

edilportale[®] TOUR 2015

La Mostra Convegno in 20 tappe su
Architettura sostenibile, Efficienza
energetica, Comfort abitativo, Active
House, Costruzioni in legno, Antisismica,
Antincendio, Tecnologie costruttive.

IN COLLABORAZIONE CON



L'Aquila, 16 Aprile 2015

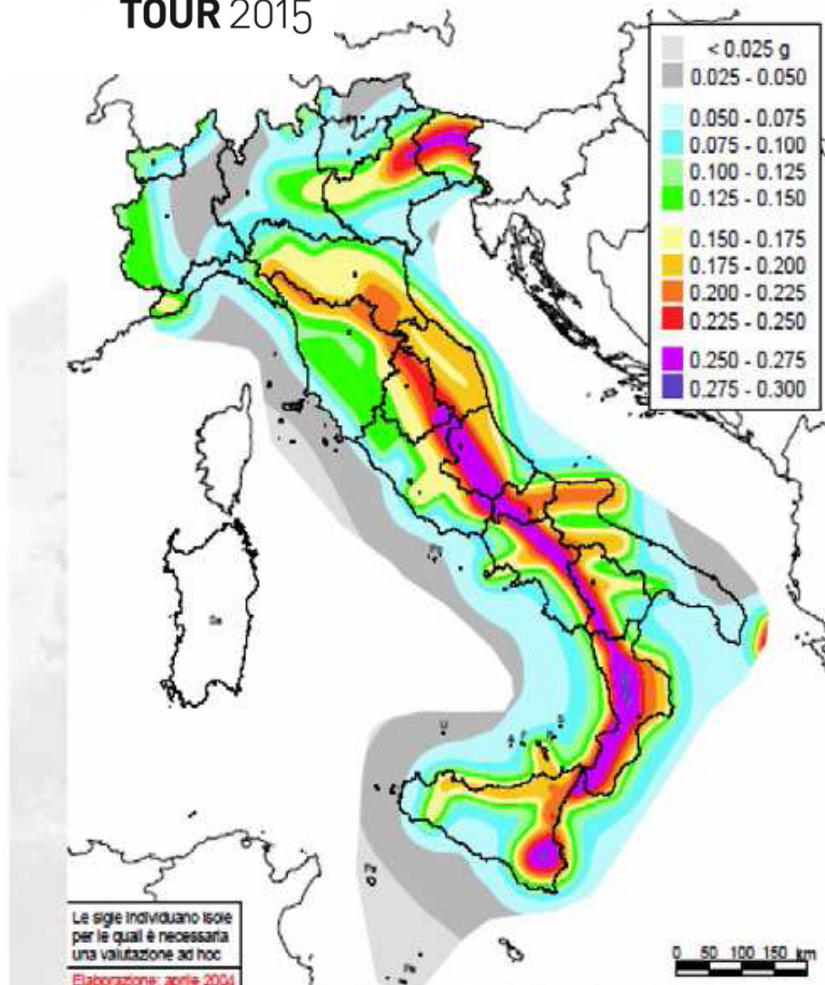
Seismic vulnerability of some relevant monumental buildings in the area of L'Aquila *Activities of the University of L'Aquila*

Prof. Dante GALEOTA

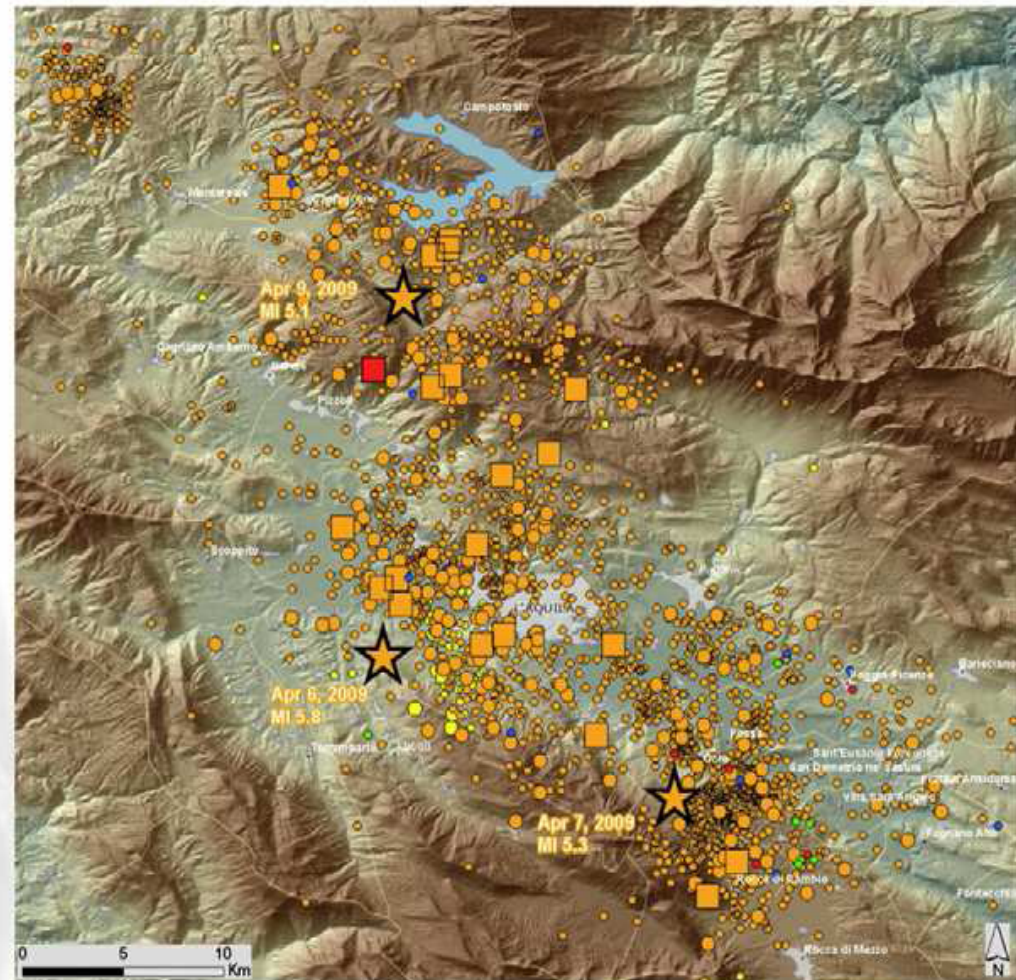
Department of Civil, Building-Architecture and Environmental Engineering
University of L'Aquila

Partner e Segreteria Organizzativa: 06.42020605
tour2015@agoraactivities.it





Italy map of seismic hazard.



Instrumental seismicity around L'Aquila (December 2008–September 2009).

According to INGV, magnitude of the earthquake was $M_I = 5.8$ ($M_w = 6.2$ respectively). A long-lasting seismic sequence: after the main shock, more than 30 minor earthquakes with magnitude $3.5 < M_I < 5.0$



New, large houses seismically isolated



Small, temporary new houses







Main causes for local and global collapses in masonry buildings

- Poor quality of masonry, made of irregular stones with poor quality mortar;
- Multi-leaf masonry walls;
- Lack of connection between walls;
- Lack of connection between floors, roof and walls;
- Lack of maintenance;
- Unsuitable material and intervention techniques recently used (reinforced concrete ring beams)



INTERVENTI STRUTTURALI E CONFLITTI DI VALORI

1) Valori legati all'opera monumentale

- Forma (valore estetico)
- Storia (valore simbolico)
- Conservazione di antiche tecniche costruttive e relativi materiali (valore tecnico)



INTERVENTI STRUTTURALI E CONFLITTI DI VALORI

2) Valori sociali

- Conservazione della memoria storica e culturale dell'opera
- Adeguata sicurezza per le vite umane nei confronti delle azioni e dei sismi
- Moderno uso dell'opera
- Economicità dell'intervento strutturale



INTERVENTI STRUTTURALI E CONFLITTI DI VALORI

- 3) Requisiti relativi all'intervento strutturale
- Reversibilità e possibilità di reintervenire
 - Durabilità
 - Affidabilità dell'intervento



Ogni intervento strutturale di riparazione o di consolidamento confligge, inevitabilmente, con alcuni dei precedenti valori

E' necessario, pertanto, pervenire ad una sorta di «compromesso» con la consapevolezza di aver violato alcuni valori.

E' questo il motivo per il quale gli interventi strutturali sul costruito storico e monumentale dovrebbero essere discussi e decisi all'interno di gruppi di progettazione multidisciplinari.



Percorso Metodologico

L'approccio conoscitivo ad una fabbrica storica rappresenta un percorso metodologico «inverso» rispetto agli edifici di nuova costruzione: dall'analisi della realtà materica della costruzione, attraverso successivi livelli di approfondimento, al riconoscimento del funzionamento strutturale accertato per la verifica della sicurezza sismica ai fini della definizione degli interventi.



Percorso Metodologico

Le fasi di tale processo sono così sintetizzabili:

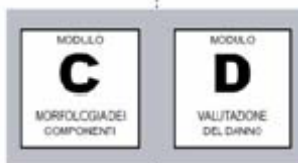
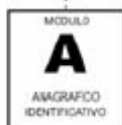
IDENTIFICAZIONE DEL BENE → FATTORI DI SENSIBILITA' → VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITA' → VERIFICA DELLA SICUREZZA → DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI

FASI



LC1

LIVELLO DI CONOSCENZA SPEDITIVO



LC2

LC3

LIVELLO DI CONOSCENZA ANALITICO





Questo processo di ottimizzazione ha effetto su alcuni importanti aspetti legati all'intervento di miglioramento sismico.

L'entità delle azioni sismiche di progetto va scelta tenendo conto dell'influenza che può avere sui valori legati al bene monumentale, sui costi e sui valori tecnici.

Elevati valori delle azioni sismiche di progetto hanno un effetto positivo nei confronti della sicurezza per le vite umane, ma possono alterare alcuni valori legati all'opera monumentale.



Un possibile «compromesso» può essere raggiunto, assumendo un livello di sicurezza più basso per le azioni sismiche, vale a dire una probabilità più alta di eccedenza.

I valori delle azioni sismiche da utilizzare per la verifica ed il consolidamento strutturale del bene monumentale dipendono dal livello di danno accettabile in base all'importanza del bene.



In generale si può distinguere in:

- Monumenti di importanza universale
- Monumenti di importanza nazionale
- Monumenti di interesse locale

Un altro utile elemento di valutazione riguardo le decisioni da assumere per l'intervento strutturale è la «categoria d'uso» cioè l'utilizzo più o meno intenso da parte della comunità.



Combinando «l'importanza del bene» e la «categoria d'uso» è possibile decidere il livello di danno accettabile.

Indicazioni in tal senso sono presenti nelle Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale.

Tabella 2.1 – Probabilità di eccedenza in 50 anni dell'azione sismica (P) e fattori di importanza γ_1 per la verifica allo SLU dei beni culturali tutelati

Categoria d'uso	Categoria di rilevanza					
	Limitata		Media		Elevata	
	P eccedenza	γ_1	P eccedenza	γ_1	P eccedenza	γ_1
Saltuario o non utilizzato	40%	0.50	25%	0.65	17%	0.80
Frequente	25%	0.65	17%	0.80	10%	1.00
Molto frequente	17%	0.80	10%	1.00	6,5%	1.20



Il progetto strutturale relativo al miglioramento sismico di un bene monumentale richiede una accurata documentazione storica, sperimentale e una valutazione del livello di incertezza.

La storia e l'architettura del bene sono assolutamente indispensabili per il progetto strutturale, perché consentono, ove possibile, di tenere conto delle fasi costruttive, dei danni riportati o ancora presenti.



PALAZZO CAMPONESCHI

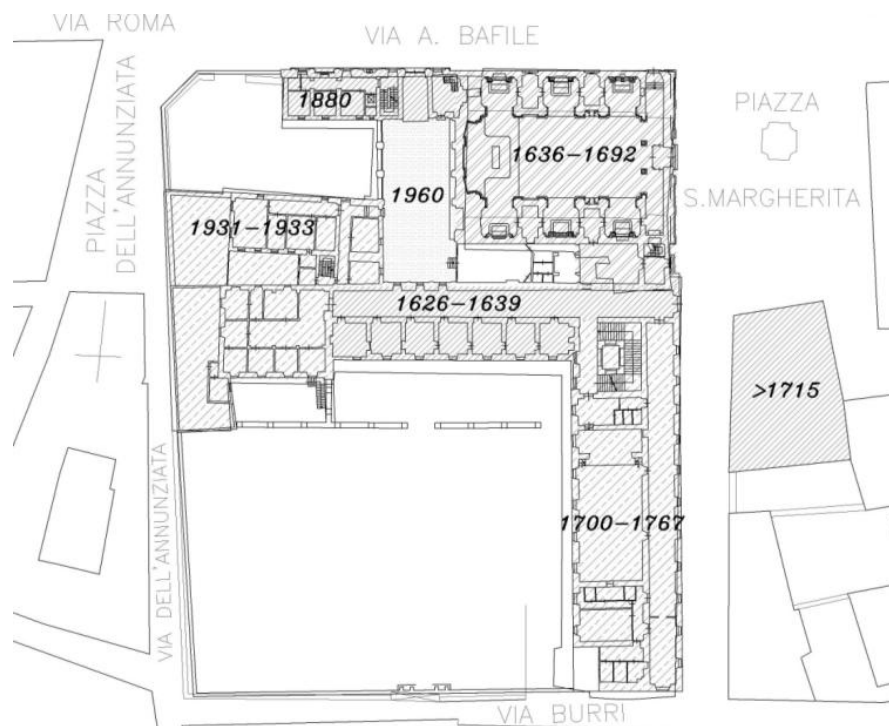
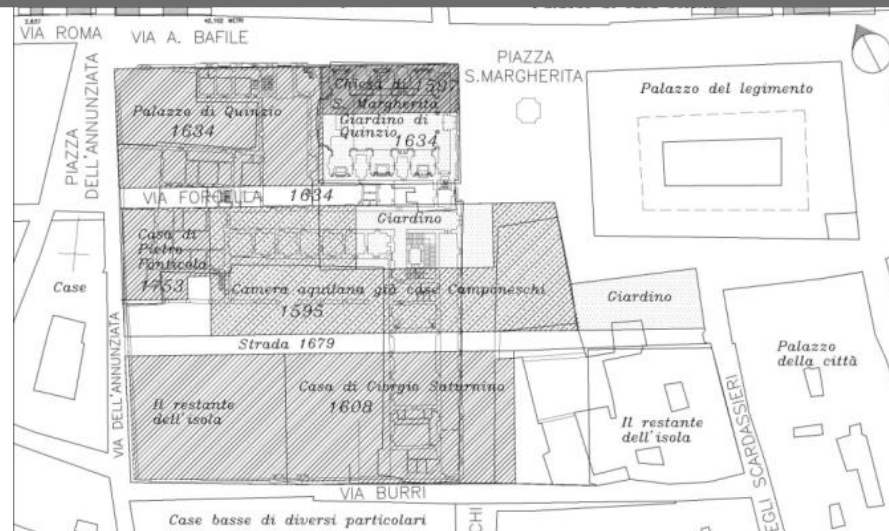
XV SEC. Realizzazione dell'impianto originario del fabbricato, sede della camera aquilana.

9 Ottobre 1592. Assegnazione ai Gesuiti del Palazzo della Camera.

XVII sec. Modifiche e integrazioni. Nel 1634 il programma di intervento si concretizza con l'autorizzazione alla chiusura di via Forcella.

XVIII SEC. Trasformazione del corpo di fabbrica dopo il terremoto del 1703, realizzazione del braccio su via Camponeschi.

1926. I Gesuiti riacquistano gli edifici del Colleggio e Palazzo Spaventa, restaurano la chiesa di S.Margherita riaperta al culto nel 1927.



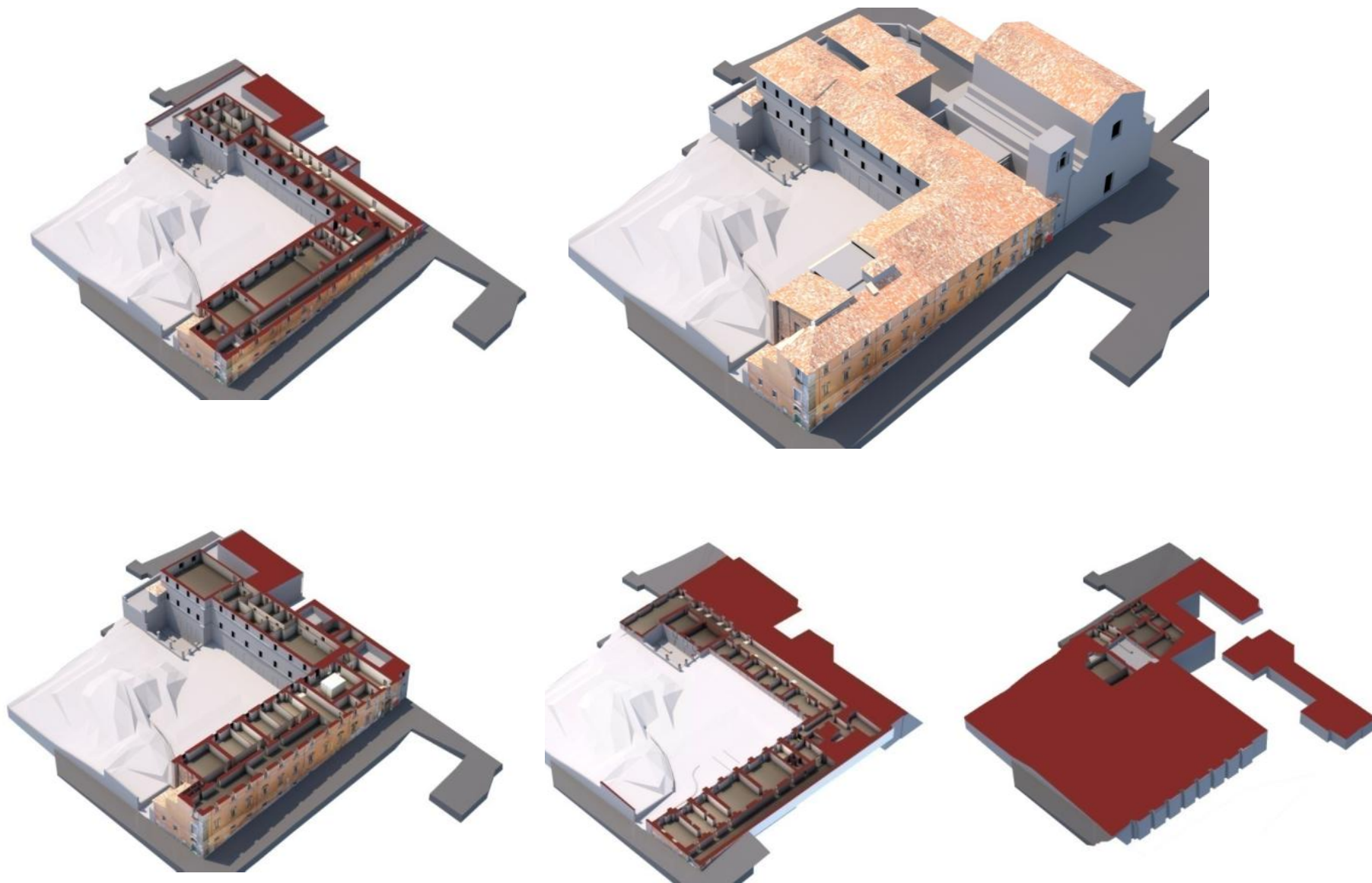


Ugualmente indispensabili sono i risultati sperimentali relativi a:

- Rilievo geometrico
- Rilievo materico costruttivo
- Rilievo del danno
- Rilievo del sistema strutturale resistente
- Caratteristiche meccaniche dei materiali
- Tipologia strutturale delle murature
- Risposta dinamica dell'intero organismo strutturale o di alcuni sottoinsiemi
- Eventuali strutture ipogee
- Risultati di precedenti monitoraggi
- Caratterizzazione del terreno di fondazione



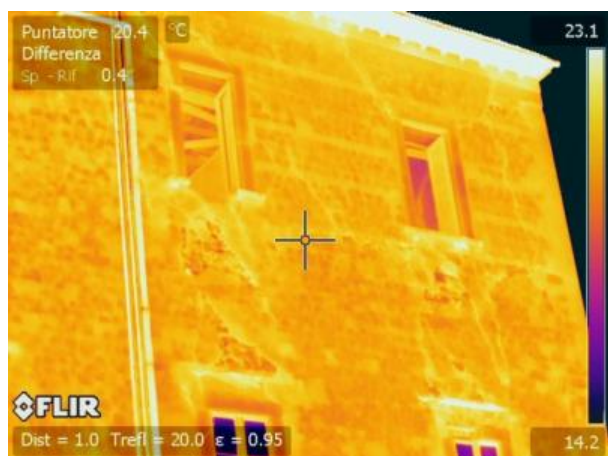
RILIEVO GEOMETRICO MEDIANTE TECNICA LASER SCANNER




QUALIFICAZIONE DELLE MURATURE: combinazione di scansioni termografiche, soniche, georadar, rimozioni di intonaci ed endoscopie


SCANSIONI TERMOGRAFICHE

La camera termografica permette di distinguere i diversi materiali e quindi interpretare e classificare la tipologia muraria, evidenziare cuciture, bucatore richiuse, inserti lignei o ferrosi ...




 Blocchi in pietra
dimensioni > 25cm

 Blocchi in pietra di
dimensioni medie 12 - 25 cm

 Blocchi in pietra
con ricorsi

 Risarcitura

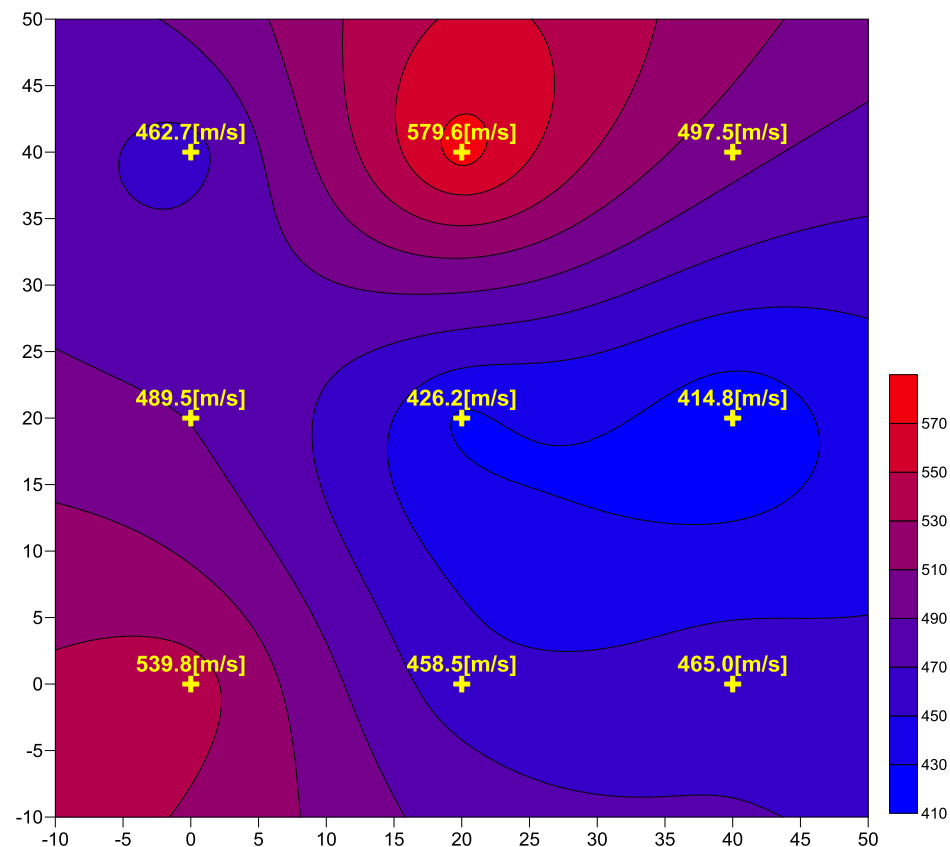
 Doppio paramento
accostato



QUALIFICAZIONE DELLE MURATURE: combinazione di scansioni termografiche, soniche, georadar, rimozioni di intonaci ed endoscopie

PROVE SONICHE

La prova sonica consiste nella determinazione della velocità di propagazione di onde sonore all'interno della muratura. Elaborando i risultati ottenuti da speciali apparecchiature di acquisizione, è possibile suddividere il campo di indagine (muratura) in *porzioni omogenee*, cioè caratterizzate dalla medesima velocità di propagazione di onde.

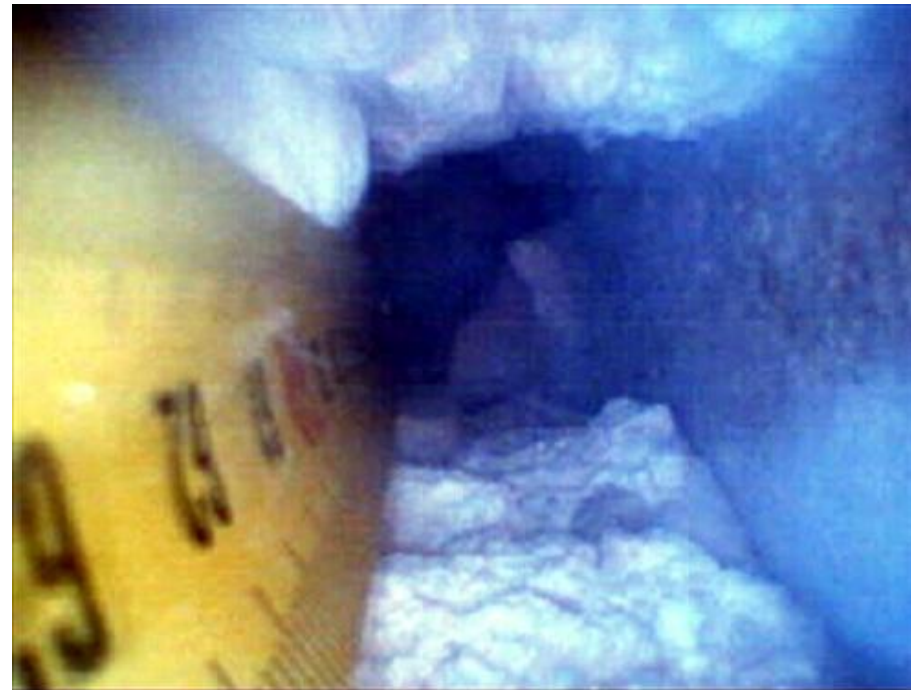




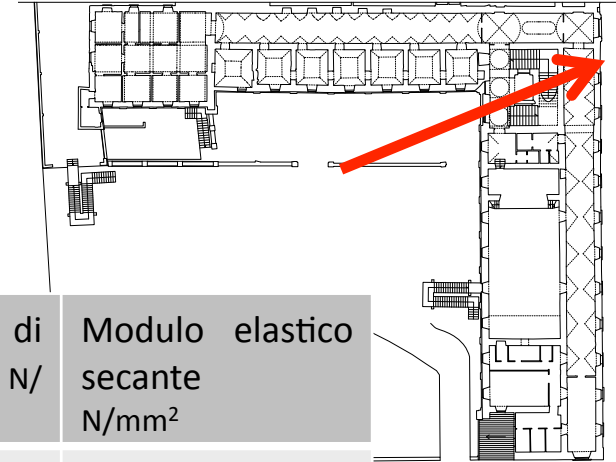
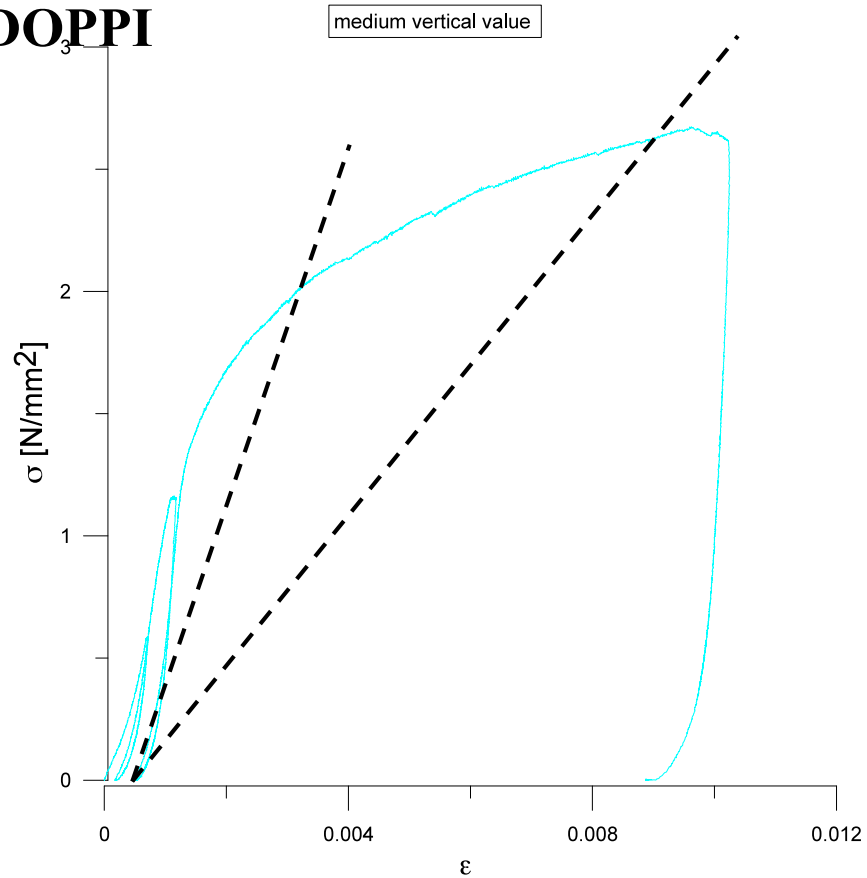
QUALIFICAZIONE DELLE MURATURE: combinazione di scansioni termografiche, soniche, georadar, rimozioni di intonaci ed endoscopie

RIMOZIONI DI INTONACO ED ENDOSCOPIE

Tramite la rimozione di intonaco, effettuata a campione in zone di omogeneità precedentemente individuate tramite scansioni termografiche, è possibile *verificare l'effettiva natura* della muratura, e degli elementi che la compongono. Per *l'ispezione del nucleo interno* è indispensabile effettuare indagini endoscopiche.



CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI: PROVE A MARTINETTI PIATTI DOPPI



Rif Prova	Intervallo di tensione mm ²	di N/	Modulo elastico secante N/mm ²
MP1	0÷2.0		633
	0÷2.5		257





**muratura in pietrame
disordinato**



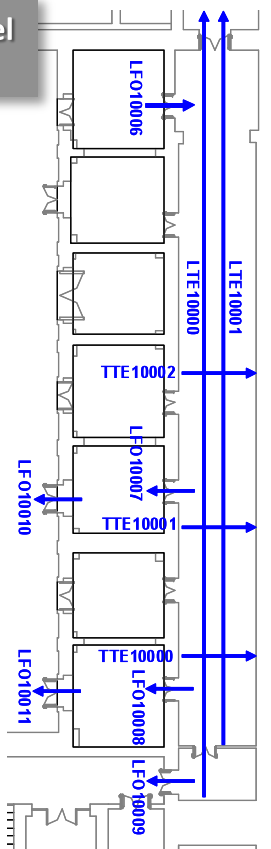
N° 4 trasduttori induttivi di spostamento
Trasduttore di pressione a ponte intero
N° 2 martinetti da 150kN
Acquisizione centralina HBM UPM 60

QUALIFICAZIONE DELLE MURATURE: combinazione di scansioni termografiche, soniche, georadar, rimozioni di intonaci ed endoscopie

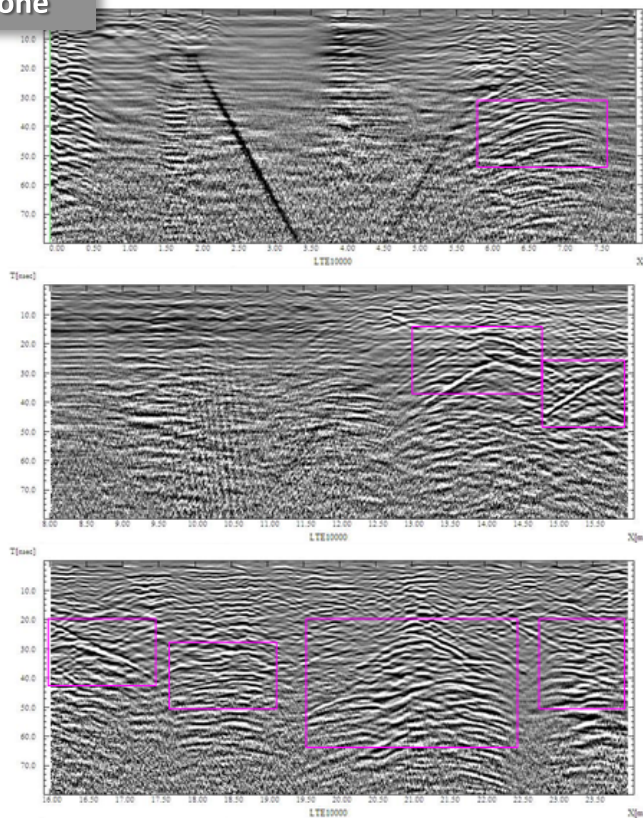
SCANSIONI GEORADAR

La metodologia GPR, attraverso l'utilizzo di onde elettromagnetiche, consente la definizione delle caratteristiche interne al mezzo indagato attraverso l'identificazione delle interfacce tra livelli dotati di differente resistività e costante dielettrica.

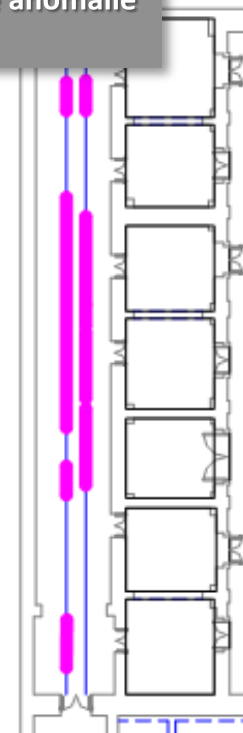
Schema del rilievo



scansione



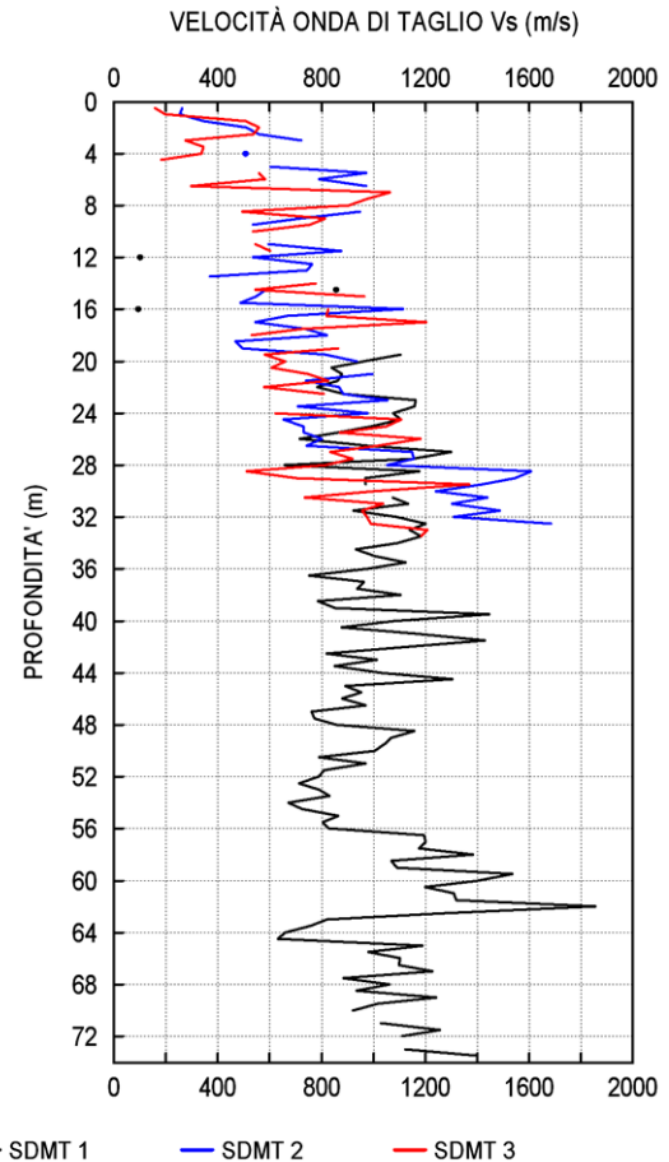
Planimetria delle anomalie

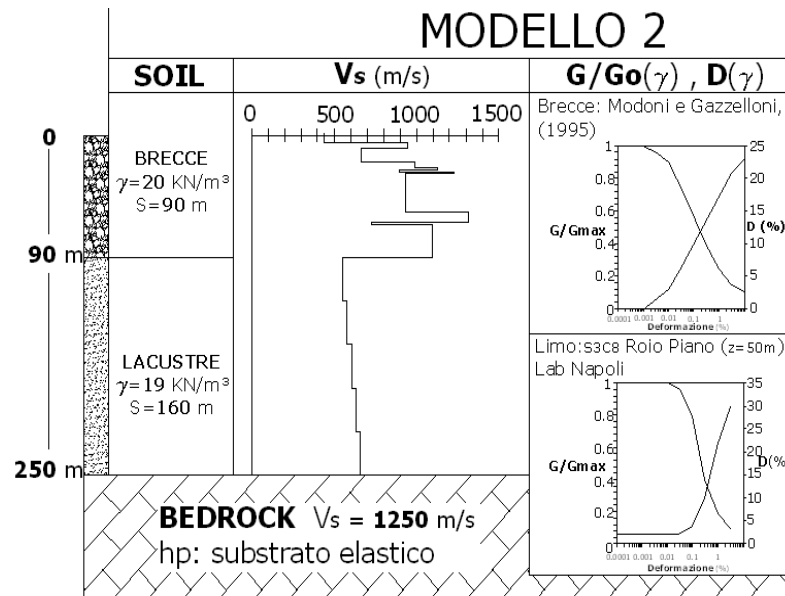


INDAGINI GEOTECNICHE

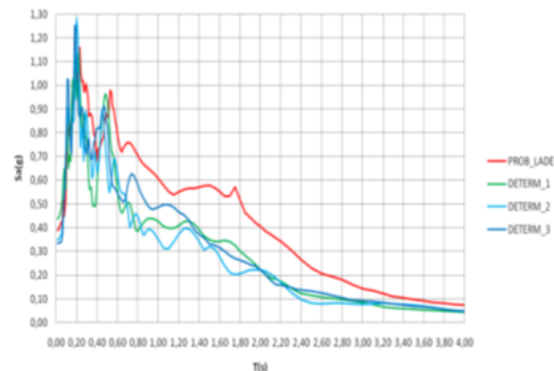


Campagna di caratterizzazione geotecnica del centro storico di L'Aquila, prof. Totani et al., *DISAT Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno*





Modello geotecnico del sottosuolo

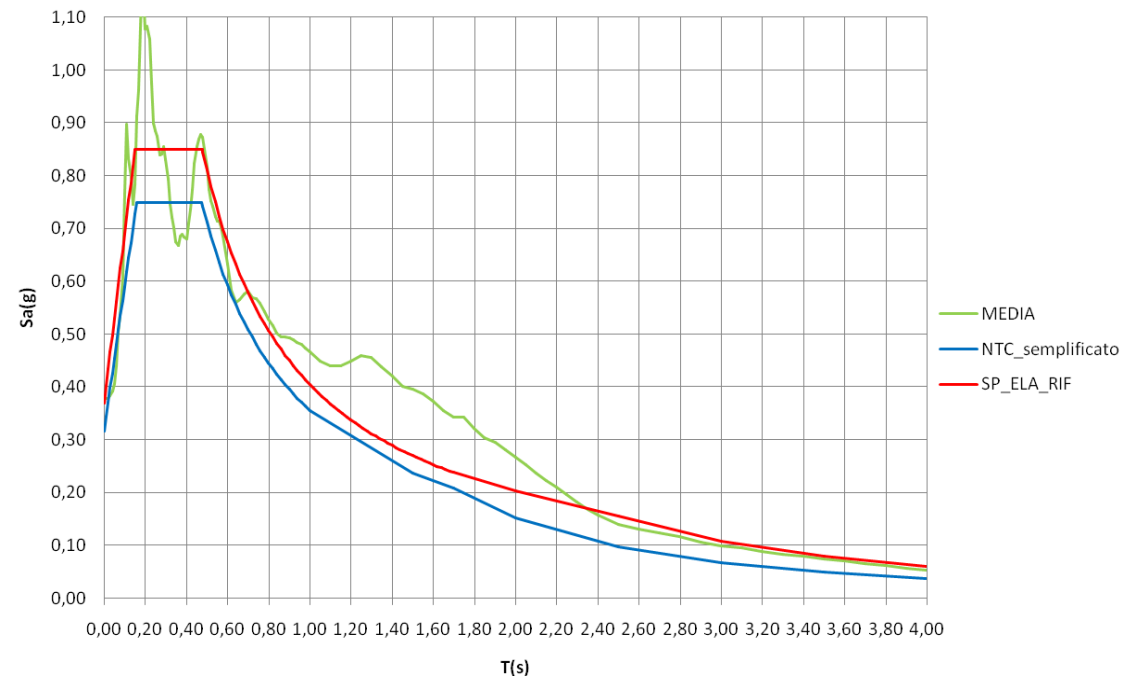


Spettri di risposta elastici generati da 4 accelerogrammi di riferimento

ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

CONFRONTO FRA SPETTRO NTC08 – RSL

- Media degli spettri derivanti da analisi di Risposta sismica Locale (verde)
- Spettro da NTC08 valutato allo SLV per terreno di categoria B (blu)
- Spettro NT08 amplificato dal confronto con la curva della RSL



Campagna di caratterizzazione geotecnica del centro storico di L'Aquila, prof. Totani et al., *DISAT Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno*

MONITORAGGIO

Grazie all'installazione di una stazione di rilevamento robotizzata, e all'installazione di dispositivi smart-brick, è possibile ottenere una serie di dati relativi all'evoluzione dello stato di danneggiamento del fabbricato. E' utile proseguire l'attività anche a seguito dell'intervento di recupero, al fine di capirne il reale impatto sull'organismo edilizio.





Le Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico forniscono, attraverso il così detto «**Percorso della Conoscenza**», una chiara indicazione delle attività necessarie alla conoscenza del manufatto.

Comunque a valle del «percorso della conoscenza» restano una serie di incertezze (discontinuità nascoste, materiali non omogenei, comportamento effettivo delle connessioni ...)



Le citate Linee Guida, in relazione all'approfondimento del rilievo geometrico e delle indagini materico-costruttive, meccaniche e sul terreno e fondazioni, indicano un fattore di confidenza compreso fra 1 e 1.35

Tabella 4.1 – Definizione dei livelli di approfondimento delle indagini sui diversi aspetti della conoscenza e relativi fattori parziali di confidenza.

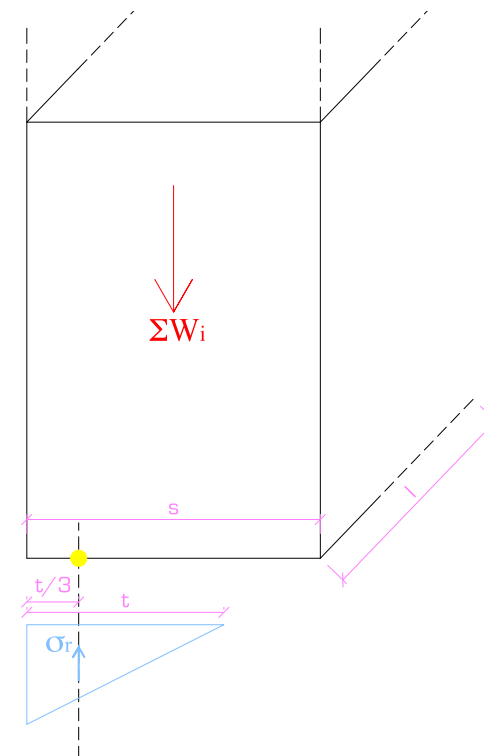
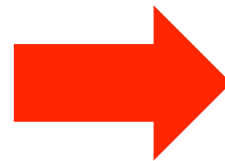
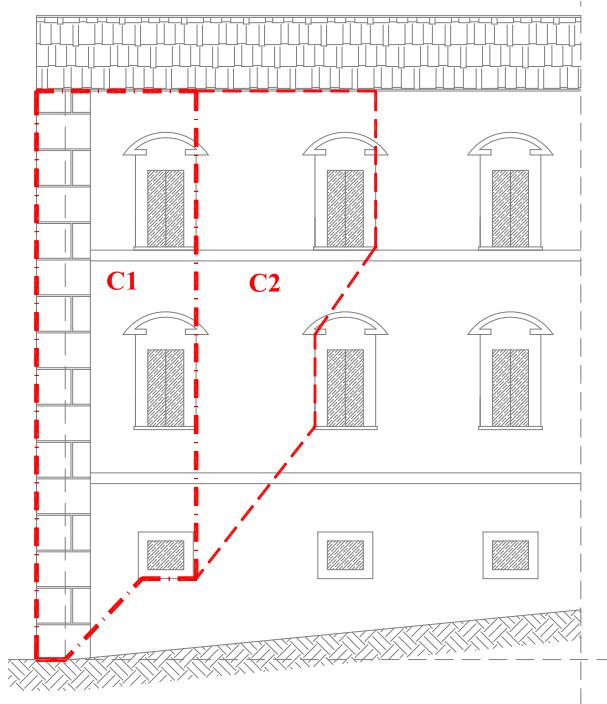
Rilievo geometrico	Rilievo materico e dei dettagli costruttivi	Proprietà meccaniche dei materiali	Terreno e fondazioni
rilievo geometrico completo $F_{C1} = 0.05$	limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi $F_{C2} = 0.12$	parametri meccanici desunti da dati già disponibili $F_{C3} = 0.12$	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geologici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni $F_{C4} = 0.06$
rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi $F_{C1} = 0$	esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi $F_{C2} = 0.06$	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3} = 0.06$	disponibilità di dati geologici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4} = 0.03$
	esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi $F_{C2} = 0$	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3} = 0$	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4} = 0$



Nel caso di edifici storici in muratura è possibile ricorrere ai seguenti metodi di analisi strutturale, indipendentemente o in combinazione:

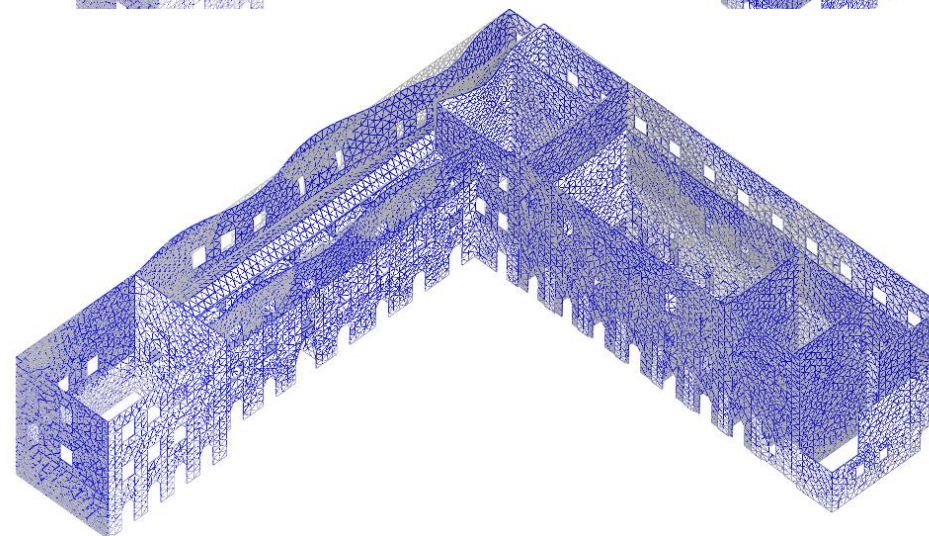
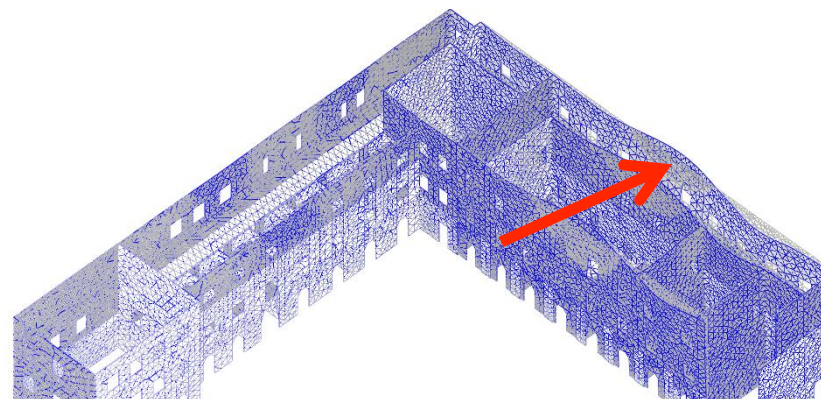
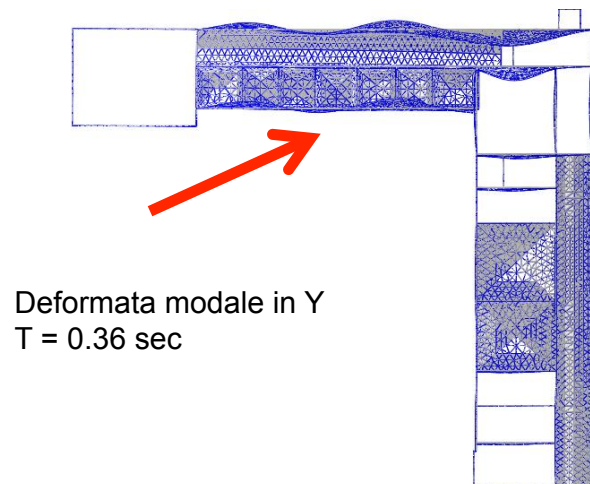
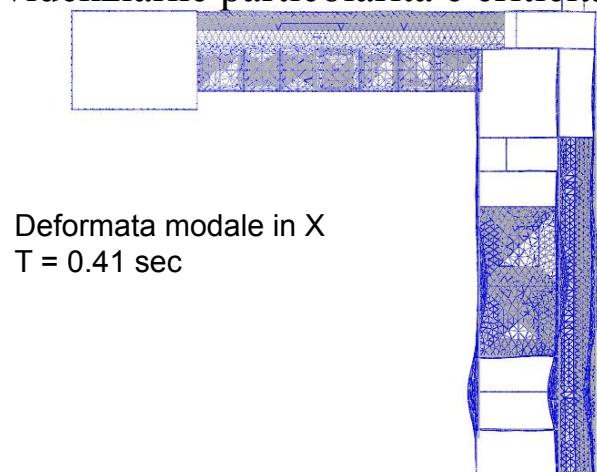
- Analisi statica lineare
- Analisi dinamica modale
- Analisi statica non lineare
- Analisi limite per l'equilibrio

VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI SICUREZZA: ANALISI LINEARE



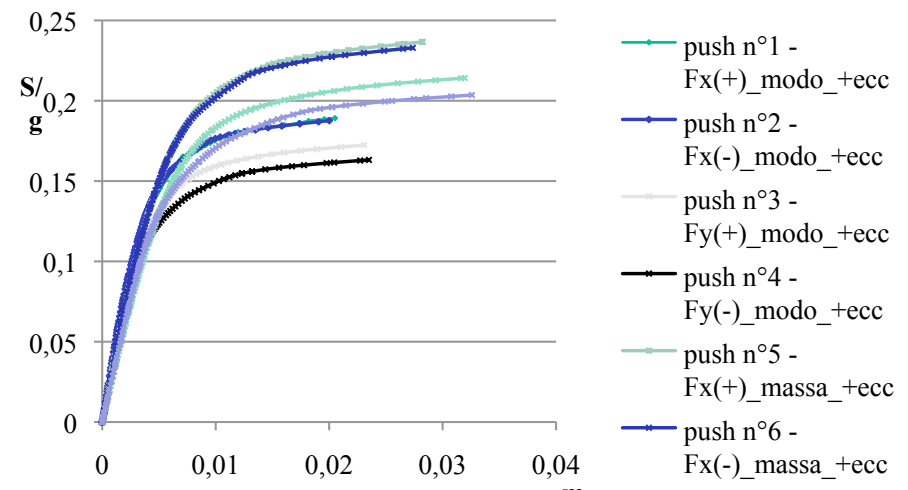
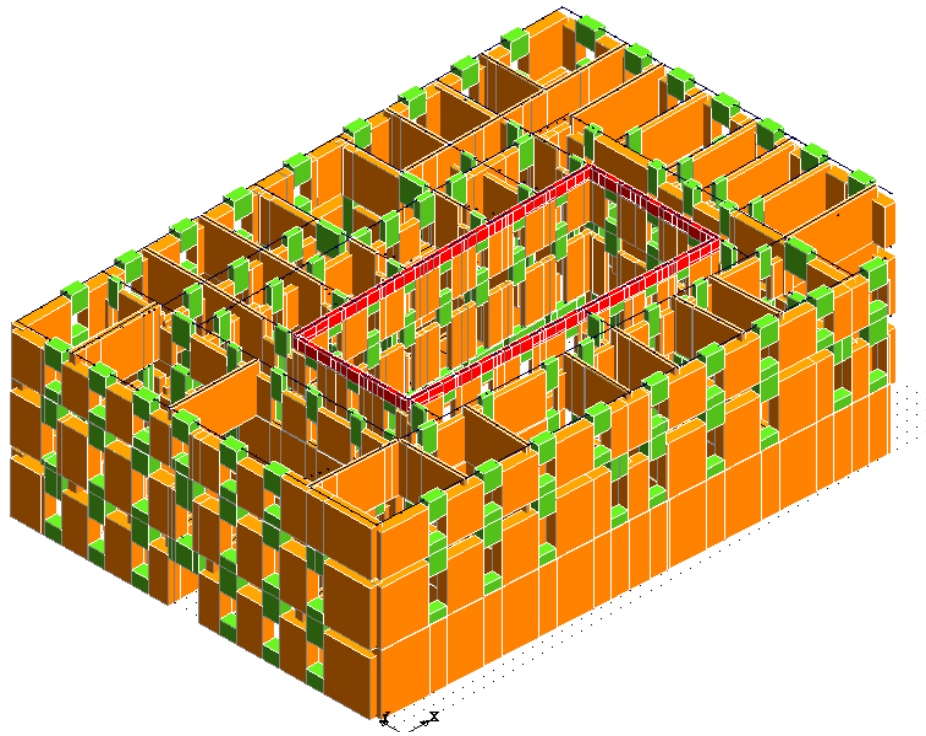
MODELLAZIONE STRUTTURALE DI UN ORGANISMO COMPLESSO

Ai fini della corretta comprensione della risposta dinamica di un organismo strutturale complesso in muratura, è opportuno procedere per **successivi livelli di approfondimento**. Il modello FEM dell'intero edificio è utile per conoscere il **comportamento d'insieme** dell'organismo edilizio, e per evidenziarne particolarità e criticità per le quali poi si procede con **analisi locali**.



Analisi statica non lineare di strutture complesse

valutazione della variabilità del livello di sicurezza in funzione dei parametri meccanici dei materiali E, τ, G, w





La procedura analitica può riguardare l'intero organismo strutturale o degli opportuni sottoinsiemi, allo scopo di evidenziare le situazioni più critiche del manufatto.

Lo schema strutturale deve essere chiaramente identificato. Il ***percorso della conoscenza*** risulta essenziale in questa fase.



Nel caso di organismi strutturali complessi possono essere consigliabili metodi di analisi strutturale più sofisticati.

In dipendenza del livello di danneggiamento previsto si può far riferimento a

- Analisi lineare in caso di danneggiamento trascurabile sotto scuotimento sismico

- In caso di esteso danneggiamento previsto appare consigliabile l'analisi statica non lineare



Bisogna inoltre tener conto del fattore di confidenza raggiunto.

Un valore numerico elevato del FC non è compatibile con sofisticati metodi di analisi strutturale.

In generale in relazione alla complessità del manufatto non sempre è possibile effettuare una analisi non lineare dell'intero complesso attraverso un modello tridimensionale.

In presenza di significative non regolarità strutturali si può procedere con una analisi dinamica lineare, integrata eventualmente da una analisi statica non lineare.

Eventuali parti strutturali snelle o a sviluppo prevalentemente verticale possono essere analizzate con l'analisi dinamica modale.



Le linee Guide suggeriscono 28 meccanismi di danno per le parti macroelementi che possono

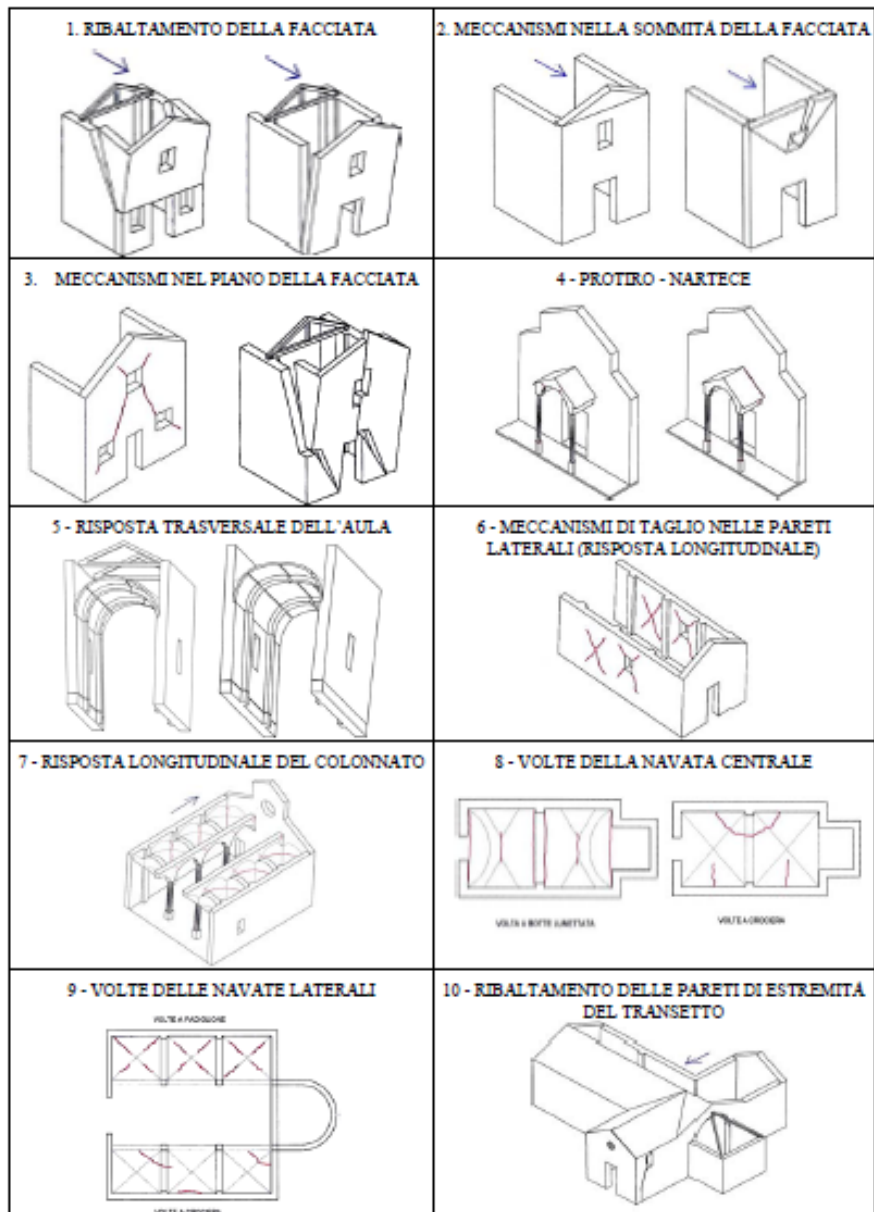
ABACO DEI MECCANISMI DI COLLASSO DELLE CHIESE

<p>1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA</p>	<p>2. MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA</p>
<p>3. MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA</p>	<p>4 - PROTIRO - NARTECE</p>
<p>5 - RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA</p>	<p>6 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI (RISPOSTA LONGITUDINALE)</p>
<p>7 - RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO</p>	<p>8 - VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE</p>
<p>9 - VOLTE DELLE NAVATE LATERALI</p>	<p>10 - RIBALTAMENTO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DEL TRANSETTO</p>





ABACO DEI MECCANISMI DI COLLASSO DELLE CHIESE



28 meccanismi di danno per le
si macroelementi che possono





ABACO DEI MECCANISMI DI COLL.

<p>1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA</p>	<p>2. MECCA</p>	<p>11 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DEL TRANSETTO</p>	<p>12 - VOLTE DEL TRANSETTO</p>
<p>3. MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA</p>		<p>13 - ARCHI TRIONFALI</p>	<p>14 - CUPOLA - TAMBURNO / TIBURIO</p>
<p>5 - RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA</p>	<p>6 - M LA</p>	<p>15 - LANTERNA</p>	<p>16 - RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE</p>
<p>7 - RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO</p>	<p>8 -</p>	<p>17 - MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO O NELL'ABSIDE</p>	<p>18 - VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE</p>
<p>9 - VOLTE DELLE NAVATE LATERALI</p>	<p>10 - RIB.</p>	<p>19 - ELEMENTI DI COPERTURA: AULA</p>	<p>20 - ELEMENTI DI COPERTURA: TRANSETTO</p>

li danno per le
che possono





ABACO DEI MECCANISMI DI COLL.

<p>1. RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA</p>	<p>2. MECCANISMI...</p>	<p>11 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DEL TRANSETTO</p>	<p>21 - ELEMENTI DI COPERTURA: ABSIDE</p>	<p>22 - RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE</p>
<p>3. MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA</p>	<p>4. MECCANISMI...</p>	<p>13 - ARCHI TRIONFALI</p>	<p>23 - MECCANISMI DI TAGLIO NELLE CAPPELLE</p>	<p>24 - VOLTE DELLE CAPPELLE</p>
<p>5 - RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA</p>	<p>6 - M LA</p>	<p>15 - LANTERNA</p>	<p>25 - INTERAZIONI IN PROSSIMITA' DI IRREGOLARITA' PLANO-ALTIMETRICHE</p>	<p>26 - AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)</p>
<p>7 - RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO</p>	<p>8 - ...</p>	<p>17 - MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO O NELL'ABSIDE</p>	<p>27 - TORRE CAMPANARIA</p>	<p>28 - CELLA CAMPANARIA</p>
<p>9 - VOLTE DELLE NAVATE LATERALI</p>	<p>10 - RIB...</p>	<p>19 - ELEMENTI DI COPERTURA: AULA</p>		



La scelta dell'intervento di miglioramento sismico dipende in gran parte dai risultati della precedente fase di valutazione.

Gli interventi dovrebbero, ove possibile, essere rivolti a singole parti del manufatto, evitando di alterare in maniera significativa l'originale distribuzione delle rigidità.

L'intervento dovrà essere proporzionato agli obiettivi di sicurezza e durabilità ma dovrà produrre un impatto minimo sul fabbricato storico.



La strategia di intervento può appartenere ad una delle seguenti categorie o a particolari combinazioni di esse:

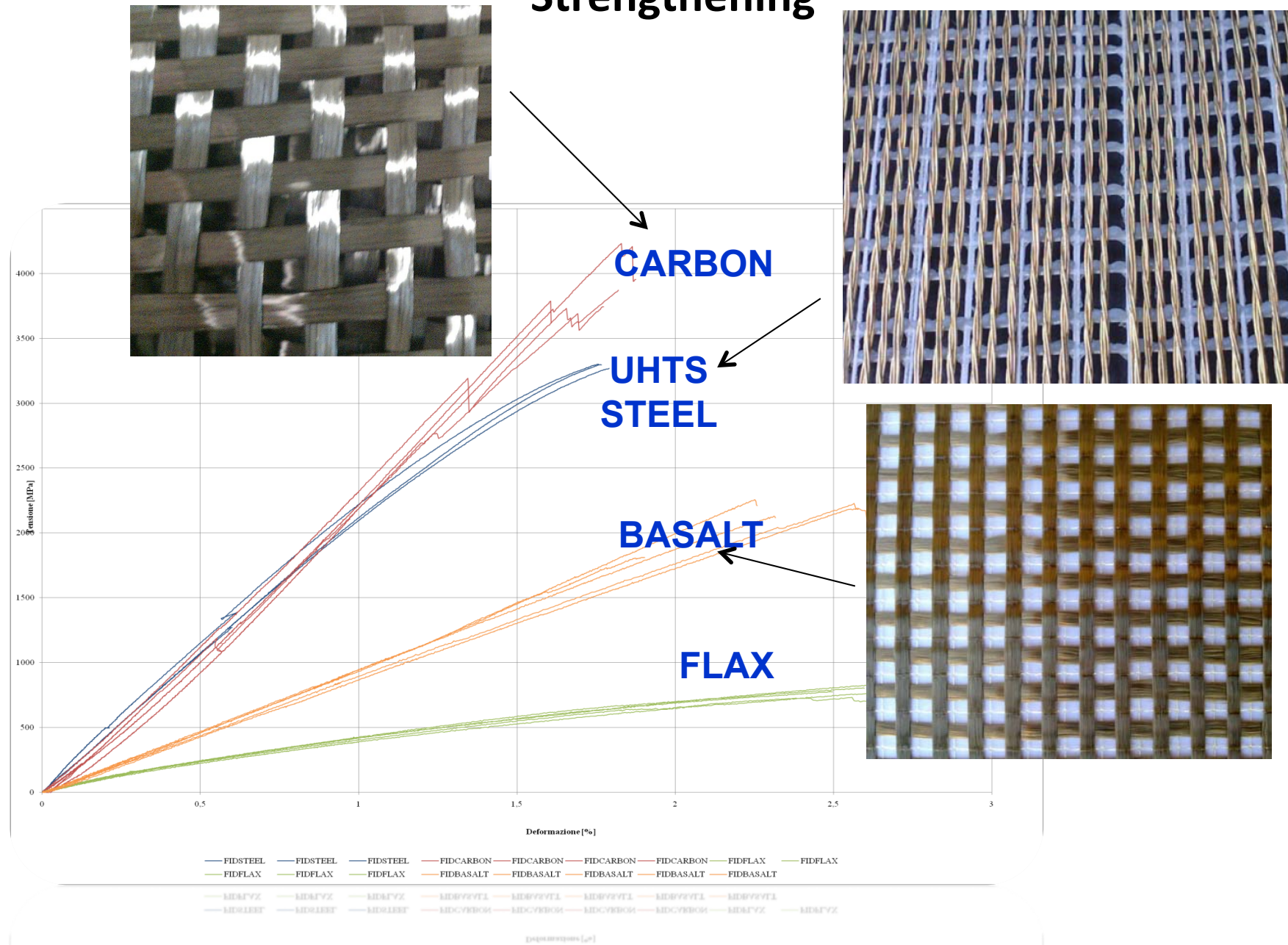
- Rinforzo di parte o di tutti gli elementi resistenti
- Inserimento di nuovi elementi, compatibili con quelli esistenti
- Introduzione di una protezione passiva (controventi dissipativi e/o isolamento alla base)
- Riduzione delle masse
- Limitazione o cambiamento della destinazione d'uso

Improving mechanical behaviour of ancient masonries

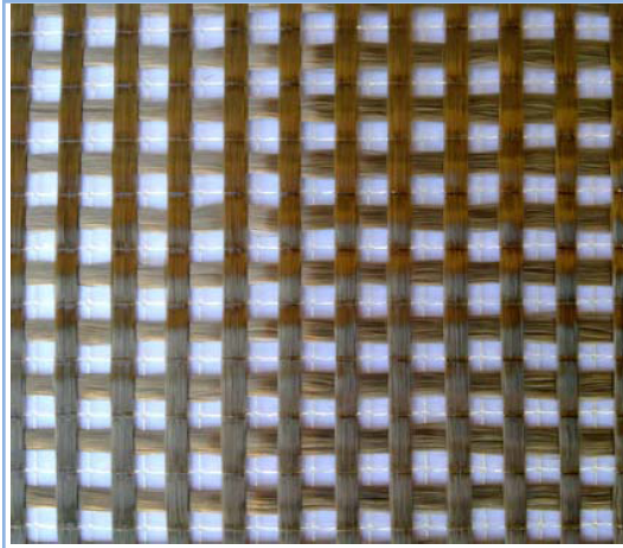
Possible techniques include:

- Injections of non cement based mortar grouting;
- Local rebuilding;
- Mortar bed-joint repointing;
- Mortar bed-joint repointing with the insertion of ultra high strength steel wires;
- Transversal connection between wall leaves

Techniques and Materials for Repairing and Strengthening



Basalt Fiber sheets

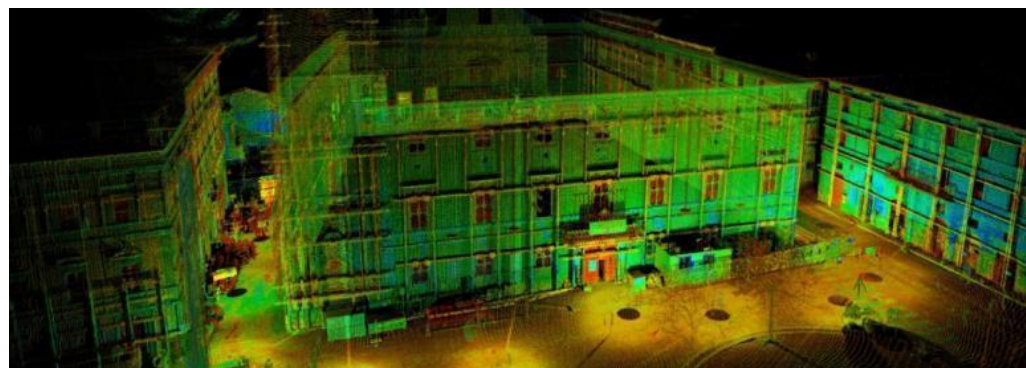
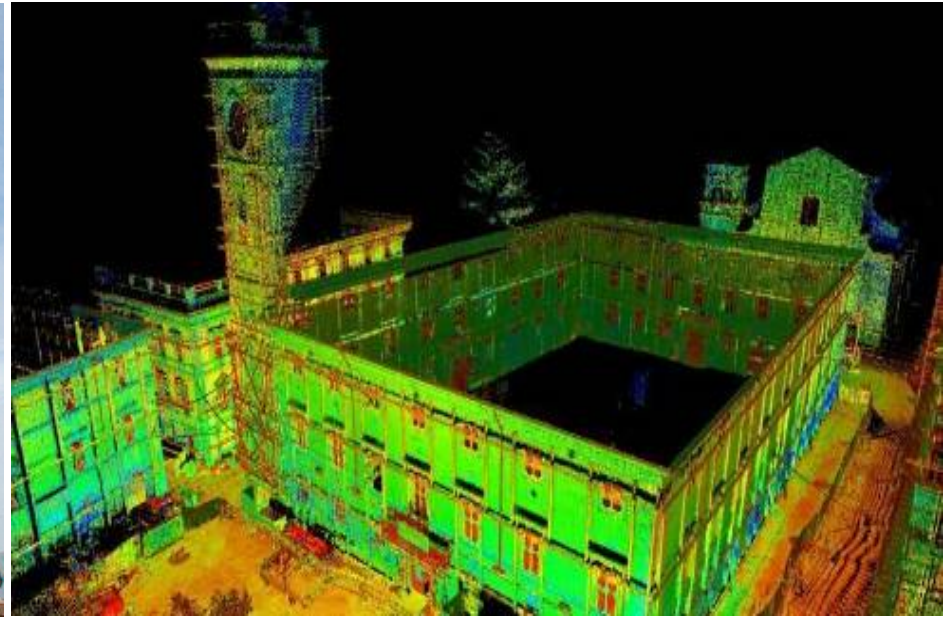


Geometrical and Mechanical properties of the FRP composite *	
Dry Fibre (yarn properties)	
Ultimate tensile strength, σ_{fibra}	3080 MPa
Young's Modulus, E_{fibra}	95 GPa
Ultimate tensile strain, ε_{fibra}	3,15 %
Density	2,8 g/cm ³
Fabric impregnated with resin (calculation values)	
Title of woven	1200 Tex
n° yarn/cm	1,25 Fili/cm
weight	300 g/m ²
Equivalent thickness of FRP, t_f	0,053 mm
Characteristic strength of FRP, f_{fk}	1735 MPa
Young's modulus of FRP, E_f	90 GPa
Characteristic ultimate tensile strain of FRP, ε_f	1,93 %
Updated 04 August 2010	

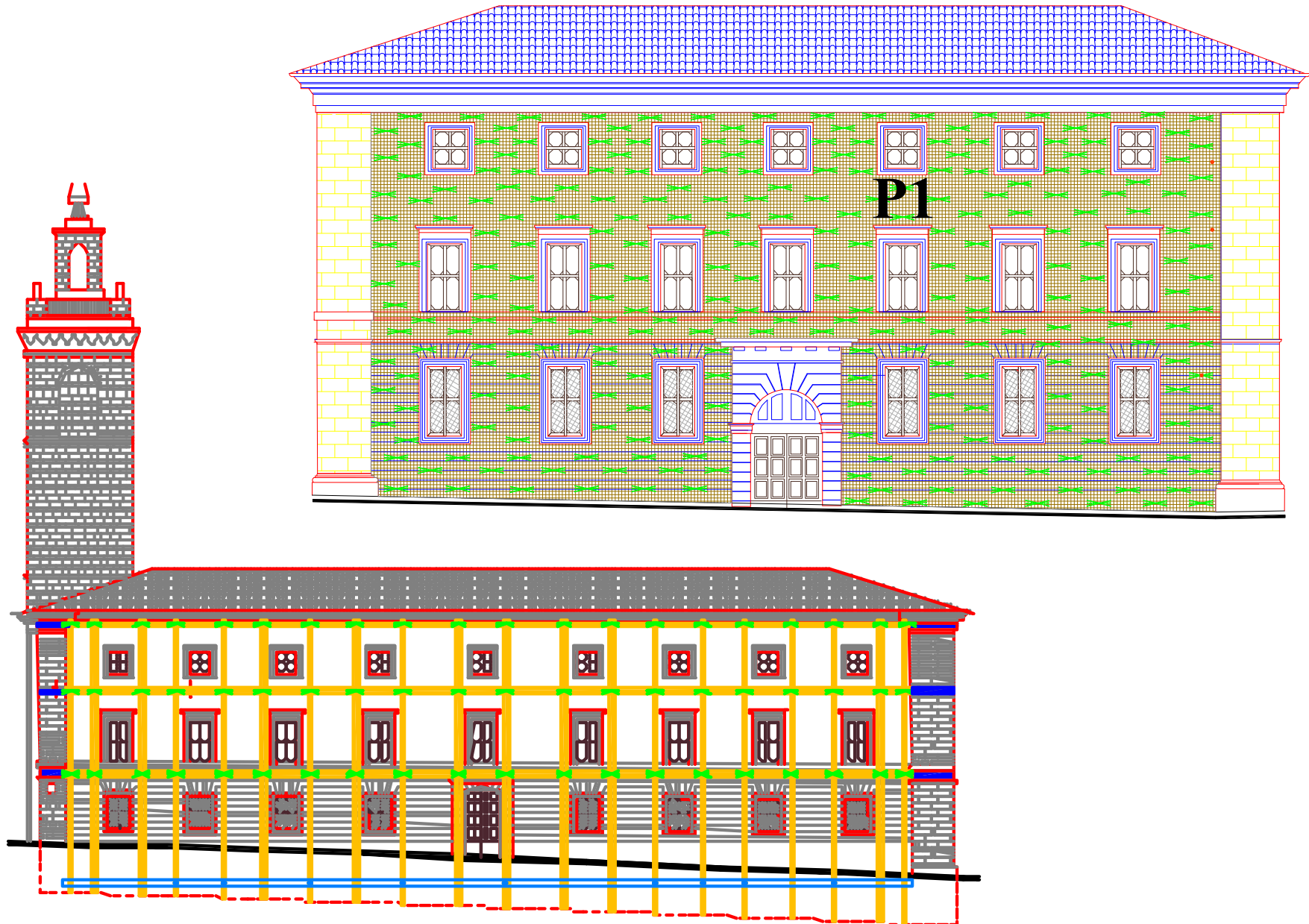
Unidirectional UHTSS Steel Fiber



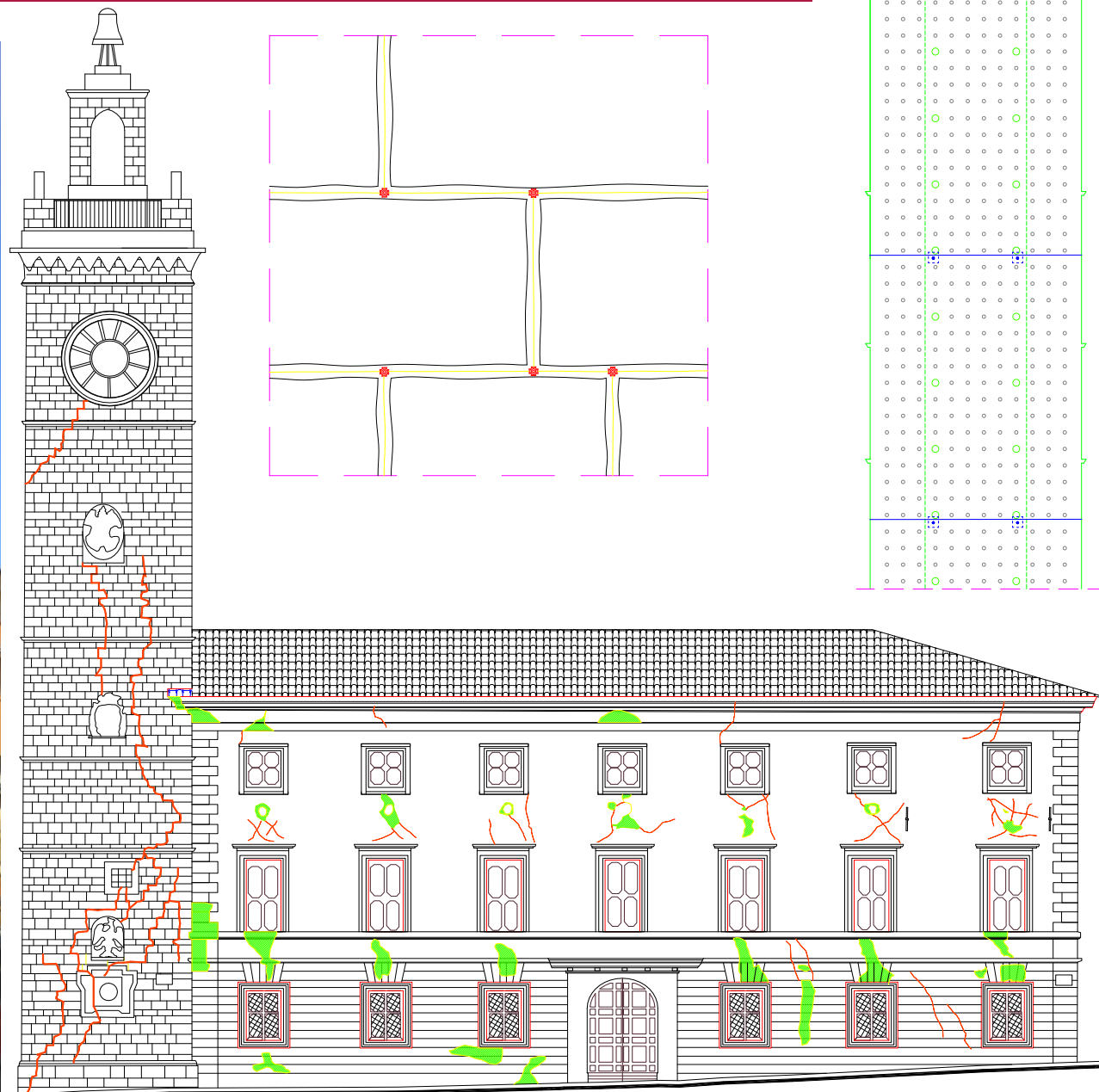
Geometrical and mechanical properties*	
Filament	
Area, $A_{filament}$	0,096 mm ²
Sheet	
Effective area of one cord (5 filaments), A_{cord}	0,481 mm ²
n° cord/cm	4,72 cord/cm
Weight (thermosetting grid included)	1800 g/m ²
Sheet equivalent design thickness, t_{sheet}	0,227 mm
Ultimate load of one cord	1476 N
Sheet ultimate tensile strength, f_{sheet}	3070 MPa
Elastic modulus, E_{sheet}	190 GPa
Ultimate deformation, ε_{sheet}	1,60 %

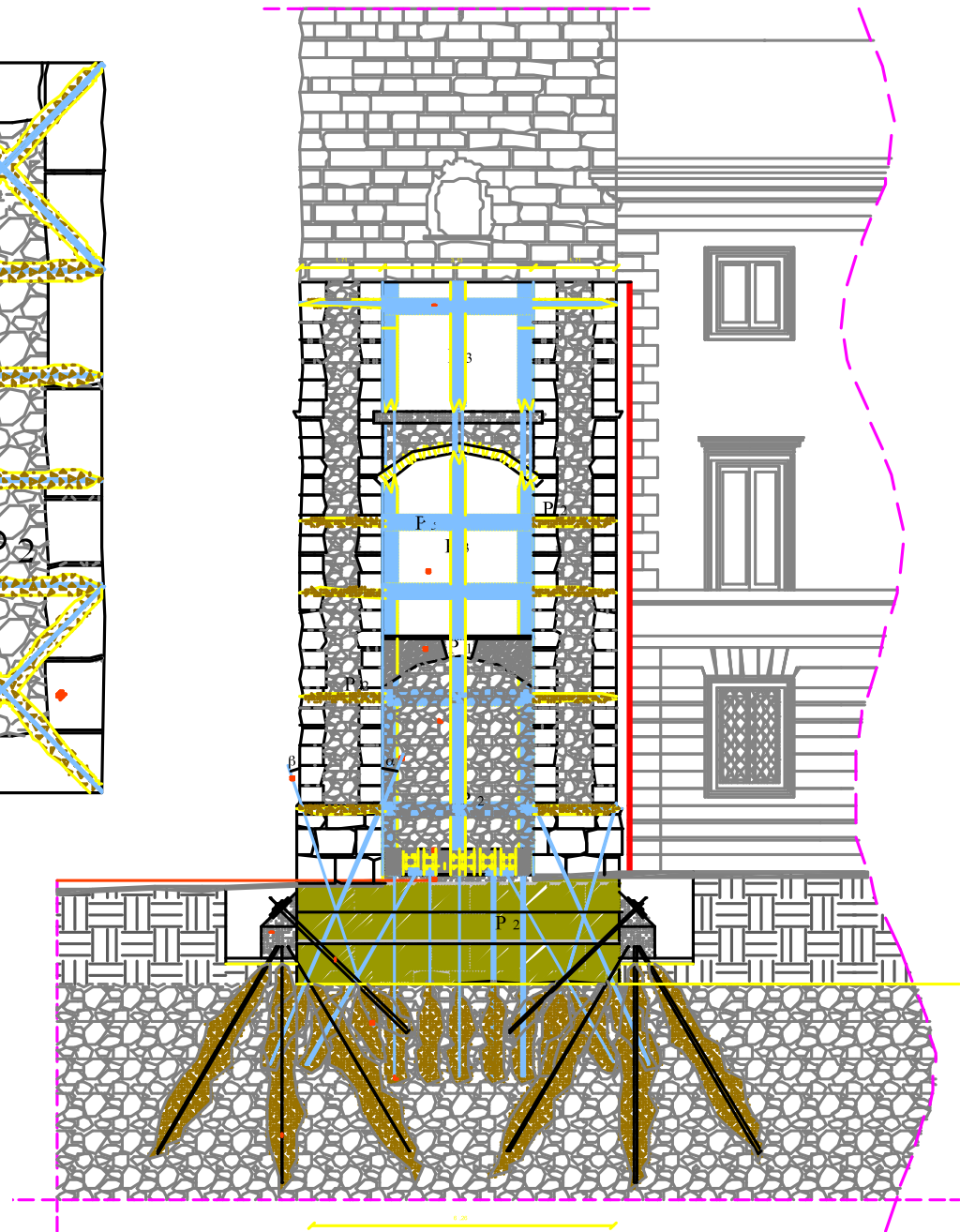
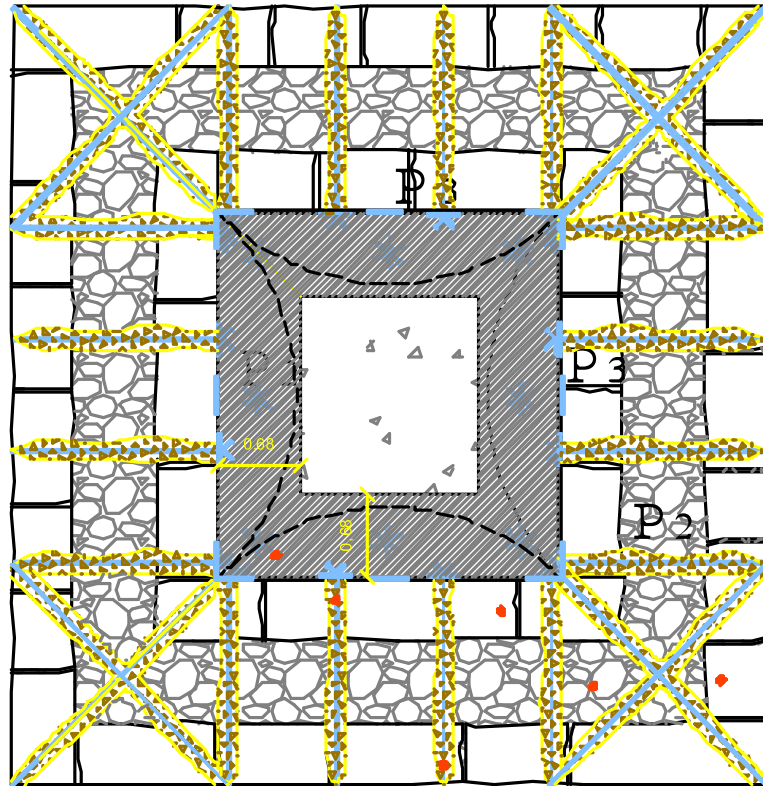


Palazzo Margherita (16th century)
Front walls strengthnening with Basalt Fiber sheets and UHTSS Steel Fiber Sheets



Palazzo Margherita (16th century)
Strengthening of the civic tower with Reticulatus

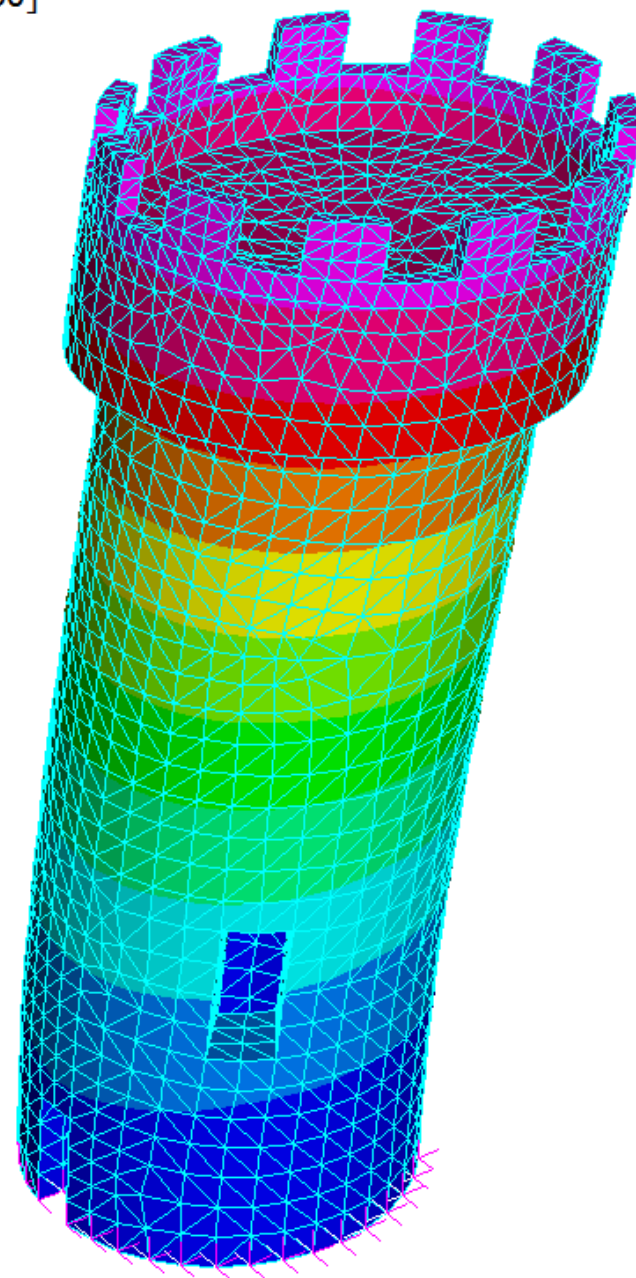
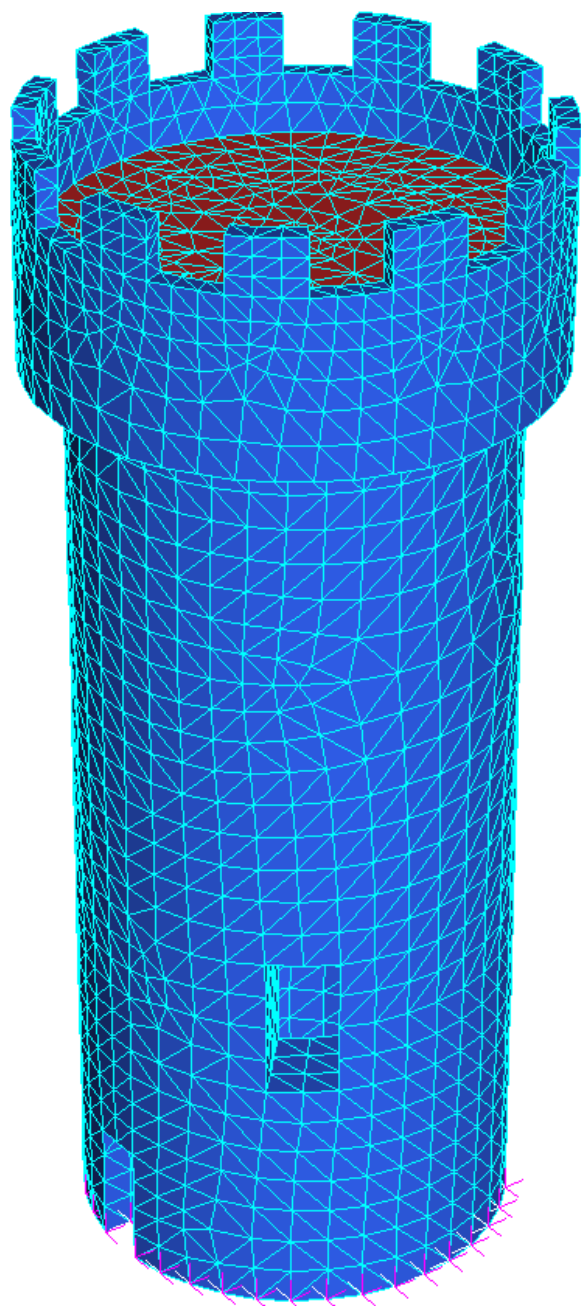
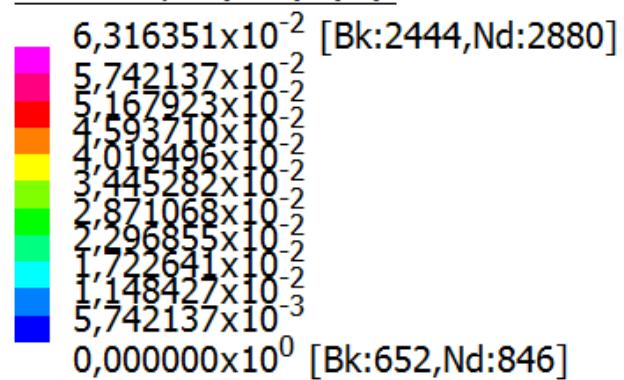




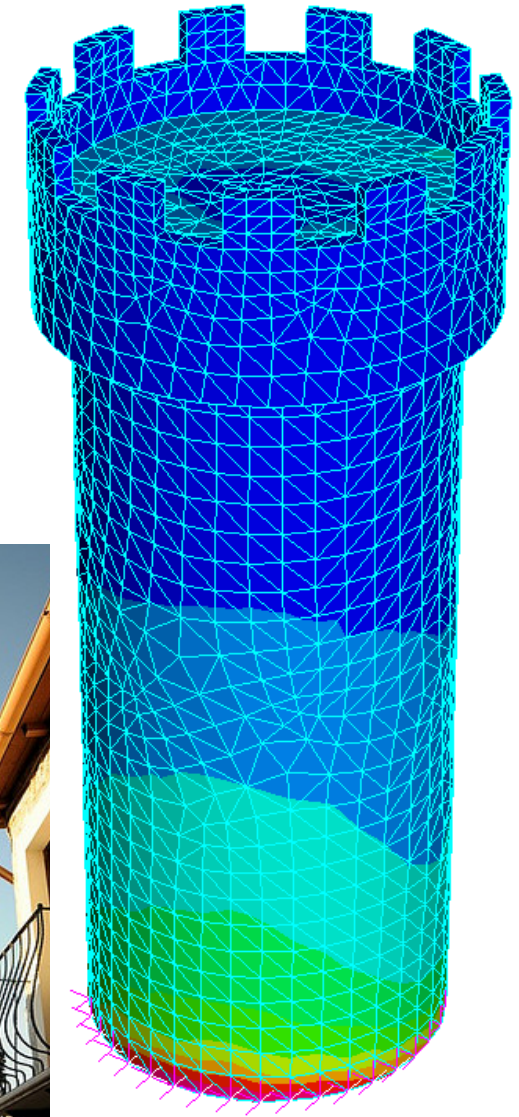
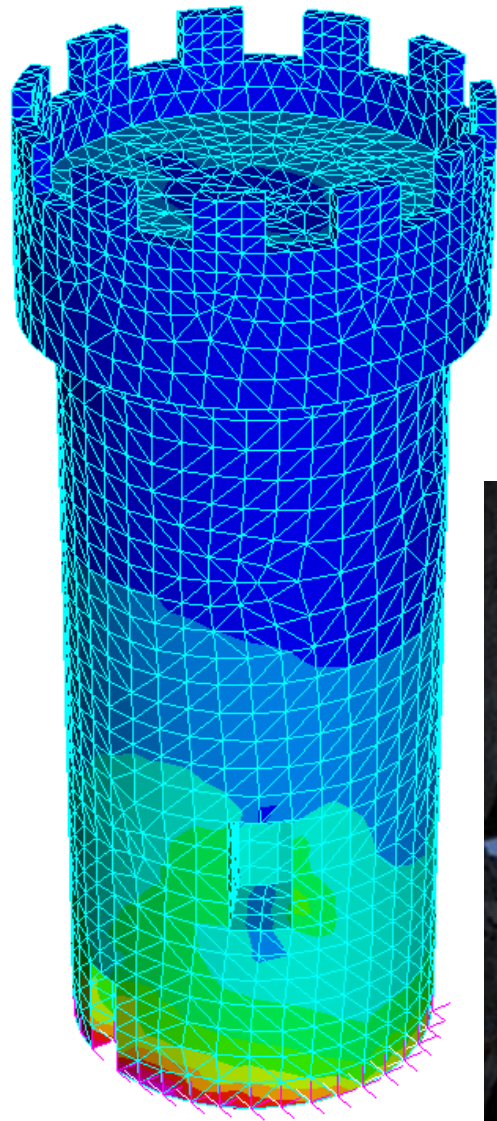
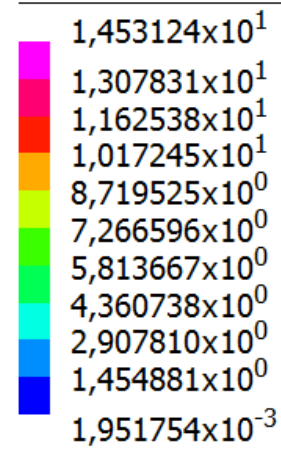
Torre di S. Stefano (15th century)



Brick Disp:D(XYZ) (m)



Brick Stress:Mean (kg/cm²)

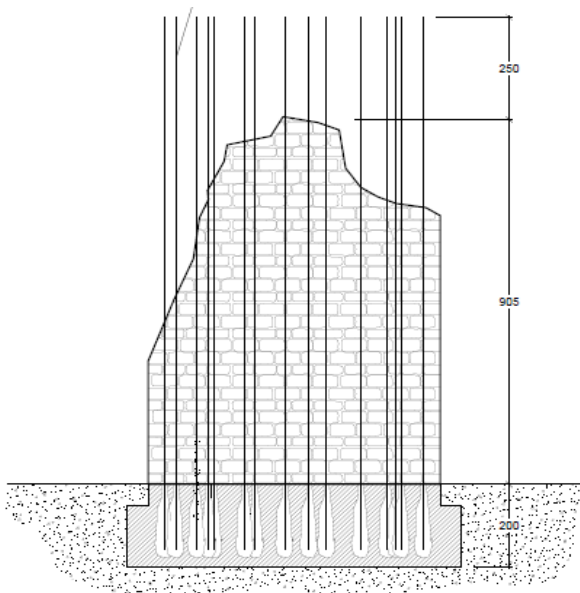
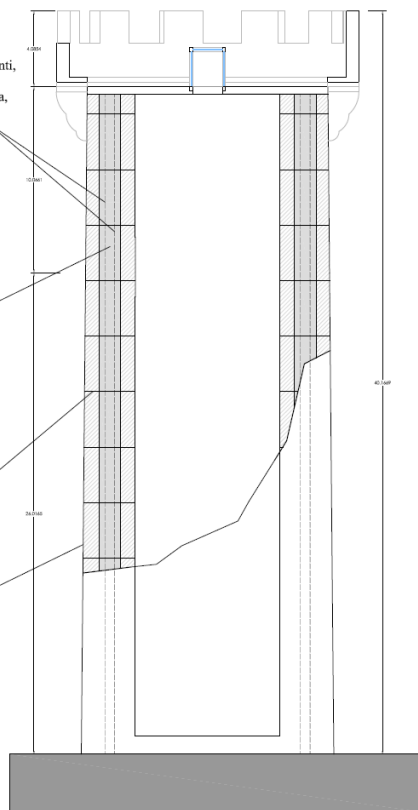


Barre di armatura in fibra di vetro ad aderenza migliorata GFRP, alcali resistenti, disposte radialmente n°30 Ø25/24° ed iniettate con boiacca di calce pozzolanica, granulometria < 15 µm, Classe M10.

Nucleo strutturale della muratura a sacco realizzato mediante conglomerato di calce pozzolanica priva di cemento, mix standard (sabbia: 180 kg, sabbione: 720 kg, pietrisco 4-8: 90 kg, pietrisco 8-15: 360 kg, pietrisco 30-60: 180 kg, legante: 400 kg, acqua: 160 kg) resistenza minima 15 MPa, Classe M10.

Armatura del ricorso orizzontale, realizzata mediante fasce di tessuto (600 g/mq) in fibra unidirezionale di acciaio UHTSS, zinco galvanizzato, disposte a collegamento trasversale dei due paramenti, ogni 150 cm in elevazione. L'applicazione del tessuto sarà effettuata mediante malta di calce pozzolanica, priva di cemento, con aggregati silicei naturali diam. max 2mm, Classe M15.

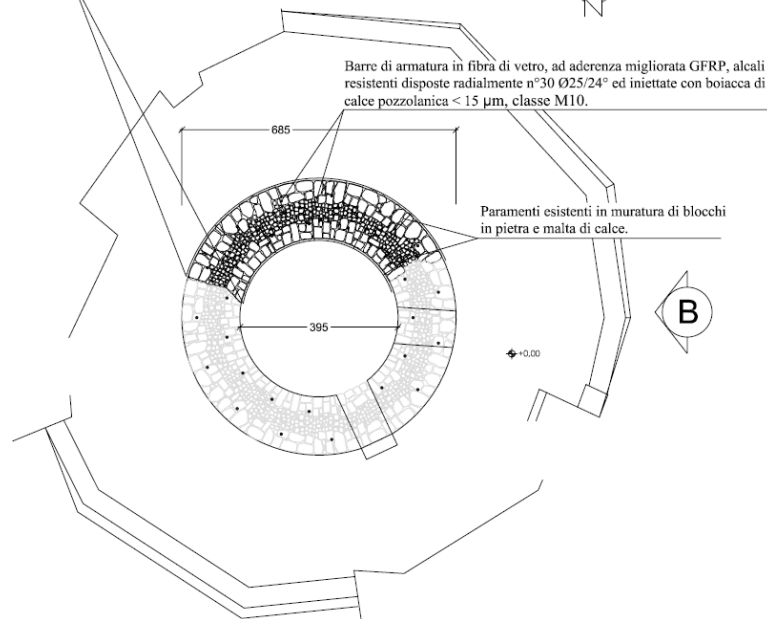
Rinforzo dei paramenti mediante la tecnica del "reticolatus": disposizione di micro trefoli in acciaio tra i giunti di malta



Nucleo strutturale della muratura a sacco realizzato mediante conglomerato di calce pozzolanica priva di cemento, mix standard 4-8: (sabbia: 180 kg, sabbione: 720 kg, pietrisco 4-8: 90 kg, pietrisco 8-15: 360 kg, pietrisco 30-60: 180 kg, legante: 400 kg, acqua: 160 kg) resistenza minima 15 MPa, Classe M10.

Armatura del ricorso orizzontale, realizzata mediante fasce di tessuto (600 g/mq) in fibra unidirezionale di acciaio UHTSS, zinco galvanizzato, disposte a collegamento trasversale dei due paramenti, ogni 150 cm in elevazione. L'applicazione del tessuto sarà effettuata mediante malta di calce pozzolanica, priva di cemento, con aggregati silicei naturali diam. max 2mm, Classe M15.

Rinforzo dei paramenti mediante la tecnica del "reticolatus": disposizione di micro trefoli in acciaio tra i giunti di malta.



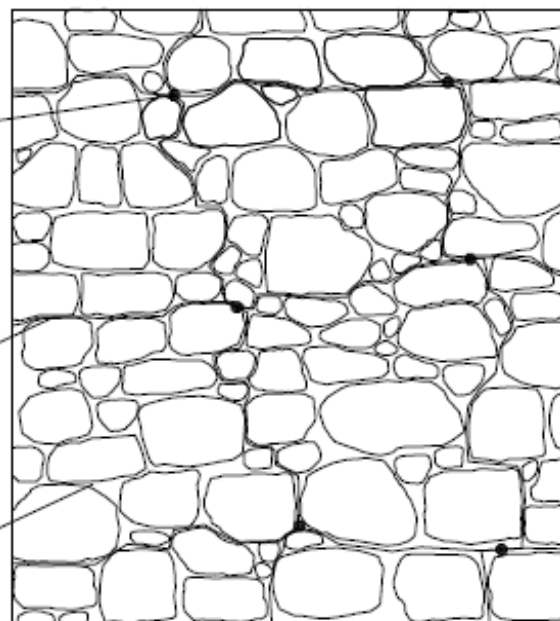
Barre di armatura in fibra di vetro, ad aderenza migliorata GFRP, alcali resistenti disposte radialmente n°30 Ø25/24° ed iniettate con boiacca di calce pozzolanica < 15 µm, classe M10.

Paramenti esistenti in muratura di blocchi in pietra e malta di calce.

Inserimento di fittoni in acciaio inox Ø6 con dado di chiusura, 1 = 80 cm, in numero di 2/mq.

n° 3 trefoli da 5 fili in acciaio UHTSS zinco galvanizzato, As = 7,2 mmq, disposti nei giunti, passo medio della maglia = 80/100 cm.

Ristilatura dei giunti con malta di calce pozzolanica, priva di cemento, con aggregati silicei naturali, diam. max 2 mm. Classe M15.

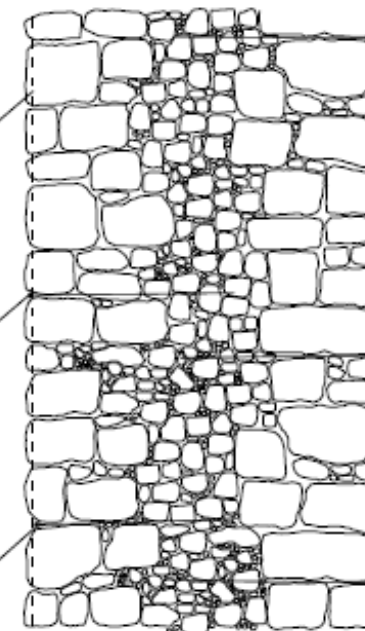


VISTA FRONTALE PARAMENTO ESTERNO
scala 1:10

n° 3 trefoli da 5 fili in acciaio UHTSS, zinco galvanizzato, As = 7,20 mmq, disposti nei giunti, passo medio della maglia = 80/100 cm.

Inserimento di fittoni in acciaio inox Ø6 con dado di chiusura, 1 = 80 cm, in numero di 2/mq.

Ristilatura dei giunti con malta di calce pozzolanica, priva di cemento, con aggregati silicei naturali, diam. max 2 mm. Classe M15.

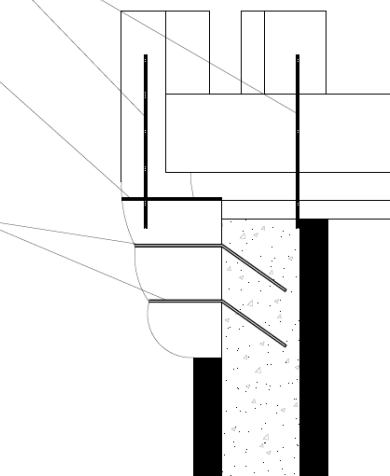


SEZIONE DI DETTAGLIO
scala 1:10

Barre in fibra di vetro ad aderenza migliorata Ø16

Nastro in fibra di acciaio UHTSS ad altissima resistenza, zinco galvanizzato, grammatura minima 600 gr/mq

Connettori a fiocco in fibra di acciaio UHTSS ad altissima resistenza, zinco galvanizzato per il rinforzo strutturale, composto da 20 trefoli e iniettato con malta di calce naturale NHL5.



Basilica Santa Maria di Collemaggio



*Celestinian church built in the
13th-14th century*

*The church has been strongly damaged by
the 2009 earthquake*



Collapse of the Transept



Collapse of the Transept



Collapse of the Transept



RC beam



RC dome

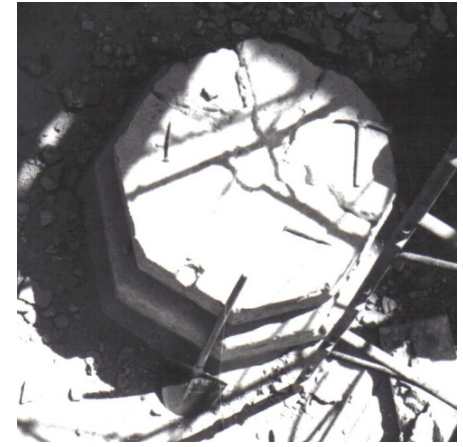


The Basilica: the 2009 earthquake, the damages

The collapsed pillar



Columns of the naves



Restoration works of Superintendent Moretti

Columns of the naves



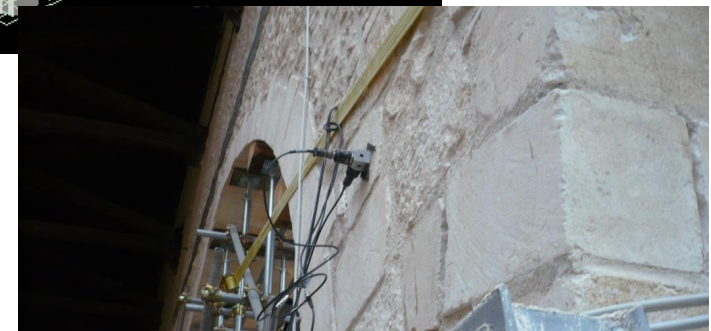
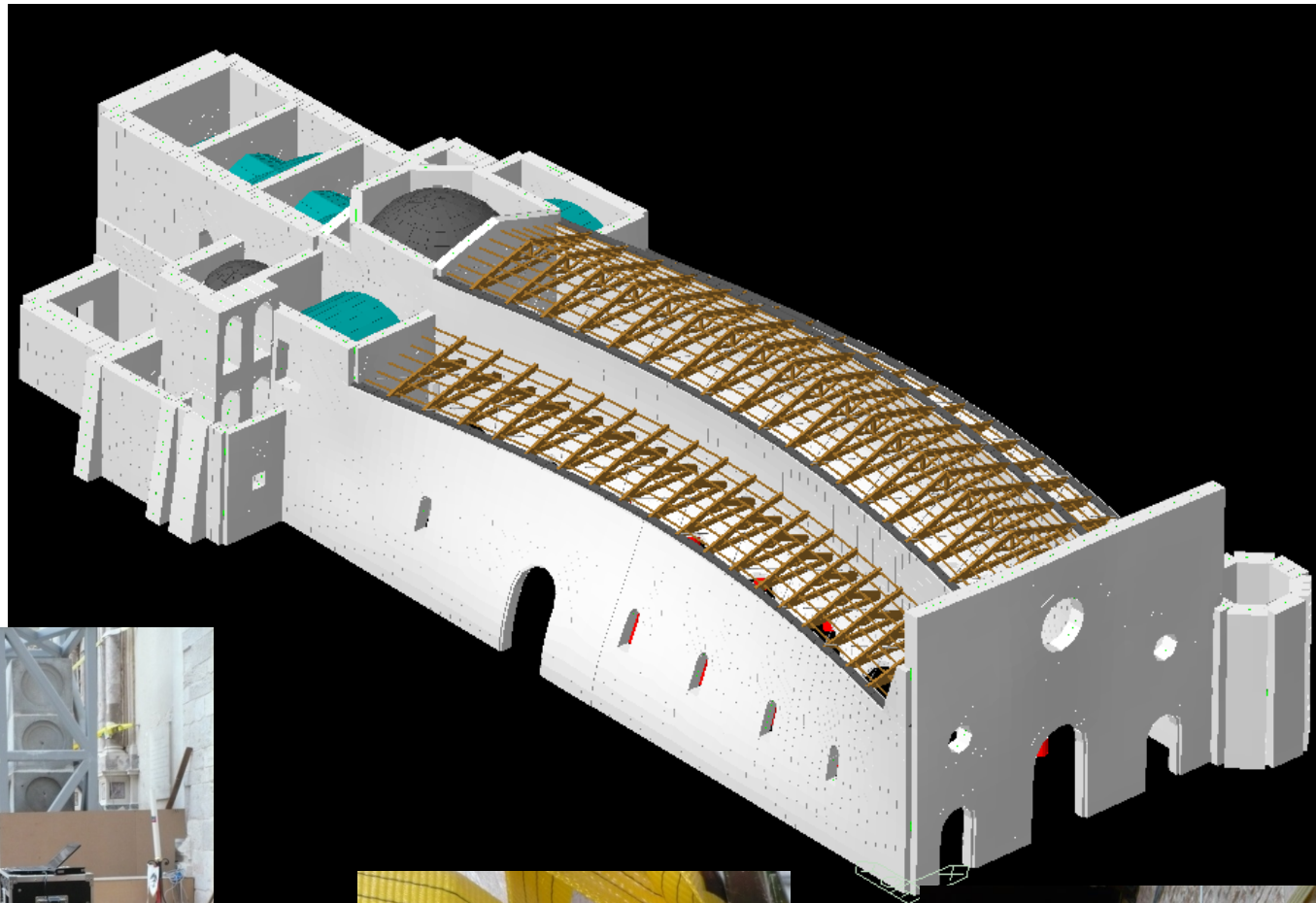
The apse

after ..

before ..

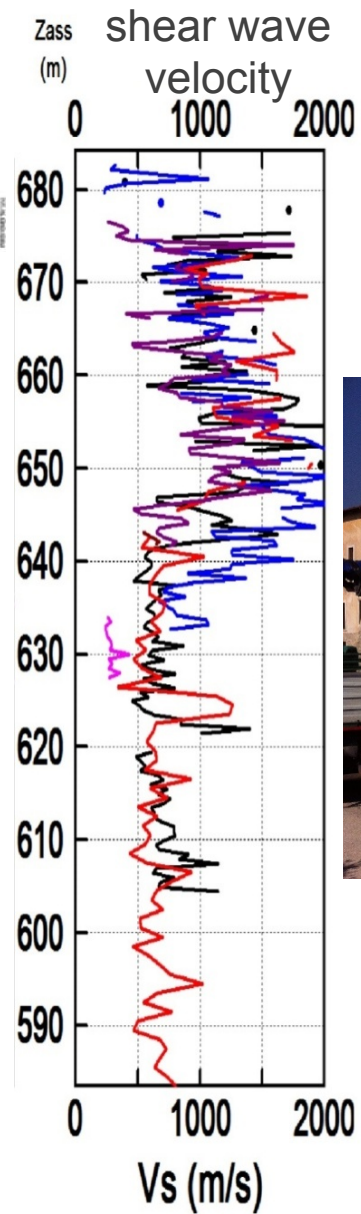
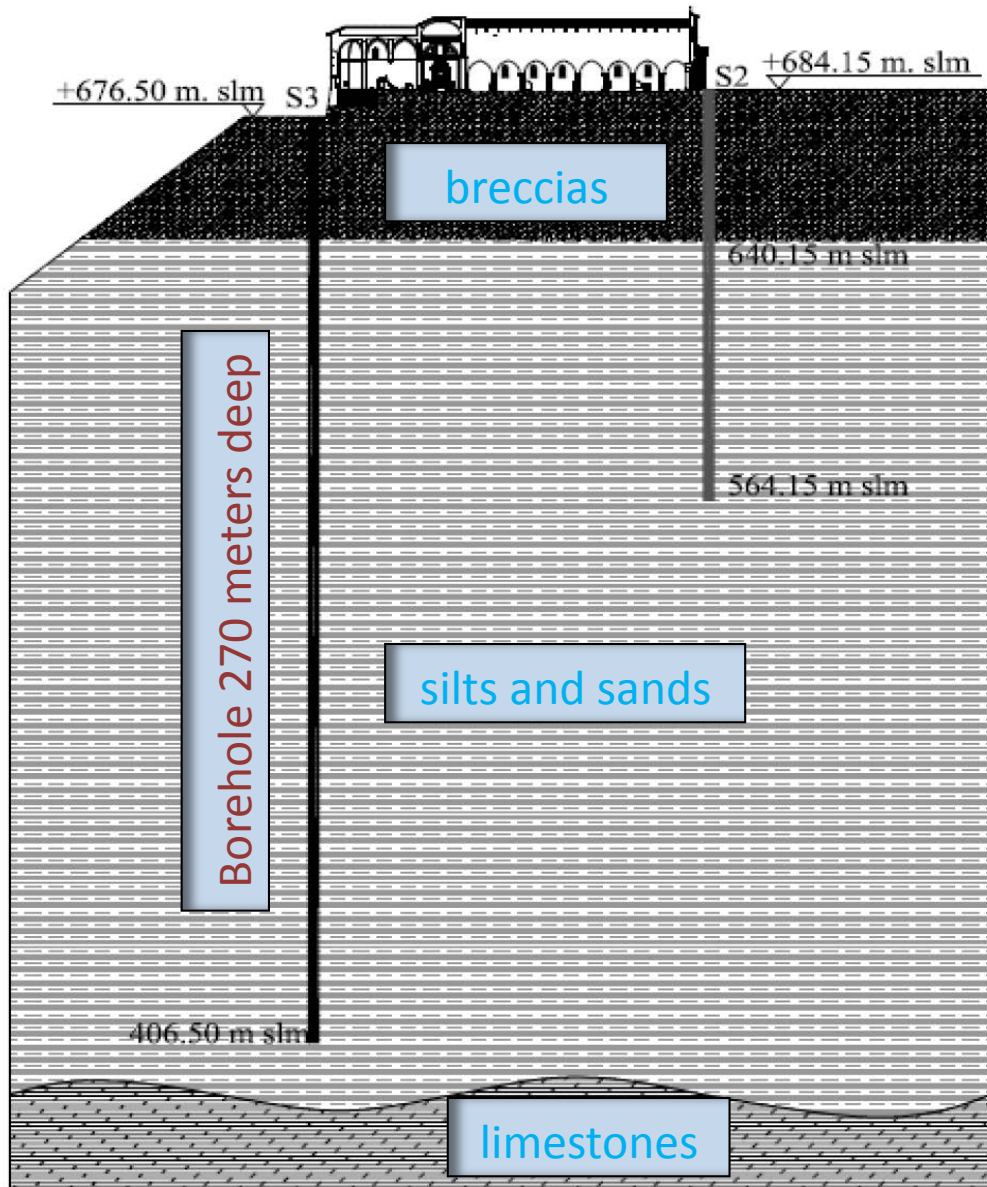


Dynamic tests

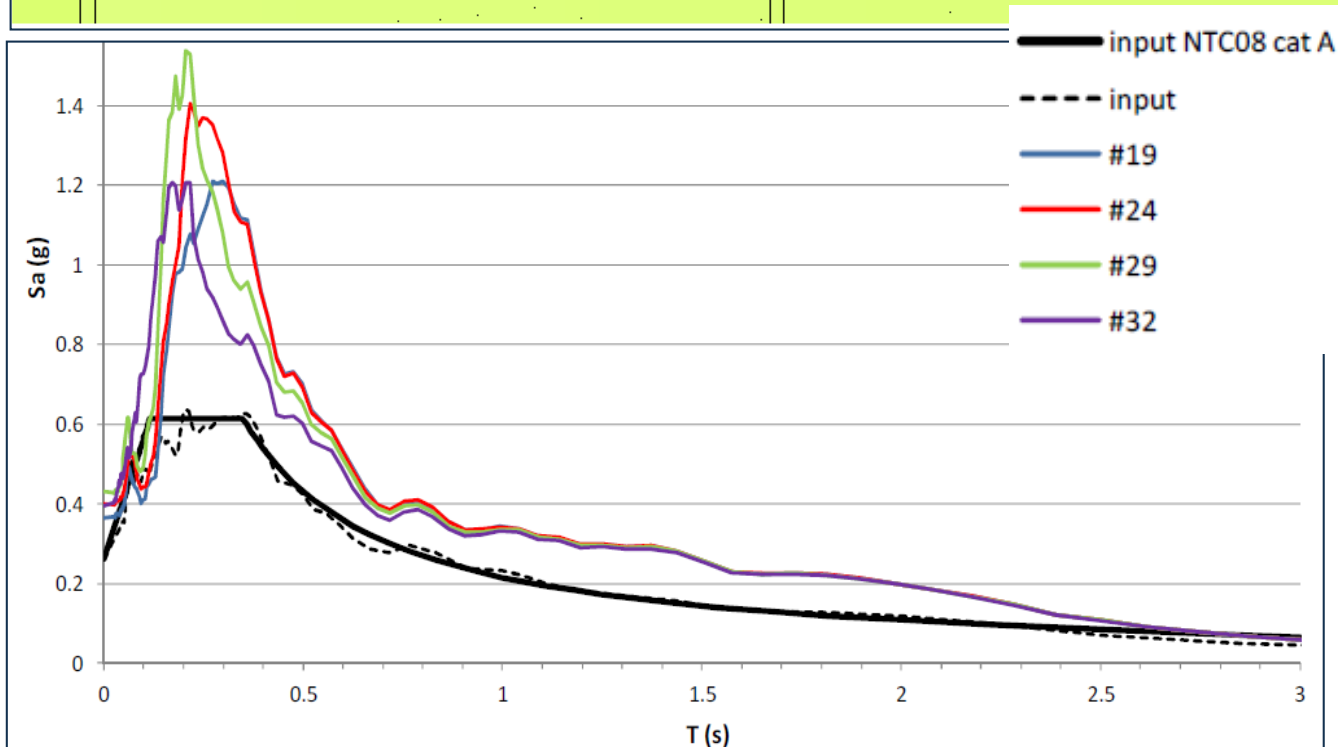
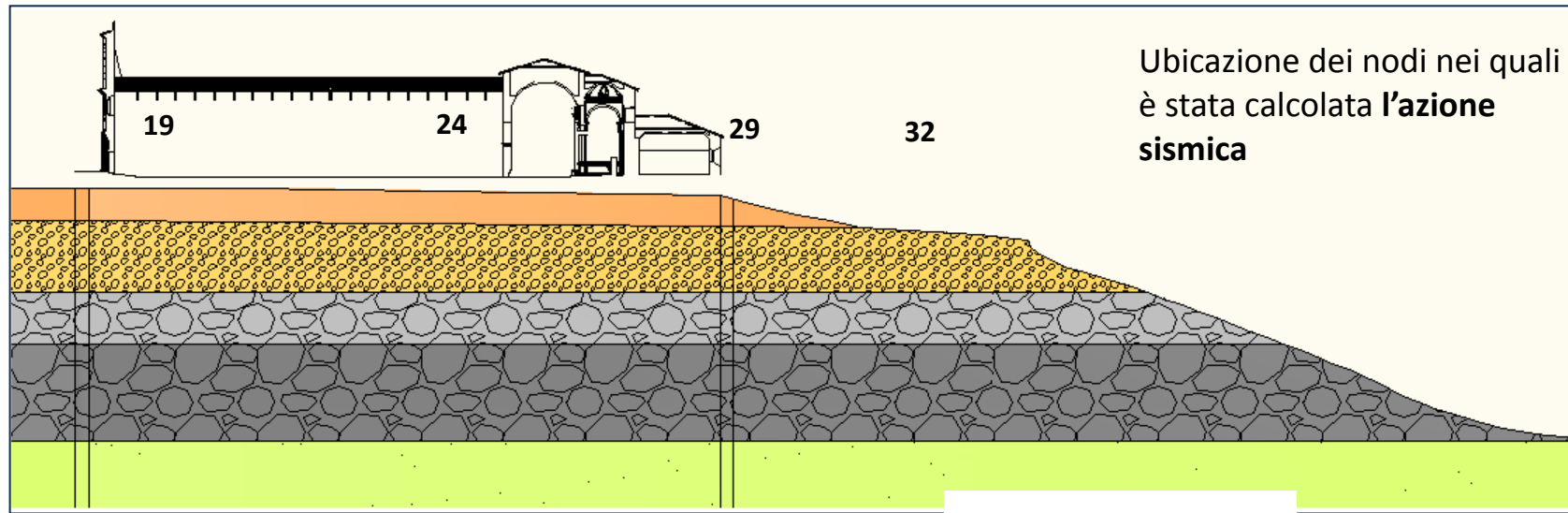


The Basilica: the investigations

Geological, geophysical and geotechnical characterization of the subsoil of the Basilica

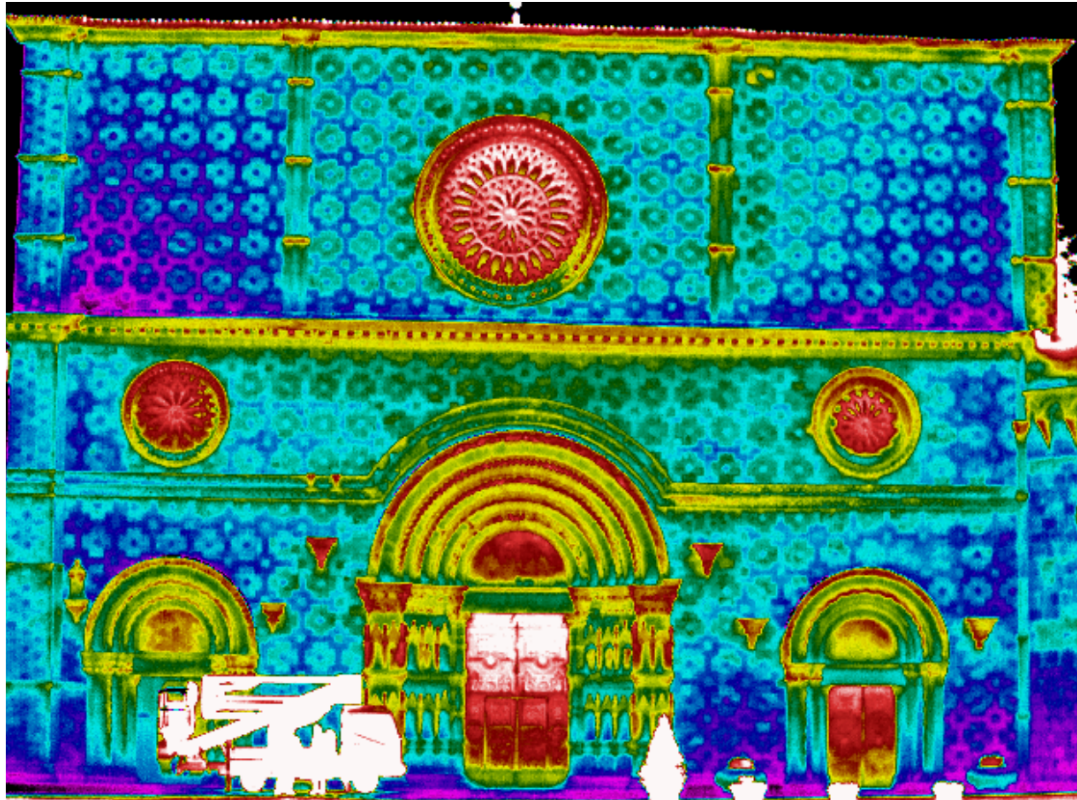


Analisi di Risposta Sismica Locale nel sito della Basilica di Collemaggio

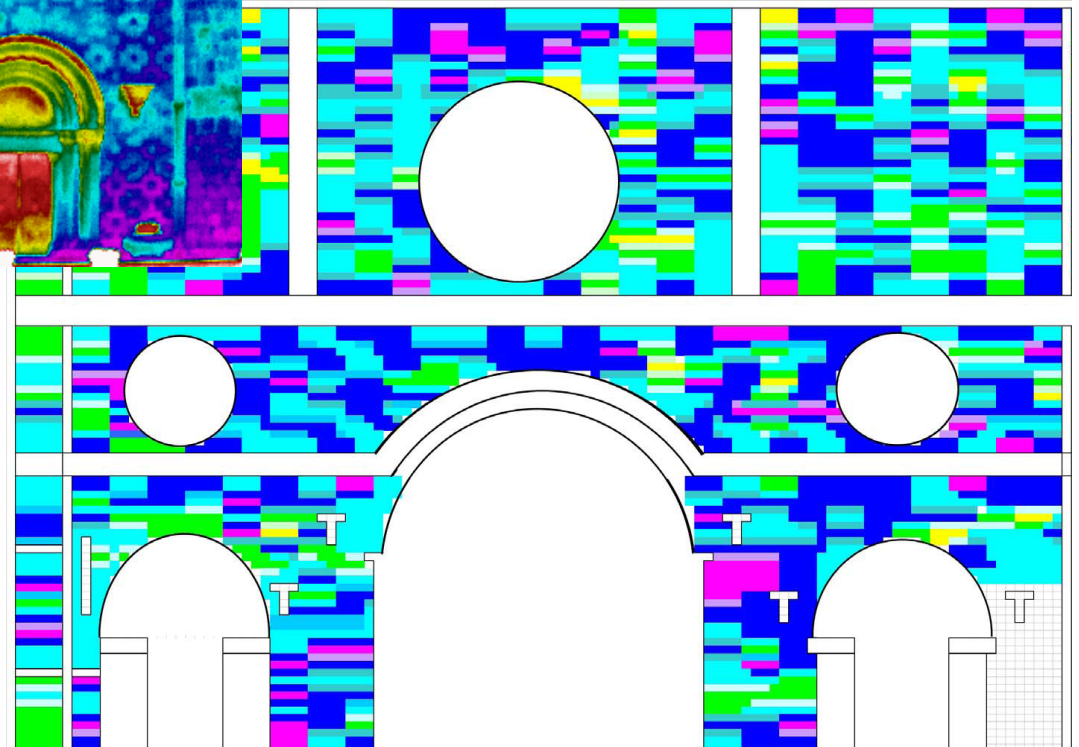


Spettri di risposta medi
calcolati nei nodi ubicati al
piano di fondazione e
confronto con lo **spettro di**
input

The Basilica: the investigations



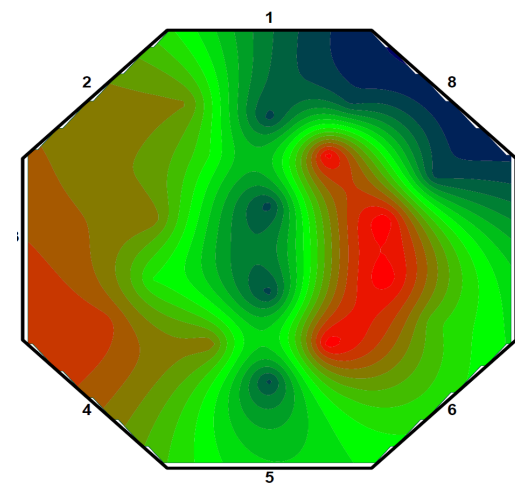
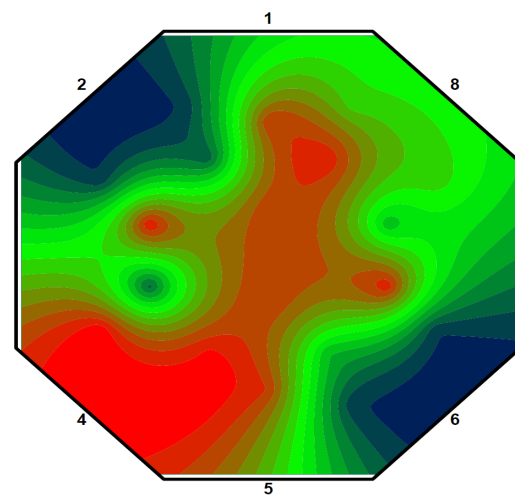
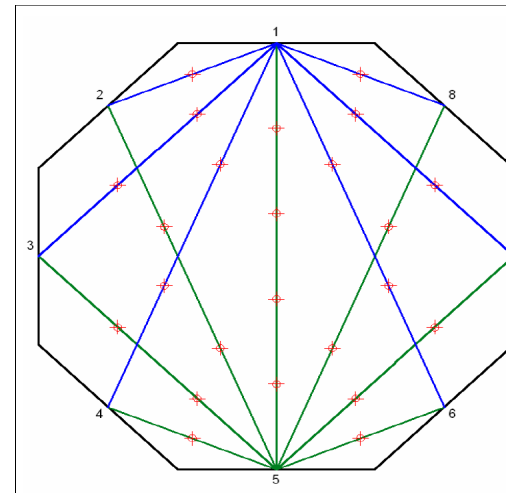
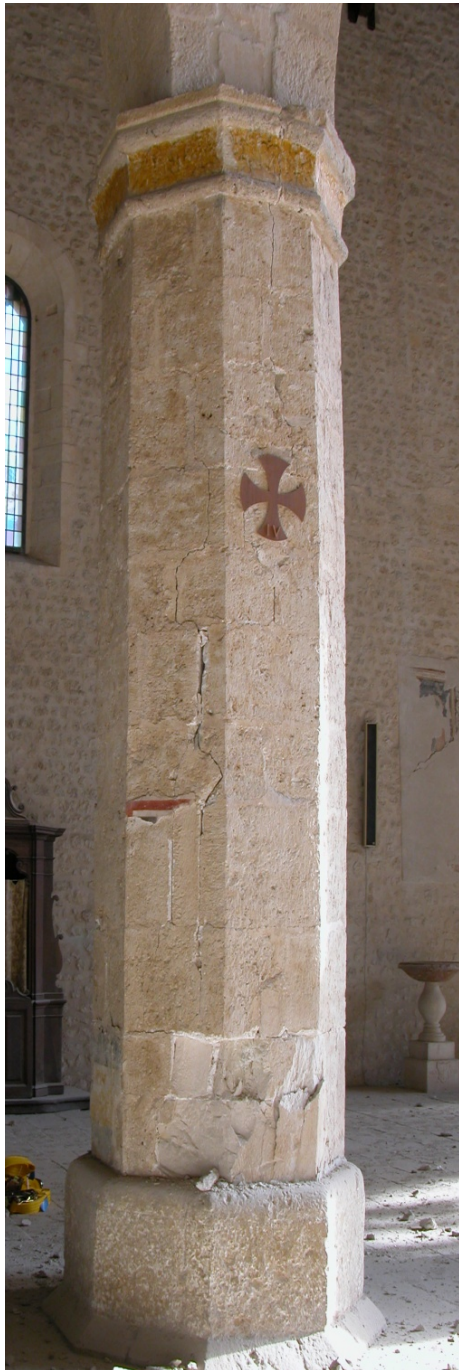
Thermography

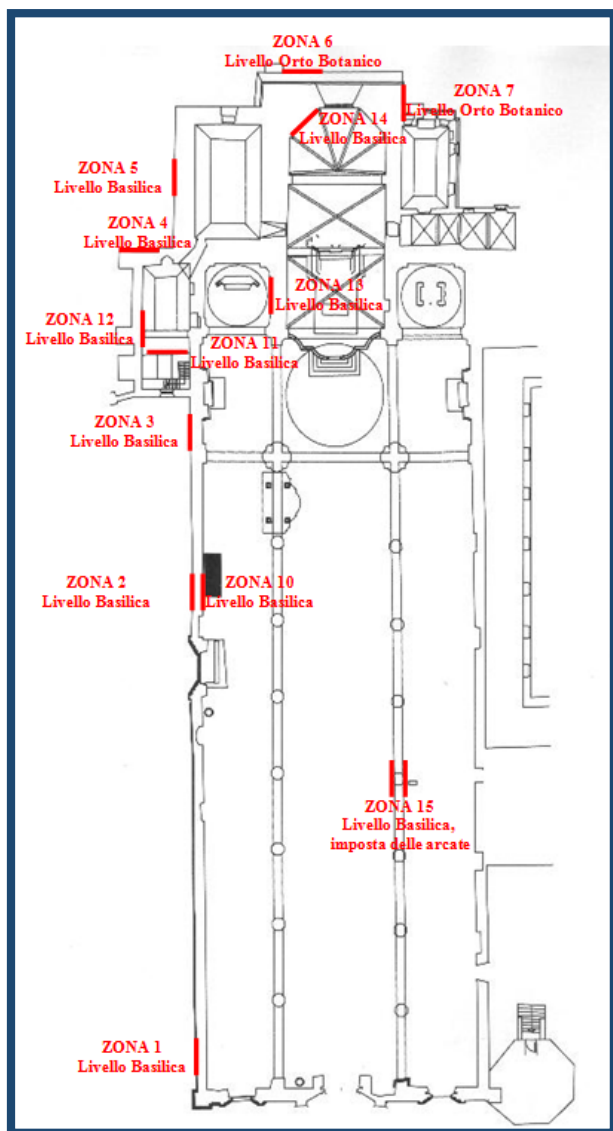


Georadar

The Basilica: the investigations

Sonic tomography





Flat, single and double jacks tests

Zona	Tipo muratura	f_c [N/mm ²]	E_1 [N/mm ²]	f_1 [N/mm ²]	E_2 [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]
1	AMA	1.26	1937	1.45	425	2.42
2	AMA	1.31	2161	1.45	389	2.60
3	P. DIS	0.40	1945	0.65	1470	1.45
4	P.DIS E L.	0.07	2136	0.48	1082	1.29
5	BLOC	0.082	-	-	-	-
6	BLOC	5.30	-	-	-	-
7	BLOC	2.74	-	-	-	-
10	P. DIS	anomalia	1437	0.50	725	1.29
11	BLOC	0.95	-	-	-	-
12	P.DIS E L.	0.03	3238	0.65	1601	1.13
13	P.DIS E L.	0.14	1615	0.48	769	1.13
14	P.DIS E L.	0.89	1630	0.97	275	1.45
15 (lato navata centrale)	BLOC	1.34	-	-	-	-
15 (lato navata dx)	BLOC	0.20	-	-	-	-

Legenda

tipo muratura: AMA=apparecchio murario aquilano – P.DIS=pietrame disordinato – P.DIS E L.=pietrame disordinato e laterizio – BLOC=blocchi lapidei;

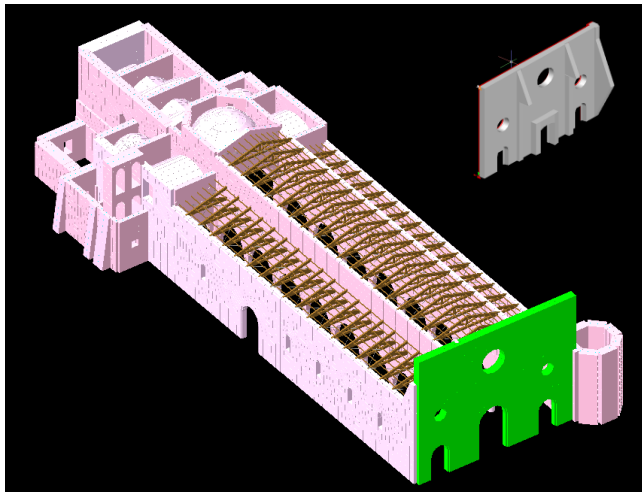


Santa Maria di Collemaggio: double Flat-Jack test to characterize masonry of the wall of the church

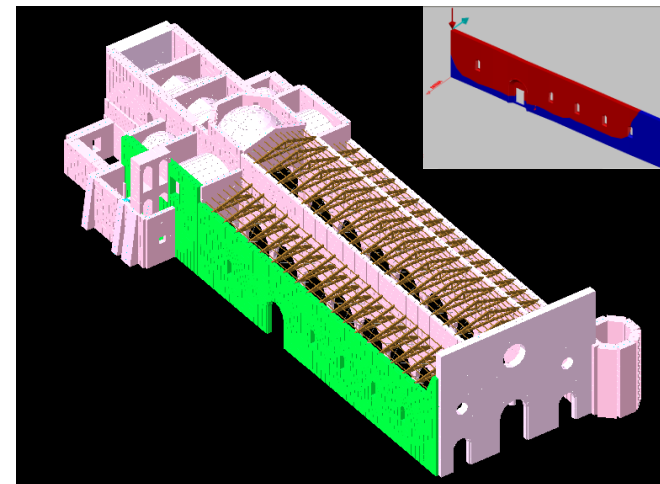
The Basilica: vulnerability analysis with macroelements

Overturning of a wall simply supported by the orthogonal wall

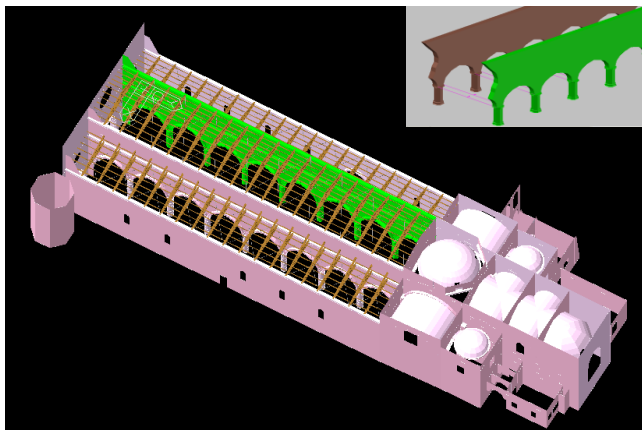
Facade



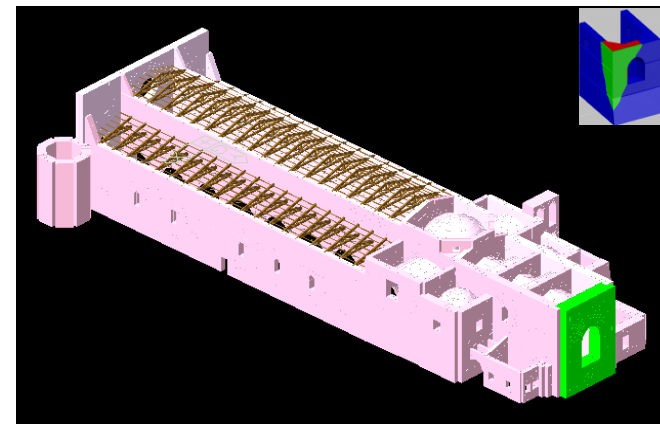
Lateral wall with the "Holy Door"



Wall of the nave

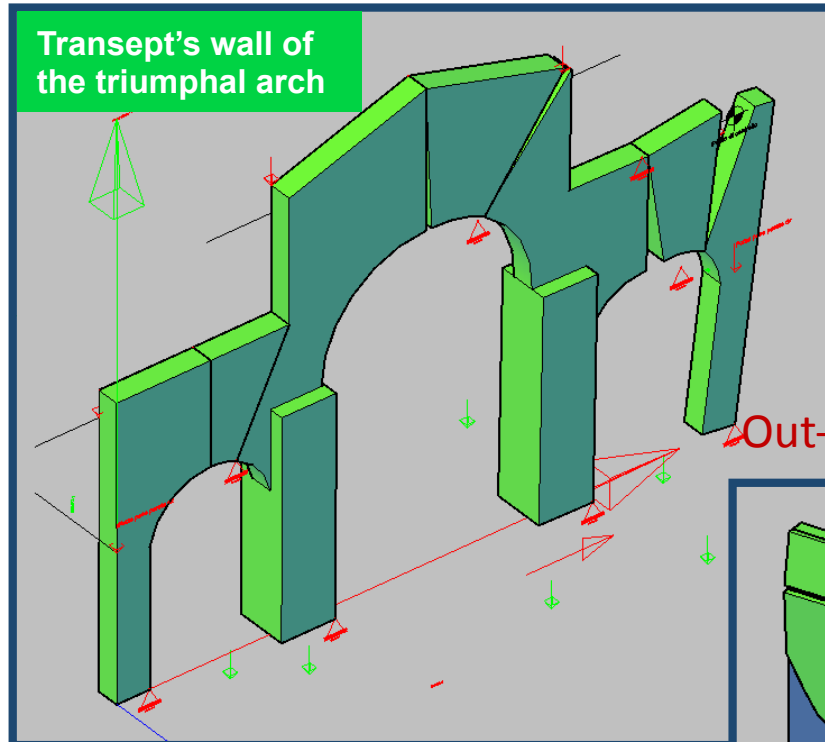


Apse

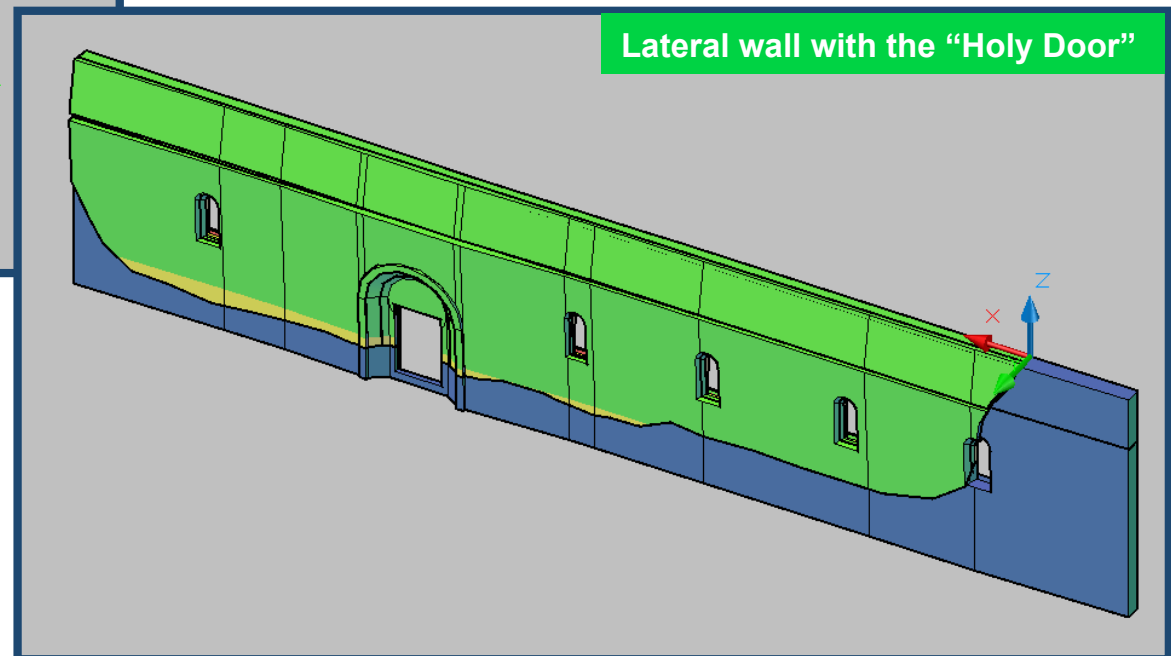


The Basilica: vulnerability analysis with macroelements

Kinematic mechanism of the triumphal arch



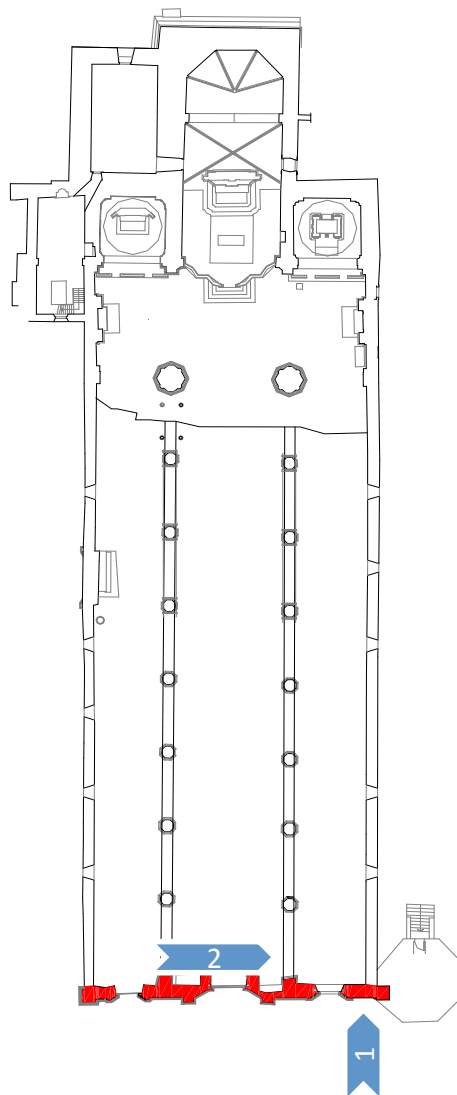
Out-of-plane of a wall subjected to high confining forces



Vulnerability analysis : the facade and the damage



1

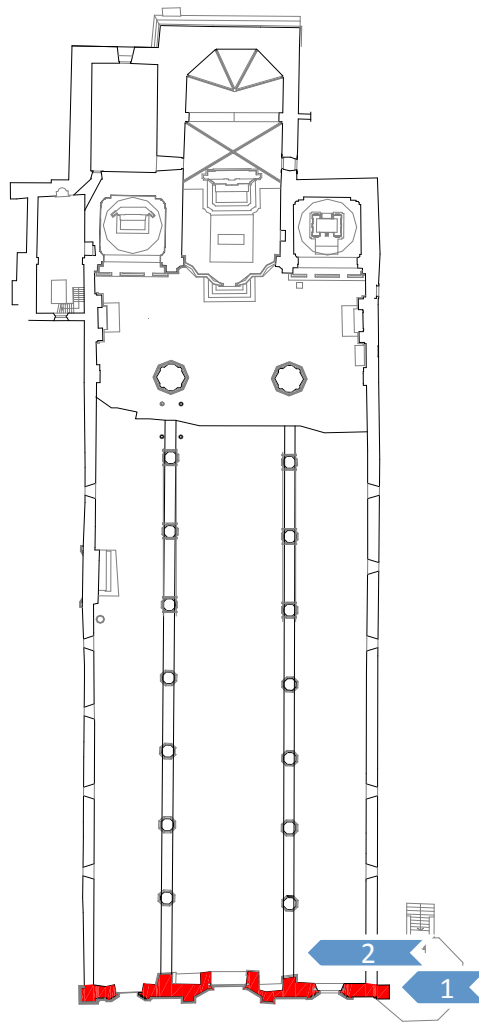


2

Vulnerability analysis : the facade and the damage



1



2

1

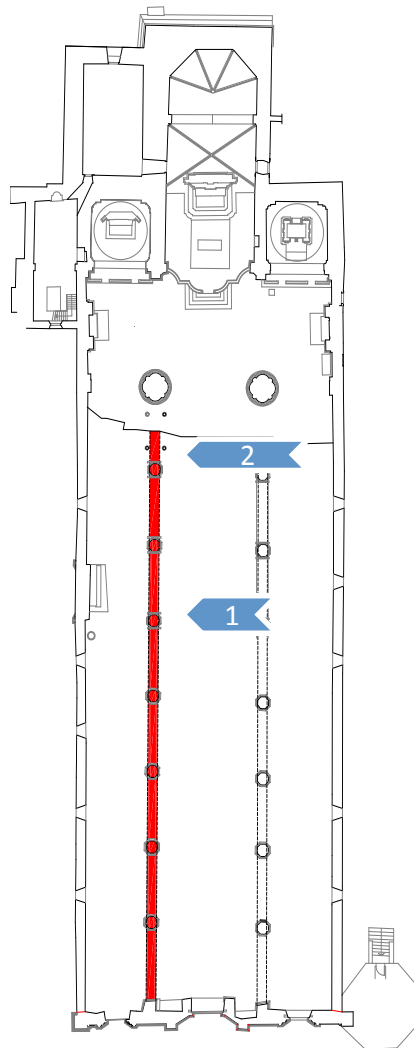


2

Vulnerability analysis : the internal wall and the damage



1

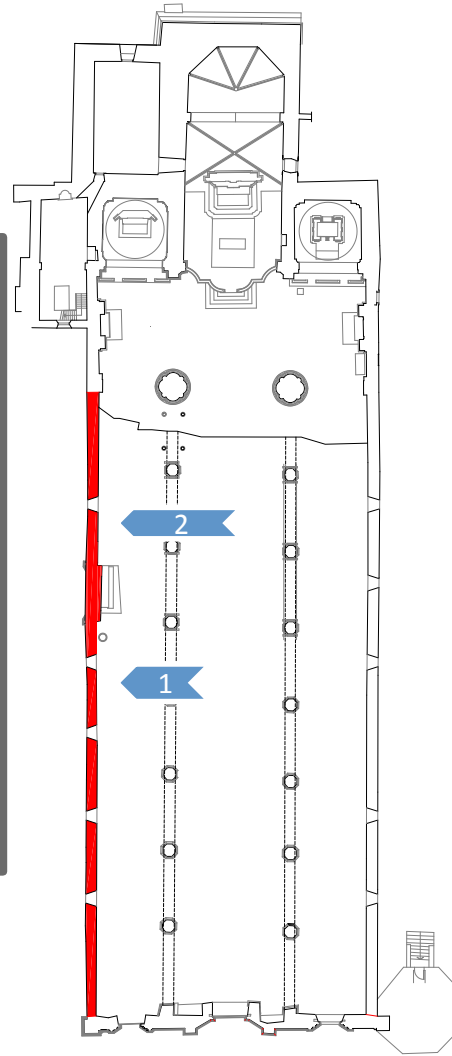


2

Vulnerability analysis: the lateral wall with the “Holy Door” and the damage

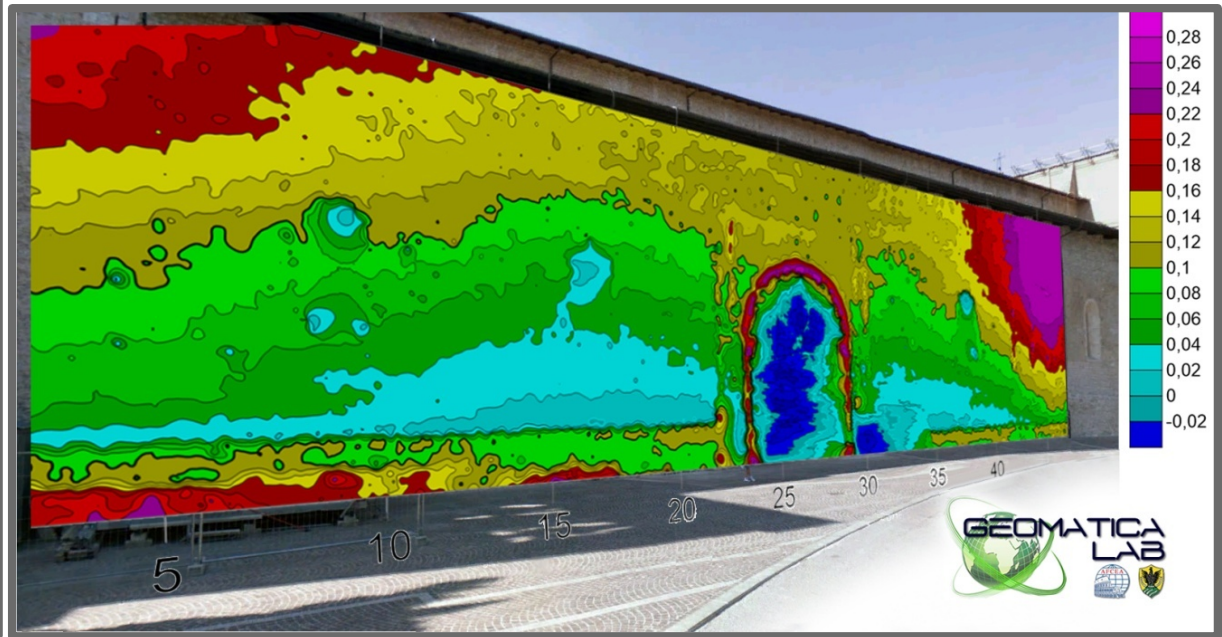


1

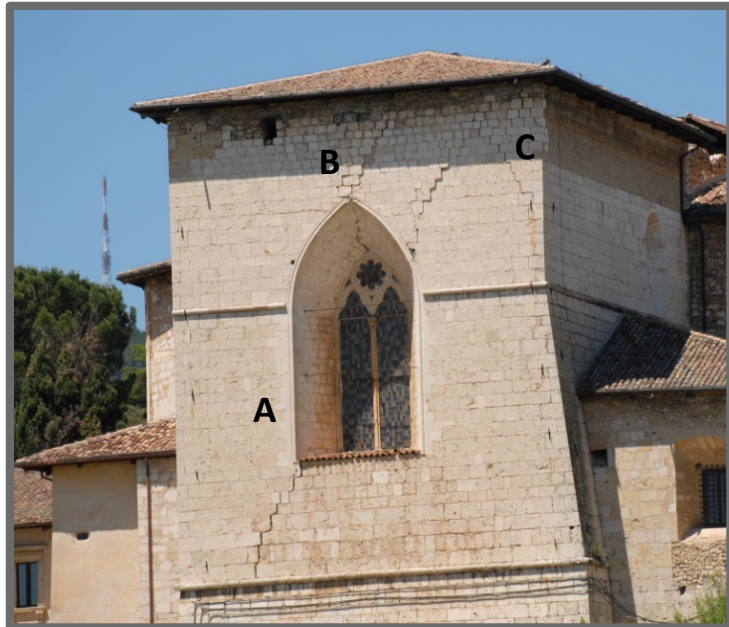


2

Vulnerability analysis: the lateral wall with the “Holy Door” and the damage



Vulnerability analysis: the apse and the damage



*Damages **A, B, C** on the east facade of the apse*

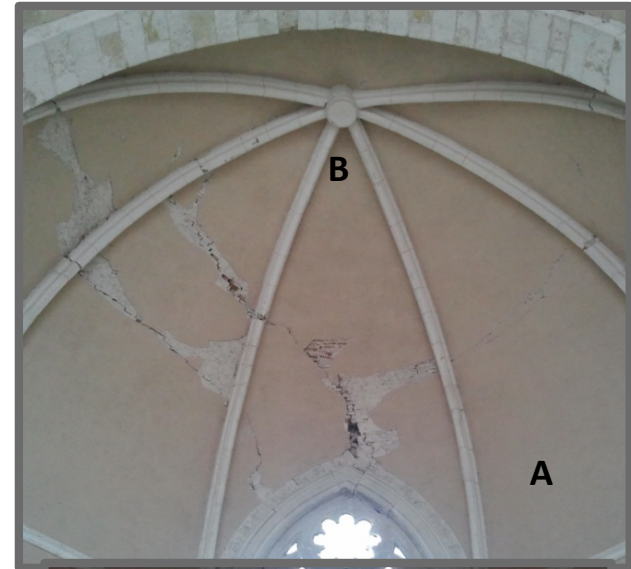


***Damage B:** wedge expulsion*

Vulnerability analysis: the apse and the damage

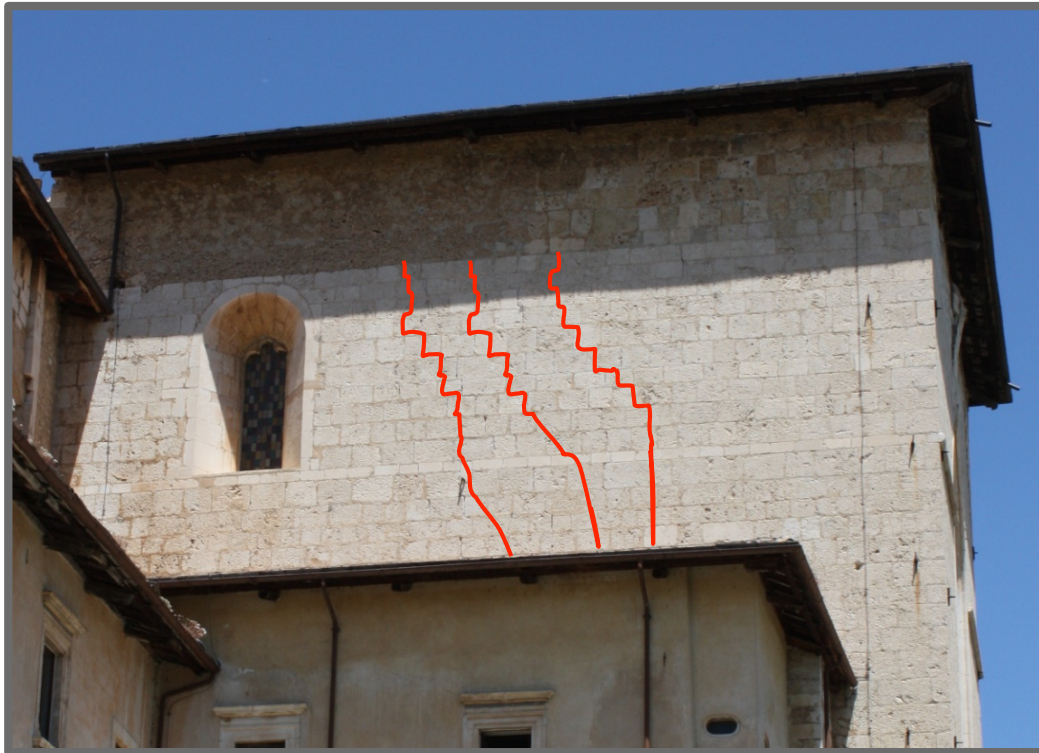


Damage C on the apse



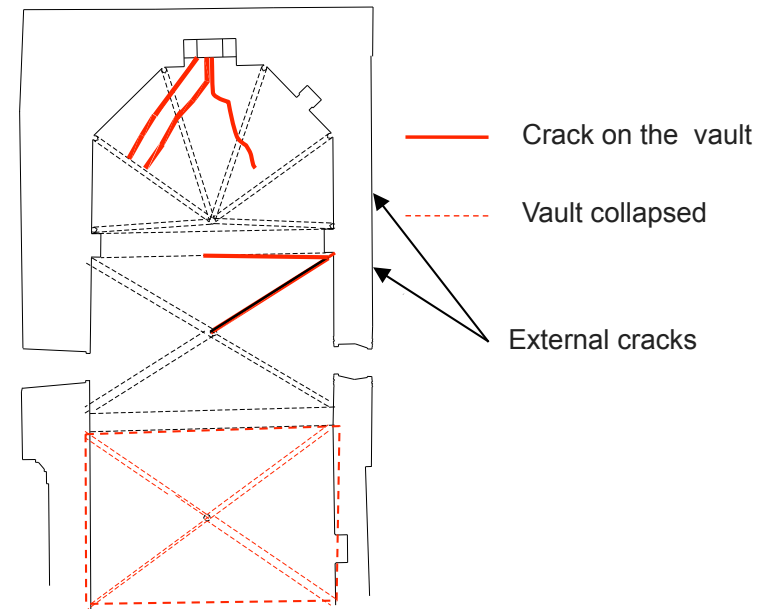
Internal view of the apse

Vulnerability analysis: the apse and the damage



Crack on the south wall of the apse

Crack on the vault of the apse



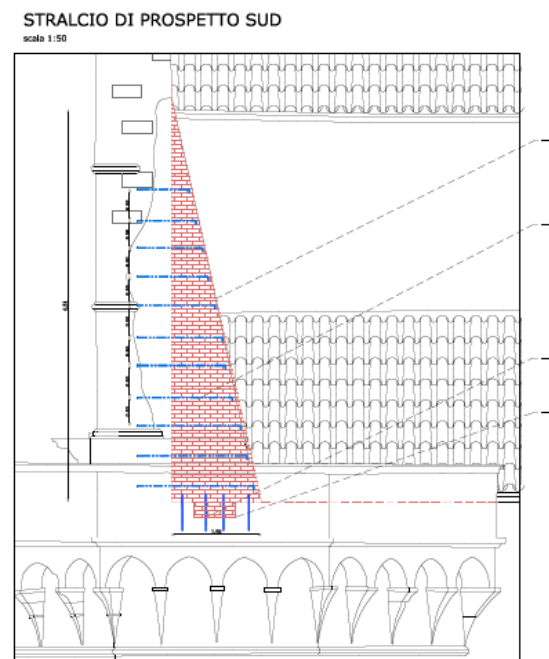
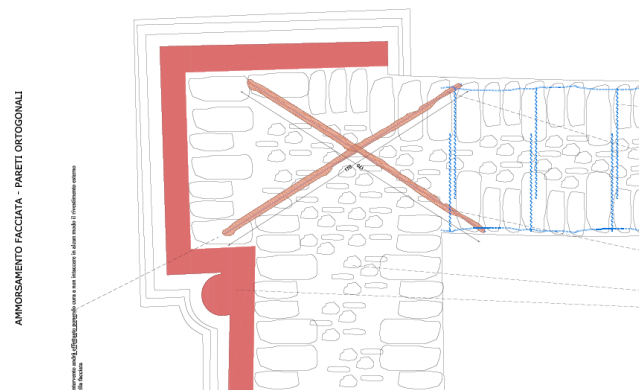
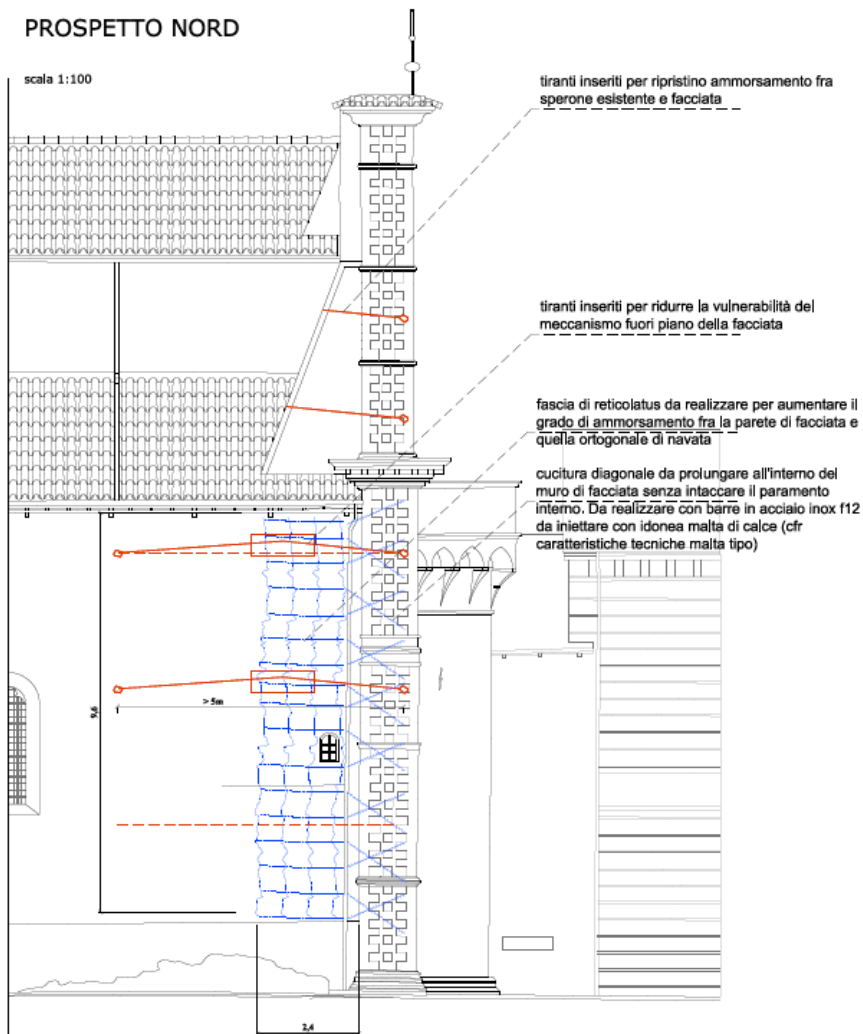
Techniques and Materials for Repairing and Strengthening

Aspect to be taken in consideration:

- Technique and materials compatibility and durability;
- Adequate reversibility of interventions;
- Conservations, as much as possible, of the original design and techniques;
- Minimizing the intervention;

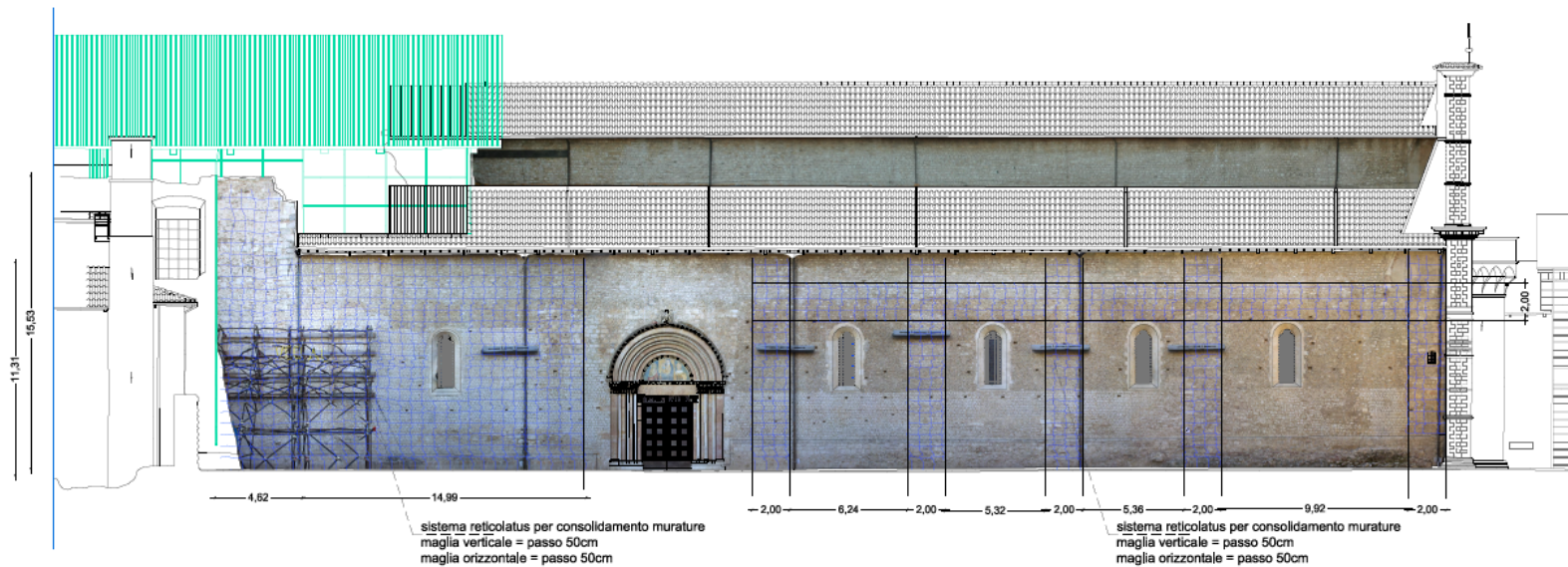
LA GRANDE FACCIATA DECORATA

Dettagli

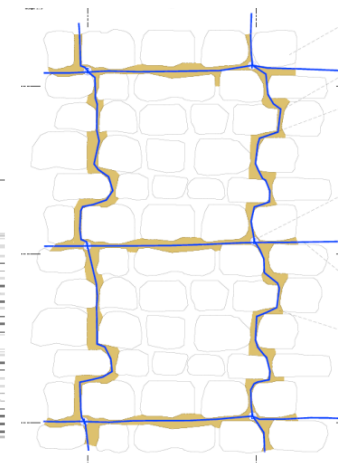


La Basilica: il progetto degli interventi

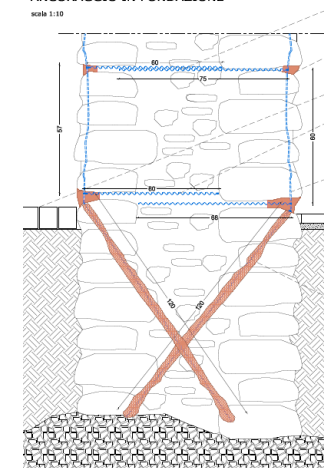
.. sulla parete della Porta Santa



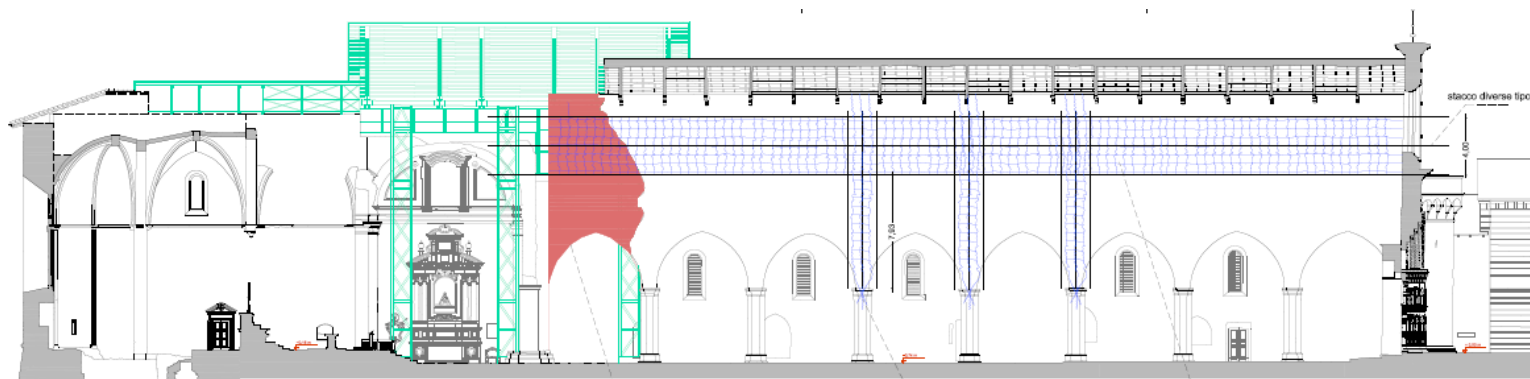
Dettagli



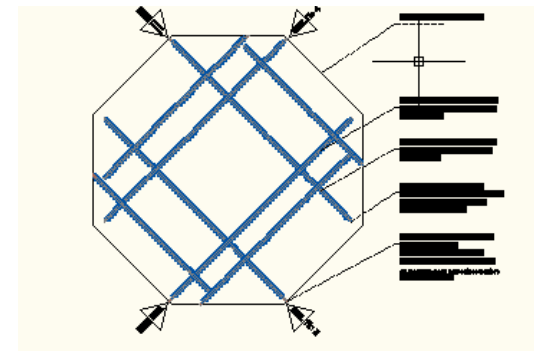
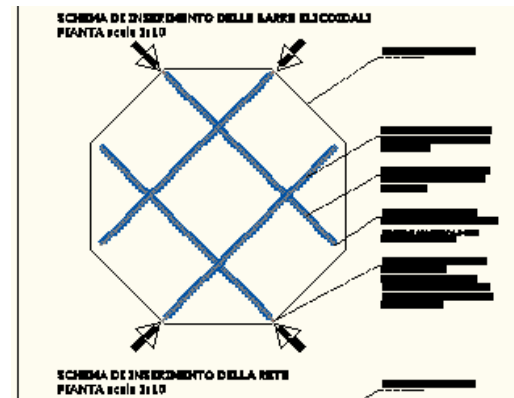
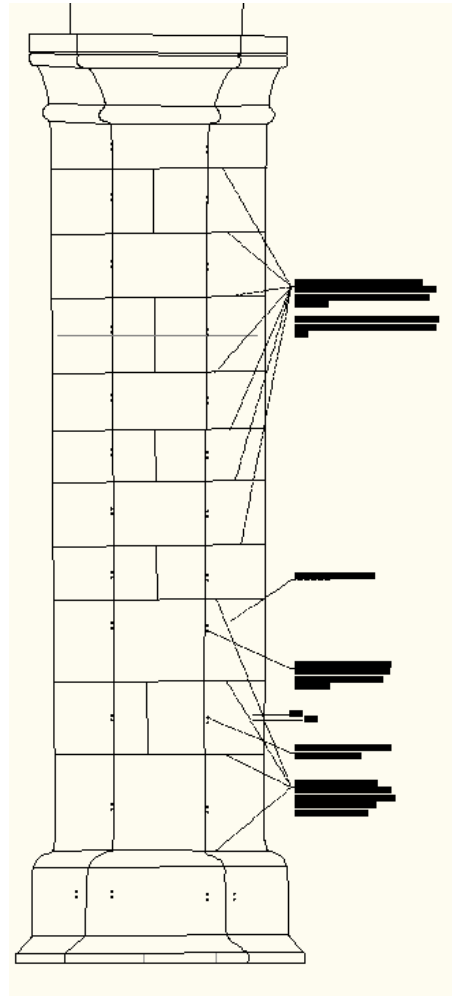
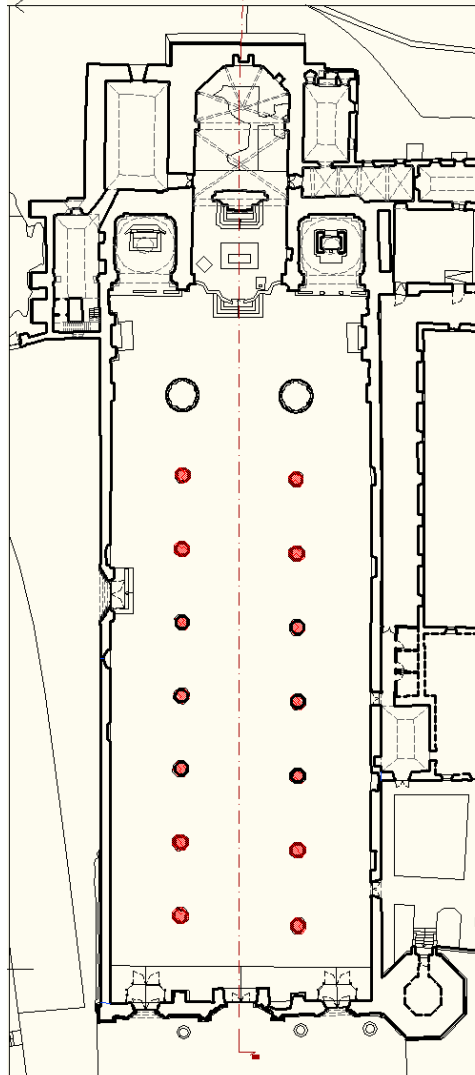
ANCORAGGIO IN FONDAZIONE



.... sulle pareti di navata

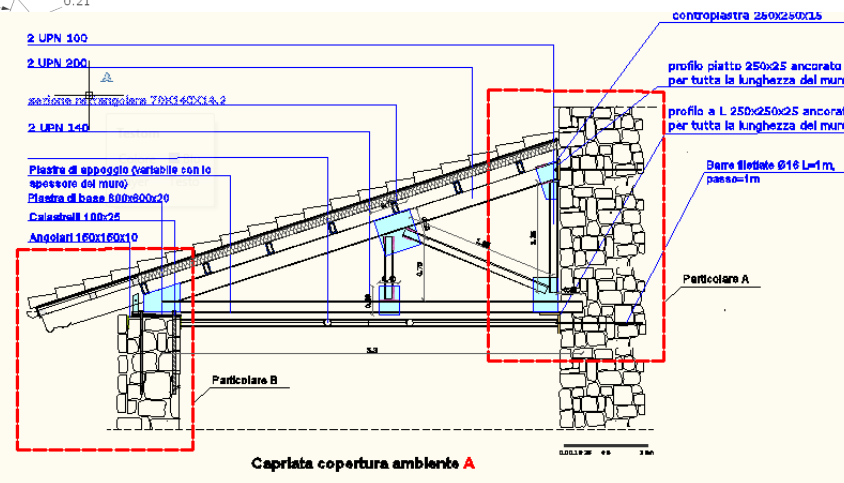
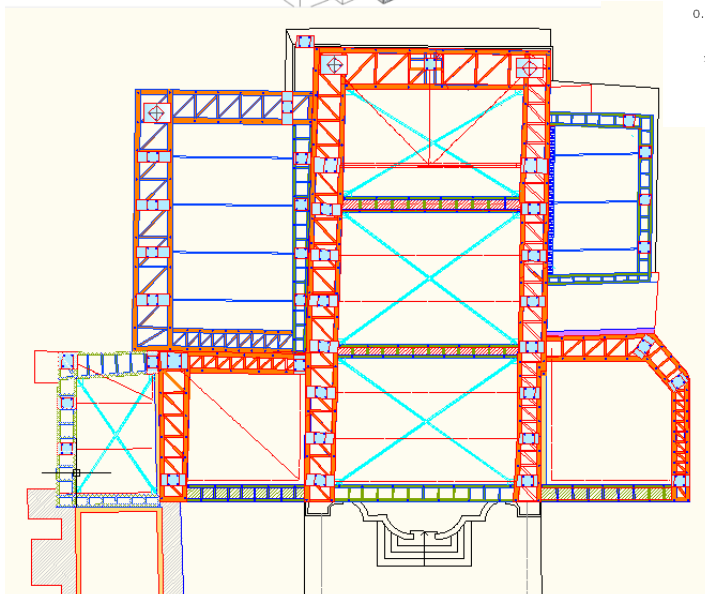
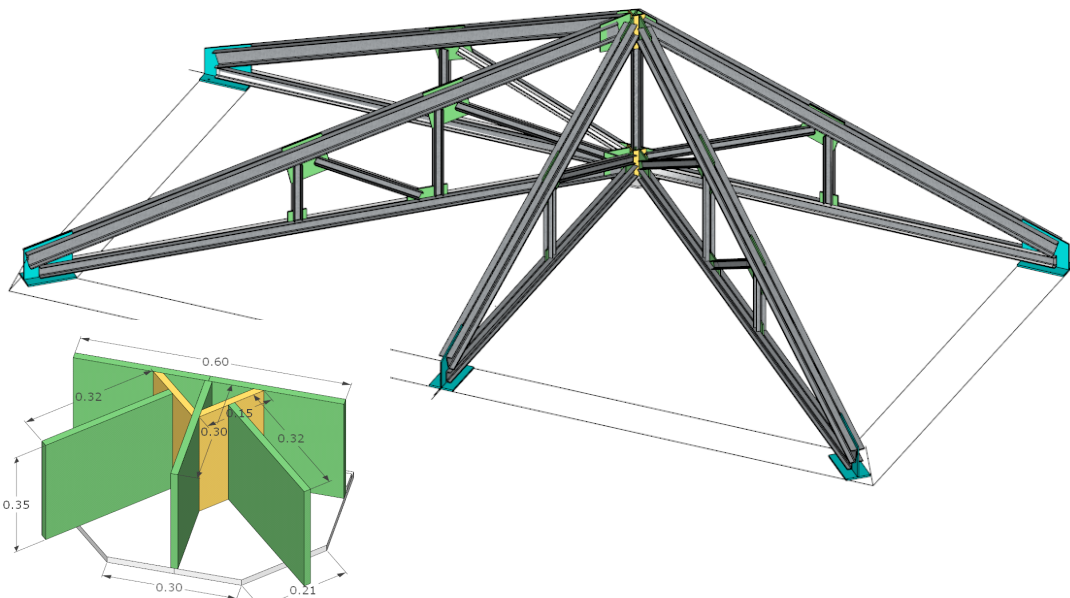
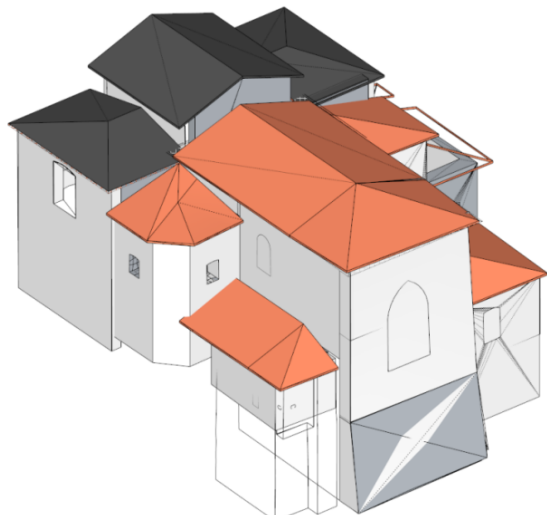


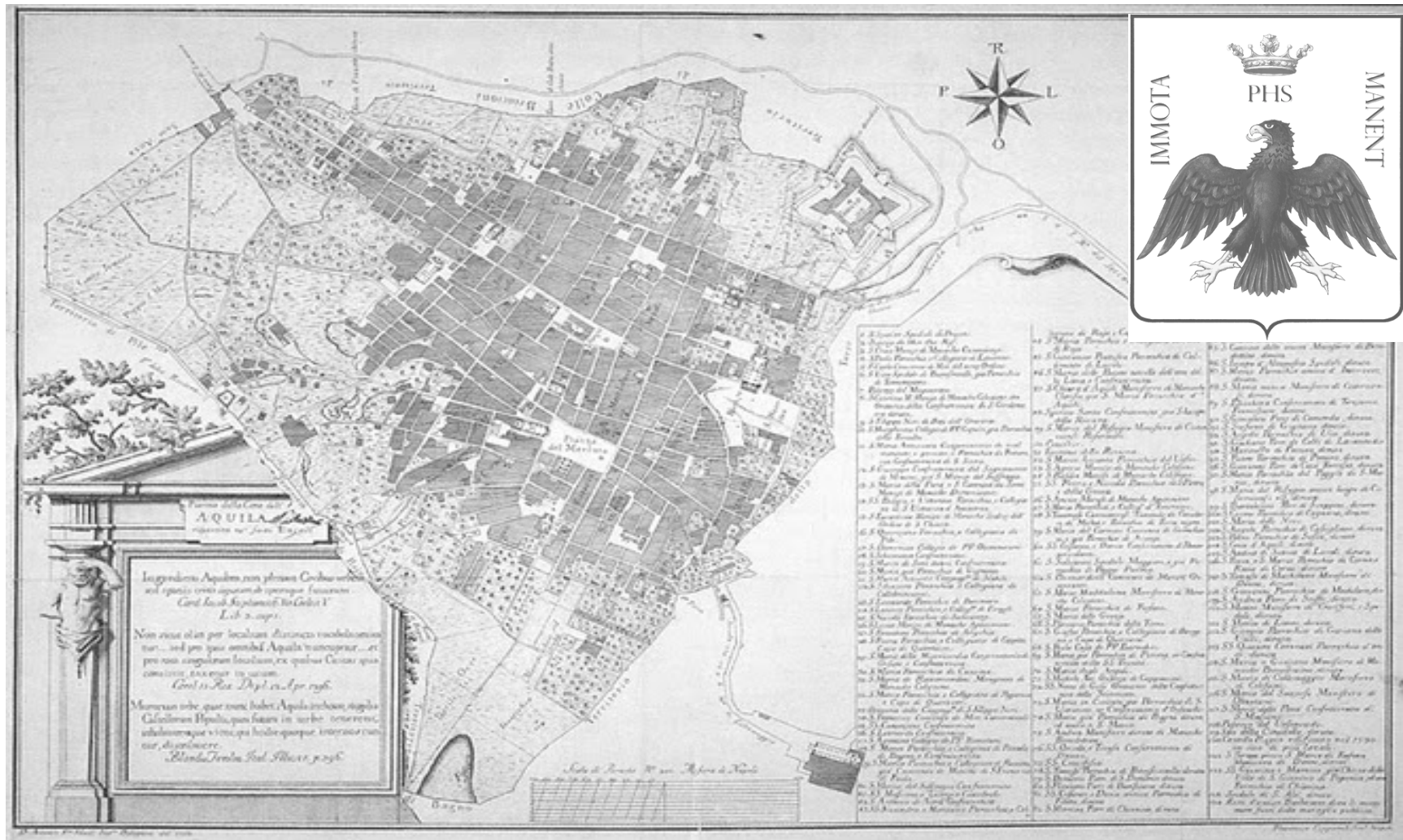
.. sui pilastri di navata



La Basilica: il progetto degli interventi

.. sulle coperture di abside, cappelle e sagrestie





Thanks for your attention!