



CONSIGLIO  
DELL'ORDINE NAZIONALE  
DEI DOTTORI AGRONOMI  
E DEI DOTTORI FORESTALI



ORDINE REGIONALE  
DEI DOTTORI AGRONOMI E  
DEI DOTTORI FORESTALI  
DELLE MARCHE

**SISMA APPENNINO CENTRALE 2016-2017**

## **Corso di formazione per la compilazione delle schede di valutazione sintetica «fast» per il rilevamento dell'agibilità degli edifici**

***Meccanismi di danno da sisma***

***Sala convegni centro agroalimentare - San Benedetto del Tronto***



**Ing. Alessandro Bianchi - Gea Soc. Coop. Prevenzione Rischio Sismico – cell: 393 8918482**

# Organizzazione dei sistemi murari e comportamento strutturale



MATERIALE DA COSTRUZIONE COSTITUITO DA «BLOCCHI» SEPARATI (NATURALI OD ARTIFICIALI) E (NON NECESSARIAMENTE) DA UN «LEGANTE».

- Resistenza a trazione scarsa o nulla;
- Tutto è portante;
- Modelli isostatici;
- Edificio «pesante».

(Lavoro di A. Borri e A. Grazini)

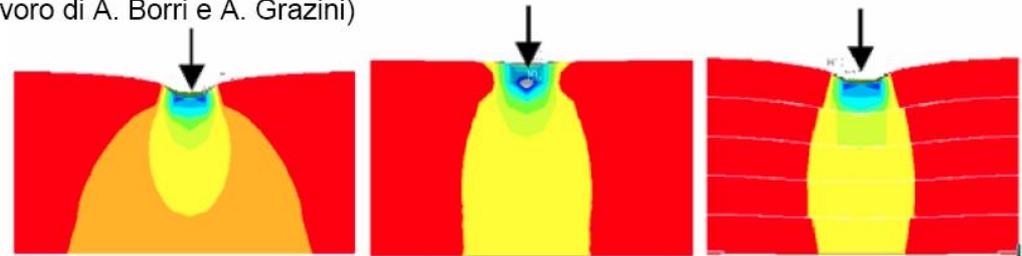


Figura 1. Pannello caricato da una forza verticale concentrata. A sinistra: diffusione del carico nell'ipotesi di materiale elastico perfetto. Al centro: diffusione del carico nell'ipotesi di materiale scarsamente resistente a trazione. A destra: diffusione del carico nell'ipotesi di materiale scarsamente resistente a trazione e dotato di legame attritivo.

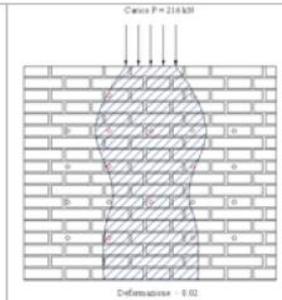
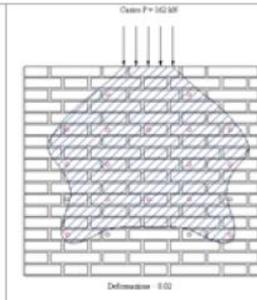
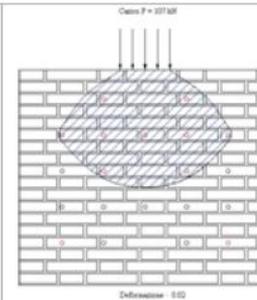
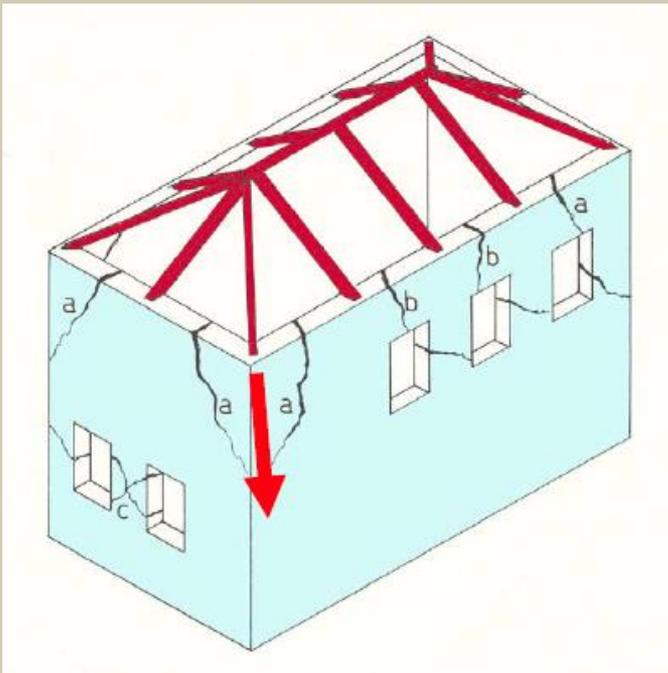
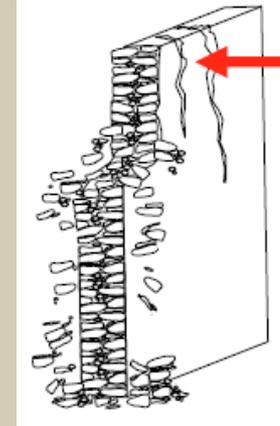
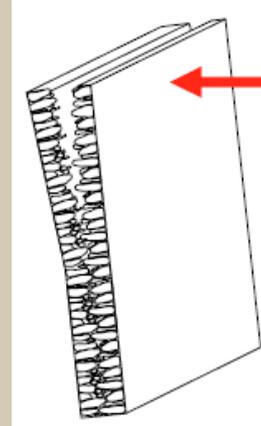
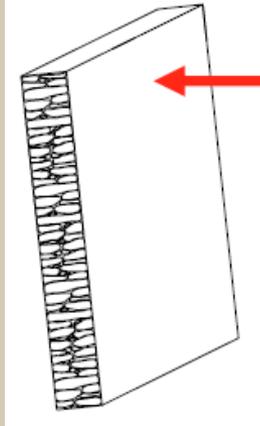


Figura 2. Sperimentazione in laboratorio sulla diffusione delle tensioni in un pannello murario caricato verticalmente.

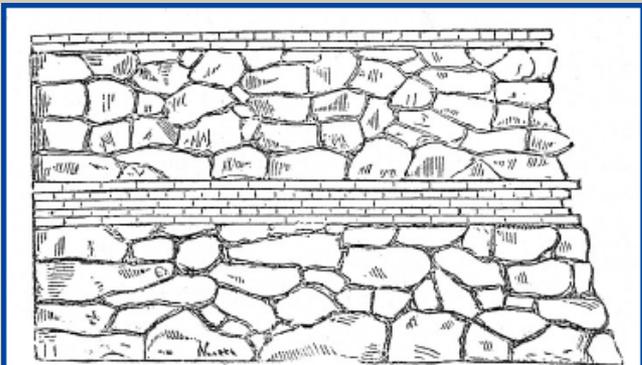


In una costruzione in muratura *una azione localizzata produce effetti localizzati* (MECCANISMI DI COLLASSO), con la conseguenza che la struttura non resiste a quella azione in modo globale (RESISTENZA LOCALE).

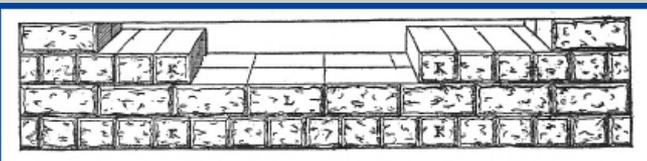


COMPORTAMENTO MECCANICO DELLA MURATURA	AZIONI SISMICHE
Muratura « di buona qualità »	COMPORTAMENTO MONOLITICO
Muratura « di media qualità »	COMPORTAMENTO INTERMEDIO
Muratura « di scarsa qualità »	SI DISGREGA CAOTICAMENTE

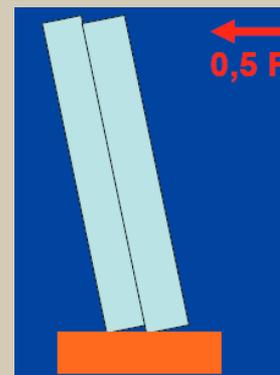
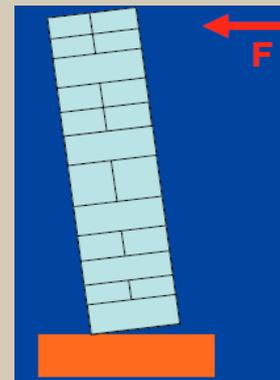
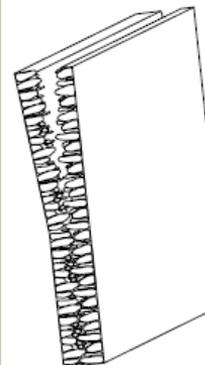
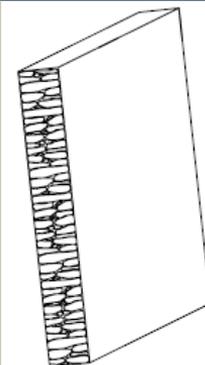
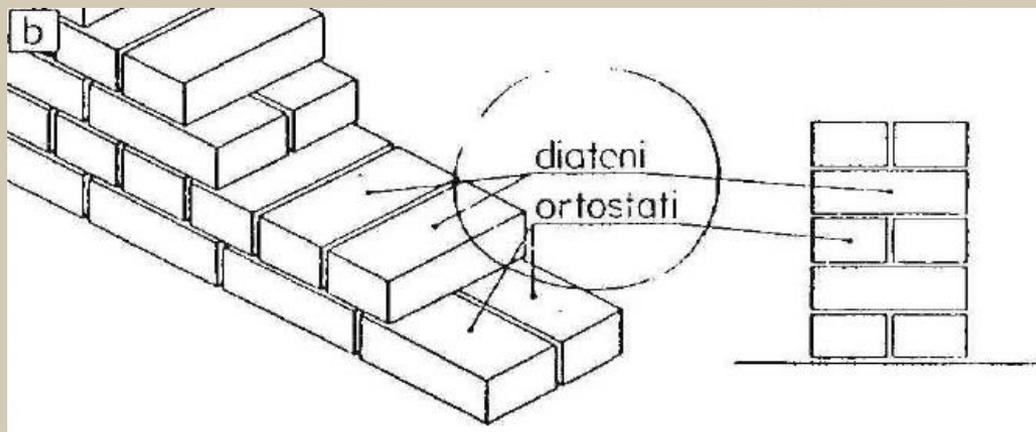
UNA MURATURA E' DI BUONA QUALITA' QUANDO E' COSTRUITA SECONDO LA REGOLA DELL'ARTE, BASATA SU PRINCIPI EMPIRICI TRAMANDATI NEL CORSO DELLA STORIA.



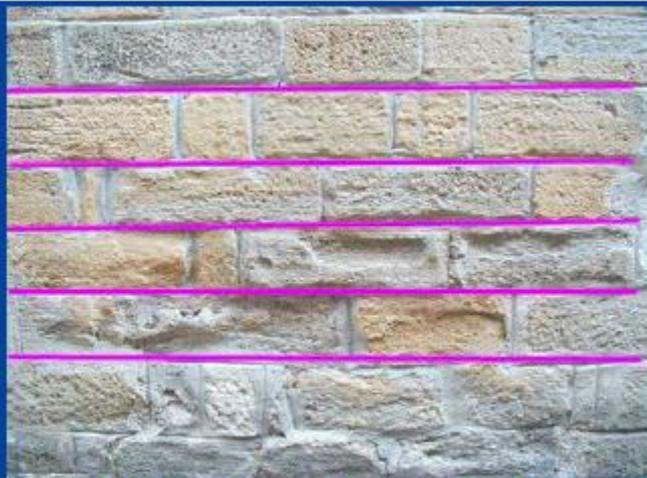
Breymann, 1885



Palladio, 1570

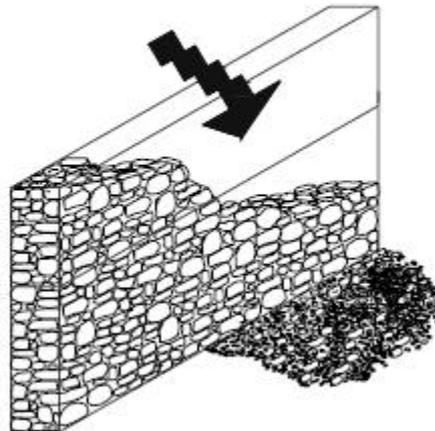


# ALCUNE PRESCRIZIONI SULLA REGOLA DELL'ARTE

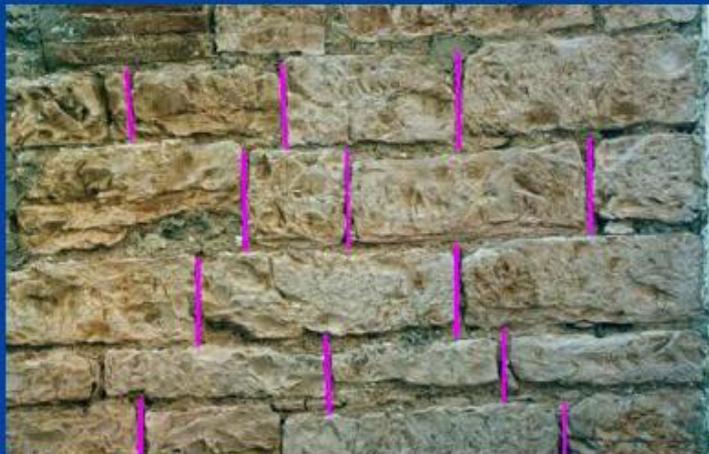
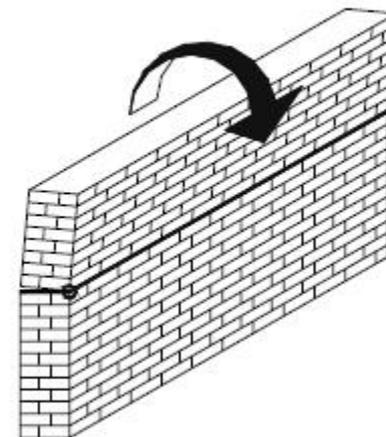


**Filari orizzontali**

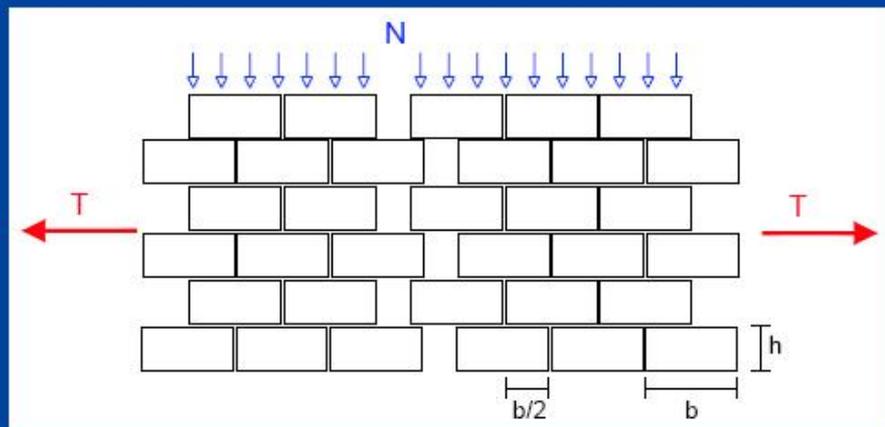
"A"



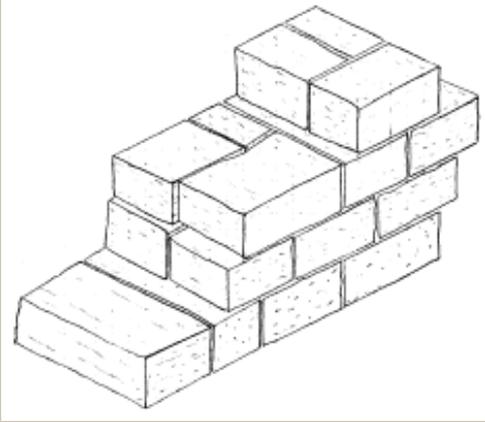
"B"



**Giunti verticali sfalsati**



*Pietre squadrate*



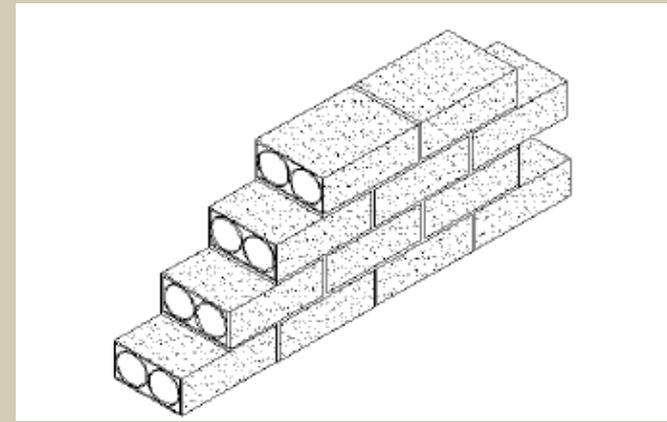
*Blocchi regolari*

*Malta buona*



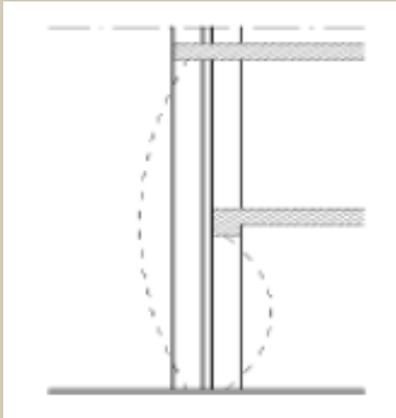
*Malta scadente*

*Resistenza dei blocchi*

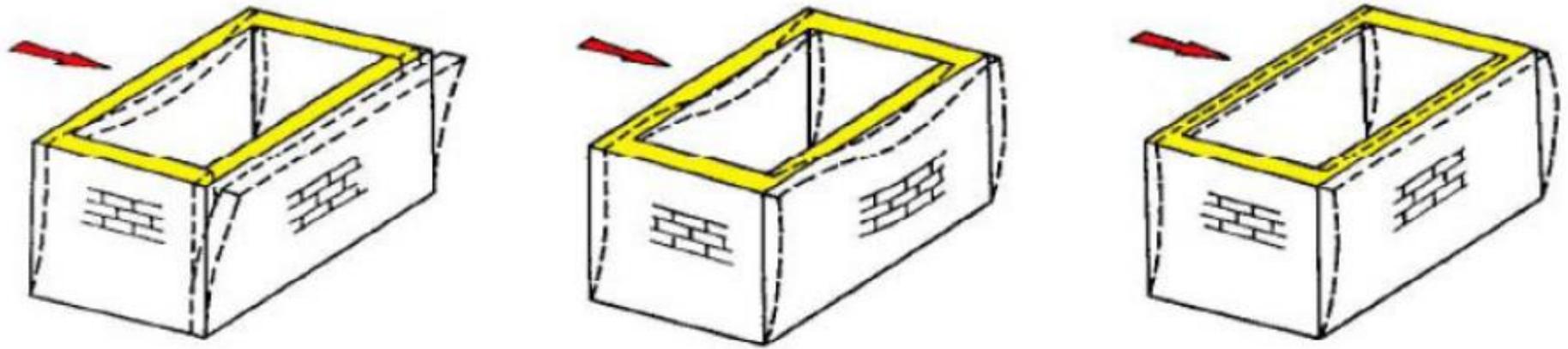


*Blocchi non strutturali*

*Carichi verticali su tutto lo spessore della parete*



*Garanzia del buon collegamento a livello di solaio*



## I MECCANISMI DI PRIMO MODO

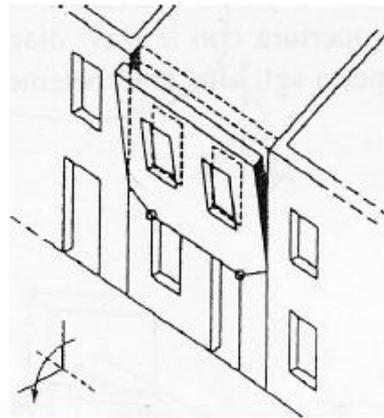
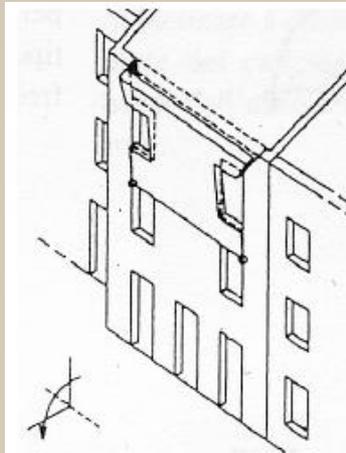
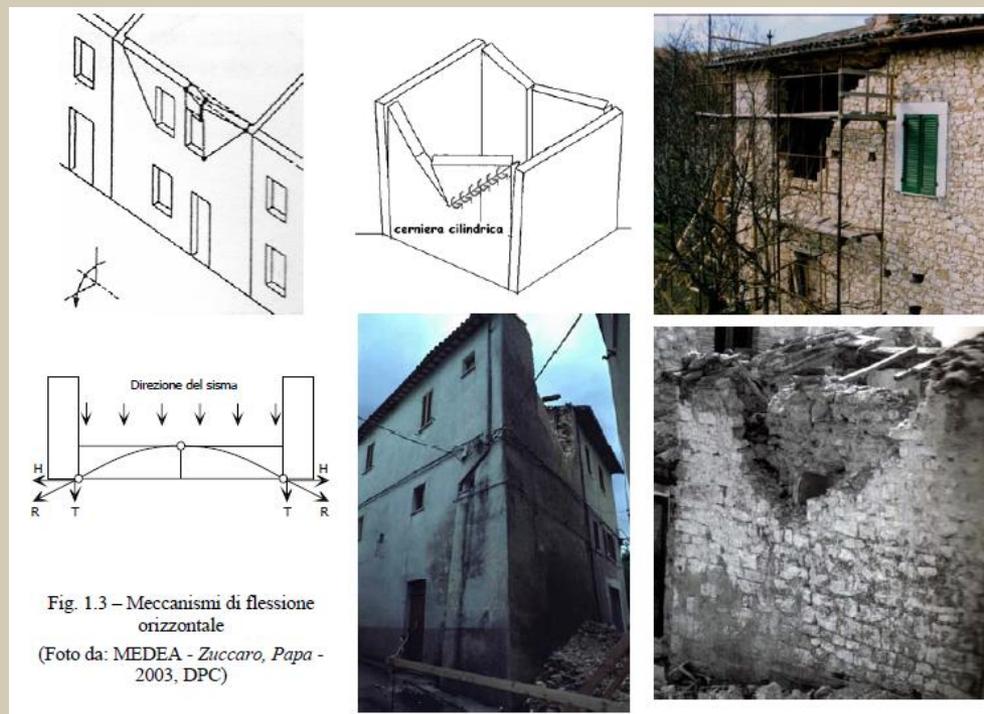
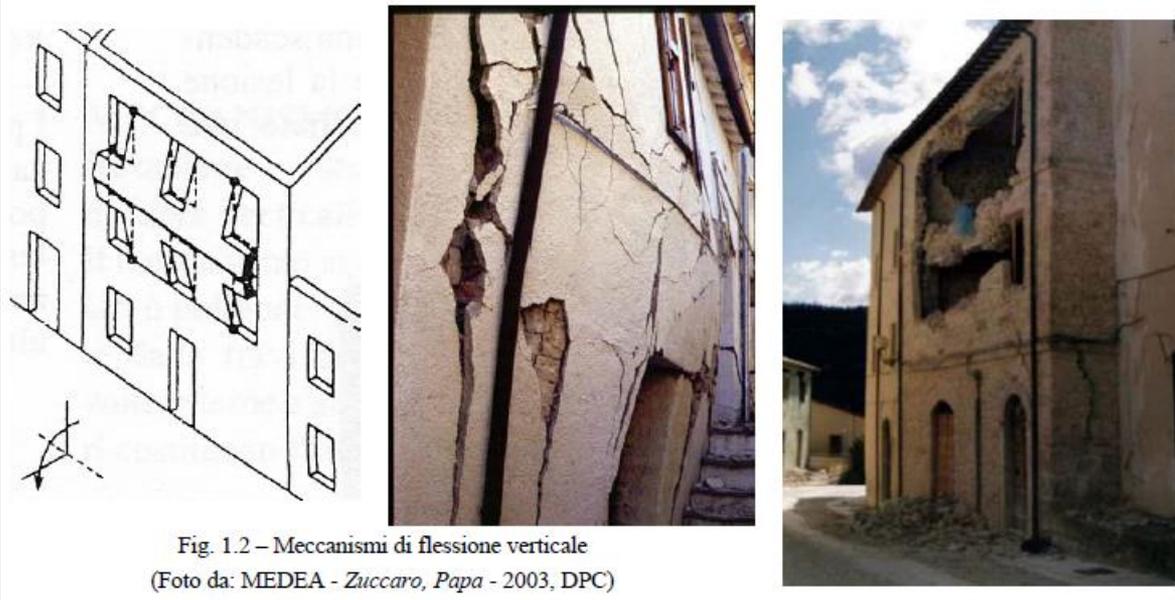


Fig. 1.1 – Meccanismo di ribaltamento semplice  
(Foto da: MEDEA - Zuccaro, Papa - 2003, DPC)





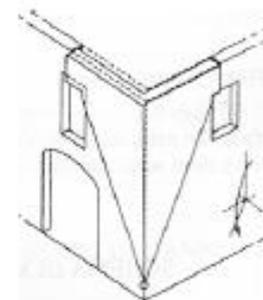
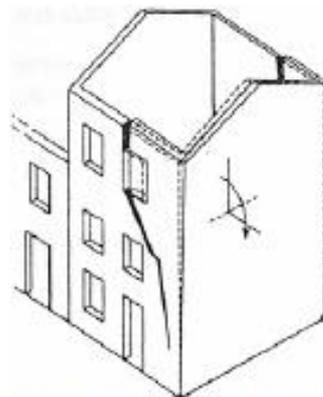
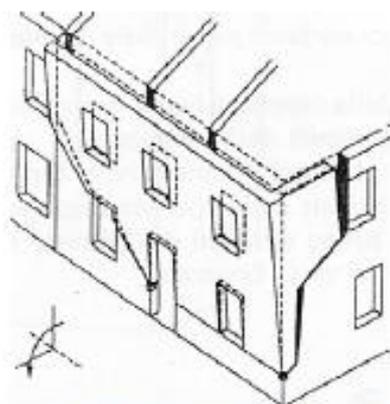


Fig. 1.4 – Meccanismi di ribaltamento composto  
(Foto da: MEDEA - Zuccaro, Papa - 2003, DPC)

### 4.3 MECCANISMO DI SFONDAMENTO DELLA PARETE DEL TIMPANO

Lo sfondamento della parete del timpano attiva un meccanismo di flessione orizzontale caratterizzato dall'individuazione di macroelementi cuneiformi che ruotano attorno a cerniere cilindriche oblique (Fig. 4.11).

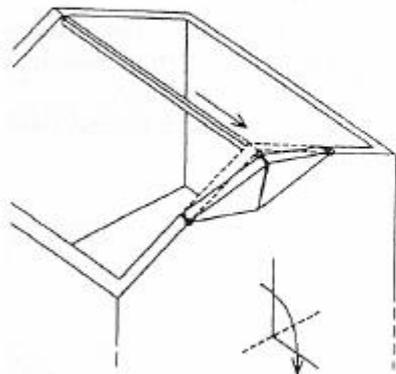


Fig. 4.11 – Meccanismo di sfondamento della parete del timpano (Foto da: MEDEA - Zuccaro, Papa - 2003, DPC)



© RELUIS 2012

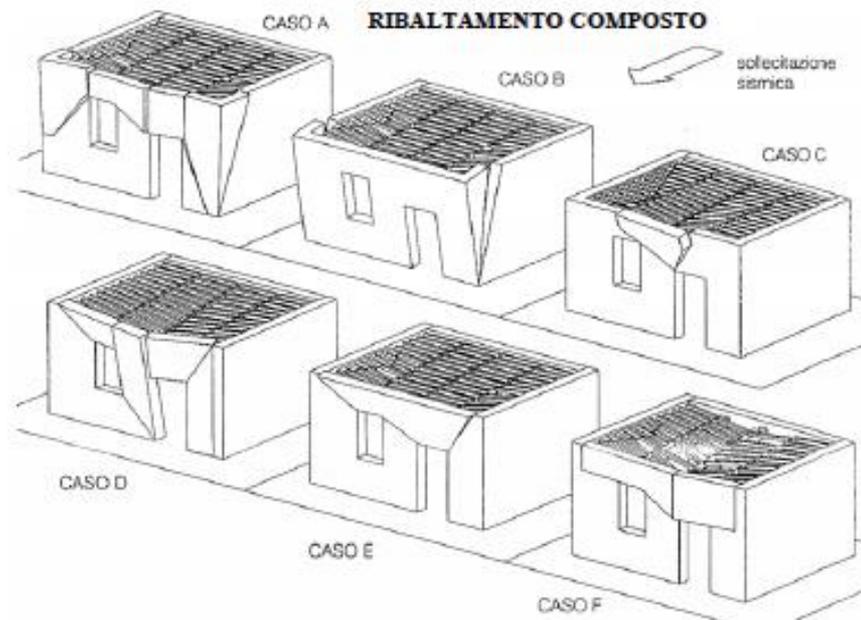
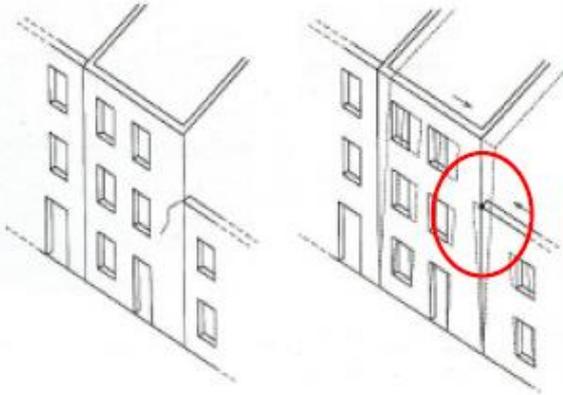


Fig. 5.1 – Esempi di meccanismi di danno fuori dal piano in presenza di murature efficacemente collegate tra loro (Guerrieri, 1999).

# I MECCANISMI DI SECONDO MODO

## Lesioni a taglio

Per discontinuità altimetrica

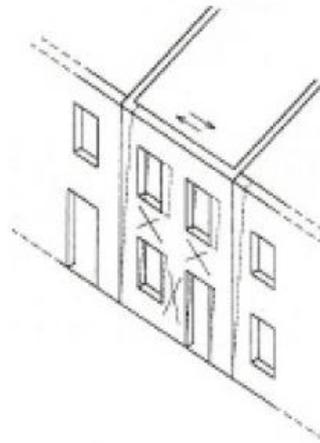


Sellano 1997

- Martellamento che produce lesioni con andamento inclinato

## Lesioni a taglio

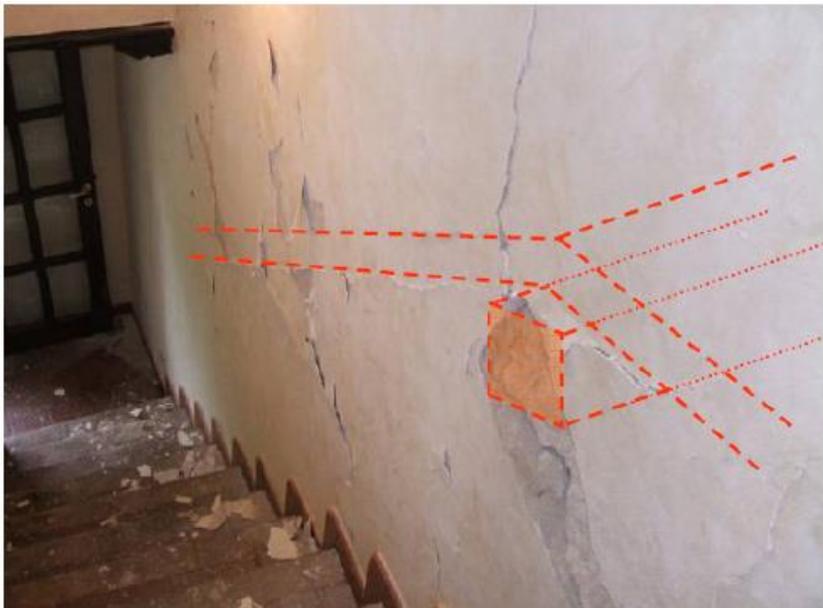
Deformazione angolare



Palazzo Farinosi (AQ) 2009

- Lesioni presenti nei pannelli murari fra le aperture di uno stesso piano o tra un piano e l'altro

## CASI PARTICOLARI



Paganica 2009

### Interazione tra edifici adiacenti

Martellamento delle travi di copertura dell'edificio adiacente



San Gregorio (AQ) 2009

### Disgregazione muratura

Presenza di cantonale in blocchi squadrati

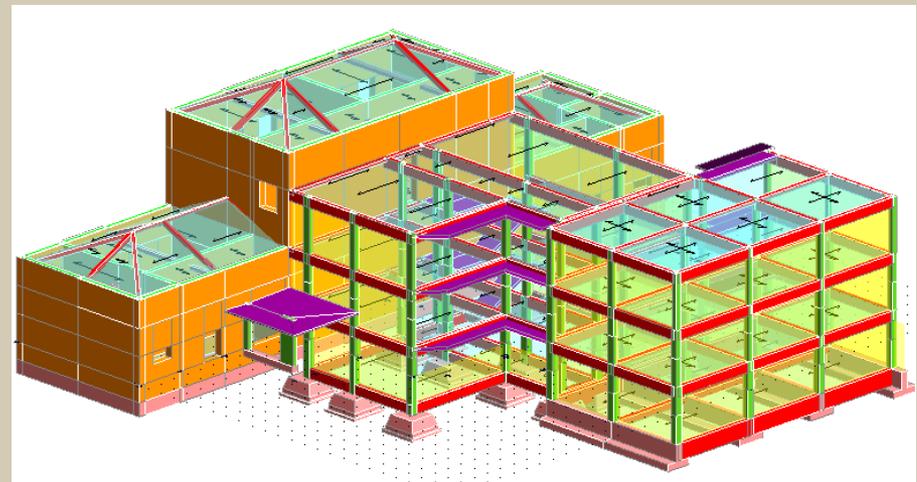
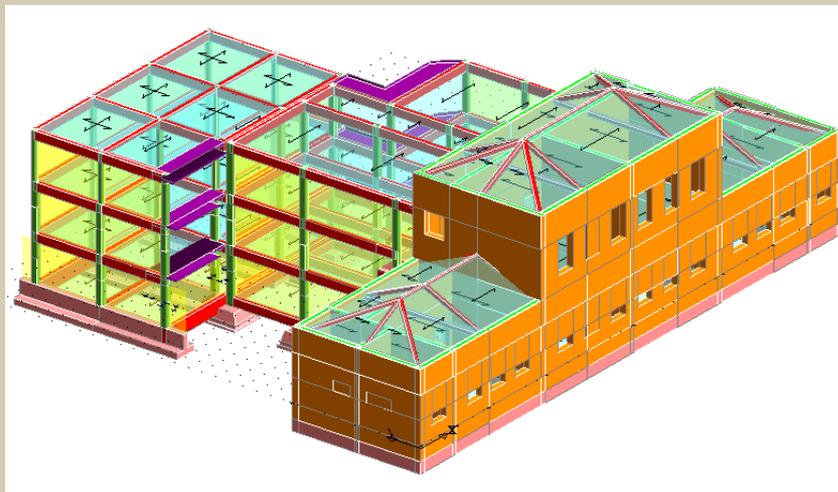


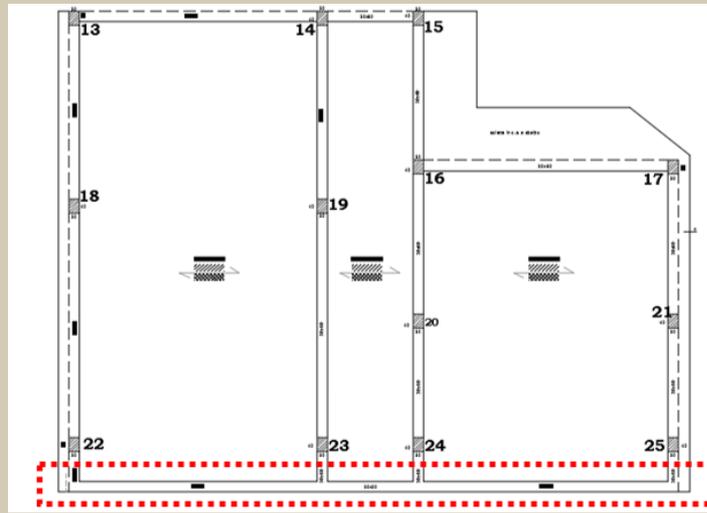
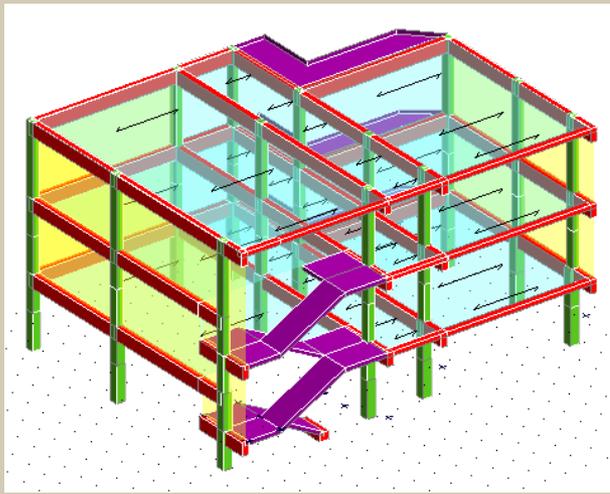
Prima



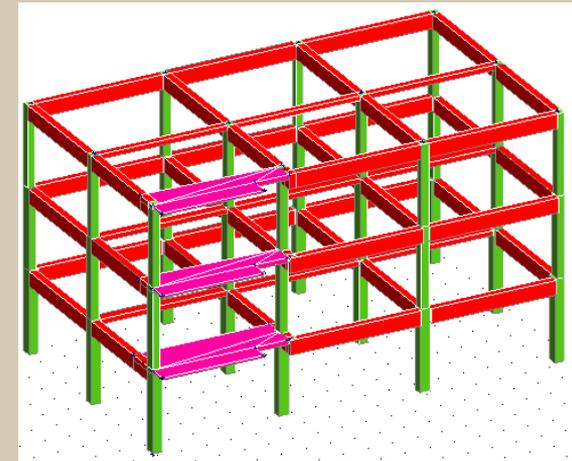
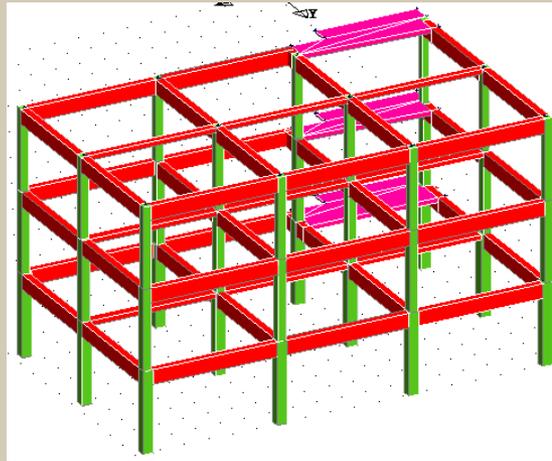
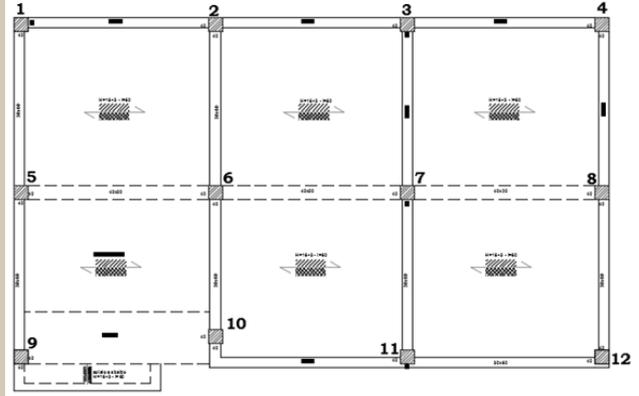
Dopo

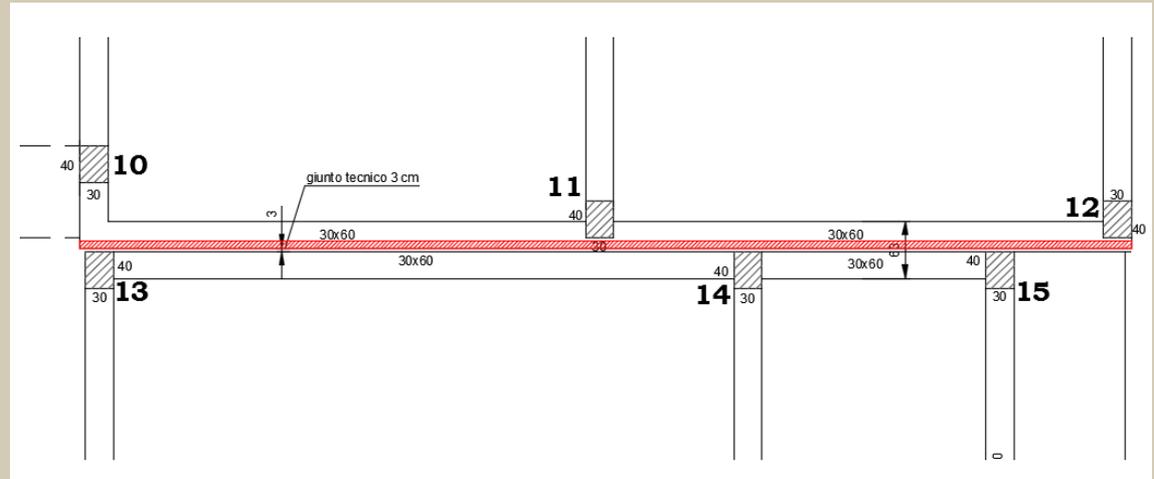
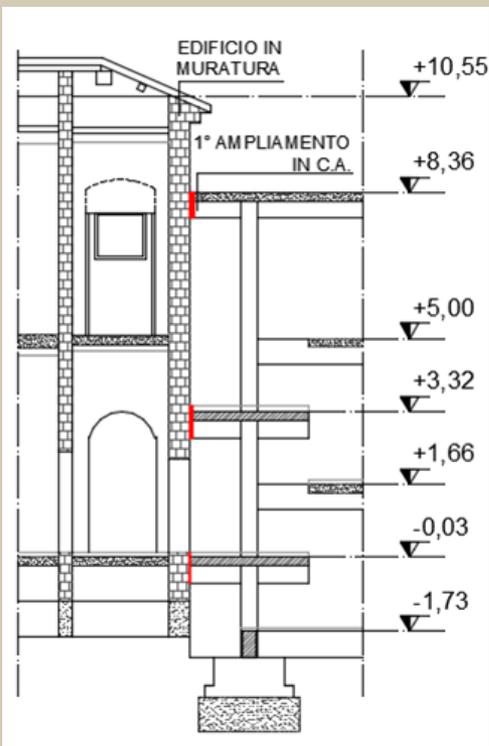
# Comportamento strutturale degli edifici in c.a.



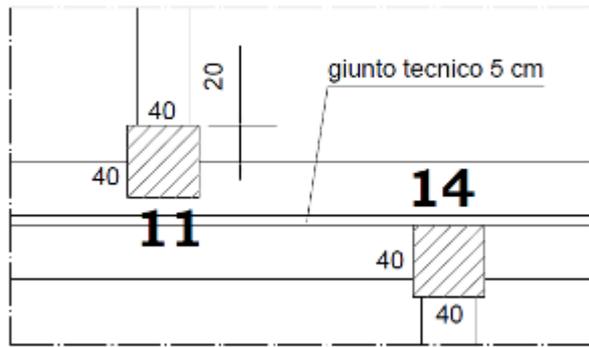


Carpenteria piano primo

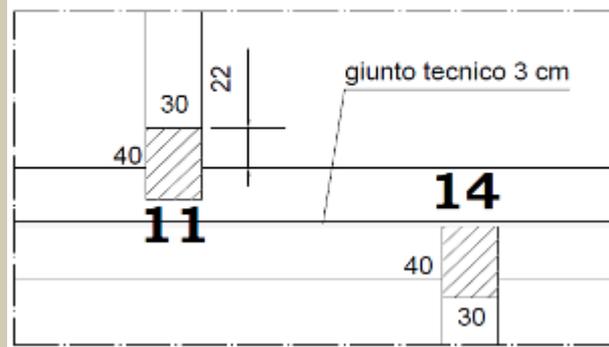




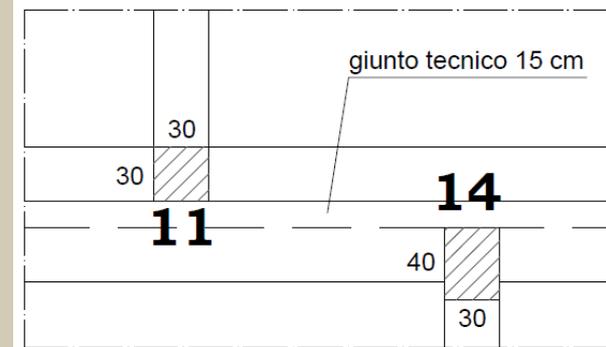
**Livello 1**



**Livello 2**

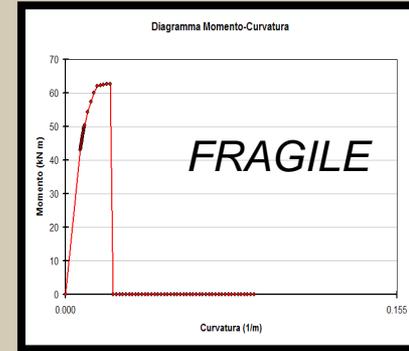
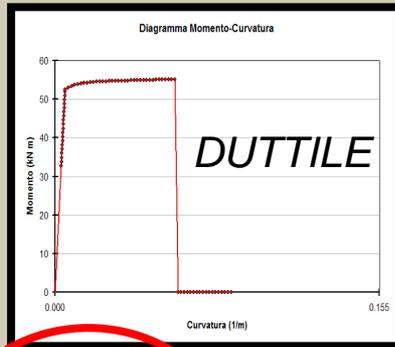


**Livello 3**



## ELEMENTI A COMPORTAMENTO FRAGILE

- 1) *Pilastrini corti ( o “tozzi”);*
- 2) *Travi e Pilastrini senza una adeguata staffatura (passo sup. a 15-20 cm,  $\phi < 8$ , ...);*
- 3) *Pilastrini con poca armatura longitudinale;*
- 4) *Nodi non staffati;*
- 5) *Pilastrini soggetti ad un eccessivo carico statico.*



**Elementi a bassa duttilità**



[www.reluis.it](http://www.reluis.it)

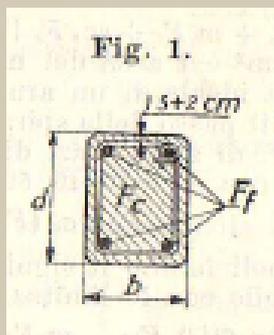




Dal manuale dell'ingegnere edizione del 1958:

- Pilastrì (Pressione semplice assiale)

Sono armati da tondini longitudinali paralleli all'asse e da tondini trasversali (staffe), disposti esternamente ai primi, con copertura di circa 2 cm di calcestruzzo, posti ad una distanza < della **META'** della minima distanza trasversale del pilastro e di 10 volte il diametro dei tondini longitudinali.



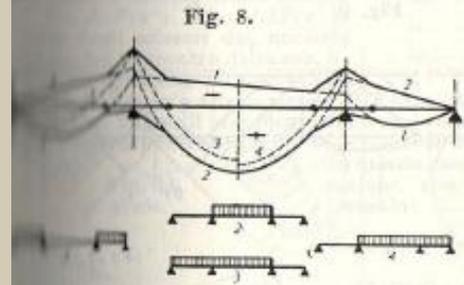
- Carico massimo ammissibile:  
 $\sigma_c \leq 35,45,60 \text{ Kg/cm}^2$  e non mai > di  $\frac{1}{4}$  del carico di rottura dei provini prelevati in cantiere.

- Af circa 0,008 Ac, per  $A_c < 2000 \text{ cm}^2$
- Af circa 0,005 Ac, per  $A_c > 8000 \text{ cm}^2$
- Intermedio: interp. lineare.

continua (fig. 7). Si ricercano i mom. incogniti (sugli appoggi o agli estremi) con l'equaz. dei 3 momenti, essendo in ogni campata  $J = \text{cost.}$  e tenuto degli eventuali raccordi (mensole) atti ad aumentare l'altezz. A parti d'estremità soggette a mom. negat. (sez. a-a).

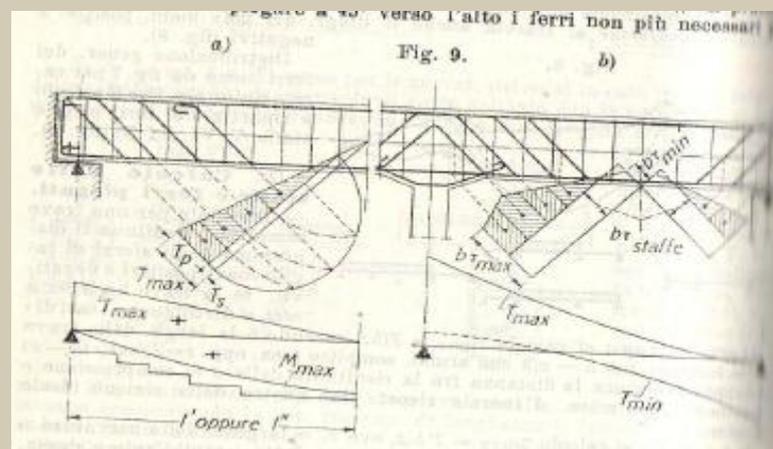


Prendono così i valori max positivo (di cui il max negativo (sugli appoggi) sia per effetto del carico della trave e sia per effetto del momento di sovraccarico di regola esteso nella luce delle singole campate) nella disposizione più sfavorevole per la sez. che si considera. Per carichi uniformi si traccia anche il diagr. dei max mom. positivi e negativi (fig. 8).



Distribuzione gener. dei ferri come da fig. 7 per carico uniforme. Per il calcolo e ripartiz. dei ferri pieg. e staffe V. VI, 21 D) (fig. 9).

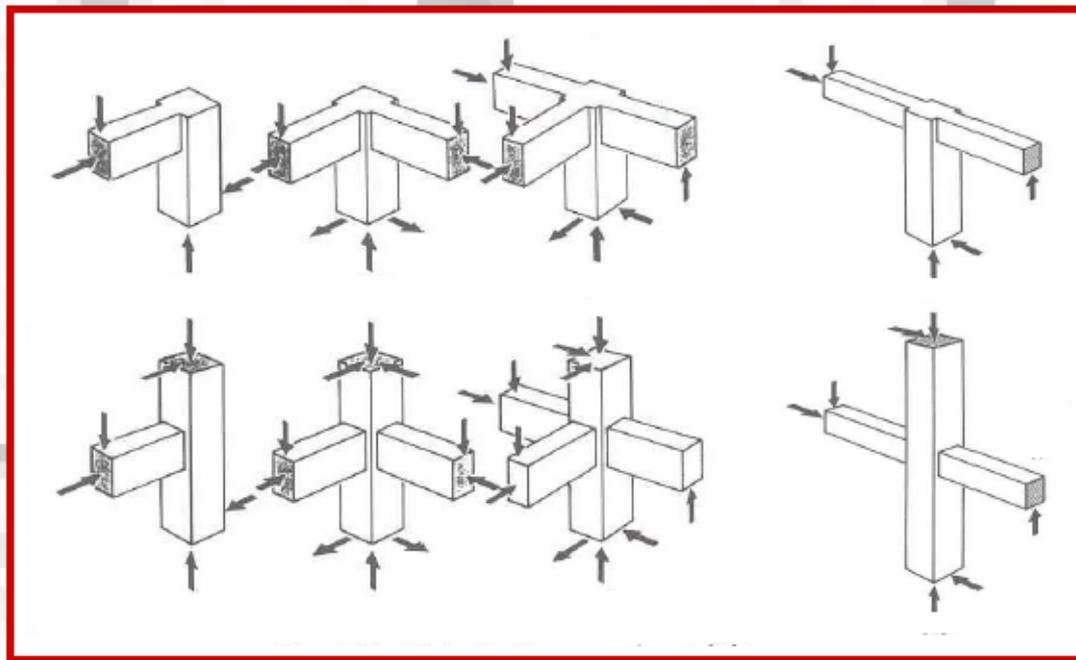
**D). Calcolo delle staffe e ferri piegati.**  
 — Tracciato per una trave semplice o continua il diagramma degli sforzi di taglio max (positivi e negativi), se la trave ha altezza cost. si distinguono i casi di:



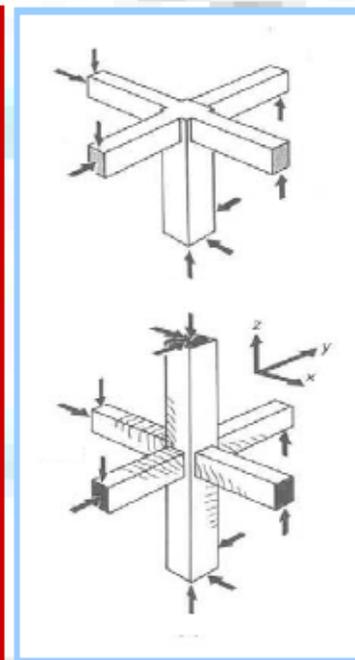
Travi e Pilastrì: se la tensione sul calcestruzzo supera il limite di 4 Kg/cm<sup>2</sup> per cls ordinari, tutto lo sforzo di scorrimento viene fatto assorbire da armature metalliche.

La soletta dei solai in c.a. a nervature parallele deve essere minimo di 4 cm!





*Nodi non interamente confinati*



*Nodi confinati*

**Nodi trave – pilastro: Verifiche per i Nodi NON Confinati**

Deve essere verificata sia la resistenza a trazione che quella a compressione:

$$\sigma_{nt} = \frac{N}{2A_g} - \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2} \leq 0.3\sqrt{f_c} \quad (f_c \text{ in MPa})$$

**Verifica a trazione**

$$\sigma_{nc} = \frac{N}{2A_g} + \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2} \leq 0.5f_c$$

**Verifica a compressione**



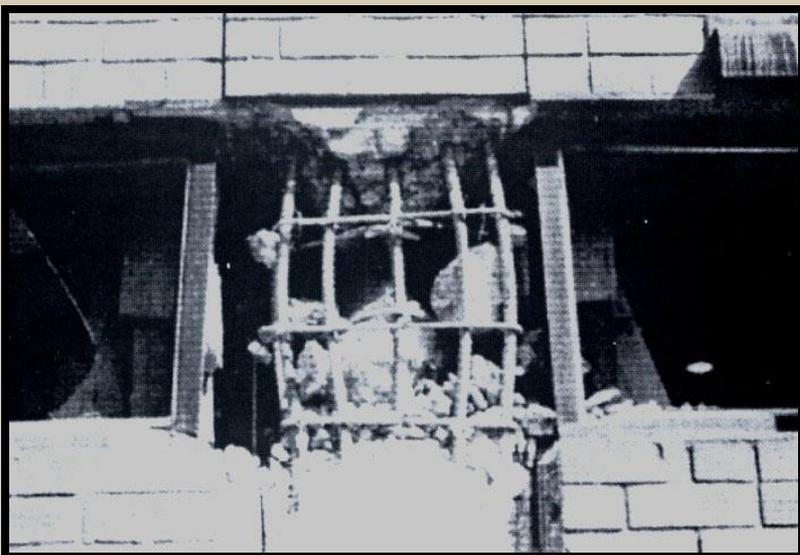
*Tamponature non inserite nei telai*



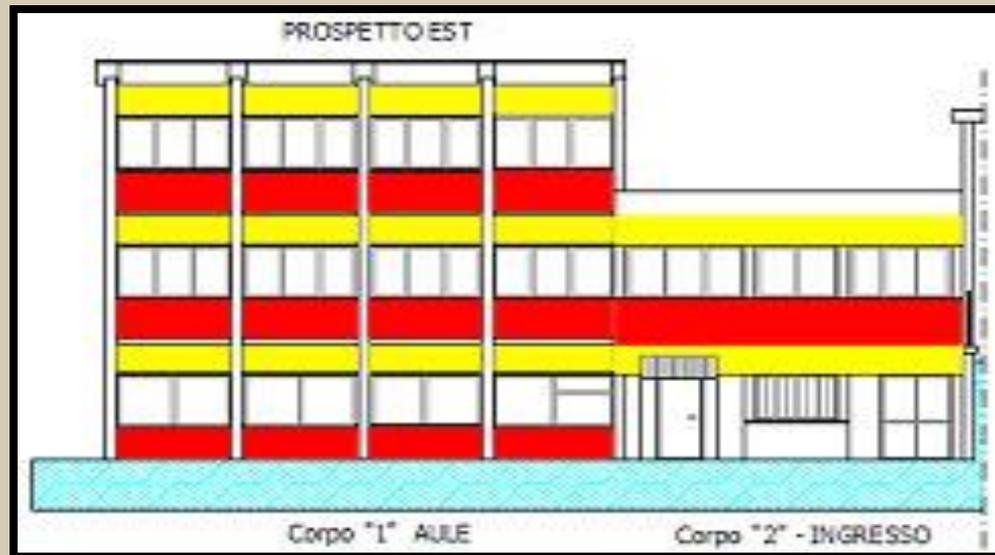
*Piani soffici*



*Piani soffici*



*Finestre a nastro*



*Finestre a nastro*

***Tamponature libere, pilastri tozzi e Piani Soffici***

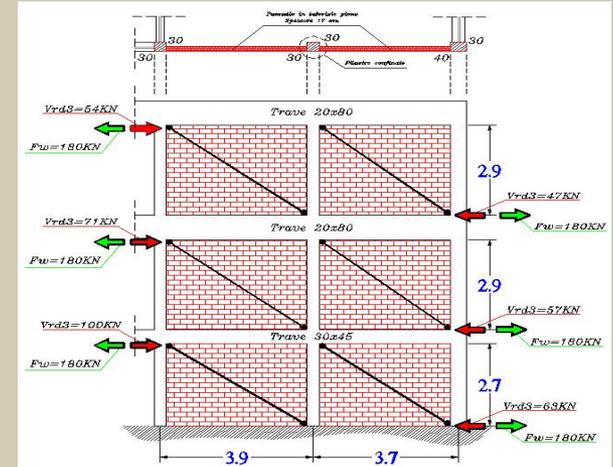


## *Il ruolo delle tamponature*



## Il comportamento dei telai tamponati

La norma suggerisce di valutare la presenza di eventuali murature sismo resistenti



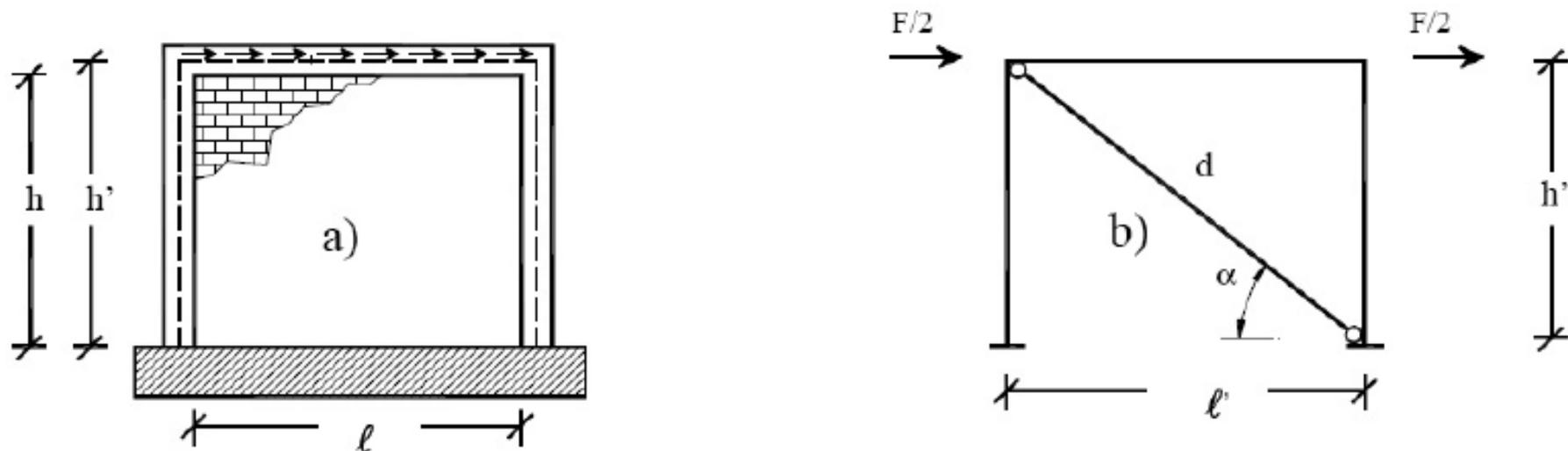


Figura 1.1.5.1 – Schema strutturale e modello di calcolo semplificato

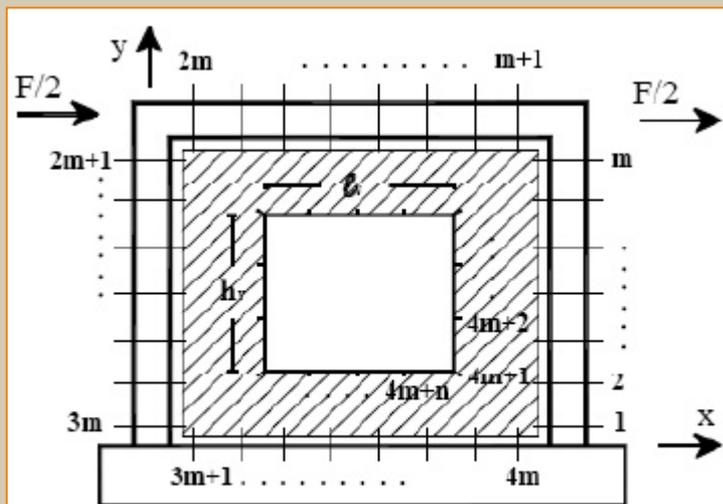
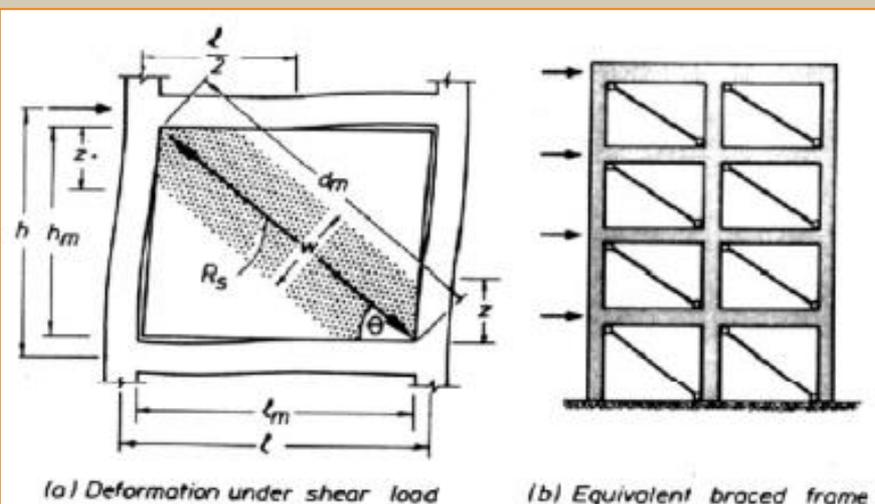


Figura 1.1.5.4 – Sistema telaio-pannello



(a) Deformation under shear load (b) Equivalent braced frame

Figura 1.1.6.1 – Puntone diagonale equivalente

## 1) Rottura per schiacciamento

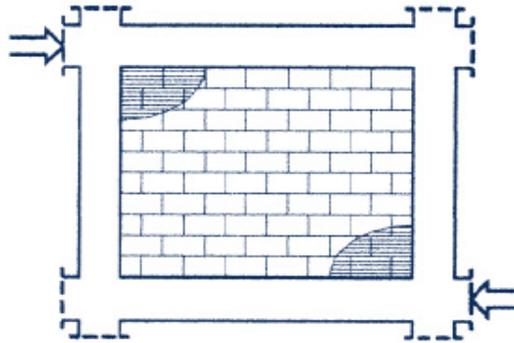


Figura 1.1.7.2 – Crisi per compressione ai vertici

$$F_w(\text{schiacciamento}) = 0,8 f_w \cos^2 \theta \sqrt{\frac{E_c I_p h_w t_w^3}{E_w}}$$

ove  $f_w = 0,4 f_b^{0,7} f_m^{0,435}$  (Cuomo<sup>6</sup> – in cui  $f_b$  e  $f_{bt}$  rappresentano la resistenza a compressione ed a trazione del mattone,  $f_m$  la resistenza a compressione della malta).

$E_c$  è il modulo elastico del cls;

$I_p$  è il momento di inerzia della sezione dei pilastri;

$h_w$  è l'altezza netta del pannello;

$t_w$  è lo spessore;

$E_w$  è il modulo elastico della tamponatura.

$\theta = \arctg \frac{l_w}{h_w}$ , in cui  $l_w$  è la lunghezza del pannello.

Di fatto  $f_w$  rappresenta la resistenza a compressione del pannello murario.

## 2) Rottura per trazione diagonale

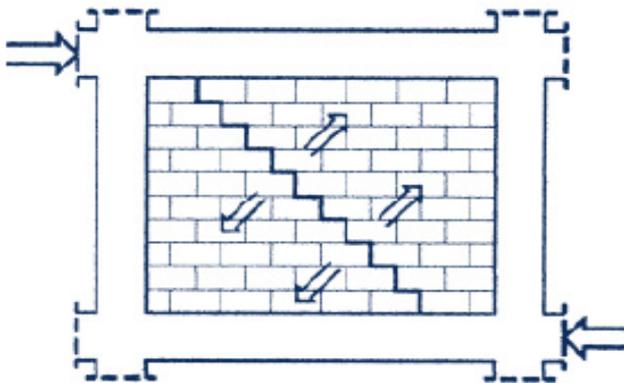


Figura 1.1.7.3 – Crisi per trazione diagonale

$$F_w(\text{trazione}) = \frac{f_{ws} l_w t_w}{0,6}$$

ove:

$f_{ws}$  è la resistenza a taglio puro;

$l_w$  è la lunghezza del pannello;

$t_w$  è lo spessore.

### 3) Rottura per scorrimento

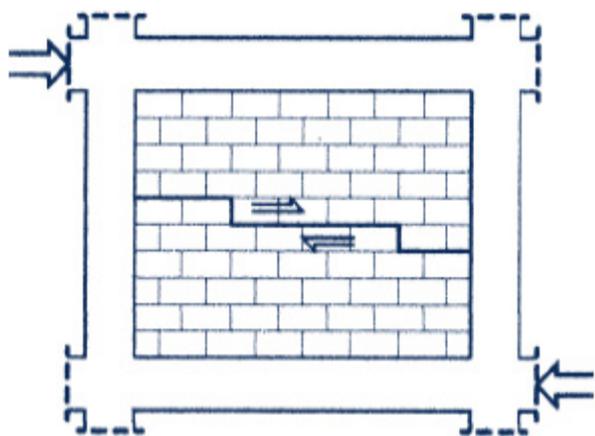


Figura 1.1.7.4 - Crisi per scorrimento orizzontale

$$F_w(\text{scorrimento}) = f_{ws} l_w t_w \left[ \frac{0,4h_w/l_w - 0,1}{1,5} + \sqrt{1 + \left( \frac{0,4h_w/l_w - 0,1}{1,5} \right)^2} \right]$$

ove il significato dei termini è quello visto precedentemente.

### Nel caso di analisi non lineare

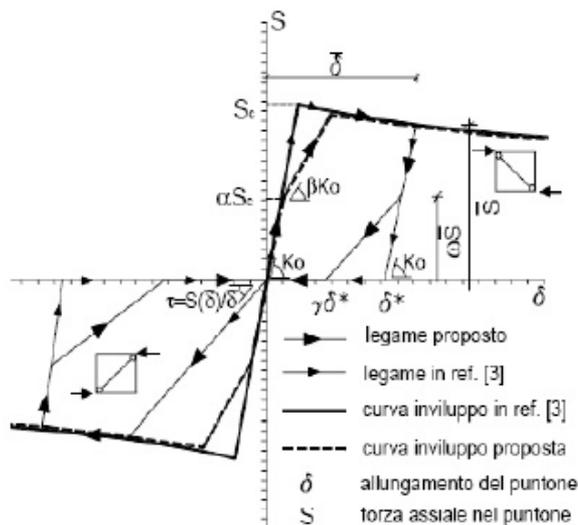
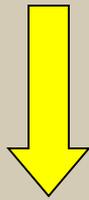


Figura 1.1.6.5 - Sistema telaio-pannello

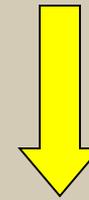
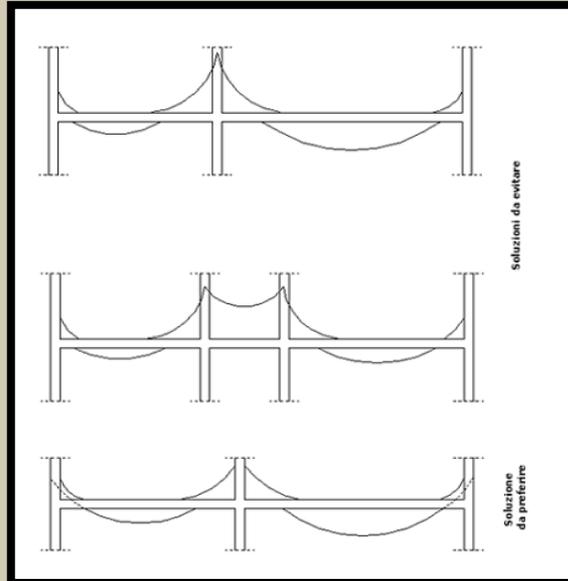
Nello schema di figura 1.1.5.1, dove è rappresentata una coppia di puntone diagonali, viene riportato un modello S- $\delta$ , essendo S la forza assiale e  $\delta$  l'accorciamento. I puntone non sono contemporaneamente efficaci poiché è stata supposta nulla la resistenza a trazione.

Nella forma prevista dal modello originale (*proprio il legame in ref. [3] - Klingner & Bertero*) il comportamento della coppia di puntone è elastico lineare fino a quando il valore degli sforzi assiali,  $S=K_0\delta$  raggiunge il valore  $S_c$  corrispondente al picco di resistenza di ciascun puntone e  $K_0$  è la sua rigidezza assiale. Il ramo plastico è invece caratterizzato da rami di softening in cui all'aumentare del carico assiale decrementa il valore di S.

# SFONDELLAMENTO



## SFONDELLAMENTO



## CORROSIONE TRAVETTI



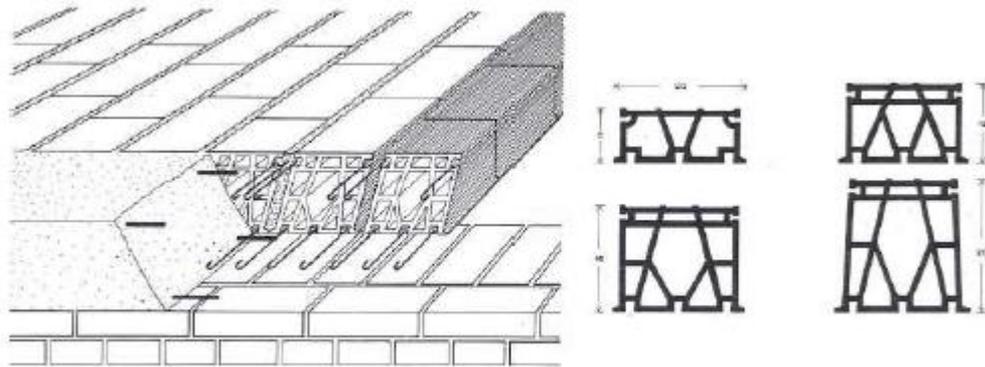


Figura 3 – Solaio tipo "S.A.P.", ovvero Senza Armatura Provvisoria (anni '50-'60).

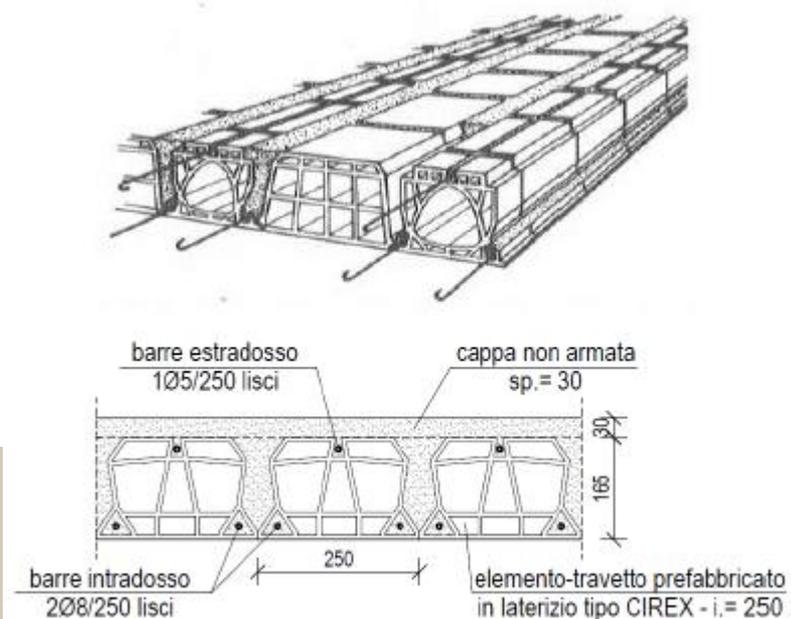


Figura 4 – Solaio tipo "Cirex" (stessa famiglia del S.A.P.).

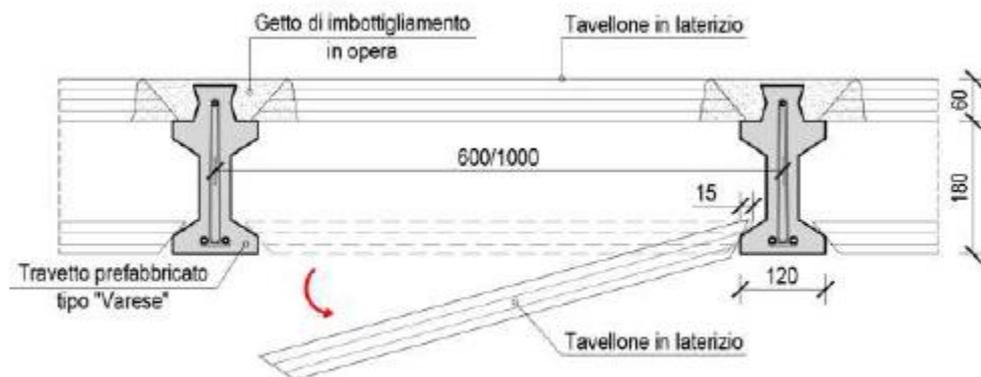
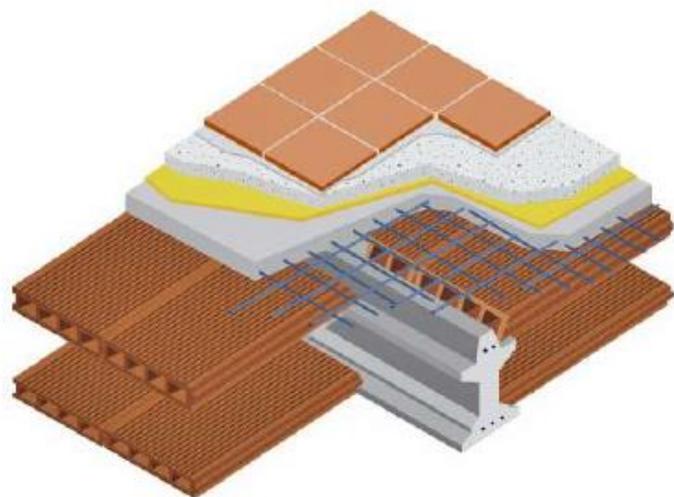
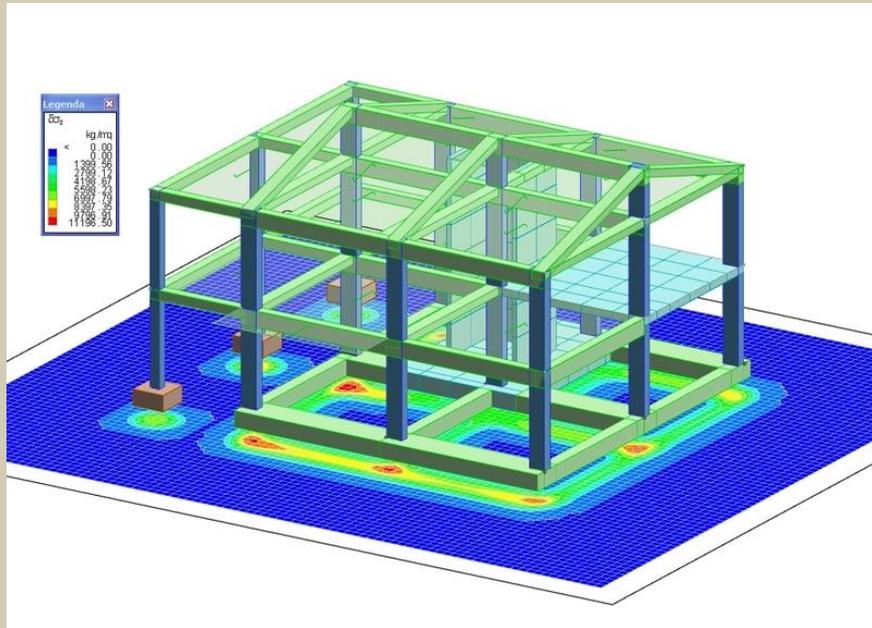
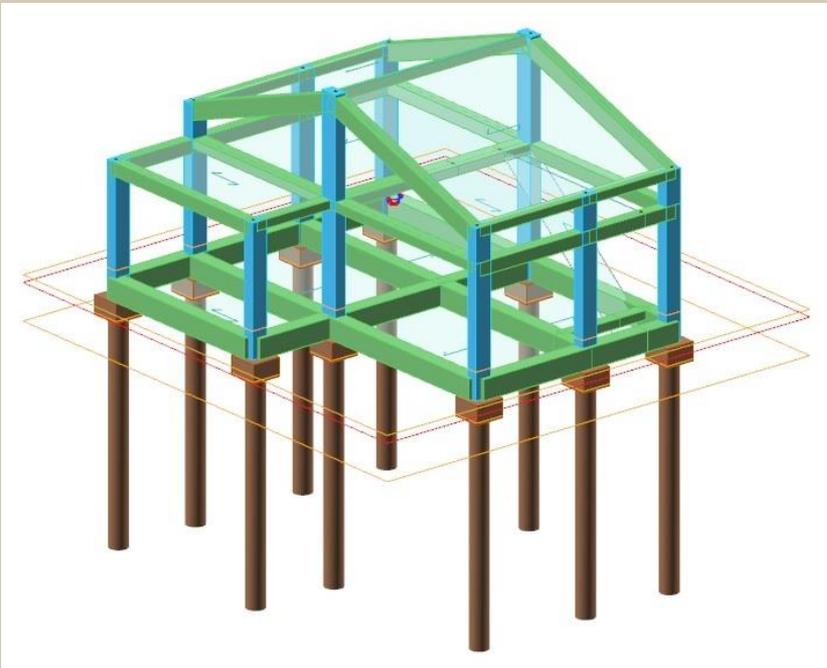


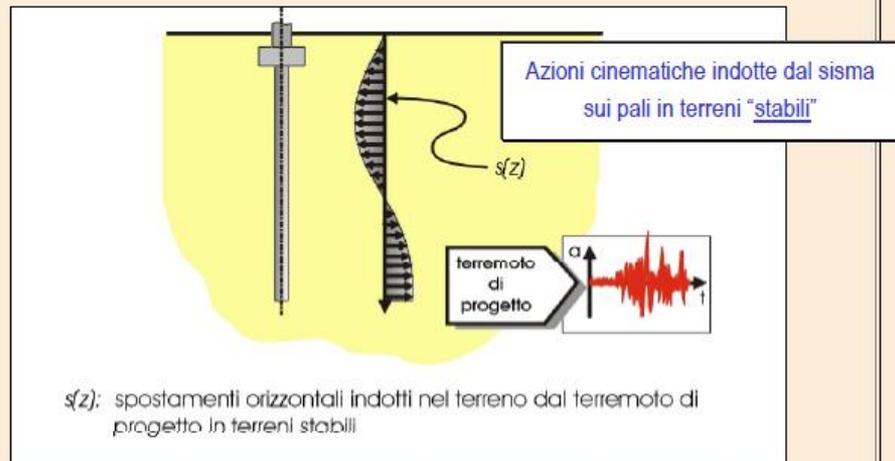
Figura 11 – Perdita di appoggio del tavellone all'estradosso del solaio.

# IL RUOLO DELLE FONDAZIONI





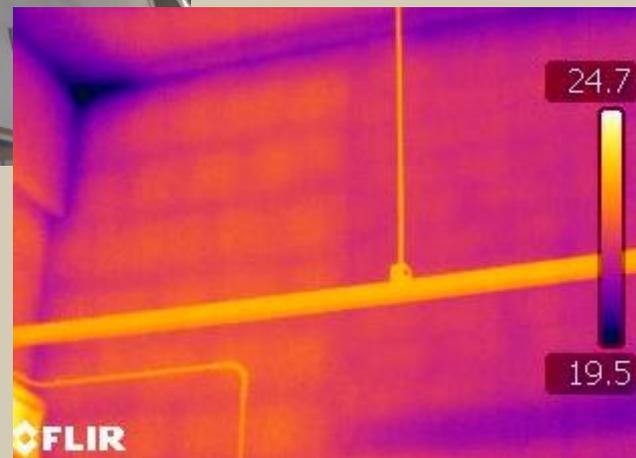
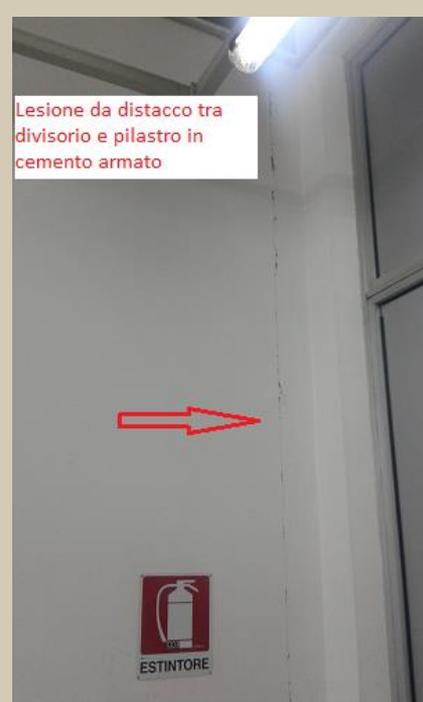
## Azioni cinematiche fondazioni profonde



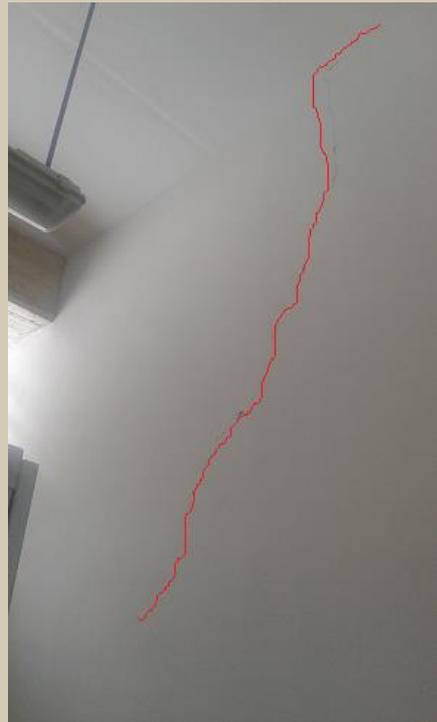
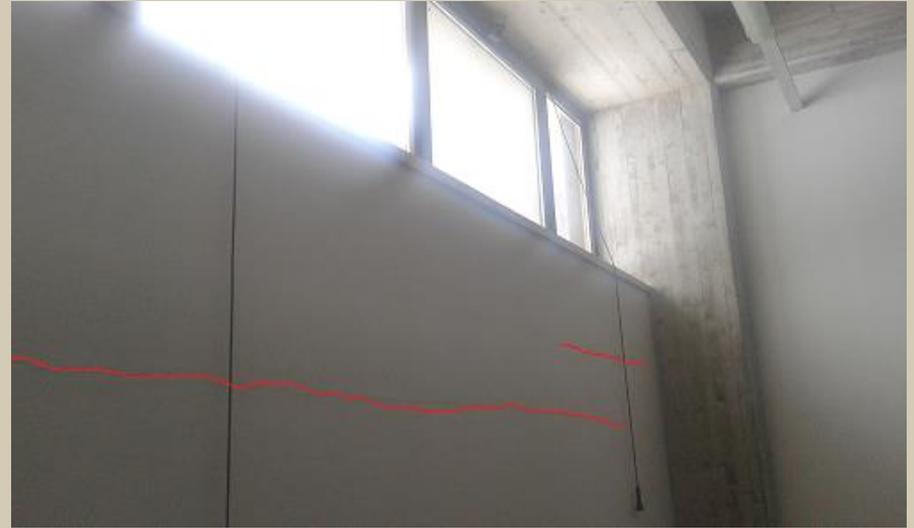
Terremoto di Kobe, 1995:  
fratture lungo il fusto di pali  
causate da azioni cinematiche  
indotte dal sisma

(NISEE slide collection)

# Esempio 1



## Esempio 2



## Esempio 3



Distacco di parete con atto di ribaltamento verso l'esterno



Lesioni interne su murature e divisori



Lesioni sul solaio parallele all'orditura di travi e travetti; si sono notate delle lesioni più piccole sugli elementi di alleggerimenti (pignatte, tavelle od altro) che denunciano potenziali fenomeni di sfondellamento



# Elementi non strutturali, degli impianti, degli arredi e della strumentazione

## Linee guida per la riduzione della vulnerabilità di elementi non strutturali arredi e impianti

### 2.1 Balconi

Il danno consiste nel crollo di lastre di pietra naturale dei balconcini di edifici in muratura o parziale distacco delle lastre tra loro. Le lesioni si verificano in genere o in corrispondenza delle zone più sollecitate o nelle zone di separazione tra lastre adiacenti. Questi elementi sono molto vulnerabili alle azioni verticali indotte dal terremoto sia per la fragilità della pietra naturale con cui sono realizzati, sia per le condizioni di vincolo. Infatti i danni più frequenti si osservano quando la luce tra le mensole di appoggio è più elevata. Di solito questo tipo di danno è associato ad elevata intensità di scuotimento sismico, il rischio connesso è quello di ferimento o di ingombro delle vie di fuga.



### 2.2 Manto di copertura

E' una tipologia di danno molto diffusa, sia per valori moderati che elevati di scuotimento sismico. La necessità di interporre uno strato di materiale isolante tra le tegole e gli elementi portanti comporta che le prime siano praticamente solo appoggiate e quindi possano facilmente dislocarsi. I coppi del manto di copertura di forma classica, molto diffusi nei centri storici, sono privi di sagomature aventi la funzione di miglioramento di collegamento fra gli elementi. Quindi questa tipologia è altamente vulnerabile. Il rischio maggiore è per chi si trovi in strada al momento della caduta delle tegole sia durante la scossa di terremoto sia nei giorni successivi, per esempio a causa di raffiche di vento.



## 2.5 Canne fumarie

Le canne fumarie esterne in elementi di muratura possono subire rotture dovute alle deformazioni differenziali del supporto a cui sono collegate. Il livello di eccitazione che innesca questi danni è di solito elevato ed il rischio connesso è quello di ferimento o di intralcio alle vie di fuga. Le canne fumarie metalliche di solito non presentano danni, grazie alla loro elevata flessibilità.



## 2.9 Sfondellamenti

Il danno consiste nel distacco e la successiva caduta delle cartelle inferiori dei blocchi di alleggerimento inseriti nei solai in cemento armato, a causa della non corretta realizzazione del solaio o dell'utilizzo di laterizi con errato allineamento dei fori ed inadeguato impasto. Il danno si può verificare a partire da alti livelli di eccitazione, o anche più bassi nei casi di ammaloramenti progressi. Il danneggiamento può comportare pericolo per la vita umana.



## 2.7 Cornicioni

Il danno è più frequente quando i cornicioni sono realizzati mediante piastrelle in laterizio poggiate su di una intelaiatura metallica. Spesso la vulnerabilità è acuita dalla vetustà e da problemi di infiltrazioni d'acqua. Il danno si può verificare già a partire da bassi livelli di eccitazione soprattutto in presenza di degrado. Il rischio connesso è quello di ferimento o di intralcio alle vie di fuga.



## 2.8 Server e centralini

Il danno osservato consiste nei casi peggiori nel ribaltamento vero e proprio dei server o centralini, in altri casi nella traslazione di tali elementi, favorito dall'assenza di ancoraggi efficaci. Il danno si può verificare a partire da alti livelli di eccitazione. Il ribaltamento può comportare pericolo per la vita umana o occlusione delle vie di fuga. Nel caso di strutture strategiche il danneggiamento di tali elementi può comportare l'interruzione di servizi essenziali.



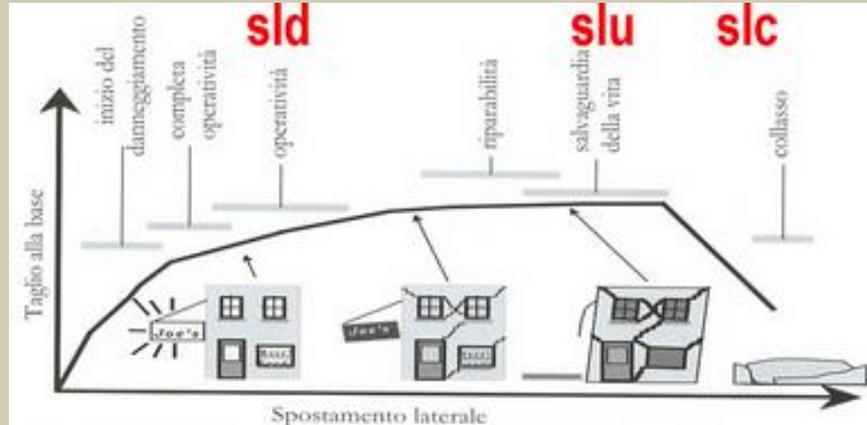
## 2.15 Rivestimenti e paramenti esterni

Il danno dipende molto dalla tipologia del rivestimento. Tipico è il caso del paramento esterno delle tamponature di edifici in c.a. in cui, per evitare i ponti termici, questo non è inserito nella maglia strutturale ma avvolge i pilastri. In questi casi si sono riscontrati molti ribaltamenti, anche in presenza di elementi di diatomi. Il danneggiamento è stato probabilmente frutto del concorso di due modalità: gli spostamenti relativi di interpiano hanno provocato superiormente il distacco del paramento, che successivamente è ribaltato per effetto delle azioni fuori del piano. In altri casi si sono verificati distacchi di lastre lapidee o altri tipi di rivestimenti. Il danno si può verificare a partire da alti livelli di eccitazione. Il rischio connesso è quello di ferimento o di intralcio alle vie di fuga.



## **STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV)**

*Un edificio, sottoposto ad un terremoto severo, deve potersi danneggiare ma **NON DEVE CROLLARE**, e deve mantenere ancora una ridotta capacità di resistere ad ulteriori azioni orizzontali.*



*La capacità di un fabbricato va quindi valutata andando alla **ricerca di quello scenario di danno che fa conseguire all'edificio uno stato limite di SLV** e quindi in genere gli elementi strutturali coinvolti in tale panorama sono diversi.*