



Camera di Commercio  
Teramo



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Teramo

## **Per non tremare quando la terra trema**

Teramo, 24 marzo 2010


# **Danni causati all'edilizia monumentale**

## **Alcuni casi di studio**

**Elena Antonacci**

*Università degli Studi dell'Aquila* - Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno





Dopo il terremoto del 6 aprile i **monumenti** ed i **palazzi storici**, a cominciare da quelli del comune dell'Aquila e poi via via anche quelli di tutto il territorio colpito dall'evento, sono stati oggetto di attente analisi di studio per **interpretare il danno**, **comprenderne le cause**, suggerire i migliori **interventi provvisionali** ed indicare le **linee guida** per la progettazione dei futuri interventi di riparazione, consolidamento e restauro.

A questo difficile compito si sono dedicati con grande slancio ed impegno molti studiosi provenienti dalle università di tutta Italia.

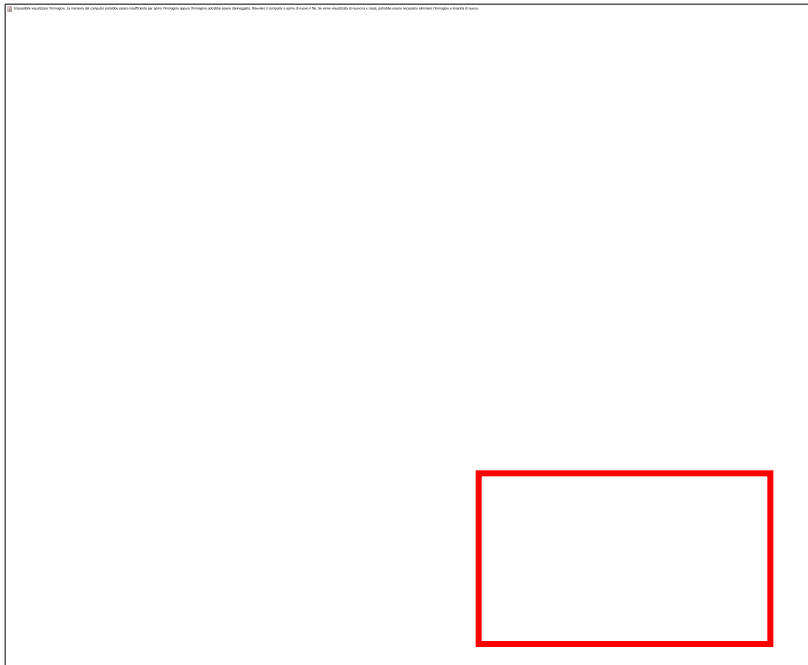
## La Basilica di S. Maria di Collemaggio in L'Aquila

---



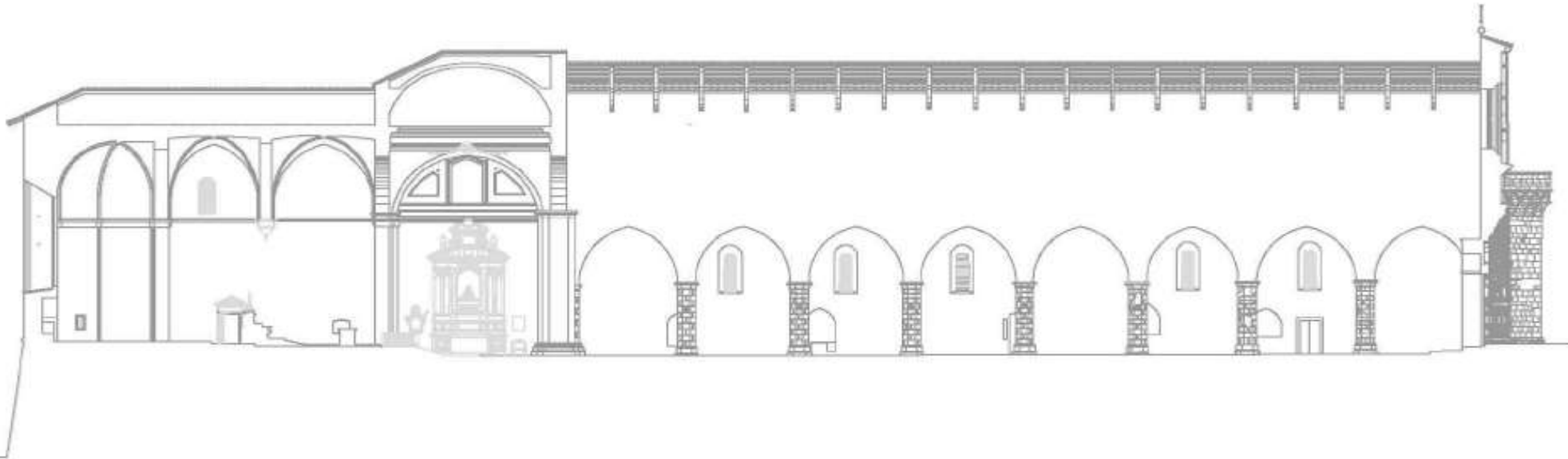
# LOCALIZZAZIONE

- La Basilica è posta alla sommità di un colle della città dell'Aquila.
- Il suo asse principale è orientato in direzione E-W, con la parte absidale in posizione dominante rispetto alla sottostante Valle dell'Aterno.
- Indagini relative al terreno di fondazione, hanno consentito di verificare la sua stratigrafia:
  - Terreno vegetale e di riporto di 1m di spessore dal p.c.;
  - Breccie mescolate ad argille e limi di spessore 4-8m (piano di fondazione);
  - Breccie e ghiaia poco cementate su calcari arenacei.



Posizione del complesso conventuale e della Basilica rispetto al centro storico dell'Aquila.

# LA BASILICA DI COLLEMAGGIO



- **Costruita nel XIII secolo. La Basilica ha una navata centrale (61 m di lunghezza e 11.3 m in larghezza) e due navate laterali ( $\cong$  8 m in larghezza).**
- **La navata centrale raggiunge un'altezza di 18.25 m; i due muri esterni sono alti 12.5 m.**
- **La facciata ha dimensioni 29.5 m (in larghezza) per 21.3 m (in altezza).**

# EVOLUZIONE COSTRUTTIVA E STRUTTURALE

- Nel 1287 iniziarono i lavori per la costruzione della Basilica e del monastero annesso.
- La concezione strutturale della Basilica restò invariata fino al 1703, quando in seguito ad un forte terremoto, si procedette all'abbassamento delle pareti longitudinali a causa dei crolli che le aveva interessate;
- Dopo il terremoto di Avezzano del 1915, che causò il grave dissesto della parte a sinistra della facciata, si pensò di rinforzarla con la realizzazione di uno strato posteriore di mattoni in cui si inseriva una griglia di elementi in c.a. e con la costruzione di speroni di irrigidimento in corrispondenza dei muri longitudinali.
- Nei primi anni '60 si procedette alla demolizione della cupola fortemente lesionata sopra il transetto ed alla sua ricostruzione con una uguale ma in c.a.
- Negli anni '70 l'Arch. Moretti eliminò l'apparato barocco riportando la chiesa al suo aspetto romanico, rialzati i muri longitudinali e costruiti dei cordoli in c.a. alla quota d'imposta delle capriate della copertura ed alla base della nuova muratura



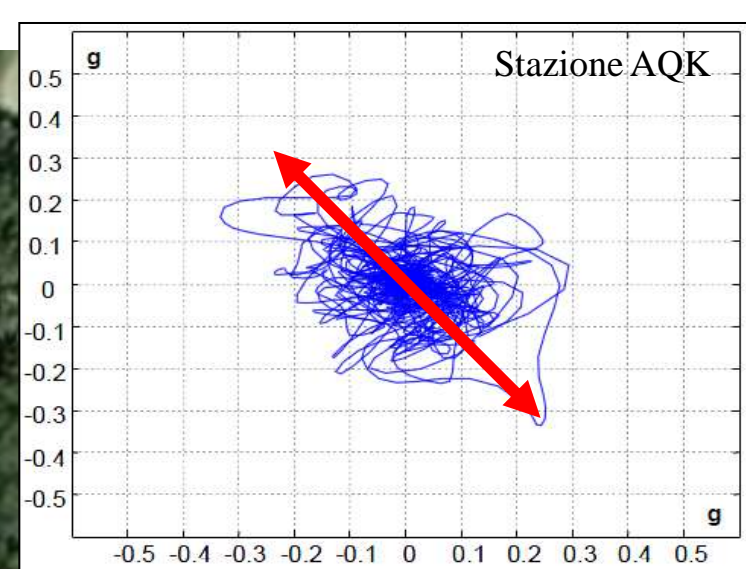
# EVOLUZIONE COSTRUTTIVA E STRUTTURALE

Dopo il recente terremoto del 1997 (Marche-Umbria) la Basilica è stata sottoposta ad alcuni lavori per migliorare il suo comportamento trasversale, attraverso il rinforzo delle pareti con iniezioni e la realizzazione di interventi sulle strutture delle coperture, finalizzati ad incrementare l'efficacia del loro collegamento al sistema murario.

Sono state irrigidite le strutture della coperture mediante l'inserimento di elementi leggeri di controvento in acciaio all'estradosso delle falde delle navate laterali, di connettori metallici agli innesti nelle pareti di navata dei correnti inferiori delle relative capriate e dei controventi in tondi d'acciaio a croce di S. Andrea tra i correnti inferiori delle capriate della navata centrale.







# IL SISMA DEL 6 APRILE 2009

Lievi danni al rivestimento in pietra della Porta Santa sulla parete a Nord;  
danni di media entità alle celle campanarie del campanile a vela;

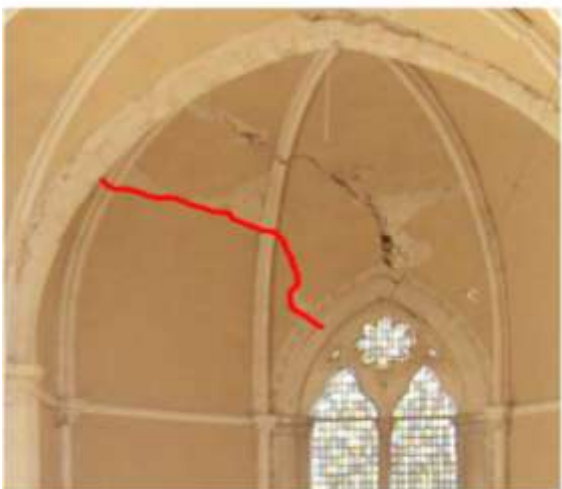
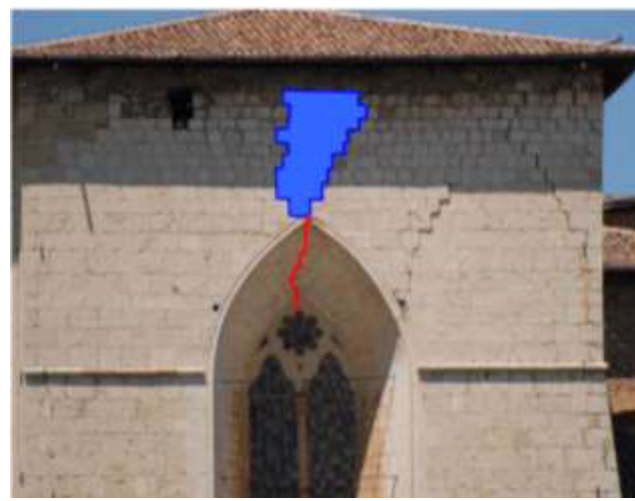
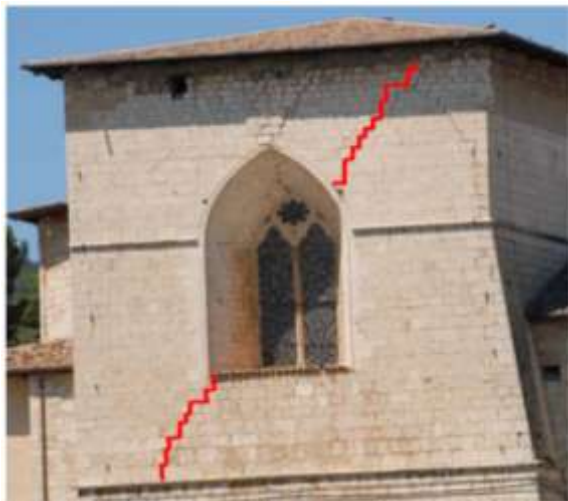


danni importanti all'abside principale e secondaria



# IL SISMA DEL 6 APRILE 2009

## Lesioni nell'abside



# IL SISMA DEL 6 APRILE 2009

Crollo della copertura, dell'arco trionfale e dei pilastri del transetto



# IL SISMA DEL 6 APRILE 2009

---



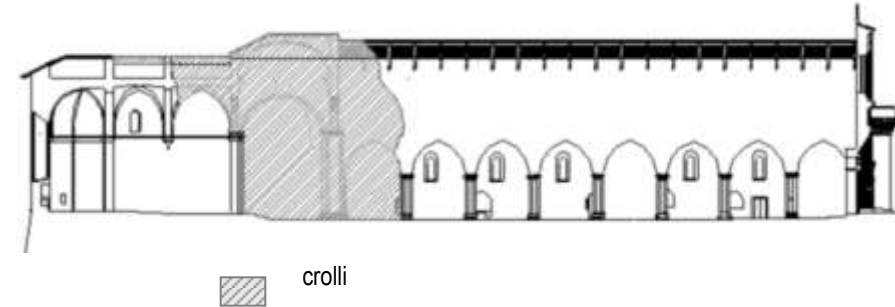




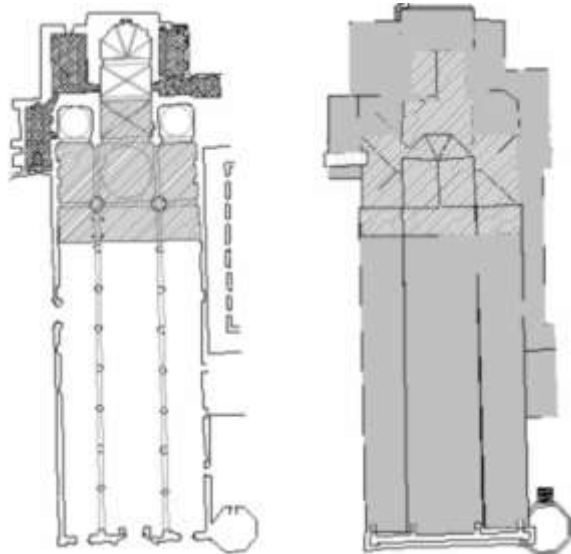
## Ricostruzione del Crollo del Transetto

**Meccanismo:** **totale collasso** di tutte le strutture in elevazione presenti nel transetto della Basilica.

Il collasso è stato caratterizzato dalla caduta della parete dell'arco trionfale, dei pilastri terminali della navata, delle strutture voltate e di quelle di copertura, che ha lasciato un cumulo di macerie tutto interno alla scatola muraria, rimasta praticamente integra e completa fino alla parte sommitale.



Tale modalità di crollo suggeriva il probabile **cedimento improvviso** dei due grandi pilastri a piliere che sorreggevano il complesso costituito dagli archi trionfali, dal tamburo su pennacchi con la sovrastante cupola emisferica, dalle volte laterali e dalla copertura lignea sovrastante.



Si riconosce **un'implosione del transetto** riconducibile al cedimento degli elementi verticali terminali della navata, normalmente soggetti a carichi verticali piuttosto considerevoli ed al delicato e sensibile equilibrio delle spinte delle archeggiature e delle volte, poi fortemente sollecitati dall'azione contemporanea delle forze indotte dal sisma, significativamente ed in misura paragonabile sia orizzontalmente che in direzione verticale.

Tale riconosciuta evidenza nel modo di collasso trovava tuttavia una evidente difficoltà per essere completamente avallata nel considerare le dimensioni piuttosto cospicue e quasi esagerate dei pilastri a pianta polilobata con dimensione trasversale massima della sezione di circa m. 2.60 e apparentemente realizzati a blocchi regolari di pietra calcarea.



## Ricostruzione del Crollo del Transetto

La ricostruzione delle vicende storiche recenti del monumento, ed in particolare la riconsiderazione dell' intervento di restauro operato dal soprintendente Moretti nei primissimi anni '70, anche in assenza della disponibilità di una documentazione specifica certa in proposito, consentono di ipotizzare una situazione di particolare probabile **vulnerabilità** di detti pilastri.

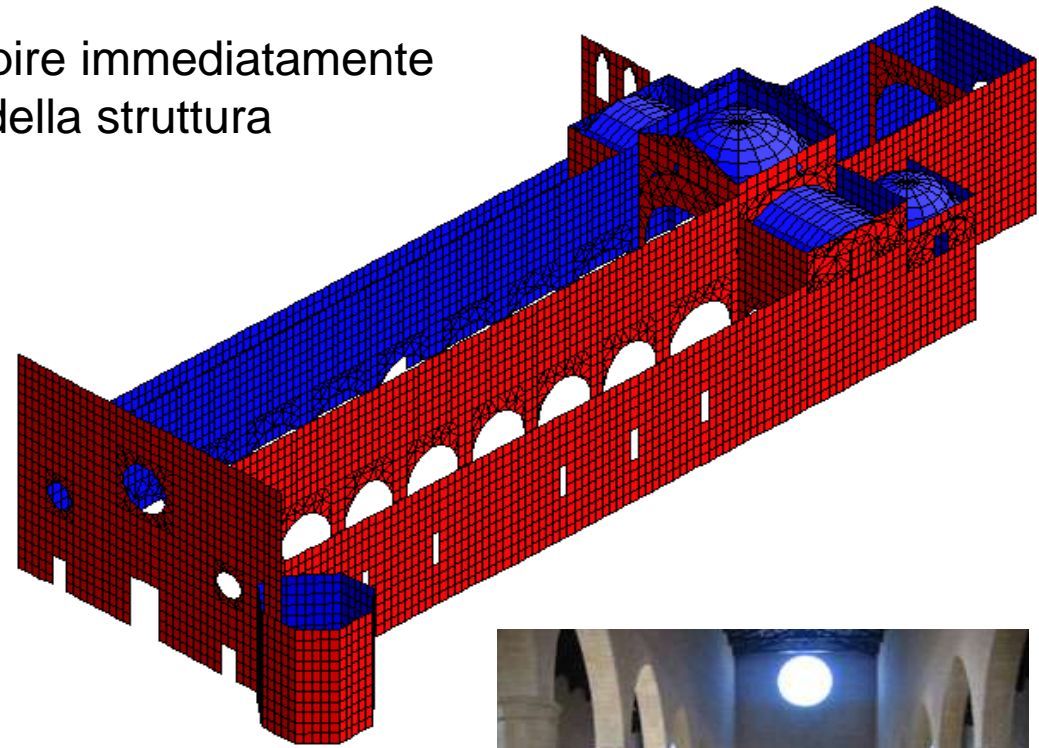
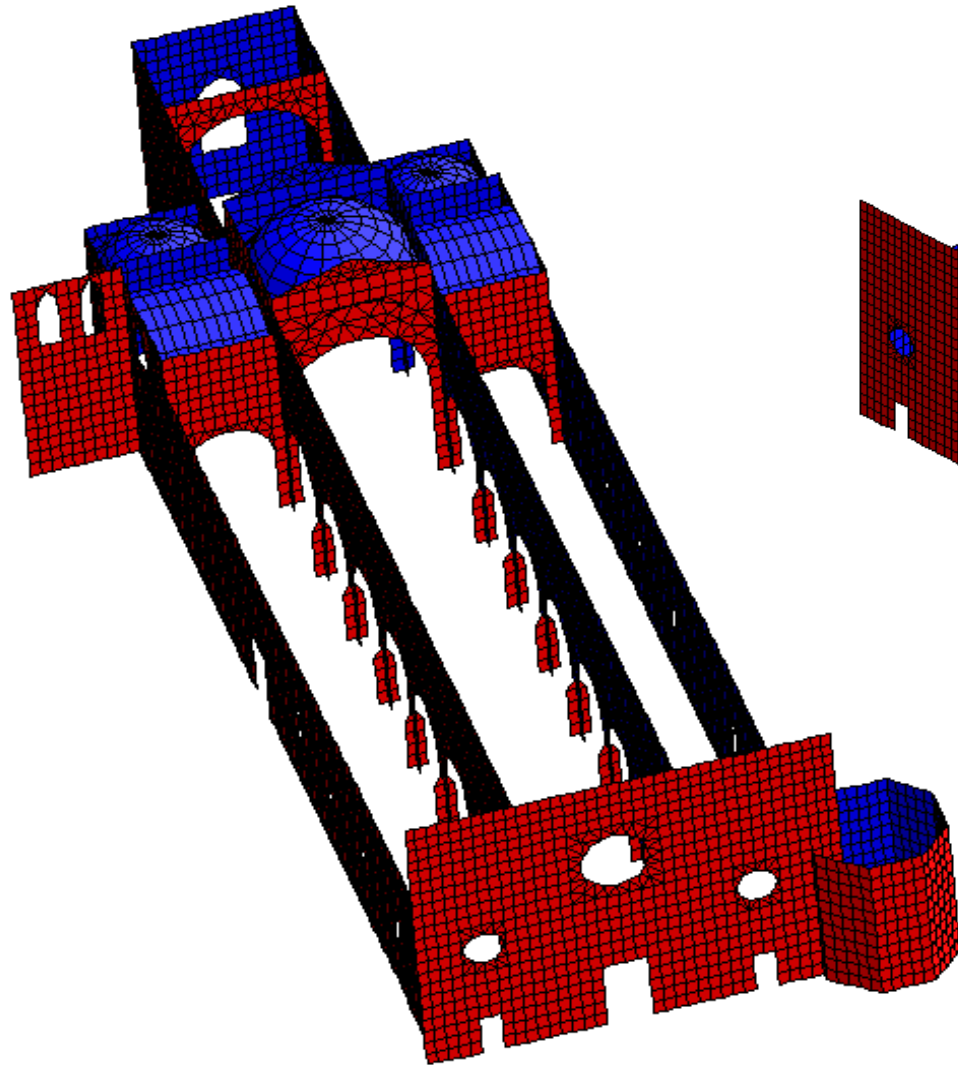
È noto, infatti, che l'intervento teso alla rimozione dell'apparato decorativo barocco presente nella Basilica, per riportare alla luce la "possente struttura originaria" dell'impianto duecentesco, dovette arrestarsi per l'insorgere di polemiche e diatribe in merito alla sua correttezza rispetto alle teorie del restauro, e di fatti si arrestò proprio a completamento del lavoro di ripristino della navata, lasciando il transetto nella sua struttura e decorazione barocca.

È altresì noto che comunque sia, fu lo stesso Moretti a modificare, alla fine, almeno i pilastri terminali della navata, ricostruiti sicuramente nella precedente trasformazione barocca insieme al resto delle strutture del transetto ed a ripristinare la forma polilobata a piliere a partire dal rinvenuto basamento, ancor oggi visibile dopo la rimozione delle macerie.

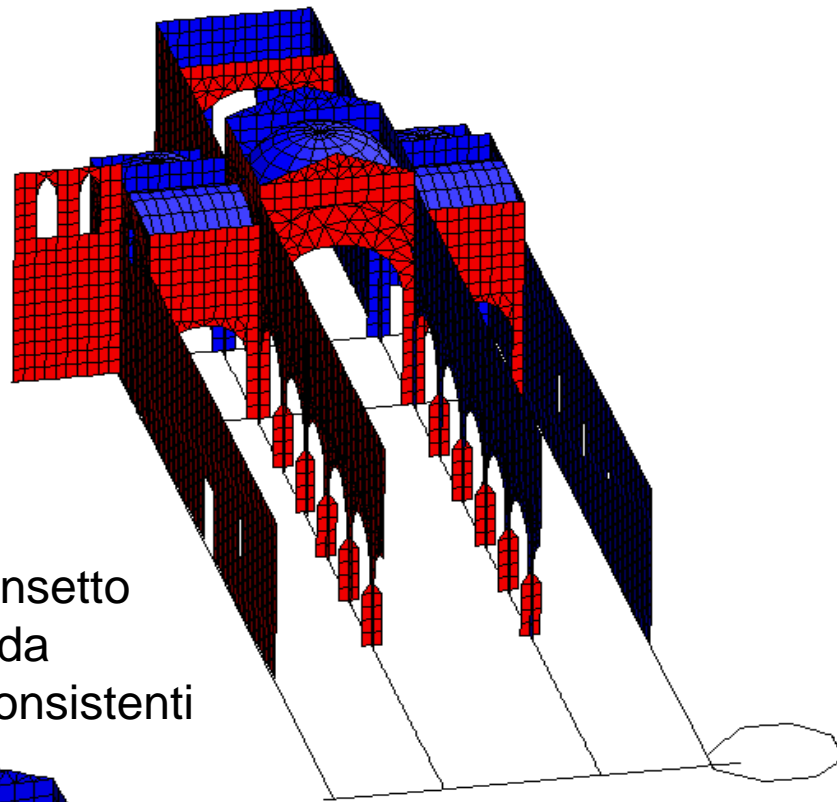
La vagliatura di queste ha consentito infatti di verificare il fatto che Moretti, dovendo almeno completare l'immagine della navata, avesse ricostruito la loro forma attraverso la realizzazione di una cortina esterna in pietra da taglio e quindi lasciando all'interno il nucleo portante dei pilastri barocchi.

Partendo da questa prima constatazione sulle probabili condizioni di vulnerabilità dei pilastri, si stanno effettuando degli approfondimenti attraverso una modellazione agli elementi finiti ed alcune analisi strutturali, per avere ulteriori indicazioni finalizzate all'interpretazione del danneggiamento prodotto dal sisma ed a sostegno dell'interpretazione della modalità di collasso ipotizzata.

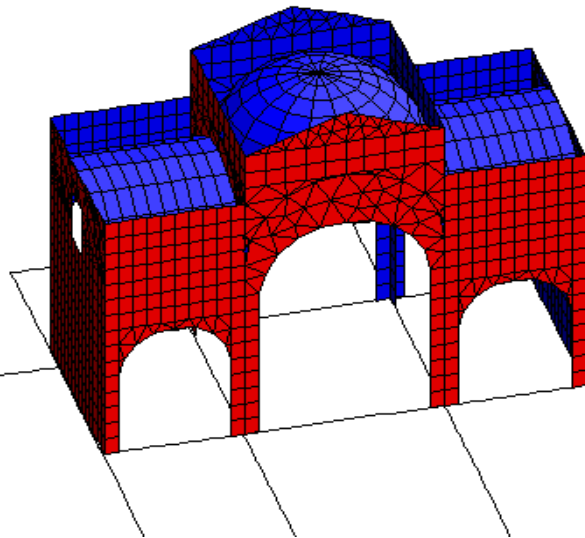
Questi modelli sono utili a percepire immediatamente le zone flessibili e quelle rigide della struttura



La zona del transetto  
è una zona rigida  
e con masse consistenti



Gli elementi verticali  
non sono stati in grado  
di resistere all'azione  
combinata  
di carichi verticali  
e orizzontali



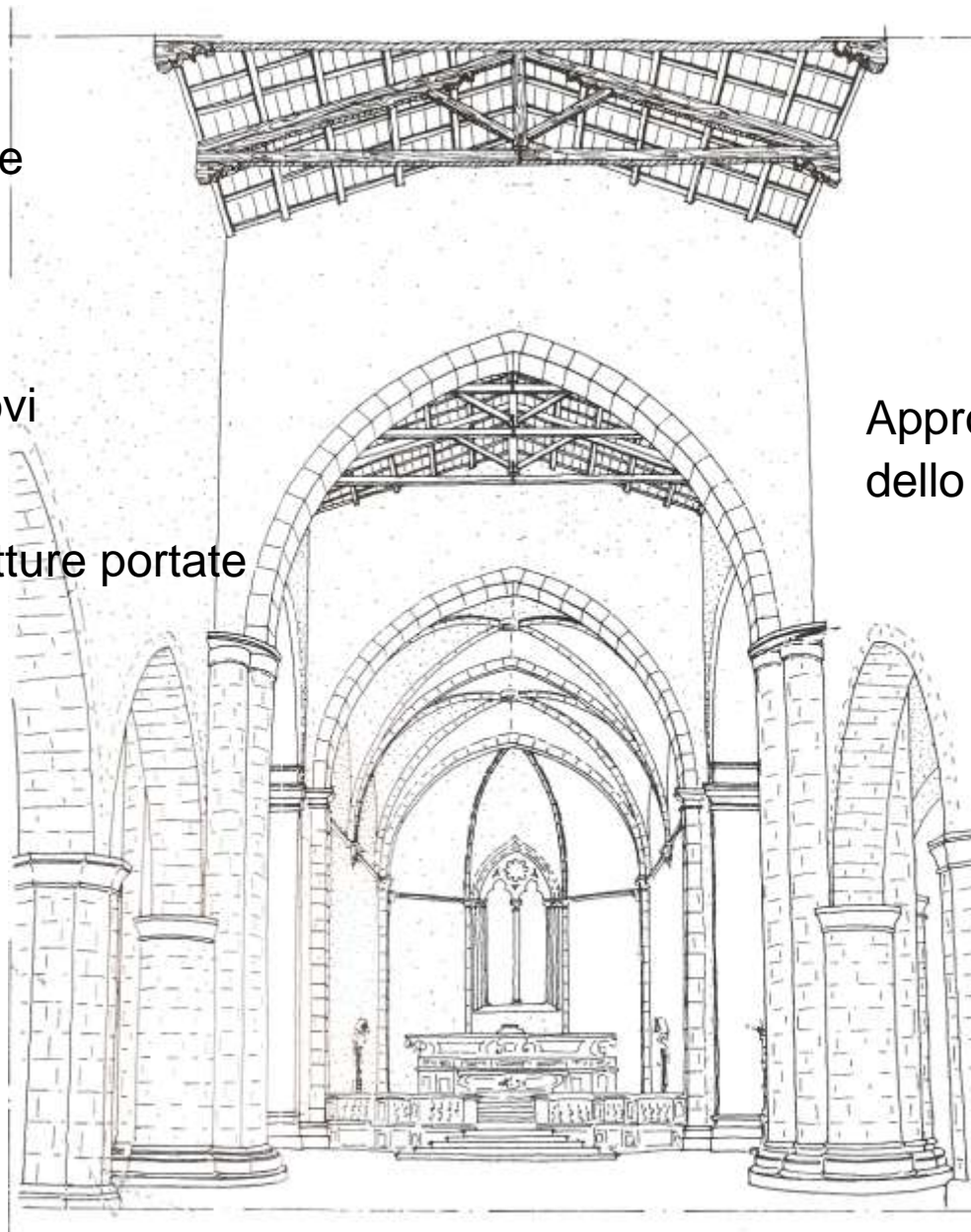
## IDEE PER LA RICOSTRUZIONE

Uno schema resistente  
globale d'insieme  
flessibile e distribuito

Materiali vecchi e nuovi

Leggerezza delle strutture portate

Efficacia dei  
collegamenti



Approfondita conoscenza  
dello stato attuale

Intervento rispettoso  
del monumento

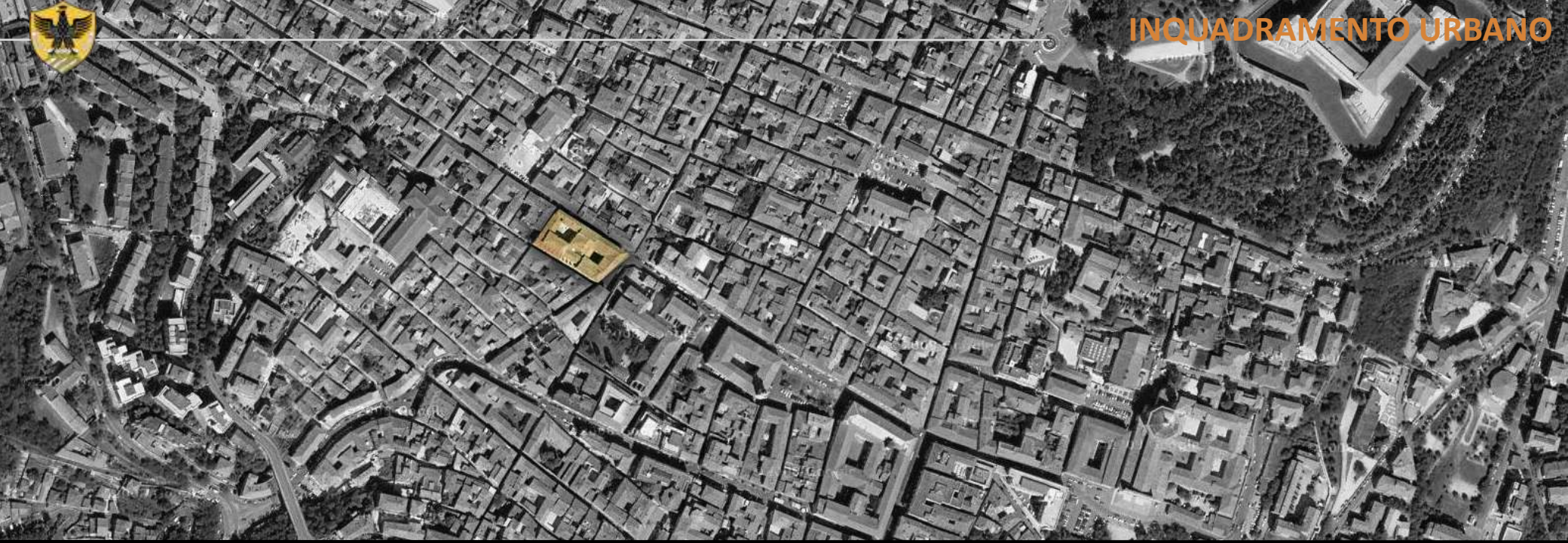
## Palazzo Carli

Sede del Rettorato





# INQUADRAMENTO URBANO





Pianta piano terra



Prospetto Est



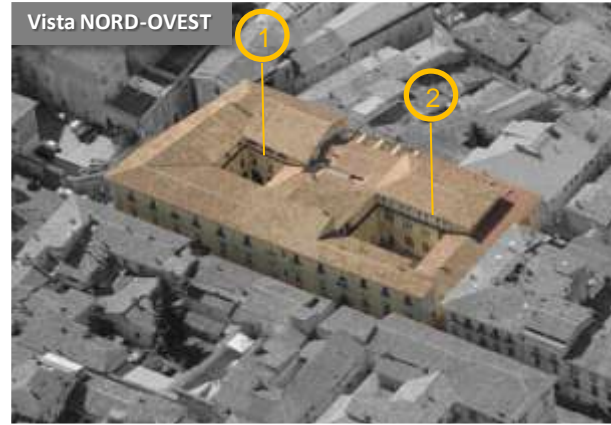
Cortile 1



Cortile 2



Vista NORD-OVEST



Vista SUD-EST



Edificio di *impianto rinascimentale* molto complesso, irregolare in pianta ed in alzata, costituito dall'unione di due palazzi, ciascuno con cortile centrale.

Ha **tre** piani fuori terra ed uno **seminterrato**.

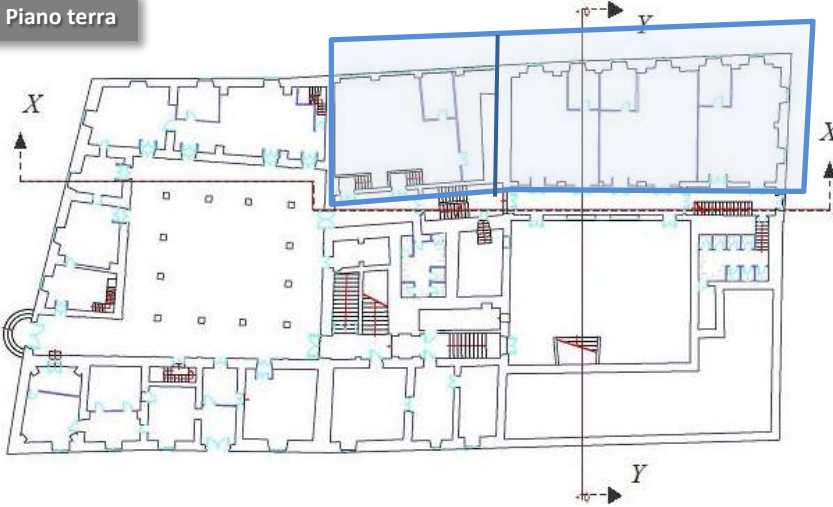
Dei due cortili uno ha un doppio ordine di loggiato, nell'altro le colonne sono inglobate nei muri.

**Regolari** le disposizioni delle finestre sui prospetti.

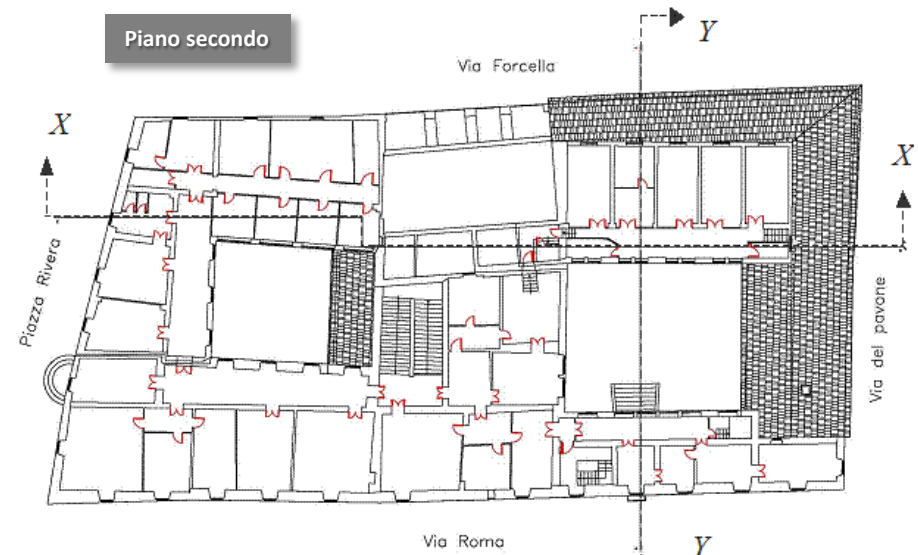
A piano terra il **loggiato del chiostro** è coperto da volte a crociera sostenute da archi in mattoni pieni a tutto sesto impostati su colonne a sezione quadrata



Piano terra



Piano secondo

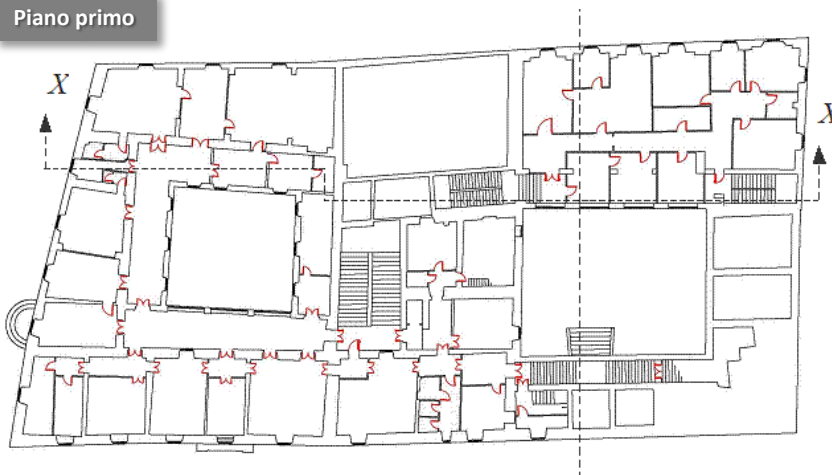


**Strutture portanti verticali** dell'edificio: sono **setti murari** realizzati elementi lapidei a bozze. Gli elementi sono di dimensioni irregolari e si notano porzioni murarie risarcite con mattoni di laterizio o altro materiale.

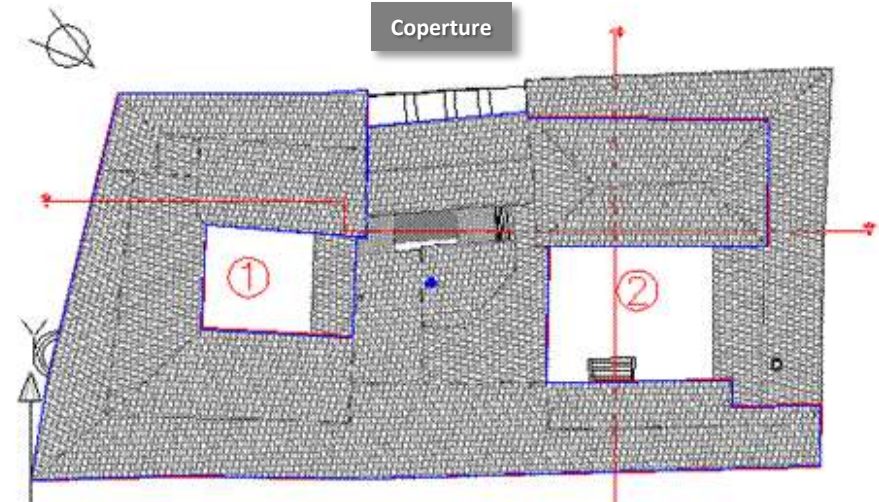
Nella parte rivolta a Sud del complesso sono presenti due parti adiacenti a **struttura portante in c.a.**

Gli **elementi orizzontali intermedi** sono strutture voltate, a botte o a crociera, per i vani scala ed i porticati, solai in latero-cemento nella parte in c.a. ed in acciaio e tavelloni nel resto del complesso..

Piano primo

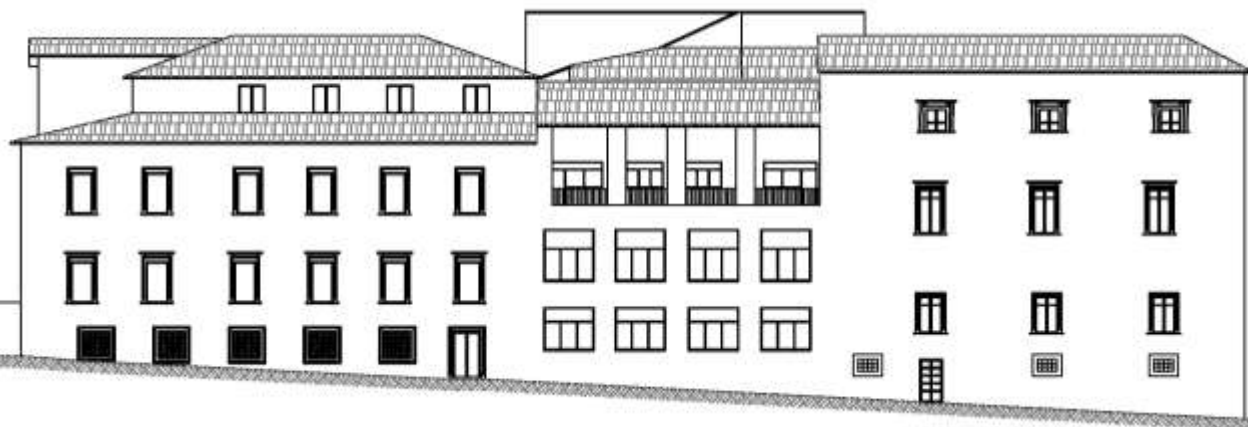


Coperture

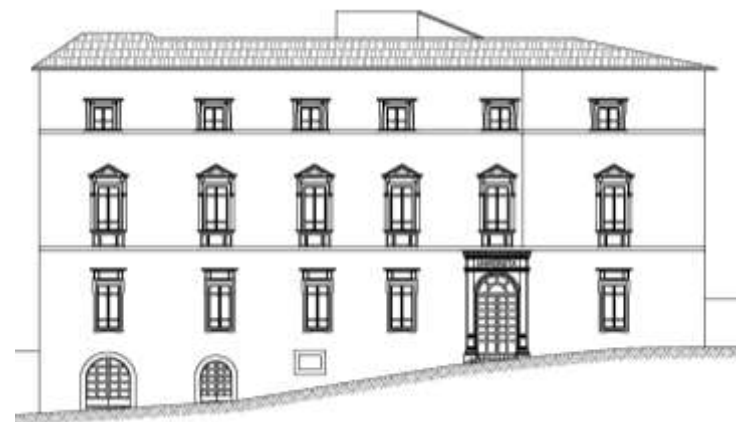




Prospetto Sud



Prospetto Est

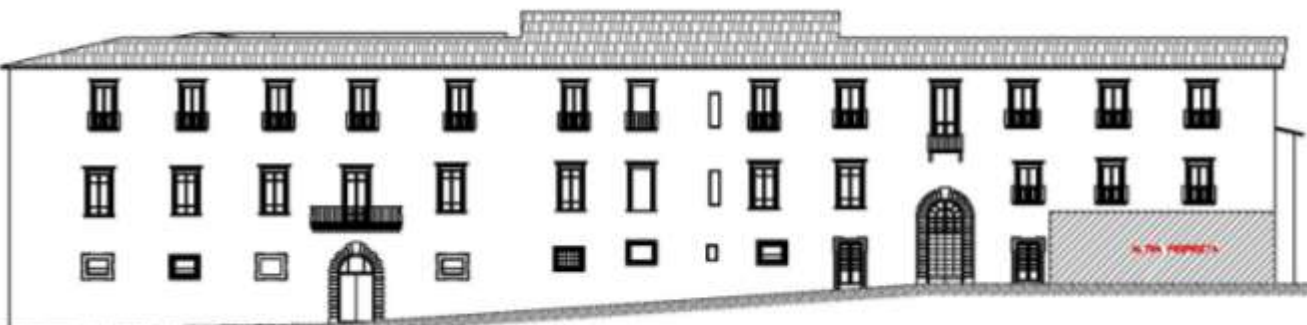


Sono presenti poche **catene in ferro**, con funzioni di cerchiatura delle volte.

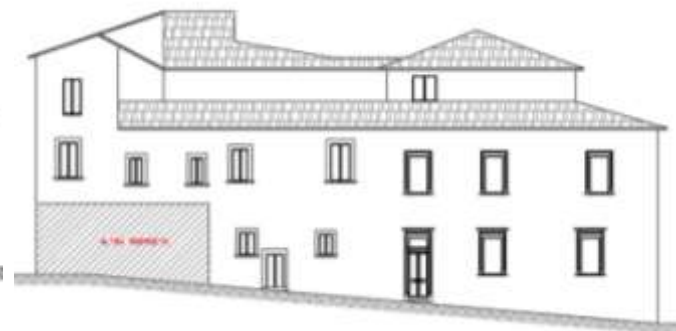
Le strutture delle **coperture** sono prevalentemente in legno, tranne per la parte in c.a., dove sono in latero-cemento.

Lo **scalone** e altre **scale** della costruzione antica sono realizzate con elementi portanti in muratura; in c.a. nelle parti ricostruite.

Prospetto Nord



Prospetto Ovest

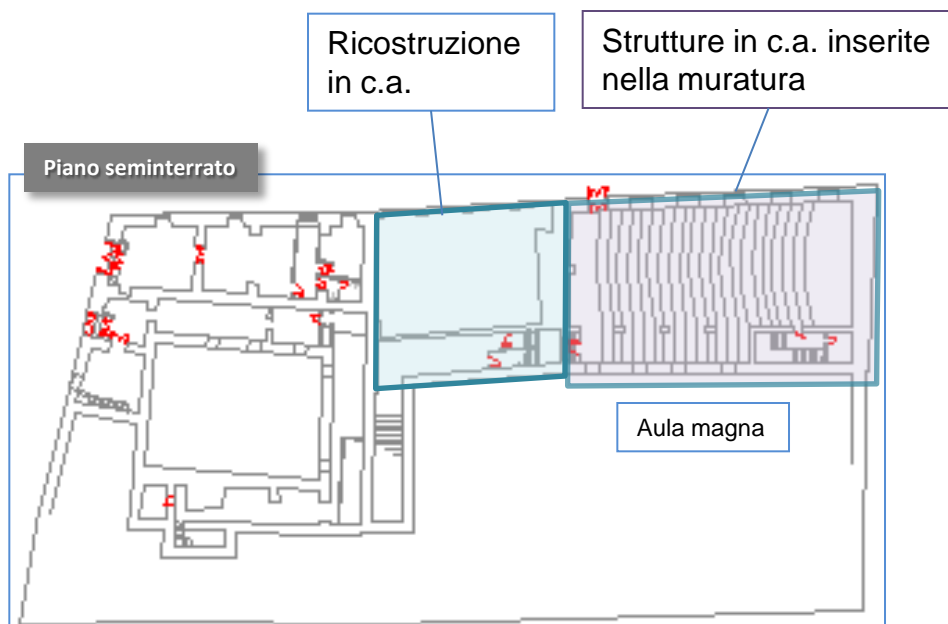


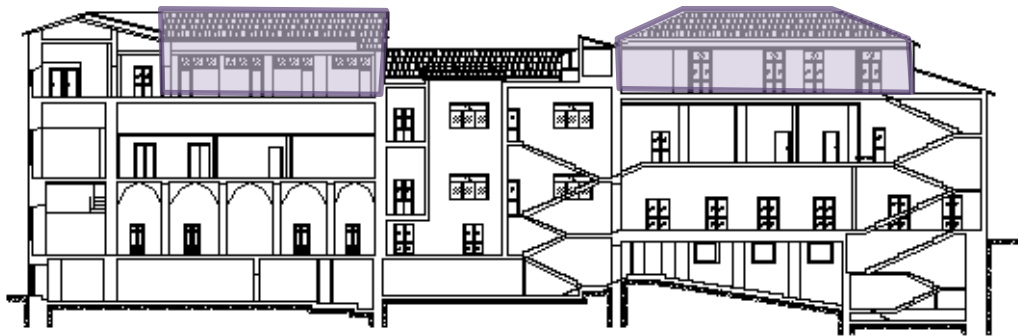
## MODIFICHE E INTERVENTI





Il Palazzo è stato acquisito dall'Università a metà anni '60.



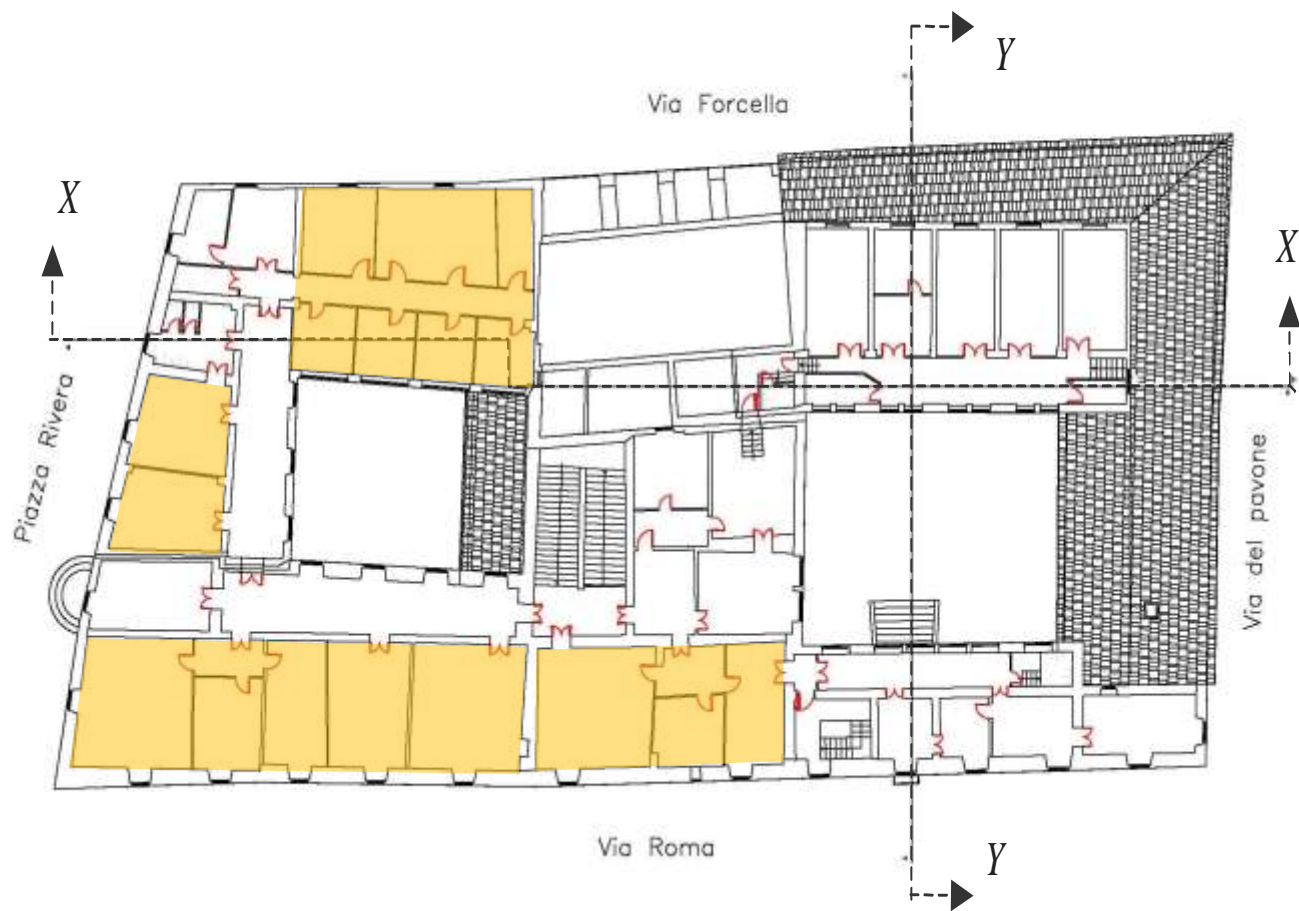




Demolizione di maschi murari interni e loro sostituzione con pareti in mattoni pieni di spessore ridotto o tramezzature in laterizi forati

Scarso o inefficace ammorsamento delle pareti modificate alla parete muraria principale

Sostituzione dei solai lignei con solai in latero-cemento o in acciaio e tavelloni



## VULNERABILITA' E CARENZE STRUTTURALI





# 1. COLLEGAMENTO TRA PARETI ORTOGONALI: INSUFFICIENTE





1. COLLEGAMENTO TRA PARETI ORTOGONALI: insufficiente
2. **COLLEGAMENTO TRA PARETI E SOLAI: insufficiente**



1. INSUFFICIENTE COLLEGAMENTO TRA PARETI ORTOGONALI
2. INESISTENTE COLLEGAMENTO TRA PARETI E SOLAI
3. **QUALITA' MURARIA: varia ed in molti casi scadente**



1. COLLEGAMENTO TRA PARETI ORTOGONALI: insufficiente
2. COLLEGAMENTO TRA PARETI E SOLAI: insufficiente
3. QUALITA' MURARIA: varia ed in molti casi scadente
4. **COPERTURE: inadeguate per dimensioni e realizzazione, con elementi spingenti e senza cordolature e/o altri elementi di coronamento**



1. COLLEGAMENTO TRA PARETI ORTOGONALI insufficiente

- 2.
- 3.
- 4.

5.



1. COLLEGAMENTO TRA PARETI ORTOGONALI: insufficiente
2. COLLEGAMENTO TRA PARETI E SOLAI: insufficiente
3. QUALITA' MURARIA: varia ed in molti casi scadente
4. PRESENZA DI SISTEMI SPINGENTI
5. MANCANZA DI TIRANTI DI PIANO
- 6. GIUNTI SISMICI TRA CORPI MURARI ED EDIFICI IN C.A.: sottodimensionati**



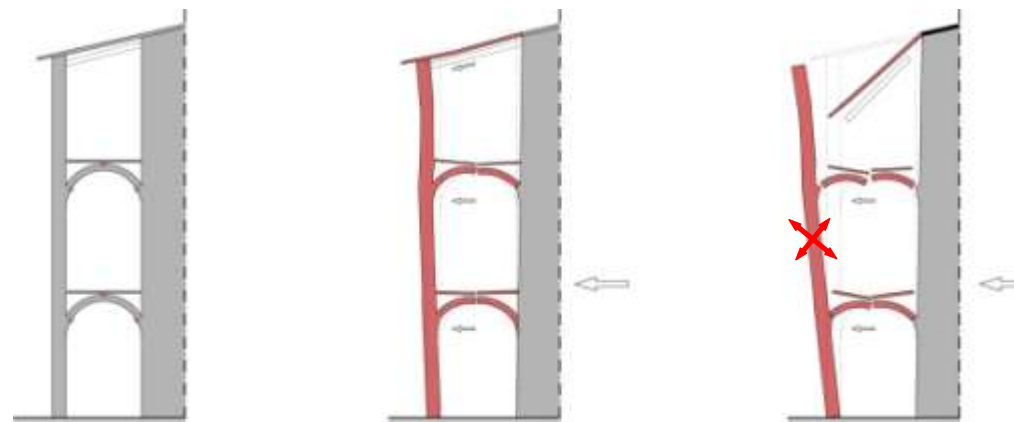
# DANNI



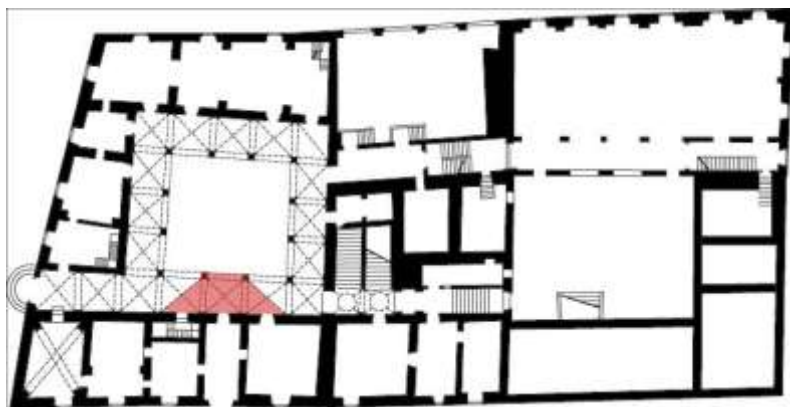
DOPO



MECCANISMI DI COLLASSO LOCALE – RIBALTAMENTO DELLA PARETE



PRIMA



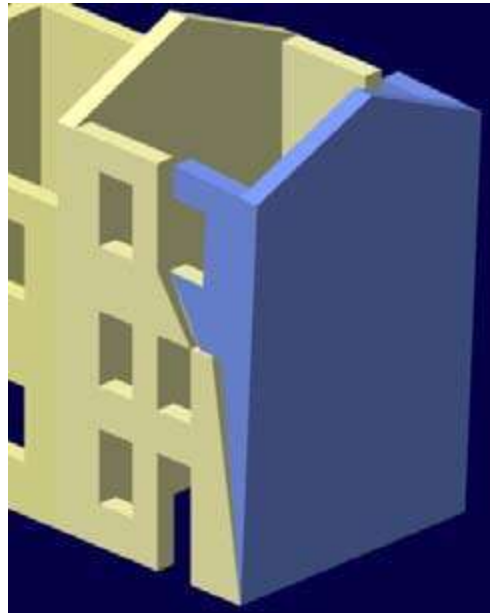
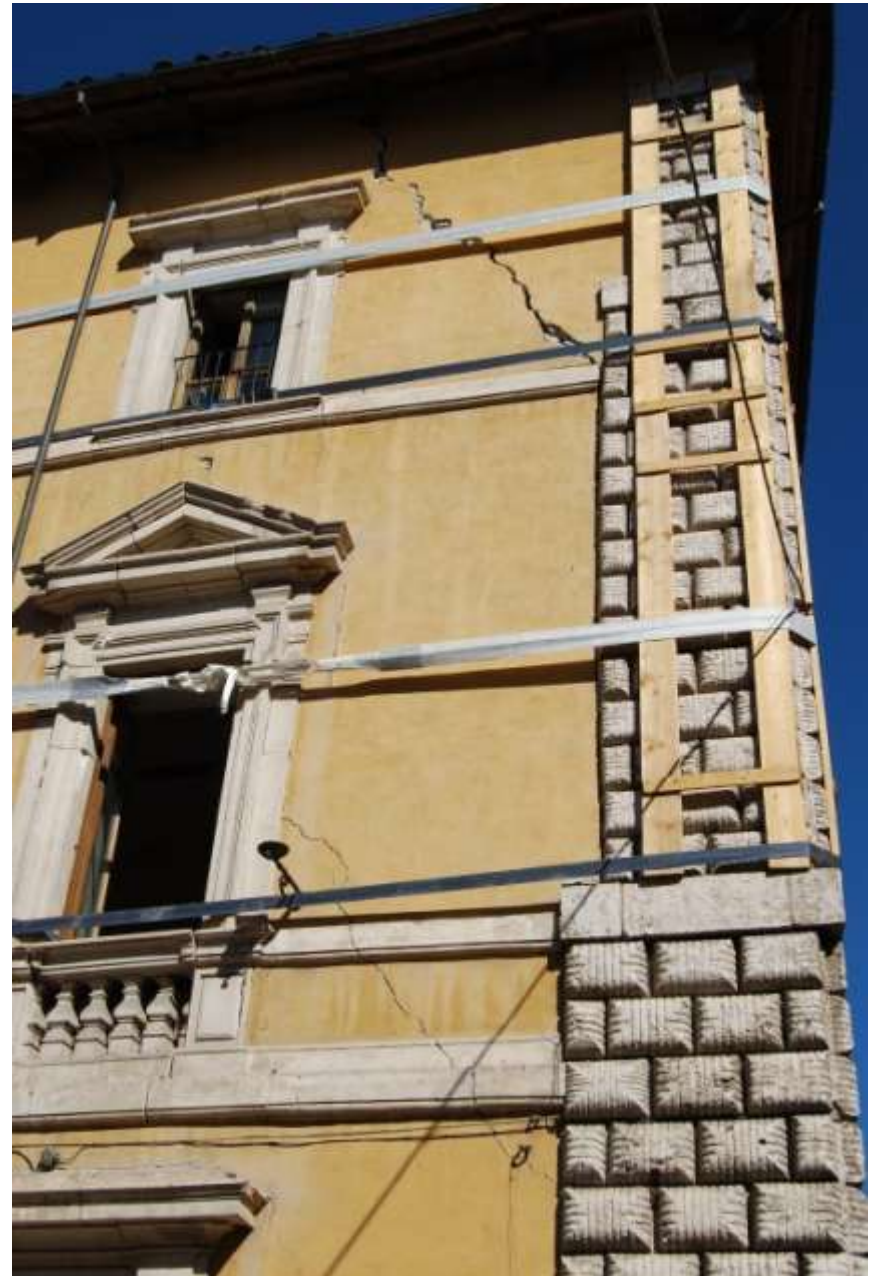
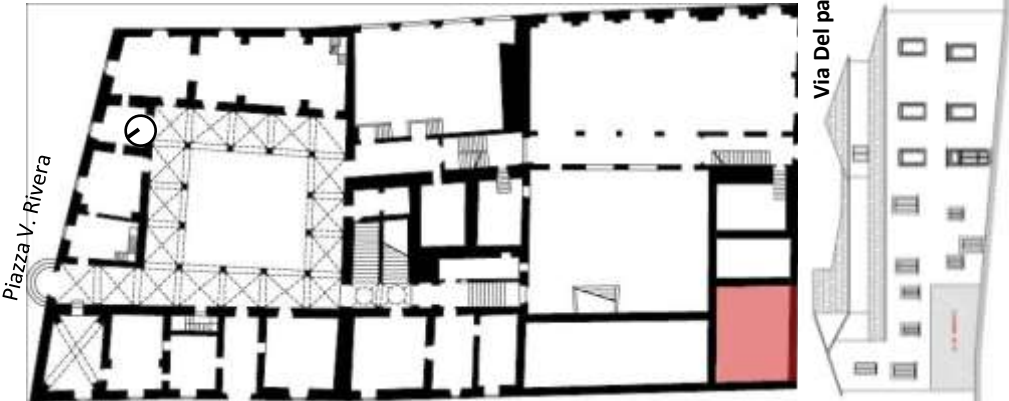


Foto da: MEDEA – Papa e Zuccaro, 2001



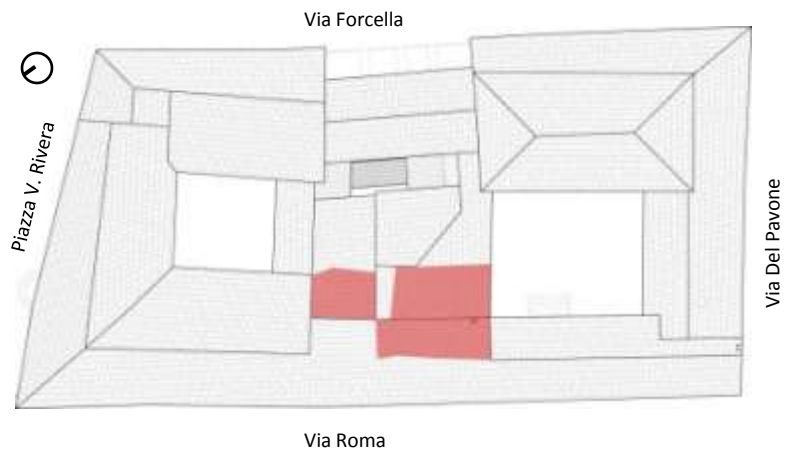
# MECCANISMI DI COLLASSO LOCALE – PER IRREGOLARITÀ DI FORMA

Via Forcella



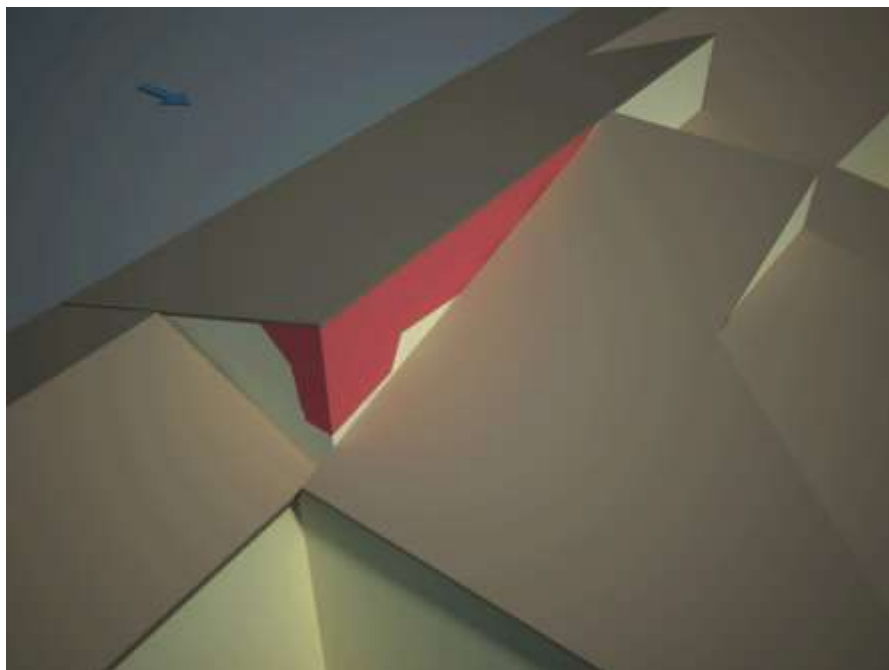
Via Roma





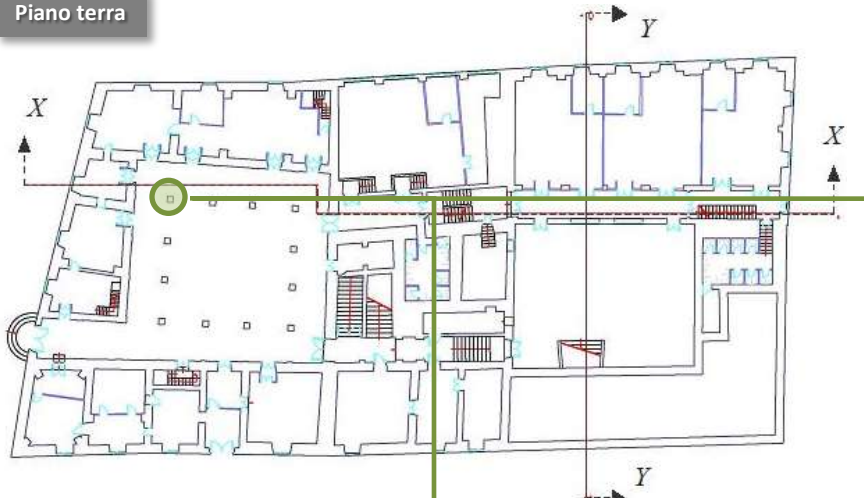
Martellamento ciclico causato da travi spingenti

Martellamento tra strutture adiacenti





Piano terra



.. attualmente, dopo la messa in sicurezza









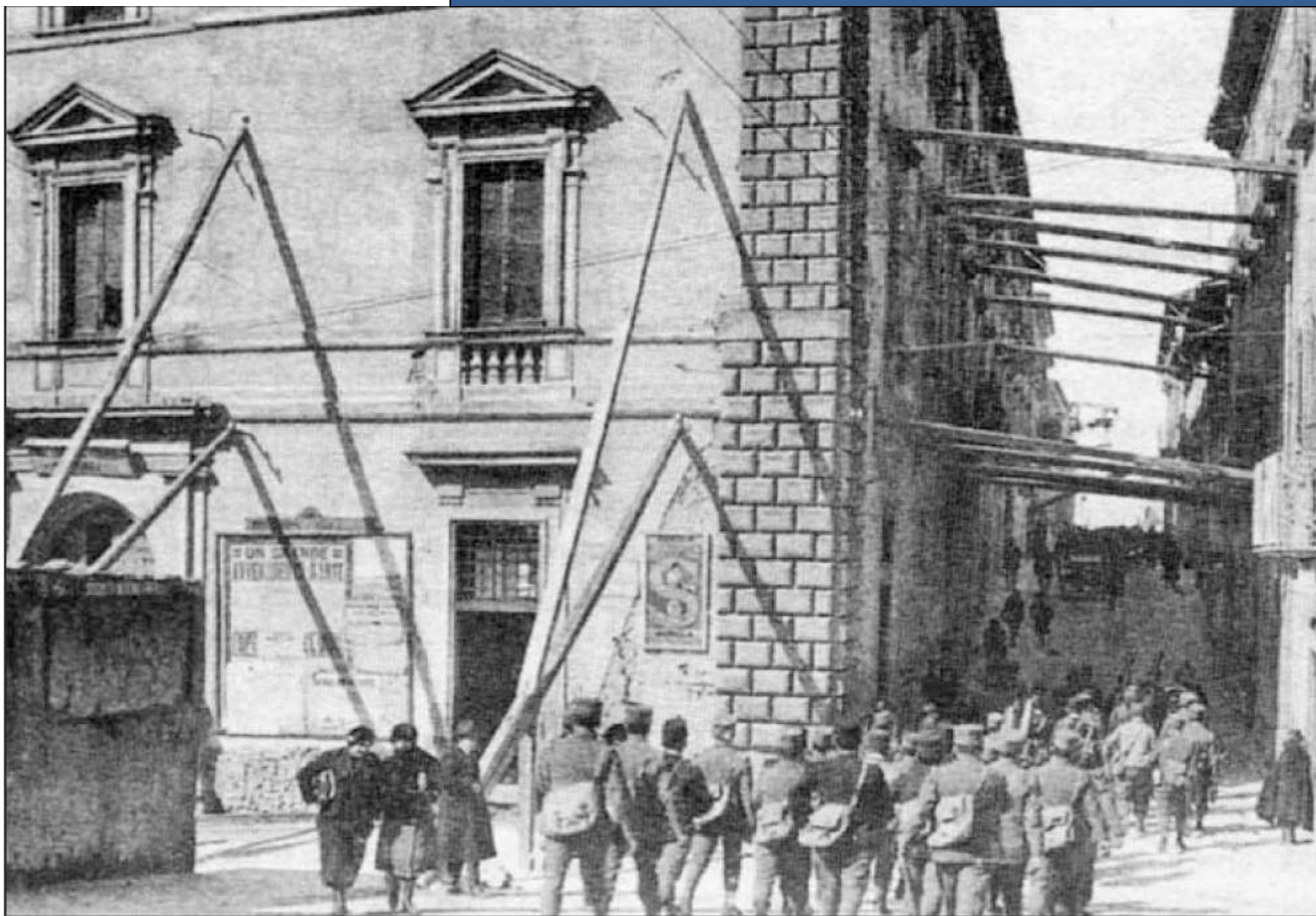


## CHE FARE ?

...SICURAMENTE TUTTO QUELLO CHE NON E' STATO FATTO!

- APPROFONDIRE ULTERIORMENTE LA CONOSCENZA
- DEFINIRE, IN PARTICOLARE, MODALITA' E TECNICHE DI  
RICOMPOSIZIONE DELLE PARTI MONUMENTALI CROLLATE
- ELIMINARE LE VULNERABILITA' E LE CARENZE STRUTTURALI
- UN PROBLEMA RILEVANTE E' QUELLO RELATIVO AL  
MIGLIORAMENTO DELLA QUALITA' MURARIA.

Puntellamenti a Palazzo Carli a seguito del terremoto di Avezzano del 1915



i ricordi!



**QUESTO, COME GLI ALTRI CASI STUDIO: PER COMPRENDERE, MEGLIO RICOSTRUIRE E,  
SOPRATTUTTO, NON DIMENTICARE**



LIBRERIA  
SANTO ROSSO  
→

UNIVERSITÀ

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE!**