

La vulnerabilità sismica negli esempi aquilani

Renato Masiani

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
STRUTTURALE E GEOTECNICA



Prima Facoltà
di Architettura "Ludovico Quaroni"
Roma "La Sapienza"

Architettura

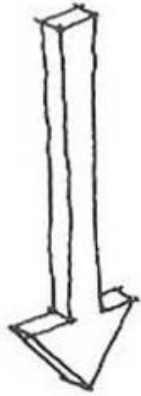
ATENEO
DELLE SCIENZE UMANE, DELLE ARTI E DELL'ARCHITETTURA



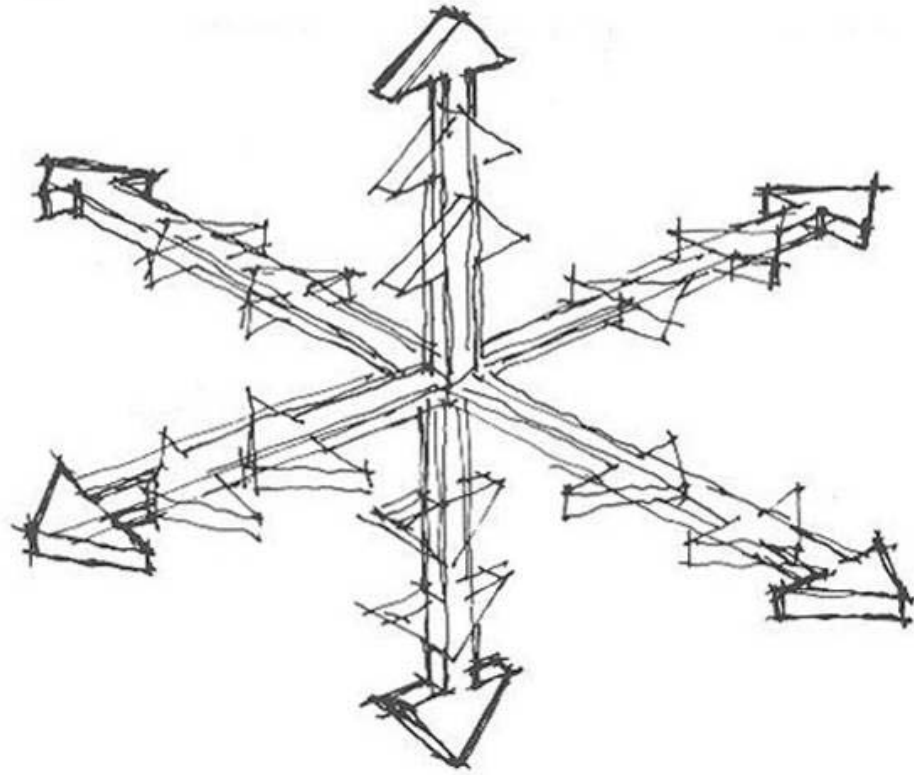
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Introduzione

Azioni indotte dalla gravità e dal sisma



Gravità



Sisma

(Arnold & Reitherman 1982)

Il terremoto torna...

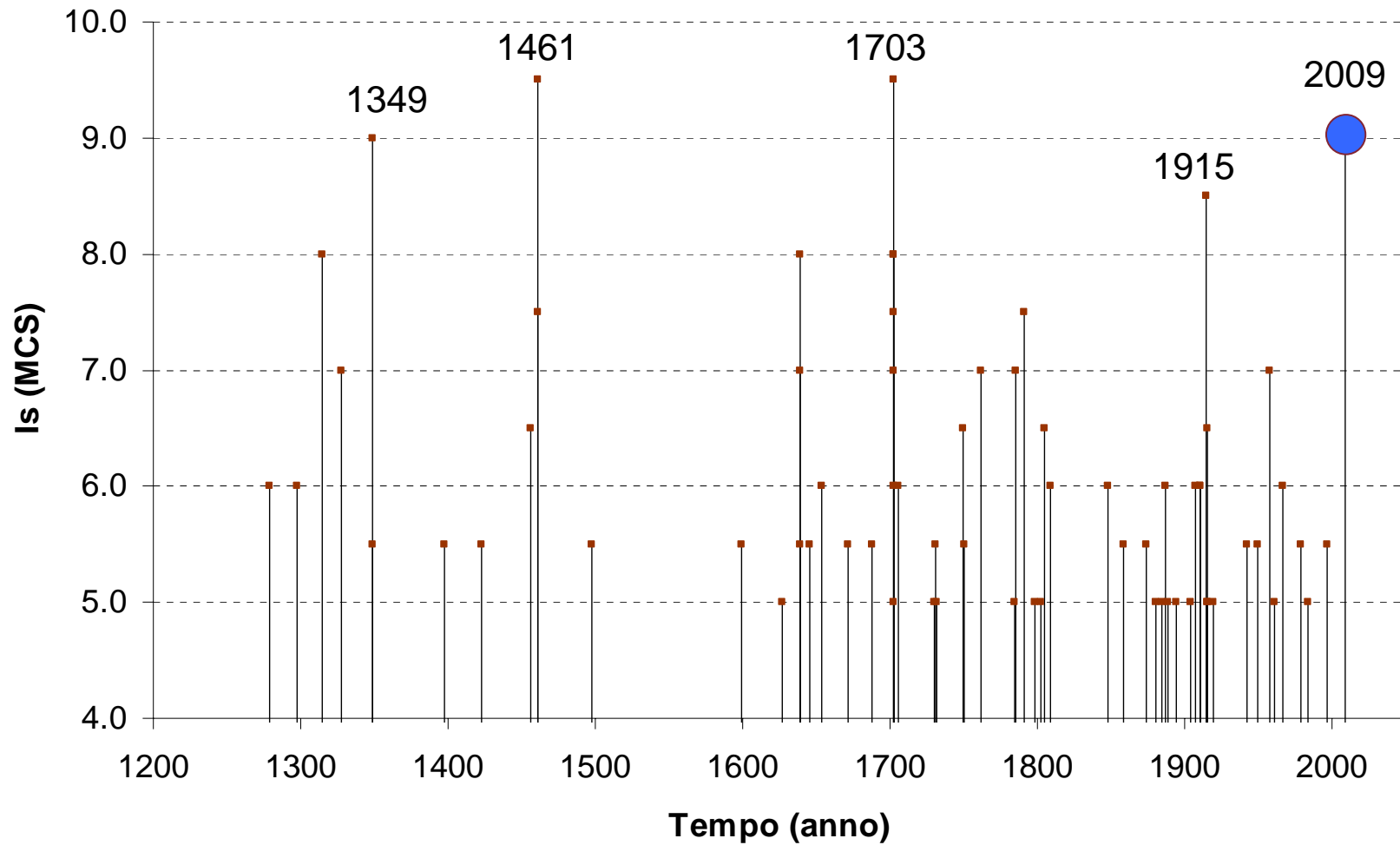


Foto emblematiche dei danneggiamenti



Incremento locale della severità dello scuotimento

Numerosissime osservazioni hanno messo in evidenza che gli effetti dei terremoti sulle costruzioni possono variare fortemente anche per distanze di qualche decina di metri.

La severità del moto del suolo può essere aumentata da condizioni sfavorevoli:

- Geologia di superficie
Caratteristiche dinamiche e geometria dei depositi di terreno
- Situazione morfologica
Costruzioni su rilievi e pendii
- Processo di rottura alla sorgente
Propagazione ed effetti di direttività

Le precedenti considerazioni possono, in parte, spiegare il danneggiamento “a macchie di leopardo” osservato a L'Aquila.

Tipi strutturali e danneggiamenti sismici

Materiale		Vincoli		Modalità prevalente di crisi
Muratura	→	Assemblaggio	→	Crisi locale o globale
Cemento armato	→	Continuità	→	Collasso globale
Cemento armato + buona tamponatura	→	Continuità	→	Rottura tamponature

Edifici con vittime: L'Aquila Centro

Struttura	Vittime	Edifici con vittime
Edifici di c.a.	135	15
Edifici di muratura	52	32



**Via Campo di Fossa
23 vittime**

Vulnerabilità mostrata dagli edifici con struttura di c.a.

Edifici di cemento armato

Centro de L'Aquila

- Gli edifici di c.a. collassati o con danni gravissimi costituiscono una percentuale relativamente bassa del patrimonio immobiliare esistente di c.a.;
- In molti casi, nelle vicinanze degli edifici collassati sono presenti altri fabbricati sopravvissuti con danni perlopiù modesti. Ciò evidenzia significative differenze di vulnerabilità.

Posizione
(Google Maps)



Alcuni criteri di configurazione resistente al sisma.

Edifici con struttura di c.a.

Commisuratamente alla sismicità del sito:

1. L'edificio deve resistere a sollecitazioni sismiche dirette secondo due direzioni ortogonali in pianta e costituire un meccanismo atto a sopportare efficacemente le torsioni
2. Si devono evitare cambiamenti bruschi di rigidezza e resistenza in elevazione e pianta (ad es.: “piano soffice” – piano *pilotis*)
3. Si devono evitare elementi strutturali corti: colonna e trave tozze
4. I pilastri devono essere più forti delle travi, affinché la rottura nelle travi preceda quella nei pilastri. In questo modo si evitano i collassi piano su piano
5. Uso intelligente dell'effetto benefico delle tamponature (no a discontinuità delle resistenze)

Possibili cause di danneggiamenti gravi e collassi.

Edifici con struttura di c.a.

1. Configurazione della struttura inadeguata all'articolazione dell'edificio
2. Disposizione degli elementi non strutturali inadeguata alle caratteristiche della struttura (piano "soffice")
3. Presenza di travi "forti" e pilastri "deboli"
4. Presenza di telai in una sola direzione
5. Presenza di pilastri tozzi
6. Particolari costruttivi inadeguati: staffatura di pilastri e nodi, lunghezza di ancoraggio e sovrapposizione delle armature
7. Azione sismica più alta di quanto atteso in fase di progettazione
8. Insufficiente qualità del calcestruzzo, sia in termini di resistenza sia in termini di getto (ad es.: segregazione, giunti, effetto di capillarità)
9. Elementi non strutturali a rischio di collasso, anche solo locale

Pilastri tozzi

Edificio in via Poggio S. Maria 8



Edificio sopravvissuto

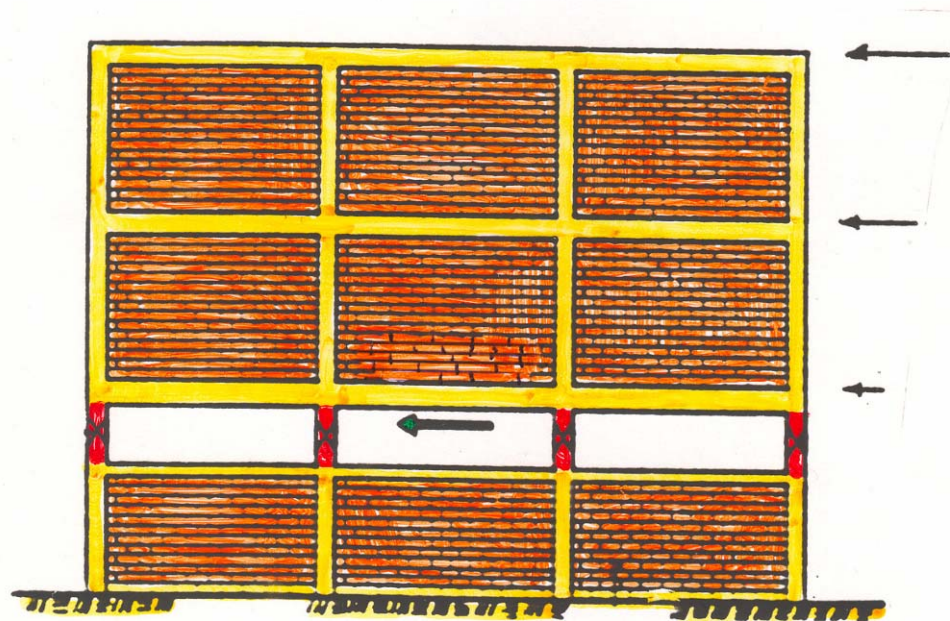
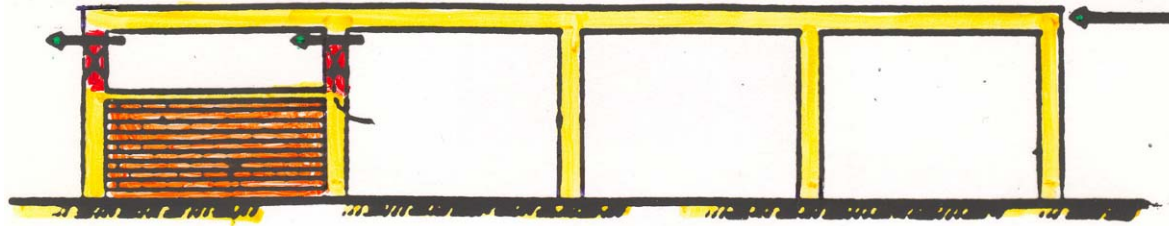
Vista prima del sisma (Virtual Disaster Viewer)

Edificio in via Poggio S. Maria 8

Vista prima del sisma da via
G. Finamore
(Google Street View)
Si noti il pilastro tozzo



Ruolo delle tamponature: formazione pilastri tozzi



Edificio in via Poggio S. Maria 8



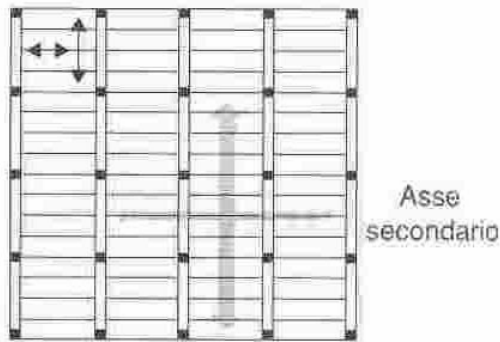
Collasso completo

Telai tessuti in una sola direzione



Telai orditi in una
sola direzione
Ribaltamento
tamponature

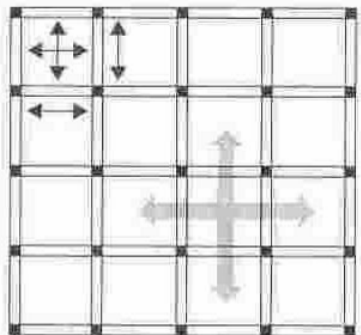
Telai in una sola direzione



Asse primario
Caratteristica spaziale
Sistema ad una via -
travi e colonne.

Struttura monodirezionale,
assenza di telai in una
direzione.

Non corretto



Spazio a sviluppo bidirezionale
Sistema a due vie - piastra
piana e travi ortogonali.

Struttura bidirezionale.

Corretto

Configurazione planimetrica

Edificio in via XX settembre 123

Edifici sopravvissuti



Vista aerea
(Visual Pagine Gialle)

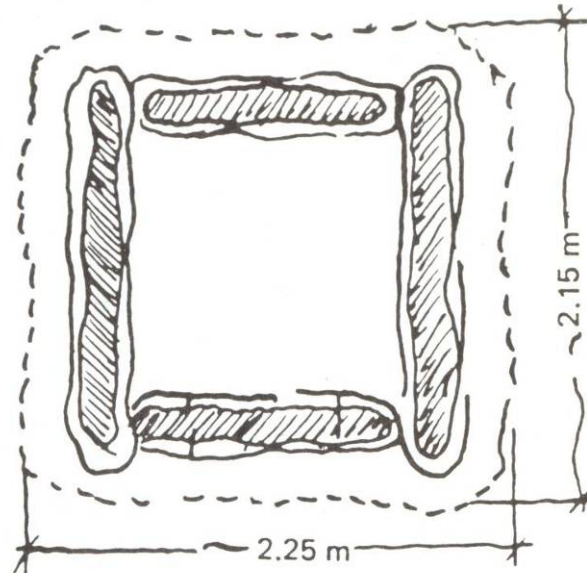
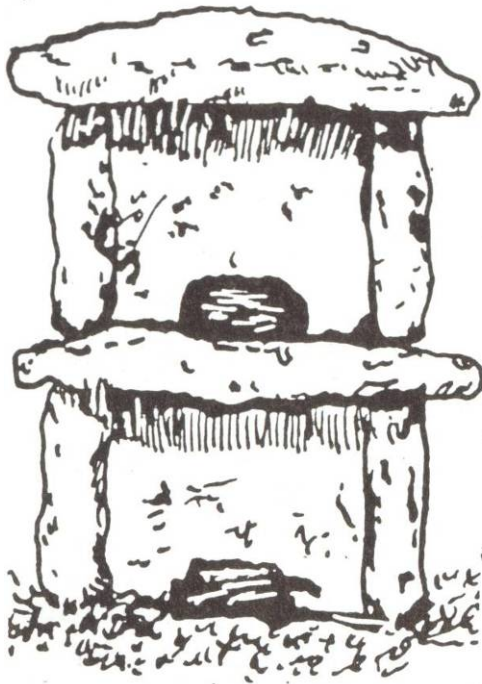
Edificio in via XX settembre 123



Vista prima del sisma:

Pianta articolata

(Virtual Disaster Viewer)



Maggiore l'articolazione dell'edificio maggiore dovrà essere la cura nella progettazione e nell'esecuzione, per ottenere una buona prestazione sismica

Dolmen a due livelli resistente al sisma (Gorikdi, Azerbaijan)

Edificio in via XX Settembre 123



Collasso completo
(Corriere)

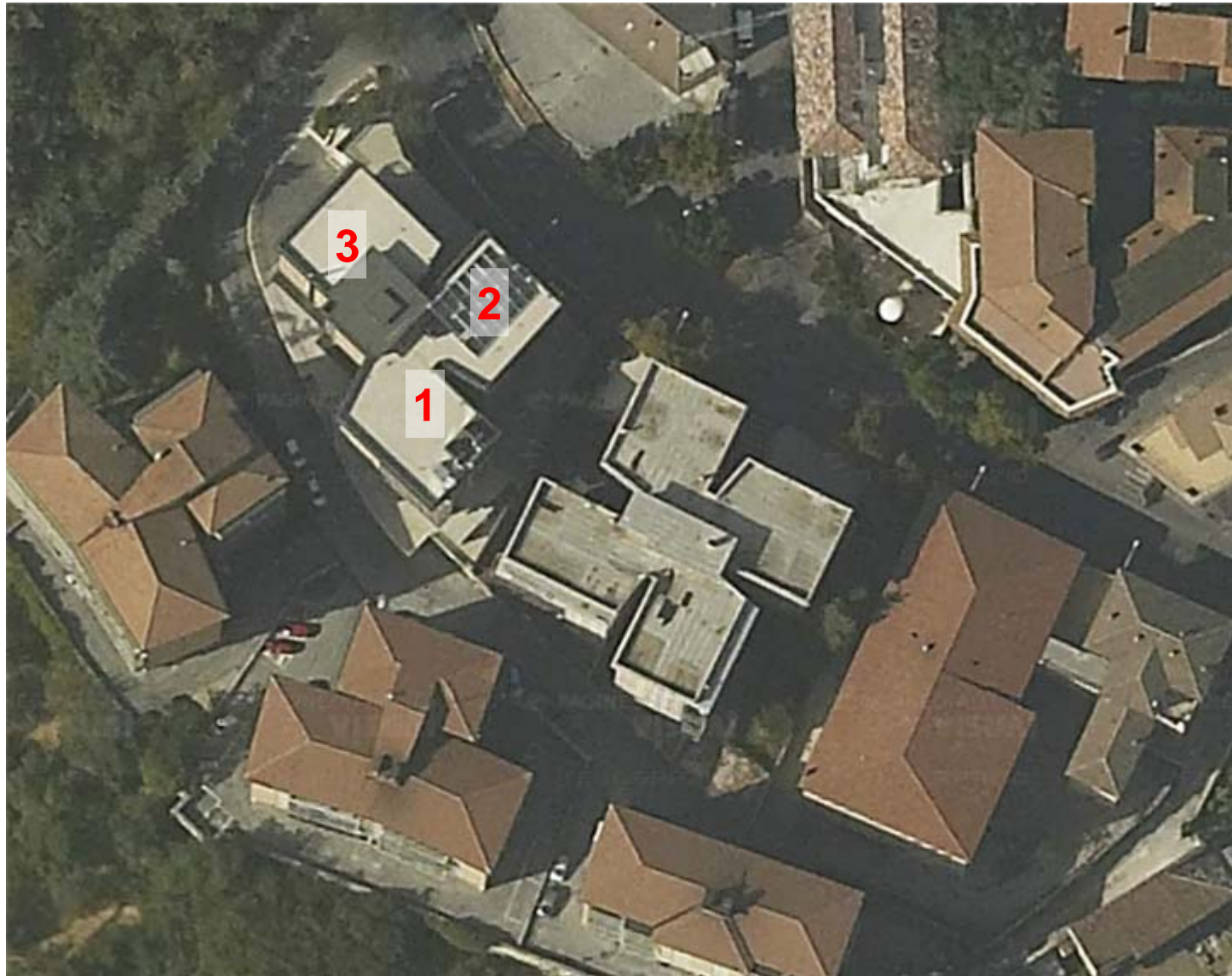


Edificio in via XX Settembre 123



Collasso completo

La casa dello Studente



(Visual Pagine Gialle)

Configurazione in altezza

Hotel Duca degli Abruzzi



Vista prima del sisma
(Virtual Disaster Viewer)

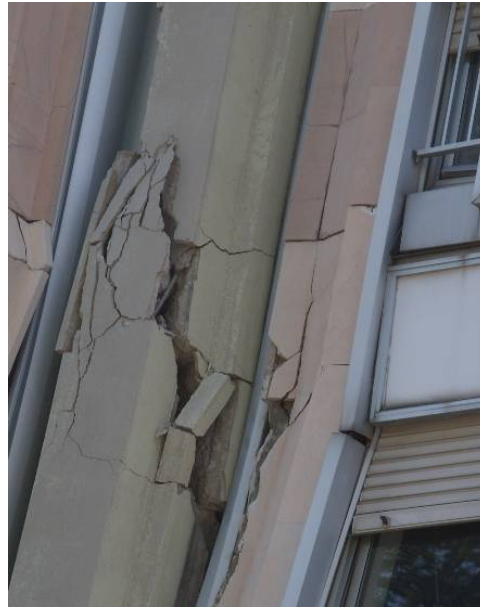


Hotel Duca degli Abruzzi, in Viale Giovanni XXIII



Vista prima del sisma:
piano “soffice” e declivio
(Google Street View)

Hotel Duca degli Abruzzi, in Viale Giovanni XXIII



Non occupato al
momento del sisma

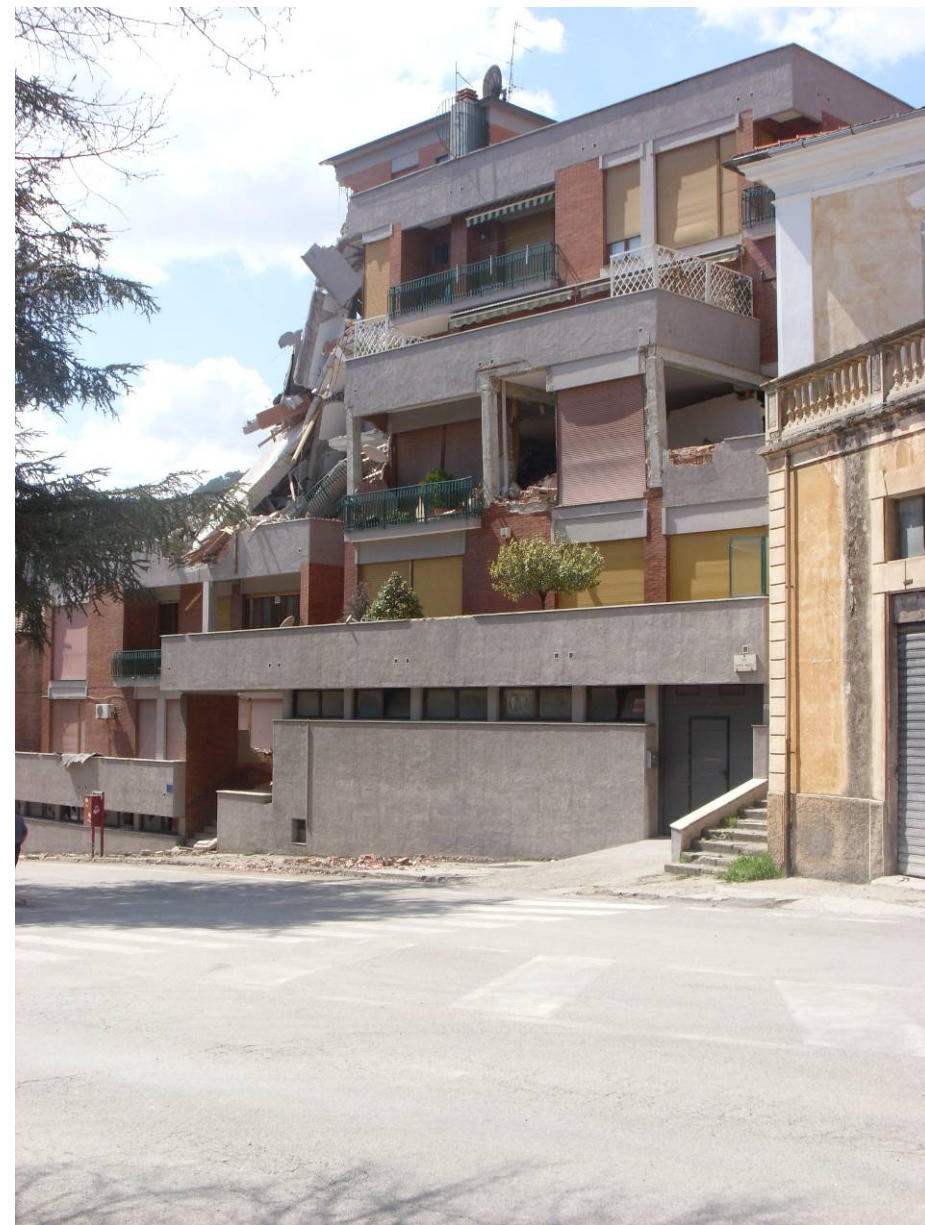
Edificio in via Porta Napoli

Vista prima del sisma: si
noti il piano con telai nudi
(Google Street View)



Edificio in via Porta Napoli

7 aprile



Interazione fra gli edifici

Edificio in via Campo di Fossa



Vista area (Visual Pagine Gialle)

Edificio in via Campo di Fossa



Vista prima del sisma (Virtual Disaster Viewer)

Edificio in via Campo di Fossa



6 piani fuori terra e
uno interrato

Vista prima del sisma
(Google Street View)

Edificio in via Campo di Fossa



Collasso completo
(Corriere)

Edificio in via Campo di Fossa



(Corriere)

Possibile interazione con l'edificio adiacente??

Giunti sismici??





Interazione edifici c.a.



Via de Bartholomaeis 9:
“Piano soffice”



Interazione edifici c.a.



Via XX Settembre:
Martellamento per assenza di giunto sismico

Importanza dei dettagli

Edifici in via Dante Alighieri 2



Vista prima del sisma
(Virtual Disaster
Viewer)

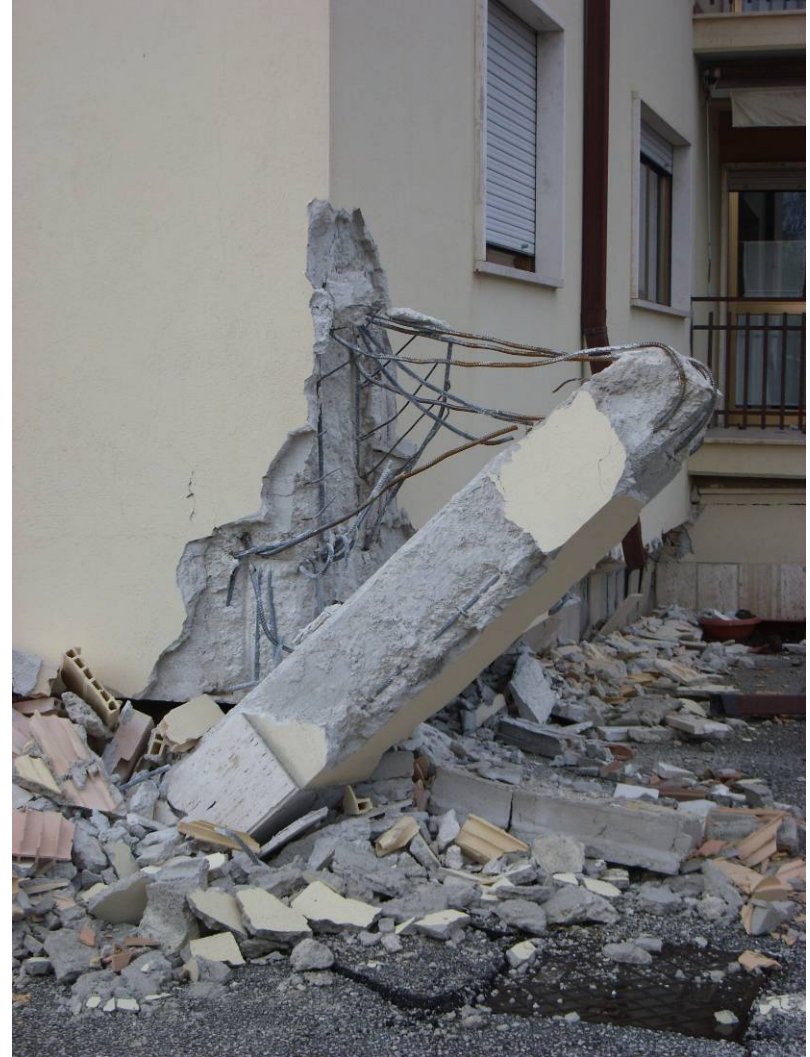


Edificio in via Dante Alighieri 2

Piano soffice al
livello terra



Edificio in via Dante Alighieri 2



Edificio in via Dante Alighieri 2

Assenza di staffe
nel nodo



Edificio in via Campo di Fossa

Ancoraggi insufficienti

Staffature rade e aperte

Travi forti e pilastri deboli

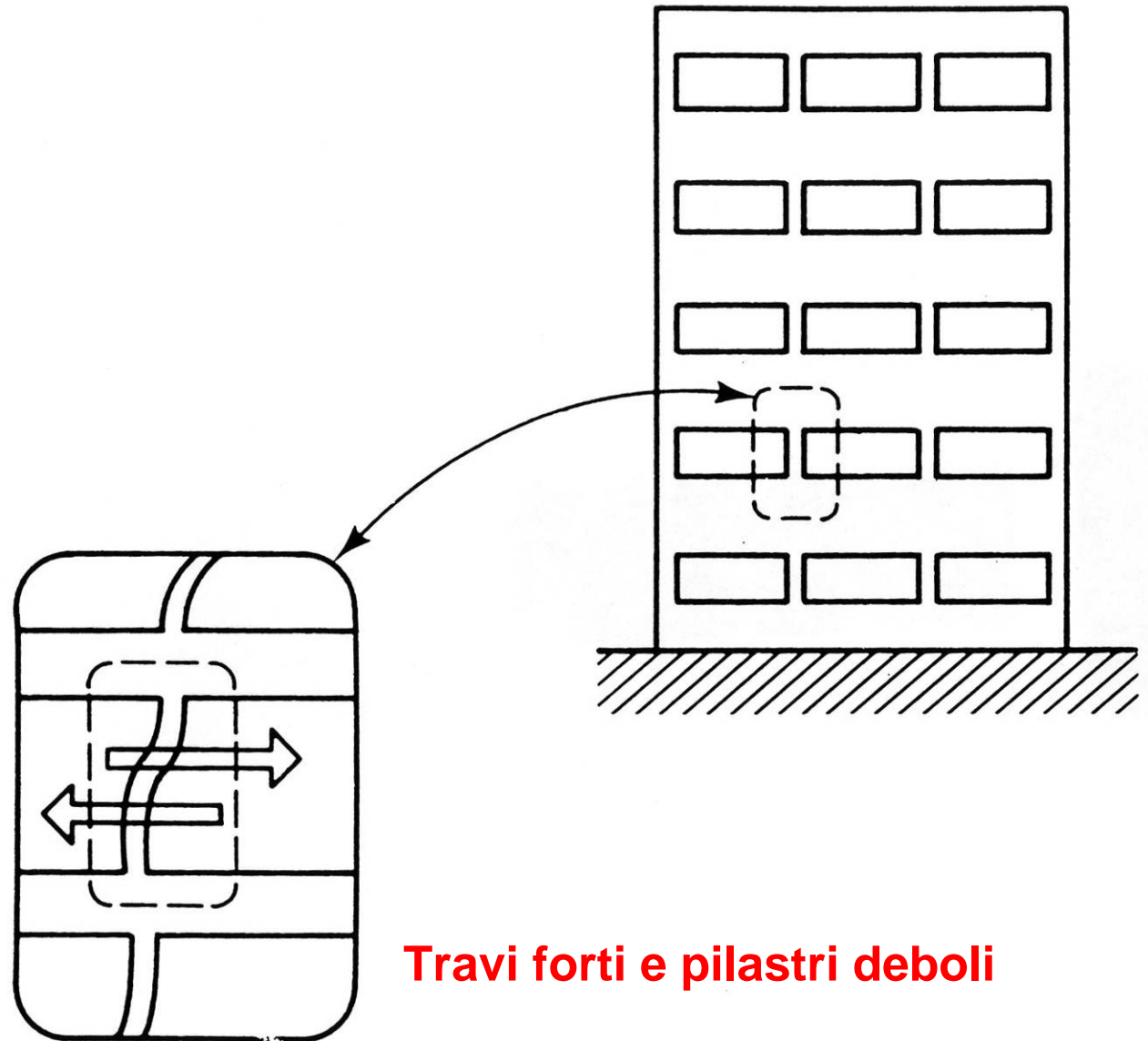


Difetti edifici c.a.



Carenza ancoraggio solai

Travi e pilastri



Edificio in via Stefano Santucci 3

Vista prima del terremoto
(Google Street View)



Edificio in via Stefano Santucci 3



L'ala
completamente
crollata:

Trave forte e
pilastro debole

Ruolo delle tamponature

Edificio in via G. d'Ocre 12



Vista area (Visual
Pagine Gialle)

Edificio sopravvissuto

Edificio in via G. d'Ocre 12

Vista prima del sisma
(Google Street View)

Edificio sopravvissuto



Edificio in via G. d'Ocre 12



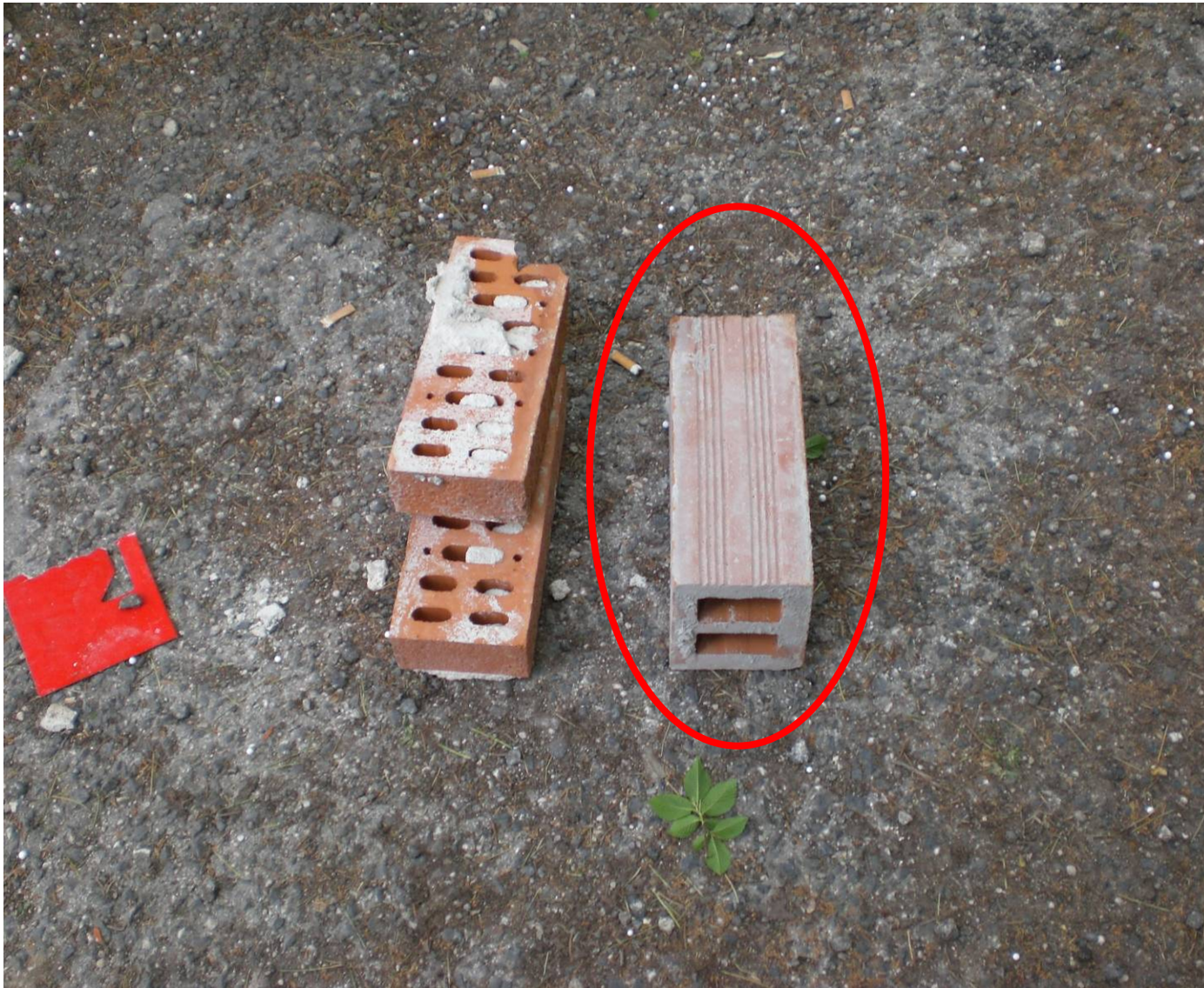
Edificio sopravvissuto

Vista prima del sisma (Virtual Disaster Viewer)

Edificio in via G. d'Ocre 12

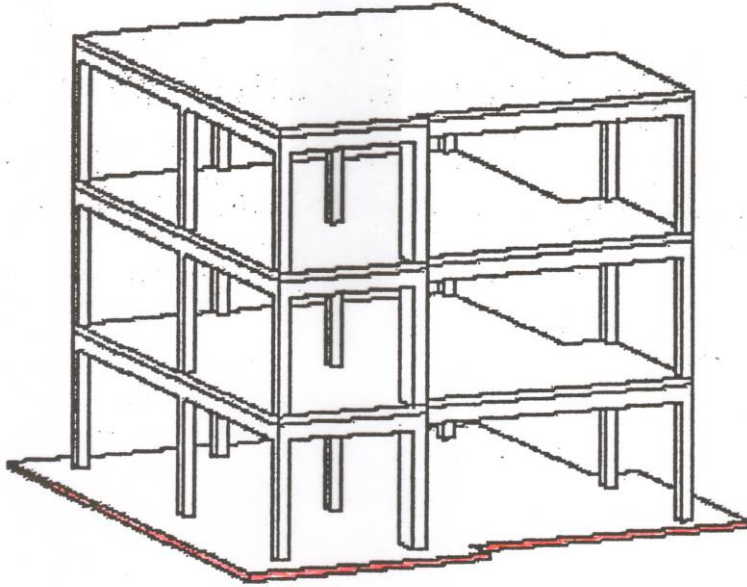


Edificio in via G. d'Ocre 12



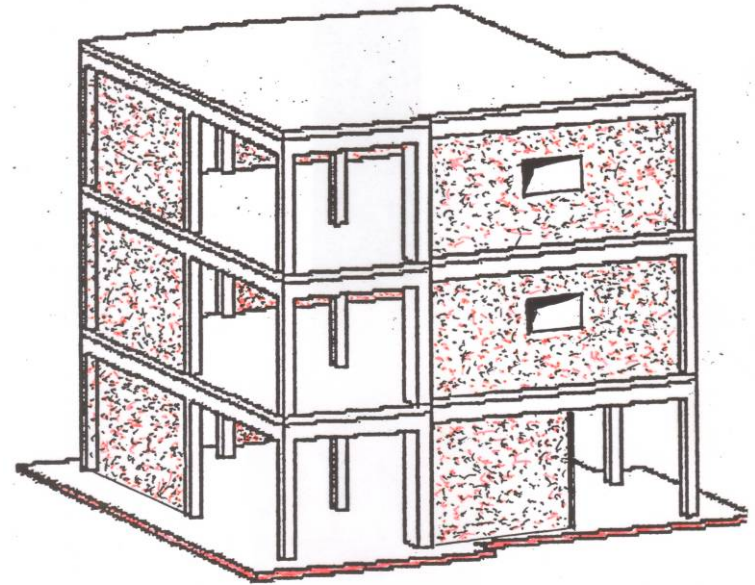
Cambio di
tamponatura da un
edificio all'altro

Ruolo delle tamponature



Telaio Nudo

≠



Telaio con Tamponature

Edificio in via Dante Alighieri 2

Vista prima del terremoto
(Google Street View)



Edificio in via Dante Alighieri 2

Piano soffice al
livello terra



Edificio in via Milonia II

Vista prima del sisma (Google Street View)



Edificio in via Milonia II

Piano sofficie al
livello terra



Vulnerabilità indotta sulla viabilità veicolare e pedonale

Vulnerabilità indotta sulla viabilità



Vulnerabilità indotta sulla viabilità



L'Aquila, via delle Bone Novelle

Difetti edifici c.a.



Viale Corrado IV (prima e dopo il sisma):

Ribaltamento tamponature

Edifici di muratura con vittime: provincia L'Aquila

Località	Vittime
Bazzano	1
Castelnuovo	5
Civita di Bagno	2
Fossa	4
Onna	38
Paganica	4
Pianola (c.a.?)	1
Poggio Picenze	5

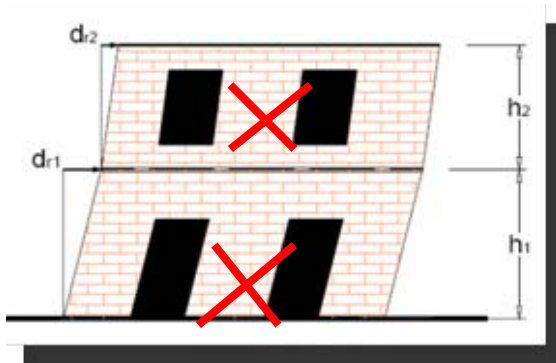
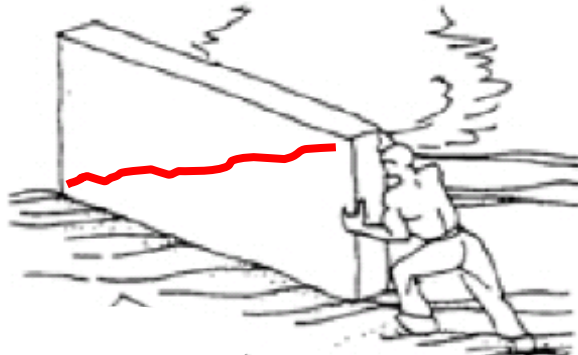
Località	Vittime
Roio Piano	2
Roio Poggio	1
San Demetrio ne' Vestini	3
San Benedetto di Bagno	1
San Gregorio	5
Sant'Angelo di Bagno	1
Tempera	7
Villa S. Angelo	17

Totale: 97

Vulnerabilità mostrata dagli edifici di muratura

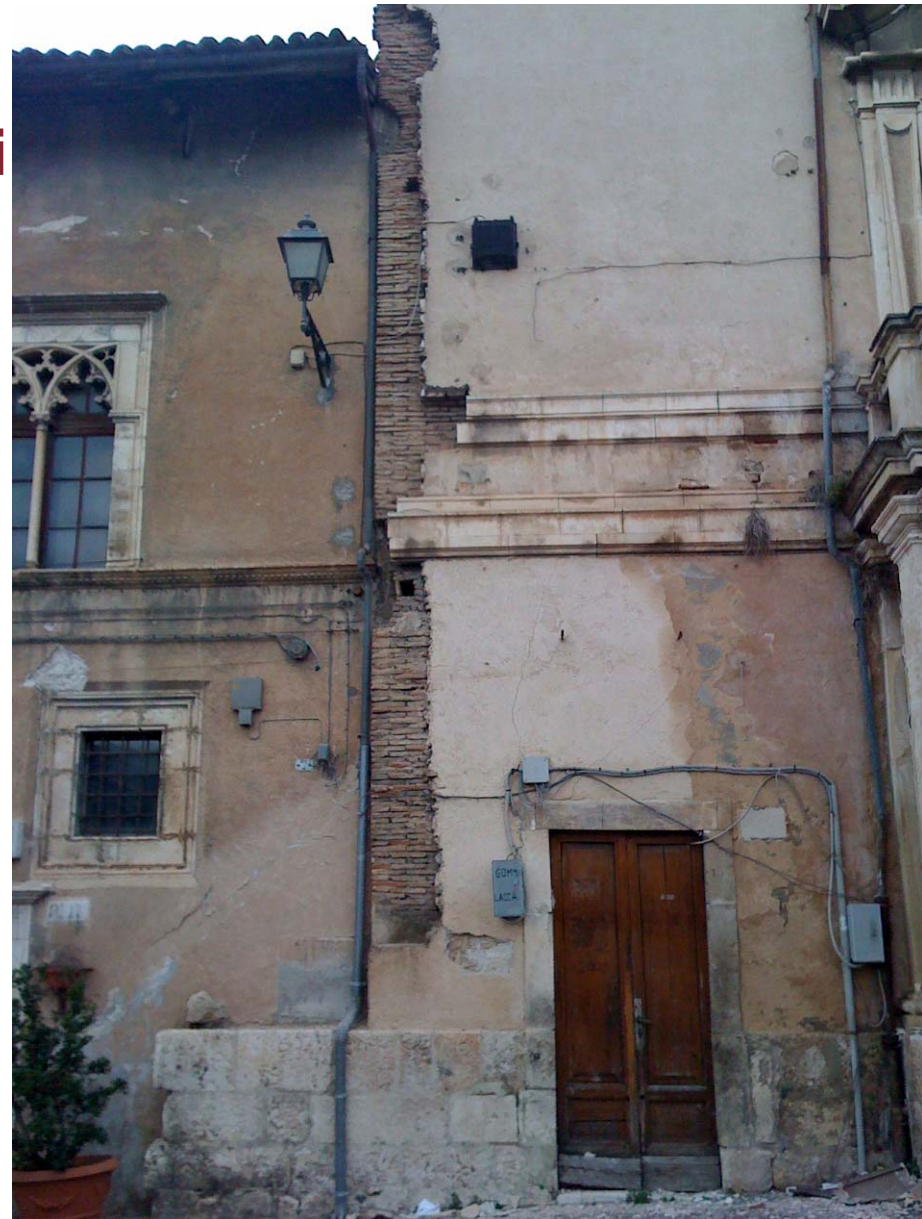
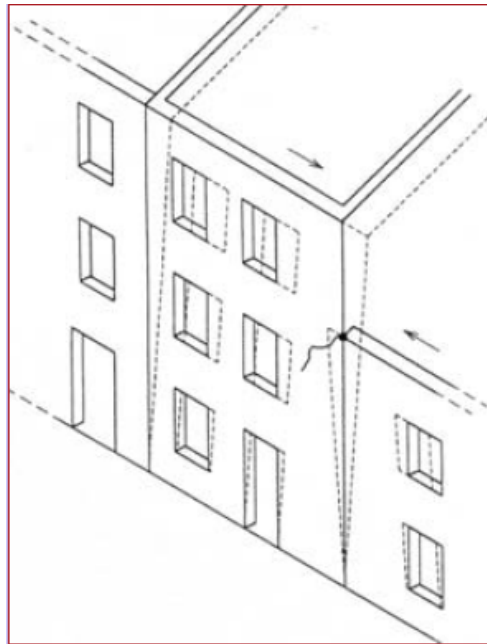
Collasso nel piano

- Questa parete ha funzionato a tutt'altezza
- I solai ai piani sono tessuti parallelamente alla facciata.



Martellamento di pareti adiacenti negli aggregati

- Il danno è solo locale
- Si dissipa energia



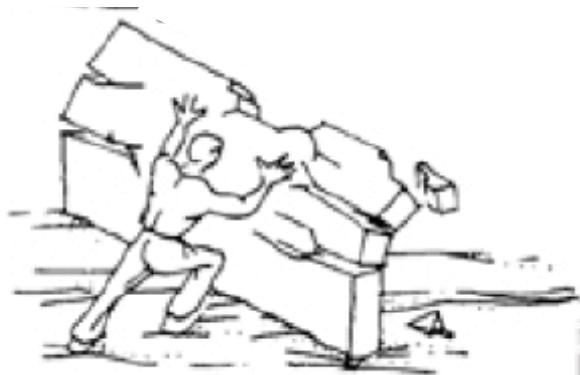
Martellamento o ribaltamento?

- In questo caso si tratta di ribaltamento incipiente della facciata, che non è immorsata



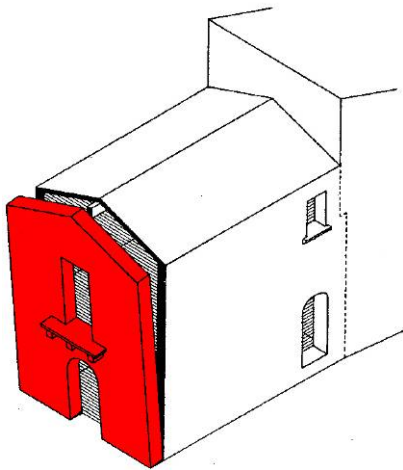
Tipi di collasso

- Fuori dal piano
- Non è collegata trasversalmente
(San Vincenzo, Tione degli Abruzzi AQ)



Ribaltamento della parete laterale

- Limitato collegamento alle strutture orizzontali
- Il ribaltamento è indotto anche dal martellamento della trave rompitratta (Paganica AQ)



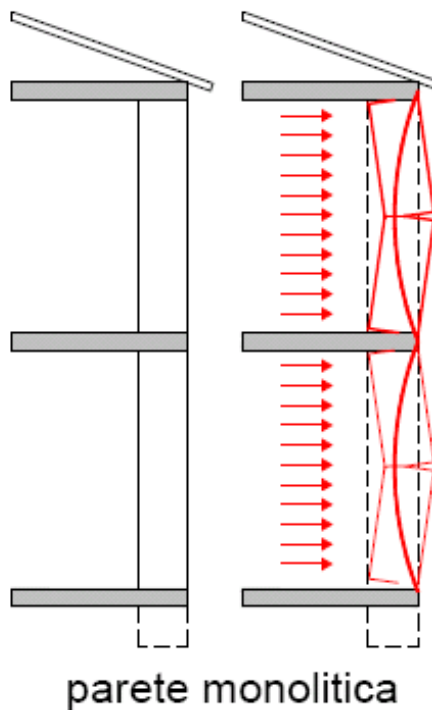
Flessione verticale

- La parete è ben vincolata agli estremi ma troppo snella (Palazzo Galeota, Poggio Picenze AQ)



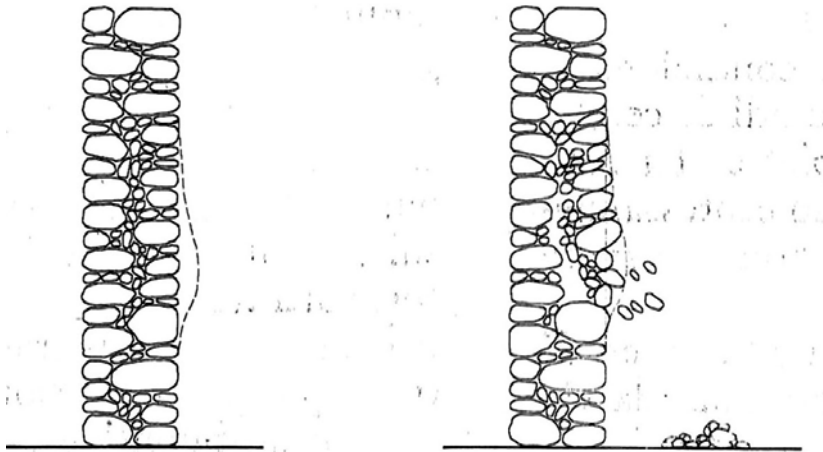
Flessione verticale

- In questo edificio a Paganica, si è avuto il collasso completo delle facciate



Disgregazione della muratura

- In questo edificio di Poggio Picenze (AQ) la muratura si è disgregata



Disgregazione della muratura

- In caso di disgregazione della muratura i tiranti sono poco efficaci. (Paganica)



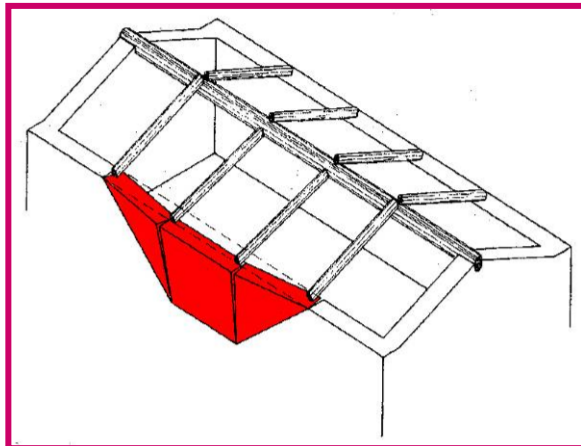
Crollo della cimasa

- Via dei Giardini 3, L'Aquila prima del sisma



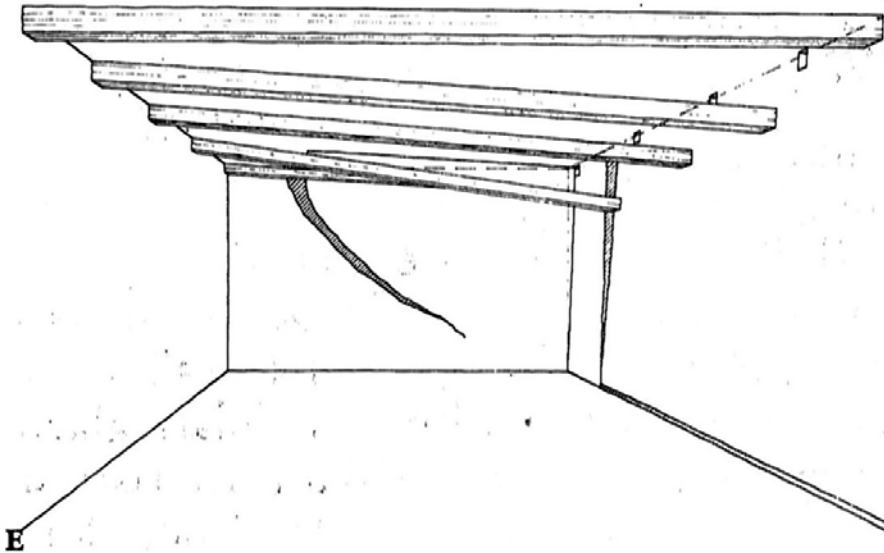
Crollo della cimasa

- Via dei Giardini 3, L'Aquila dopo il sisma



Danni alle strutture orizzontali

- Crollo delle strutture orizzontali
- Carenza dei collegamenti con le murature
(Paganica AQ)



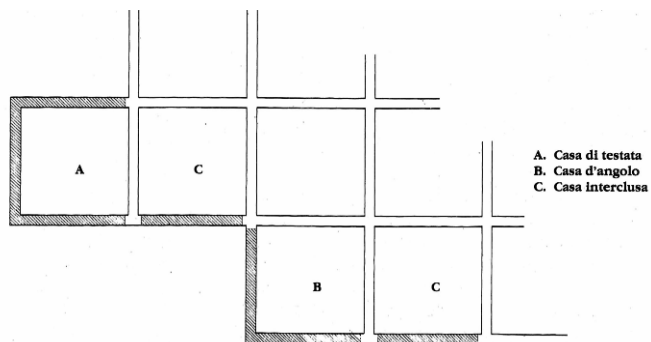
Volte di mattoni in foglio



Palazzo Quinzi, L'Aquila

Danni alle unità edilizia d'angolo e di testata

- Assenza dell'effetto contrafforte delle unità intercluse
(Paganica AQ)



Elementi non strutturali

- La balaustra di questo palazzo è stata coinvolta nel distacco della modanatura dell'apertura principale (Piazza Santa Maria di Paganica, L'Aquila)



Elementi non strutturali

- Le lastre di questo balcone si sono separate e sono ruotate (Paganica, L'Aquila)



Elementi non strutturali

- Il cornicione di questo palazzo è caduto (Paganica AQ)



Vulnerabilità indotta da costruzioni vicine

- Non è sufficiente intervenire su un singolo edificio



L'importanza di una continua manutenzione

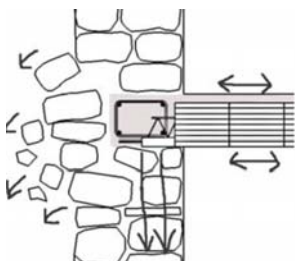
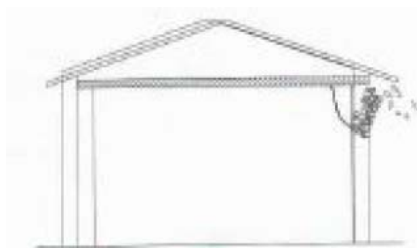
- Vista d'insieme a Paganica



Edifici consolidati

Edifici consolidati

- Cordoli troppo rigidi rispetto alla muratura



Meccanismi fuori dal piano

- Tetto ligneo sostituito con laterocemento: crollo del timpano
 - S. Giovanni Battista ed Evangelista, a Succiano



Considerazioni generali

- La risonanza del sisma è stata significativamente legata all'alto numero di vittime, circa la metà, in un limitato numero di edifici in c.a.
- Gli edifici di c.a. collassati o con danni gravissimi costituiscono una percentuale relativamente bassa del patrimonio immobiliare esistente di c.a.
- Per quanto concerne il c.a., è da notare che diverse costruzioni, presumibilmente progettate in accordo alle normative *ante* 2003, si sono comportate abbastanza bene. Le tamponature potrebbero aver giocato al riguardo un ruolo decisivo, dissipando l'energia sismica trasmessa.
- In molti casi nelle vicinanze degli edifici collassati sono presenti altri fabbricati sopravvissuti con danni perlopiù modesti. Sarebbe opportuno approfondire lo studio della risposta di tali costruzioni.
- Il periodo medio di ritorno dell'evento del 6 aprile (in termini macrosismici) si può stimare in circa 350 anni. Pertanto un certo livello di danneggiamento, associato all'escursione in campo anelastico delle strutture, era da attendersi.

Considerazioni generali

- La distribuzione del danneggiamento è a macchie di leopardo. Ciò può essere in parte dovuto a difetti locali delle costruzioni e in parte a effetti di sito (terreno e morfologia) e di canalizzazione delle onde (effetti di sorgente).
- Il calcestruzzo di diversi edifici gravemente danneggiati sembra mancare della frazione degli inerti a grana grossa. Ciò potrebbe comportare una ridotta resistenza di taglio per attrito. Altri difetti osservati sono: riprese di getto, nidi di ghiaia, costipazione non adeguata. L'assenza di staffature appropriate sembra essere generalizzata, non solo nei nodi ma anche nei pilastri. Altro aspetto rilevante è l'assenza di adeguati giunti sismici.
- La componente verticale del moto del terreno verificatasi nel *near fault (hanging wall)* ha aggravato significativamente la risposta al sisma. In alcuni casi potrebbe aver contribuito alle rotture ai piani alti o a metà altezza.
- Nei centri circostanti L'Aquila è facile riscontrare marcate differenze nella risposta al sisma. Ne sono esempio Castelnuovo (IX-X MCS) e San Pio delle Camere (VI MCS), distanti appena 2 km. Tali differenze sono attribuibili alle diverse condizioni morfologiche, geologiche e geotecniche.

Considerazioni generali

- La muratura osservata in molti centri storici è di scarsa qualità, caratterizzata da elementi piccoli e non squadrate, malta di sola calce e abbondante, assenza di ricorsi orizzontali ben apparecchiati e di elementi di connessione trasversale.
- Se la muratura non si disgrega funzionano bene presidi resistenti al sisma, quali le catene metalliche.
- Non è semplice fornire una valutazione sintetica sulla vulnerabilità sismica degli edifici dell'Abruzzo investiti dal recente sisma, considerata la variegata del patrimonio edilizio quanto a tipi, epoca di costruzione, normative di riferimento, etc.
- Tuttavia, i collassi e i gravi danneggiamenti di edifici in c.a., confrontati con i danni relativamente modesti di edifici vicini e altezza simile, sembrerebbero indicare forti variazioni di vulnerabilità.

GRAZIE MILLE!



Softing, 1984-2009: 25 anni di ingegneria

La vulnerabilità sismica negli esempi aquilani

Renato Masiani

renato.masiani@uniroma1.it

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
STRUTTURALE E GEOTECNICA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA