



## ***RICOSTRUZIONE POST-TERREMOTO, MICROZONAZIONE SISMICA E PIANIFICAZIONE URBANISTICA***

### ***La città di Camerino e la ricostruzione post-terremoto***

**Ing. Graziano Leoni**

**Professore di Tecnica delle Costruzioni  
Scuola di Architettura e Design «E.Vittoria»  
Università di Camerino**

**[graziano.leoni@unicam.it](mailto:graziano.leoni@unicam.it)**

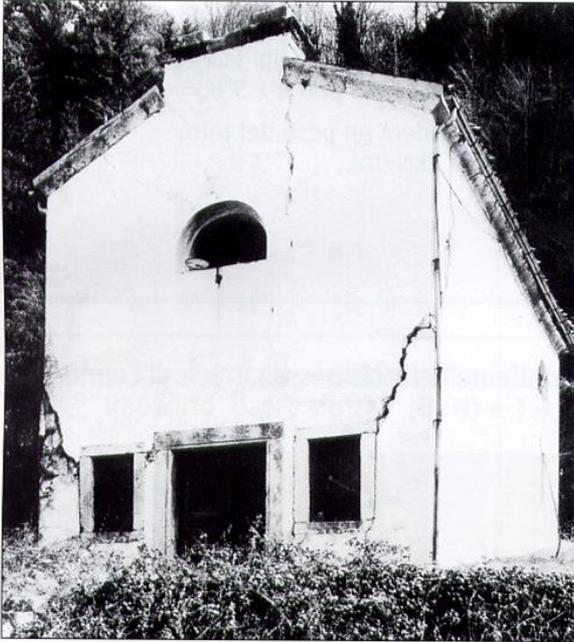


- **Comportamento sismico delle costruzioni storiche**
- Analisi dei danni degli edifici della città di Camerino
- Alcuni aspetti particolari
- Edifici in calcestruzzo armato
- Conclusioni

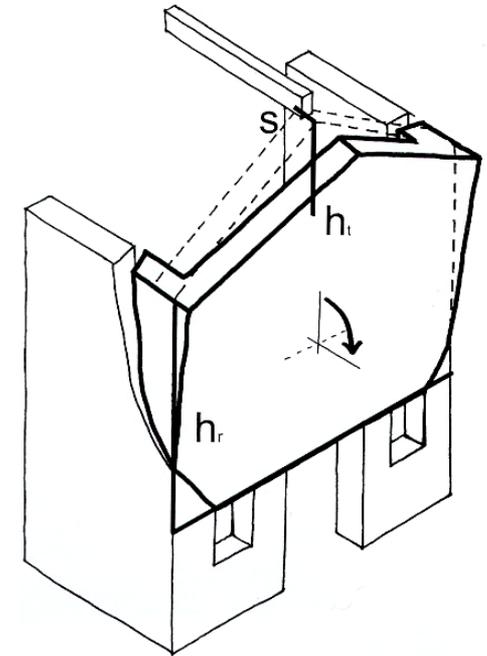
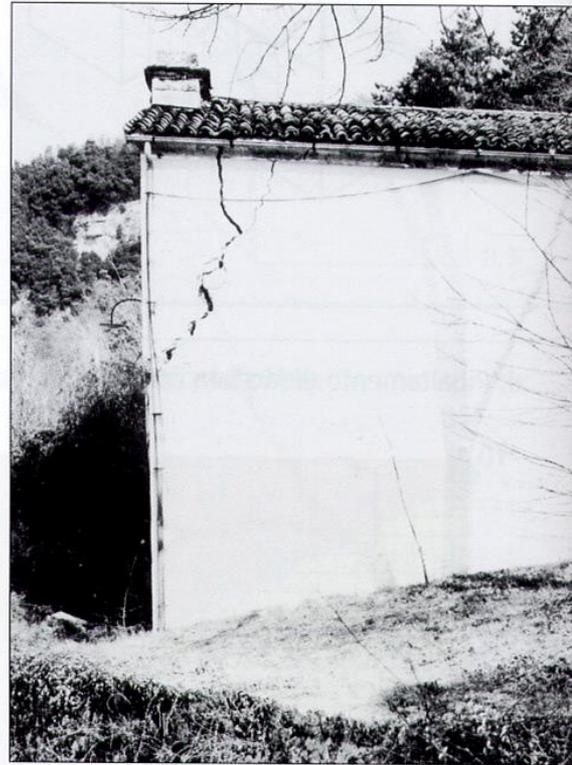




Tendenza alla disintegrazione degli elementi strutturali



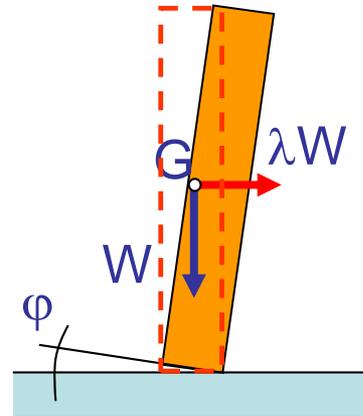
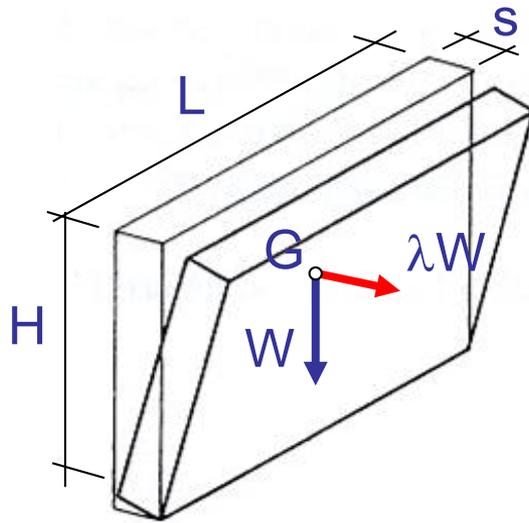
3.21/3.22 - L'attivazione del meccanismo di danno è favorito dalla particolare disposizione delle aperture nella facciata, queste costituiscono un indebolimento della sezione resistente della muratura - Osoppo (UD), chiesa di S.Giovanni



Formazione di lesioni che definiscono blocchi più o meno rigidi che possono dare origine a cinematismi

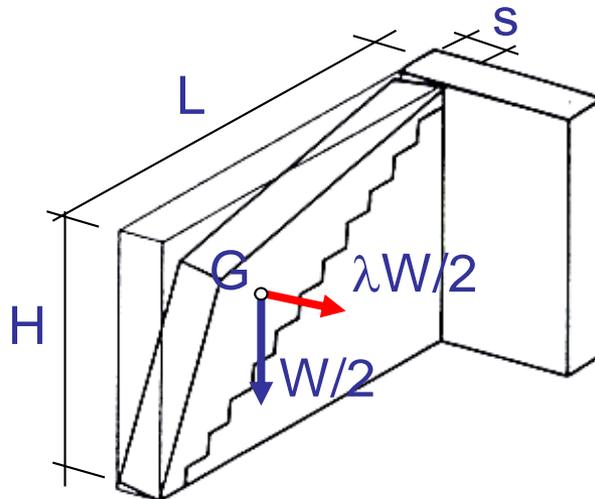


Situazioni non sempre chiare per la presenza di paramenti ottimamente lavorati

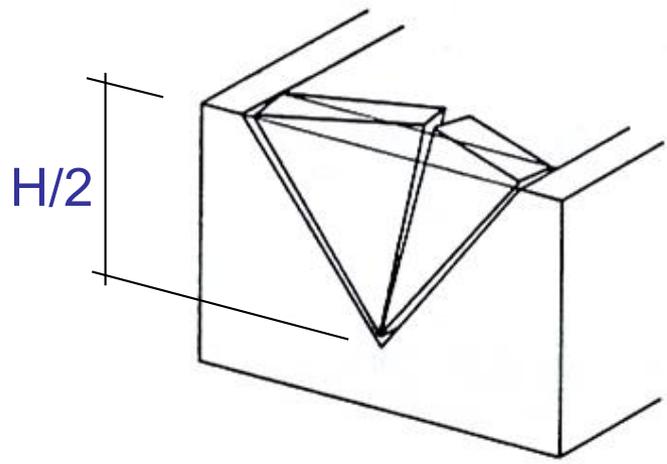


$$\lambda = \frac{s}{H}$$

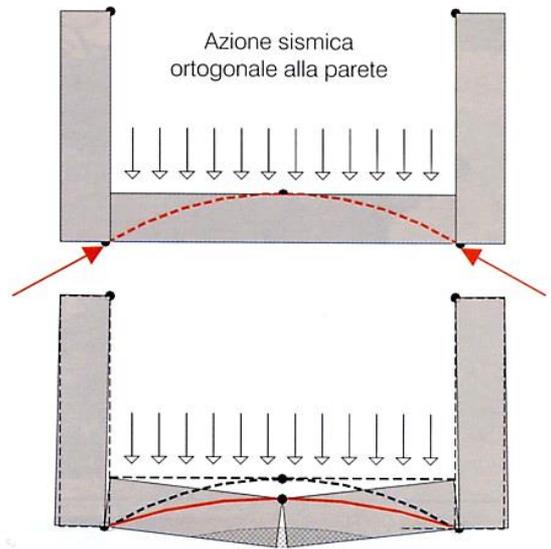
Es. Una parete spessa 0.25 m ed alta 3.00 m innesca il meccanismo di ribaltamento a circa 0.08g

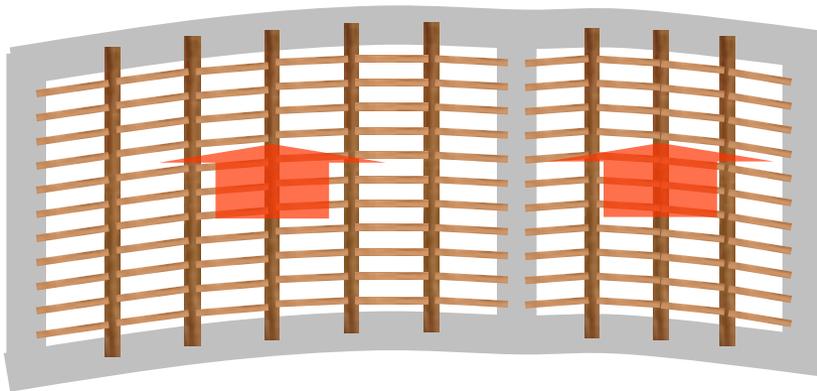
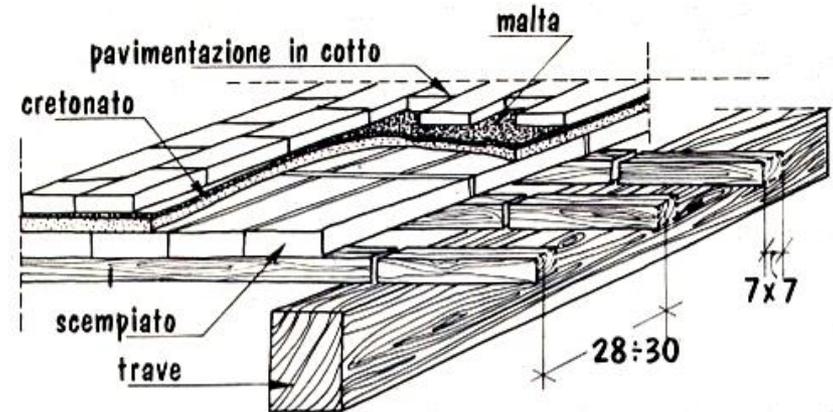
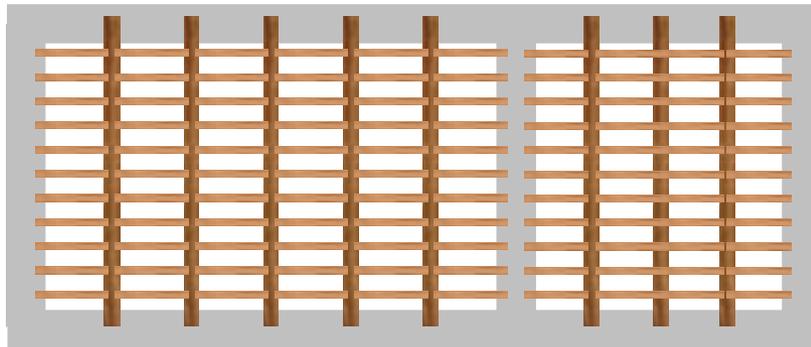


$$\lambda = \frac{3}{2} \frac{s}{H}$$

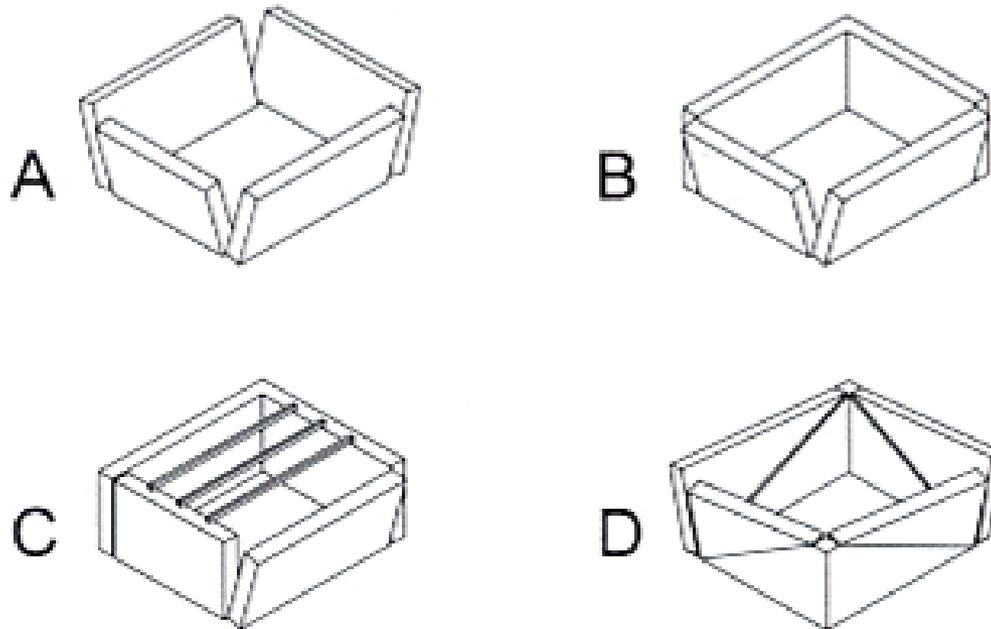


$$\lambda = \frac{6 s}{2 H}$$

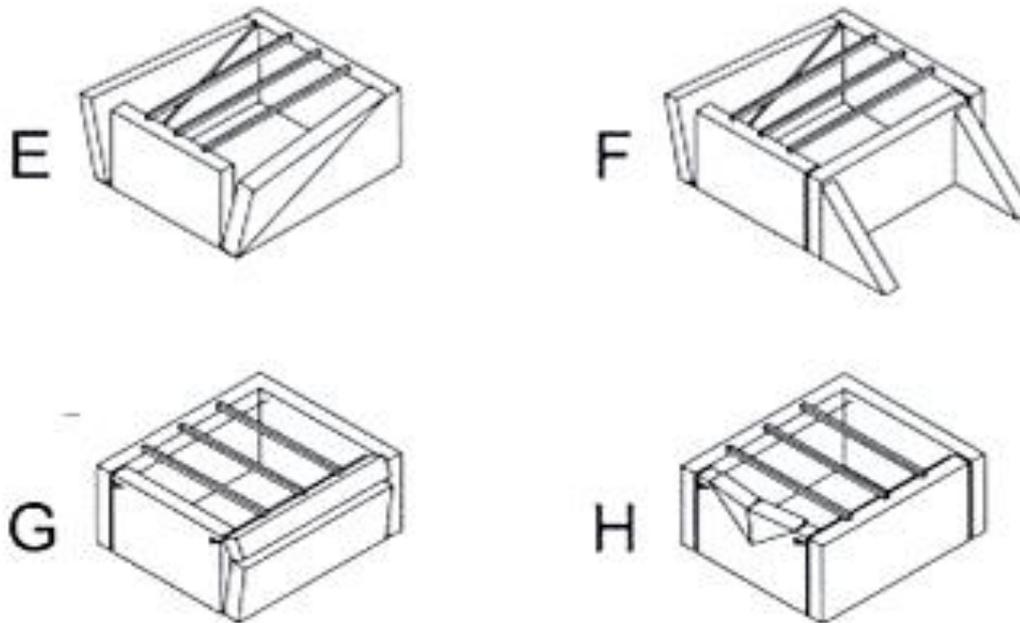




I vari elementi sono appoggiati l'uno sull'altro realizzando un solaio capace di riportare i carichi verticali alle murature perimetrali ma scarsamente rigido nel proprio piano. Il solaio deformabile scarica le forze di inerzia sulle pareti frontali che tendono così a subire il ribaltamento o lo sfondamento.



- A. Ribaltamento della pareti con meccanismo di tipo 1
- B. Ribaltamento delle pareti non ammortate
- C. Ribaltamento della parete non ammortata e non trattenuta dal solaio
- D. Ribaltamento con pareti lato non ammortato con meccanismo tipo 2



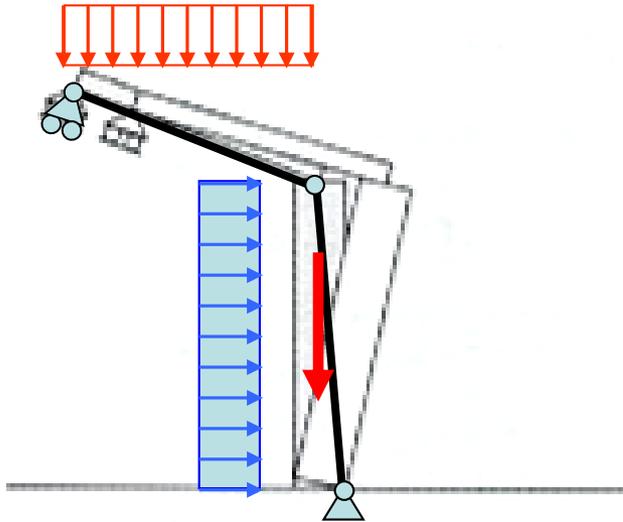
E. Ribaltamento della pareti non ammortate e non trattenute dal solaio con meccanismo di tipo 2

F. Come sopra ... parete senza contrafforti

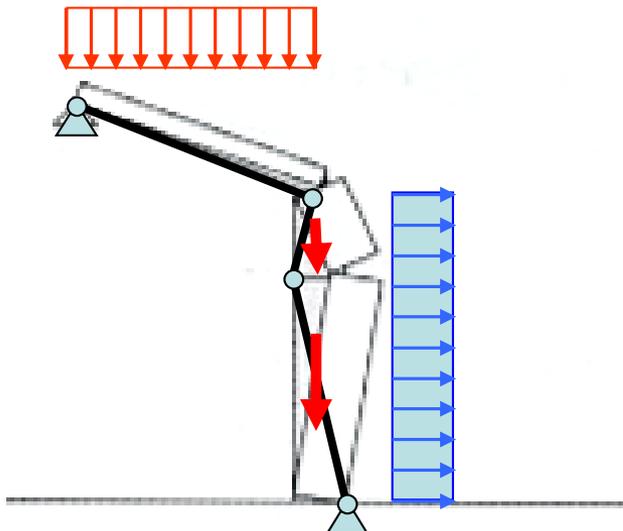
G. Meccanismo di sfondamento

H. Meccanismo tipo 3 su parete non trattenuta dal solaio

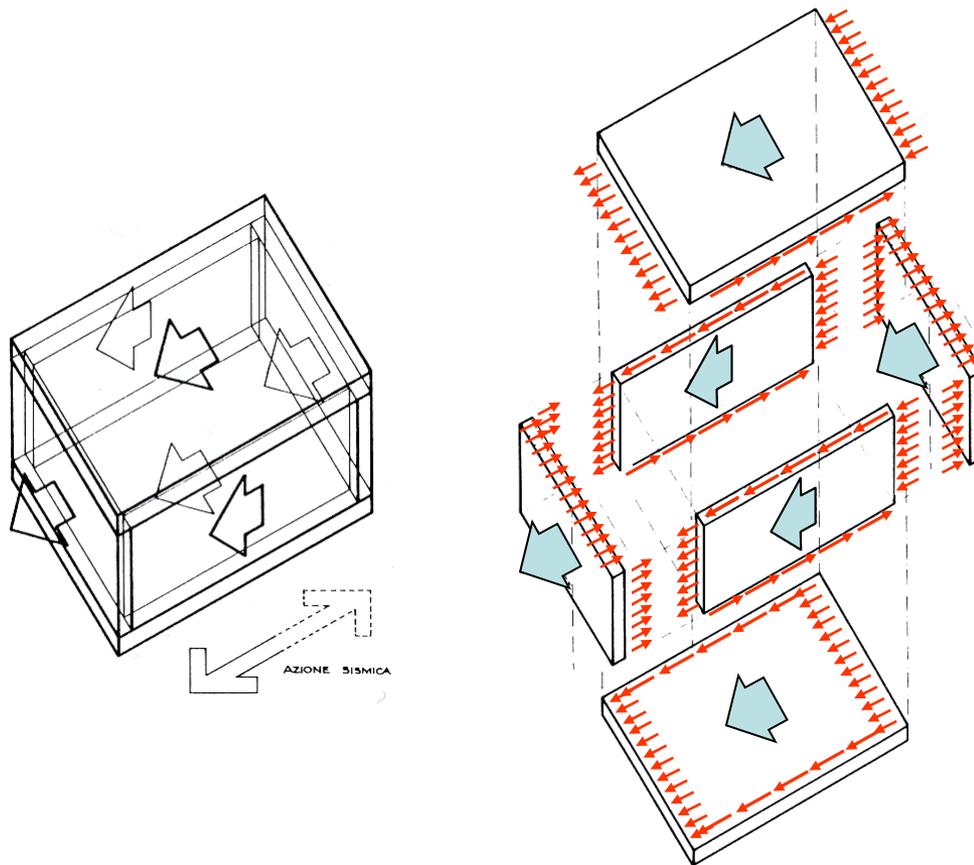




La falda spingente peggiora la stabilità della parete in quanto i carichi verticali inducono forze orizzontali alla sommità della parete.

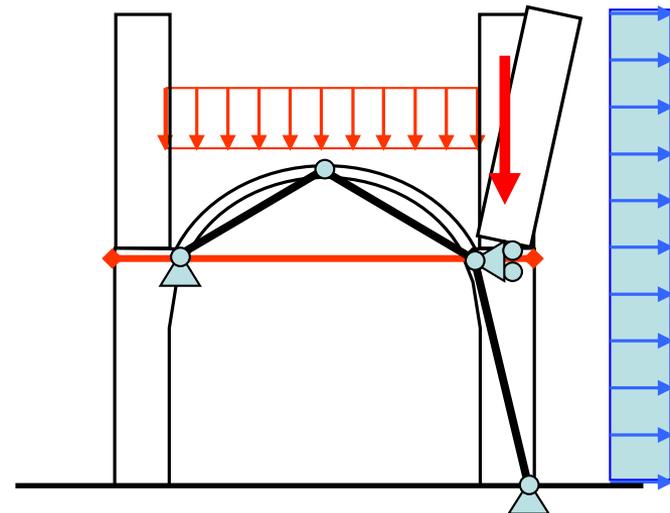
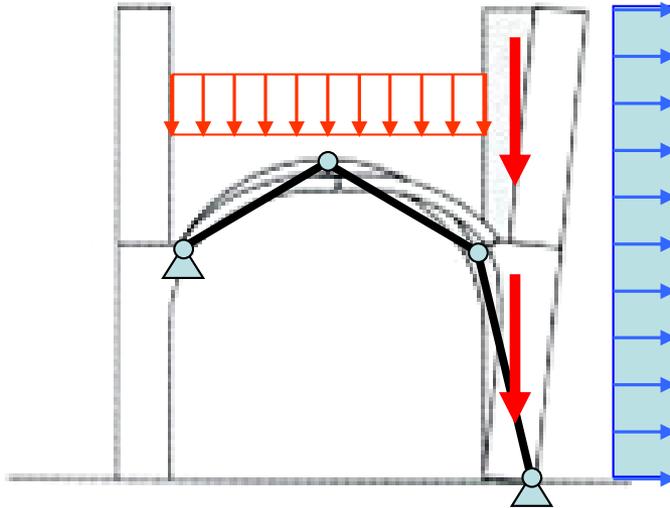


L'impalcato rigido costituisce un vincolo per la parete ed il meccanismo di collasso diventa di sfondamento (effetto arco). Il moltiplicatore delle azioni orizzontali cresce con l'aumentare dei carichi verticali.



Gli impalcati rigidi hanno un duplice effetto:

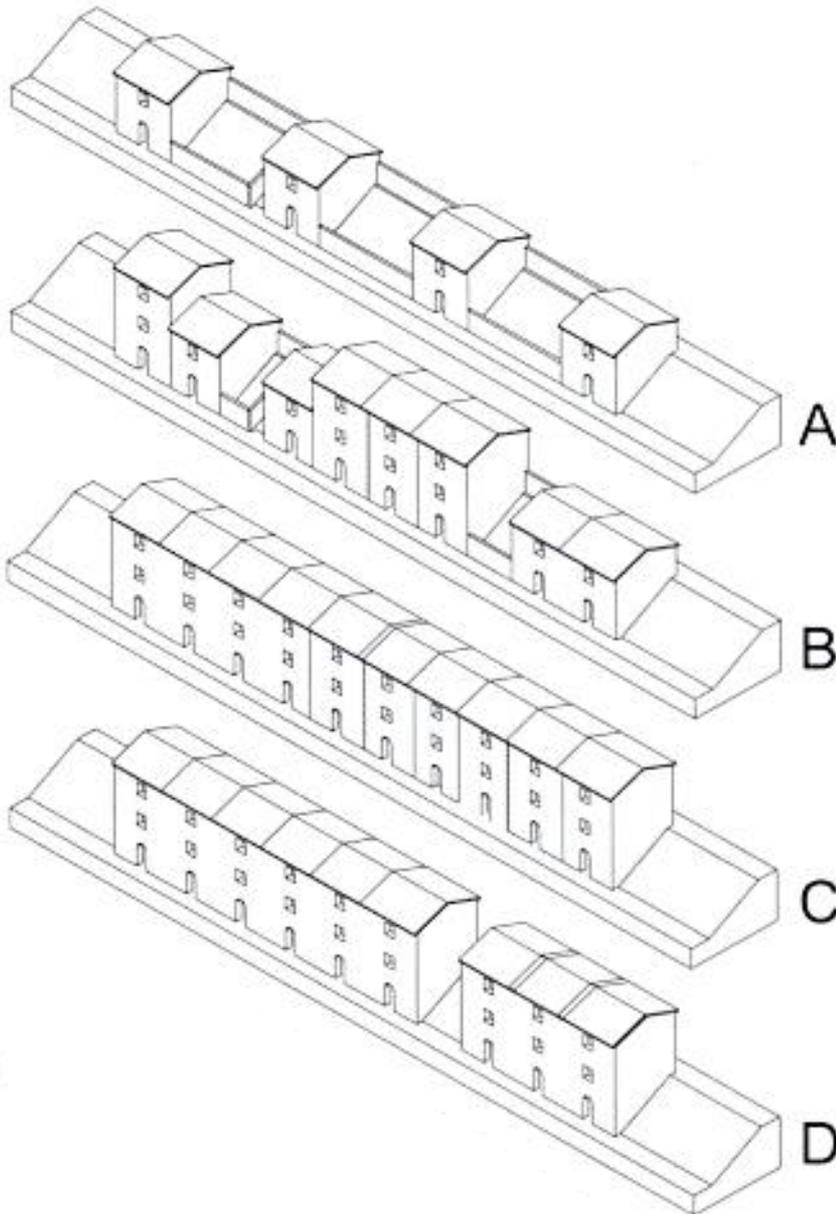
- 1) le forze di inerzia dovute al loro peso e ai carichi gravanti su di essi vengono ripartite direttamente alle pareti laterali che lavorano a taglio nel proprio piano;
- 2) se collegati efficacemente alle pareti frontali, costituiscono per queste un vincolo al ribaltamento.



La spinta delle volte si somma all'azione sismica.

La posizione ideale per il tirante è quella che passa per le reni della volta.

Si possono avere altri tipi di meccanismi di collasso.



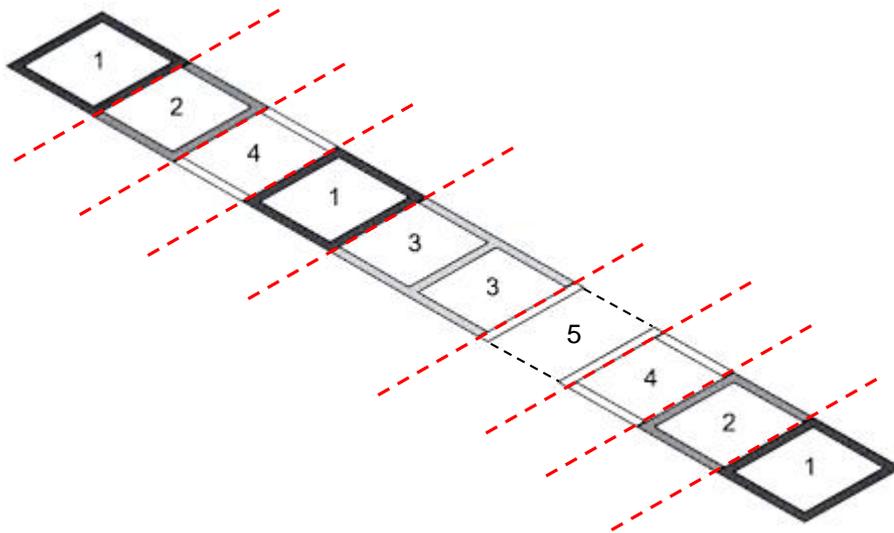
A. Case isolate con orti e pertinenze

B. Occupazione delle aree inedificate degli orti e prima fase di sopraelevazione

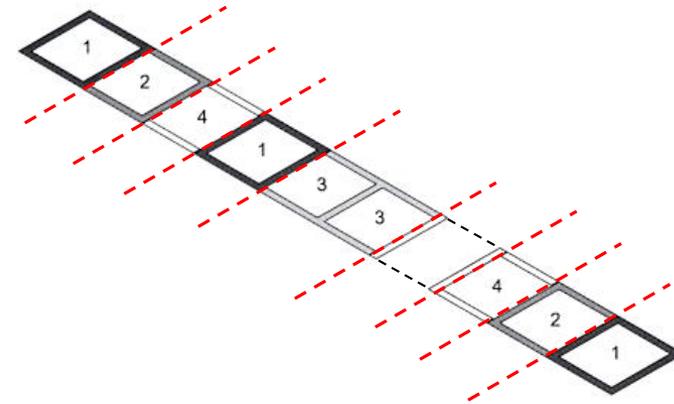
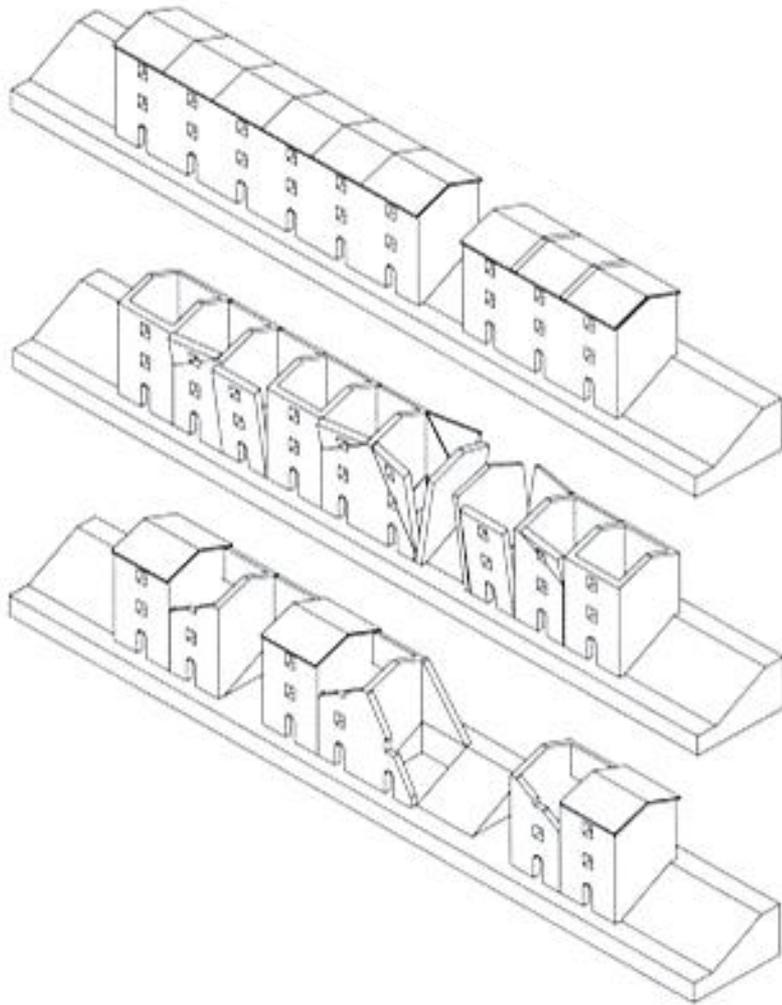
C. Completamento del processo di edificazione e sopraelevazione

D. Demolizione di un edificio intermedio dell'aggregato

Le successione delle fasi edificatorie comporta spesso la realizzazione di sistemi caratterizzati da vulnerabilità nei confronti di meccanismi di ribaltamento delle pareti addossate a quelle preesistenti dovuto al loro mancato ammorsamento



1. Casa isolata
2. Casa addossata alla precedente
3. Case edificate contemporaneamente ed addossate alle preesistenti
4. Casa di intasamento
5. Casa demolita per realizzare una nuova percorrenza pubblica



Situazione prima del terremoto

Meccanismi di collasso

Scenario in seguito a terremoto



- Comportamento sismico delle costruzioni storiche
- **Analisi dei danni degli edifici della città di Camerino**
- Alcuni aspetti particolari
- Edifici in calcestruzzo armato
- Conclusioni



**Camerino**  
comune



**Localizzazione**

Stato  Italia

Regione  Marche

Provincia  Macerata

**Amministrazione**

Sindaco Gianluca Pasqui (centro-destra) dal 25-5-2014

**Territorio**

Coordinate  43°07'54.55"N  
13°03'49.79"E

Altitudine 661 m s.l.m.

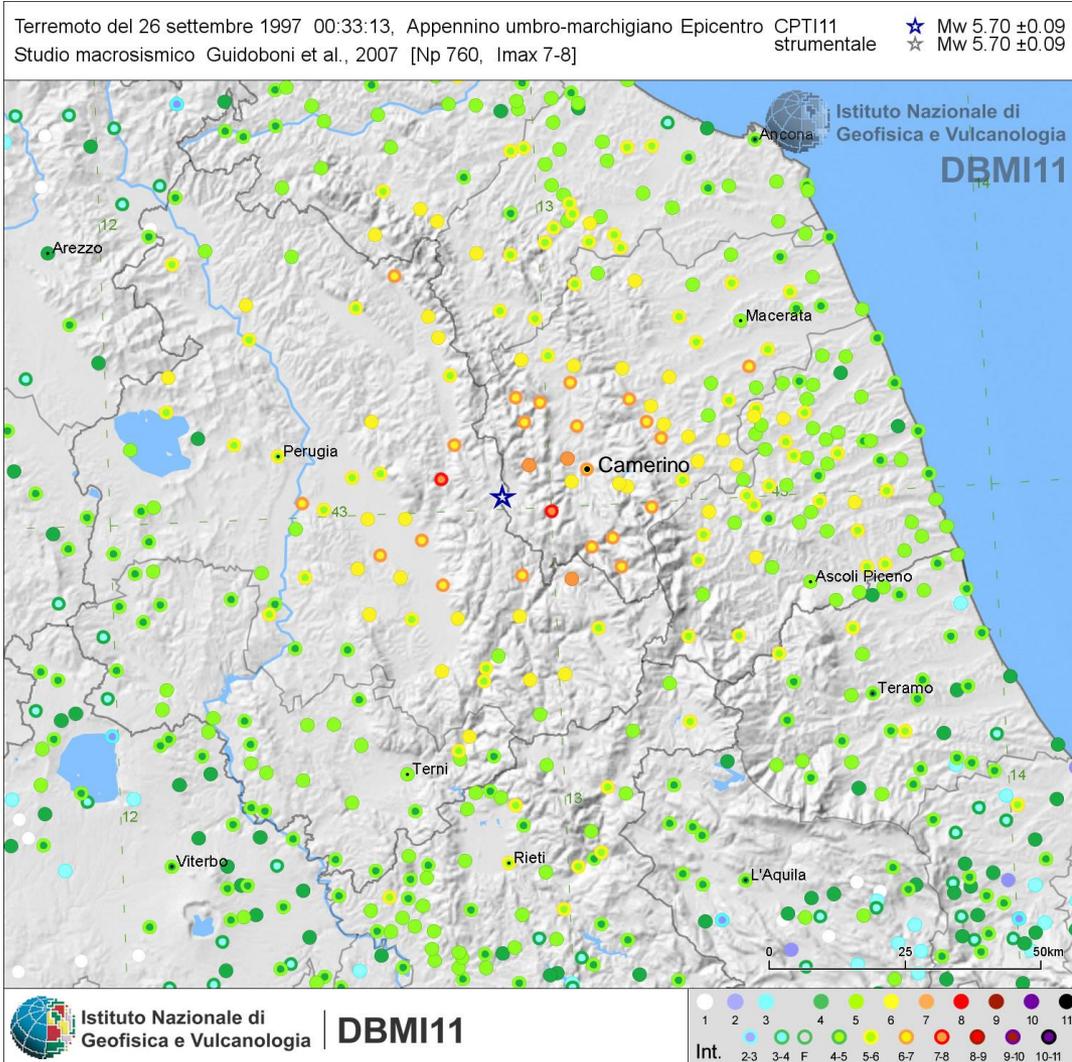
Superficie 129,88 km<sup>2</sup>

Abitanti 6 991<sup>[1]</sup> (30-11-2016)

Densità 53,83 ab./km<sup>2</sup>

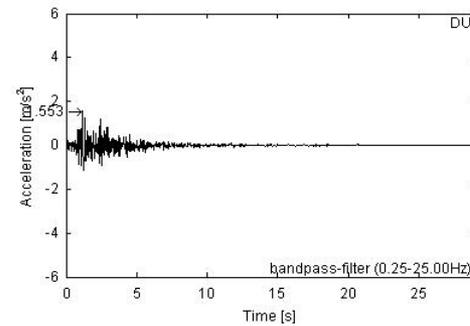
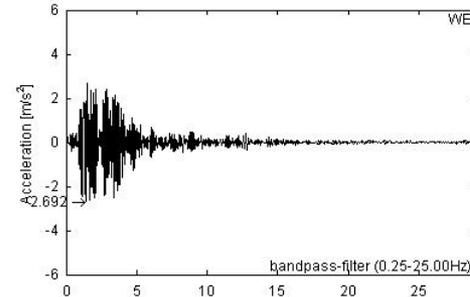
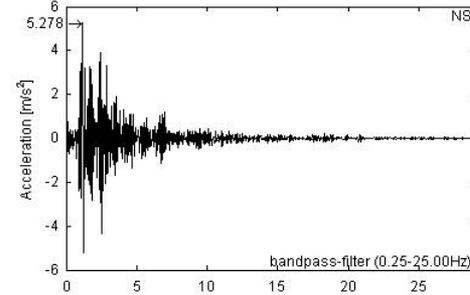


## 26.09.1997 h 00:33:13 - Mw 5.70



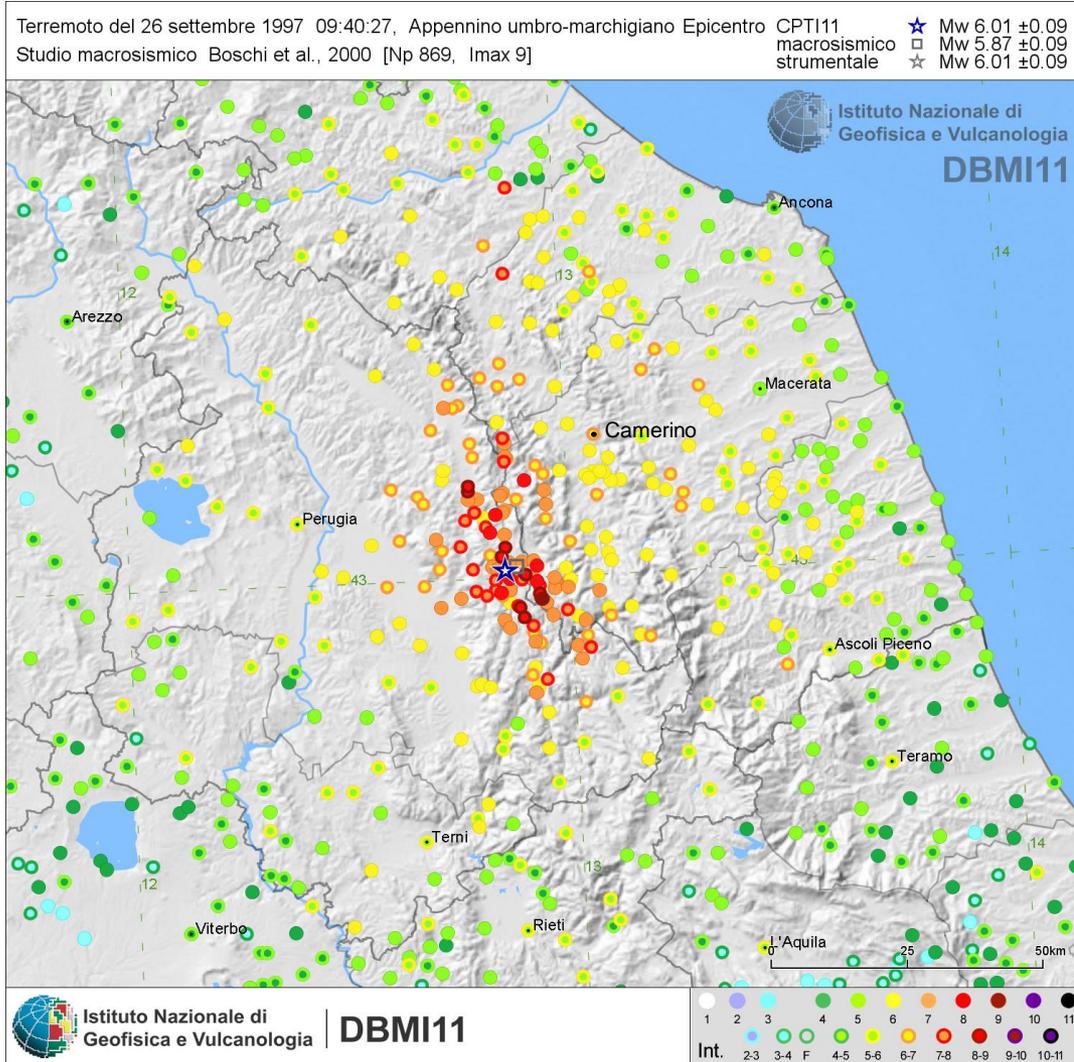
earthquake: Umbria Marche, 26.09.1997 00:33:16UTC, magnitude: 5.7Mw, fault mechanism: normal  
station: Nocera Umbra, building-type: free-field, local geology: stiff soil

epicentral distance: 13km, fault distance: 11km, instrument: SMA-1



Servizio Sismico Nazionale, Ente Nazionale per l'Energia Elettrica (1998)

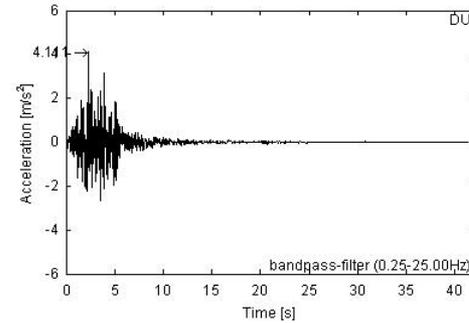
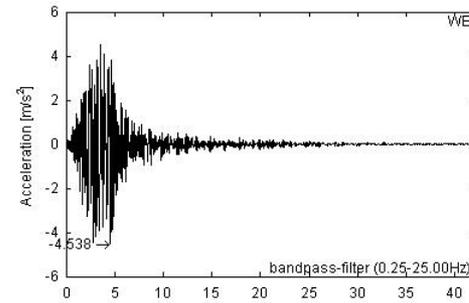
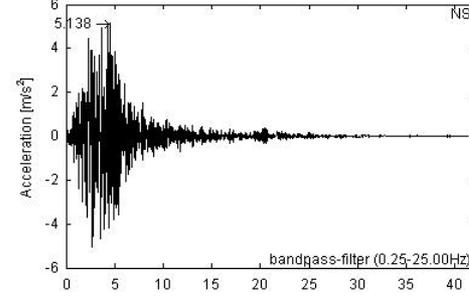
## 26.09.1997 h 09:40:27 - Mw 6.00



earthquake: Umbria Marche, 26.09.1997 09:40:30UTC, magnitude: 6Mw, fault mechanism: normal

station: Nocera Umbra, building-type: free-field, local geology: stiff soil

epicentral distance: 11km, fault distance: 1km, instrument: SMA-1



Servizio Sismico Nazionale, Ente Nazionale per l'Energia Elettrica (1998)



Nel caso degli edifici storici, la perdita è legata alla loro unicità e irriproducibilità, importanza culturale ed economica.

Le azioni tese alla riduzione del rischio sismico generano un conflitto tra le necessità di **garanzia di sicurezza e conservazione.**

L'opera di miglioramento sismico deve entrare organicamente a far parte del progetto di restauro e ne deve costituire una componente fondamentale.

## Principi del restauro

- **Minimo intervento**
- **Compatibilità**
- **Reversibilità**
- **Riconoscibilità**

## Interventi (per lo più) locali

**Nodo muro-tetto**



**Nodo muro-solaio**



**Fondazione**



REGIONE MARCHE - Commissario Delegato

**CODICE DI PRATICA (LINEE GUIDA)  
PER LA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI  
DI RIPARAZIONE, MIGLIORAMENTO SISMICO  
E RESTAURO DEI BENI ARCHITETTONICI  
DANNEGGIATI DAL TERREMOTO  
UMBRO-MARCHIGIANO DEL 1997**

ISTITUTO UNIVERSITARIO DI ARCHITETTURA DI VENEZIA - D.S.A.  
Prof. Francesco DOGLIONI

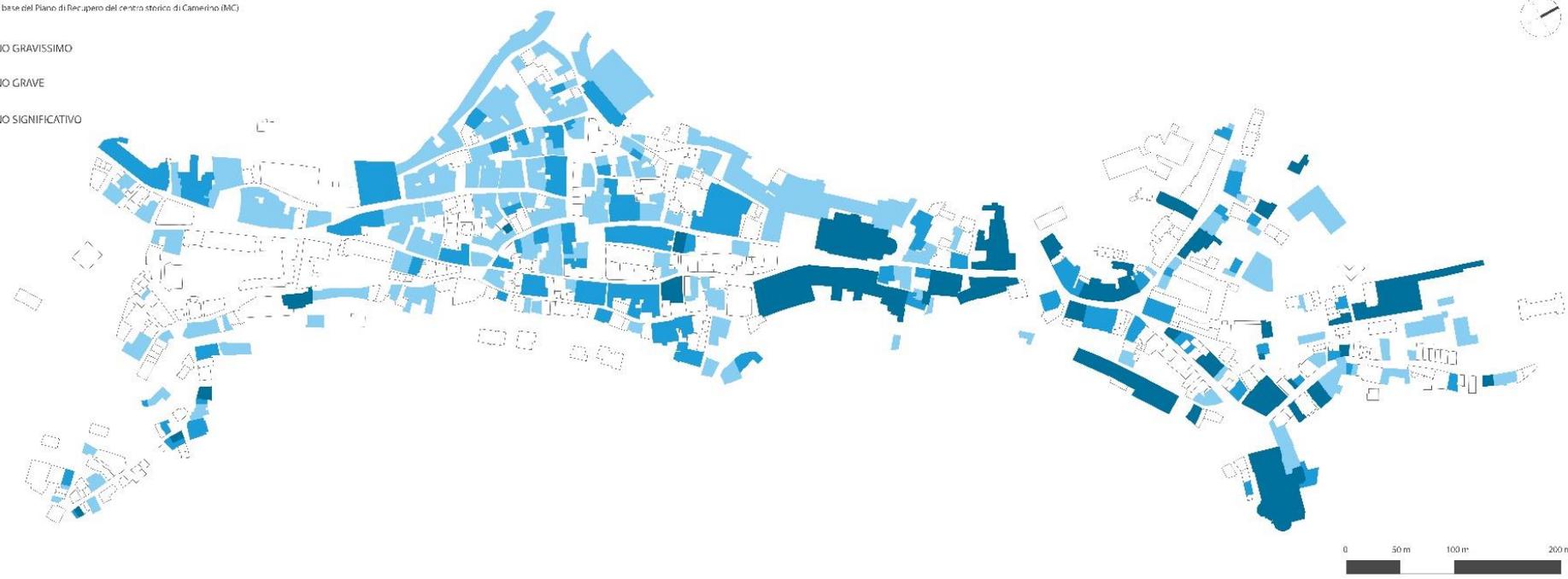
Contributi: arch. Gianluca Canofeni, arch. Floriana Marino, arch. Giovanna Minardi,  
ing. Alberto Moretti, arch. Pietro Regazzo, ing. Giorgio Serafini

CONTRATTO DI RICERCA TRA COMMISSARIO DELEGATO  
PER LA REGIONE MARCHE E IUAV  
D.G.R. n. 78 PR/CBC del 18 gennaio 1999  
Convenzione reg. int. 2709 del 25 maggio 1999

## 1997\_CARTA DELLO STATO DEL DANNO

Elaborazione su base del Piano di Recupero del centro storico di Camerino (MG)

- DANNO GRAVISSIMO
- DANNO GRAVE
- DANNO SIGNIFICATIVO



1997\_CARTA DELLA VULNERABILITA' SISMICA  
Elaborazione su base del Piano di Recupero del centro storico di Camerino (MC)

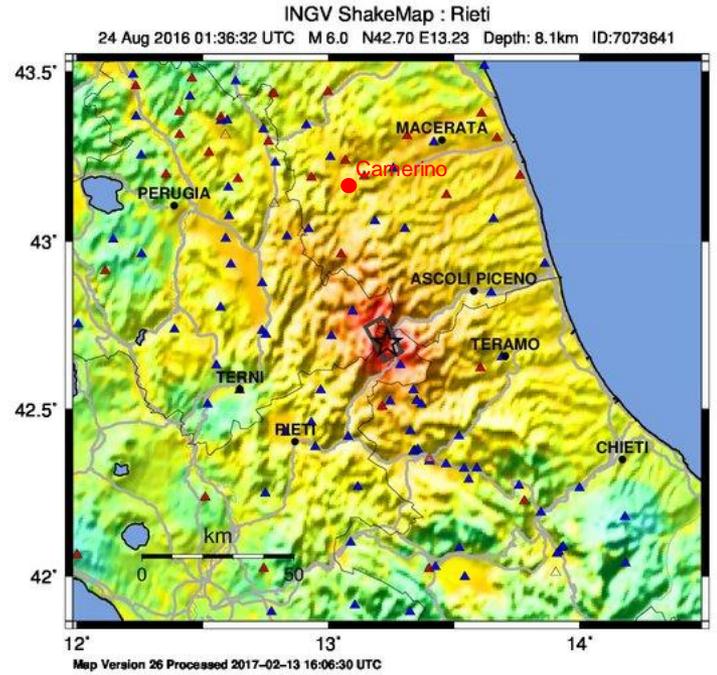


## 1997\_INTERVENTI DI RECUPERO

Elaborazione su base del Piano di Recupero del centro storico di Camerino (MC)

- INTERVENTI UNITARI
- INTERVENTI D.C.D. 121/97 (Ricostruzione leggera)

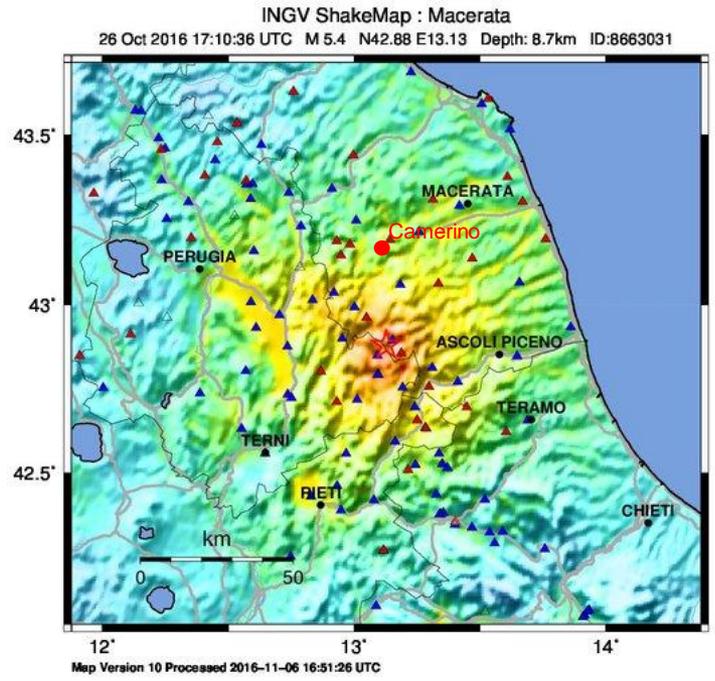




PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%)g	<0.06	0.2	0.8	2.0	4.8	12	29	70	>171
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.08	0.3	0.9	2.4	6.4	17	45	>120
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

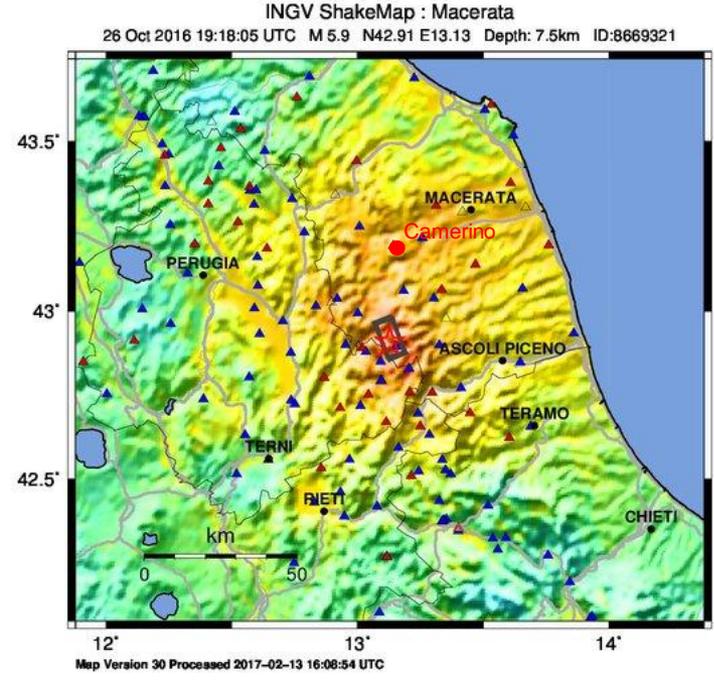
Scale based upon Faenza and Michalmi, 2010, 2011





PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	<b>Moderate</b>	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.06	0.2	0.8	2.0	4.8	12	29	70	>171
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.08	0.3	0.9	2.4	6.4	17	45	>120
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	<b>V</b>	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Faenza and Michelini, 2010, 2011



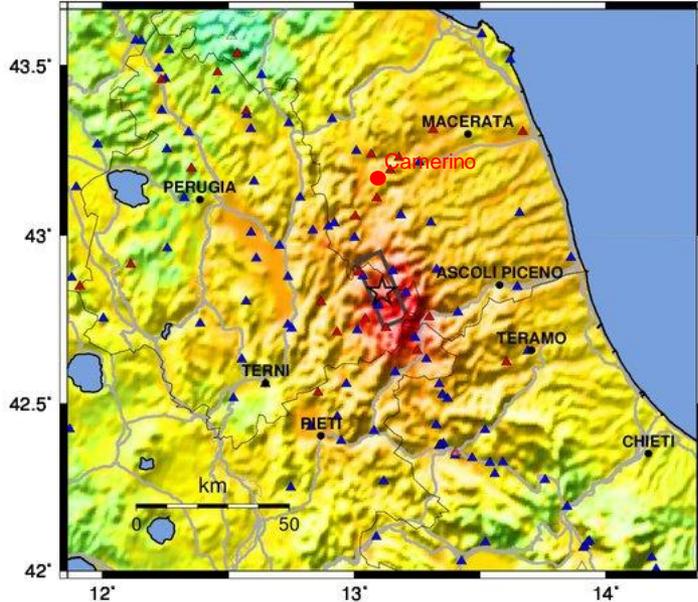
PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	<b>Very strong</b>	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.06	0.2	0.8	2.0	4.8	12	29	70	>171
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.08	0.3	0.9	2.4	6.4	17	45	>120
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	<b>VII</b>	VIII	IX	X+

Scale based upon Faenza and Michelini, 2010, 2011



INGV ShakeMap : Perugia

30 Oct 2016 06:40:17 UTC M 6.5 N42.83 E13.11 Depth: 9.2km ID:8863681



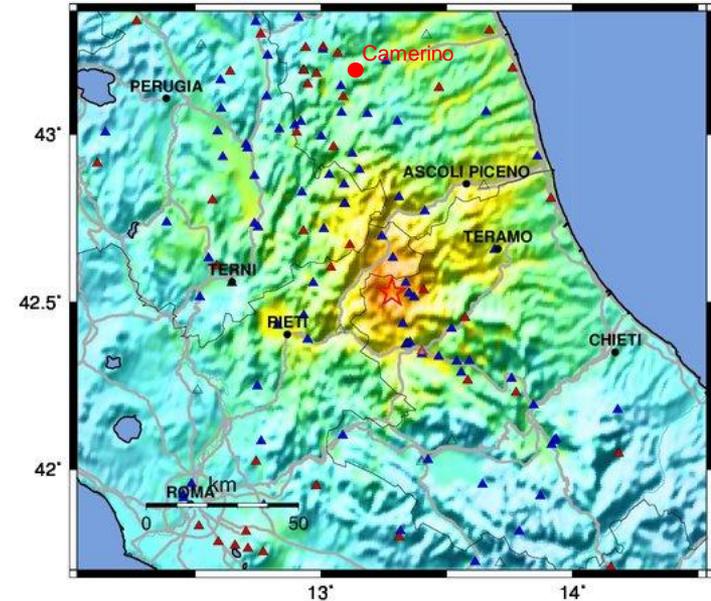
Map Version 29 Processed 2017-02-13 16:09:43 UTC

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.06	0.2	0.8	2.0	4.8	12	29	70	>171
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.08	0.3	0.9	2.4	6.4	17	45	>120
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	V	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Faenza and Michelini, 2010, 2011

INGV ShakeMap : L'Aquila

18 Jan 2017 10:14:09 UTC M 5.5 N42.53 E13.28 Depth: 5.0km ID:12697591



Map Version 11 Processed 2017-03-13 18:21:54 UTC

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.06	0.2	0.8	2.0	4.8	12	29	70	>171
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.08	0.3	0.9	2.4	6.4	17	45	>120
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Faenza and Michelini, 2010, 2011



2016\_RICOGNIZIONE FOTOGRAFICA CENTRO STORICO DI CAMERINO (MC)  
Elaborazione personale

- PERCORSO RICOGNITIVO
- EDIFICI OSSERVATI



2016\_RICOGNIZIONE FOTOGRAFICA CENTRO STORICO DI CAMERINO (MC)

Elaborazione personale

-  PERCORSO RICOGNITIVO
-  EDIFICI OSSERVATI











35









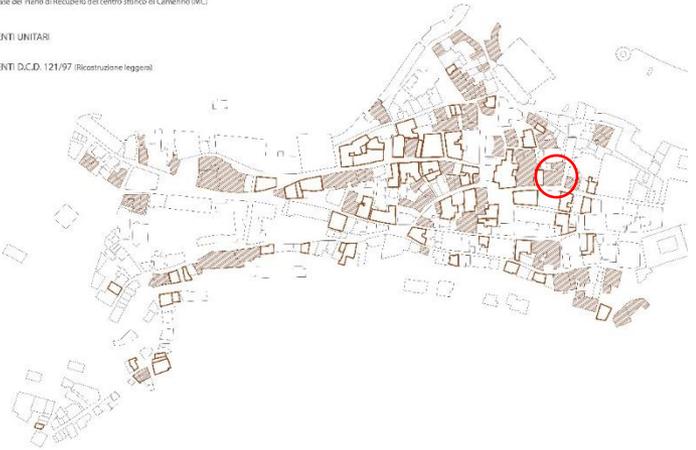




1997\_INTERVENTI DI RECUPERO

Elaborazione su base del Piano di Recupero del centro storico di Camerino (M.C.)

- INTERVENTI UNITARI
- INTERVENTI D.C.D. 121/97 (Ricostruzione leggera)



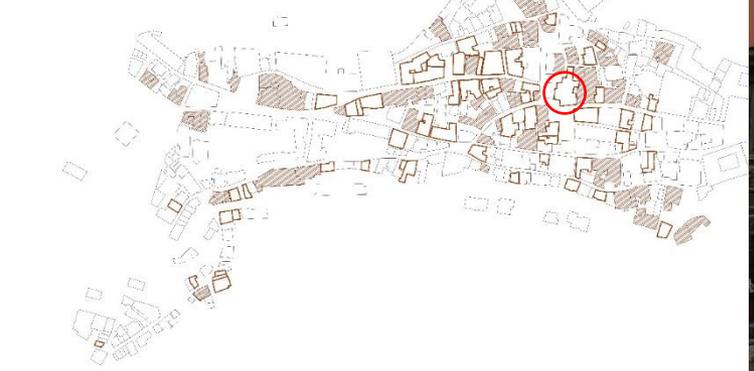


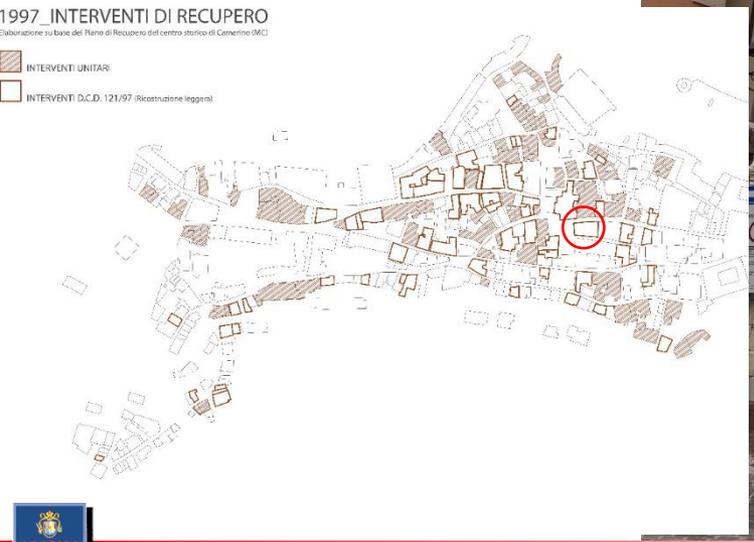


1997\_INTERVENTI DI RECUPERO

Elaborazione su base del Piano di Recupero del centro storico di Camerino (MC)

 INTERVENTI UNITARI  
 INTERVENTI D.C.D. 121/97 (Ricostruzione leggera)



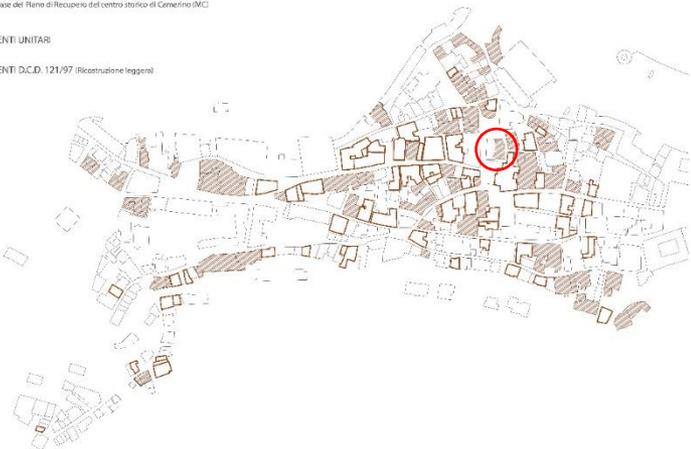




1997\_INTERVENTI DI RECUPERO

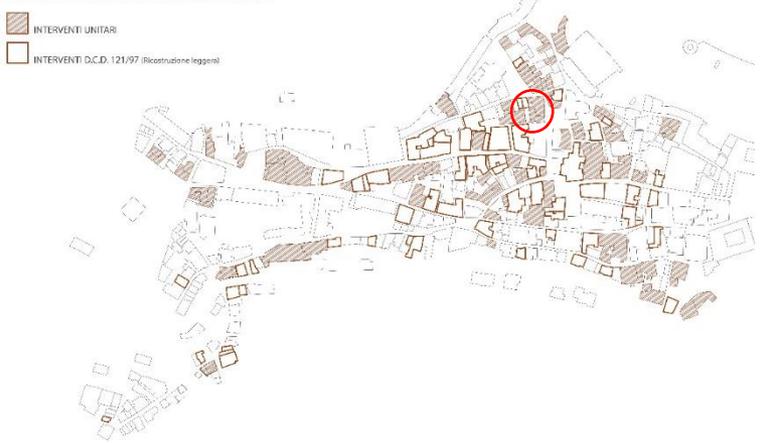
Elaborazione su base del Piano di Recupero del centro storico di Camerino (M.C.)

- INTERVENTI UNITARI
- INTERVENTI D.C.D. 121/97 (Ricostruzione leggera)





1997\_INTERVENTI DI RECUPERO  
Elaborazione su base del Piano di Recupero del centro storico di Camerino (M.C.)

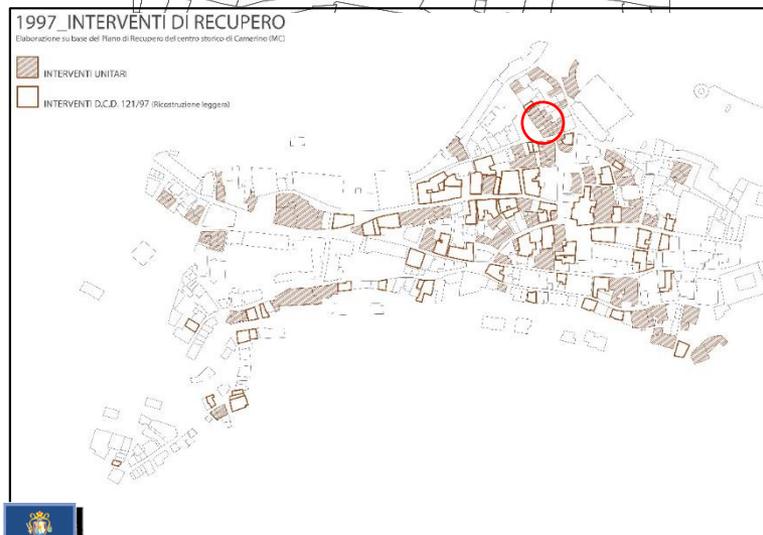


2016\_RICOGNIZIONE FOTOGRAFICA CENTRO STORICO DI CAMERINO (MC)  
Elaborazione personale

- PERCORSO RICOGNITIVO
- EDIFICI OSSERVATI



2016\_PERCORSO RICOGNITIVO\_Parte 2



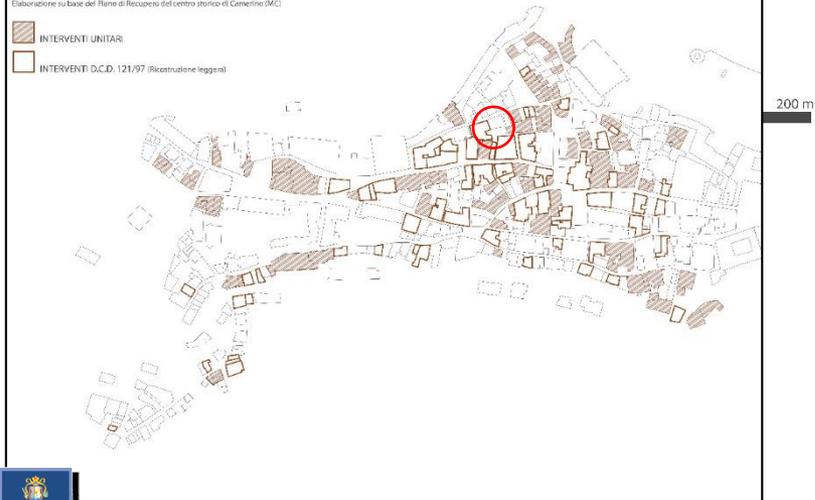
2016\_PERCORSO RICOGNITIVO\_Parte 2  
Mappa osservativa personale



1997\_INTERVENTI DI RECUPERO

Elaborazione su base del Piano di Recupero del centro storico di Camerino (M.C.)

- INTERVENTI UNITARI
- INTERVENTI D.C.D. 1281/97 (Ricostruzione leggenda)

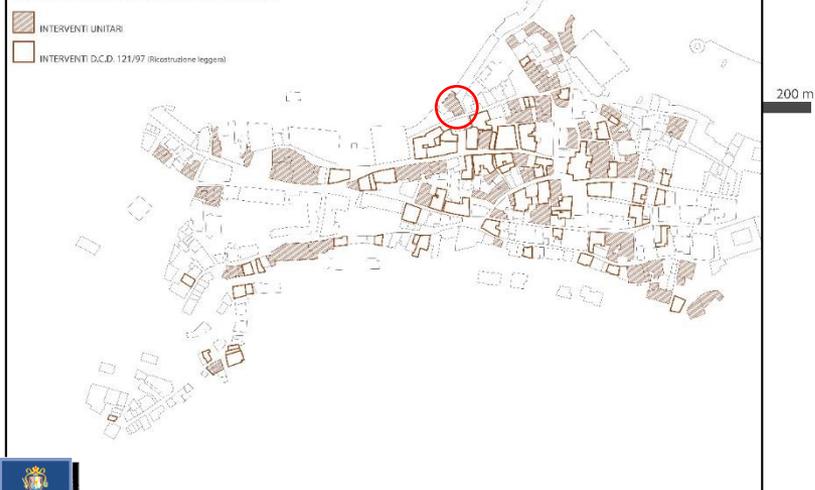


2016\_PERCORSO RICOGNITIVO\_Parte 2  
Mappa osservazione personale



1997\_INTERVENTI DI RECUPERO

Elaborazione su base del Piano di Recupero del centro storico di Camerino (MC)



2016\_PERCORSO RICOGNITIVO\_Parte 2  
Mappatura personale



1997\_INTERVENTI DI RECUPERO

Elaborazione su base del Piano di Recupero del centro storico di Camerino (MC)

- INTERVENTI UNITARI
- INTERVENTI D.C.D. 121/97 (Ricostruzione leggera)



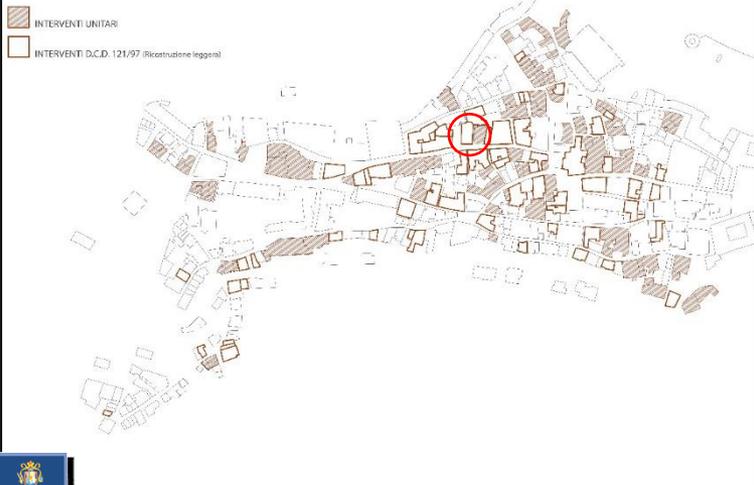
2016\_PERCORSO RICOGNITIVO\_Parte 2

Microscansione personale



1997\_INTERVENTI DI RECUPERO

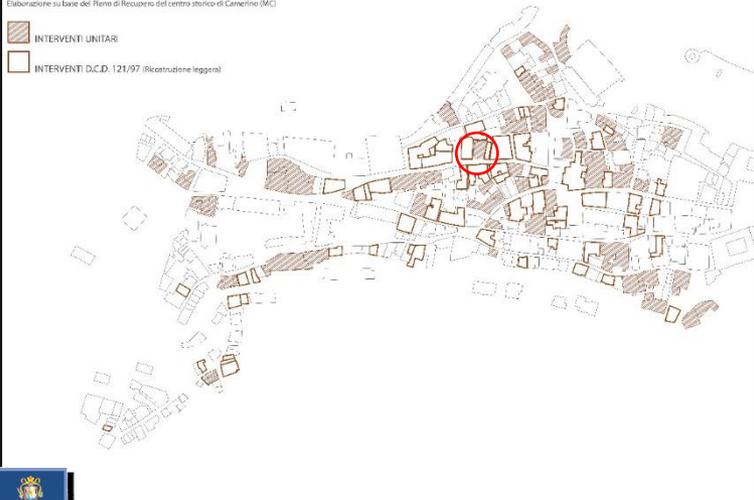
Elaborazione su base del Piano di Recupero del centro storico di Camerino (M.C.)



2016\_PERCORSO RICOGNITIVO\_Parte 2



1997\_INTERVENTI DI RECUPERO



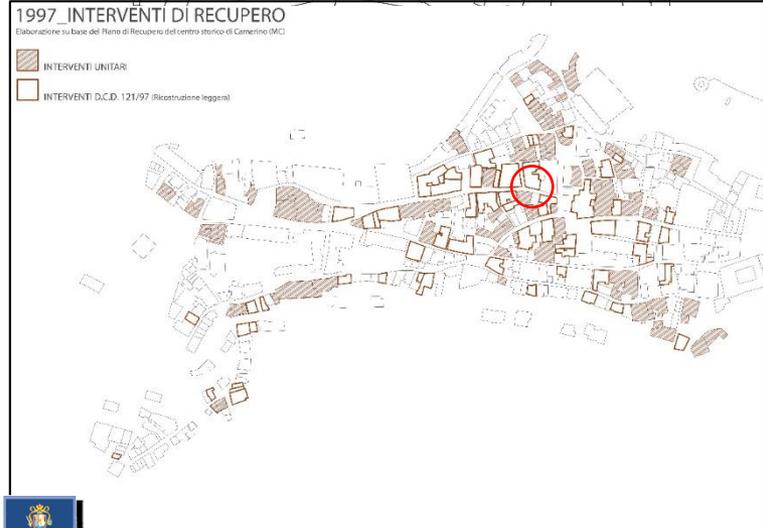
2016\_PERCORSO RICOGNITIVO\_Parte 2



1997\_INTERVENTI DI RECUPERO



2016\_PERCORSO RICOGNITIVO\_Parte 2

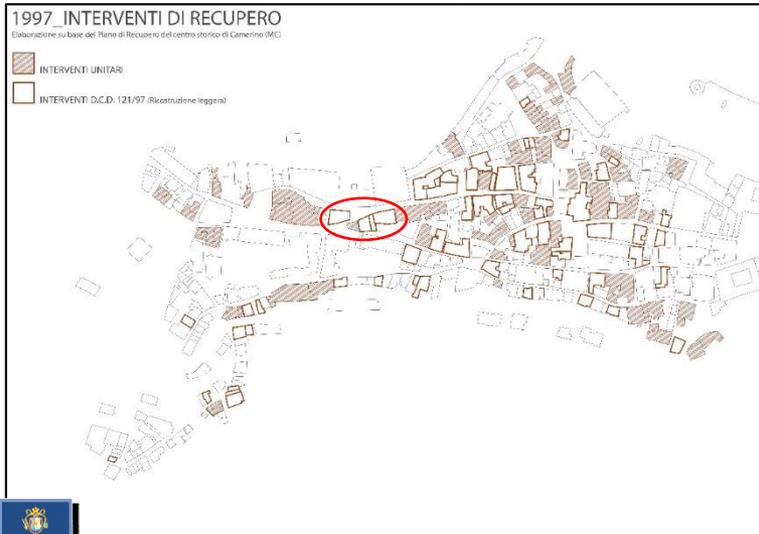


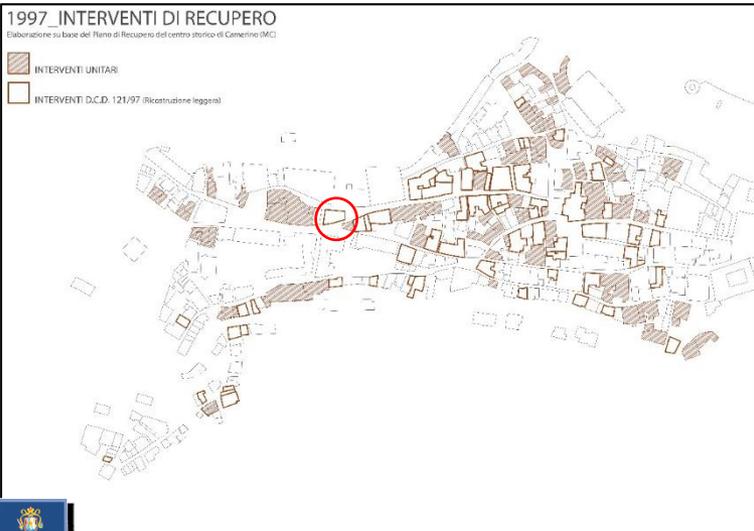
2016\_RICOGNIZIONE FOTOGRAFICA CENTRO STORICO DI CAMERINO (MC)

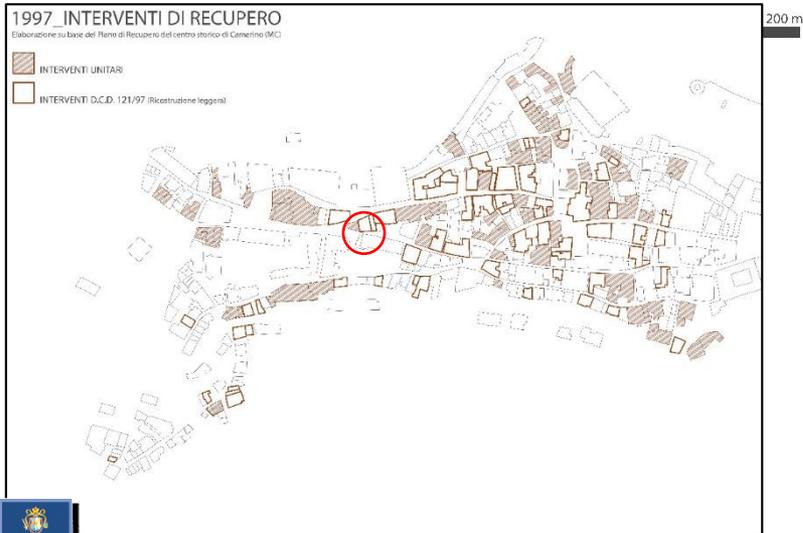
Elaborazione personale

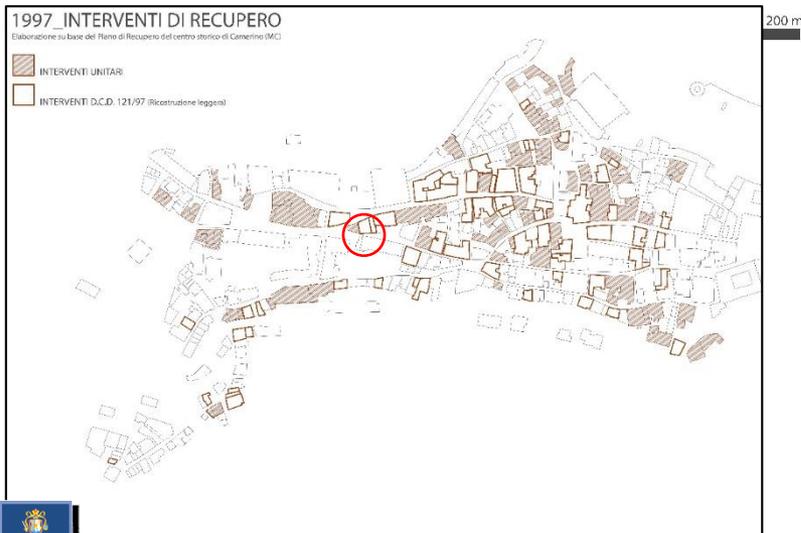
- PERCORSO RICOGNITIVO
- EDIFICI OSSERVATI

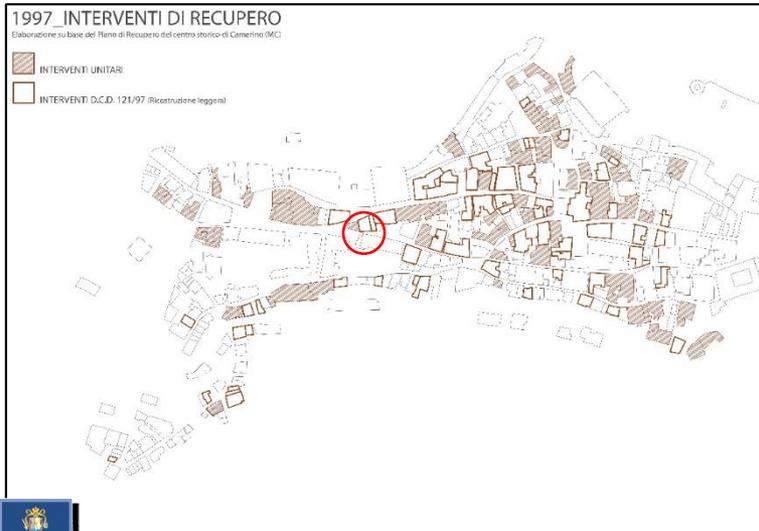


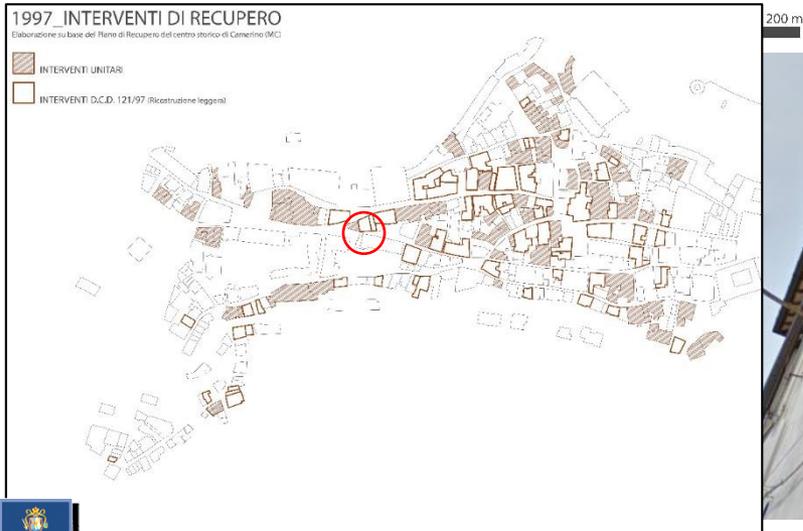


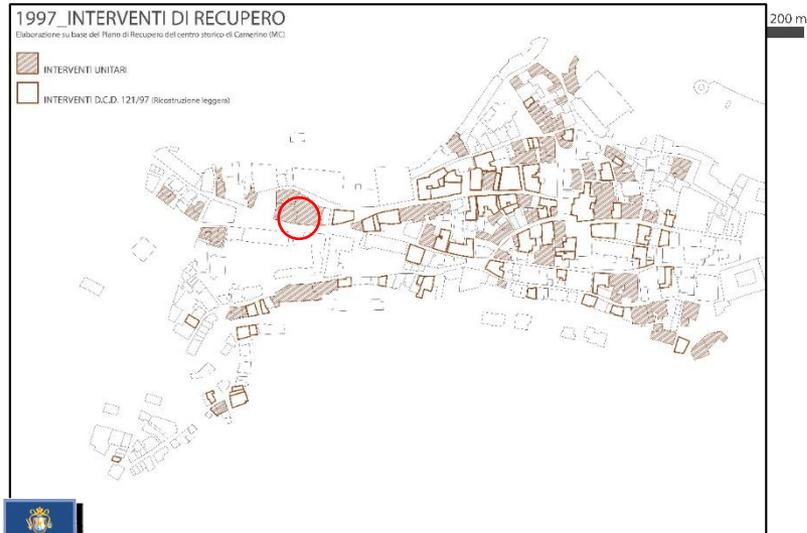


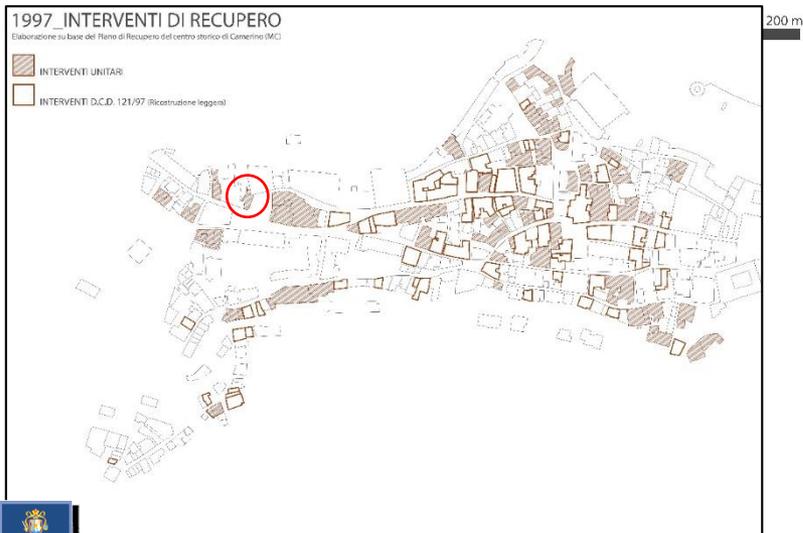






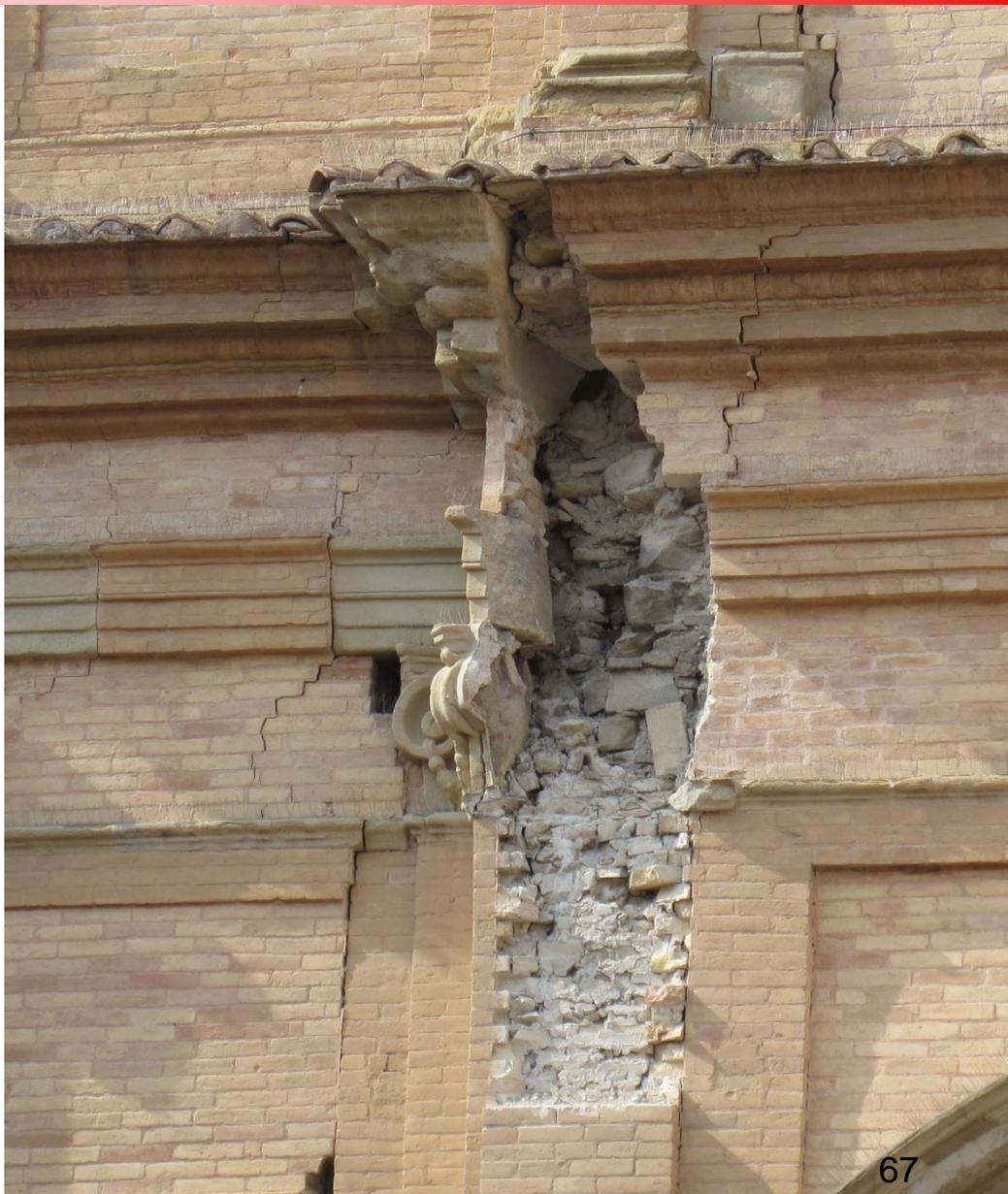
















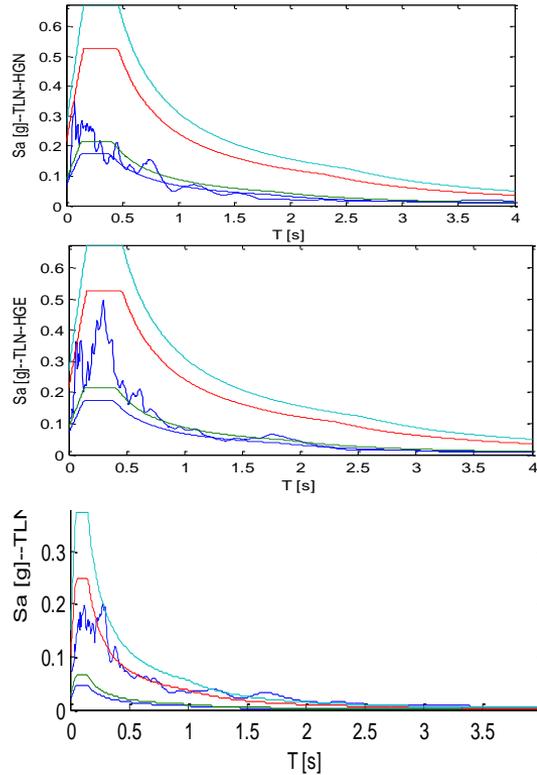
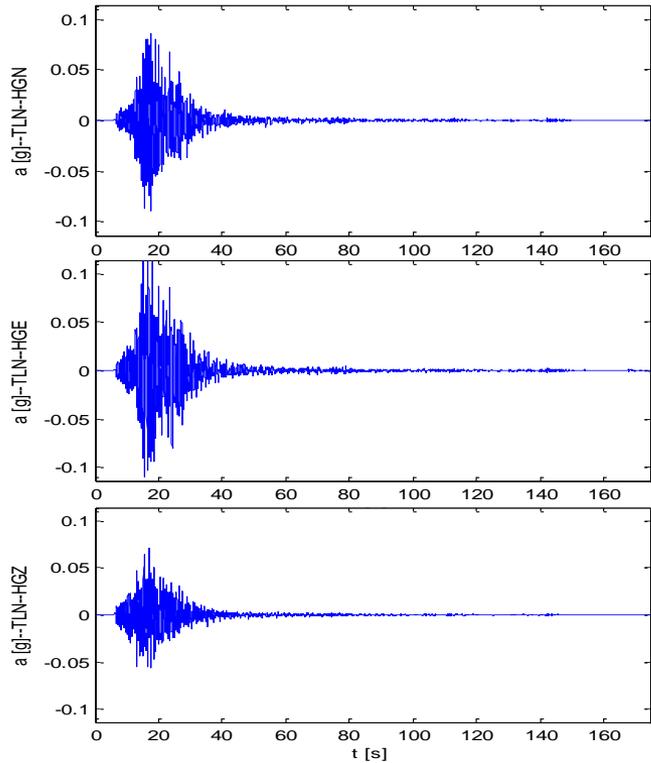




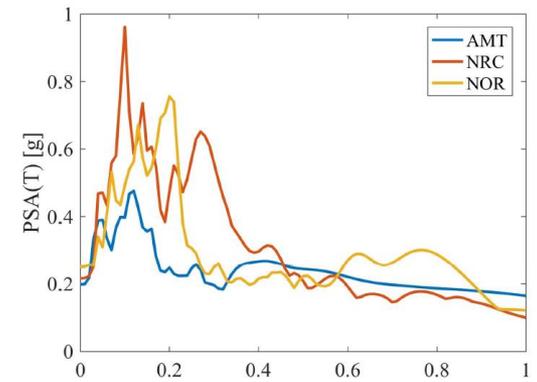
- Comportamento sismico delle costruzioni storiche
- Analisi dei danni degli edifici della città di Camerino
- **Alcuni aspetti particolari**
- Edifici in calcestruzzo armato
- Conclusioni



Earthquake Norcia 30.10.2016  
 Recording station Tolentino, soil category B  
 Distance from the epicentre 43.53 km



Vertical component of the seismic action



Camerino  
Cathedral SS Annunziata



After 30.10.2016 EQ

Camerino  
Cathedral SS Annunziata



After 30.10.2016 EQ

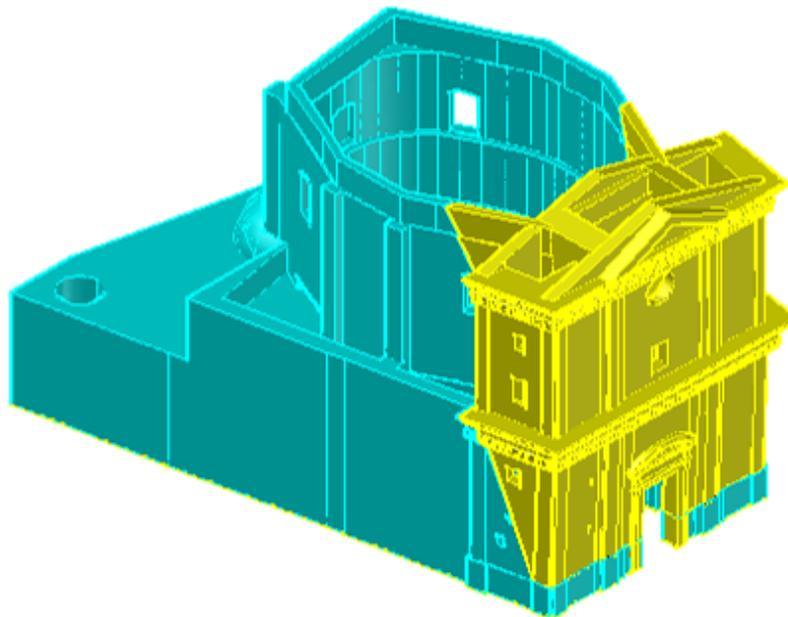
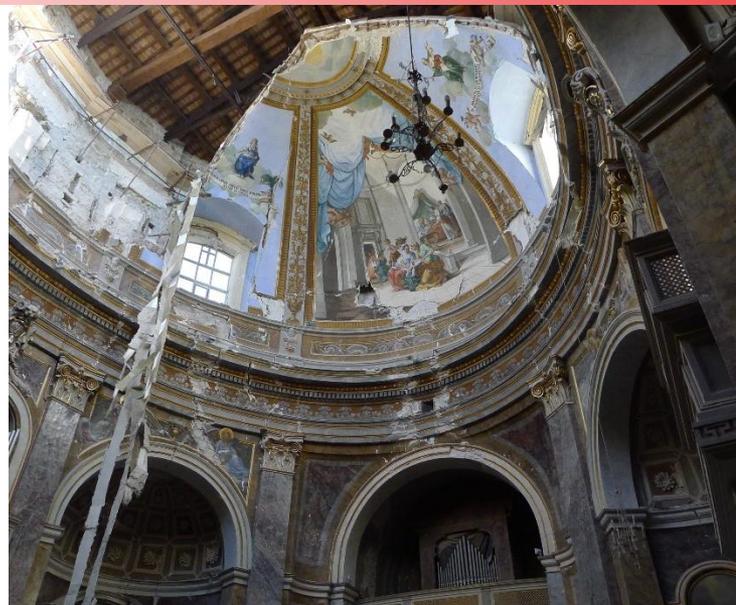
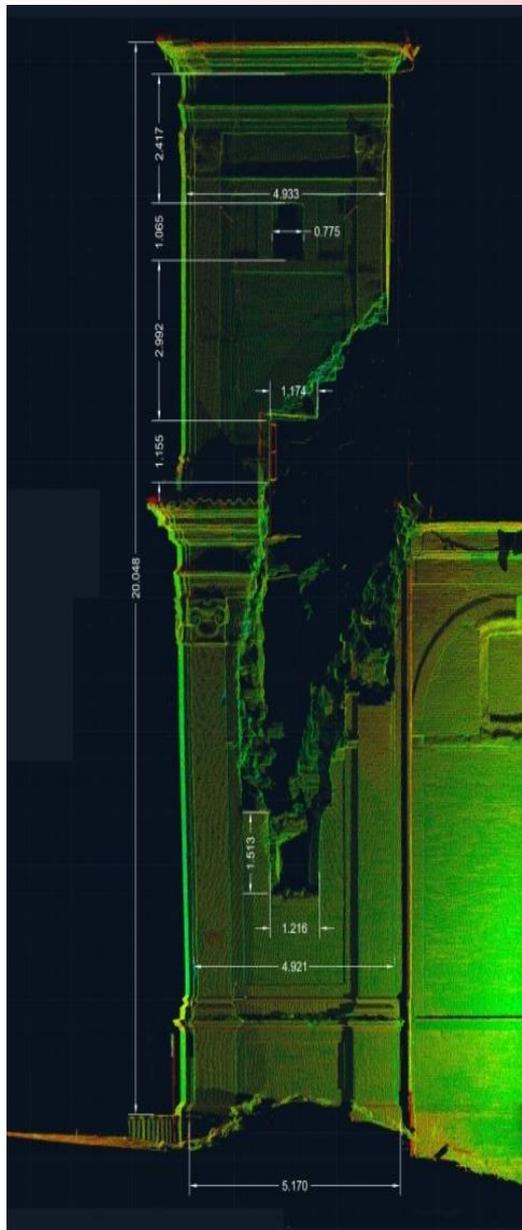
Camerino  
Santa Maria in Via

24.08.16 EQ



30.10.2016 EQ





Camerino  
Santa Maria in Via



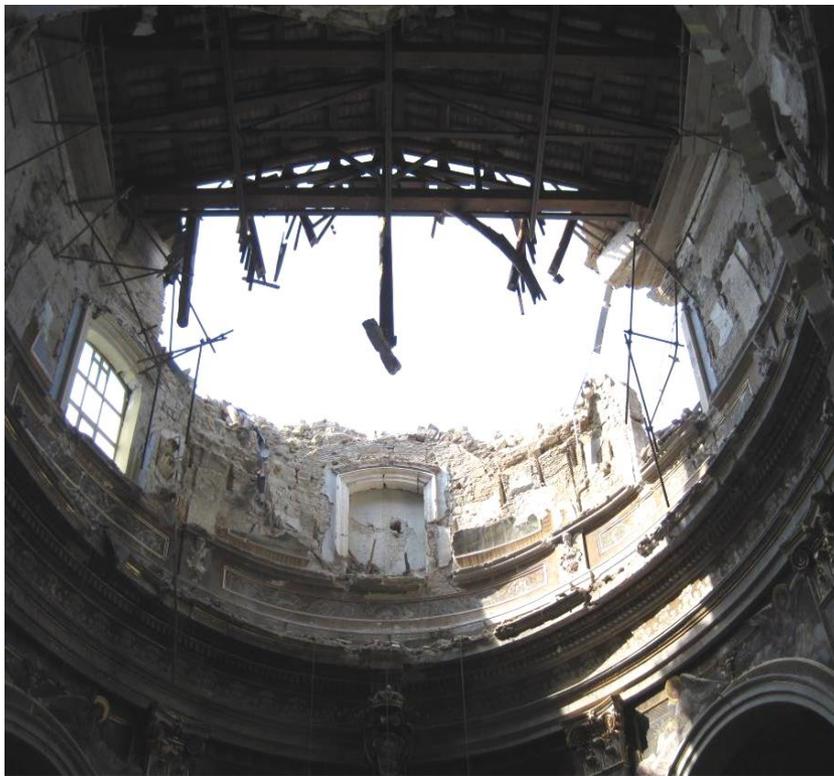
After the 26.10.2016 EQs

Camerino  
Santa Maria in Via



After the 30.10.2016 EQ

Camerino  
Santa Maria in Via



After January and February (snow)

## Flexible structures and bell towers



Amatrice



Camerino  
Madonna delle carceri



Before 26.10.2016 EQs



After 30.10.2016 EQ

Camerino  
Madonna delle carceri



Before 26.10.2016 EQs



After 30.10.2016 EQ

Camerino  
San Carlo Borromeo



After 24.08.2016 EQ



After 30.10.2016 EQ





Camerino  
Santa Maria in Via



Images of the 24.10.2016

After the EQ  
26.10.2016



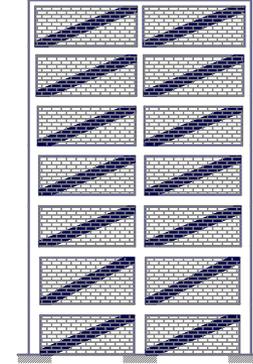
- Comportamento sismico delle costruzioni storiche
- Analisi dei danni degli edifici della città di Camerino
- Alcuni aspetti particolari
- **Edifici in calcestruzzo armato**
- Conclusioni



## Approccio di progetto per edifici intelaiati in calcestruzzo armato

### PHASE 1 – No damages

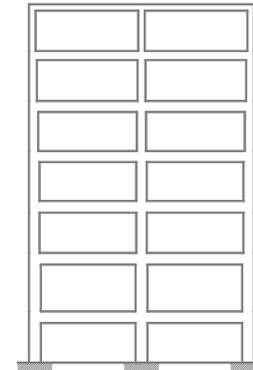
The seismic action is resisted by the frame and by the non structural components



### PHASE 2 - Damages to non structural components

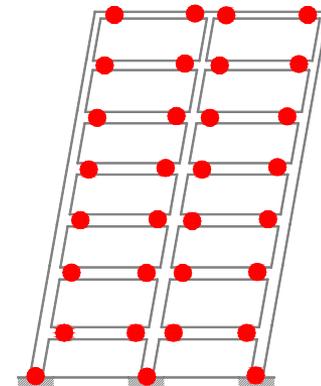
Progressive damage to structural elements.

Danger related to irregularities of stiffness in plan and elevation → induced premature local failures (soft floor)



### PHASE 3 – Damages to structural components

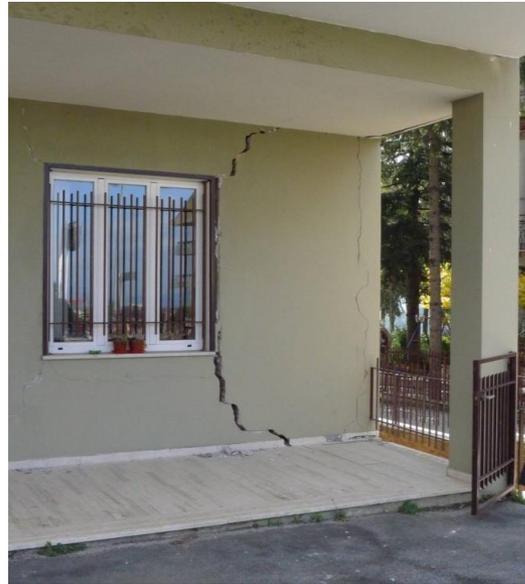
Ductile behaviour related to seismic details (i.e. hierarchy)



# Edifici in calcestruzzo armato

Edificio Fazzini  
Residenze per studenti  
Ufficio del Dipartimento regionale  
della Protezione Civile

26 October EQs



30 October EQ



Tribunale



## Quartiere Vallicelle



- Comportamento sismico delle costruzioni storiche
- Analisi dei danni degli edifici della città di Camerino
- Alcuni aspetti particolari
- Edifici in calcestruzzo armato
- **Conclusioni**



- I recenti eventi sismici hanno prodotto danni agli edifici già colpiti dal terremoto del 1997
- Sono avvenuti collassi rilevanti solamente in alcune aree isolate
- Il danneggiamento ha interessato principalmente gli elementi sottofinestra e, nei casi più significativi, i maschi murari della prima elevazione
- Gli interventi di miglioramento sismico eseguiti sono stati efficaci solo in presenza di muratura di buona qualità
- É necessario migliorare la conoscenza della tessitura muraria durante la fase di progettazione degli interventi
- É necessario migliorare il comportamento materico delle murature con interventi di rigenerazione senza i quali gli interventi che mirano ad ottenere il comportamento scatolare dell'edificio sono poco efficaci
- Gli edifici in calcestruzzo armato andrebbero migliorati essenzialmente con l'inserimento di sistemi di irrigidimento capaci di controllare non solo il meccanismo di collasso ma anche il danneggiamento degli elementi non strutturali. Valutare la possibilità di sostituire tutti gli elementi non strutturali (intervento molto costoso)



## ***RICOSTRUZIONE POST-TERREMOTO, MICROZONAZIONE SISMICA E PIANIFICAZIONE URBANISTICA***

### ***La città di Camerino e la ricostruzione post-terremoto***

**Ing. Graziano Leoni**

**Professore di Tecnica delle Costruzioni  
Scuola di Architettura e Design «E.Vittoria»  
Università di Camerino**

**[graziano.leoni@unicam.it](mailto:graziano.leoni@unicam.it)**

**Ringraziamenti:**

**Dott. Ing. Roberto di Girolamo**

**Luca G. Petrini**

