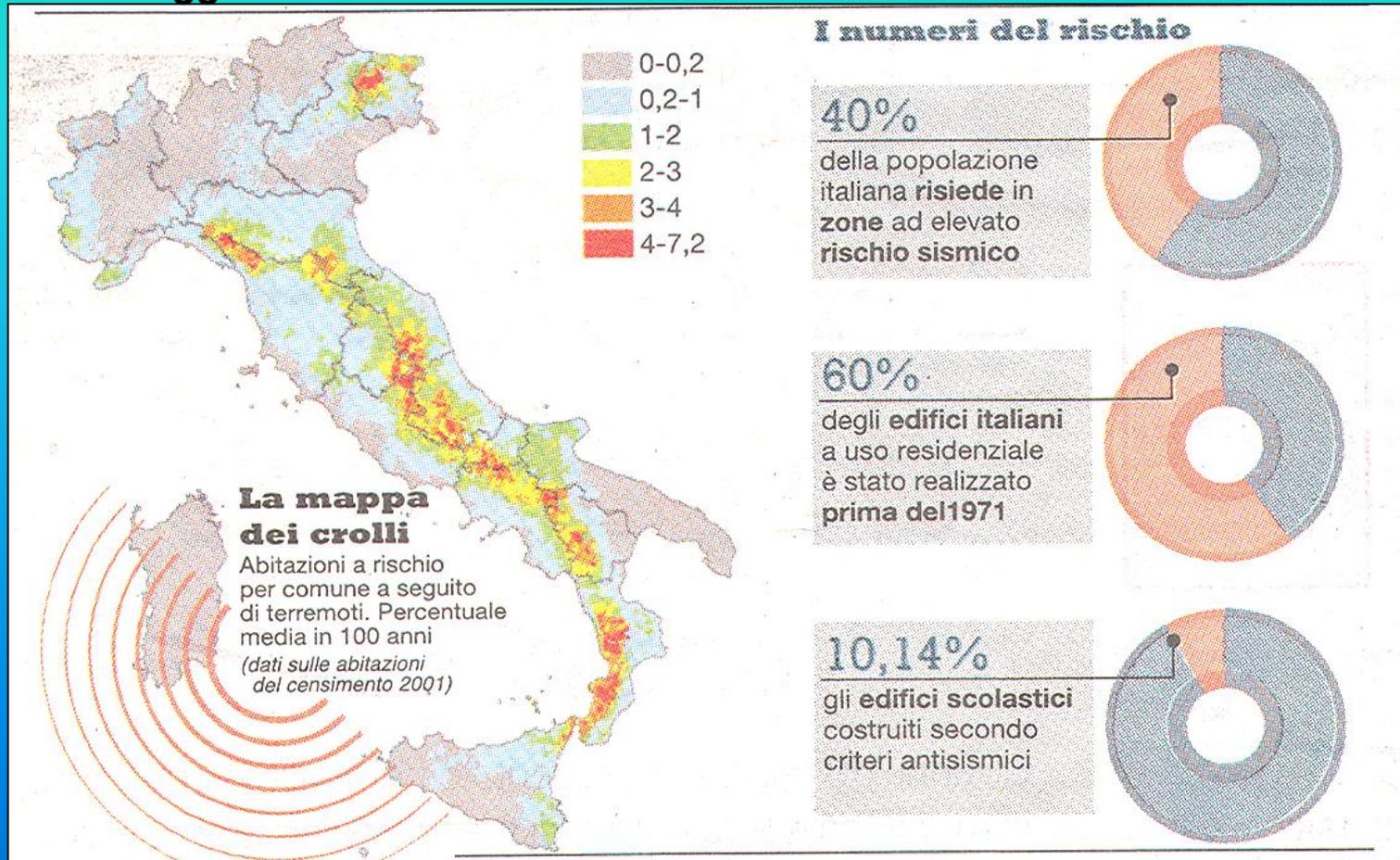


Il problema del rischio sismico in Italia

- Sondaggio del 2012



Terremoto di Umbria e Marche del 1997: M=5,8

Sellano

Nocera Umbra

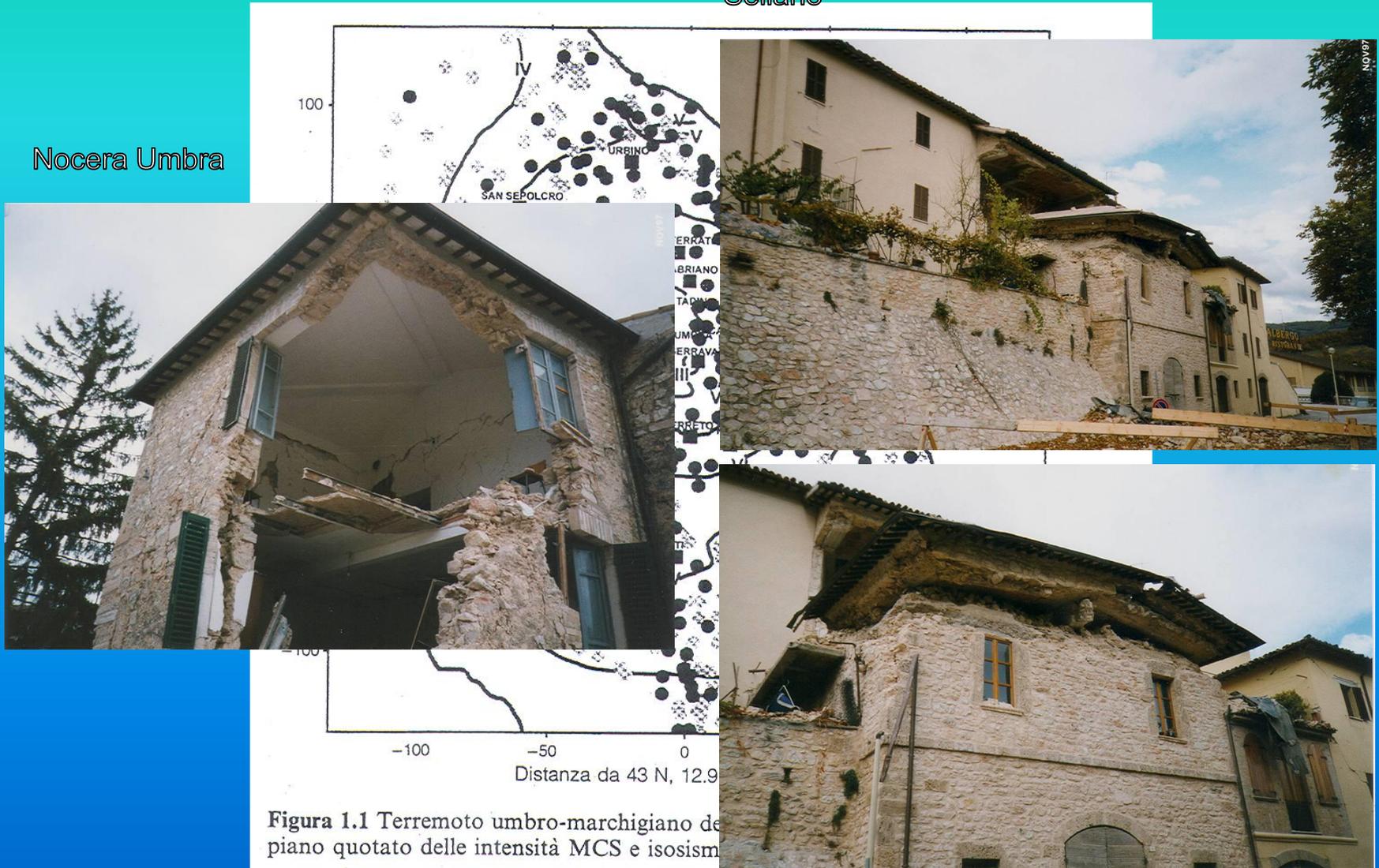


Figura 1.1 Terremoto umbro-marchigiano del 1997. Piano quotato delle intensità MCS e isosismiche.

Terremoto dell'Aquila – Aprile 2009

Scosse principali : 6 aprile (M=5,8)

7 aprile (M=5,3)

9 aprile (M=5,1)

Dal 6 aprile a settembre 2009 i terremoti di M compresa fra 3,5 e 5 sono stati 31.

Le scosse conteggiate nello stesso intervallo di tempo nella stazione INGV MedNet dell'Aquila sono state oltre 20000.

L'area interessata dalla sequenza sismica si estende per oltre 30 km in direzione NO-SE parallelamente all'asse della catena appenninica.

I terremoti della sequenza sono avvenuti principalmente nella crosta superiore, entro 10-12 km di profondità. Solo l'evento del 7 aprile, di Magnitudo 5,3 a SE de L'Aquila ha avuto una profondità di 15 km.

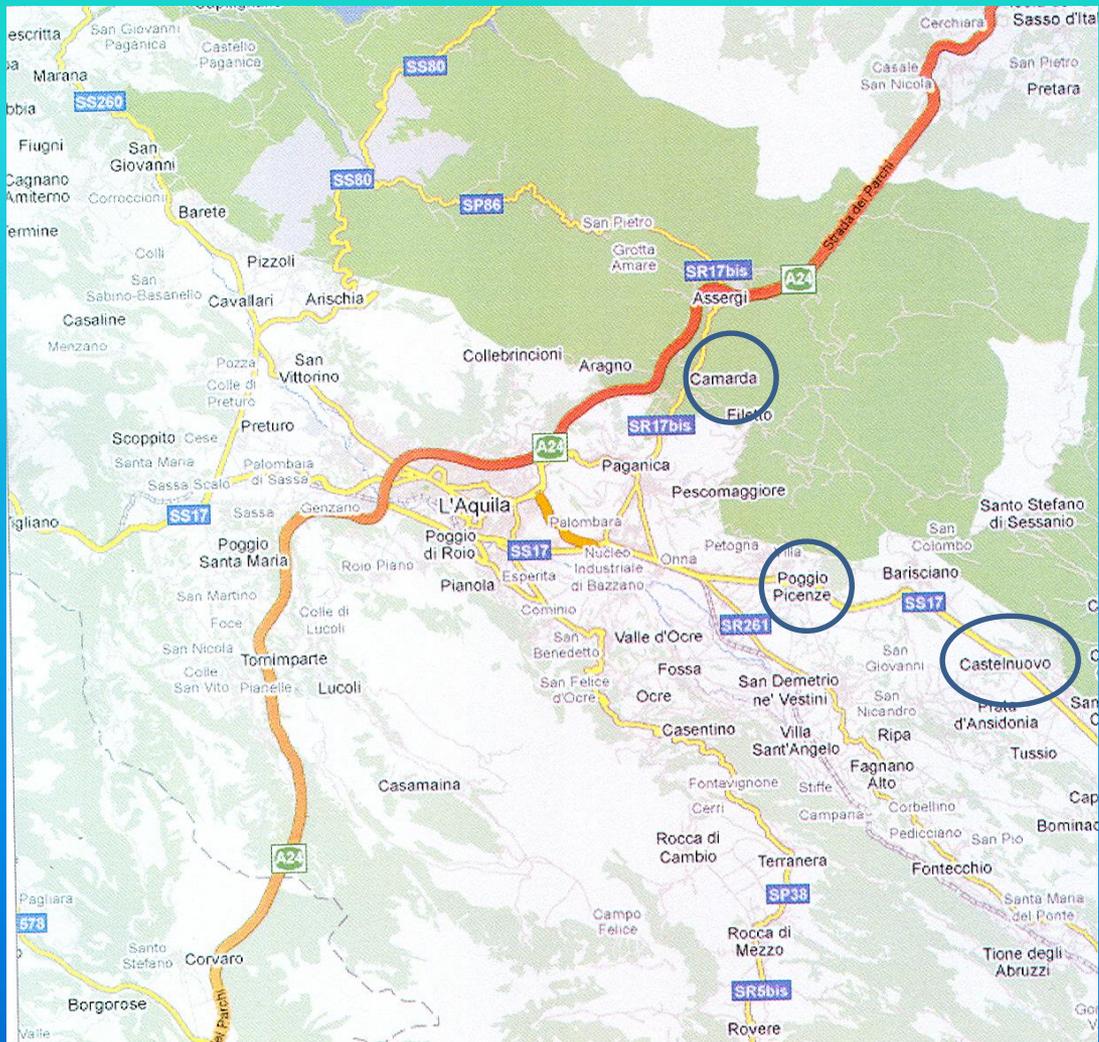
La struttura responsabile della scossa principale è una faglia con movimento diretto che si estende per circa 15 km in direzione NO-SE ed immersione SO e la cui estensione in superficie si localizza in corrispondenza della faglia di Paganica.

Il danneggiamento nella zona epicentrale è determinato, oltreché dall'intensità del terremoto (in relazione ad M) anche dalla direzione di propagazione della rottura e dalla geologia dei terreni. In particolare i danni maggiori si osservano nella direzione verso cui si propaga la fagliazione (effetto di direttività della sorgente) e vengono amplificati nelle aree dove in superficie affiorano sedimenti "soffici", quali depositi alluvionali, terreni di riporto ecc.

Nel caso del terremoto dell'Aquila, la rottura associata all'evento del 6 aprile si è propagata dal basso verso l'alto (quindi verso la città dell'Aquila) e da NO a SE, verso la Valle dell'Aterno.

Il rilievo degli effetti di danneggiamento evidenzia, nel suo complesso, situazioni molto irregolari, con riprese d'intensità anche in zone distanti dall'area mesosismica. I danni più gravi si distribuiscono in direzione NO-SE, in accordo all'orientazione della struttura sismogenetica, con una rilevante propagazione verso SE. I livelli massimi di danneggiamento ($I_s > 9$ MCS) sono riscontrabili prevalentemente in alcune località ubicate in prossimità dell'emergenza superficiale della struttura tettonica responsabile del terremoto (i.e. sistema di faglie di Paganica) tra Tempera e Villa Sant'Angelo, mentre danni gravissimi sono localizzati anche in prossimità dell'epicentro strumentale (zona di Roio e L'Aquila).

In generale sembra evidenziarsi una forte componente di vulnerabilità sismica, associato in qualche caso ad effetti di amplificazione locale molto evidenti, come nel caso di alcuni centri storici (p.e. Castelnuovo, Poggio Pienze, Camarda, Castelvecchio Subéquo).



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

San Gregorio (Comune dell'Aquila): scosse del 6/7 aprile 2009; Is(MCS)=9

Strada del centro



Chiesa di San Gregorio

Grado	Denominazione del terremoto	Corrispondenti valori della accelerazione a mm/sec ²	
VIII	Rovinoso	250 - 500	Risentito nella guida di automezzi. Danni alle murature tipo C(*), ... ziali. Alcuni danni a mu- tipo B(*), non tipo A(*). Ca- stucchi e di alcune pareti. tura. Rotazione a caduta ni, monumenti, torri, serba- vati. Costruzioni con strut- legname smosse dalle fon- se non imbullonate; pan- lle pareti lanciati fuori. di pulzate deteriorate. di rami di alberi. Varia- zioni di portata o di temperatura di sorgenti e pozzi. Crepacci nel terreno e sui pendii ripidi.
IX	Disastroso	500 - 1000 0,1 g	Panico generale. Distruzione di murature di tipo D(*), gravi danni a murature tipo C(*) talvolta con crollo completo; seri danni a mu- rature tipo B(*) (danni generali alle fondazioni). Gravi danni ai serbatoi. Rottura di tubazioni sotterranee. Rilevanti crepacci nel terreno. Nelle aree allivione- li espulsione di sabbia e fango, formazione di crateri di sabbia.
X	Disastrosissimo	1000 - 2500 0,25 g	Distruzione di gran parte delle delle murature e delle strutture in legame, con le loro fondazio- ni. Distruzioni di alcune robuste strutture in legname, con le loro

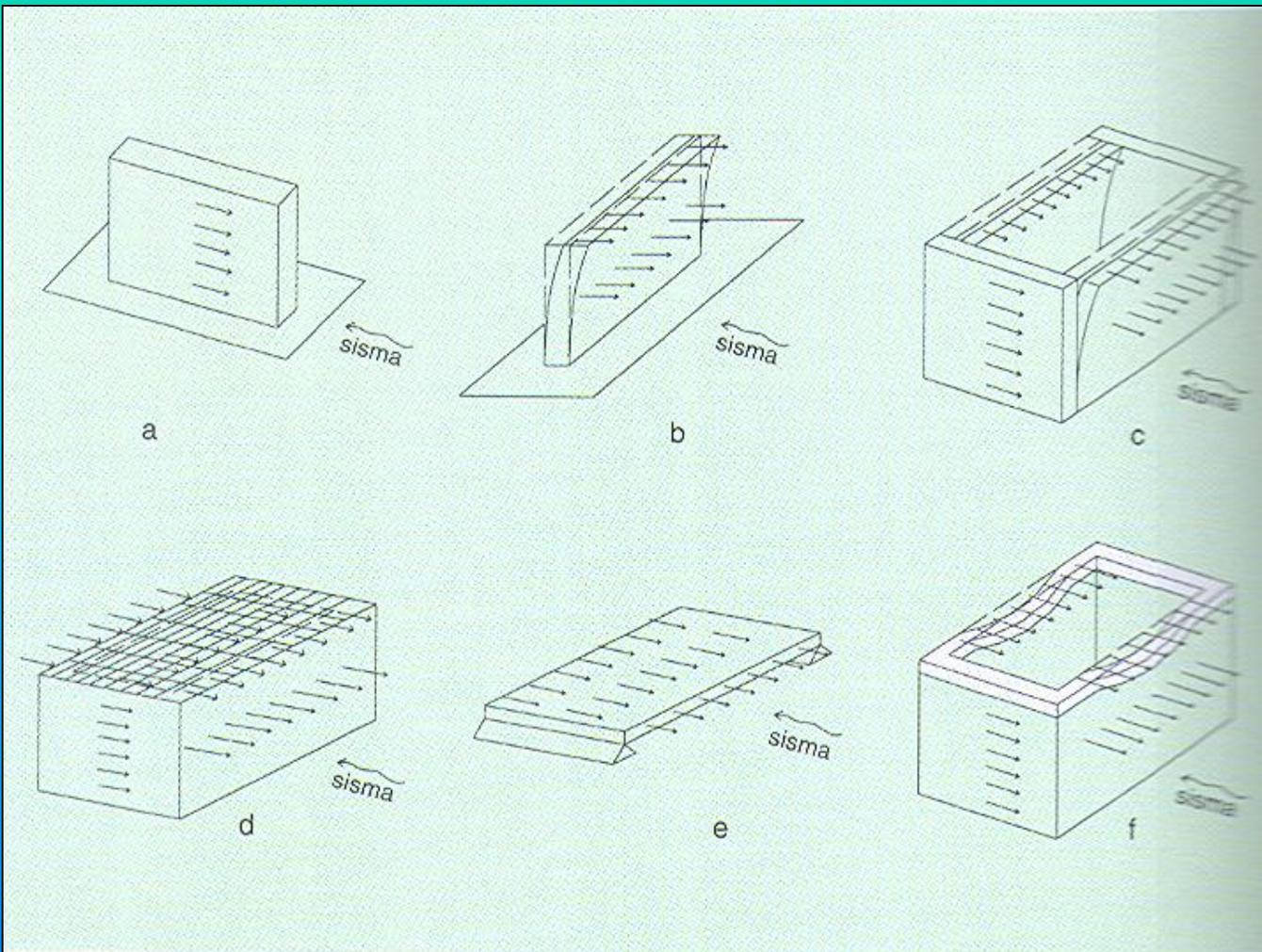
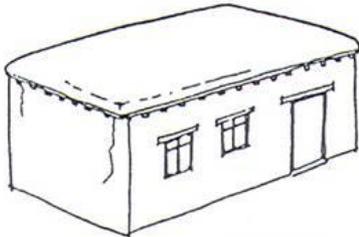
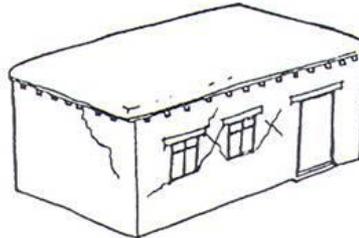


Figura 33 Azione del sisma su pareti isolate: a) fianco sisma; b) fronte sisma. Effetto "scatola": d "chiusa"; f "aperta"

Reactivation of Existing Weaknesses

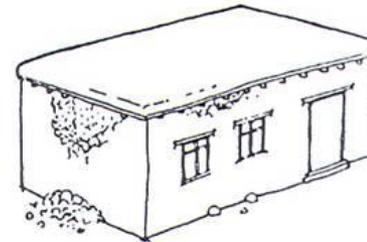


Vertical Cracking at Corners



Diagonal Cracking and Around Openings

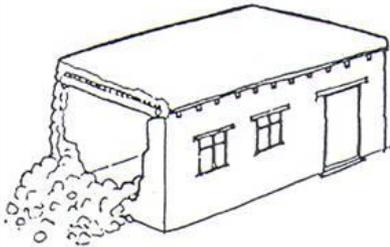
- Often old movement or settlement cracks reactivated



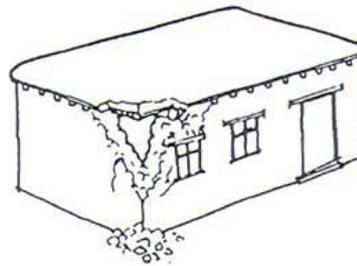
Skin Splitting

- Existing masonry instabilities triggered

Structural Separation



End or Non-loadbearing Wall Separation



Wedge shaped Corner Failure

Villa S. Angelo: scosse del 6/7 aprile 2009; $I_s(MCS)=9$



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

Onna: scosse del 6/7 aprile 2009; $I_s(MCS)=9,5$

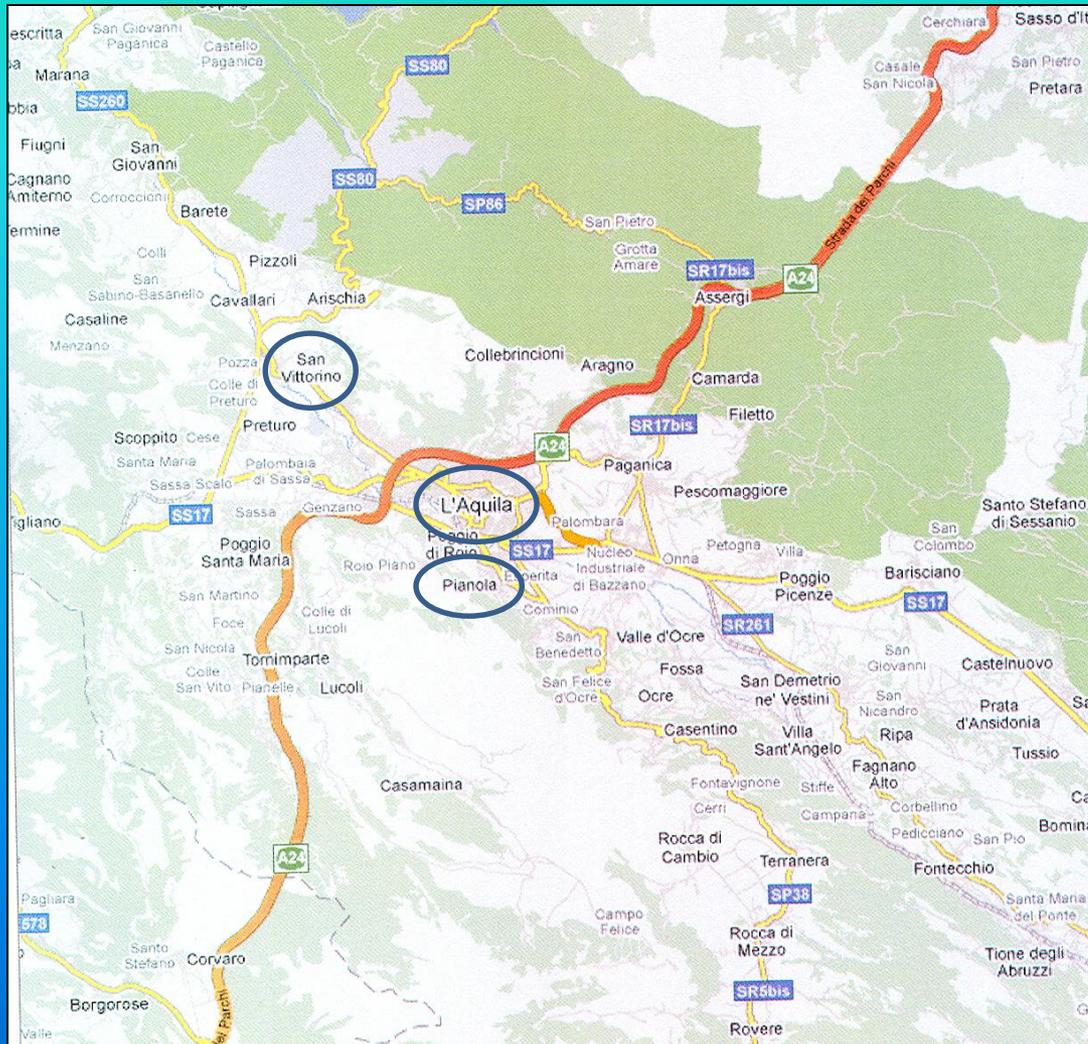
Strade del centro



Paganica (L'Aquila): scosse del 6/7 aprile 2009; $I_s(MCS)=8,0$



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(MCS) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div $5,5$ (San Vittorino)

Palazzo della Prefettura



Piazza Chiorino



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(MCS) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)



Via Garibaldi



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(MCS) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)

Via Cascina



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)

Interno della Basilica di S. Maria di Collemaggio



Recupero della tela issata dall'alto
"L'incoronazione di Celestino" di Carl Ruther



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Chiesa delle Anime sante



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(MCS) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div $5,5$ (San Vittorino)

Chiesa in Piazza S.M. Paganica



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Palazzo Ardigelli in Piazza S.M. Paganica



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(MCS) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div $5,5$ (San Vittorino)

Il castello



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div $5,5$ (San Vittorino)



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(MCS) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div $5,5$ (San Vittorino)



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div $5,5$ (San Vittorino)



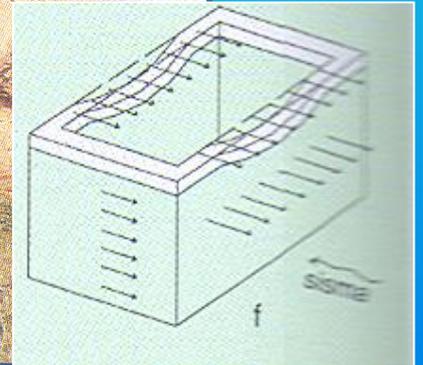
L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)

Voragine in centro



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

Terremoto in Emilia del 2012: M=5,9



Terremoto in Emilia del 2012: M=5,9



Castello di San Felice sul Panaro (MO), prima e dopo il sisma



Torre campanaria del Municipio di Finale Emilia (MO), opera del Cinquecento, prima e dopo il sisma

Terremoto di Amatrice (24 agosto 2016) M= 6.0

Faglia sul Monte Vettore (AP)



Terremoto di Amatrice (24 agosto 2016) M= 6.0

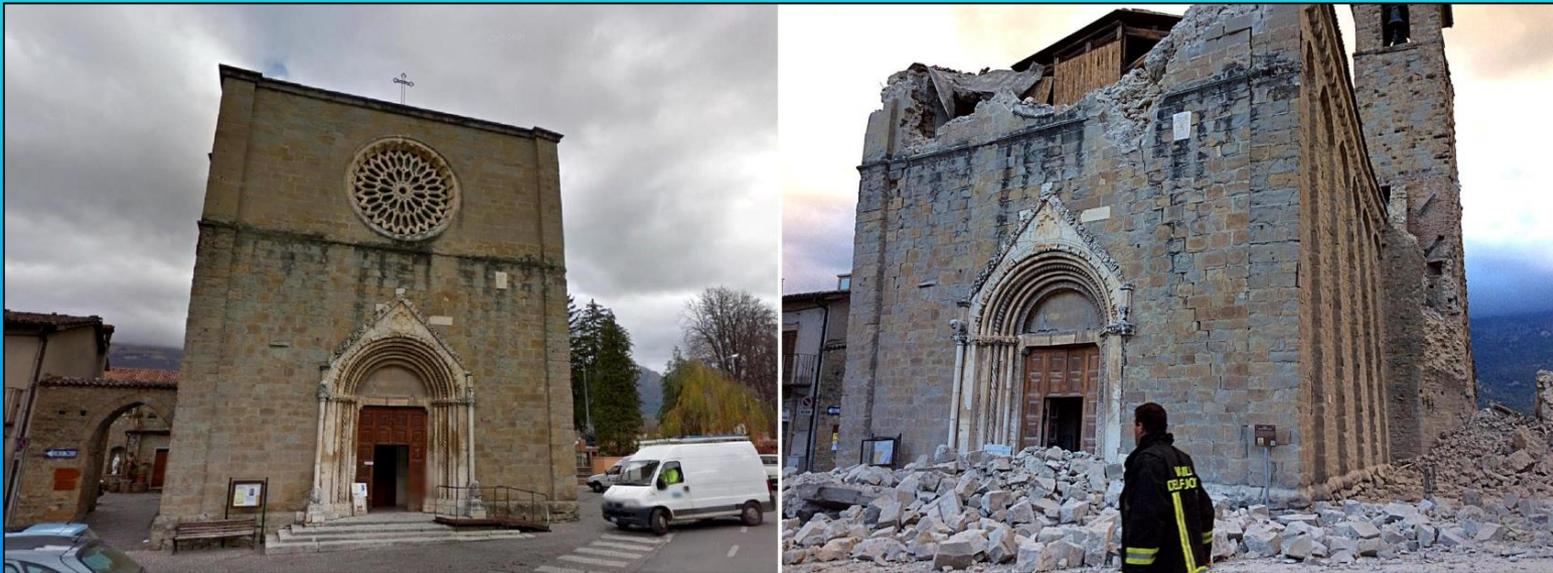
Cosa resta di Amatrice



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

Terremoto di Amatrice (24 agosto 2016) M= 6.0

Basilica di San Francesco

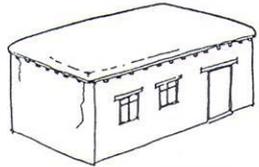


Terremoto di Amatrice (24 agosto 2016) M= 6.0

Torre Civica



Reactivation of Existing Weaknesses

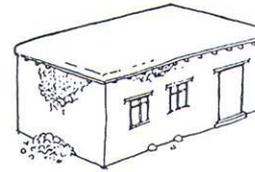


Vertical Cracking at Corners



Diagonal Cracking and Around Openings

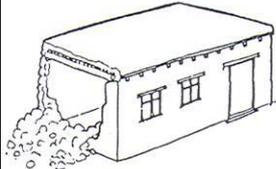
• Often old movement or settlement cracks reactivated



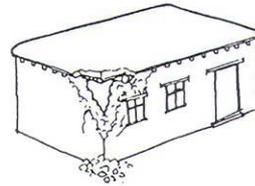
Skin Splitting

• Existing masonry instabilities triggered

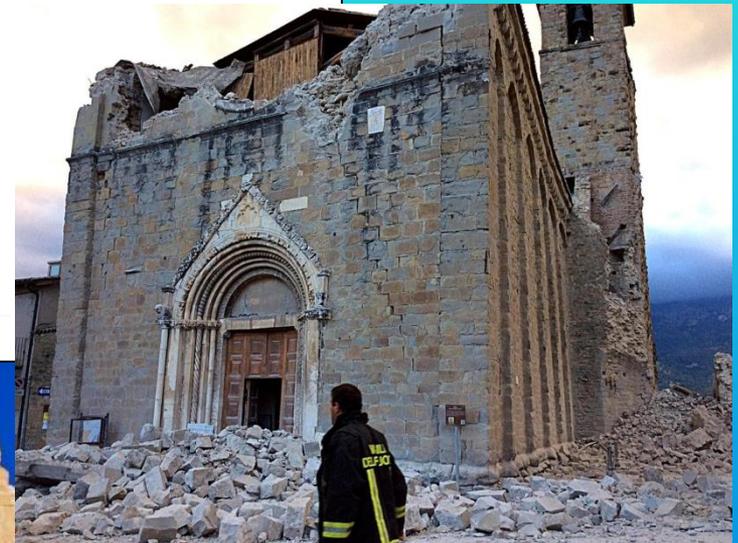
Structural Separation



End or Non-loadbearing Wall Separation



Wedge shaped Corner Failure



Terremoto di Norcia (30 ottobre 2016) M= 6.5



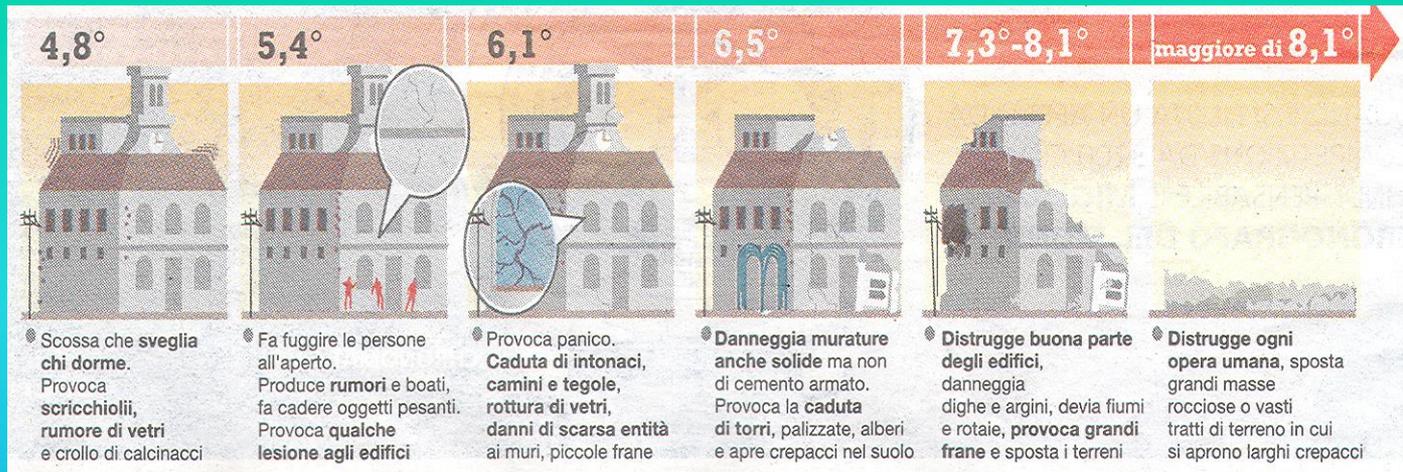
Crolla la Basilica di San Benedetto

Il sisma più forte dal 1980 in Italia non ha fatto vittime ma ha causato decine di migliaia di sfollati e danni incalcolabili al patrimonio artistico dell'Appennino

Terremoto Norcia (30 ottobre 2016) M= 6.5

Crolla la Basilica di San Benedetto





1. Terremoto del Friuli (6 maggio 1976) – M=6,4

Epicentro: Monte San Simeone (tra i Comuni di Trasaghis e Bordano - UD)

Profondità da 4 a 6 km

Danni in un raggio di 60 km

Sciame sismico di 4 mesi di durata

Morti=990



2. Terremoto dell'Irpinia e della Basilicata

(23 novembre 1980) – M=6,5 (M_w=7)

Epicentro: Conza della Campania (Avellino)

Profondità 30 km

Danni in un raggio di 80 km

Sciame sismico di 6 mesi di durata

Morti=2375



3. Terremoto dell'Umbria e delle Marche

(26 settembre 1997) – $M=5,6$; $M_w = 6,1$

Epicentro: Colfiorito (Perugia)

Profondità: 1,3 km

Danni in un raggio di 20 km

Sciame sismico di 1 anno di durata

Morti=11



4. Terremoto del Molise e della Puglia

(31 ottobre 2002) – $M_w=5,7$

Epicentro: San Giuliano di Puglia
(Campobasso)

Profondità: 10 km

Danni in un raggio di 20 km

Sciame sismico di 15÷30 giorni di durata

Morti=30



5. Terremoto dell'Abruzzo

(6 aprile 2009) – $M=5,9$; $M_w=6,3$

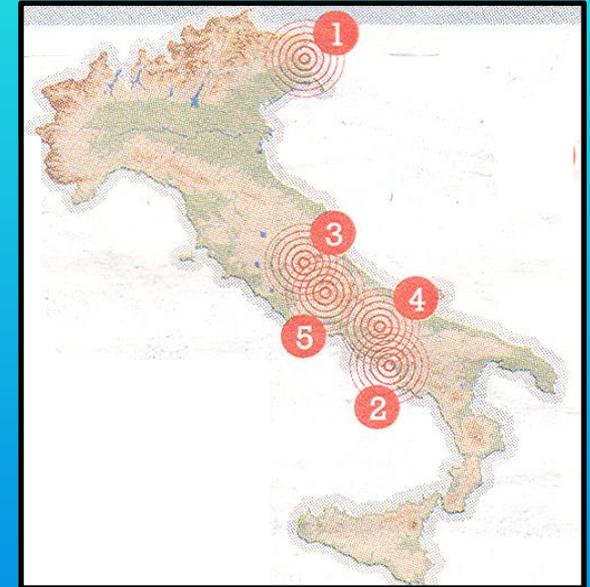
Epicentro: L'Aquila

Profondità: 9 km

Danni in un raggio di 30 km

Sciame sismico di circa 900 scosse

Morti=309



6. Terremoto dell'Emilia Romagna

(20 maggio 2012) – $M \approx M_w = 5,9$

Epicentro: Finale Emilia

Profondità: 6,3 km

Danni in un raggio di 90 km

Sciame sismico di circa 2300 scosse nei primi due mesi di attività

Morti=27

7. Terremoto del Centro-Italia

(24 agosto 2016 – 30 ottobre 2016) – $M=6,0$; 6,5

Epicentro: fra Amatrice e Accumuli (RI)

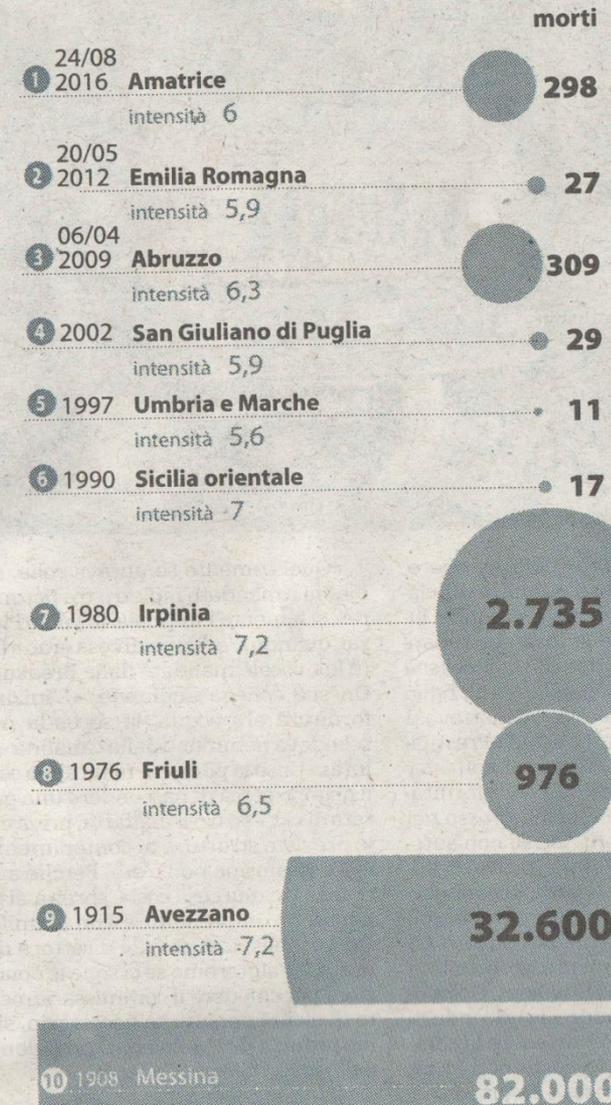
Profondità: 8 km; 9,4 km (non oltre 12 km)

Danni in un raggio di circa 90 km

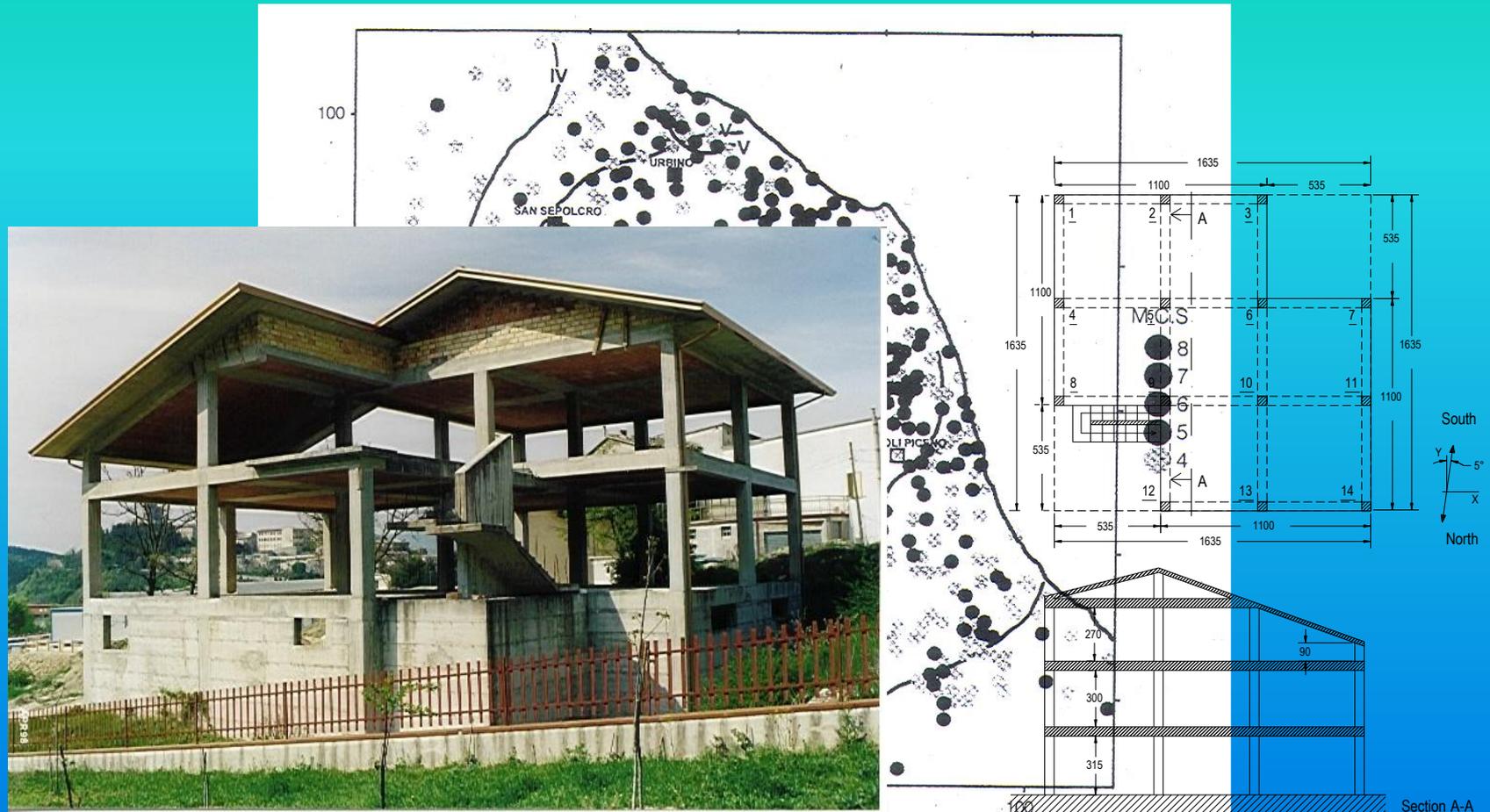
Sciame sismico di circa 2300 scosse nei primi due mesi di attività

Morti=302 (3 per morte indiretta)

I terremoti più recenti



Terremoto di Umbria e Marche del 1997: $M=5,8$



Distanza da 43 N, 12.9 E in km

Figura 1.1 Terremoto umbro-marchigiano del 26 settembre 1997 (9.40 GMT, M 5.8): piano quotato delle intensità MCS e isosisme (da www.ingrm.it).

Terremoto di Umbria e Marche del 1997: $M=5,8$



Terremoto di Umbria e Marche del 1997: M=5,8



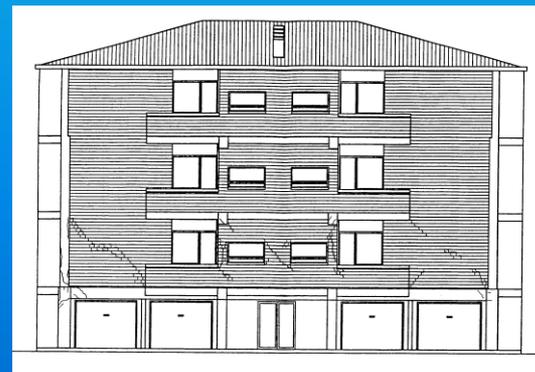
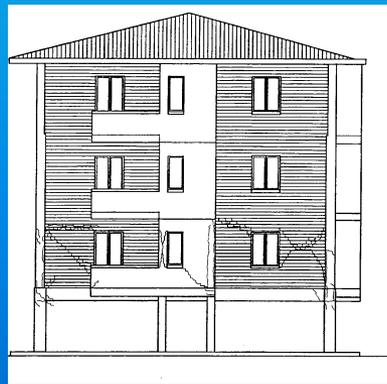
Terremoto di Umbria e Marche del 1997: M=5,8



Terremoto di Umbria e Marche del 1997: $M=5,8$



Terremoto di Umbria e Marche del 1997: M=5,8



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

Terremoto di Umbria e Marche del 1997: $M=5,8$



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Via Antinori



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div $5,5$ (San Vittorino)

Via Vicentini



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

La casa dello studente dell'Aquila



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div $5,5$ (San Vittorino)



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(MCS) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)

Interno di un appartamento



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div $5,5$ (San Vittorino)

Solai e controsoffitti



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Solai e controsoffitti



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)

Crollo di nuclei in edifici
in linea



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Crollo di nuclei in edifici



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Crollo di nuclei in edifici



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

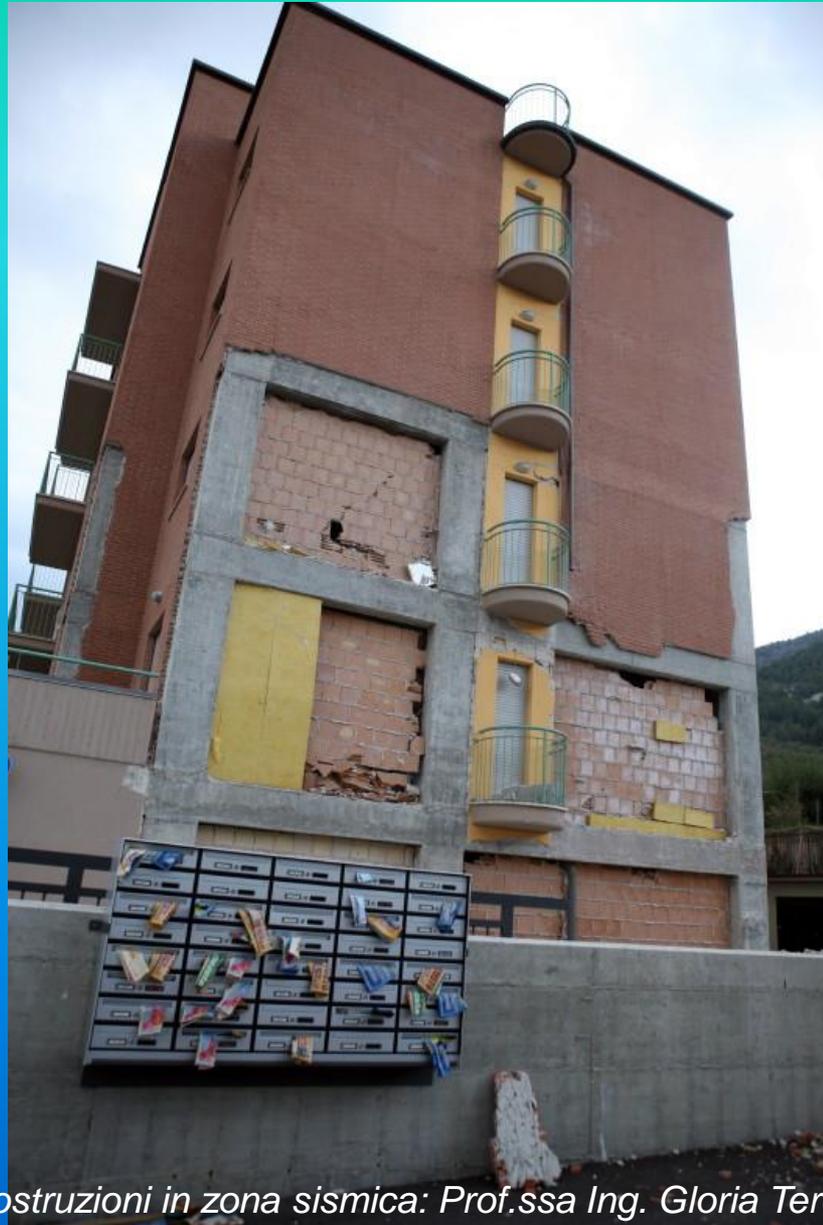
Tamponamenti e rifiniture



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Tamponamenti e rifiniture



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)

Tamponamenti e rifiniture



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)

Tamponamenti e rifiniture



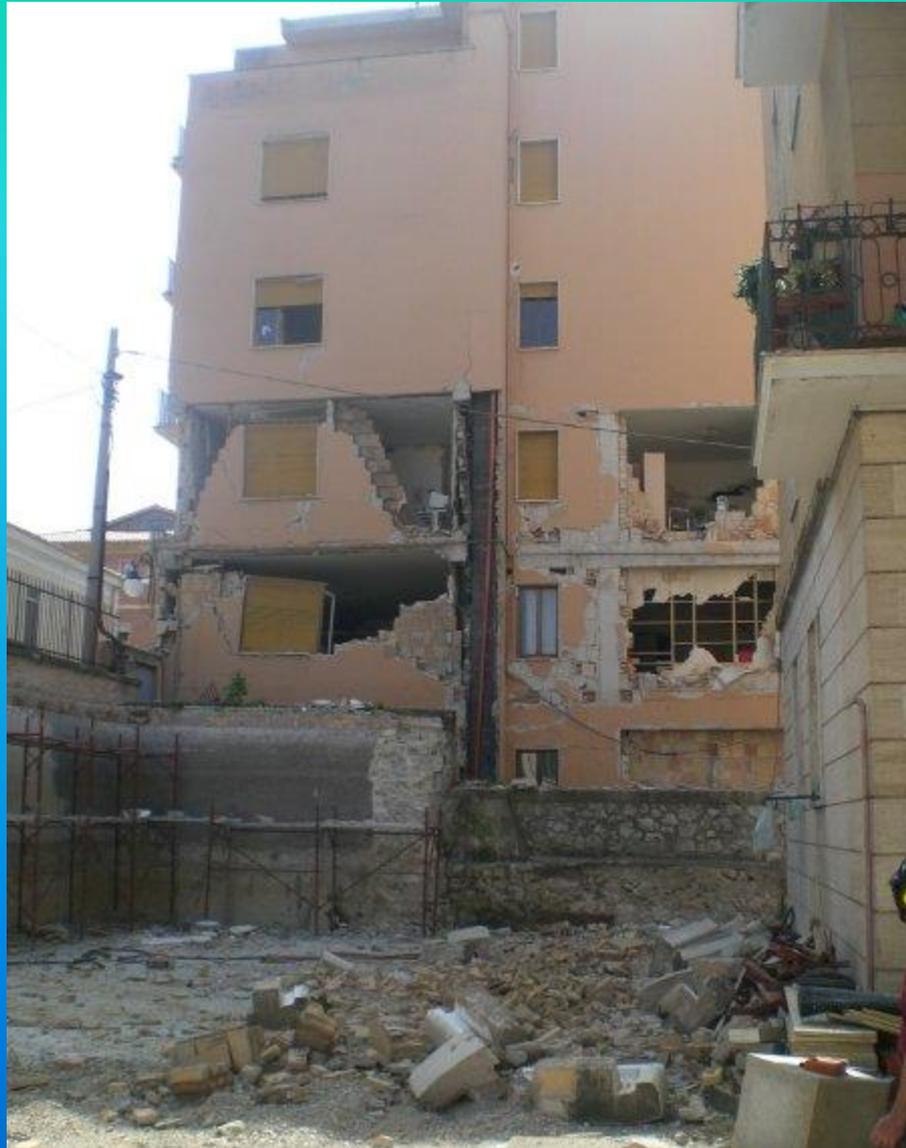
L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Tamponamenti e rifiniture



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

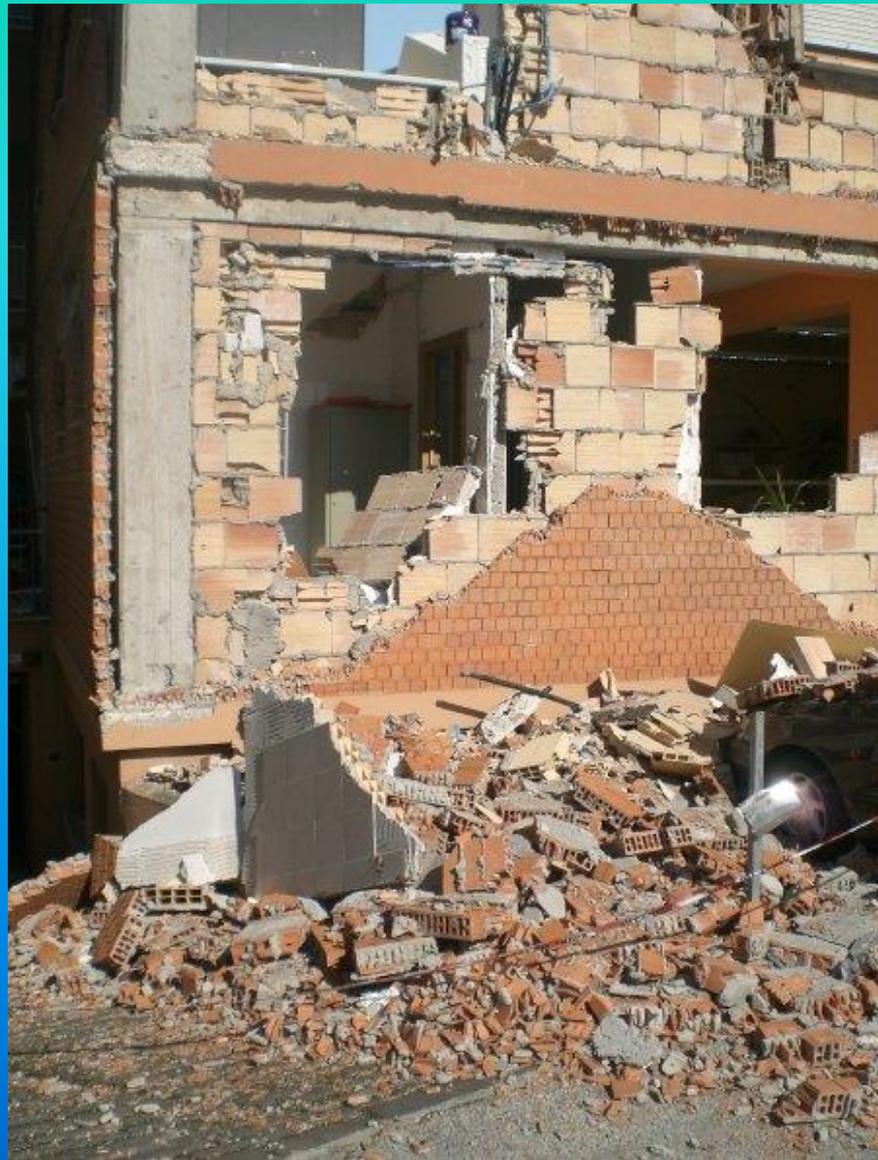
Tamponamenti e rifiniture



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Tamponamenti e rifiniture



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)

Tamponamenti e rifiniture



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(MCS) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Tamponamenti e rifiniture



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Tamponamenti e rifiniture



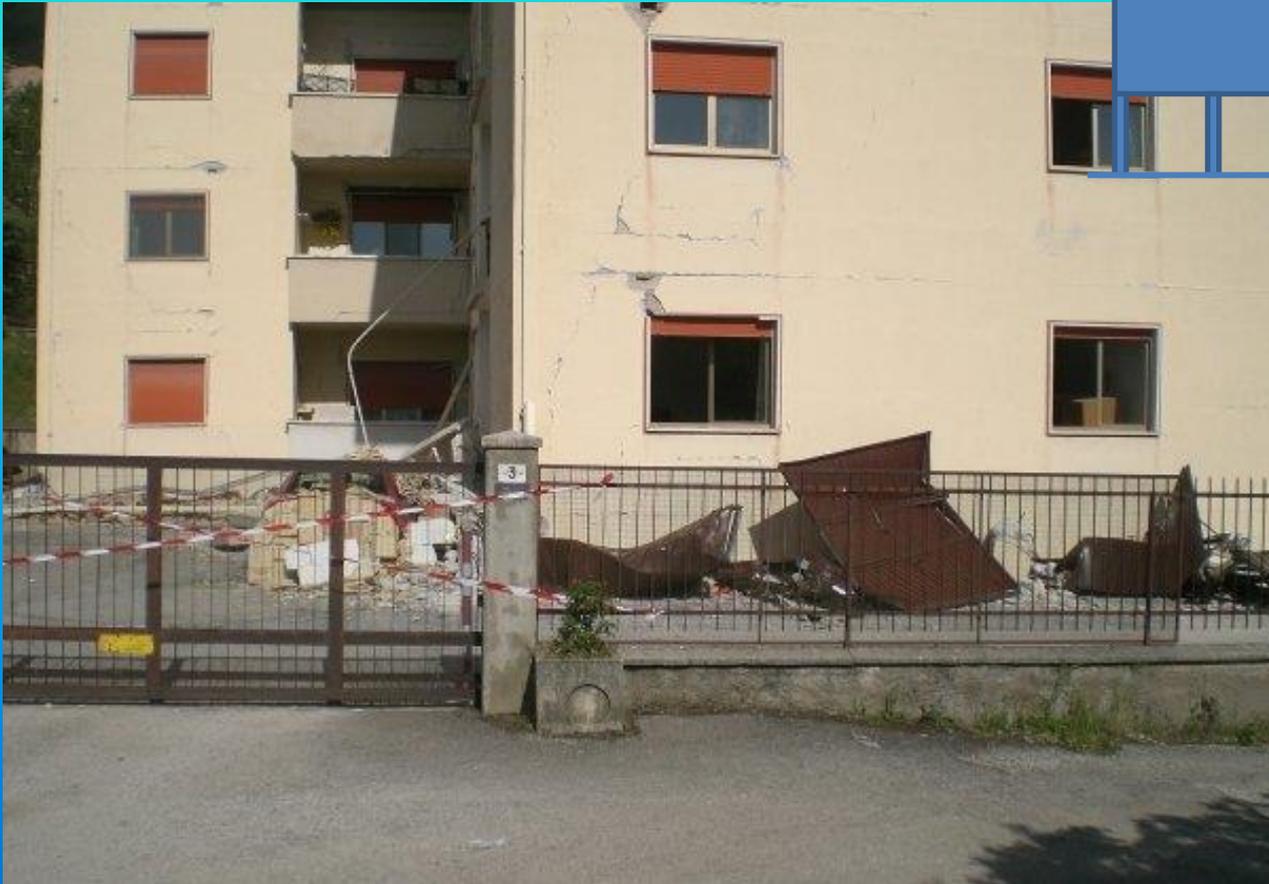
L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)

Tamponamenti e rifiniture



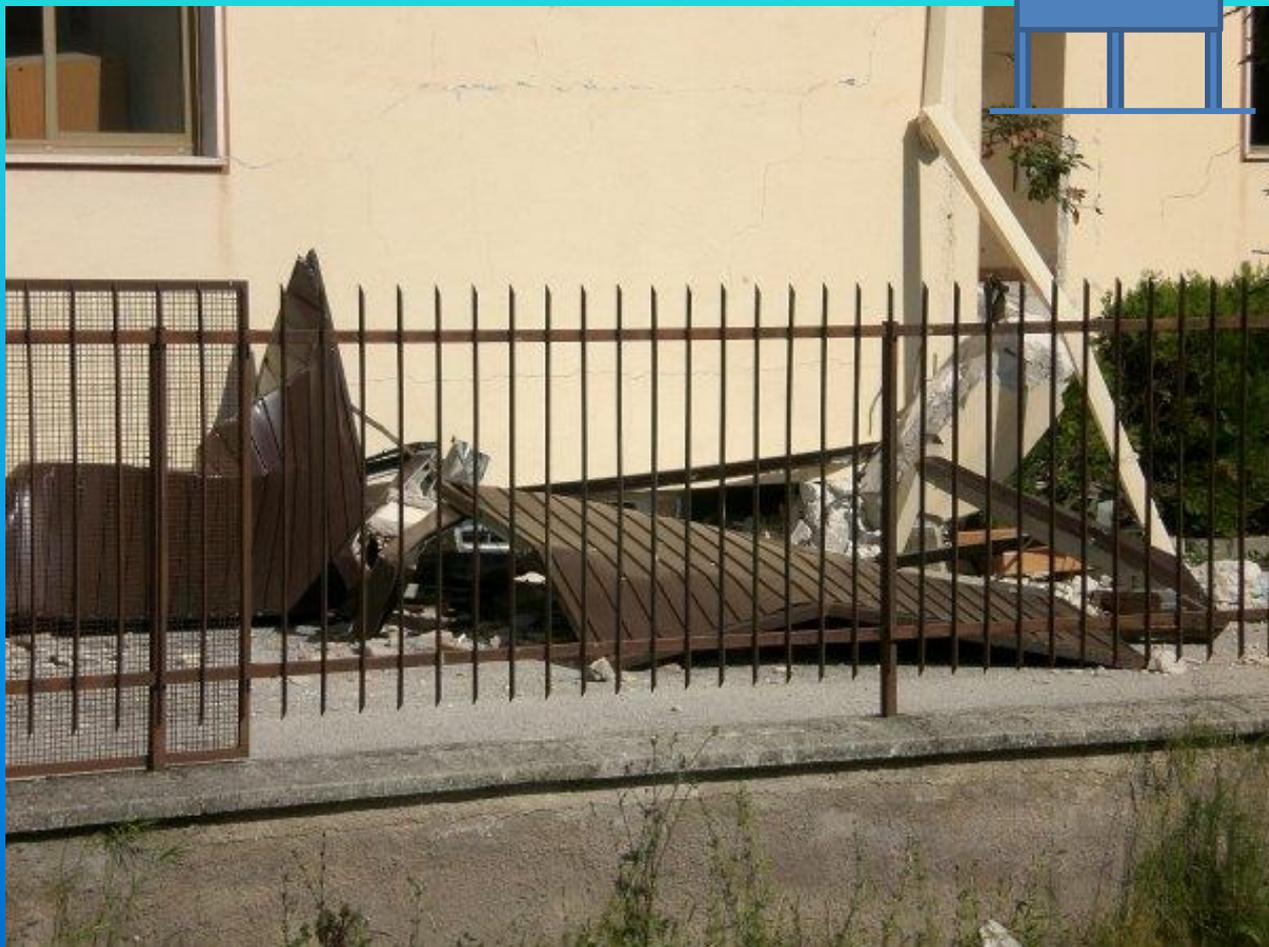
L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Collasso per piano sofficie



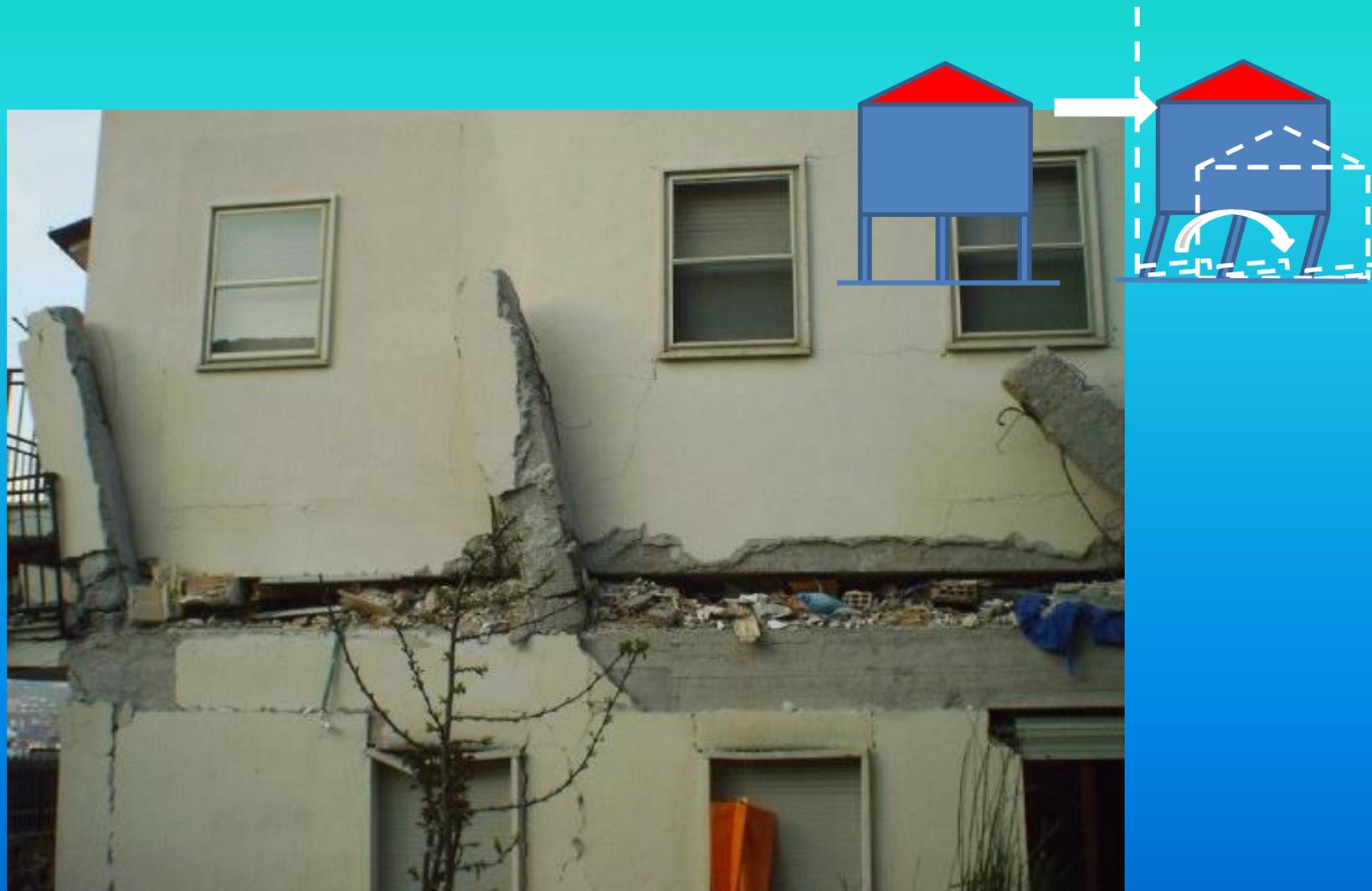
L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Collasso per piano soffice



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Collasso per piano soffice



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Collasso per piano soffice



Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

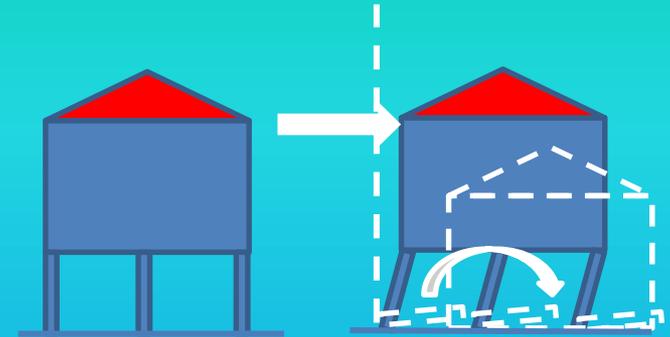
L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(MCS) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Collasso per piano soffice



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div $5,5$ (San Vittorino)

Collasso per piano soffice



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)

Danni strutturali



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)

Danni strutturali



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)

Danni strutturali



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Danni strutturali



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(MCS) = 8,5$ (L'Aquila centro) \div 5,5 (San Vittorino)

Danni strutturali: armature e riprese di getto



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(MCS) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)



Danni strutturali: armature e riprese di getto



L'Aquila: 6/7 aprile 2009; $I_s(\text{MCS}) = 8,5$ (L'Aquila centro) $\div 5,5$ (San Vittorino)

Danni strutturali: armature e riprese di getto



Terremoto del Centro-Italia (24 agosto 2016 – 18 gennaio 2017)

Da cosa dipende?

Modalità costruttiva



Meccanismo di piano soffice

Corso di Costruzioni in zona sismica: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

▪ *Terremoto di Amatrice (24 agosto 2016, ore 3:36:32 – M=5,9)*

Scuola “Romolo Capranica” di Amatrice



Gli interventi di miglioramento avevano riguardato solo una parte dell'edificio

Terremoto in Emilia Romagna del 20 maggio 2012: M=5,9

Modalità costruttiva

Capannoni industriali con coperture semplicemente appoggiate

