

VERIFICA SISMICA DI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

Parte 2 (2/2): LE TIPOLOGIE DEGLI EDIFICI IN MURATURA ESISTENTI E LA CONCEZIONE STRUTTURALE DELL'EDIFICIO MODERNO



RELAZIONE DELLA COMMISSIONE
INCARICATA DI STUDIARE E PROPORRE
NORME EDILIZIE OBBLIGATORIE
PER I
COMUNI COLPITI DAL TERREMOTO
DEL 28 DICEMBRE 1908 E DA ALTRI ANTERIORI

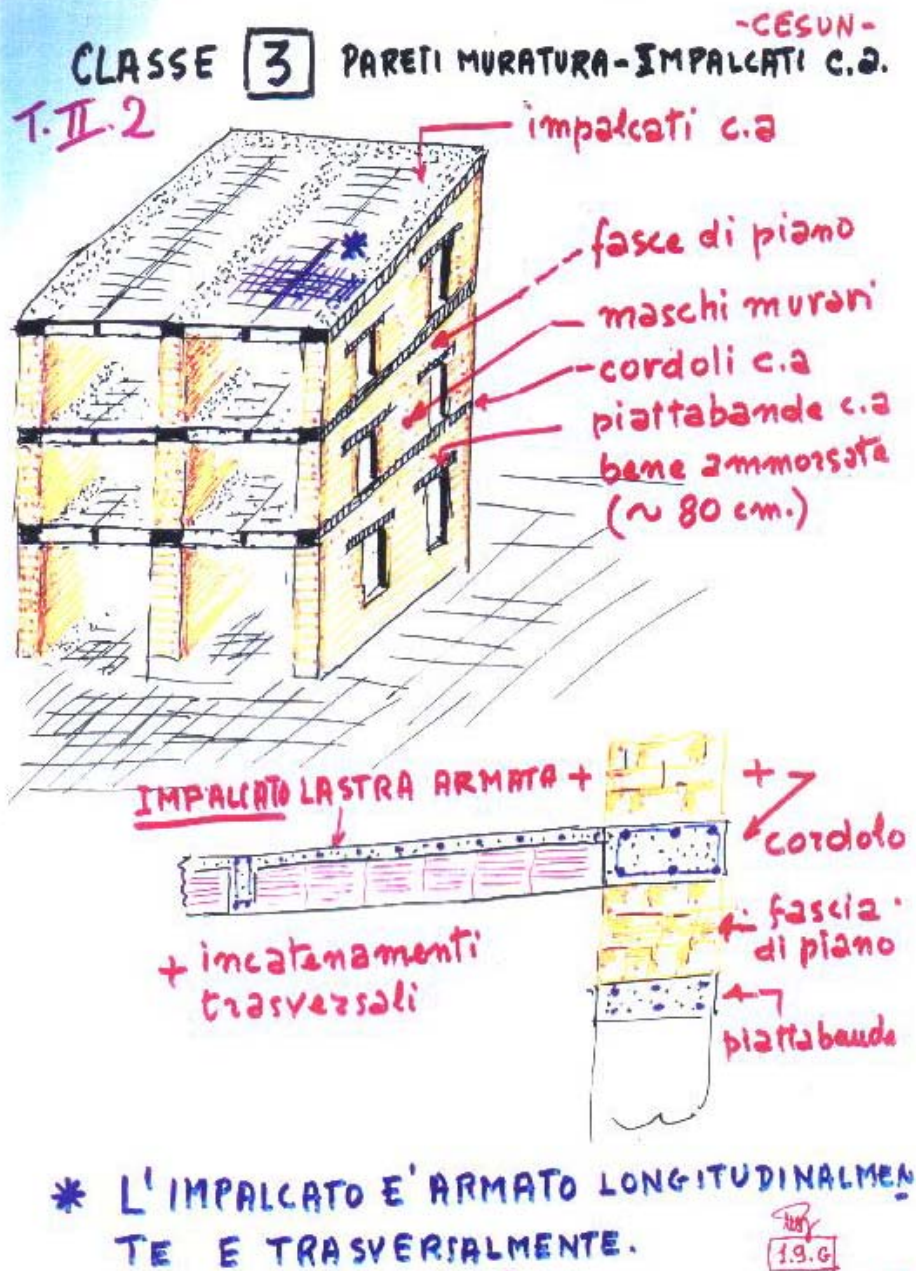
Pubblicata nel *Giornale del Genio Civile* - 1909

ROMA
STABILIMENTO TIPO-LITOGRAFICO DEL GENIO CIVILE
1909

I primi esempi di
Normativa Sismica

I criteri "avanzati" seguiti
dalla Commissione:

- Si definiscono le azioni inerziali come prodotto delle masse per le accelerazioni;
- Si deducono direttamente le azioni inerziali dalla osservazione delle fabbriche rimaste indenni;
- Si stabiliscono quindi tali azioni pari ad $1/12$ dei pesi portati ($1/8$ ai piani alti)
- Si riconosce la necessità che il fabbricato debba superare senza rovinare (ma anche con gravi danni) terremoti anche quattro volte superiori.



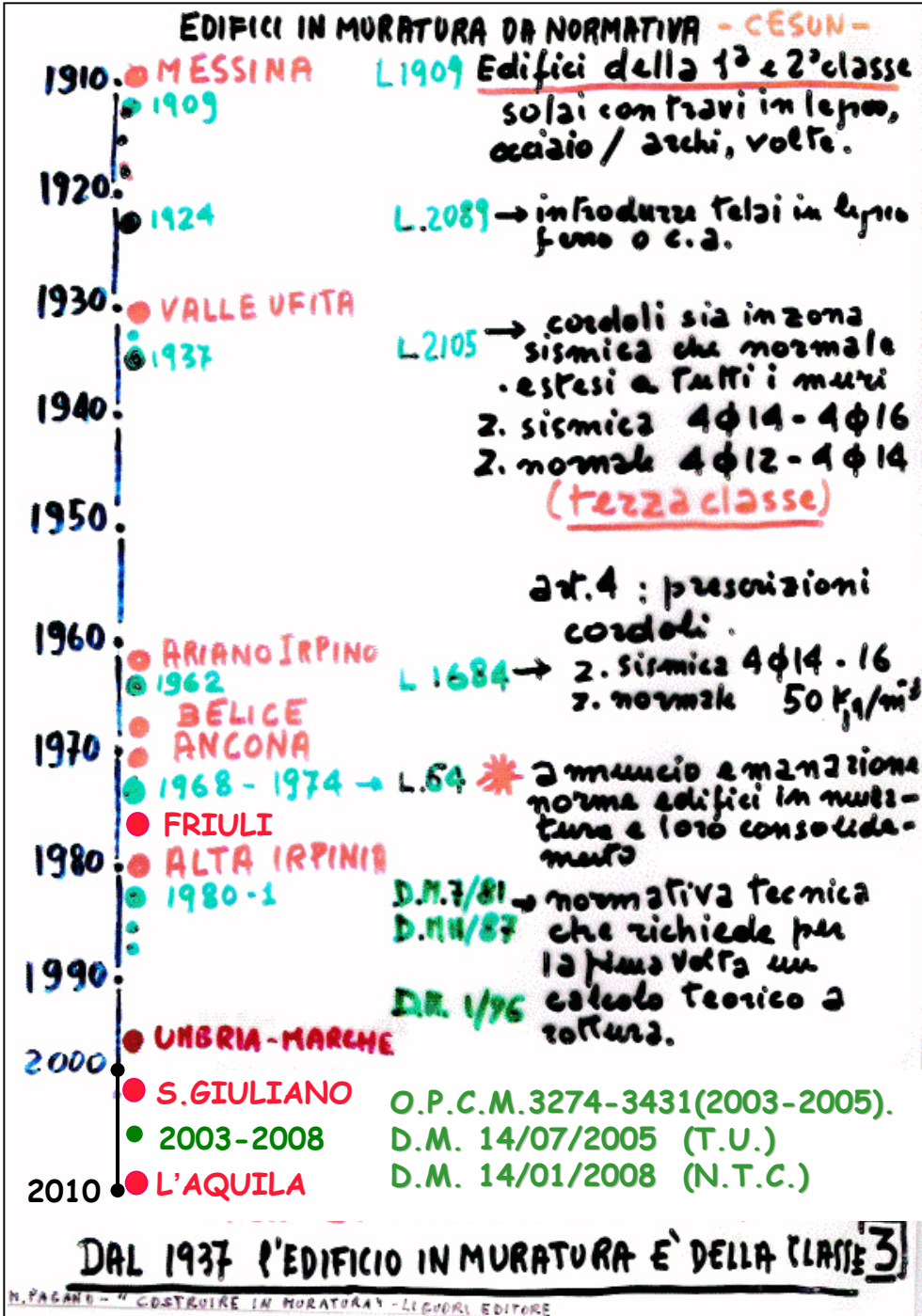
1920-30: Introduzione degli impalcati in c.a. negli edifici in muratura

Nasce una nuova tipologia:

L'edificio della III classe

Esso presenta una buona resistenza sismica. Sarà la tipologia edilizia protagonista fino alla 2° guerra mondiale

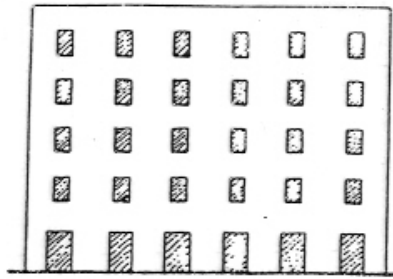
E' l'unica tipologia di edificio in muratura oggi realizzabile, denominato
"Edificio in muratura ordinaria"



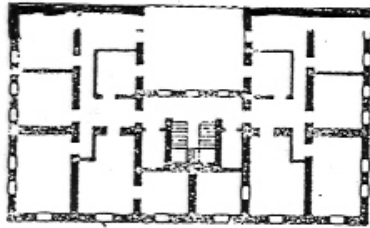
L'evoluzione della normativa sismica in Italia

La normativa sismica si evolve in maniera "contrappuntistica" con i terremoti storici.

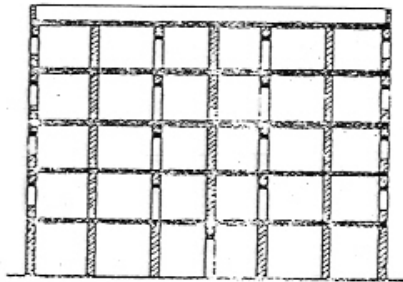
La Legge del 1937 fa da "spartiacque" tra la vecchia e la nuova edilizia:
 nascita ufficiale dell'edificio della III classe



Prospetto



Pianta piano tipo



Sezione

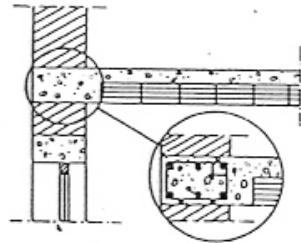
Solai e cordoli
in c.a.

Fig. 1.4.8

C_3 = III Classe: Edifici con pareti in muratura intercalati da impalcati rigidi resistenti a trazione (generalmente in c.a. con cordoli)

Edifici della III classe

Edifici in muratura ordinaria

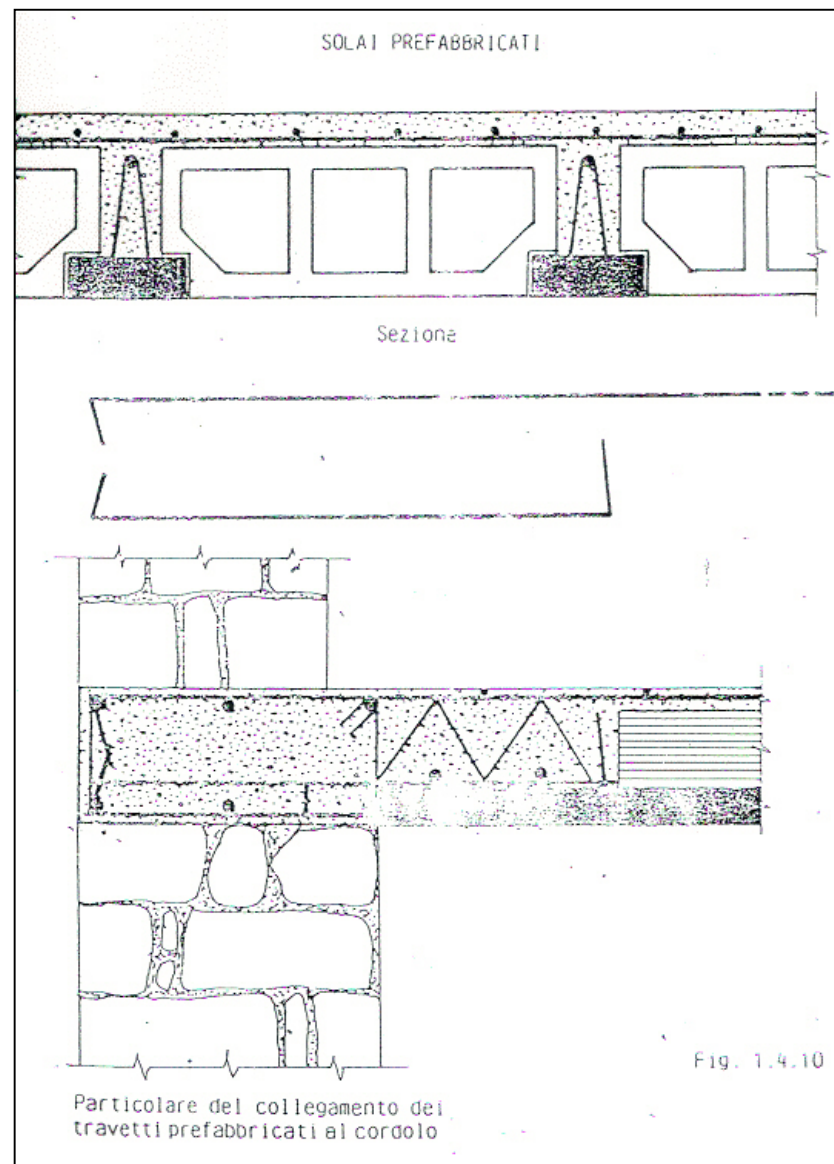
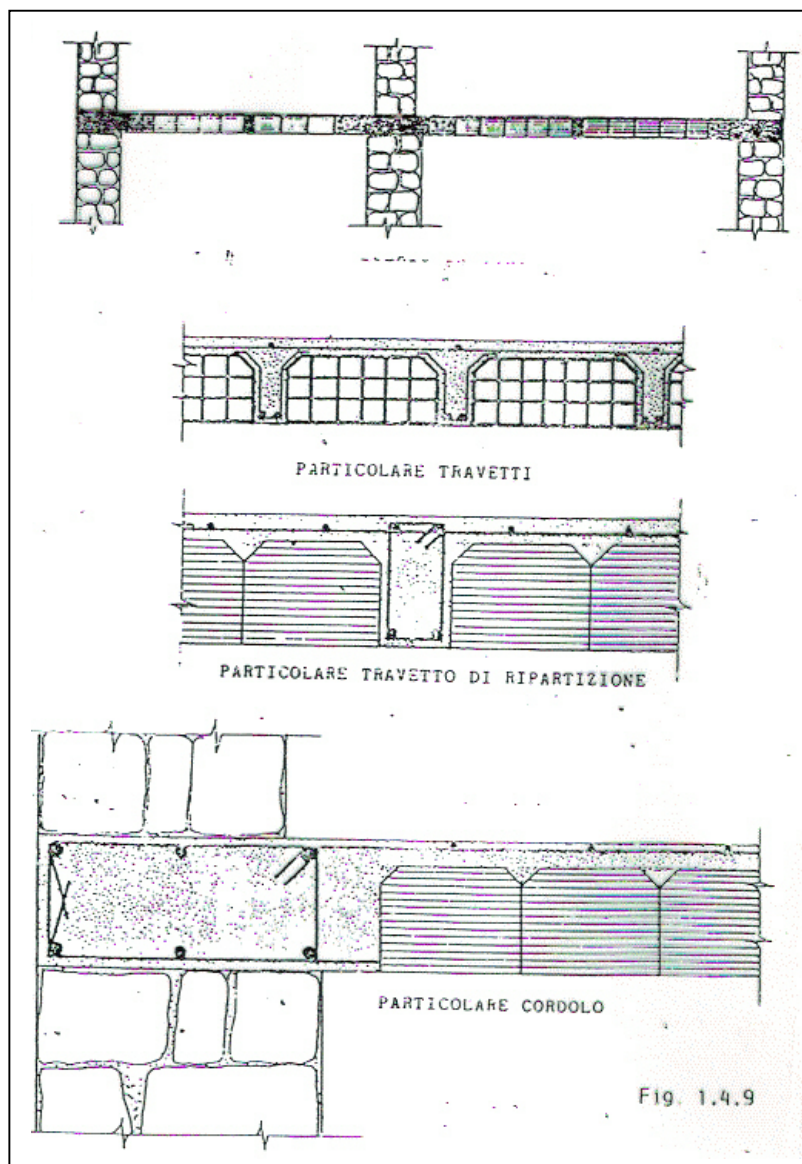


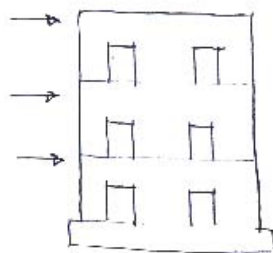
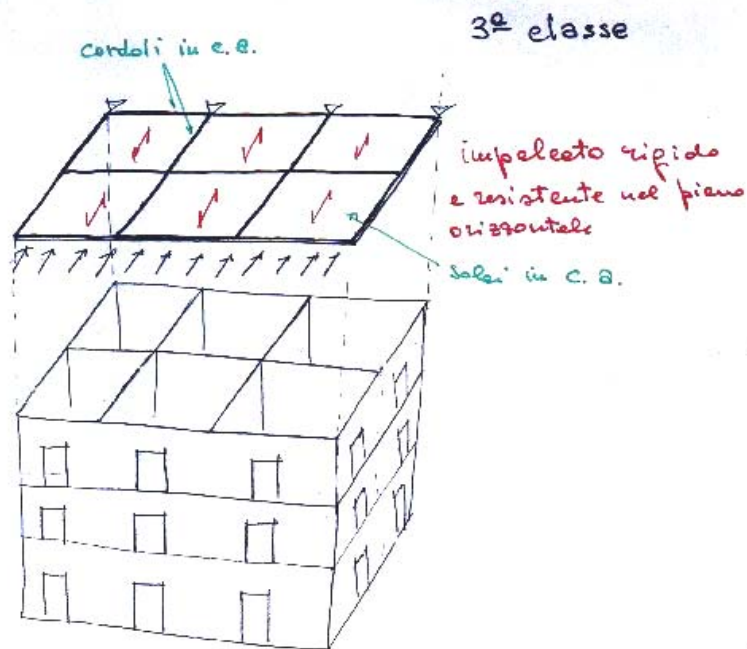
I primi edifici con le pareti murarie interrotte da cordoli in c.a.

Edificio scolastico degli anni '20
Solai con travi in acciaio e tavelloni



I solai in cemento armato





pente di controvento

L'impalcato rigido
costituisce uno degli
elementi
caratterizzanti
dell'edificio in
muratura
ordinaria

L'impalcato rigido collega
tutte le pareti:

- inibisce i meccanismi fuori piano
- riporta le forze orizzontali alle pareti di controvento

L'edificio in muratura delle 3^e classe elimina i problemi delle due classi precedenti:

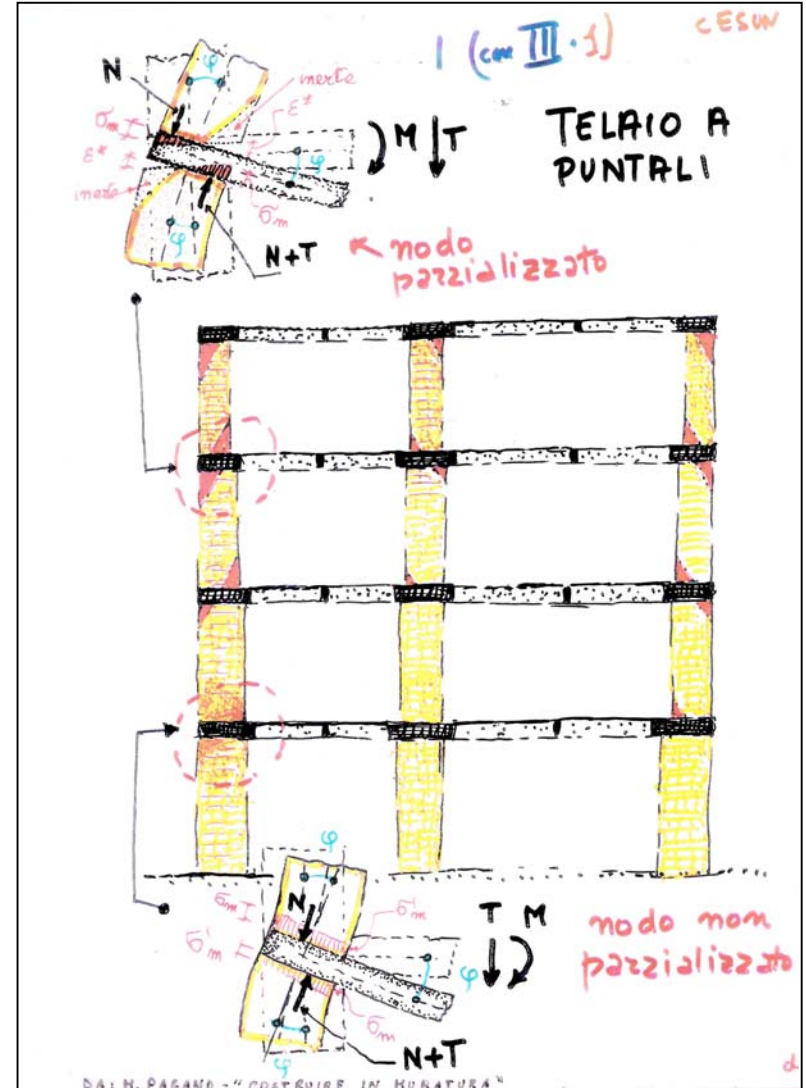
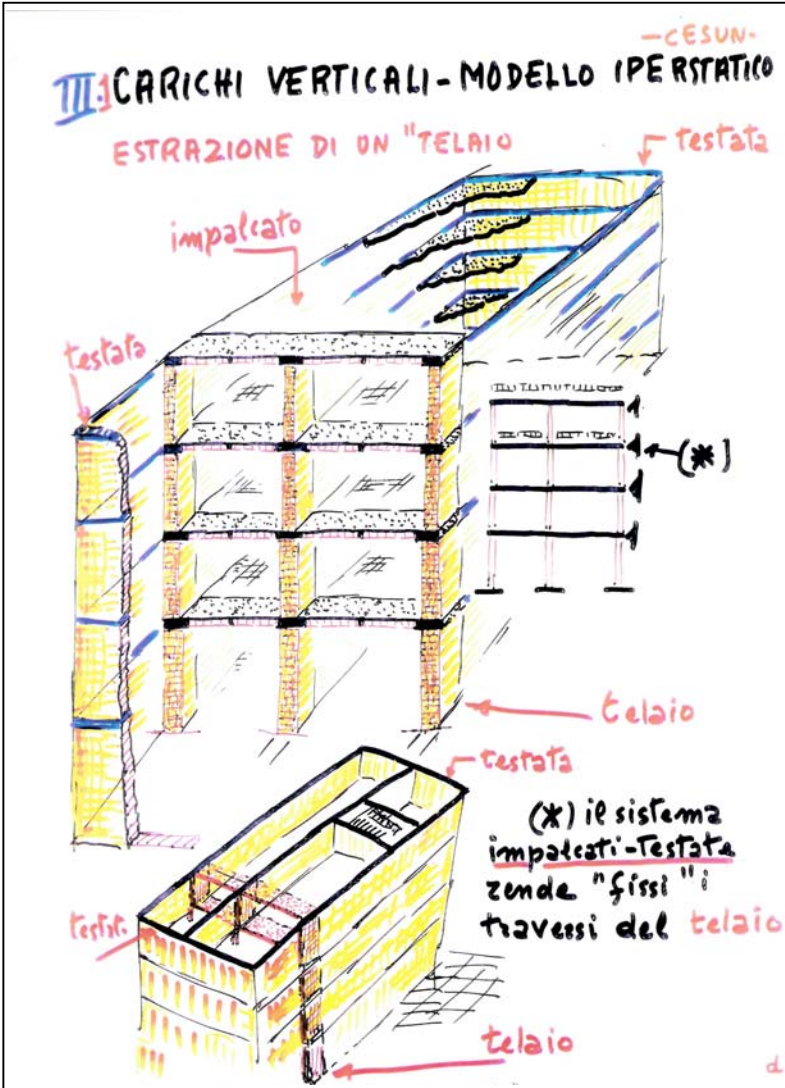
- 1) gli impalcati in c.a. costituiscono una catena bidimensionale che impedisce ai muri perimetrali di ruotare verso l'esterno.
- 2) le pietrebande eliminano le spinte degli architravi.
- 3) i cordoli ripetiscono le serie verticali su tutte le murature.
- 4) le murature dei cordoli ricuciono le noci di muro.
- 5) non vi sono strutture spingenti.

Comportamento dell'edificio per carichi verticali

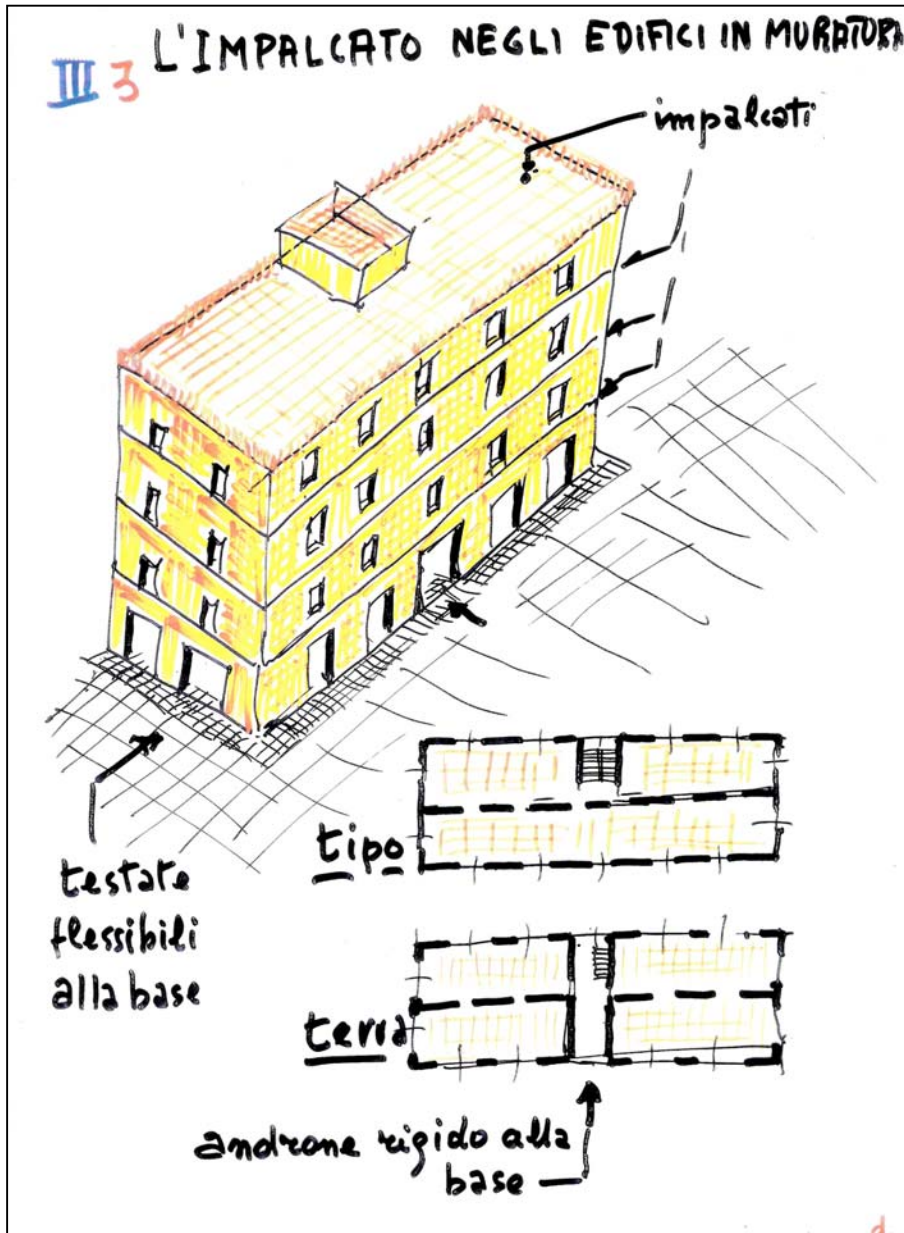


I vantaggi
dell'edificio della
III classe

I carichi verticali sono fronteggiati da telai a nodi fissi con ritetti in muratura (parzializzabili)



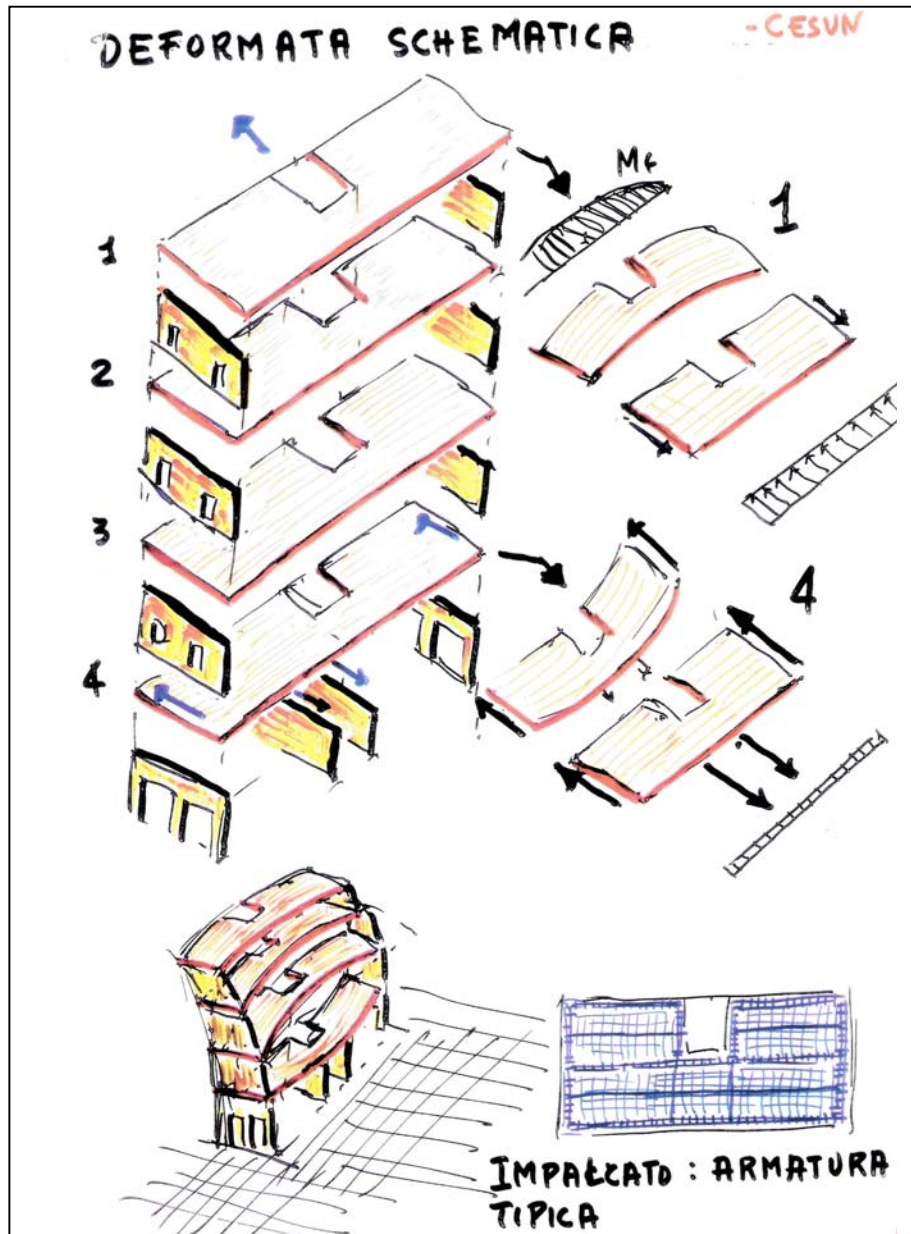
Le situazioni gravose per l'impalcato



Edificio con piano terra diverso dai piani superiori:

- Aperture più ampie dei vani.
- Androne delle scale più rigido.

Le situazioni gravose per l'impalcato



La “sofferenza”
dell'impalcato
del primo livello

• CONCEZIONE STRUTTURALE DELL'EDIFICIO

- L'EDIFICIO DEVE ESSERE UNA STRUTTURA TRIDIMENSIONALE SPAZIALE (SCATOLARE) COSTITUITA DA SINGOLI SISTEMI RESISTENTI (PIANI), COLLEGATI TRA LORO E CON LE FONDAZIONI.
- IN BASE ALLA FUNZIONE STATICA SVOLTA SI DISTINGUONO TRE SISTEMI :
 - PARETI CHE SOPPORTANO I CARICHI VERTICALI
 - PARETI CHE SOPPORTANO LE AZIONI ORIZZONTALI
 - IMPALCATI PIANI (RIGIDI E RESISTENTI).
- I TRE SISTEMI PIANI DEVONO ESSERE OPPORTUNAMENTE COLLEGATI TRA LORO :
 - CORDOLI ORIZZONTALI (A LIVELLO DI SOCCO)
 - INCATENAMENTI TRASVERSALI (ARMATURA DI RIPARTIZIONE - TRAVETTI DI RIP.)
 - ANCORATURE VERTICALI TRA LE PARETI (CROCI DI MURO EFFICIENTI).



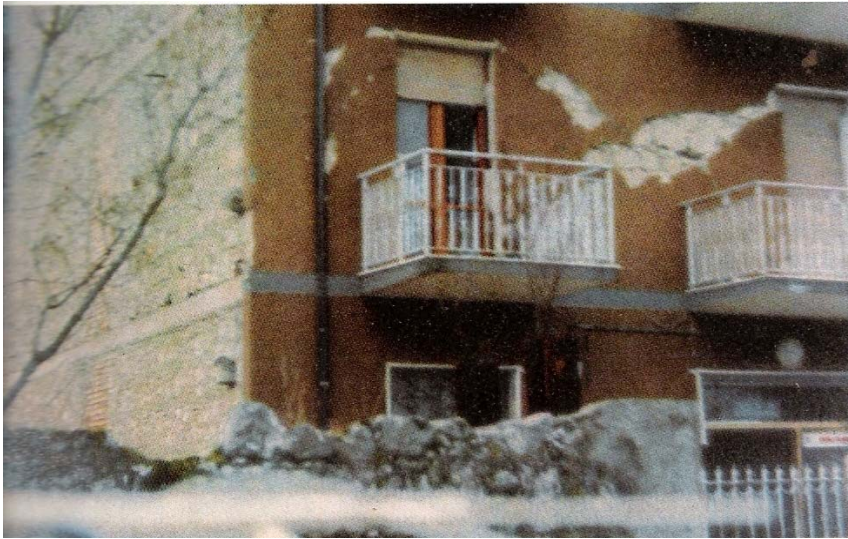
EDIFICIO DELLA 3^a CLASSE

L'edificio nuovo previsto dalle norme sugli edifici in muratura ordinaria
(D.M. 20/11/87)
(N.T.C. 08 - par. 4.5.4)

Tutte le pareti devono assolvere, per quanto possibile:
-sia la funzione portante (per i carichi verticali)
-sia la funzione di controventamento (per le azioni orizzontali)

Gli impalcati piani (e/o la copertura a falde inclinate) ripartiscono le azioni orizzontali tra i muri di controvento

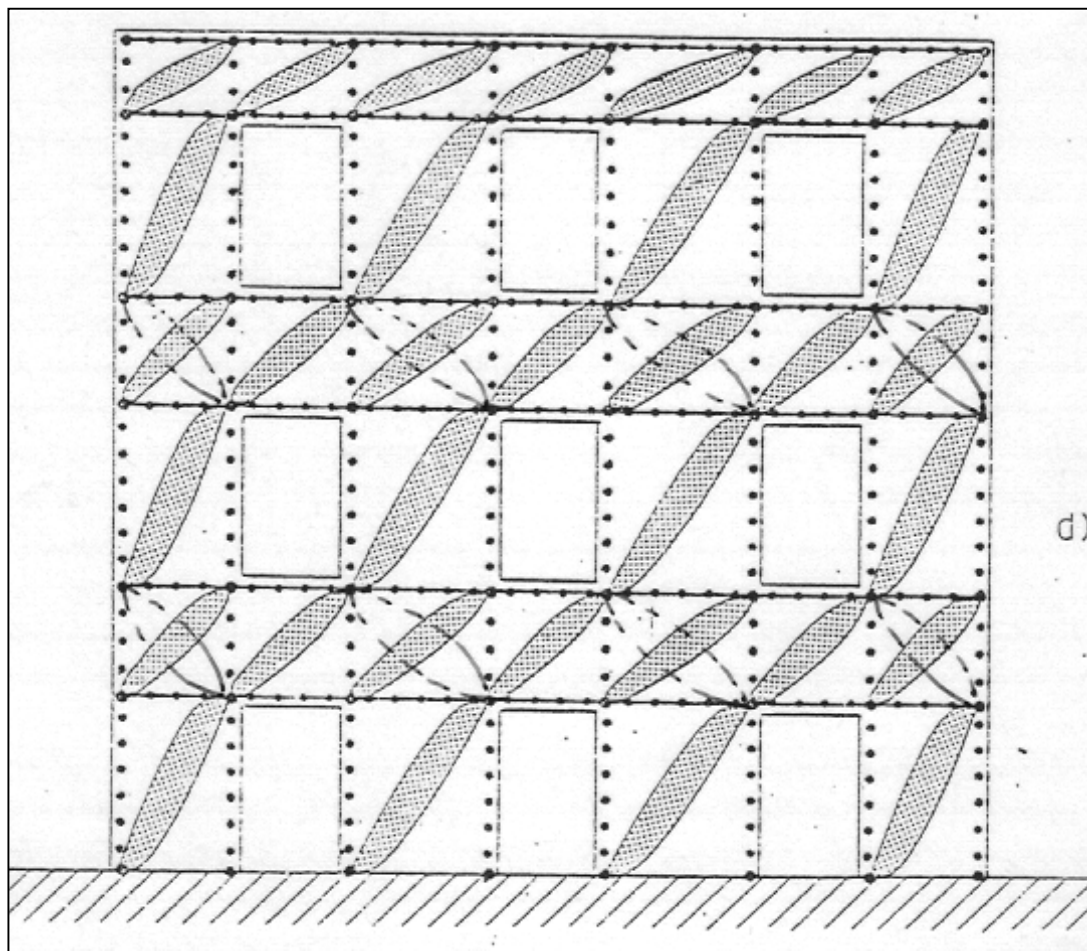
Comportamento delle pareti nel proprio piano



Le pareti sono
dotate di elementi
orizzontali
resistenti a trazione

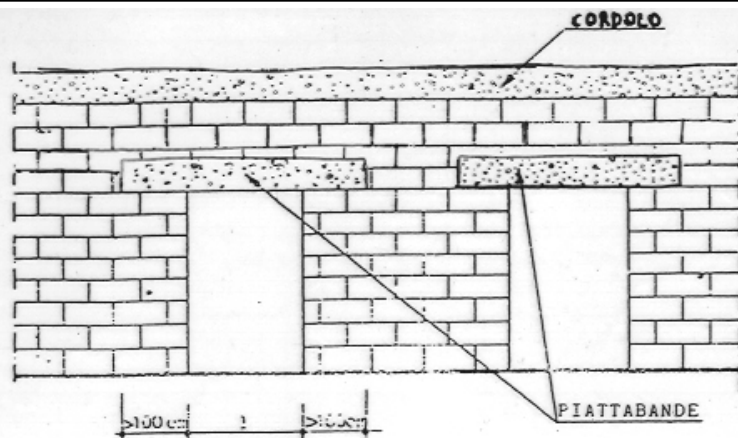
Edificio della III
classe fortemente
danneggiato dal
sisma del 1980

La parete muraria dotata di elementi orizzontali resistenti a trazione (III classe)

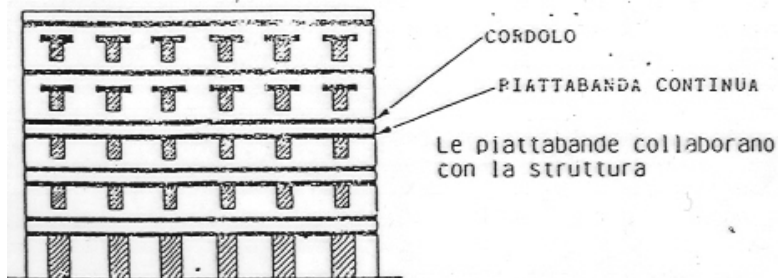


I puntoni resistenti si possono attivare in tutti i pannelli murari

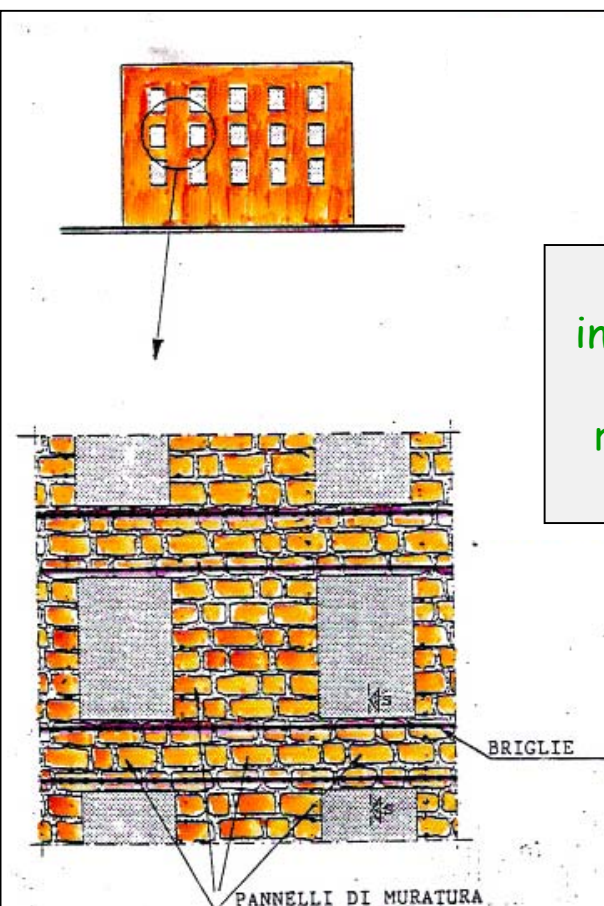
La parete muraria di un edificio moderno



L'eventuale continuità delle piattabande può creare un secondo cordolo sopra i vani



La parete muraria di un edificio esistente si può trasformare con relativa facilità

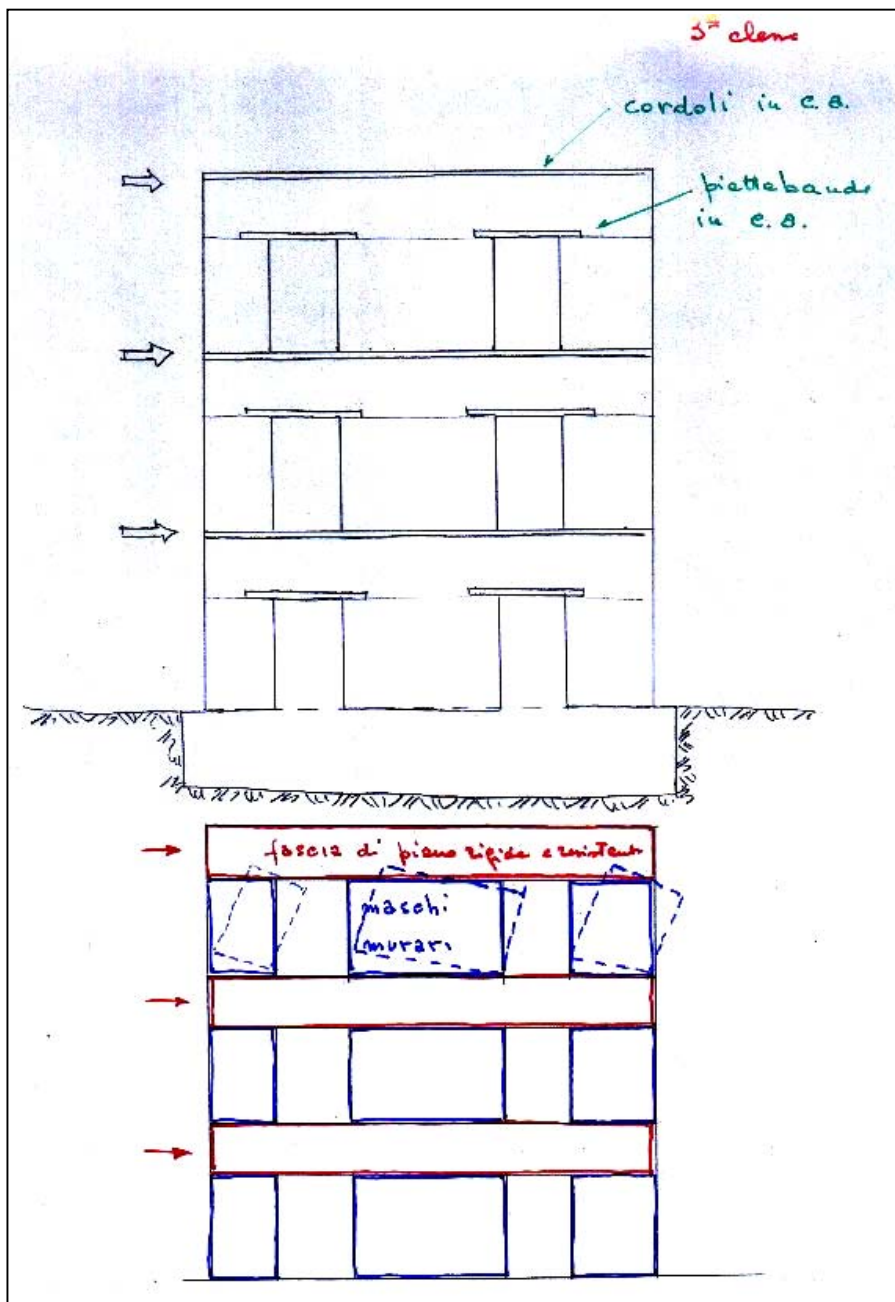


Edificio integralmente in muratura rafforzati con "briglie"

Edificio della II classe rinforzato con briglie,
poco danneggiato dal sisma del 1980



I profilati d'acciaio disposti in facciata dopo il terremoto
del 1930 hanno sicuramente contribuito al buon
comportamento sismico dell'edificio, che non ha subito
danni irreversibili.

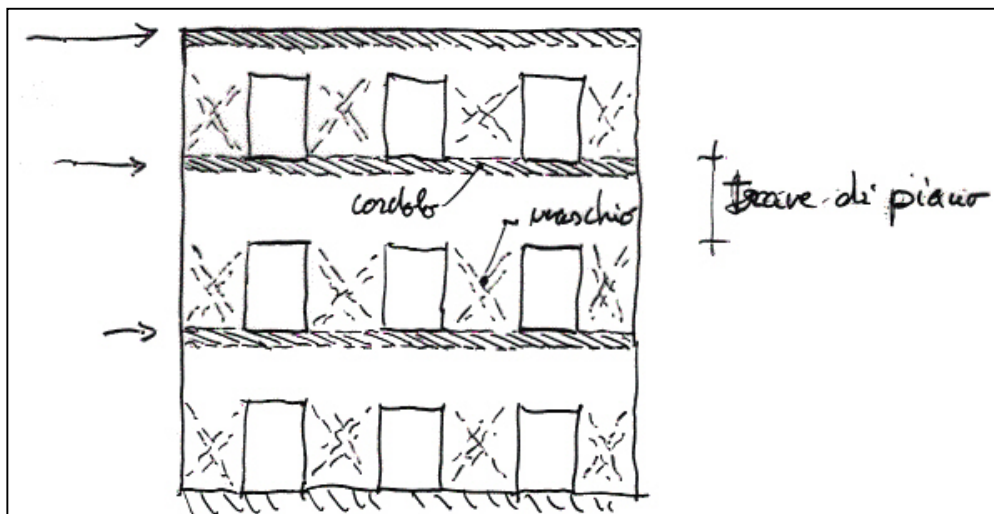


La funzione dei cordoli e delle piattabande

La rigidità e la resistenza della “fascia di piano” costituiscono l’altro elemento caratterizzante dell’edificio in muratura ordinaria:
consentono l’attivazione di un comportamento a telaio

Se la fascia è molto rigida e resistente si può arrivare al meccanismo di piano

Il meccanismo di piano

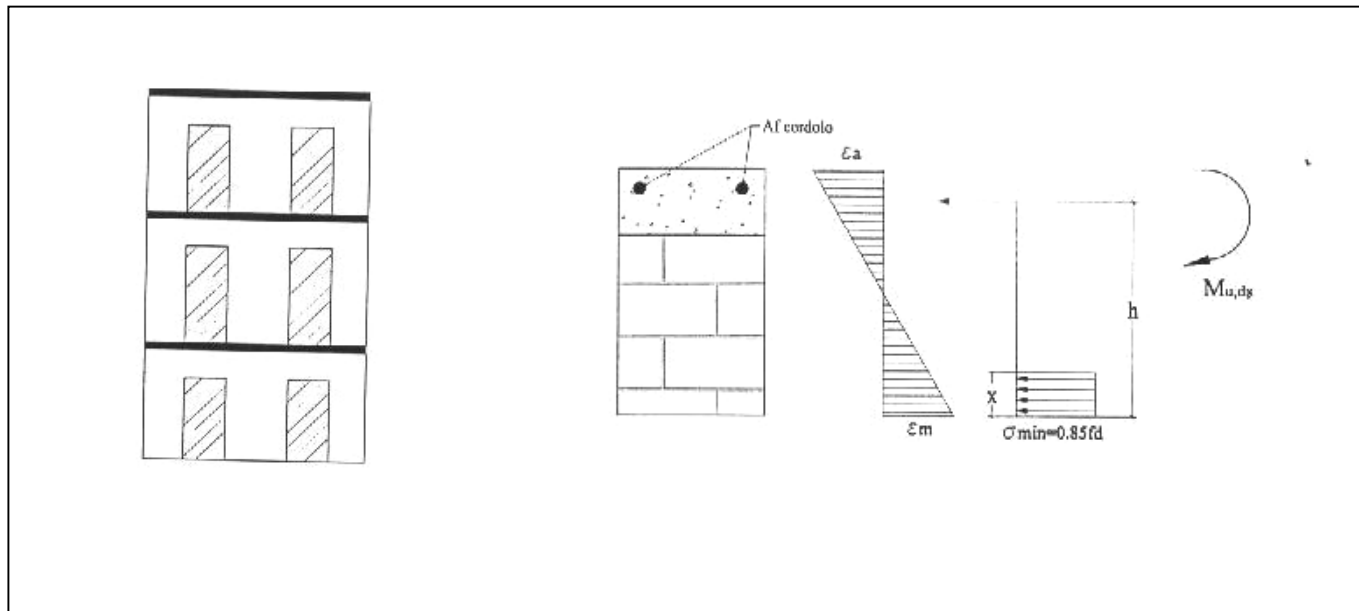


La presenza di travi di piano rigide e resistenti (cordolo) si favorisce il meccanismo di rottura dei maschi su taglio con fessure diagonali dei maschi

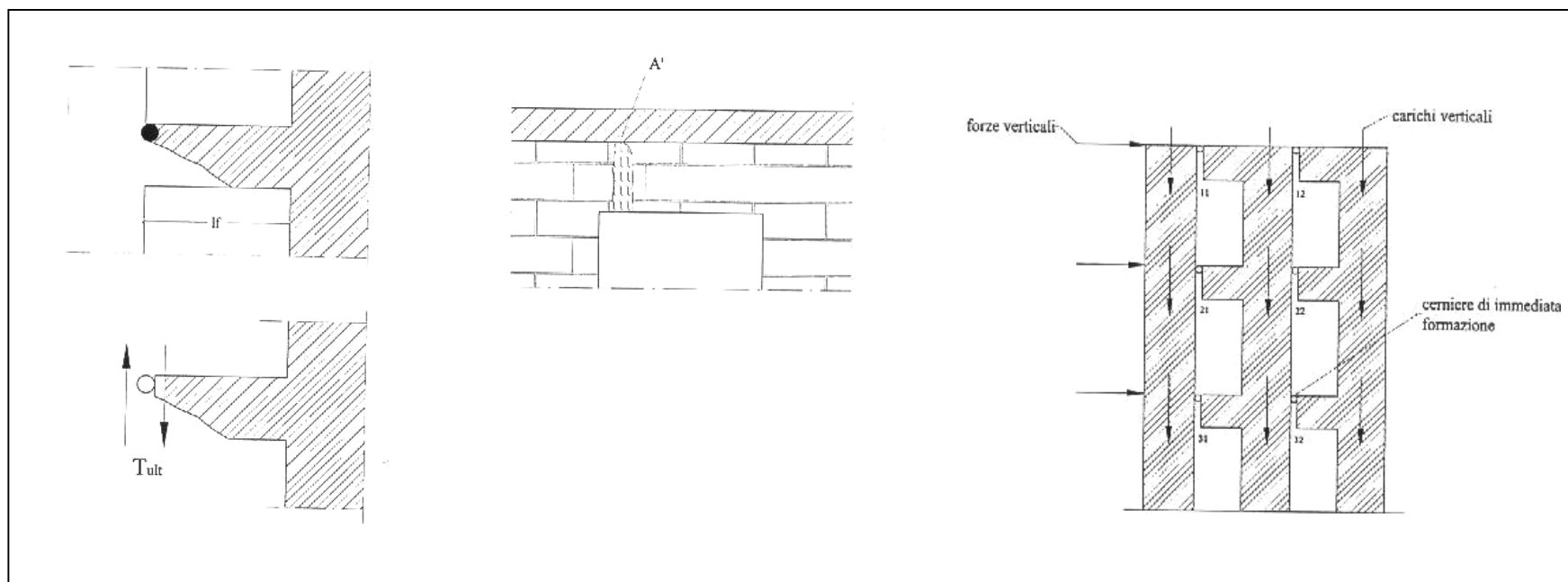
**IL MECCANISMO DI PIANO (+ FAVOREVOLE)
E' FAVORITO DALLA PRESENZA DEI CORDOLI**

**La rottura a taglio dei
maschi murari**

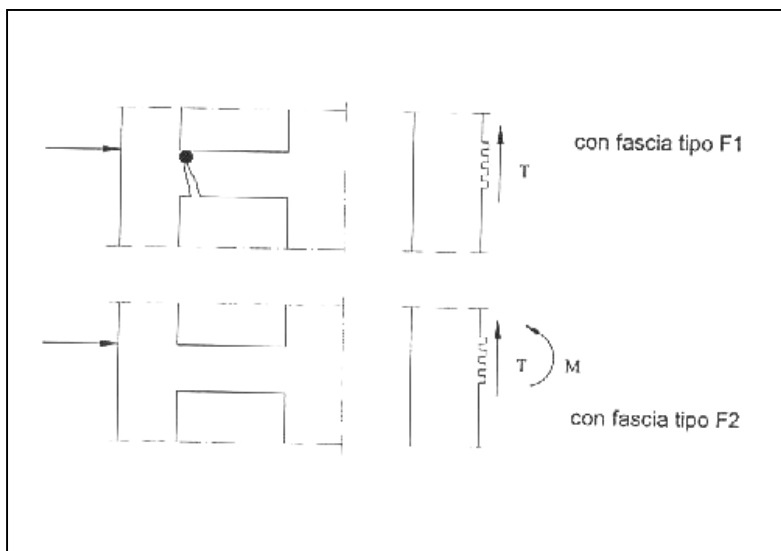
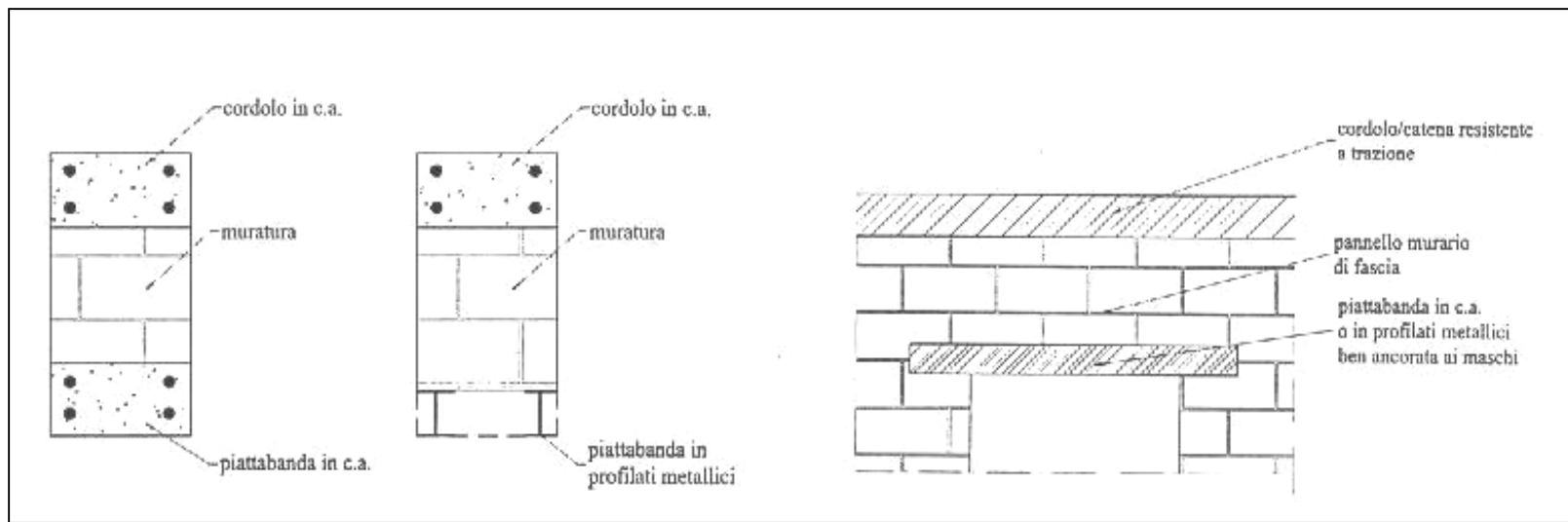




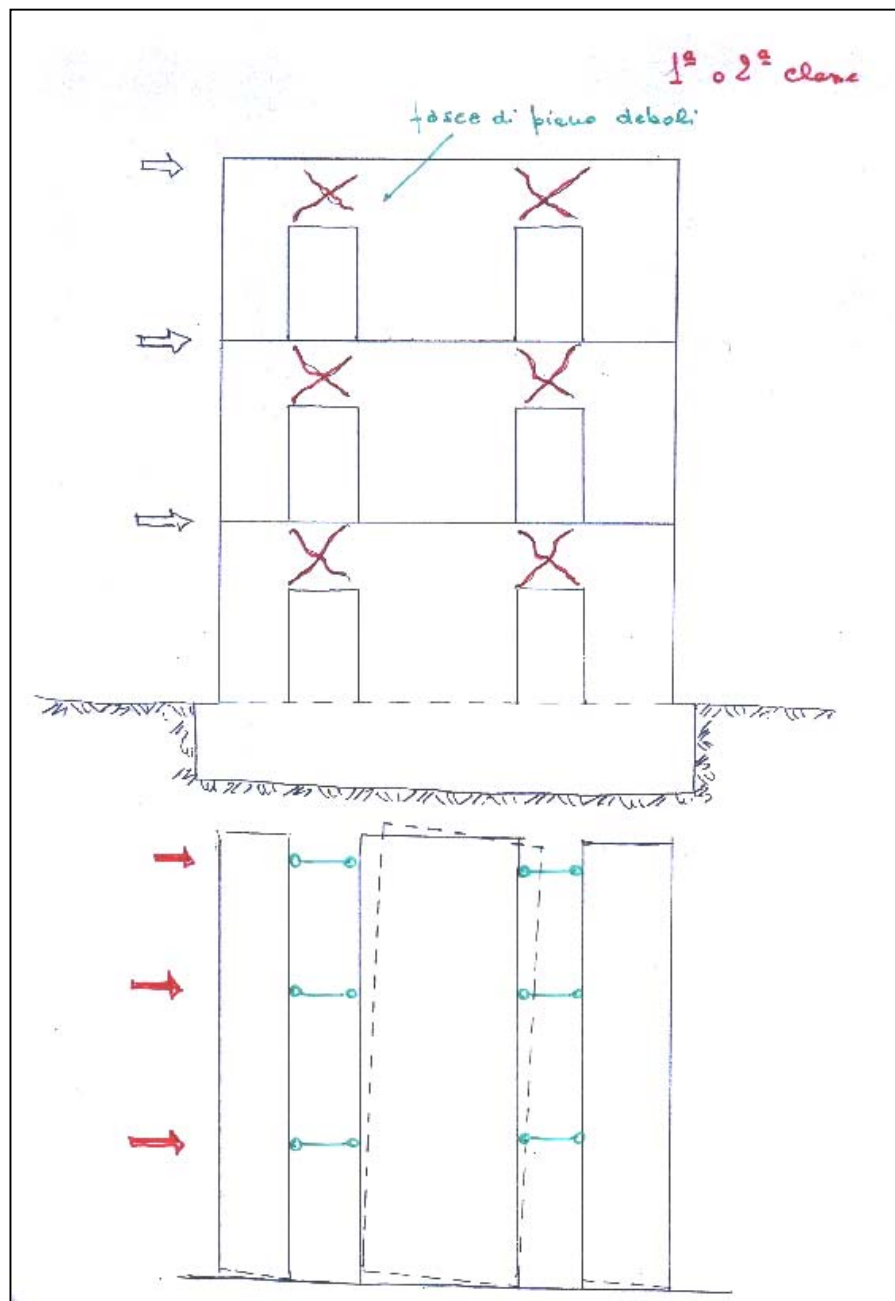
Le pareti con cordoli di piano e piattabande inefficienti



La fascia di piano con cordoli di piano e piattabande efficienti



Peggior
comportamento della
fascia con piattabande
inefficaci



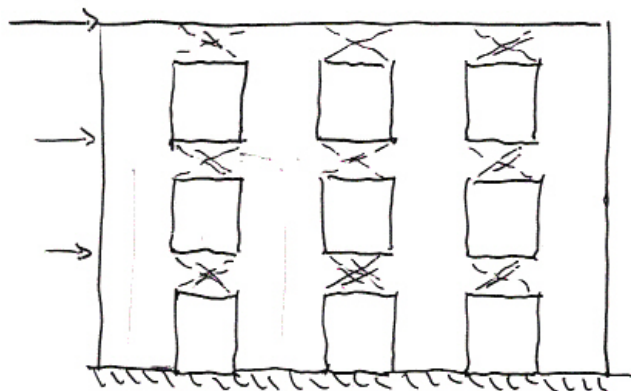
La rottura delle fasce di piano
determina uno schema
resistente molto più
vulnerabile

Comportamento tipico
degli edifici della I e
della II classe

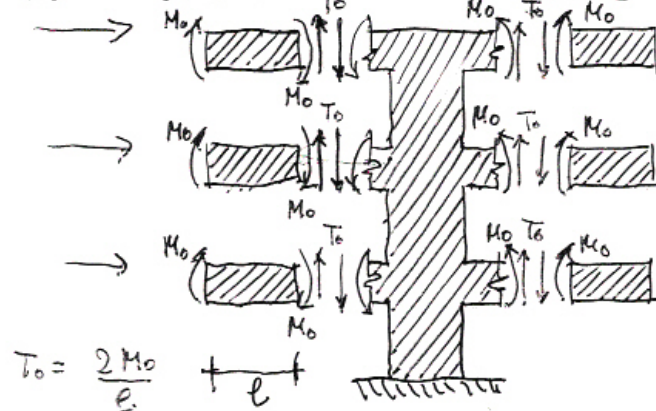
Non si rileva spesso negli
edifici antichi perché le
pareti crollano prima per
ribaltamento fuori dal piano

Il meccanismo di trave

La rottura a taglio e flessione delle fasce di piano



La presenza di travi di piano poco resistenti
a trazione innesca la rottura delle
travi stesse e quindi la riduzione
dello schema in mensola



La funzione delle "fasce di piano"

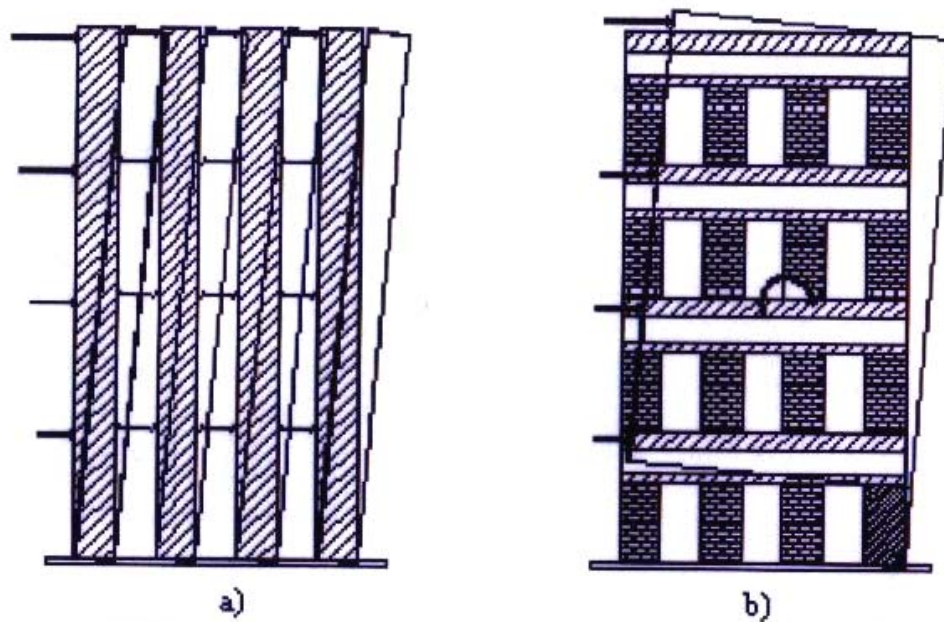


Fig.3.5 - Edifici in muratura ordinaria - Schema a impalcato rigido con:

- a) pareti a fasce di piano deboli
- b) pareti a fasce di piano flessio-resistenti

Terremoto dell'Aquila del 2009



Il crollo rovinoso per ribaltamento dei muri di facciata della Prefettura, favorito dallo scarso ammortamento e dall'azione della copertura

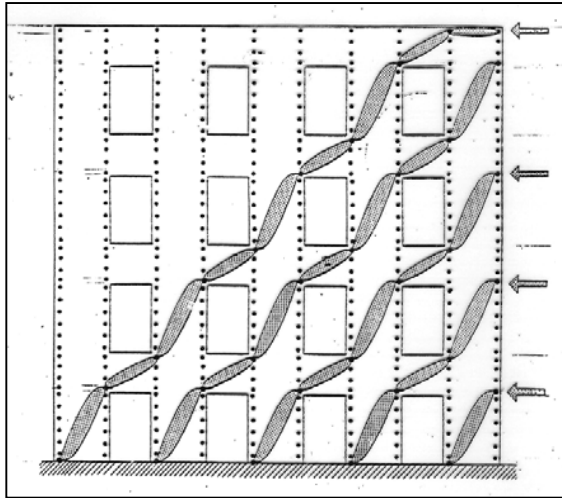


Edificio della
I classe
in apparenti
buone
condizioni

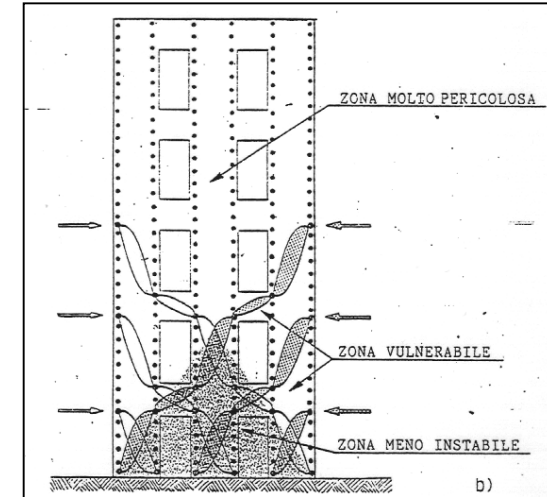
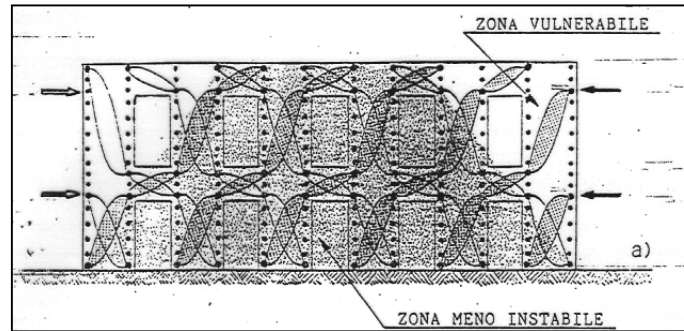


La scadente qualità della
muratura di pietrame, caotica e
mal legata, non ha consentito
un comportamento monolitico
dei muri

Edifici della I e II classe: comportamento nel piano delle pareti (prive di elementi orizzontali tenso-resistenti)



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



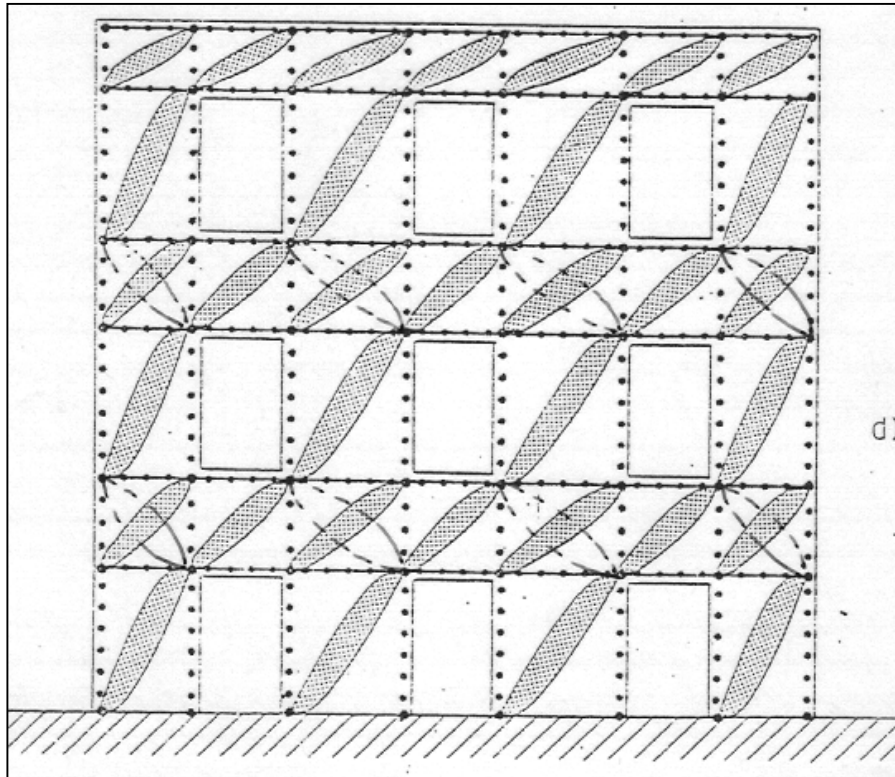
Terremoto dell'Aquila del 2009



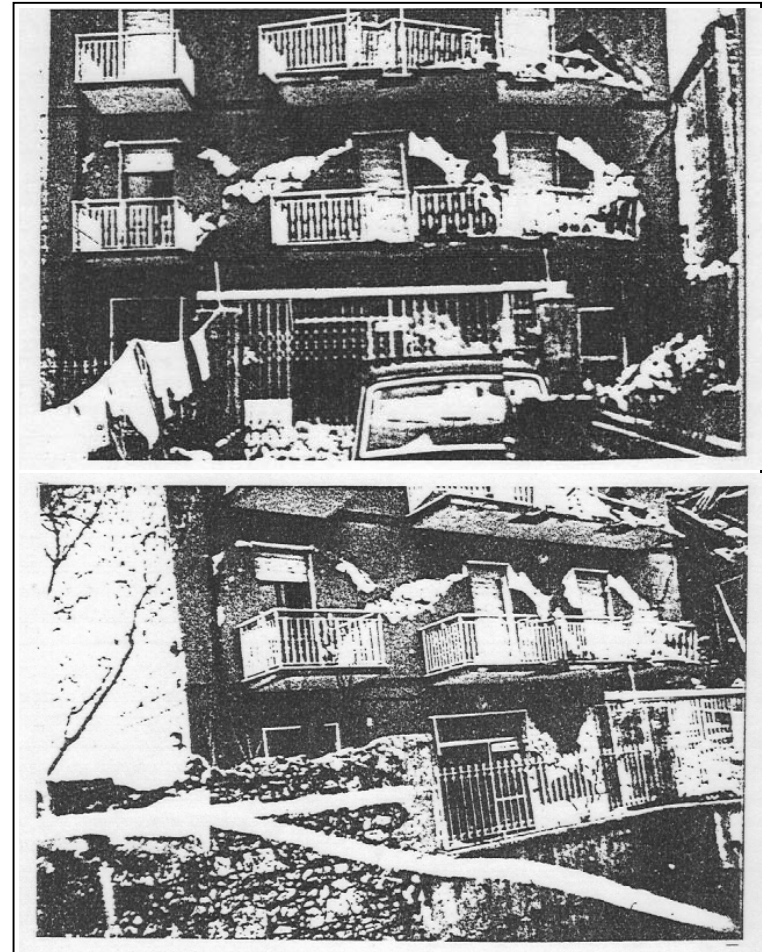
In città non
abbiamo rilevato
nessun caso
evidente di
crollo parziale
delle pareti
(nelle zone alte
triangolari)
riconducibile al
comportamento
nel piano

Edifici della III classe: comportamento nel piano delle pareti (dotate di elementi orizzontali tenso-resistenti)

I puntoni resistenti si possono attivare in tutti i pannelli murari



Irpinia 1980

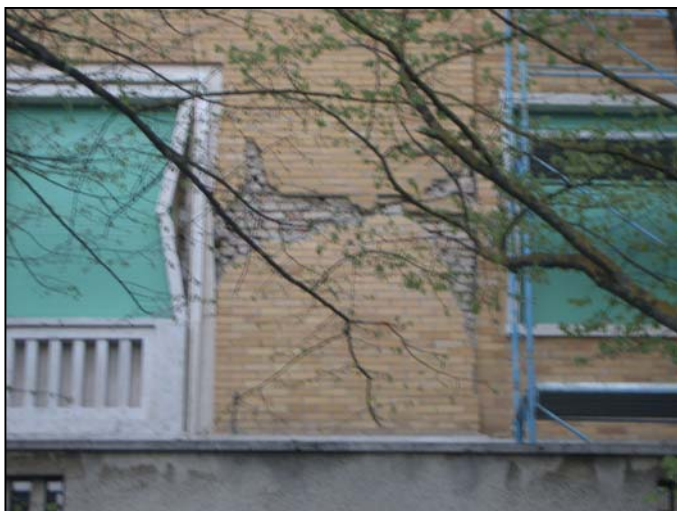


Edifici della III classe a L'Aquila - 1



Quasi nessun edificio della III classe è crollato !!

Edifici della III classe a L'Aquila - 2



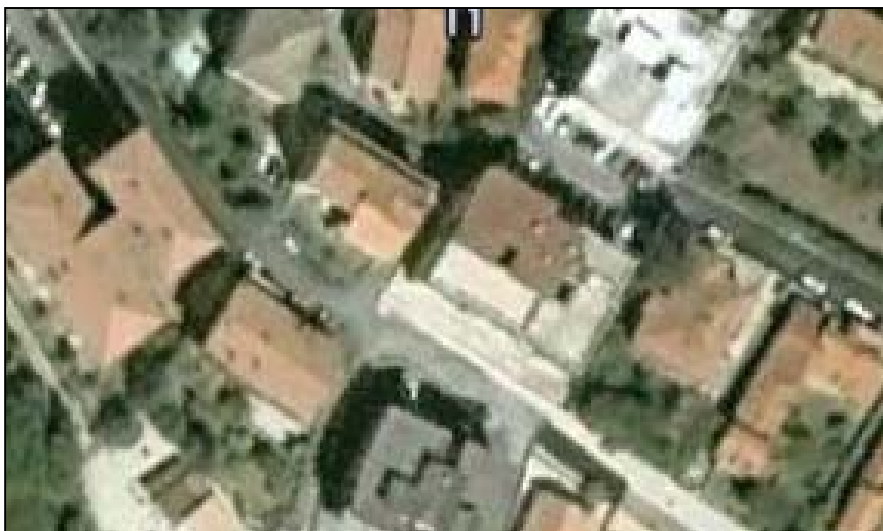
Quasi nessun edificio della III classe è crollato !!

Edifici della III classe a L'Aquila - 3



Quasi nessun edificio della III classe è crollato !!

Edifici della III classe a L'Aquila - 4



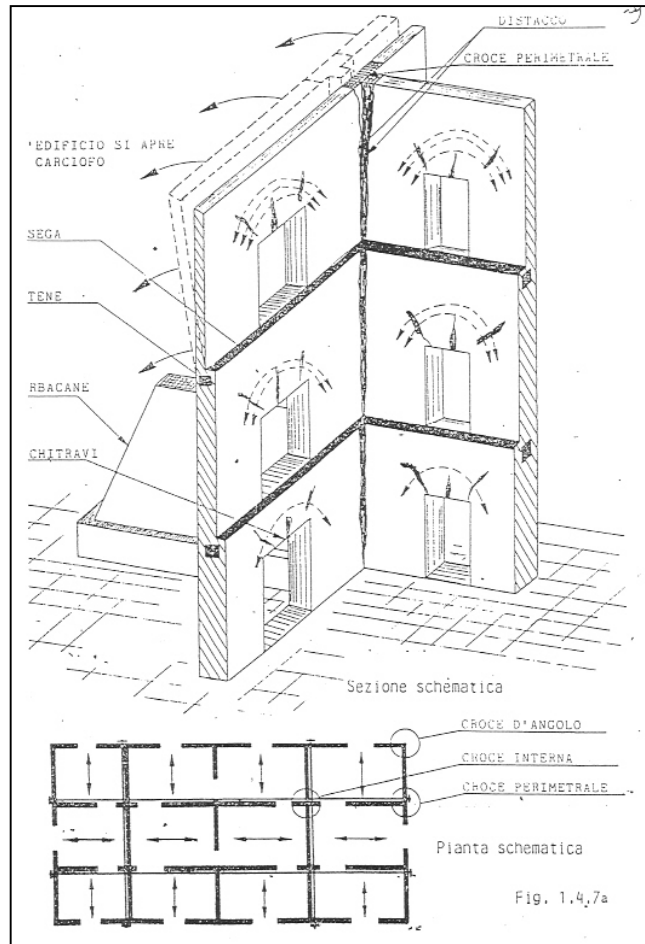
Un edificio della III classe crollato (forse l'unico!!)

Edificio della III classe crollato



Era un vero edificio della III classe ?

Edifici della I e II classe: gli interventi del passato



Provvisori: contrafforti o barbacani
Definitivi: catene scorrevoli

Le catene collegano le pareti di facciata con quelle trasversali:

- contrastano i distacchi e le rotture delle croci di muro impedendo l'attivazione di meccanismi fuori piano
- consentono l'attivazione del comportamento della parete nel proprio piano
- incrementano la resistenza delle pareti nel proprio piano

Il comportamento sismico degli edifici antichi "migliorati" è eccezionalmente più efficiente di quelli originali

Al centro dell'Aquila pochi altri crolli (in genere parziali) per comportamento fuori piano delle pareti



Muratura con cordoli di piano e pilastri d'angolo in c.a. La debole armatura e la mancanza di ancoraggio non impediscono il crollò fuori piano favorito dalla tipologia della copertura



Il crollò parziale
delle pareti
dell'ultimo piano è
stato causato dal
collasso totale del
tetto



Le catene ai piani hanno
contrastato il
ribaltamento globale
delle pareti



Crollo parziale della parte superiore della parete per mancanza di efficace collegamento alla copertura, favorito forse da effetti spingenti del tetto

La presenza di catene ha evitato il ribaltamento globale

La cattiva qualità della muratura impedisce il comportamento monolitico della parete



Collassi parziali fuori piano per situazioni particolari

Il crollo locale fuori piano è dovuto dall'azione orizzontale concentrata di una trave in legno del solaio di sottotetto



Il buon collegamento con la copertura e la presenza di catene hanno evitato il ribaltamento globale della parete

Crollo parziale di facciata di un ampliamento dell'ultimo piano: le nuove murature non sono state ben collegate alle altre né alla copertura, priva di solaio di sottotetto in quella zona



Nel resto dell'edificio il solaio di sottotetto è in c.a.



Le catene in ferro (originarie) agli altri piani hanno impedito il ribaltamento e attivato il comportamento nel piano

Aggregati edilizi con cortine murarie continue



Sono sempre presenti
numerosi catene a
tutti i piani

Limitati crolli locali nelle zone superiori
delle pareti murarie, causati dall'azione
fuori piano dei tetti di legno.



Gli scenari di crollo abituali
per gli aggregati edilizi dei
centri storici

I comportamenti fuori piano sono invece tipici e molto frequenti nelle chiese



Rotazioni
rigide delle
facciate per
rottura delle
croci di muro



Crolli parziale delle facciate
per inefficace collegamento
alle coperture ed alle volte

Il ribaltamento totale è a volte
impedito dalle catene disposte
nei muri ortogonali

Una nuova classe di edifici (in chiave sismica): Edifici della I e II classe “migliorati”

Gli edifici “migliorati” hanno mostrato quasi sempre ottime prestazioni con danni limitati

Le antiche catene di ferro sono diffuse lungo tutta la facciata



Si segnalano solo piccole lesioni diagonali sulle fasce di piano

La tipologia dei capochiave delle catene indica il diverso periodo della messa in opera



Non è visibile alcun danno significativo sulle pareti esterne

Edifici della I e II classe “migliorati”

Le prestazioni sismiche sono correlate al comportamento delle pareti nel proprio piano



Le catene a tutti i livelli in corrispondenza dei muri ortogonali hanno impedito i collassi fuori piano



Le lesioni diagonali nei maschi murari e nelle fasce di piano dimostrano l'impegno della parete nel proprio piano

Edifici della I e II classe “migliorati”

L'epoca di costruzione non ha influenzato il buon comportamento sismico, che dipende dalla tipologia strutturale



Edifici della I e II classe “migliorati”

Le pareti murarie sono state spesso sollecitate fin quasi ai limiti della loro resistenza nel piano



Nonostante il notevole danneggiamento non si sono verificati quasi mai crolli (globali o parziali) o attivati comportamenti fuori piano

Edifici della I e II classe “migliorati”

Le catene ai piani consentono l'impegno statico delle fasce di piano



Le fasce sono fortemente sollecitate con formazione di puntoni diagonali



Nelle pareti murarie si può attivare il comportamento “a telaio”



Le eccezioni: crolli globali di edifici “migliorati” (o peggiorati?)



Solaio in c.a.



Catene



Catena



Solaio in c.a.

In entrambi i casi ci sono stati interventi moderni (forse inappropriati) con realizzazione di pesanti coperture in c.a.

Gli aspetti critici: la muratura



- pietrame non squadrato con ciottoli arrotondati;
- disposizione caotica senza filari regolari e senza collegamenti trasversali;
- malta povera di calce quasi priva di capacità legante



- Qualità bassa della muratura:
- non consente il comportamento monolitico dei muri (per le azioni fuori piano)
 - ridotta resistenza a taglio dei pannelli murari (per le azioni nel piano)
 - notevole danneggiamento
 - recupero molto difficile

La listatura in mattoni pieni, quando presente, migliora la situazione

Gli aspetti critici: le voltine di mattoni in foglio

Le voltine in singolo strato di mattoni pieni sono state aggiunte in rifacimenti ottocenteschi, in genere come controsoffittature ma a volte come orizzontamenti portanti, anche ai piani alti



Presentano ottima resistenza ai carichi verticali, ma lo spessore sottile le rende troppo sensibili a spostamenti dei muri anche molto piccoli

In presenza di leggeri “allentamenti” dei muri, sono crollate quasi ovunque in modo rovinoso, causando molte delle vittime del centro storico, anche in presenza di un buon comportamento globale dell'edificio

Gli aspetti critici: le coperture e i solai



I solai in ferro di tipologia anomala, con “voltine” in mattoni sottili disposti in piano, non possono sopportare neanche piccoli “allentamenti” delle pareti e crollano con facilità



I tetti in legno, incapaci di sopportare le scosse sussultorie e/o di tipologia spingente, sono spesso crollati, causando vittime e danni alle pareti fuori piano



Gli aspetti critici: piattabande e cornicioni

Le piattabande ad arco con grosse parti riportate sono risultate molto vulnerabili producendo pericolosi crolli locali



La tipologia costruttiva dei cornicioni, con mattoni pieni disposti in piano semplicemente "incollati", è del tutto inadatta in situazioni sismiche



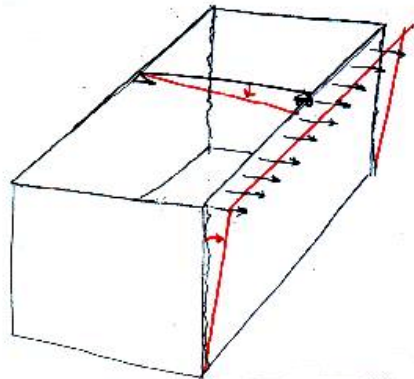
CONCLUSIONI (1)

1. Lo scenario di danno per gli edifici in muratura dopo un terremoto è in genere caratterizzato da crolli degli edifici della I o della II classe o di costruzioni pesantemente manomesse da interventi moderni
2. Si è praticamente sempre verificato che gli edifici della III classe non sono interessati da crolli
3. Contrariamente a quanto successo nei terremoti del passato (Messina, Irpinia, Friuli....) al centro della città di L'Aquila si sono verificati solo pochi crolli globali di edifici non incatenati
4. Gli edifici dotati di catene (I e II classe "migliorati") mostrano comportamenti simili agli edifici più moderni, impegnando le pareti nel proprio piano, con prestazioni sicuramente accettabili e senza ribaltamenti fuori piano o collassi globali

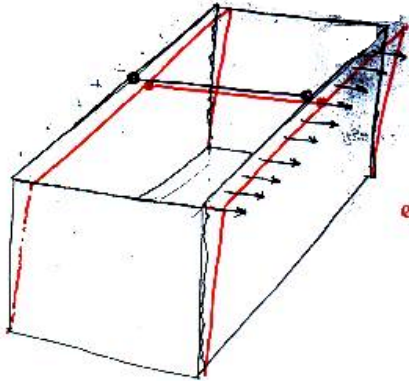
CONCLUSIONI (2)

5. Il notevole danneggiamento, che a volte è mostrato dalle pareti murarie, dipende in genere dalle tipologie inadeguate delle murature, che rendono anche problematico il recupero
6. La tipologia degli orizzontamenti, portanti e non, e di altri elementi costruttivi, molto sensibili anche a piccoli spostamenti orizzontali, può vanificare le buone prestazioni delle scatole murarie, causando numerosi crolli all'interno degli edifici
7. L'insieme degli interventi da attuare sugli edifici esistenti vulnerabili deve essere teso a trasformarli da edifici antichi (I e II classe) ad edifici aventi comportamento simile a quelli moderni (III classe)

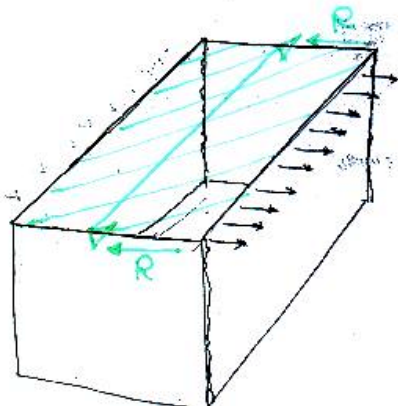
Strutture "scatolere"



solai semplicemente
appoggiati



solai collegati
ed ancorati alle pareti



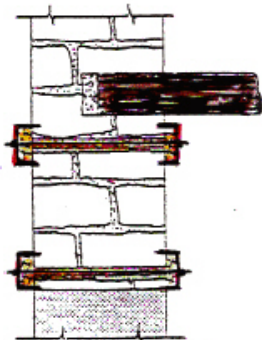
solai rigidi nel
piano orizzontale
collegati con corredi
alle quattro pareti

La strategia di
recupero

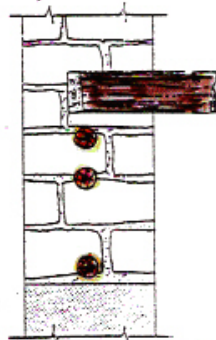
Trasformare i
fabbricati esistenti
in edifici
in muratura ordinaria
(III classe)

- TIPOLOGIA II - MURATURA IMBRIGLIATA

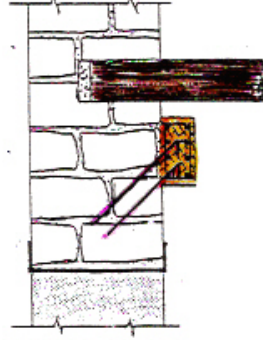
SEZIONE s - s



COPPIA DI PROFILATI A U COLLEGATI DA TIRANTI INIETTATI

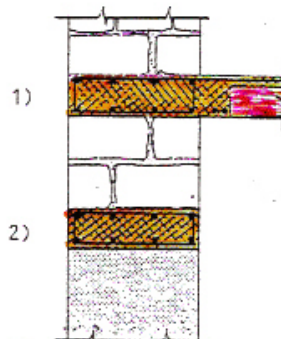


TIRANTI DI ACCIAIO ORDINARIO O PRECOMPRESSO INIETTATI CON MALTA CEMENTIZIA



CORDOLO IN C.A. CHIODATO ALLA MURATURA

II.1



1) CORDOLO PERIMETRALE DI SOLAIO IN C.A.
2) PIATTABANDA IN C.A.

II.2

Gli edifici esistenti si possono (e si devono) trasformare in edifici della III classe

Ma gli edifici della III classe non si devono
“trasformare” in edifici della I e II classe migliorati !!!

