



**Comportamento sismico  
e vulnerabilità delle costruzioni in muratura**



Cesare Tocci

"Il sisma non disintegra in modo disordinato le case ma seleziona le parti strutturali e le soluzioni tecnologiche più deboli provocando danni o crolli mediante **meccanismi definibili in anticipo**. A differenza di quanto avviene negli edifici concepiti e costruiti come un'unica struttura continua, **la mancanza di connessione tra le parti** che caratterizza le costruzioni in muratura permette il verificarsi di **crolli parziali**. Solo la parte più debole della costruzione cede al sisma, senza trascinare con sé le porzioni adiacenti".

A. Giuffrè, Sicurezza e Conservazione dei Centri Storici, il caso Ortigia, Laterza, 1993, p.133.

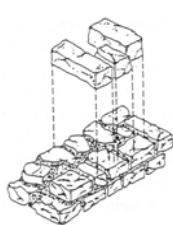


Comportamento sismico e vulnerabilità delle costruzioni in muratura – Cesare Tocci

2

La **mancanza di connessione** tra le parti è l'esito meccanico più rilevante della natura di **assemblaggio** che caratterizza l'edificio murario storico.

Per quanto efficaci nei confronti delle abituali sollecitazioni di tipo statico, **anche connessioni ben fatte possono facilmente entrare in crisi** in presenza di sollecitazioni impulsive di origine sismica che chiamano in causa componenti di vincolo (orizzontali) solitamente non richieste.

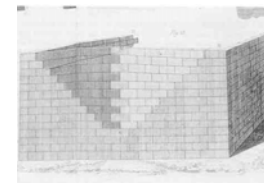


Comportamento sismico e vulnerabilità delle costruzioni in muratura – Cesare Tocci

3

L'effetto del terremoto sulla struttura muraria storica si manifesta, in linea generale, come una **sconnessione dei singoli elementi** che compongono l'intero organismo.

La sconnessione si può definire come una riduzione dell'efficacia degli originari vincoli della struttura e comporta come conseguenza primaria, l'insorgere di problemi di stabilità dell'equilibrio degli elementi coinvolti.



(Rondelet, 1834)



Friuli, 1976

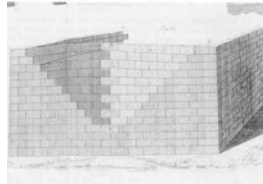


Comportamento sismico e vulnerabilità delle costruzioni in muratura – Cesare Tocci

4

L'effetto del terremoto sulla struttura muraria storica si manifesta, in linea generale, come una **sconnessione dei singoli elementi** che compongono l'intero organismo.

Sotto l'azione delle forze d'inerzia derivanti dal terremoto, alcuni elementi strutturali entrano in moto relativo gli uni rispetto agli altri, in seguito alla formazione di lesioni (**sconnessioni**) localizzate. La configurazione assunta da tali elementi in condizioni di collasso incipiente prende il nome di **meccanismo di collasso**.



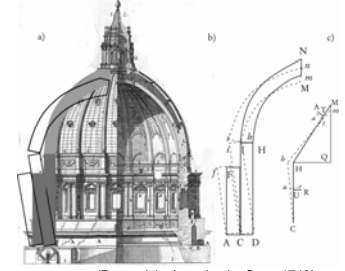
(Rondelet, 1834)



Friuli, 1976



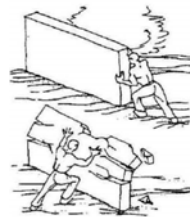
Il concetto di **meccanismo di collasso** rappresenta uno strumento di **interpretazione** dei danni subiti dalle costruzioni in muratura in occasione di un terremoto e di **previsione** dei danni che futuri terremoti potranno attivare.



(Boscovich, Jacquier, Le Seur, 1743)



### Interpretazione e previsione del danno sismico. Meccanismi di primo e secondo modo.

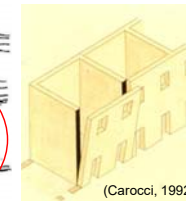
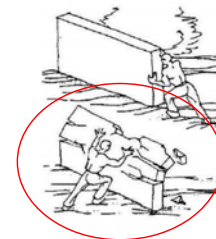


(Touliatos, 1996)

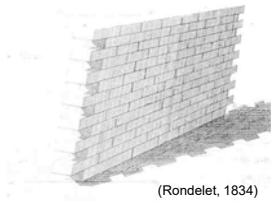


### Meccanismi di primo modo

La sconnessione che più frequentemente il terremoto induce nelle costruzioni murarie e che evidenzia la condizione di massima fragilità è rappresentata dal **ribaltamento, verso l'esterno dell'edificio, delle pareti di facciata** (e di porzioni più o meno estese delle pareti di controvento), per effetto di azioni sismiche agenti ortogonalmente al piano delle facciate stesse.

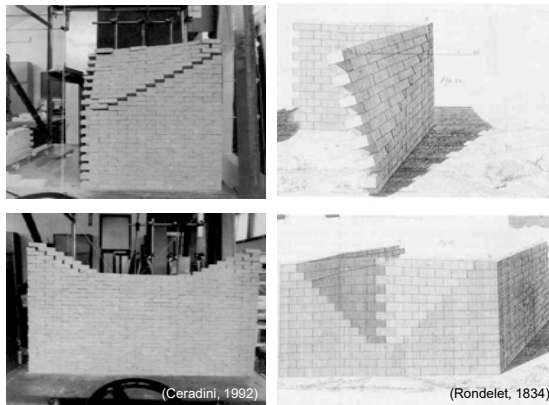


(Carocci, 1992)



(Rondelet, 1834)





(Ceradini, 1992)

(Rondelet, 1834)



Messina, 1908



Avezzano, 1915



Friuli, 1976





Umbria-Marche, 1997



L'Aquila, 2009

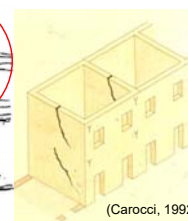
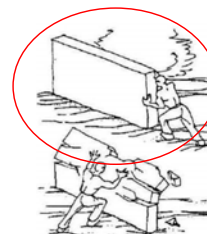


Accumoli, 2016



### Meccanismi di secondo modo

Se il moto della facciata verso l'esterno è impedito (o trattenuto), ad esempio con incatenamenti, l'azione sismica viene trasferita alle pareti di controvento che risultano sollecitate nel proprio piano. Quando anche la resistenza di tali pareti viene superata, si origina un diverso meccanismo di danno che si manifesta con **lesioni diagonali nelle pareti di controvento** – con a volte vistosi fenomeni di scorrimento e rotazione relativa.



(Carocci, 1992)







Umbria-Marche, 1997



Comportamento sismico e vulnerabilità delle costruzioni in muratura – Cesare Tocci



L'Aquila, 2009



Comportamento sismico e vulnerabilità delle costruzioni in muratura – Cesare Tocci



Accumoli, 2016



Comportamento sismico e vulnerabilità delle costruzioni in muratura – Cesare Tocci

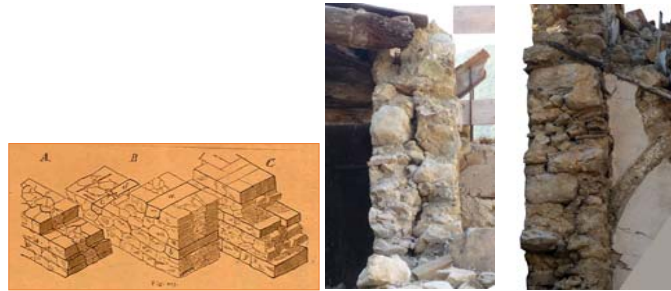


Accumoli, 2016



Comportamento sismico e vulnerabilità delle costruzioni in muratura – Cesare Tocci

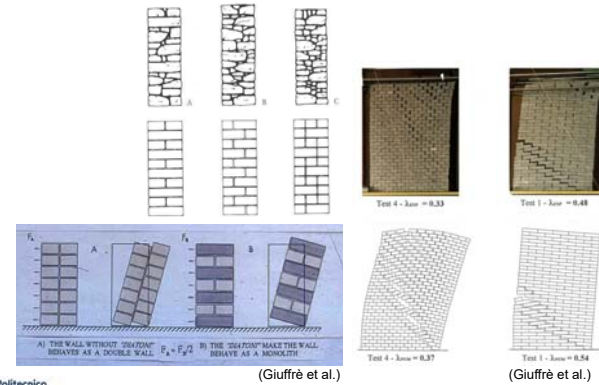
In ogni caso, l'innescarsi dei **meccanismi di primo e secondo modo** presuppone **la qualità meccanica** delle murature interessate.



Villa Sant'Angelo (AQ)



In ogni caso, l'innescarsi dei **meccanismi di primo e secondo modo** presuppone **la qualità meccanica** delle murature interessate.



(Giuffrè et al.)

(Giuffrè et al.)



In ogni caso, l'innescarsi dei **meccanismi di primo e secondo modo** presuppone **la qualità meccanica** delle murature interessate.



Amatrice, 2016

Reggio Calabria, 1908



Murature di scadente qualità meccanica non esibiscono un comportamento monolitico e crollano a maceria per intensità sismiche sensibilmente inferiori a quelle che potrebbero innescare cinematici monolitici.



Umbria, 2016

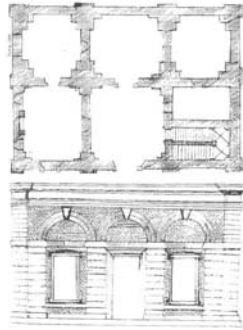
Umbria-Marche, 1997



### Forma e costruzione

La qualità di un edificio murario ben costruito – anche nei confronti delle abituali sollecitazioni di tipo statico – dipende:

- (i) dalla qualità degli **elementi**
- (ii) dalla qualità delle **connessioni**
- (iii) dalla qualità dell'**impianto strutturale**



La casa antisismica proposta da Pirro Ligorio dopo il terremoto di Ferrara del 1570 (Guidoboni)



### Forma e costruzione

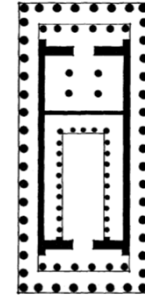
La qualità di un edificio murario ben costruito – anche nei confronti delle abituali sollecitazioni di tipo statico – dipende:

- (i) dalla qualità degli **elementi**
- (ii) dalla qualità delle **connessioni**
- (iii) dalla qualità dell'**impianto strutturale**

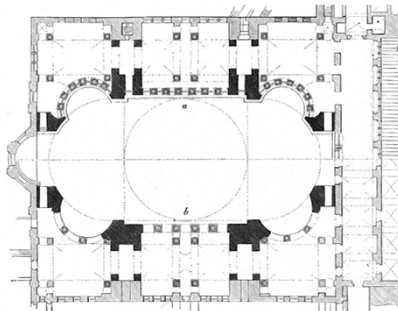
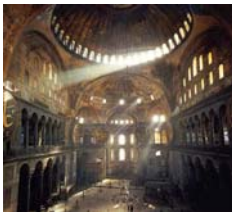
"If one wished to build a building of this size out of blocks of marble without the aid of modern earthquake resistant practices, the Parthenon configuration could scarcely be bettered"

"Structural engineers experienced in seismic rehabilitation work are often struck by the fact that older buildings are almost seismically safe. [...] the chief factor that gives these older buildings some degree of earthquake resistance is their configuration, and the fact that they bring a great deal of material down to the ground by regular and direct routes. There is no reason for forces to take destructive short cuts since the intended paths are already direct".

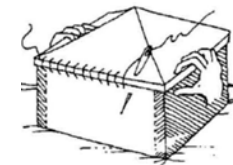
(Arnold, Reitherman 1981)



The 'seismic survivor'  
(Arnold, Reitherman 1981)



### Imparare dai terremoti. L'Aquila 2009, centro Italia 2016



(Touliatos, 1996)



### Il terremoto dell'Aquila del 2009



Attivazione sistematica dei meccanismi di secondo modo ...



... ad eccezione delle situazioni caratterizzate da difetti originari o manomissioni



... ad eccezione delle situazioni caratterizzate da difetti originari o manomissioni



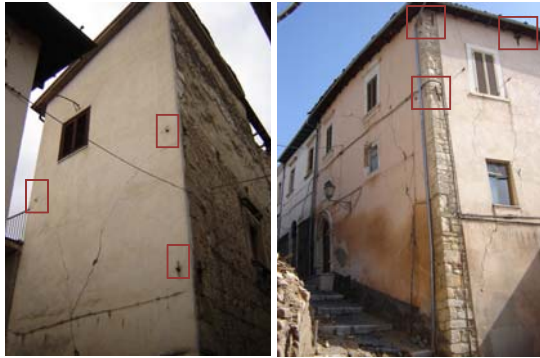
### Una tecnica costruttiva antisismica



Meccanismi di danno e dispositivi antisismici post 1703



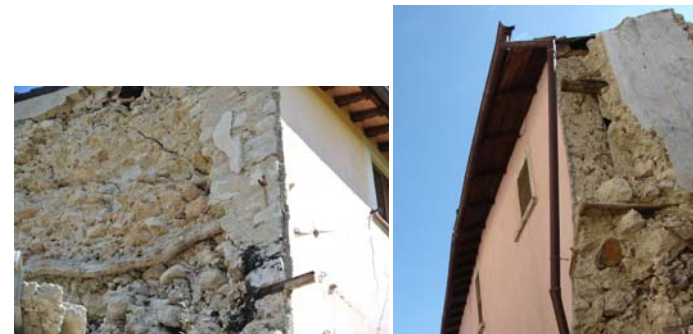




Meccanismi di danno e dispositivi antisismici post 1703

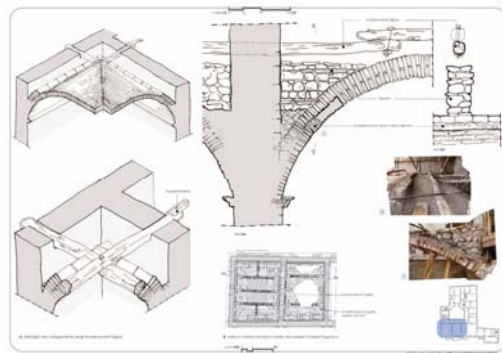


Pareti murarie con “legamenti”





### Volte murarie a spinta contrastata

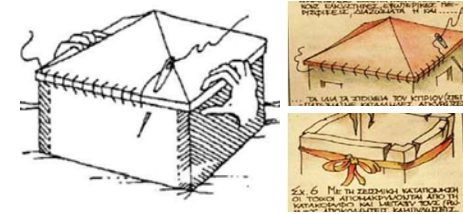


### Coperture lignee trattenenti





Lo scopo di questa tecnica antisismica non è semplicemente quello di prevenire il ribaltamento delle facciate esposte (come comunemente si riscontra nelle aree sismiche) ma più stringentemente quello di incrementare la capacità dell'edificio di **reagire come un insieme compatto**, a dispetto della discontinuità intrinseca dell'assemblaggio murario storico.



P. Touliatos, 1996.

«[...] le ossature [degli edifici] saranno da riunire alle ossature, ed esse tutte da rafforzare nel modo più opportuno con **nervi e legamenti**; sicché la successione delle ossature, collegate tra loro, risulti tale da resistere da sola, quand'anche ogni altro elemento venisse a mancare [...]» (L. B. Alberti)

Il terremoto dell'Italia centrale del 2016







Comportamento sismico e vulnerabilità delle costruzioni in muratura – Cesare Tocci



Comportamento sismico e vulnerabilità delle costruzioni in muratura – Cesare Tocci



Comportamento sismico e vulnerabilità delle costruzioni in muratura – Cesare Tocci



Comportamento sismico e vulnerabilità delle costruzioni in muratura – Cesare Tocci

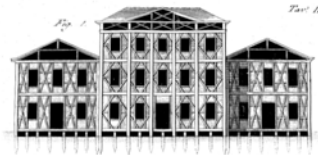




I due dispositivi osservati dopo il terremoto aquilano del 2009 – radiciamenti e coperture impalettate – e rilevati anche nei territori dell'Italia centrale colpiti dai terremoti del 2016 potenziano con finalità consapevolmente antisismica soluzioni costruttive comunque caratterizzate da una ampia diffusione, anche in aree non sismiche, e anticipano analoghe, più articolate, soluzioni che sarebbero state introdotte nella seconda metà del Settecento.



Gaiola Pombalina, Lisbona, 1755

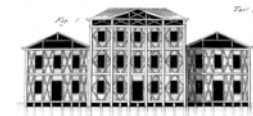


Casa baraccata, Reggio Calabria, 1783



### La tecnica dimenticata

«Dopo il terremoto che nel 1783 devastò le Calabrie, il Governo borbonico emanò il 20 marzo 1784 dei provvedimenti che, ancora oggi, in cui disponiamo di materiali allora ignorati e mezzi tecnici incomparabilmente migliori e più efficaci, appaiono informati ad una grande saggezza ed è veramente a deplorare che, nel giro di pochi lustri, essi siansi lasciati cadere nell'oblio, mentre la loro scrupolosa osservanza e la loro estensione ad altre regioni avrebbero risparmiato alla Patria nostra i tremendi lutti di questi ultimi tempi, in ispecie del 1894, del 1905 e del 1908, sapendosi di case che, costruite sotto l'impero di queste prescrizioni, resistettero a tutti i terremoti successivi ...»



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. Giornale del Genio Civile, Roma, 1909.



La tecnica dimenticata: Italia centrale



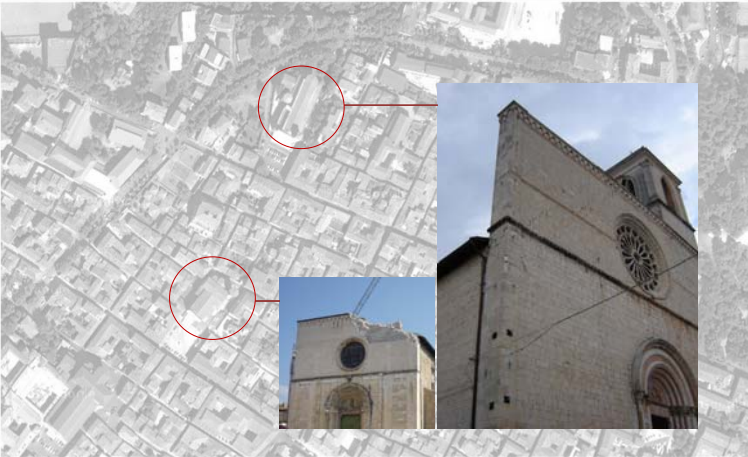
La tecnica dimenticata: L'Aquila



Villa S. Angelo (AQ), 2009

Tèmpera (AQ), 2009





Politecnico  
di Torino

Strutture  
e Infrastrutture

Comportamento sismico e vulnerabilità delle costruzioni in muratura – Cesare Tocci

57



Grazie per l'attenzione



Politecnico  
di Torino

Strutture  
e Infrastrutture