



Bologna 21 maggio 2013
Effetto sisma 2012 : suolo e strutture

La reazione delle strutture

Effetti delle sequenze sismiche sulle costruzioni in muratura

Antonio Tralli (UniFe) – Daniele Ferretti (UniPr)





Vulnerabilità degli edifici in muratura

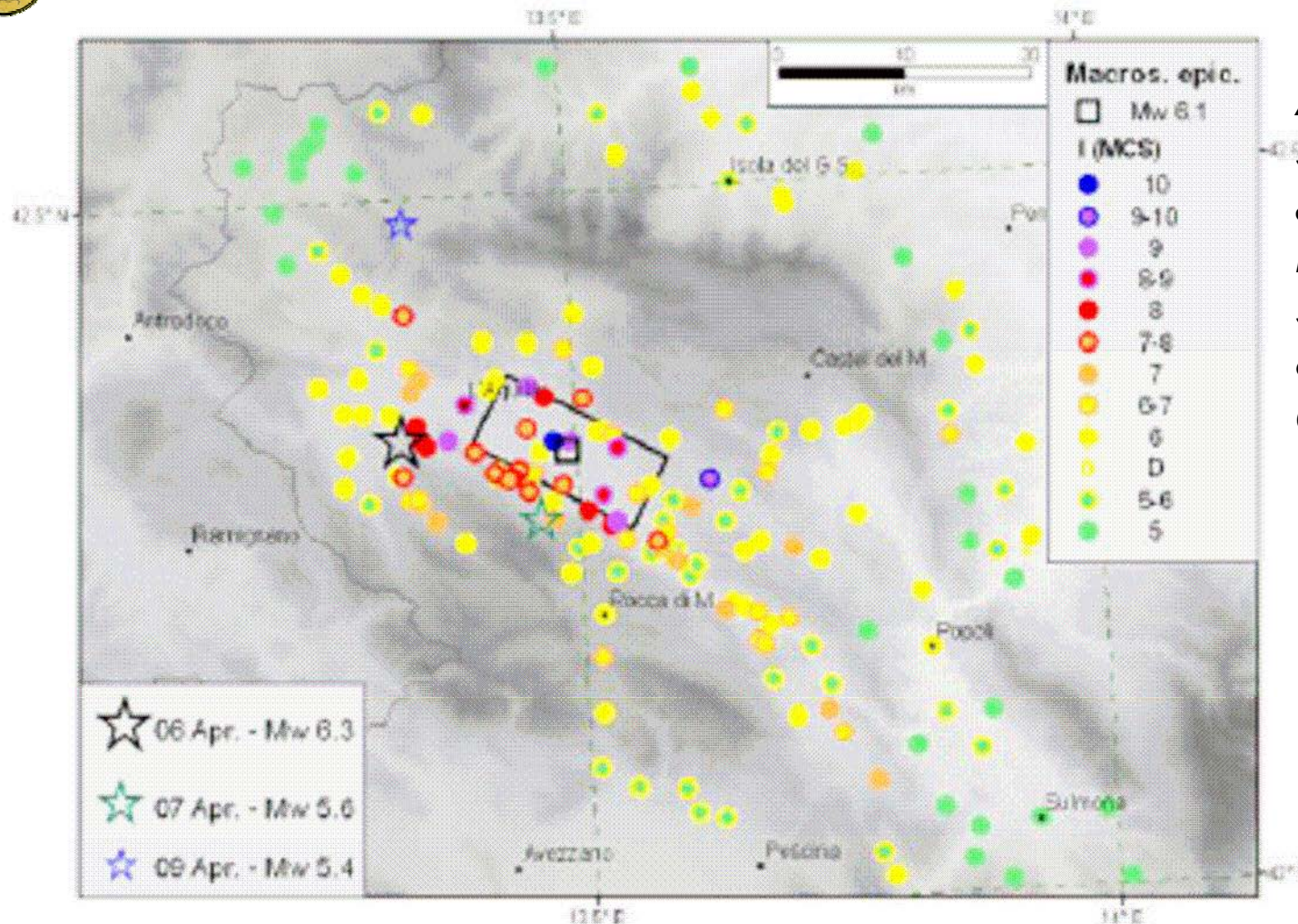
Il sisma che nel maggio 2012 ha colpito l'Emilia ha interessato un'area ove vivono oltre 500000 persone, circa il 14% della popolazione regionale. Si ricorda che Carpi ha circa gli stessi abitanti di L'Aquila 70000 e che oltre a numerosi paesi molti altri popolosi centri abitati sono stati colpiti: Cento e Mirandola hanno oltre 30000 abitanti, S. Felice sul Panaro, Finale Emilia, Bondeno ne hanno oltre 15000 etc.

Nell'area colpita sono presenti circa 51000 imprese, di cui 7000 manifatturiere con 175000 dipendenti che forniscono il 15% del PIL regionale. Secondo la stima di Confindustria i danni ai settori industriali meccanico, biomedicale, agroindustriale etc sono stati enormi (per una stima corretta occorre tenere conto dei danni ai macchinari, alle scorte ed alla perdita di produzione oltre che dei danni alle strutture ed agli impianti). Alla fine di luglio il danno economico è stato stimato fra l' 1% e 1,5 % del PIL nazionale (fonte Sole-24ore).

Da questo punto di vista questo terremoto è stato sicuramente il più devastante negli ultimi 30 anni .



L'Aquila 2009 Magnitudo $M_L=5,9$ ($M_w 6,3$)

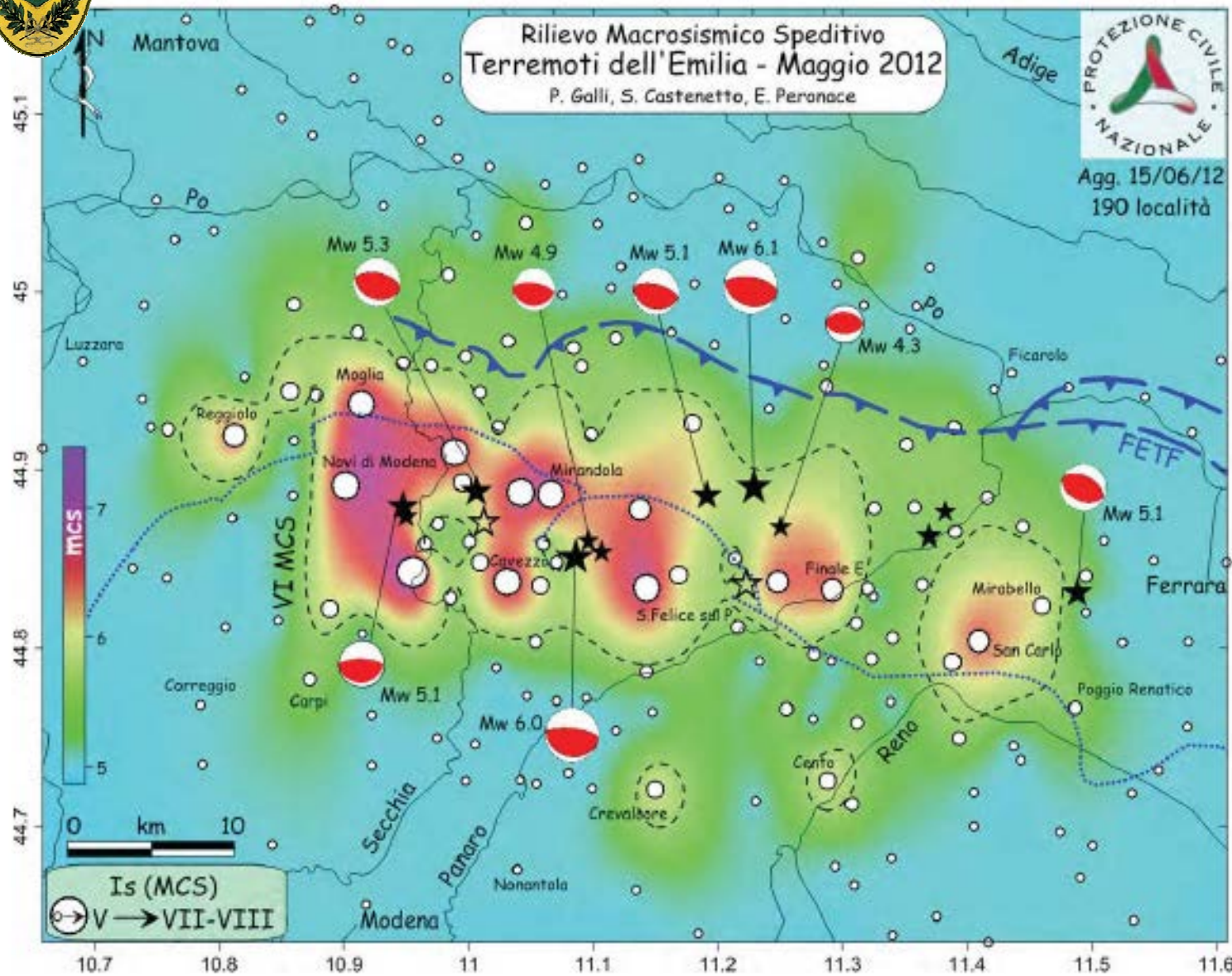


A L'Aquila si sono avuti approssimativamente 120000 sfollati ed 80000 richieste di sopralluoghi

Intensità Macrosismica (MCS), (IX-X grado Onna)



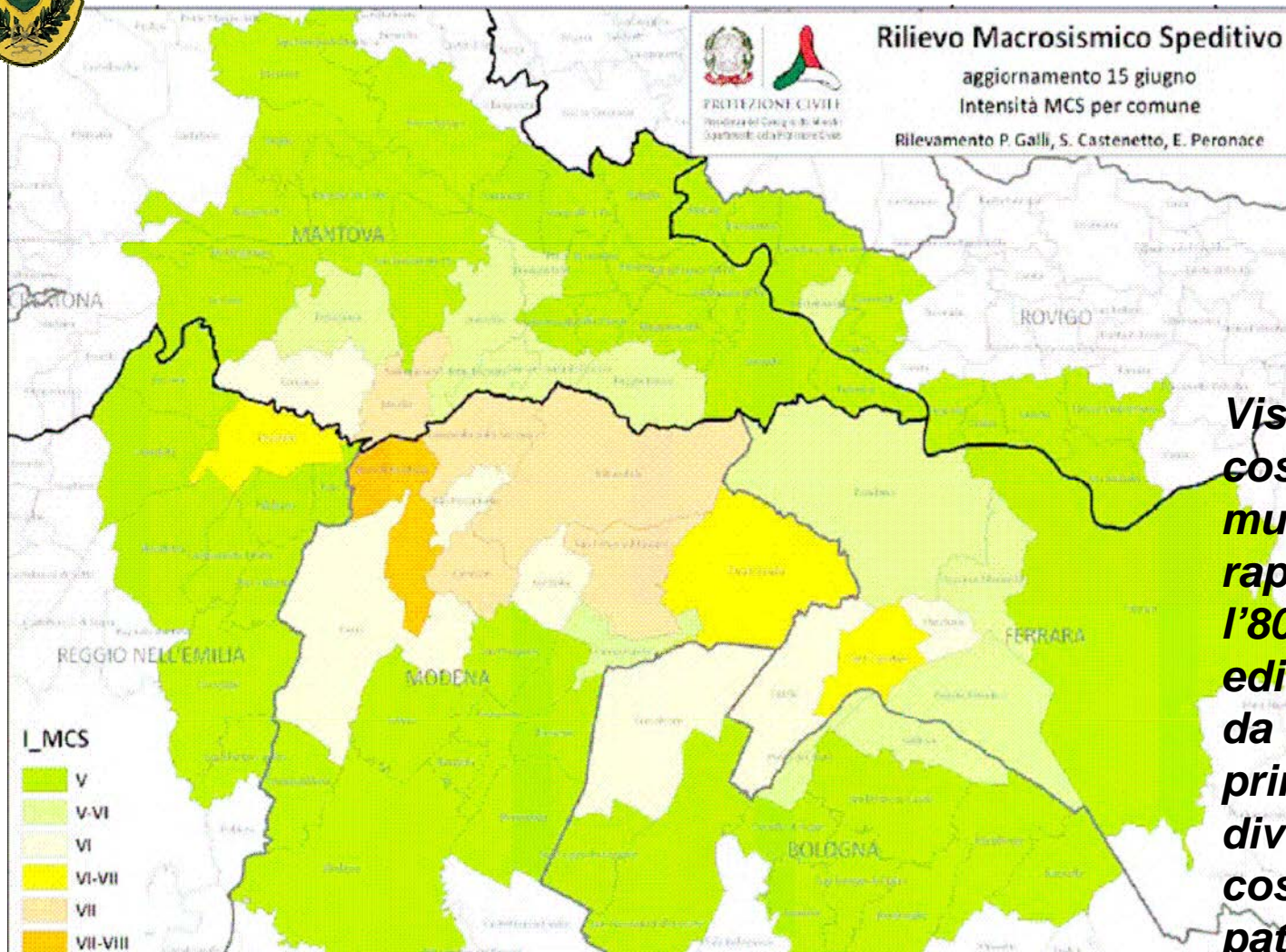
Emilia 2012 Magnitudo $M_L=5,9$ ($M_w 6,1$)



(VII-VIII Novi di Modena, VIII Cavezzo).



Emilia 2012 Magnitudo $M_L=5,9$



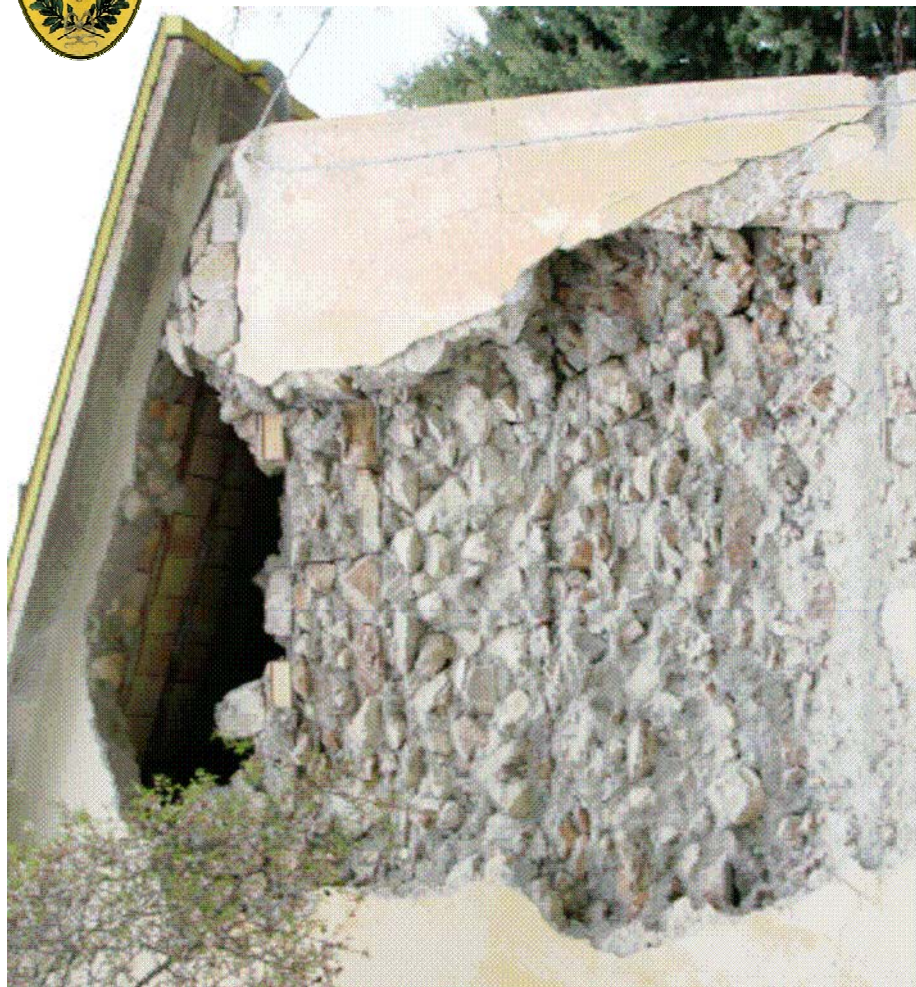
***In Emilia
circa 40000
sfollati e
40-45000
richieste di
sopralluoghi***

***Visto che le
costruzioni in
muratura
rappresentano circa
l'80% del patrimonio
edilizio la differenza è
da imputare
principalmente alla
diversità del modo di
costruire e del
patrimonio edilizio
nella pianura
emiliana.***

Intensità Macrosismica (MCS)



L'Aquila 2009: edifici in muratura



Villa S. Angelo

Nell'Aquilano sono presenti tipologie di muratura diverse:

Murature di pietra grezza non lavorata con pietre di forma irregolare fissate con malta di calce di scarsa qualità o legate con terra cruda (tipiche dei fabbricati più vecchi sia nei paesi che nel capoluogo).

Murature in laterizi forati posati per fascia ricoperte da strati di intonaco spessi alcuni centimetri.

Murature di blocchetti di calcestruzzo posati per testa.

In entrambi i casi i giunti sono di notevole spessore (2-3 cm) di malta cementizia o composta con inerti grossolani.

E ADORNI, D, Ferretti, A. TRALLI et alii "Prime considerazioni sugli effetti del terremoto sulle costruzioni in muratura in alcune località dell'Aquilano", *INGEGNERIA SISMICA*, vol XXVI, n..2, giugno, 2009



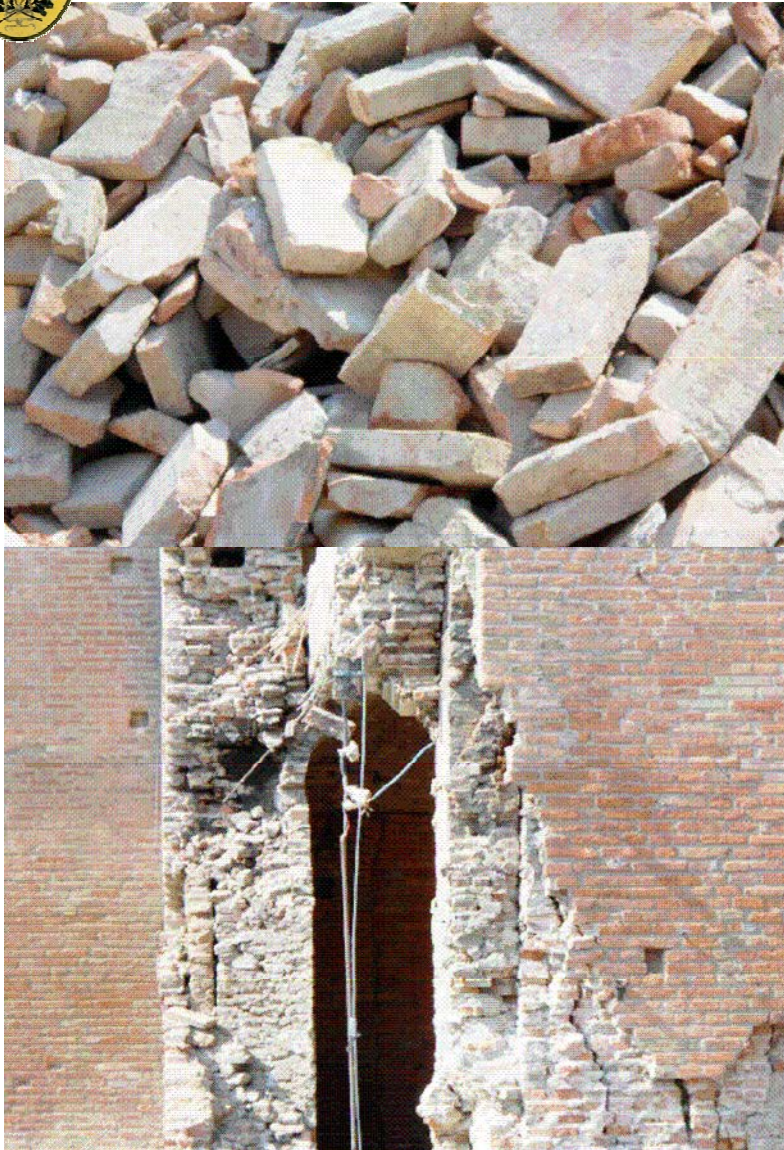
L'Aquila 2009



Muratura di pietra grezza non lavorata con tessitura sub-orizzontale con malta di scarsa qualità o di terra cruda. I muri di questo tipo sono spesso formati da due paramenti non collegati fra loro



Emilia 2012: costruzioni in muratura



Il caso delle murature Emiliane

Murature vecchie :

murature in mattoni di argilla pieni con tessiture regolari .

I muri portanti perimetrali sono di almeno 2 teste non sempre ben connesse

Le Malte sono molto povere con calce aerea o fango (in alcuni casi i mattoni sono poco cotti o in terra cruda)

Murature recenti:

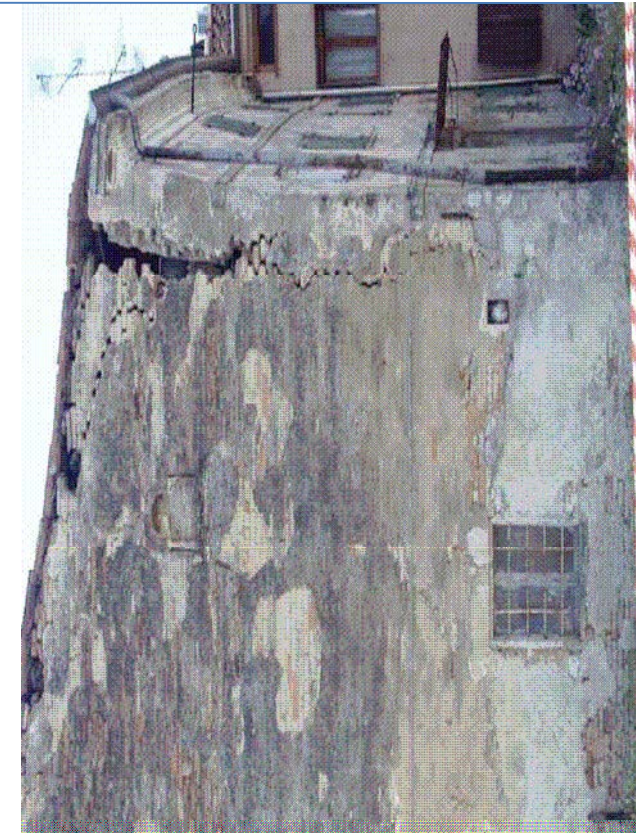
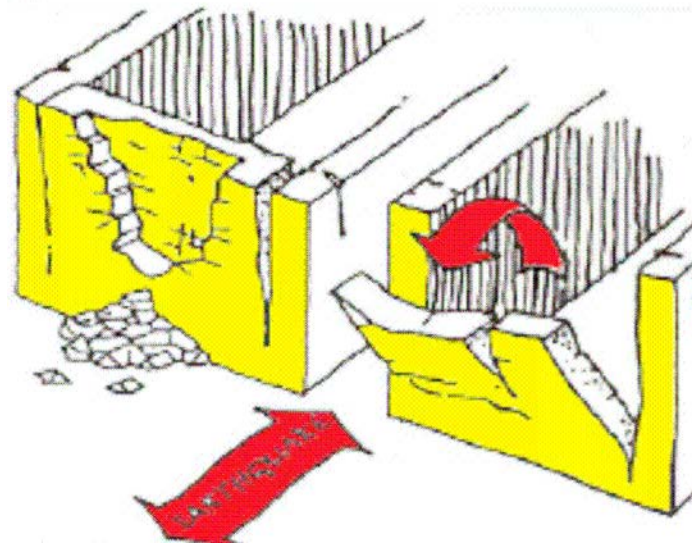
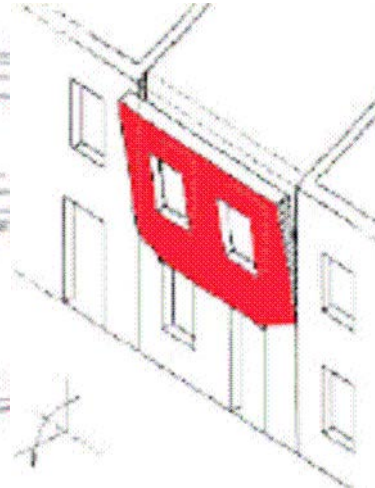
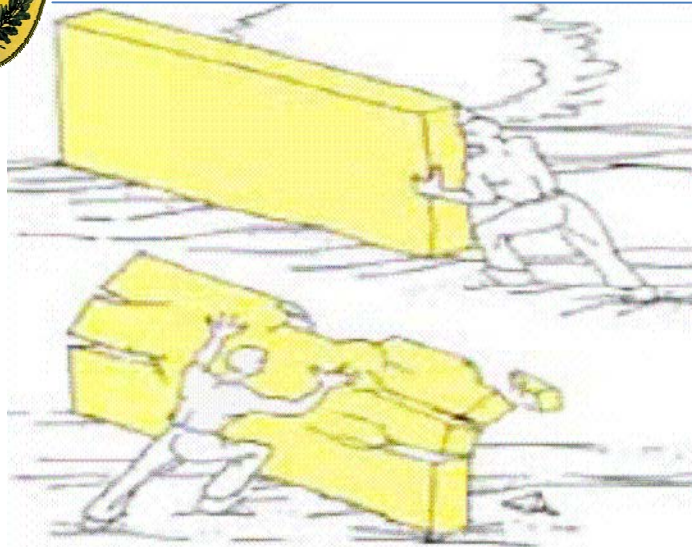
Murature in blocchi forati (Poroton, Alveolater etc) con malta cementizia M>5

S. CATTARI, S. DEGLI ABBATI, D. FERRETTI, S. LAGOMARSINO, D. OTTONELLI, A. TRALLI "The seismic behaviour of ancient masonry buildings after the earthquake in Emilia (Italy) on may 20th and 29th, 2012" *INGEGNERIA SISMICA* , vol. XXIX, n. 2-3, pp 87-111, 2012

San Felice sul Panaro: crollo parziale di una casa e della Rocca



Vulnerabilità edifici in muratura



Rovereto

In Emilia i ribaltamenti di intere pareti sono relativamente rari, eccetto per pareti troppo snelle come nelle chiese, e interessano la parte sommitale. I Meccanismi da taglio che avvengono nel piano delle pareti sono frequenti sia nei maschi murari a piano terra che nelle fasce di piano



Vulnerabilità edifici in muratura

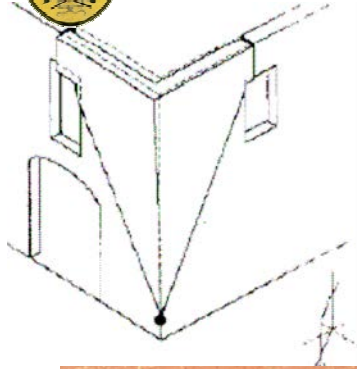
Ribaltamenti sommitali



Mirandola



Vulnerabilità edifici in muratura



Mirabello



Mirandola

Meccanismi di primo modo dovuti all'interazione col tetto



Vulnerabilità edifici in muratura Ribaltamenti sommitali



S. Felice sul Panaro

**Alterazioni post 1945:
coperture spingenti
prive di cordolatura**



Vulnerabilità edifici in muratura

Ribaltamenti sommitali



Emilia 2012 : i due paramenti non sono collegati tra loro



Vulnerabilità edifici in muratura

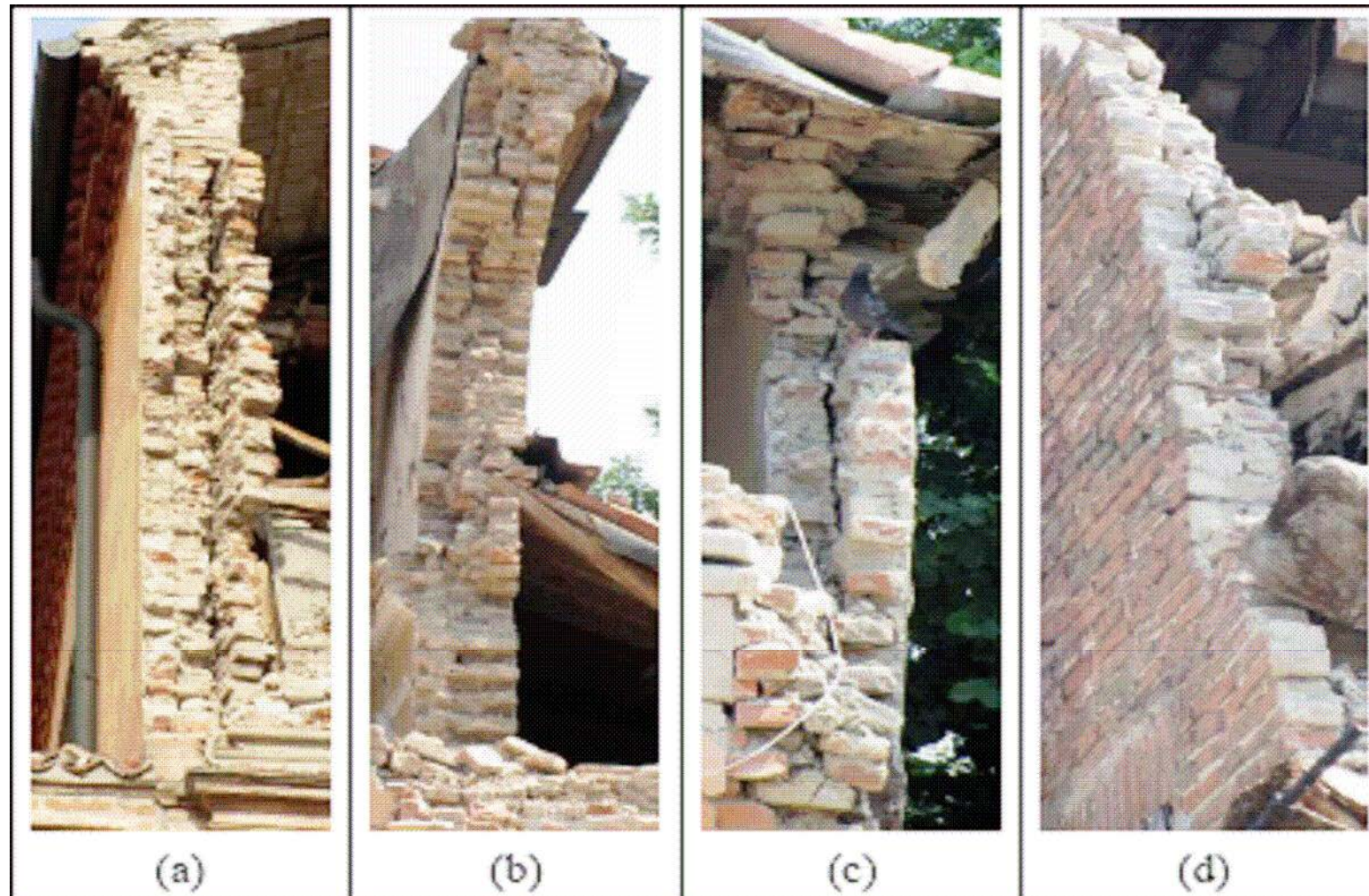


Figura 3.2. Esempi di sezioni murarie: a) e b) muratura a 3 teste (esempi tratti da pareti della navata principale di due chiese a Finale Emilia (a) e San Felice sul Panaro (b));
- muratura a due teste (esempi tratti dalla parete della navata laterale di una chiesa (c) e dalla parete di una schiera di 3 piani (d) a San Felice sul Panaro)



Vulnerabilità edifici in muratura

Cattiva qualità della muratura



Muratura in mattoni a due teste. Le fodere interna ed esterna sono collegate da diatoni passanti.



Muratura in mattoni ad due teste. Si tratta di due fodere sostanzialmente separate. Una delle due fodere, quella interna, si è distaccata.



Muratura di soli diatoni, favorite lesioni a 45°



Vulnerabilità edifici in muratura

S. Felice

diverso stato di manutenzione fra 2 parti di uno stesso edificio, si osservi la pulizia dei mattoni.



Mirandola e Rovereto

Collassi parziali di tetti in legno in cattivo stato di conservazione

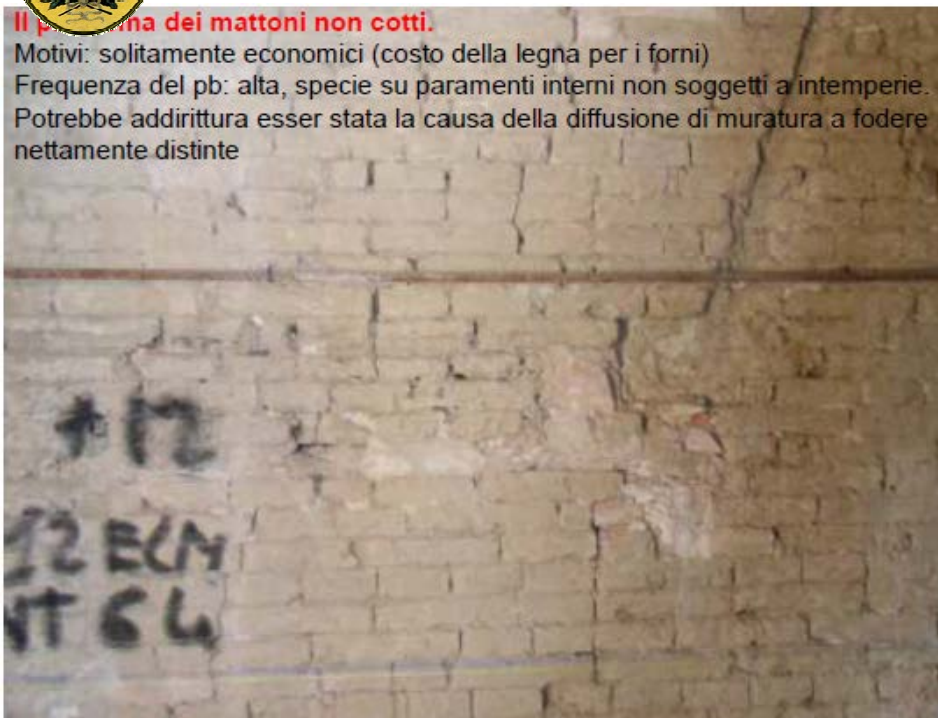




Vulnerabilità edifici in muratura Cattiva qualità della muratura

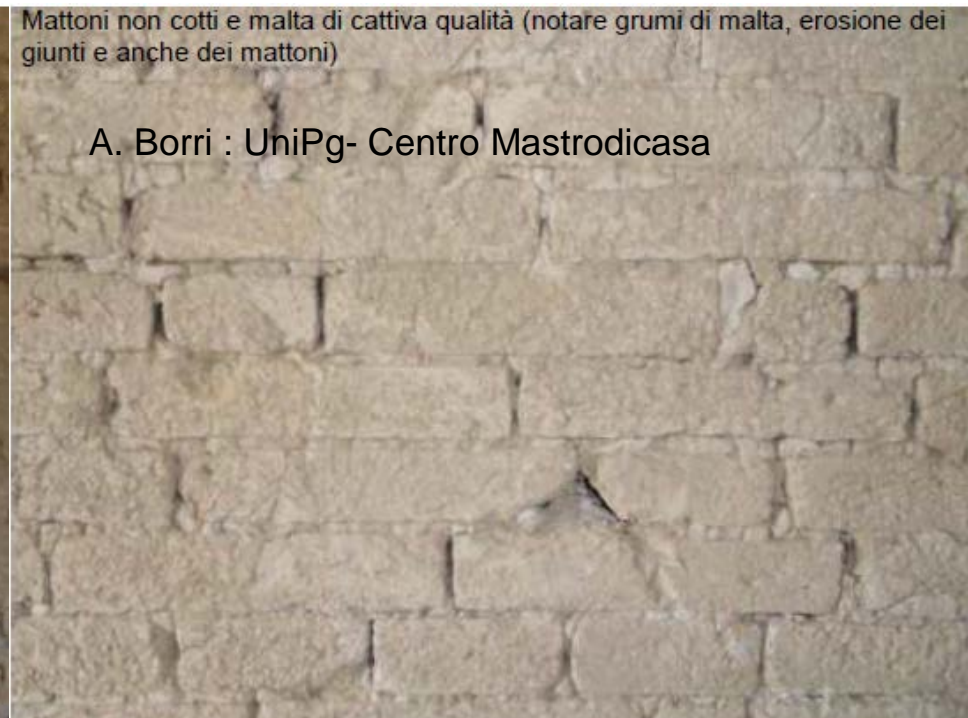
Il problema dei mattoni non cotti.

Motivi: solitamente economici (costo della legna per i forni)
Frequenza del pb: alta, specie su paramenti interni non soggetti a intemperie.
Potrebbe addirittura esser stata la causa della diffusione di muratura a fodere nettamente distinte



Mattoni non cotti e malta di cattiva qualità (notare grumi di malta, erosione dei giunti e anche dei mattoni)

A. Borri : UniPg- Centro Mastrodicasa



Riconoscimento dei mattoni non cotti: colore chiaro, giallastro o bianco; spesso rovinati, spaccati o privi della parte superficiale

I mattoni non cotti sono in genere utilizzati per fodere interne

A S. Possidonio e nel Centese costruzioni in
terra cruda



Vulnerabilità edifici in muratura

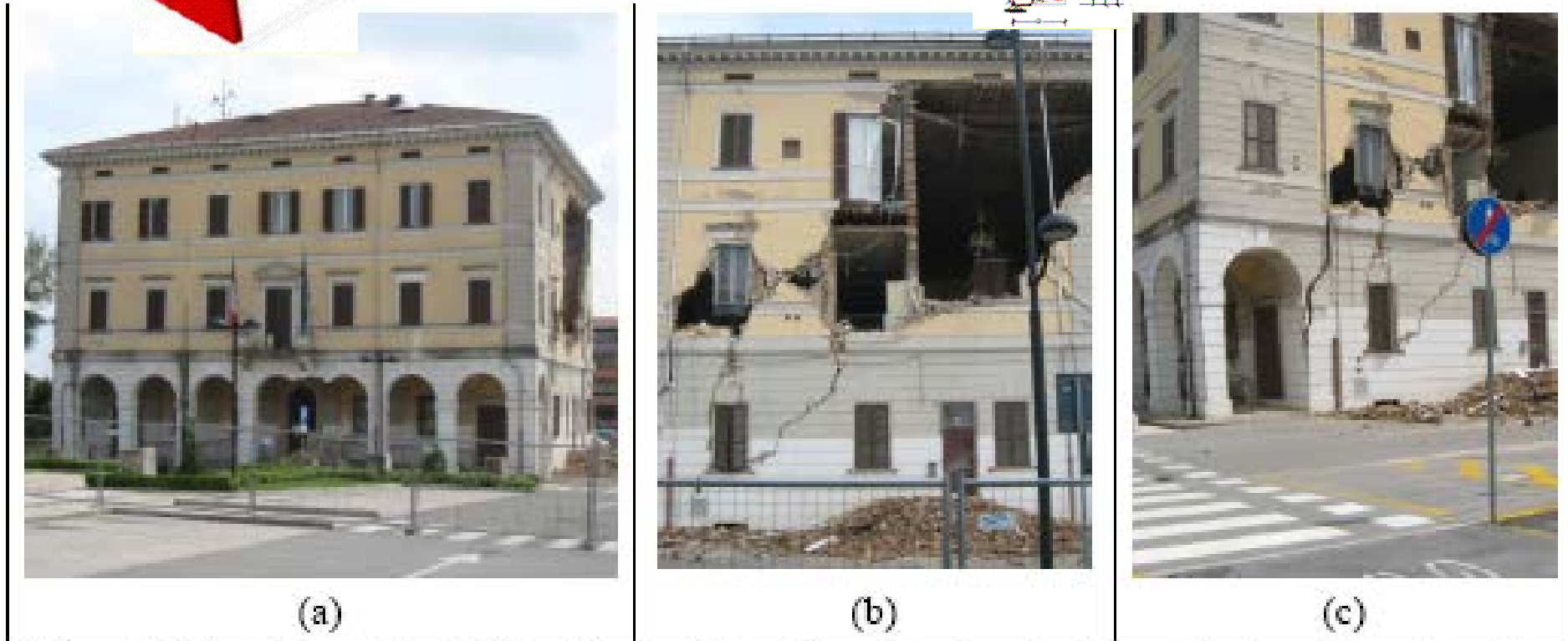
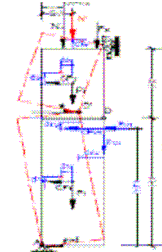
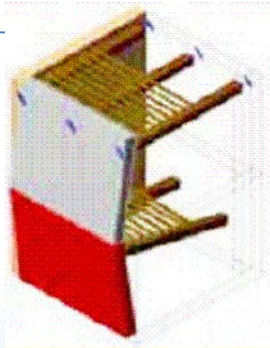


Figura 3.10. a) Facciata del Municipio di Sant'Agostino (crollo di un pilastro del porticato); b) salone a doppia altezza e parete di spina a due teste; c) rotazione dei pilastri del porticato.

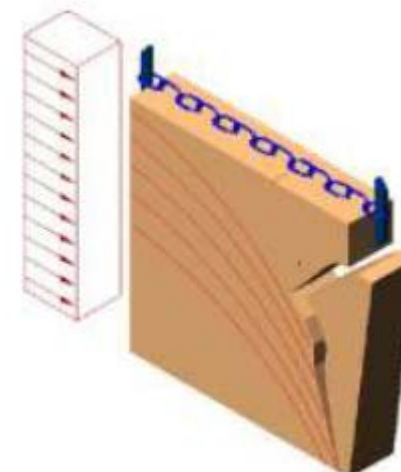


Vulnerabilità edifici in muratura

Pareti snelle su grande luce.
Carenza nei collegamenti



REG. EDIL. NORCIA 1860. Art. 19
I muri abbiano una grossezza
sufficiente da determinarsi dalla
Commissione nella specialità dei casi
insieme alla profondità dei loro
fondamenti. Se le case non sono
fatte a baracca, non siano però **mai**
minori di sessanta centimetri, ed in
quei di telaro, o muri esterni abbiano
di più al di fuori una scarpata di un
Ventesimo almeno dell'altezza. I
muri estranei, o di **telaro si**
colleghino bene con i muri divisorii,
onde facciano una massa tutta unita.

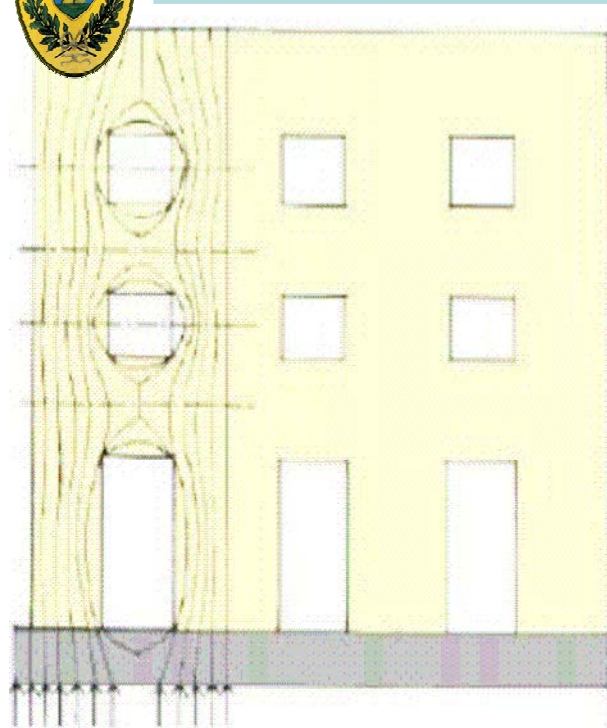


Municipio di S. Agostino



Vulnerabilità edifici in muratura

Danni alle fasce di piano in edifici isolati



Linee isostatiche

Le fasce di piano sono scariche

Con il termine “fascia” è indicata la porzione di muratura tra due aperture allineate.

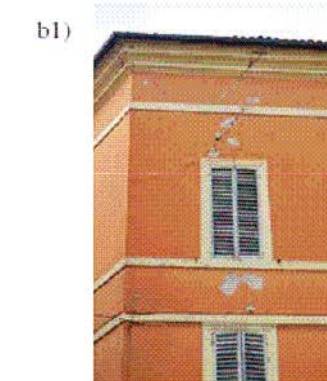


Fig. 8. Examples of “uniform” global mechanism (with the localization of damage in spandrels) observed in some buildings in Mirandola (a) and Finale Emilia (b, c): on the left, the main cracks are marked in white on a general view of walls; on the right, some particular of cracks on spandrels are shown.



Vulnerabilità edifici in muratura Danni alle fasce di piano



S. Felice sul Panaro: Palazzine di inizio 900 – Importanza stato di manutenzione.
Danno alle fasce di piano: importanza delle archi travi



Vulnerabilità edifici in muratura Crisi per taglio di maschi murari

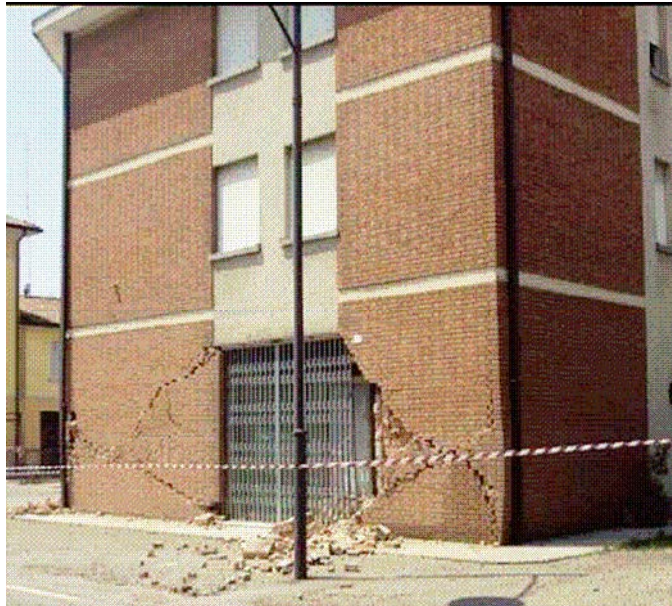


Renazzo (Cento)- Il fabbricato, sede di un agriturismo, è stato restaurato sostituendo il tetto ligneo con uno latero cementizio notevolmente più pesante e rigido.



Rovereto

Vulnerabilità edifici in muratura Crisi per taglio di maschi murari



**Poggio
Renatico**



Novi di Modena



Vulnerabilità edifici in muratura



Cavezzo - Se opportunamente cerchiare grandi aperture a piano terra non hanno provocato il collasso

Edifici in aggregato



Mirandola : alle lesioni del maschio centrale del 1° piano si aggiunge un danno ai pilastri del portico
La cella ha una lesione al maschio al 1° piano a causa di un contrasto non simmetrico con le adiacenti



Edifici in aggregato



Mirandola : danno nelle fasce di piano



Edifici in aggregato



Mirandola :
ribaltamento di
porzioni sommitali
per irregolarità in
elevazione e danni
per interazione e
martellamento



Fabbricati rurali

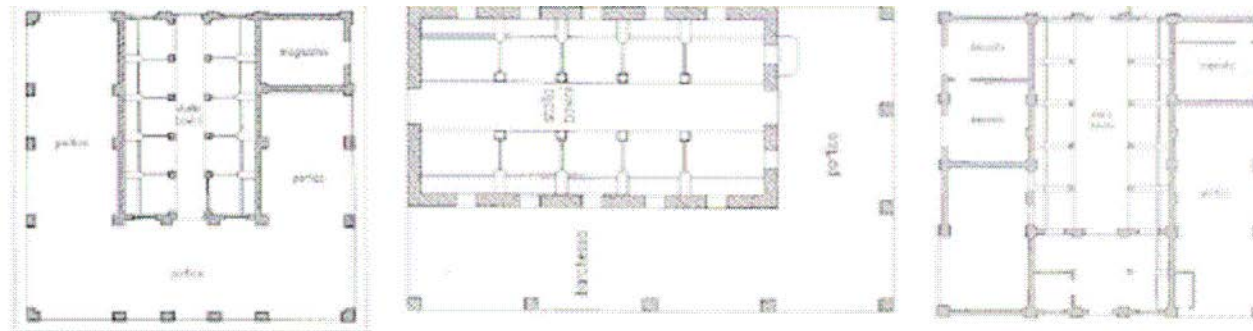


Figura 3.31. Organizzazione planimetrica degli insediamenti rurali emiliani [Zaffagnini, 2006].

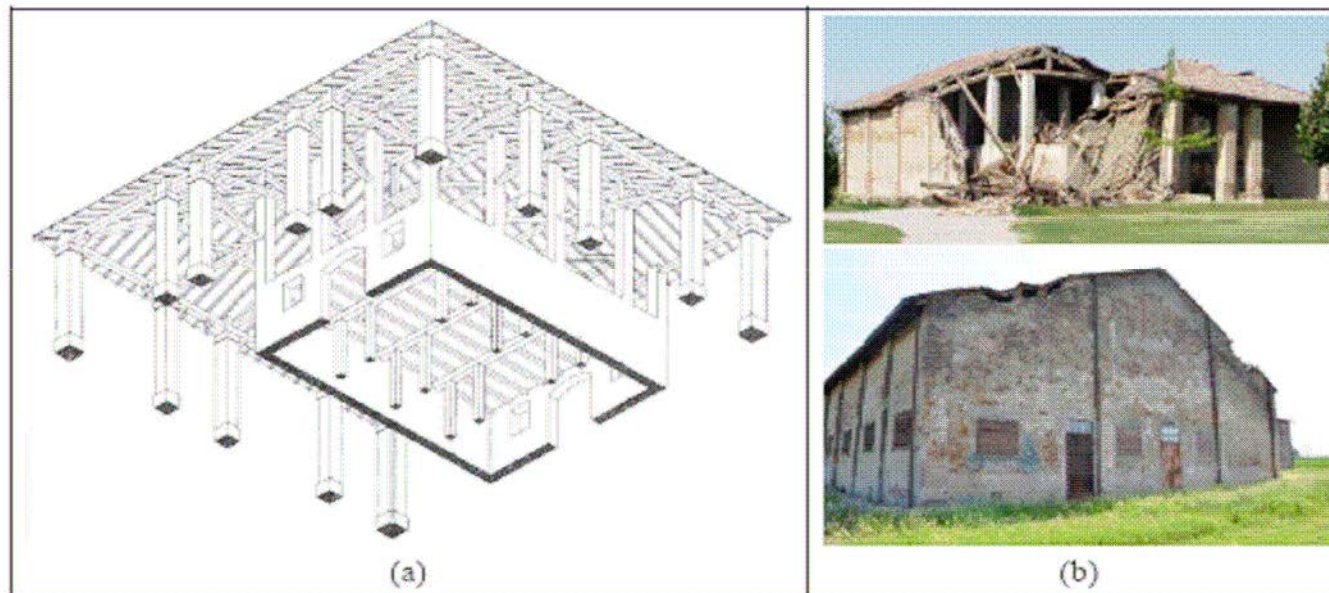
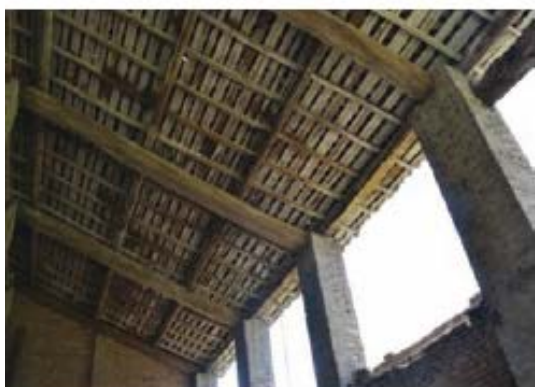


Figura 3.32.a) Assonometria dal basso della stalla-fienile secondo un progetto di Dotti [Zaffagnini 2006]; b) Immagini di un casolare rappresentativo della tipologia.



Fabbricati rurali



Finale Emilia

Particolari del tetto e rotazioni al piede dei pilastri





Fabbricati rurali



Finale Emilia (via Modena presso via Trombata)



Vulnerabilità di torri, campanili e ciminiere



Fornace S. Bianca -Bondeno

Pandurara - Bondeno



Ciminiera Facoltà di Ingegneria Ferrara



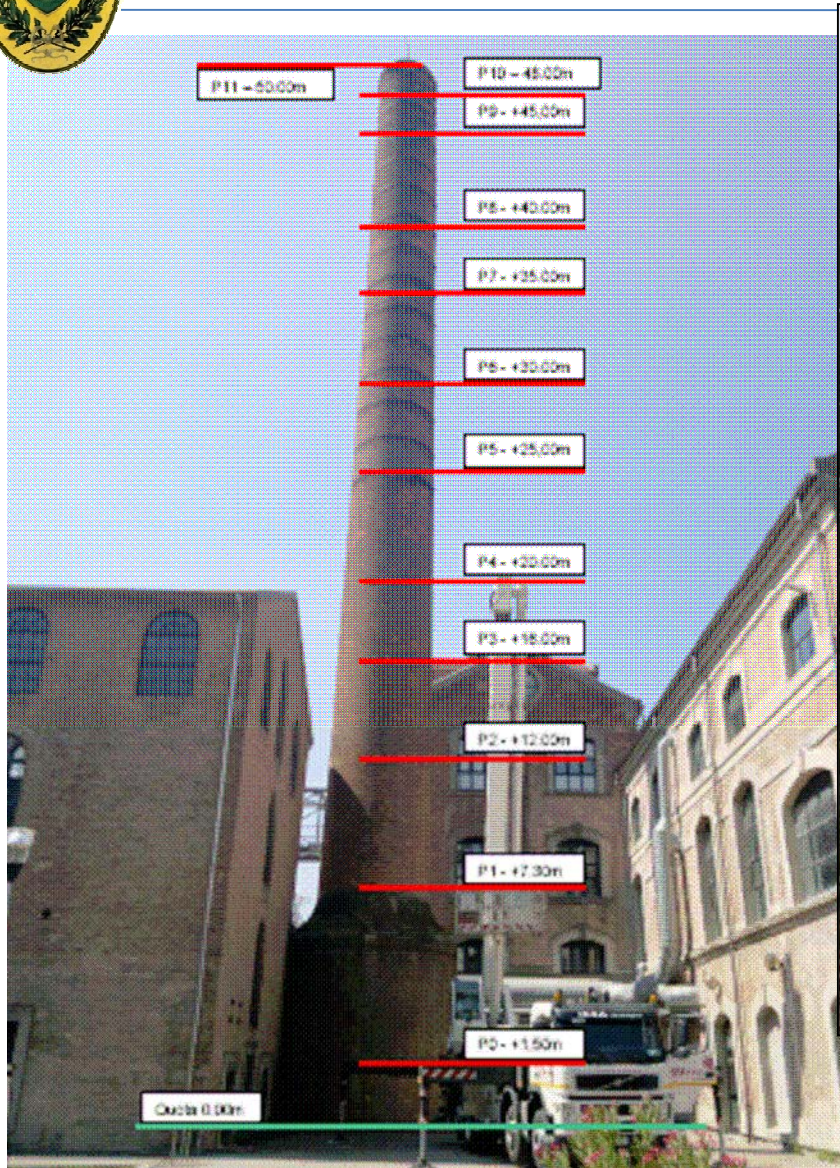
h = 44 m



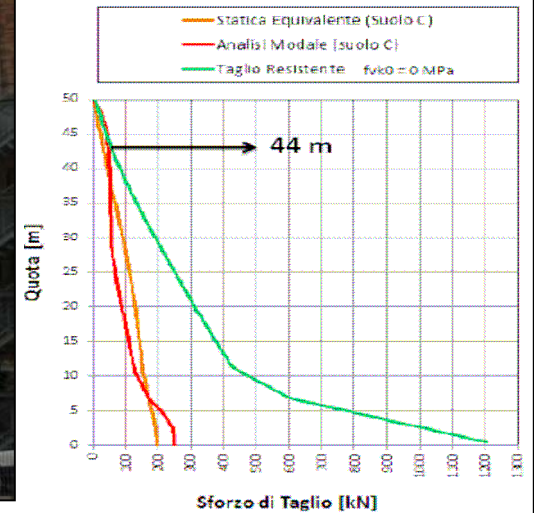
h = 50 m (in sommità)



Ciminiera Facoltà di Ingegneria Ferrara



VERIFICA A TAGLIO $f_{vk0} = 0 \text{ MPa}$



Una Ciminiera in Muratura Danneggiata dalla Sequenza Sismica Emiliana del Maggio 2012
 F. Minghini, G. Milani, M. Cantelli, A. Tralli





Bologna 21 maggio 2013
Effetto sisma 2012 : suolo e strutture



Grazie per l'attenzione



