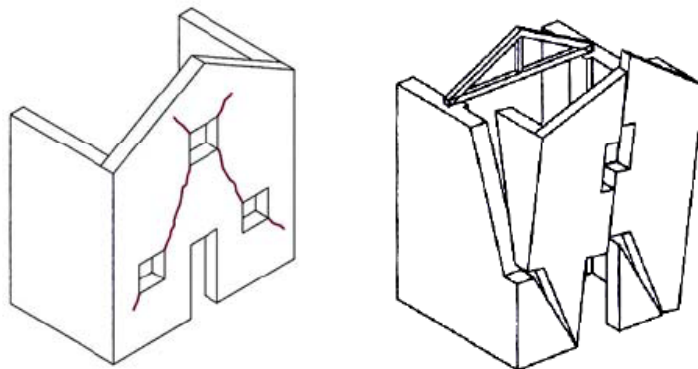
1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA



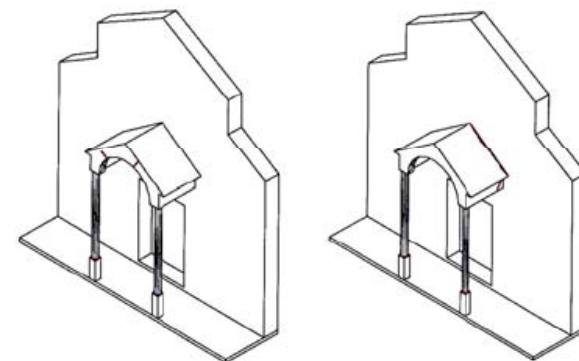
2. MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA



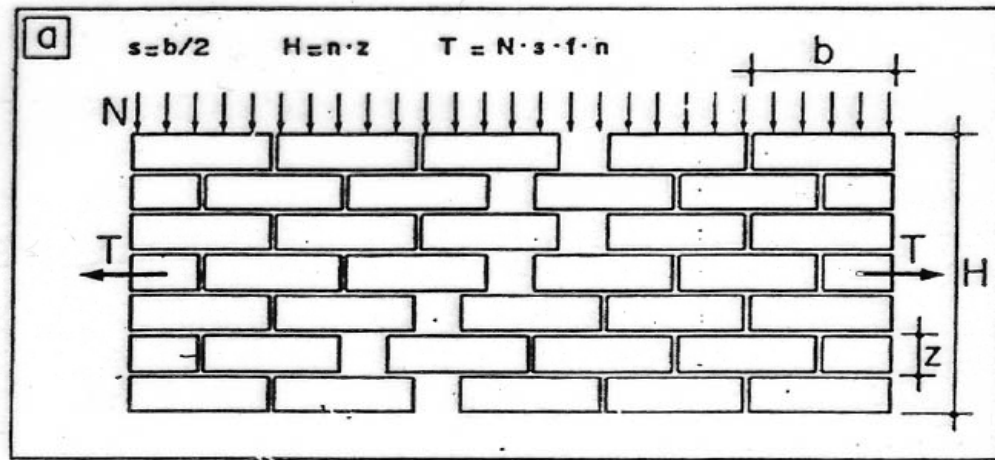
3. MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA



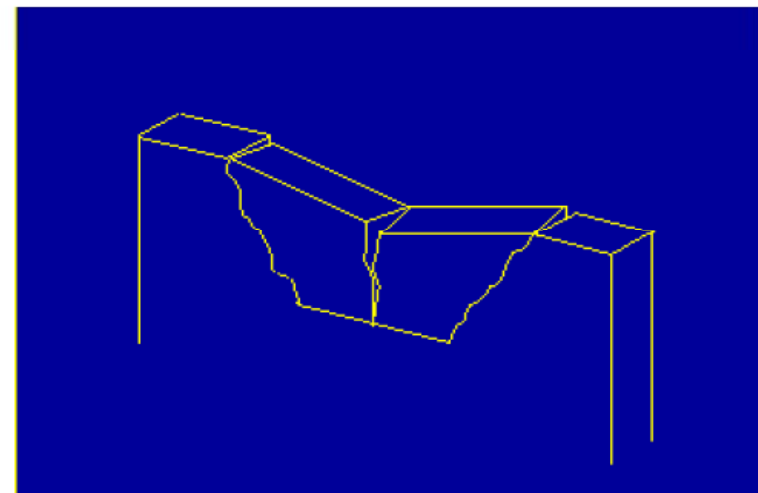
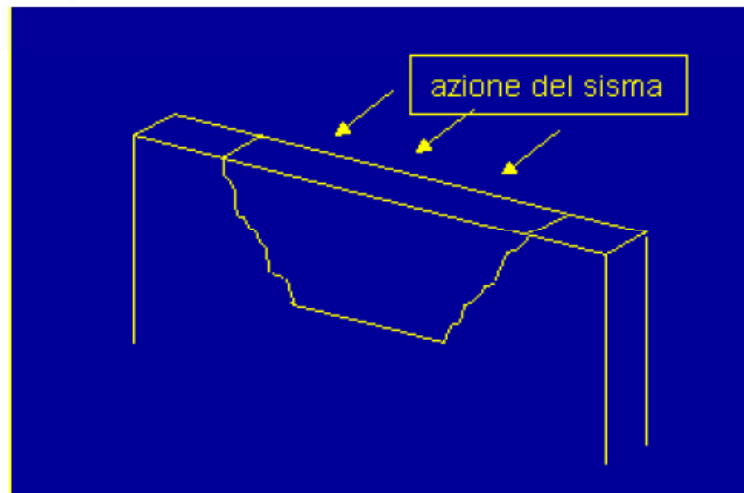
4 - PROTIRO - NARTECE



Comportamento delle murature

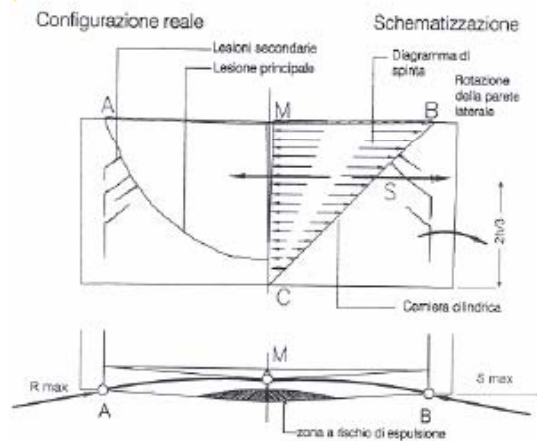
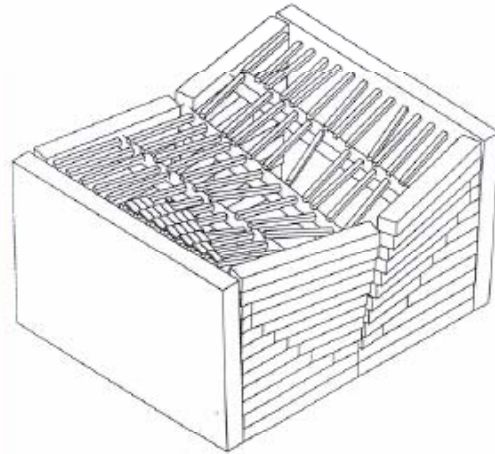


Si supera la resistenza a trazione della muratura nel paramento murario



Comportamento delle murature

Pareti sollecitate fuori dal loro piano: meccanismo di ribaltamento di parete priva di aperture.



Comportamento delle murature



© Reluis 2009

www.reluis.it

Comportamento delle murature

© Reluis 2009

www.reluis.it



© Reluis 2009

www.reluis.it

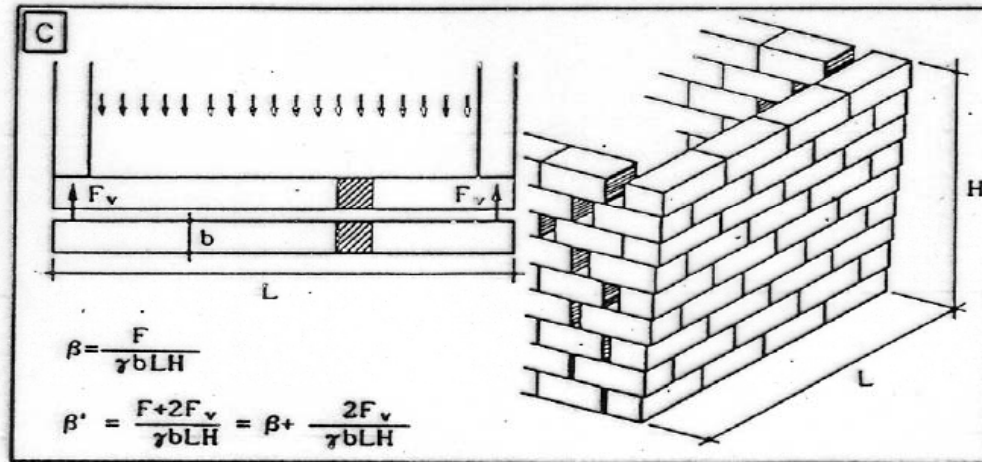
Comportamento delle murature



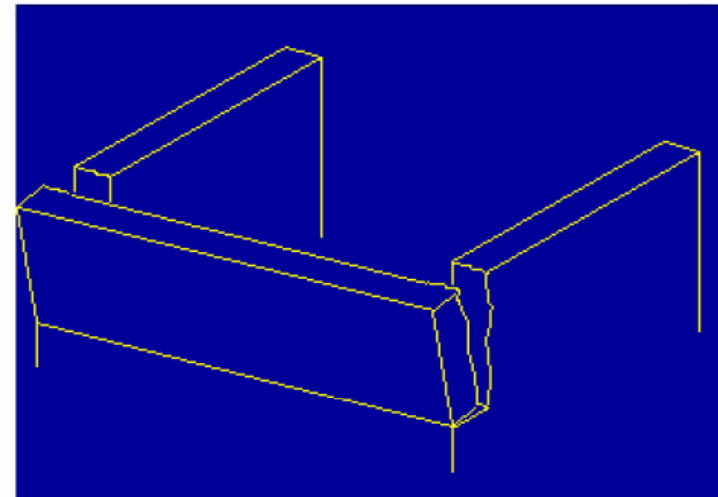
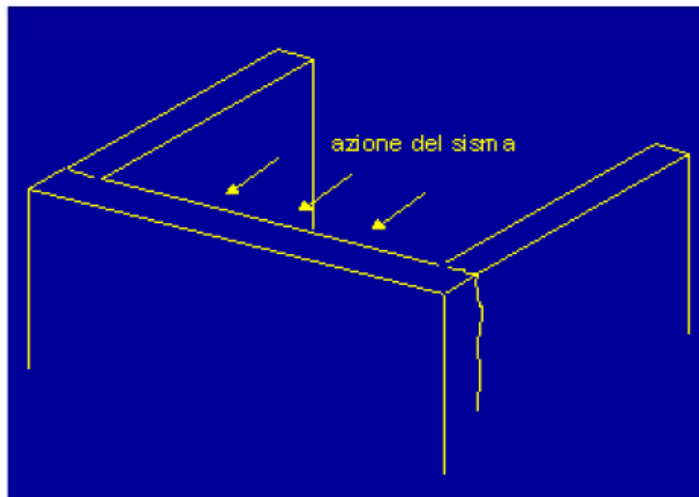
Comportamento delle murature



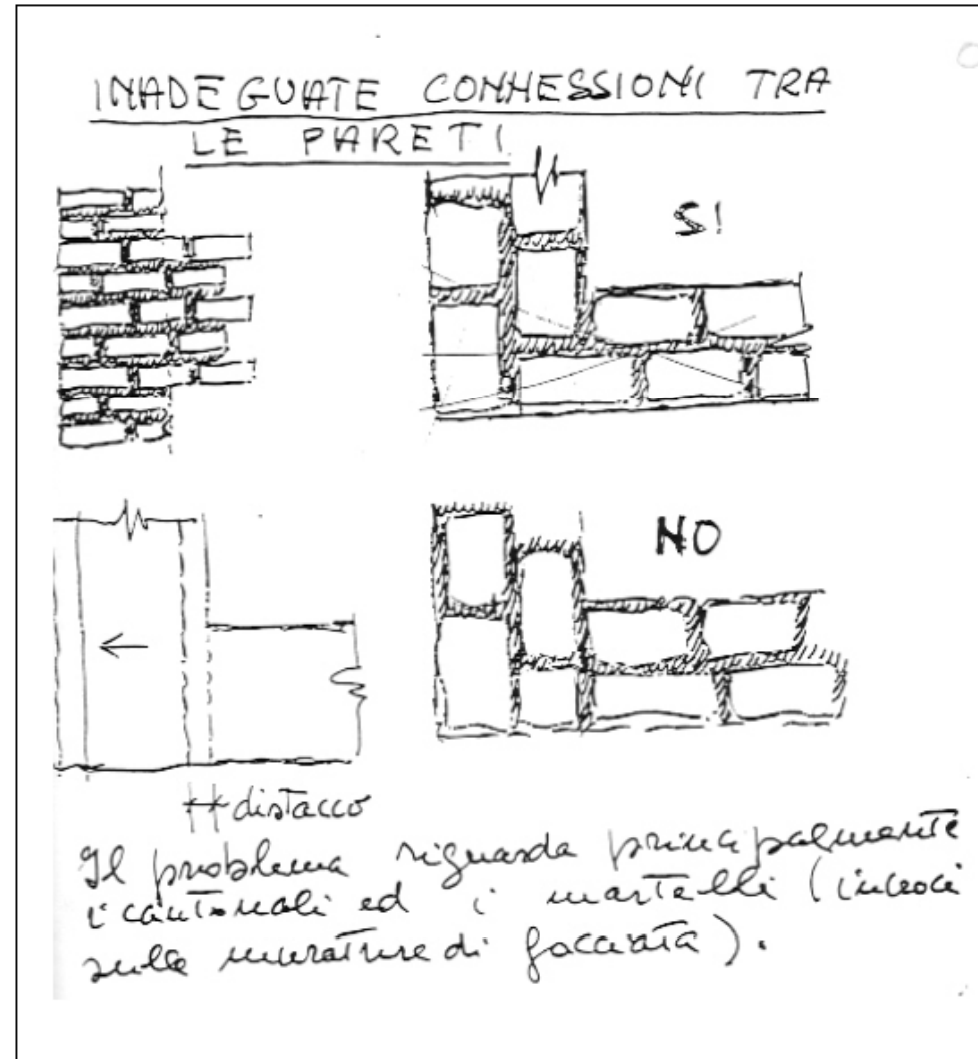
Comportamento delle murature



Si supera la resistenza a trazione della muratura nelle connessioni

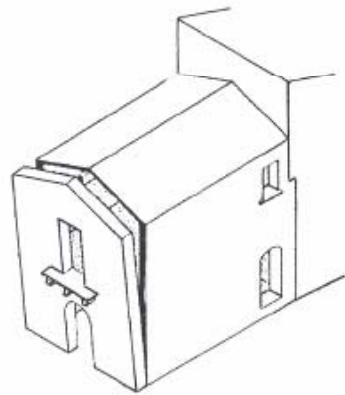


Comportamento delle murature



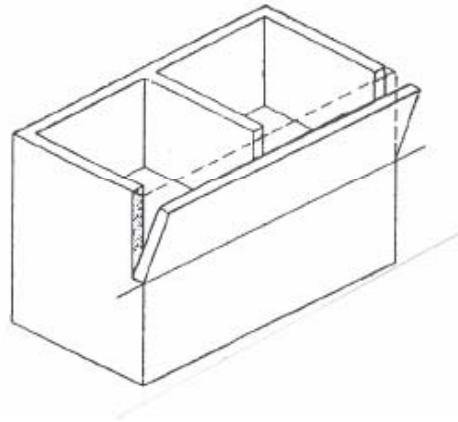
Comportamento delle murature

Pareti sollecitate fuori dal loro piano:
meccanismo di ribaltamento.



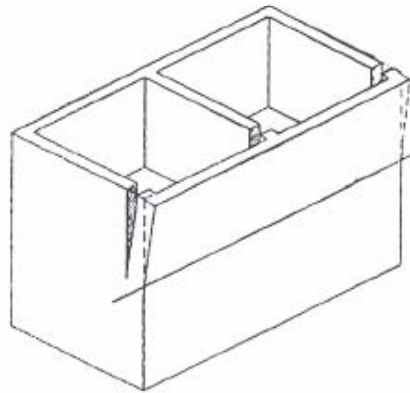
Comportamento delle murature

Pareti sollecitate fuori dal loro piano:
meccanismo di ribaltamento (tipo A).



Comportamento delle murature

Pareti sollecitate fuori dal loro piano:
meccanismo di ribaltamento (tipo B).



Comportamento delle murature



Crollo di muri di facciata per
insufficiente ammorsamento



Comportamento delle murature



Le pareti di facciata si ribaltano verso l'esterno e portano al crollo rovinoso parziale o totale

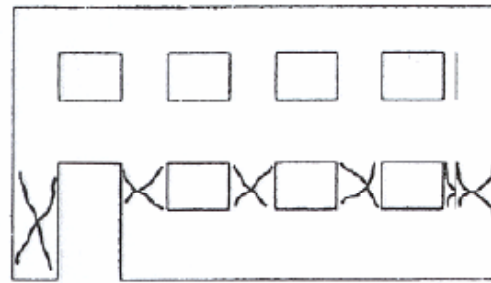
Solaio in c.a.



Solaio in ferro

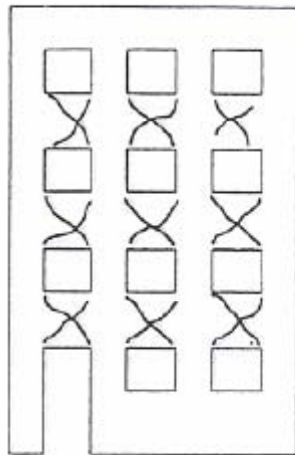
Comportamento delle murature

Pareti sollecitate nel loro piano:
rottura per taglio dei maschi murari.



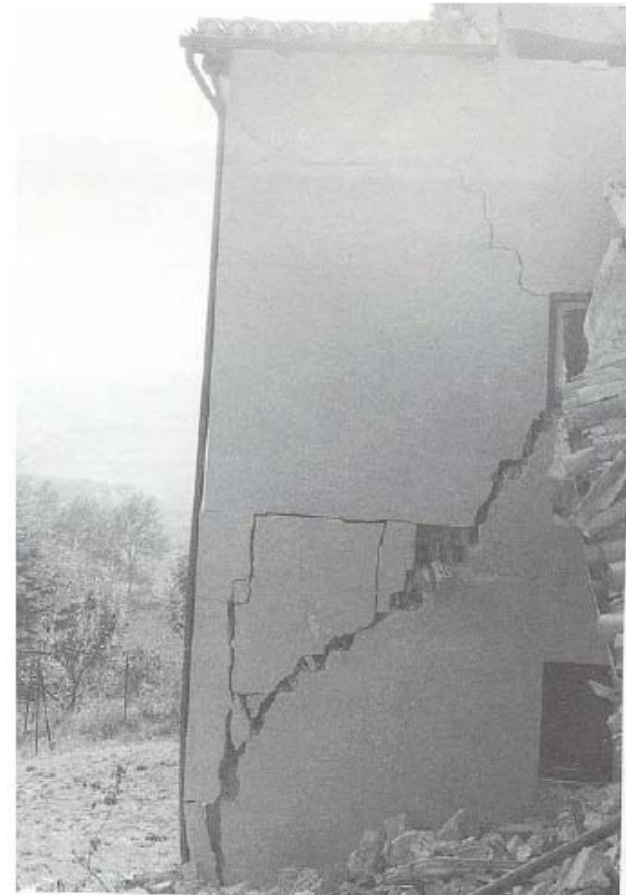
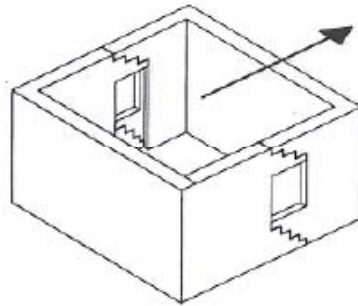
Comportamento delle murature

Pareti sollecitate nel loro piano:
rottura per taglio delle fasce di piano



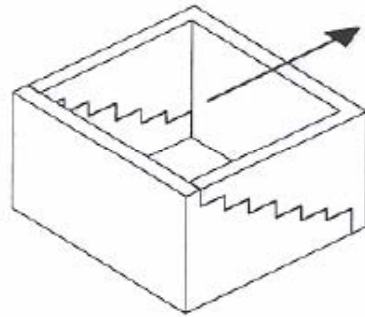
Comportamento delle murature

Pareti sollecitate nel piano: tipiche rotture a taglio.



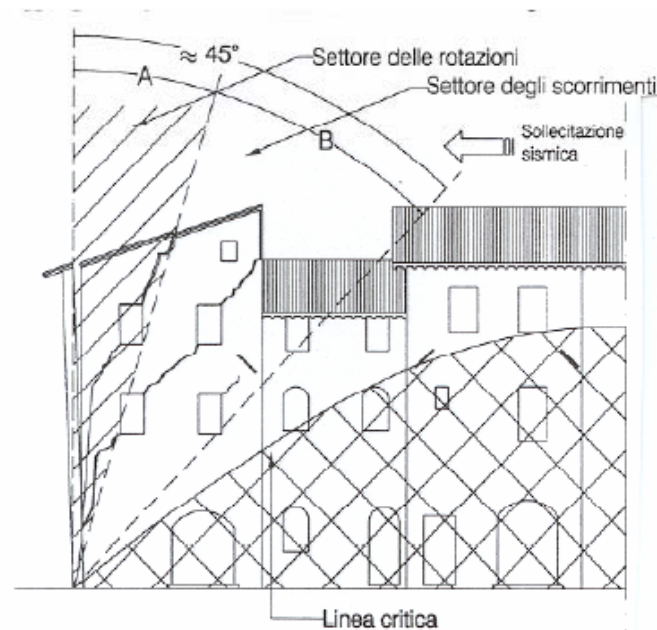
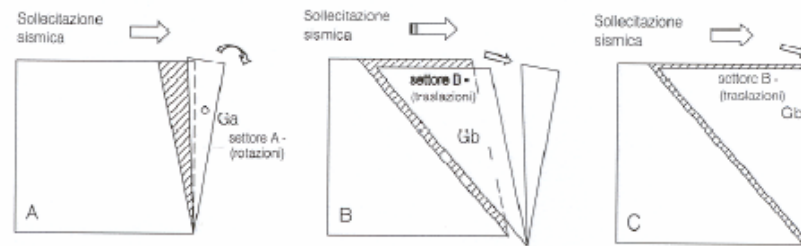
Comportamento delle murature

Pareti sollecitate nel piano: tipiche rotture a taglio.



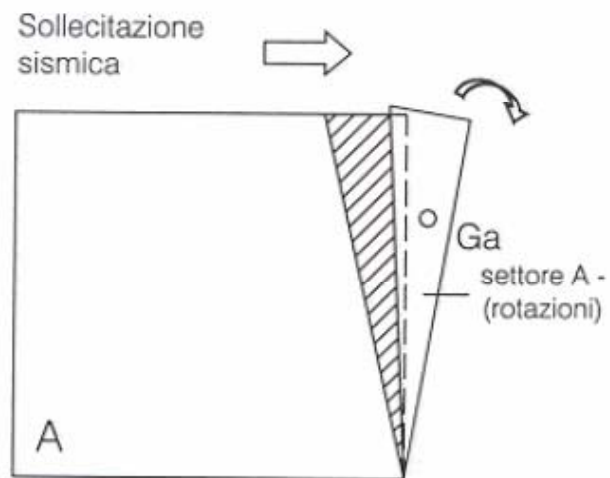
Comportamento delle murature

Cinematismi nel piano della parete e catene.



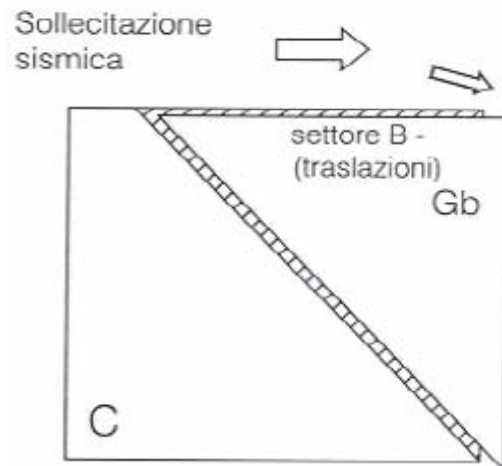
Comportamento delle murature

Cinematismi nel piano della parete:
rotazione di pareti murarie.



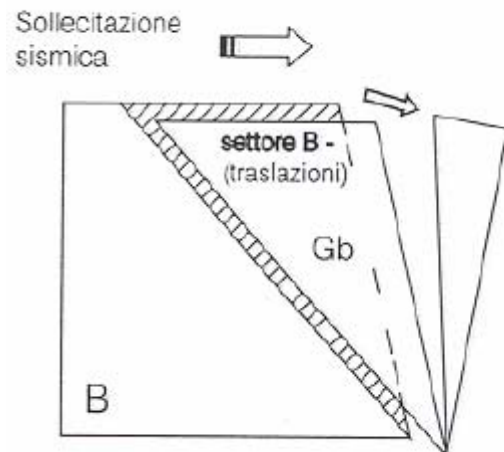
Comportamento delle murature

Cinematismi nel piano della parete:
traslazione di pareti murarie.



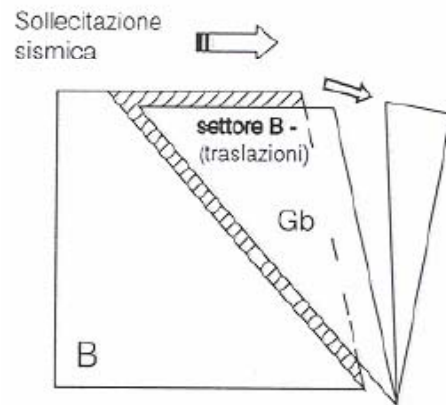
Comportamento delle murature

Cinematismi nel piano della parete: traslazione e rotazione di pareti murarie.



Comportamento delle murature

Cinematismi nel piano della parete: traslazione e rotazione di pareti murarie.



Comportamento delle murature

Lesioni per interazione tra edifici adiacenti.



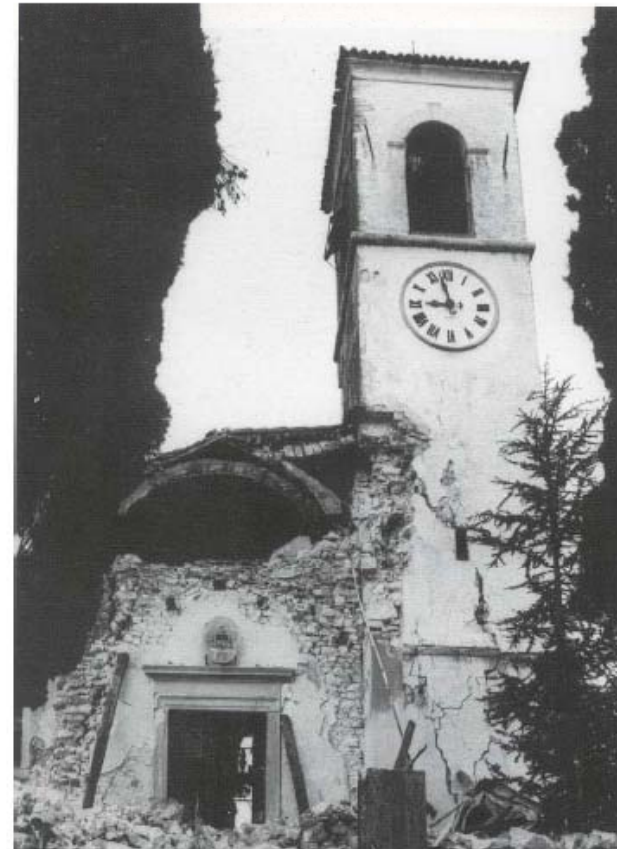
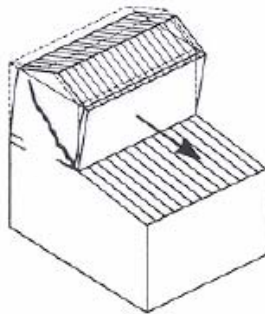
Comportamento delle murature

Lesioni per interazione tra edifici adiacenti.



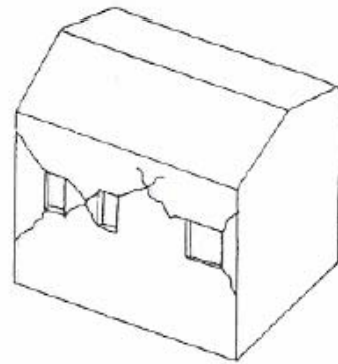
Comportamento delle murature

Effetti di martellamento tra edifici adiacenti con diversa rigidità e resistenza.



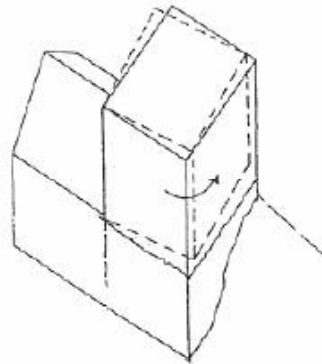
Comportamento delle murature

Importanti lesioni di taglio alle estremità dei muri.



Comportamento delle murature

Meccanismo legato a irregolarità almetriche e/o azioni di torsione.



Comportamento delle murature

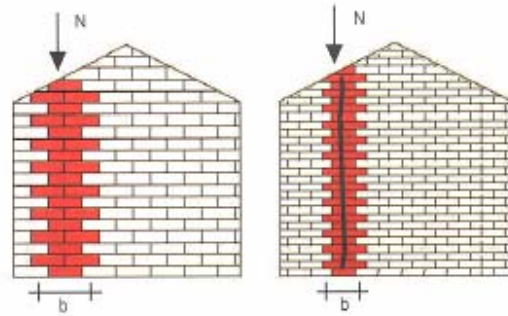


© Reluis 2009

www.reluis.it

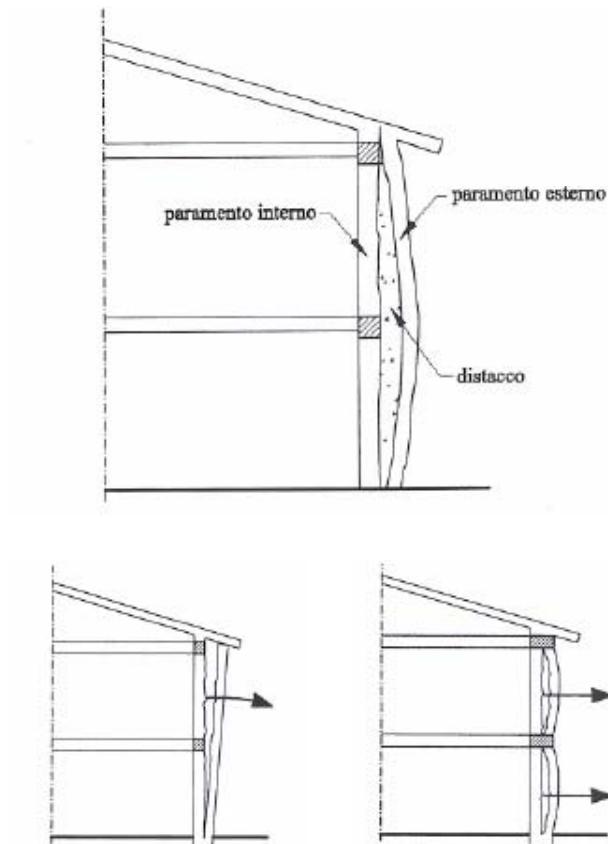
Comportamento delle murature

Collasso per parzializzazione del pannello
in fasce verticali.



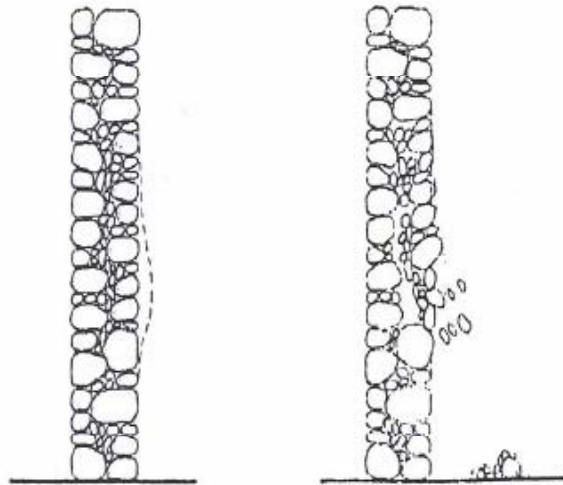
Comportamento delle murature

Distacco dei paramenti esterni delle murature.



Comportamento delle murature

Sfogliamento della muratura a sacco.



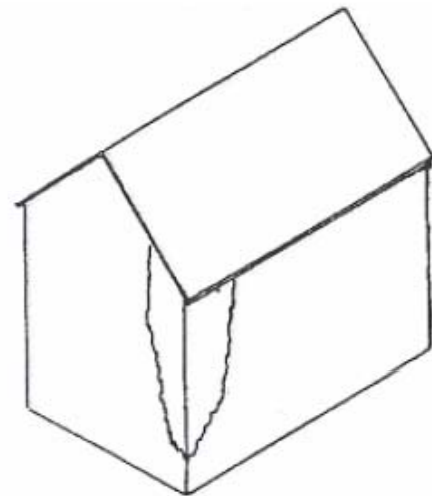
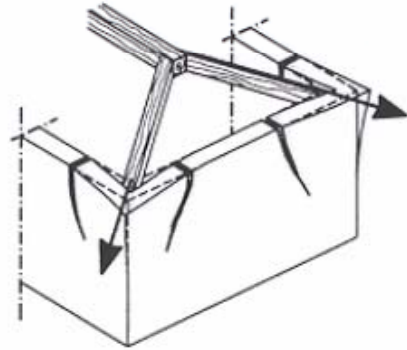
Comportamento delle murature

Sfogliamento della muratura a sacco.



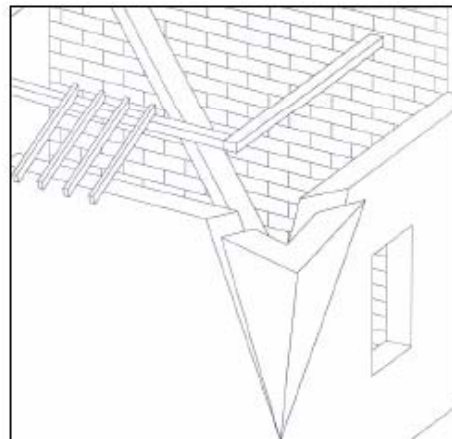
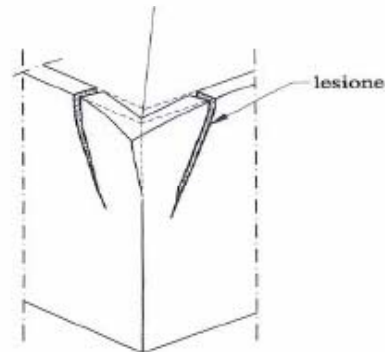
Comportamento delle murature

Dissesti per spinte locali: espulsione dell'angolata.



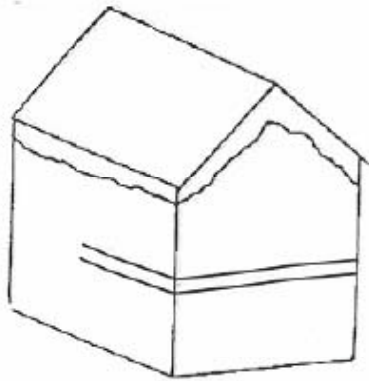
Comportamento delle murature

Cinematismo di collasso innescato dalla spinta del puntone della copertura.



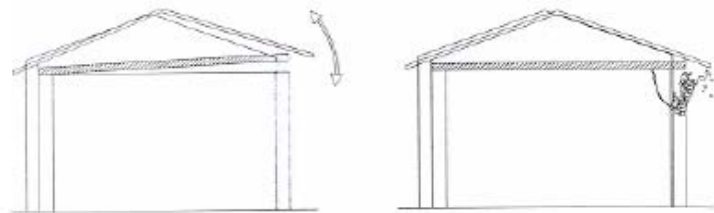
Comportamento delle murature

Scorrimento tra cordolo e muratura.



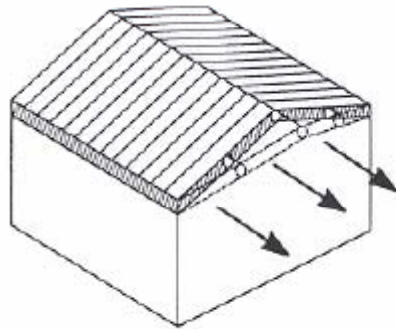
Comportamento delle murature

Martellamento verticale di coperture
o solai pesanti in laterocemento.



Comportamento delle murature

Martellamento verticale di coperture
o solai pesanti in laterocemento.



?Comportamento delle murature



Le pareti di facciata si ribaltano verso l'esterno e portano al crollo rovinoso parziale o totale

Solai in legno



Volte murarie

?Comportamento delle murature



Se le facciate non si staccano si può attivare il comportamento nel piano della parete

Le zone triangolari in alto crollano in mancanza di collegamenti orizzontali resistenti a trazione (catene - cordoli)



Comportamento delle murature



Si è attivato sia il comportamento nel piano che quello fuori dal piano della parete (con risultati disastrosi)

La parete sollecitata nel proprio piano è al limite del crollo



Comportamento delle murature

Comportamenti nel piano delle pareti negli edifici dell'Aquila



Comportamento delle murature

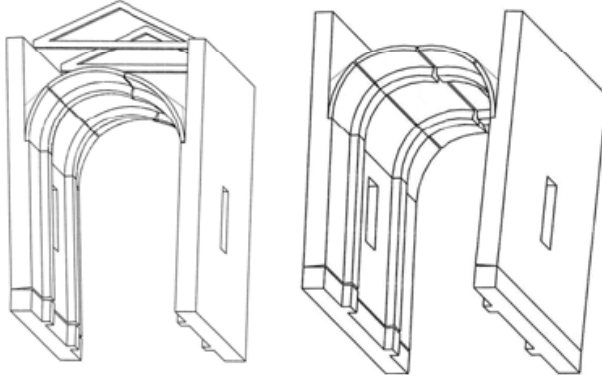


© Reluis 2009

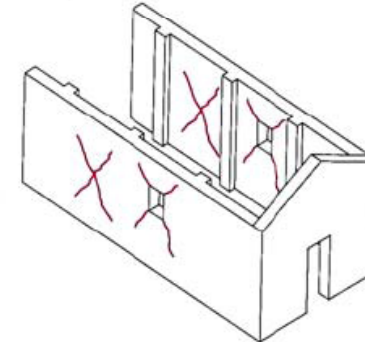
www.reluis.it

Comportamento delle murature

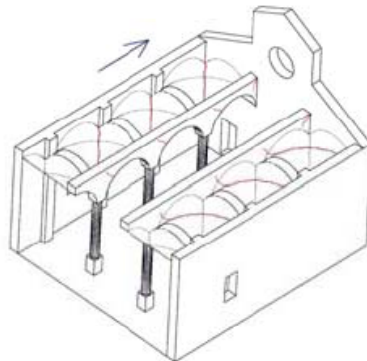
5 - RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA



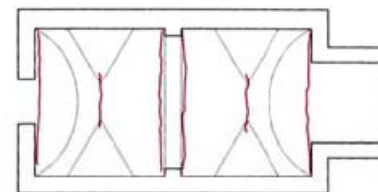
6 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI (RISPOSTA LONGITUDINALE)



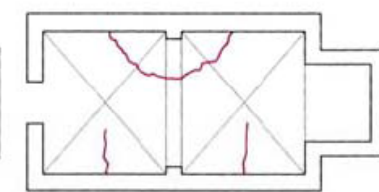
7 - RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO



8 - VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE



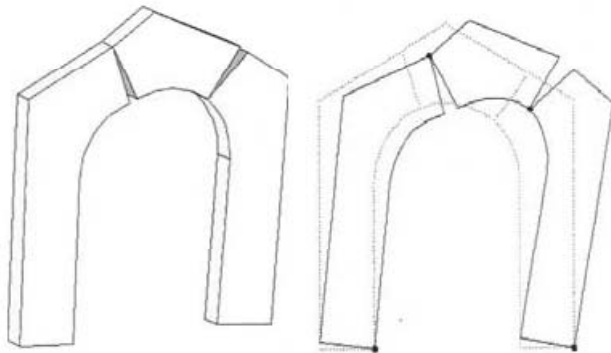
VOLTA A BOTTE LUNETTATA



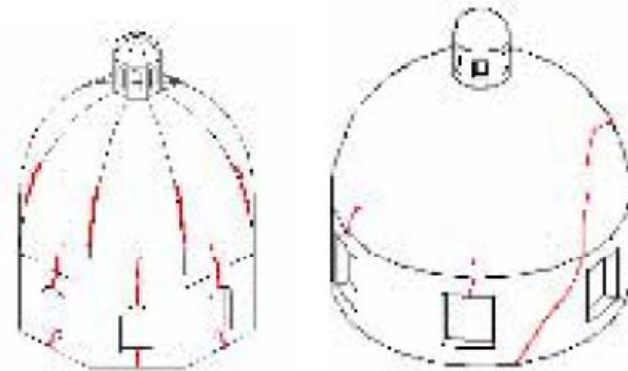
VOLTE A CROCIERA

Comportamento delle murature

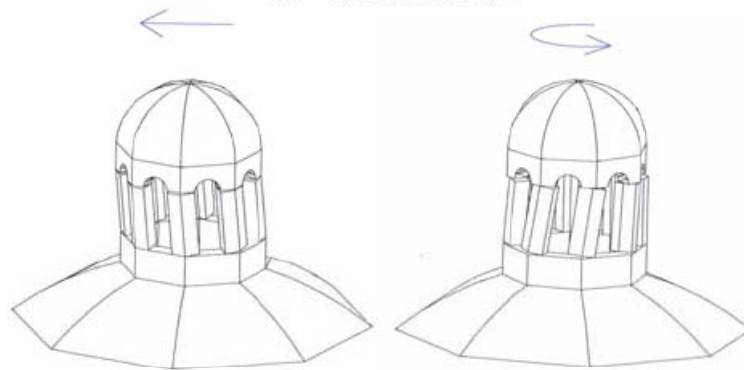
13 - ARCHI TRIONFALI



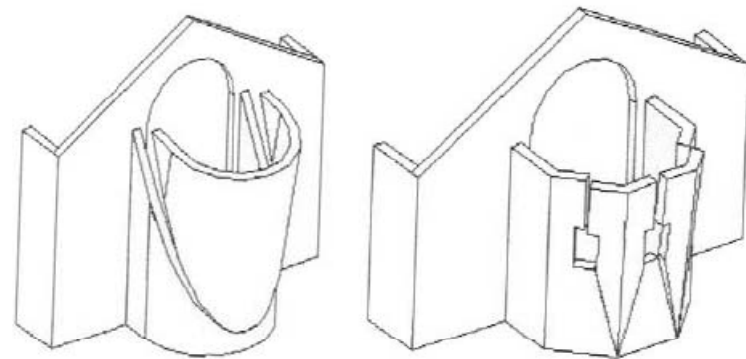
14 - CUPOLA - TAMBURO / TIBURIO



15 - LANTERNA

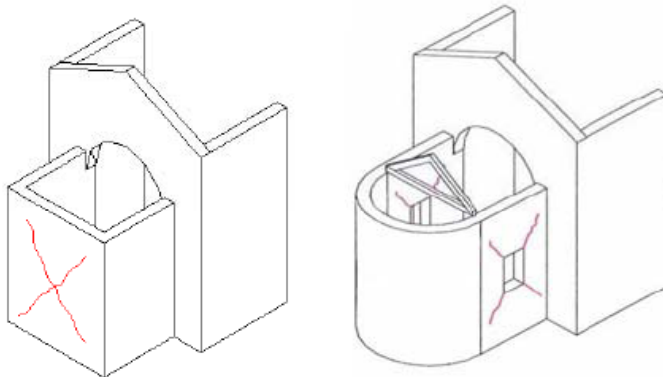


16 - RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE

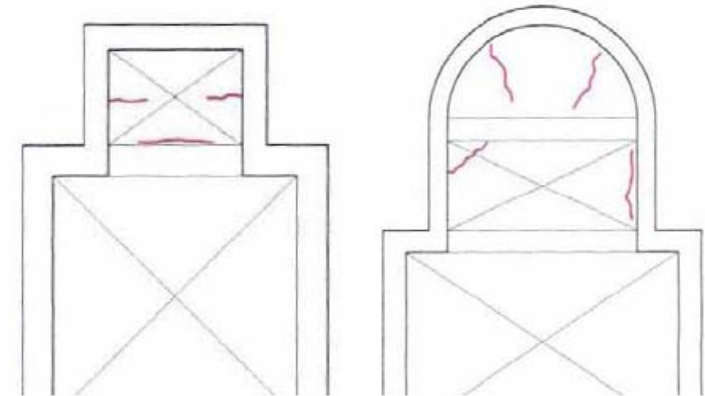


Comportamento delle murature

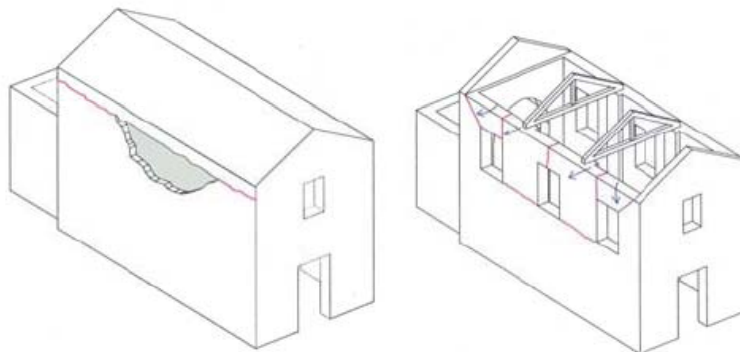
17 - MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO
O NELL'ABSIDE



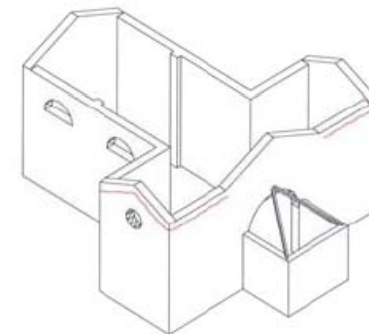
18 - VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE



19 - ELEMENTI DI COPERTURA: AULA

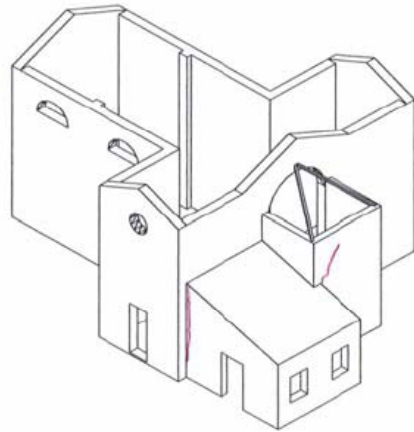


20 - ELEMENTI DI COPERTURA: TRANSETTO

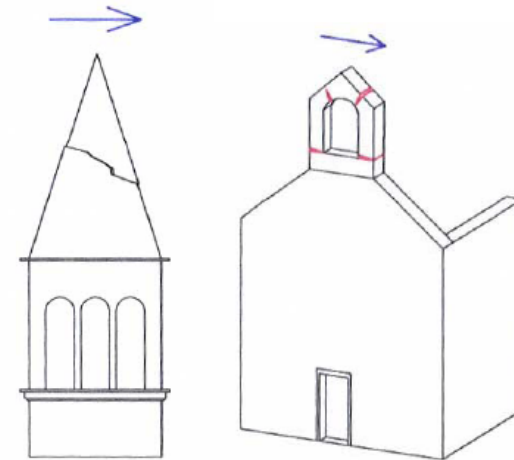


Comportamento delle murature

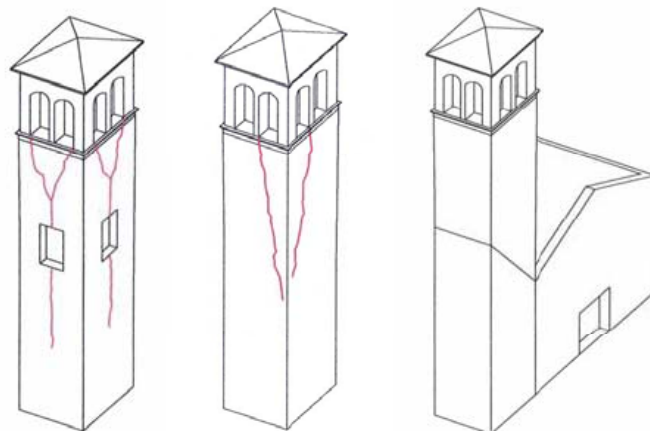
25 - INTERAZIONI IN PROSSIMITA' DI IRREGOLARITÀ PLANO-ALTIMETRICHE



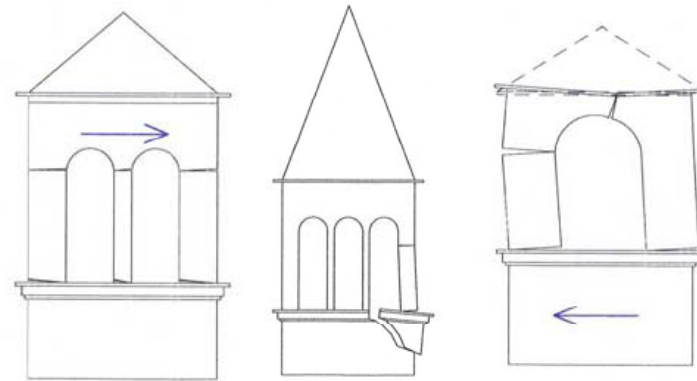
26 - AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)



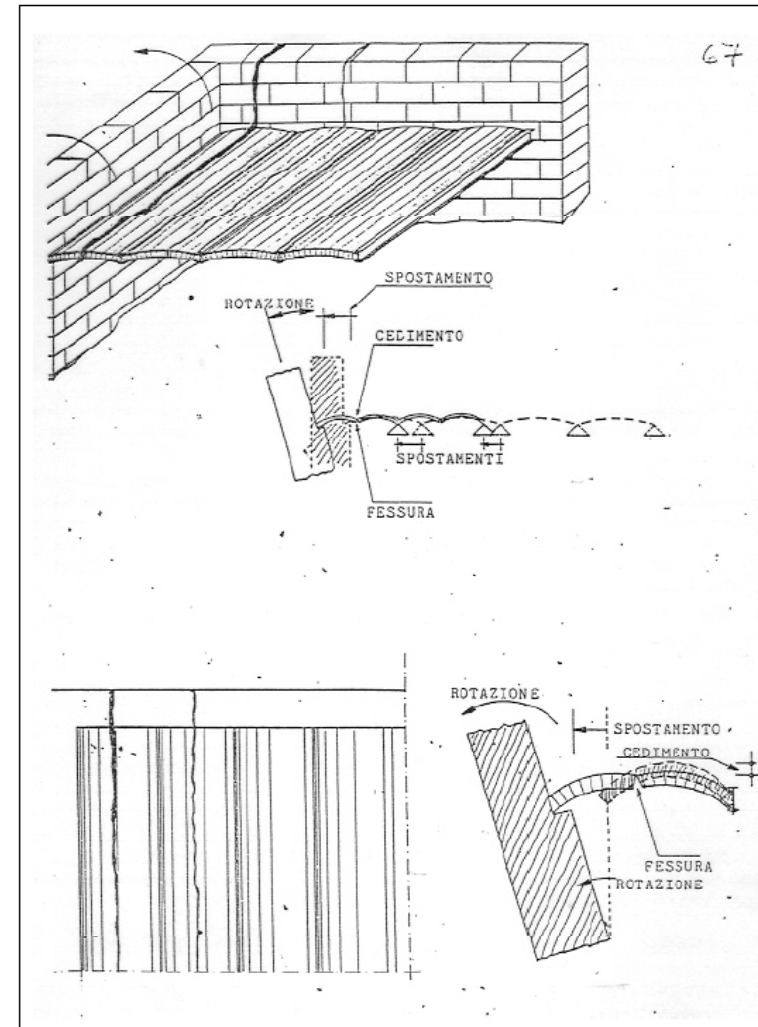
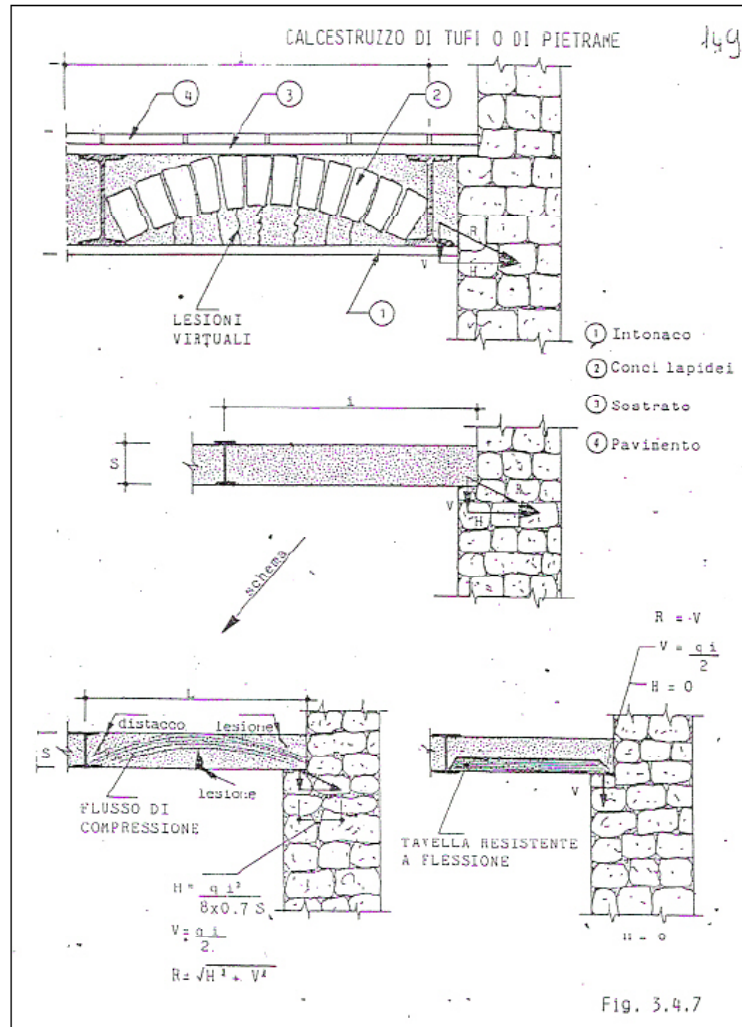
27 - TORRE CAMPANARIA



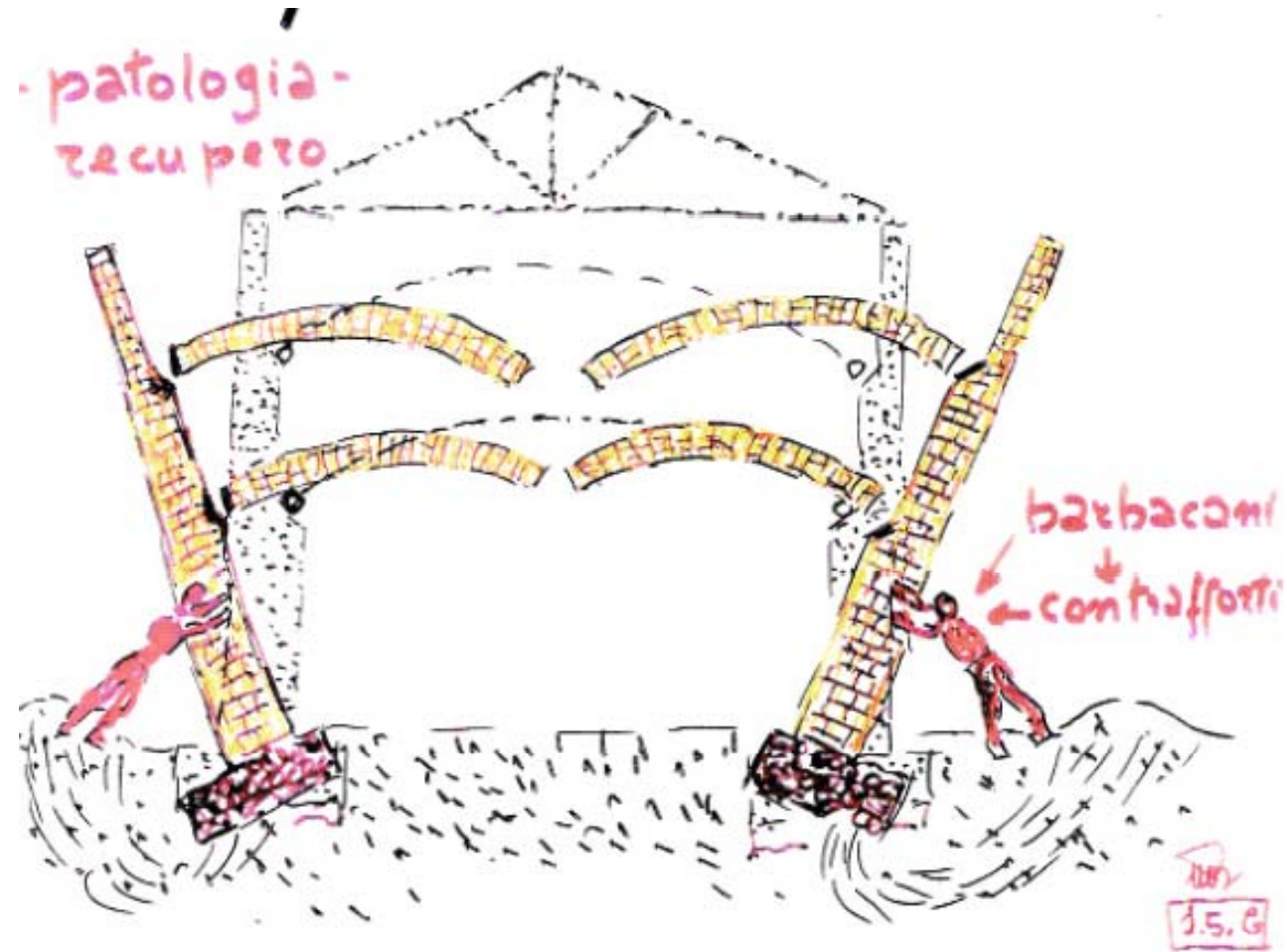
28 - CELLA CAMPANARIA



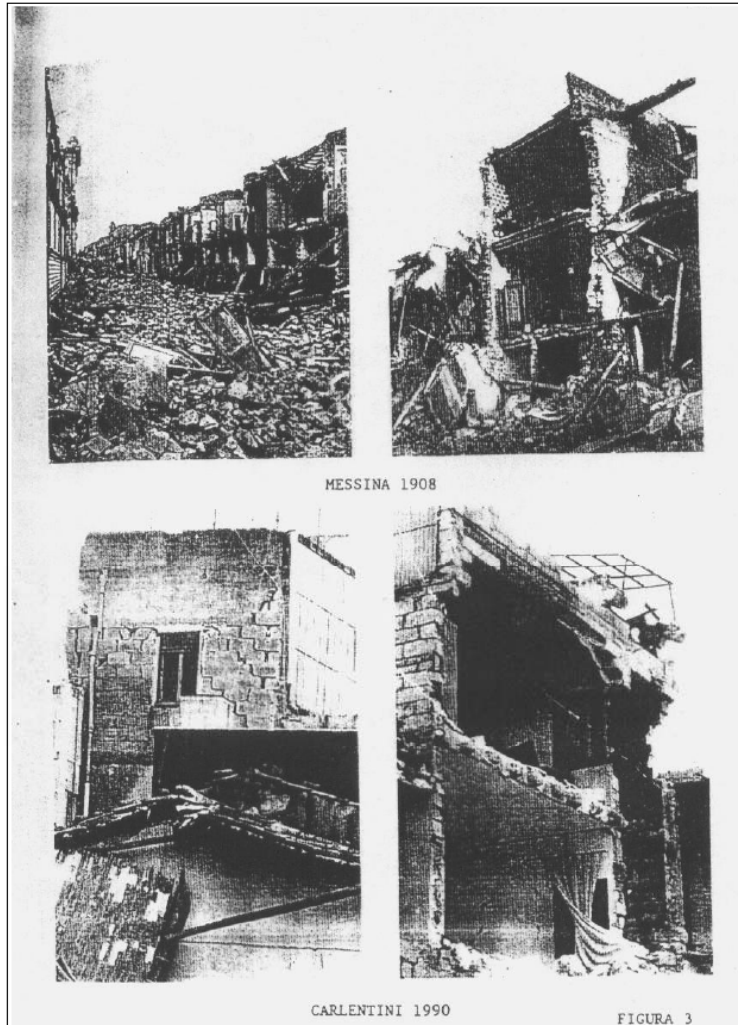
Orizzontamenti nelle murature



Orizzontamenti nelle murature



Comportamento delle murature



In 100 anni non è
cambiato quasi
niente

La mancanza dei
collegamenti
trasversali rende
critico il problema
del comportamento
fuori dal piano della
parete

LE PARETI DI
FACCIATA NON
SONO IN GRADO
DI RESISTERE AL
SISMA DA SOLE

Interventi senza senso



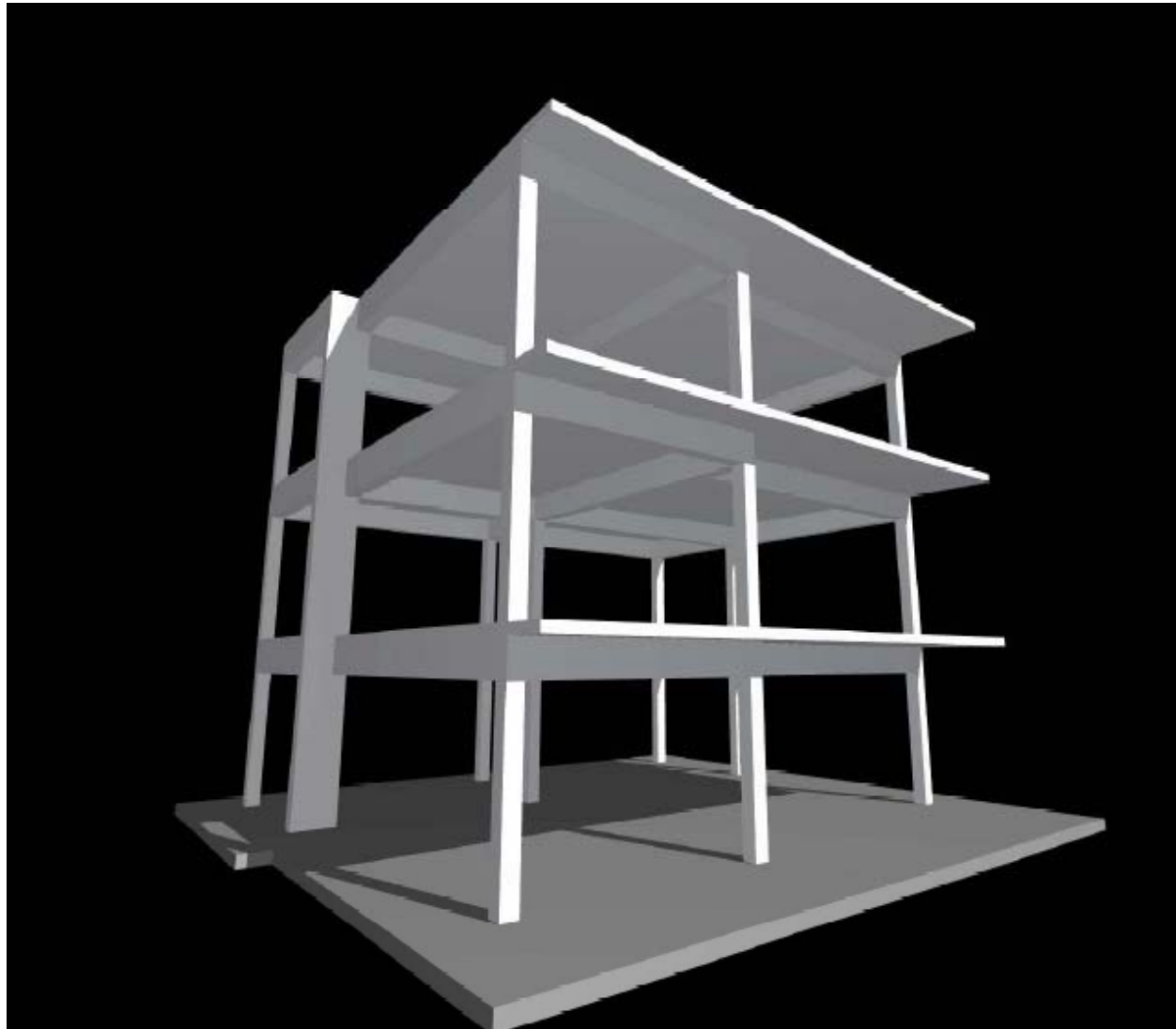
Interventi senza senso



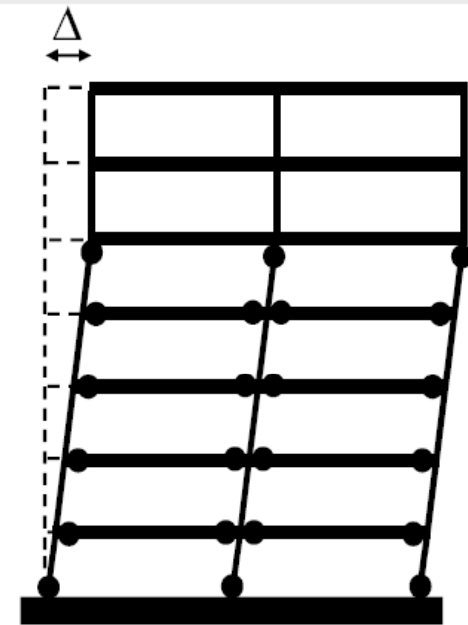
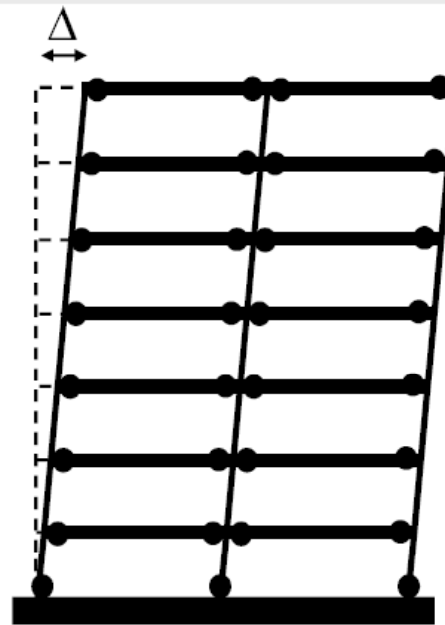
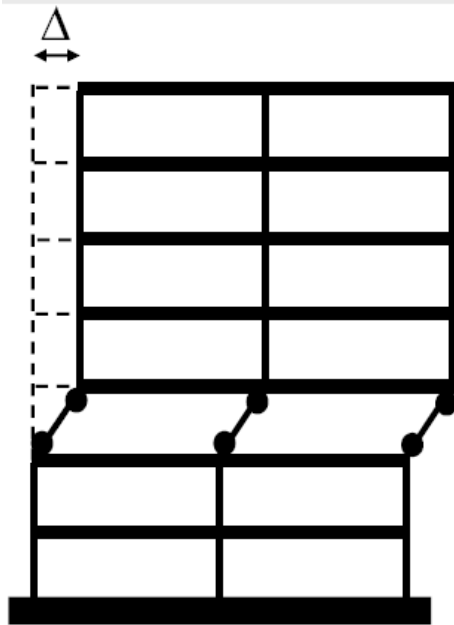
Strutture in cemento armato



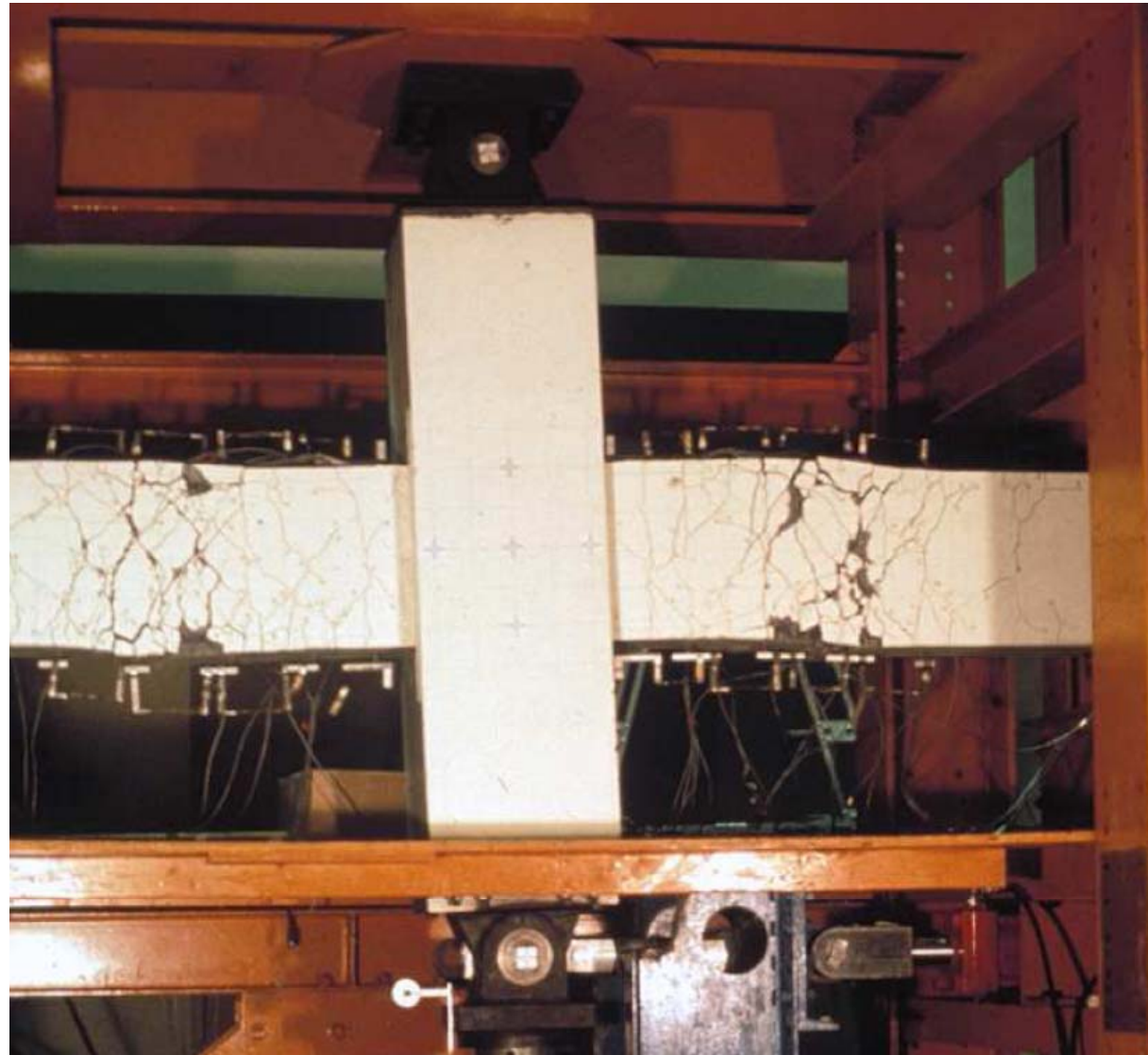
Strutture in cemento armato



Gerarchia delle resistenze



Strutture in cemento armato



Regolarità strutturale

REGOLARITA' PLANIMETRICA FORMA

Problemi dimensionali

*Ospedale San Angelo dei
Lombardi, 1980 (M=6.9)
Crollo parte terminale ala
allungata*



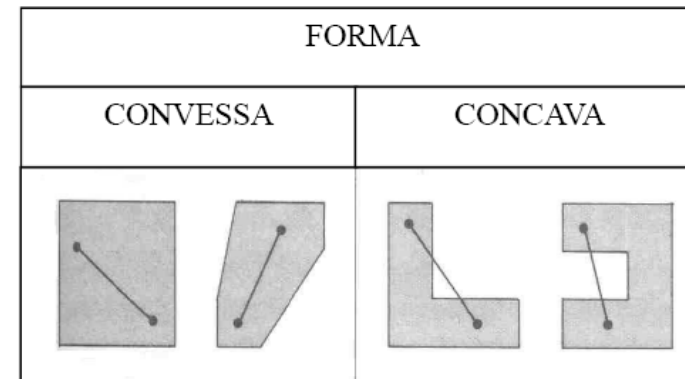
forma - distribuzione delle rigidzze - distribuzione delle masse

Regolarità strutturale

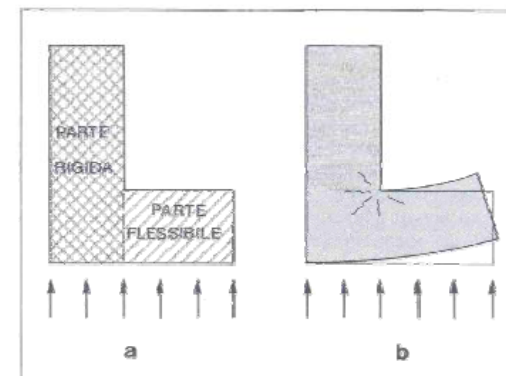
REGOLARITA' PLANIMETRICA FORMA

Problemi distributivi

forma regolare =
SIMMETRICA e SEMPLICE



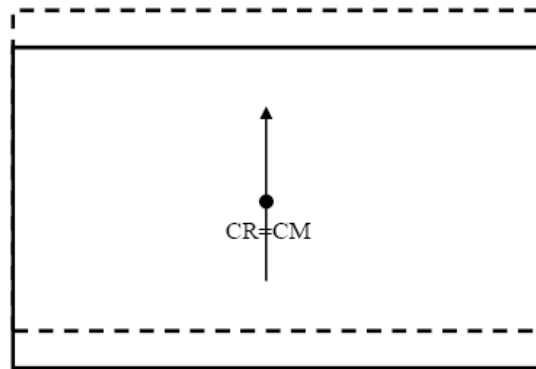
angoli rientranti = zona di massima
debolezza nella costruzione



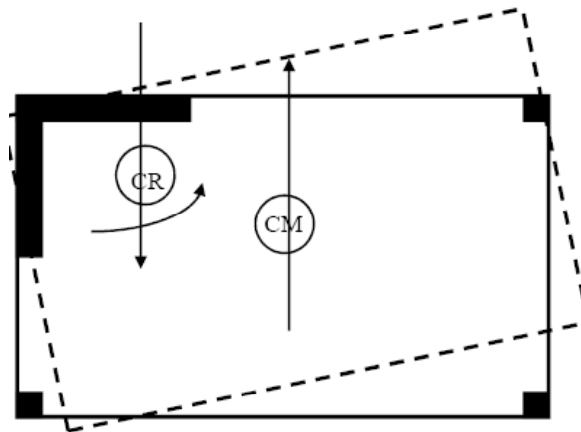
forma - distribuzione delle rigidzze - distribuzione delle masse

Regolarità strutturale

REGOLARITA' PLANIMETRICA ELEMENTI RESISTENTI



La forza inerziale del sisma, a livello di ogni singolo piano, agisce nel centro di massa; il baricentro delle reazioni taglianti è il centro di rigidezza.



Se centro di massa e di rigidezza non coincidono nascono effetti torcenti in pianta che inducono rotazioni intorno al centro di rigidezza e possono indurre un incremento della sollecitazione negli elementi più lontani.

forma - **distribuzione delle rigidezze** - distribuzione delle masse

Regolarità strutturale

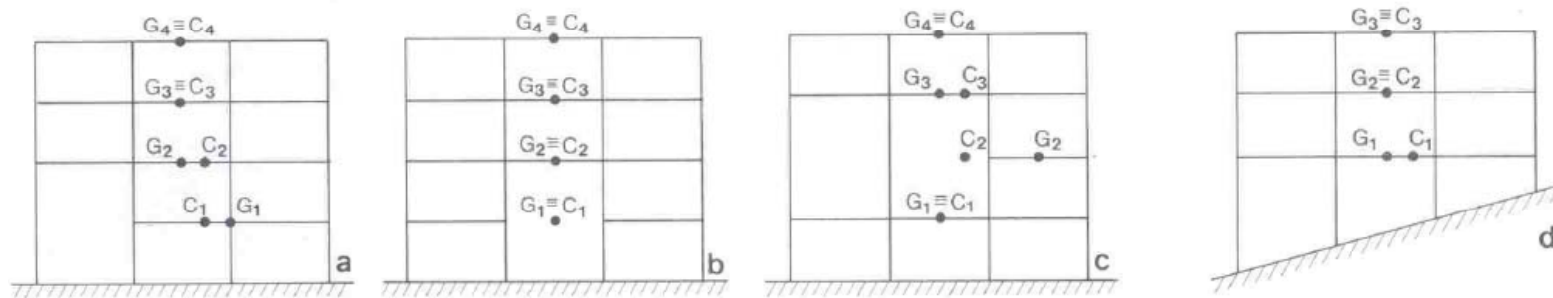
REGOLARITA' ALTIMETRICA ELEMENTI RESISTENTI

Problemi di particolare gravità

Zone deboli localizzate:

presenza di colonne di differente lunghezza.

- (a) e (b) edifici con porticati o gallerie pedonabili
- (c) gruppo di piani adibito ad un unico locale (aula magna o biblioteca);
- (d) strutture realizzate su terreni in pendio.

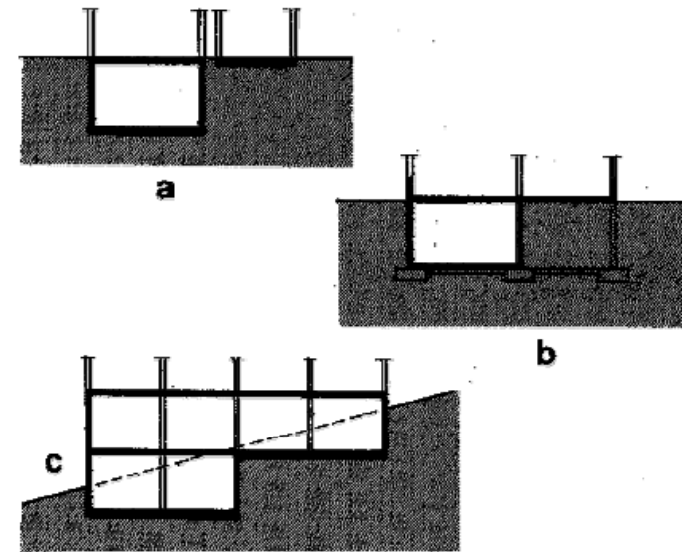


Regolarità strutturale

REGOLARITA' ALTIMETRICA ELEMENTI RESISTENTI

PIANO DI POSA DELLA FONDAZIONE

è buona norma che il piano di posa venga realizzato alla medesima quota. Di fatto ciò risulta spesso non attuabile. In questa situazione si può ricorrere a accorgimenti quali:



suddivisione con giunti atti a creare corpi strutturali indipendenti

approfondimento di tutti gli elementi di fondazione fino al piano inferiore di posa. A questo livello è necessario realizzare un sistema di collegamento adeguato

esecuzione di un cassone in c.a. che costituisca un basamento rigido

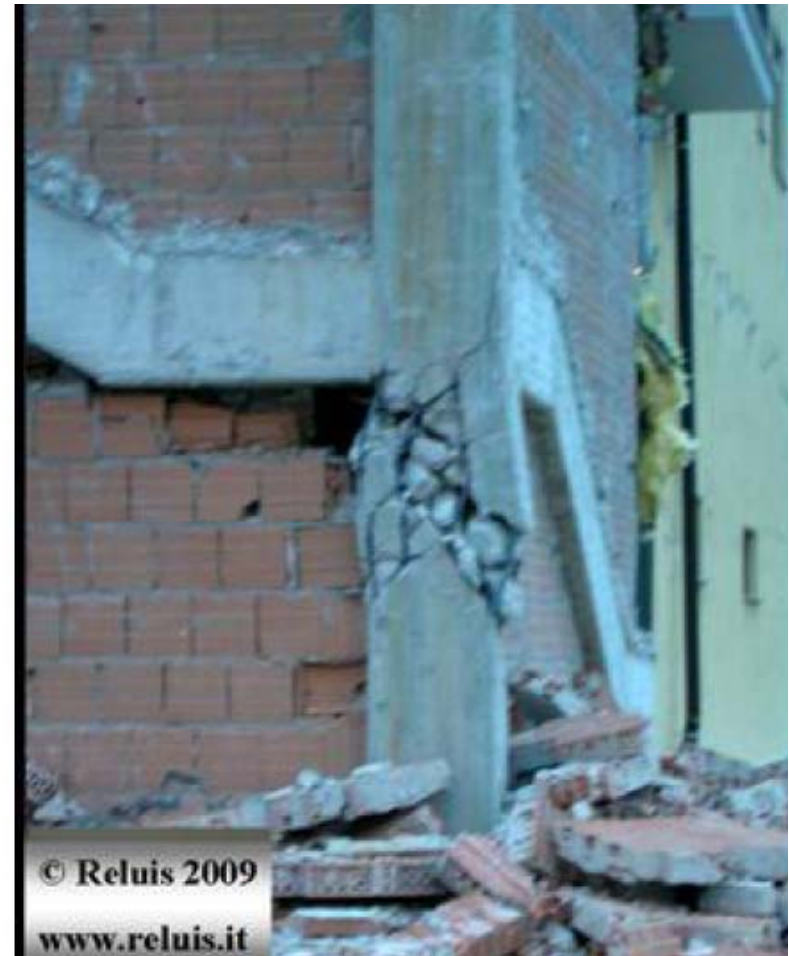
Comportamento fragile



Comportamento fragile



Comportamento fragile



Comportamento fragile



Meccanismi di piano soffice



Meccanismi di piano soffice



Meccanismi di piano soffice



Meccanismi di piano soffice



Meccanismi di piano soffice

© Reluis 2009

www.reluis.it



Meccanismi di piano soffice



© Reluis 2009

www.reluis.it

Meccanismi di piano soffice



Espulsione delle tamponature

© Reluis 2009

www.reluis.it



Espulsione delle tamponature



Espulsione delle tamponature



Nodi strutturali



Nodi strutturali



Nodi strutturali



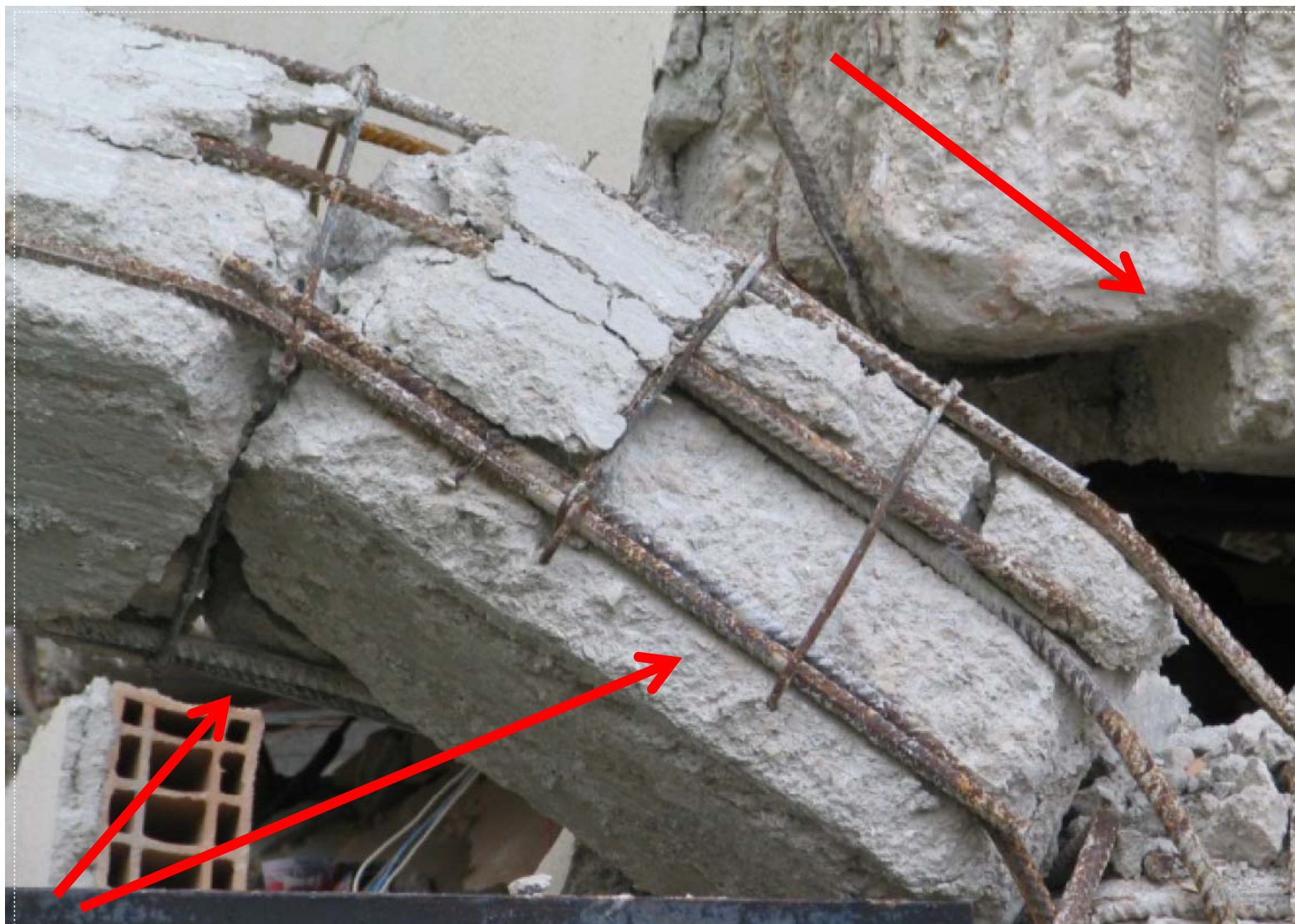
Nodi strutturali



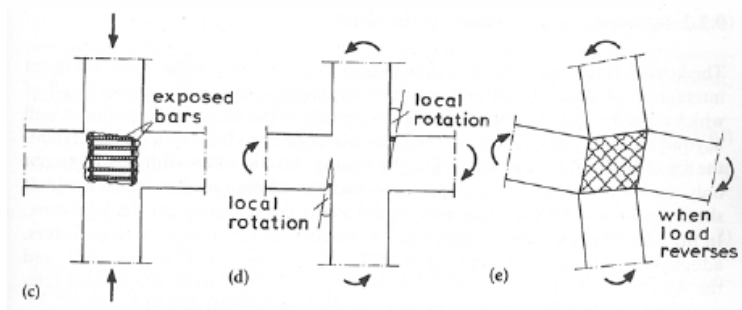
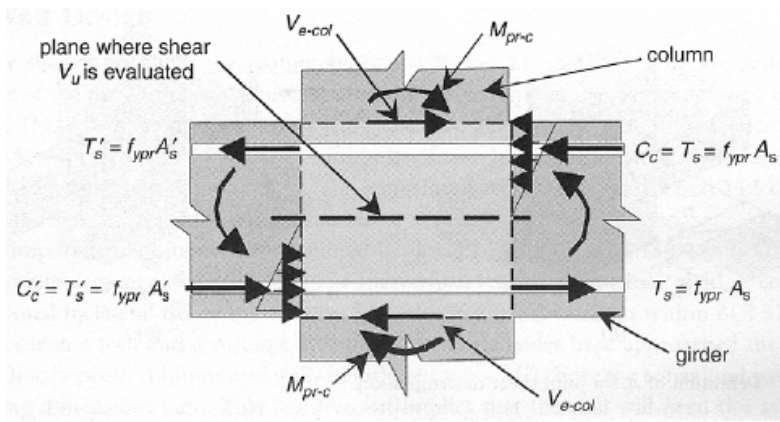
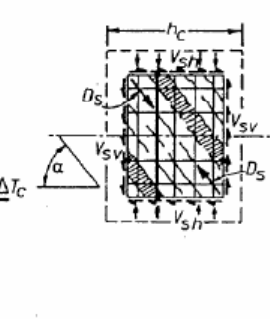
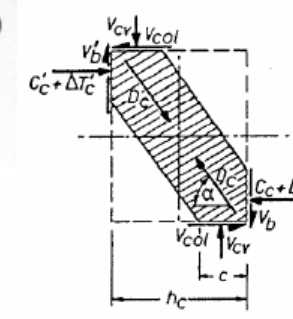
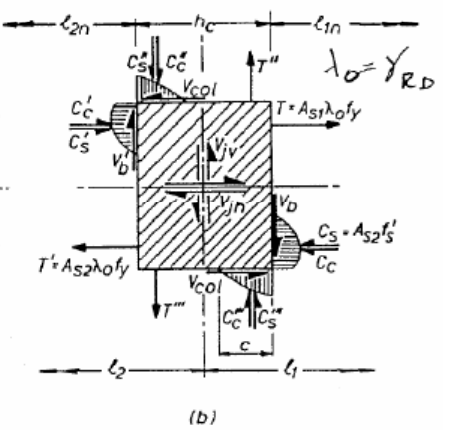
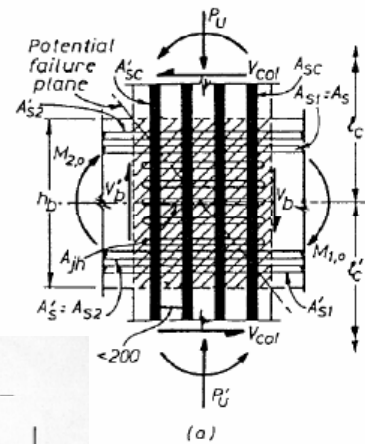
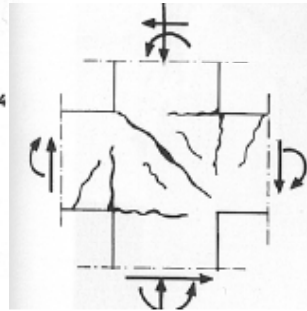
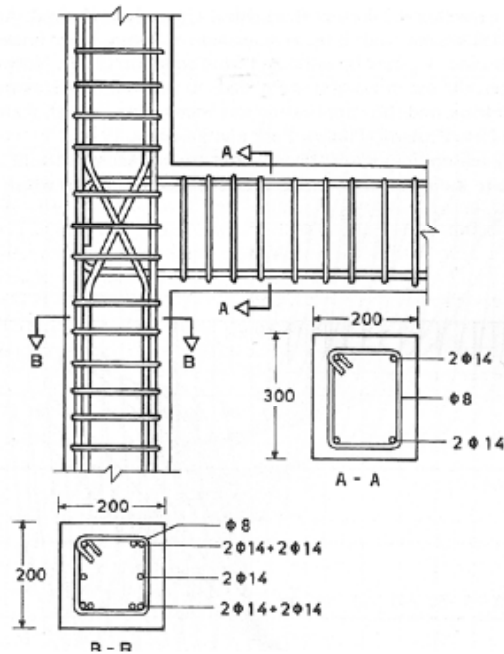
Nodi strutturali



Nodi strutturali



Nodi strutturali

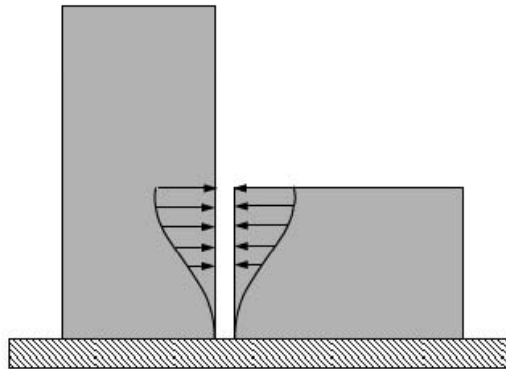


Nodi strutturali



Martellamento strutturale

Corpi strutturali adiacenti soggetti a vibrazione di grande ampiezza possono causare reciproco martellamento

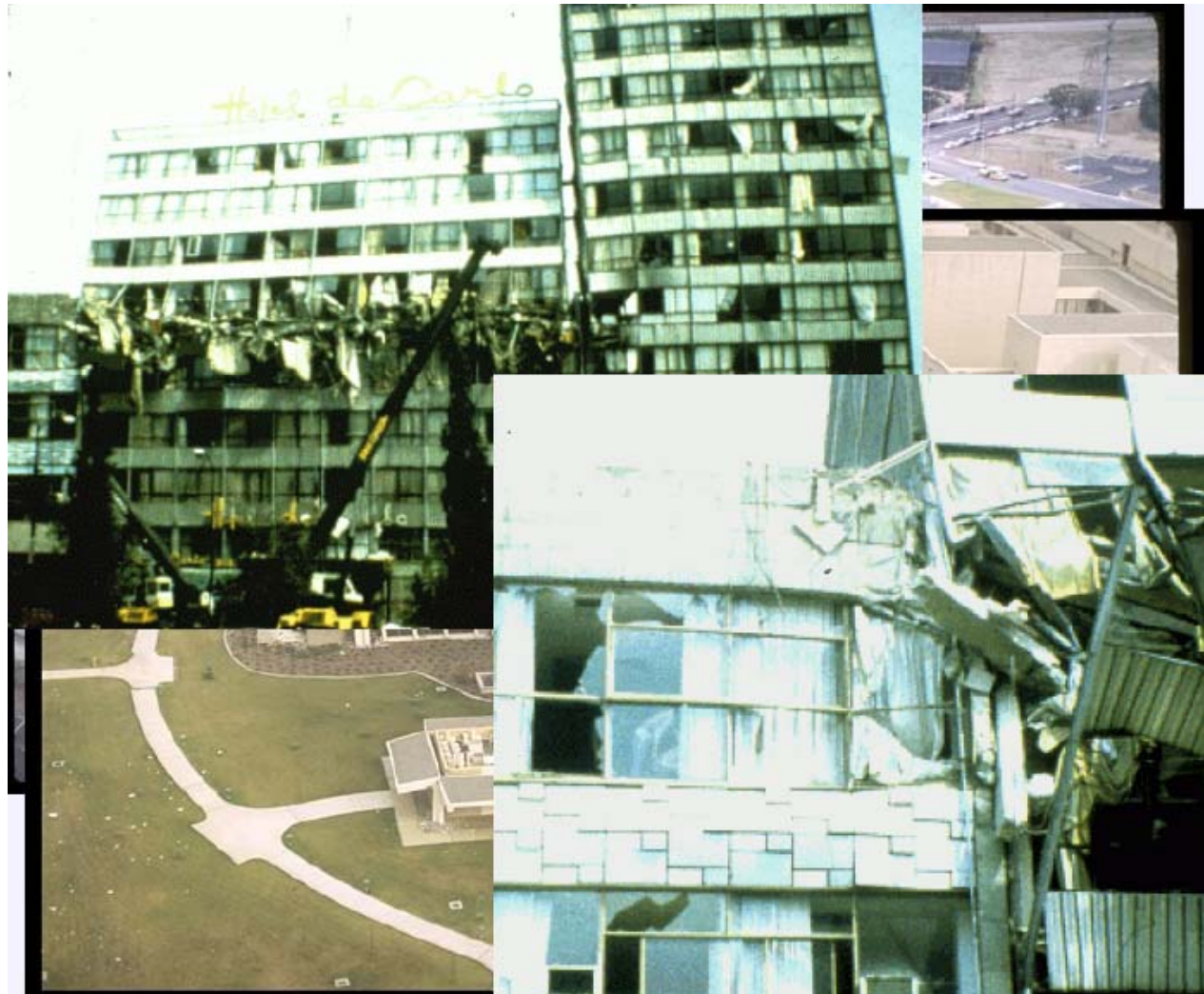


Conseguenze:

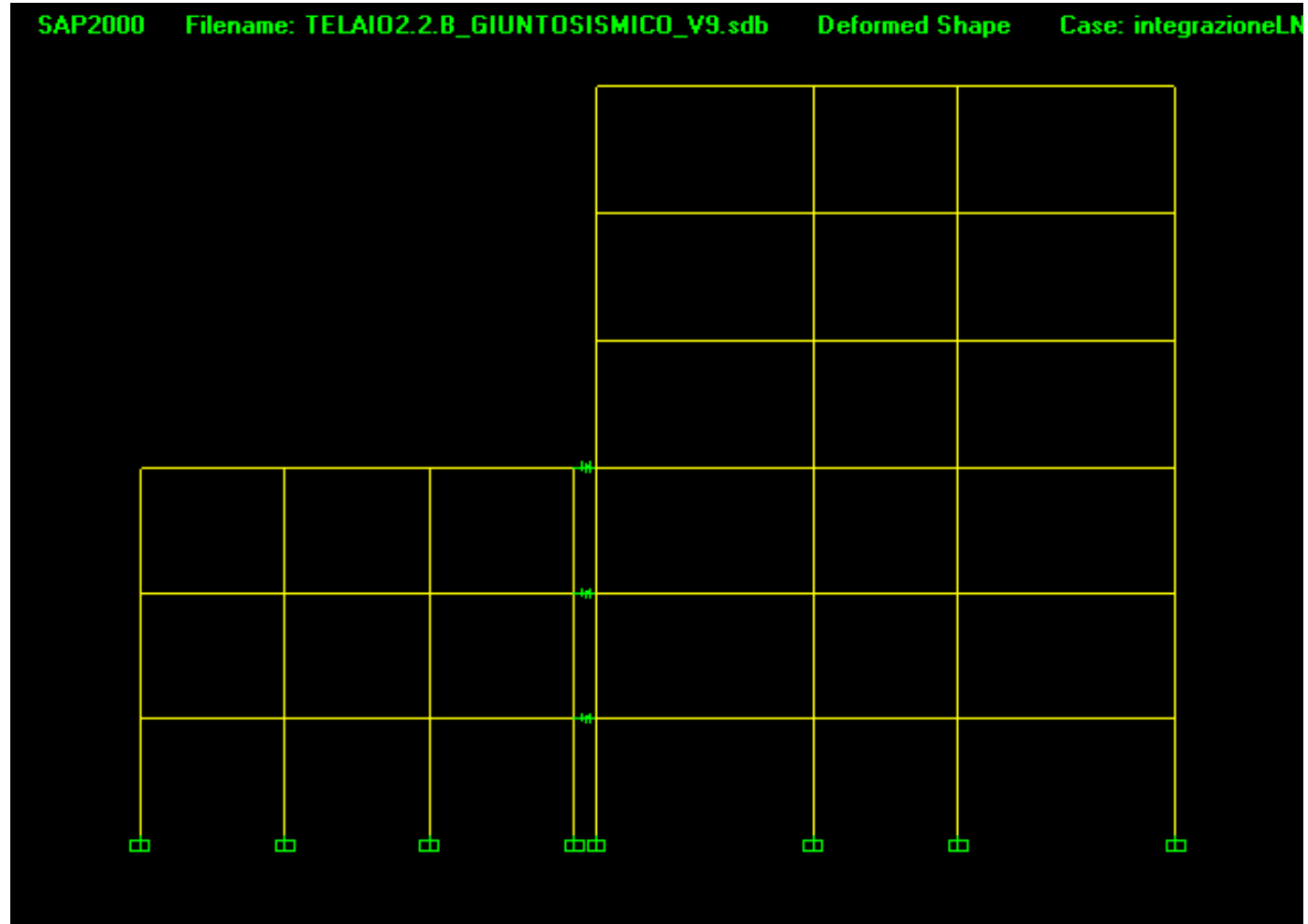
- 1) l'urto ripetuto dà luogo al danneggiamento localizzato delle parti a contatto
- 2) l'urto ripetuto dà luogo ad una coppia ribaltante di alta pericolosità nei riguardi degli elementi perimetrali



Martellamento strutturale



Martellamento strutturale



Elementi non strutturali



Pericolo esterno

