

tour.edilportale.com



edilportale[®]

TOUR 2018

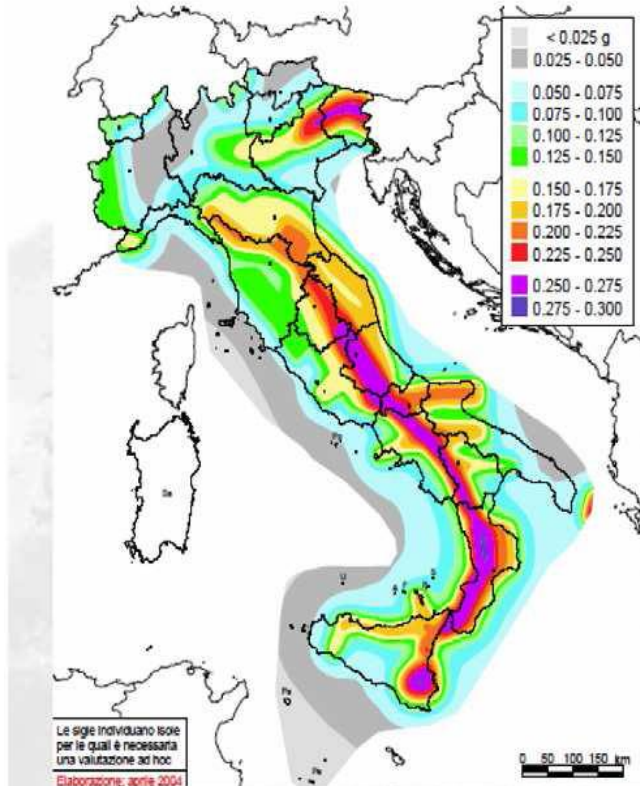
Efficienza Energetica, Antisismica,
Comfort Abitativo, NTC2018, Illuminazione,
Acustica, BIM, Realtà Virtuale

L'Aquila, 13 Aprile 2018

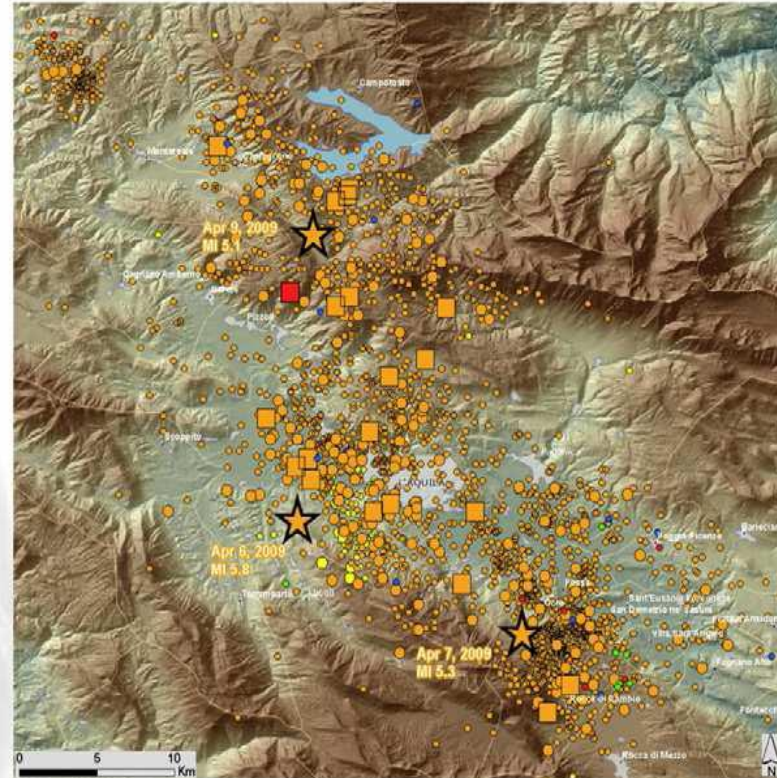
L'ESPERIENZA DEL SISMA 2009 A L'AQUILA

Prof. Dante Galeota

L'Aquila - Sisma 2009



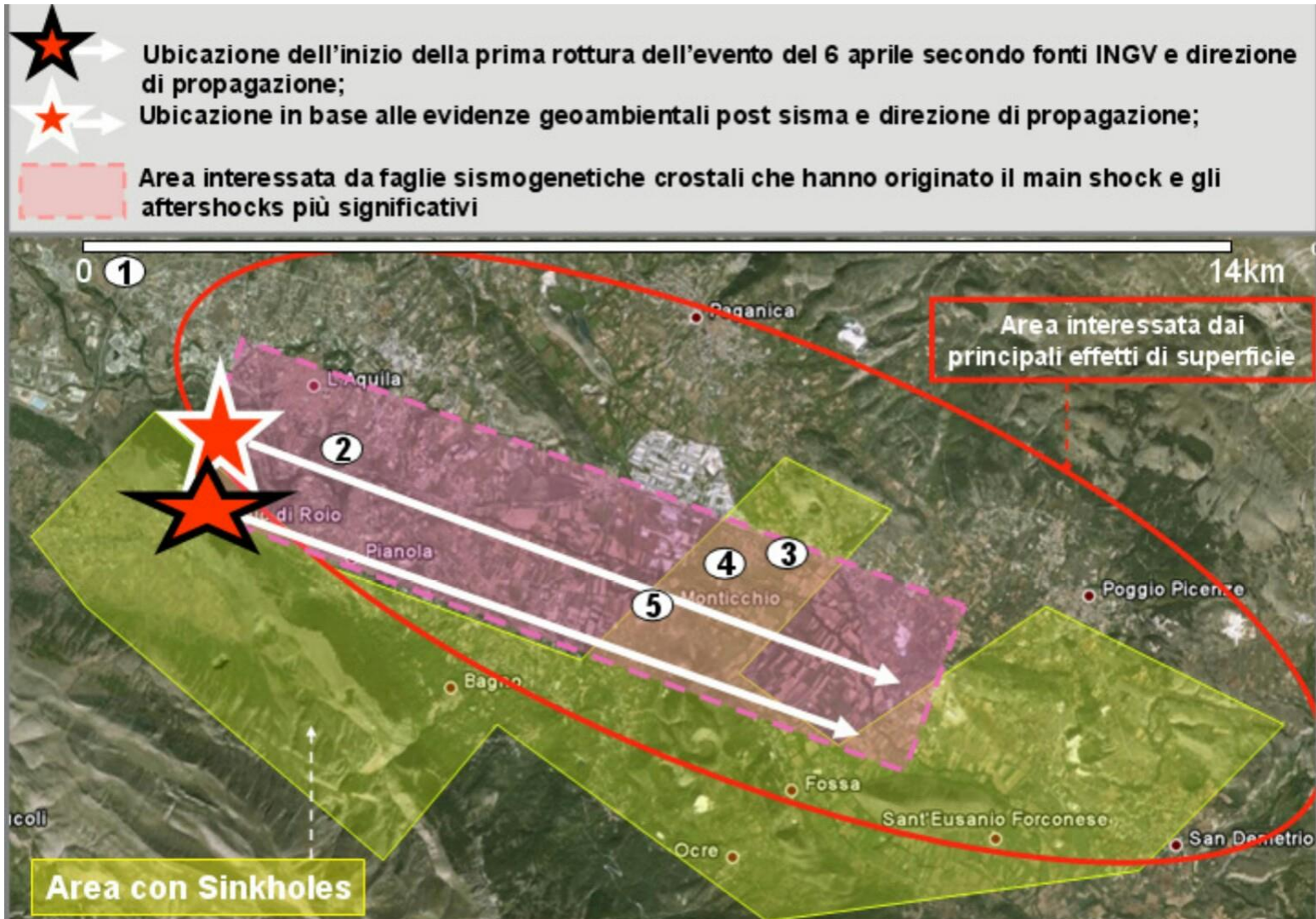
Italy map of seismic hazard.



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

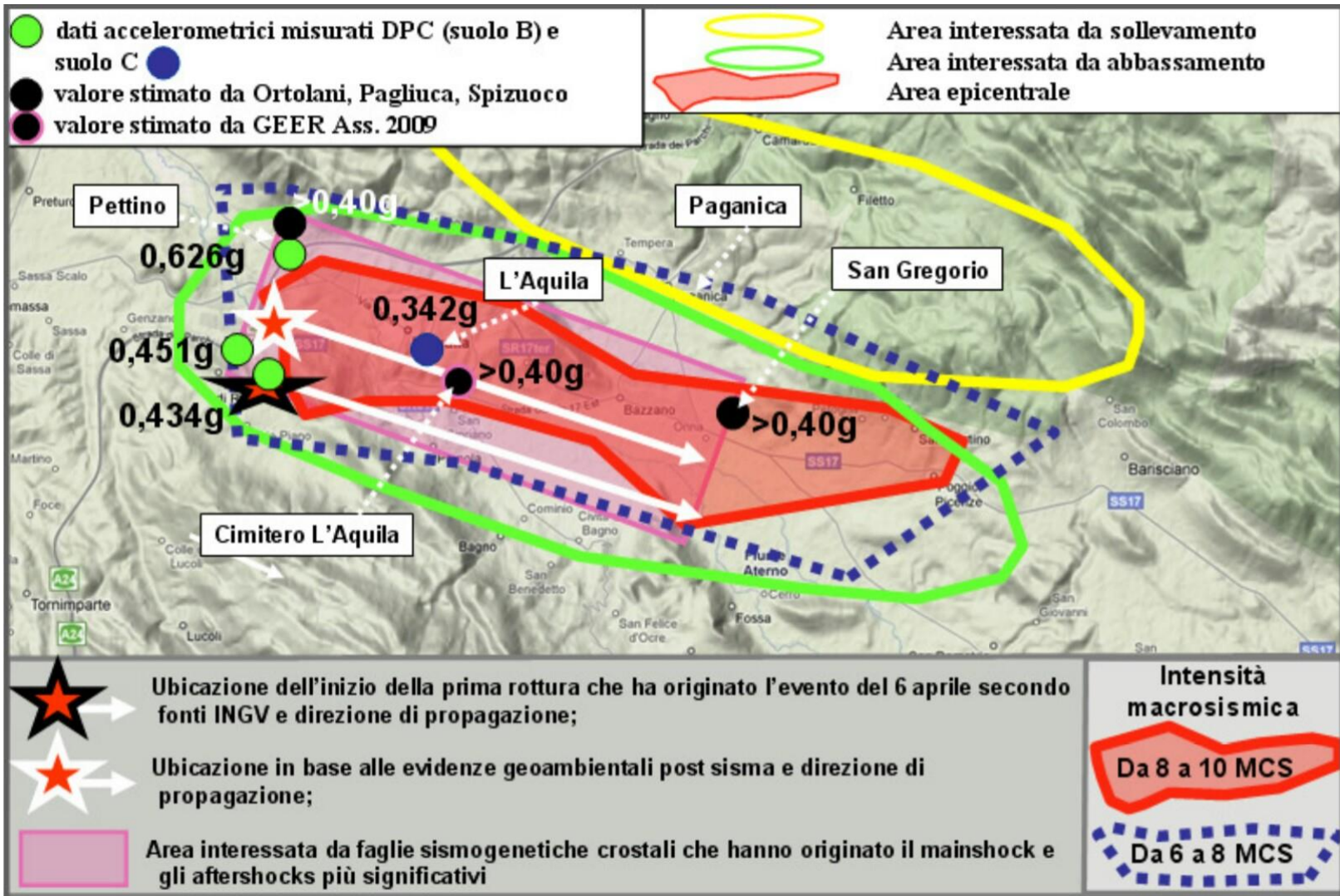
According to INGV, magnitude of the earthquake was $M_I = 5.8$ ($M_w = 6.3$ respectively). A long-lasting seismic sequence: after the main shock, more than 30 minor earthquakes with $3.5 < M_I < 5.0$





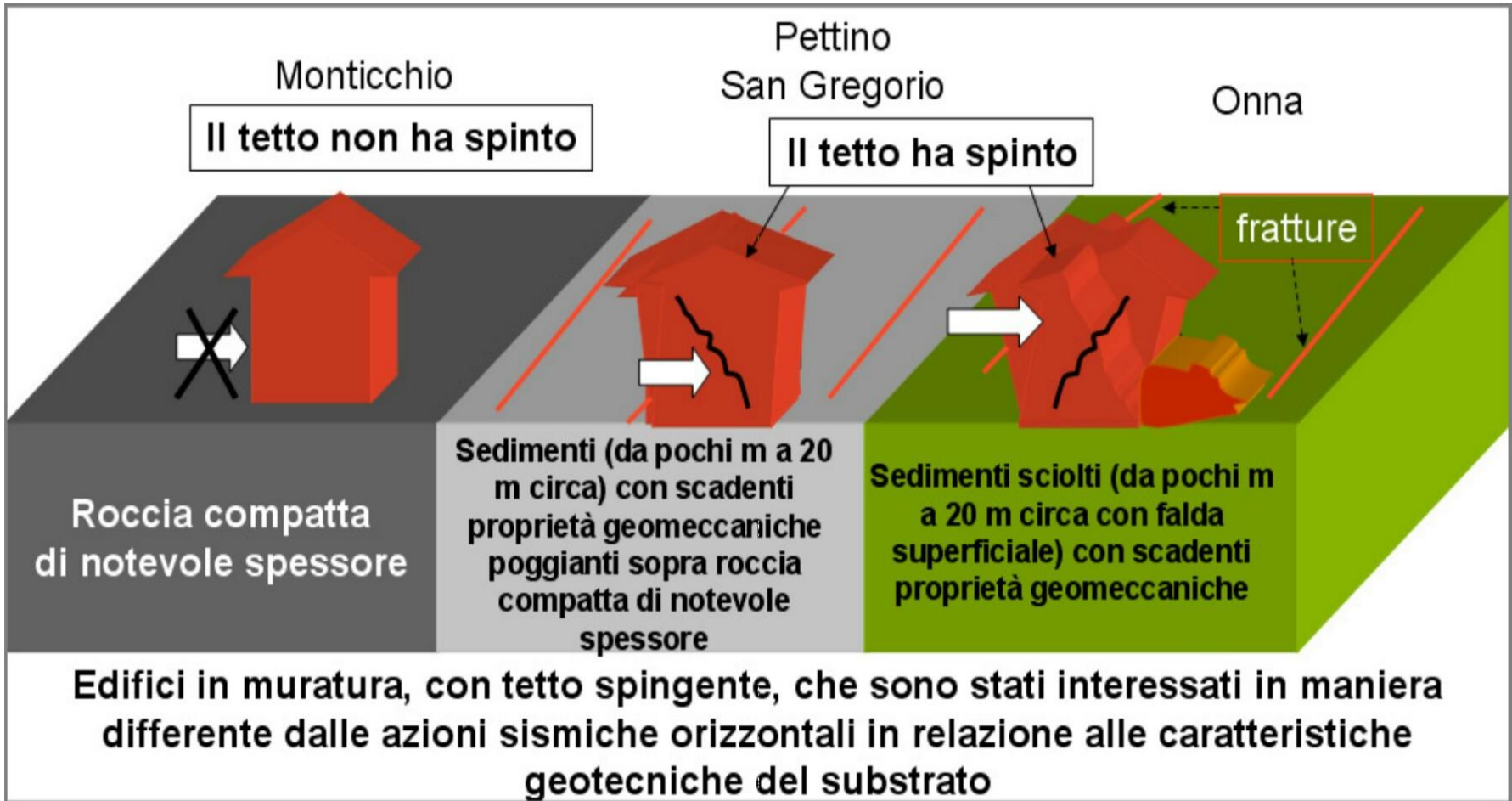
(di F. Ortolani, S. Pagliuca, A. Spizuoco)





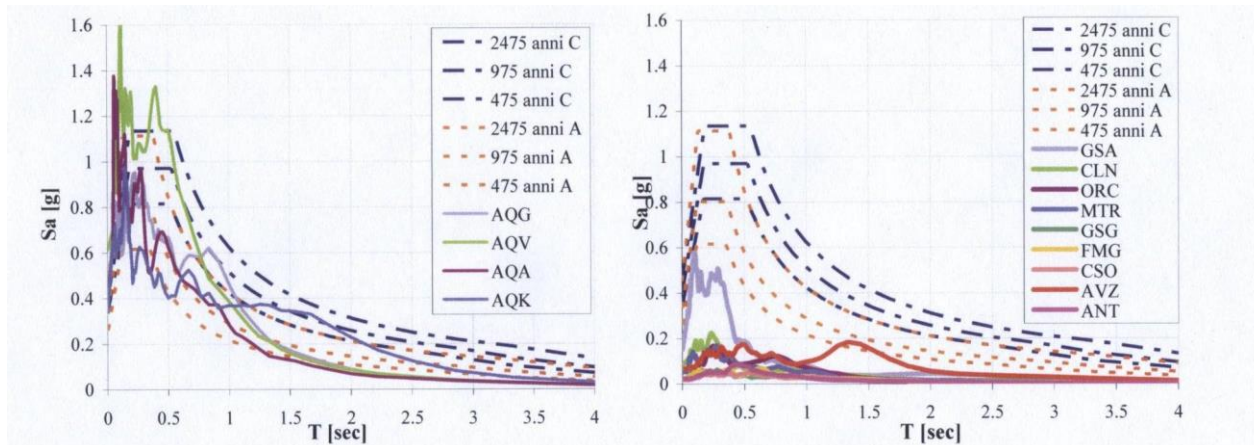
(di F. Ortolani, S. Pagliuca, A. Spizuoco)



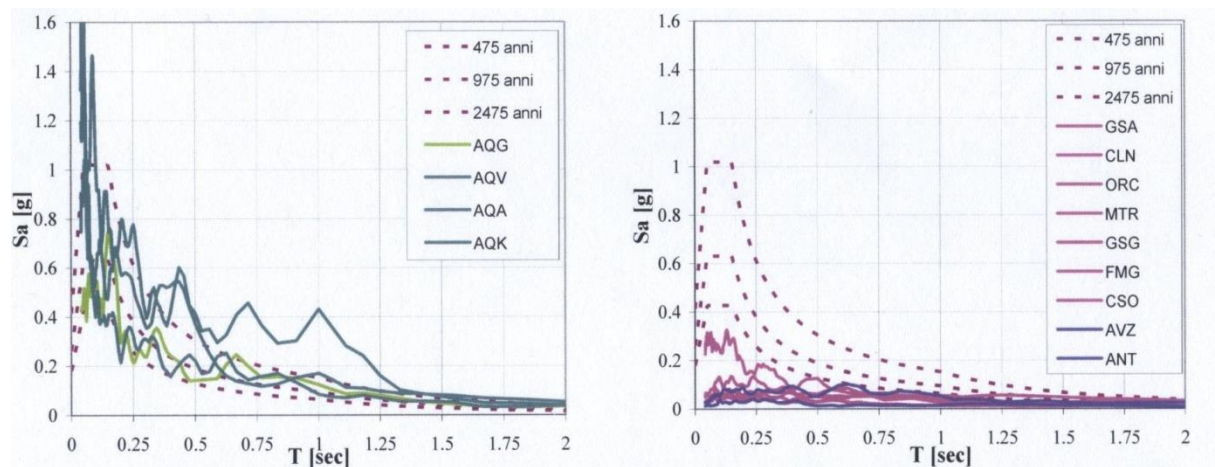


(di F. Ortolani, S. Pagliuca, A. Spizuoco)





Confronto degli spettri di accelerazione della media geometrica delle componenti orizzontali dei segnali registrati entro i 15 km (sinistra) e oltre (destra) con le forme spettrali di norma per suolo A e C.



Confronto degli spettri di accelerazione della componente verticale dei segnali registrati entro i 15 km (sinistra) e oltre (destra) con le forme spettrali di norma per suolo A e C.



ESITI DI AGIBILITA'

Il 50% degli edifici pubblici e privati di recente costruzione, situati in gran parte in periferia e **realizzati in C.A.**, risultarono **immediatamente agibili**.
Soltanto il 25% risultò gravemente danneggiato.

Il 50% degli edifici storici e monumentali, per lo più all'interno del centro storico e realizzati in muratura, risultarono **gravemente danneggiati**.



Gli edifici storici in muratura sono, in genere, caratterizzati da elevata vulnerabilità sismica, infatti:

- possono presentare un diffuso stato di degrado dei materiali e spesso risultano già danneggiati strutturalmente;
- sono stati costruiti con materiali caratterizzati da bassa resistenza meccanica;
- sono organismi edilizi piuttosto pesanti;
- le connessioni tra le varie parti del manufatto sono spesso inadeguate.



Le principali cause di degrado dei materiali e di danneggiamento strutturale sono:

- assenza di manutenzione;
- degrado indotto da umidità e dilavamento;
- cedimenti in fondazione;
- eventi estremi (sisma)



La vulnerabilità sismica degli edifici storici in muratura è principalmente dovuta a:

- qualità della muratura, spesso realizzata con elementi in pietra irregolari e malta di scarse caratteristiche meccaniche (composizione, effetto del tempo);
- muri a più paramenti, scarsamente collegati fra di loro e con possibili diversi stati di sollecitazione (effetti lenti nel tempo, ricostruzioni...);
- insufficienti connessioni tra gli impalcati, la copertura e i muri;
- utilizzo nel tempo di materiali e tecniche di intervento inadatte e incompatibili con l'organismo strutturale murario originario (cordoli in c.a. in breccia, solai molto rigidi...);
- danno cumulato nel tempo in alcuni elementi strutturali, non sempre percepibile dall'esterno.



Talvolta gli eventi sismici possono essere più intensi di quanto previsto, convenzionalmente, dalle Normative (aree epicentrali). E' indispensabile, dunque, intervenire in maniera appropriata e in tempo al fine di prevenire, in caso di evento sismico, il rischio di danneggiamenti severi e di favorire il rapido recupero dei manufatti.



Gli interventi di consolidamento finalizzati al "miglioramento sismico" dell'edilizia storica devono avvenire senza stravolgere il comportamento strutturale dell'edificio e le proprietà meccaniche dei materiali.

Gli interventi dovrebbero valorizzare le caratteristiche costruttive originarie.

Scopo degli interventi è quello di contemperare le diverse esigenze di durabilità, compatibilità, reversibilità, bassa invasività, conservazione, SICUREZZA.



L'intervento di consolidamento più importante è quello di miglioramento della connessione tra le varie porzioni, strutturalmente efficaci (macroelementi), degli edifici. Altro intervento importante è la prevenzione nei confronti della possibile disintegrazione delle murature, a causa dello scuotimento sismico.

Le finalità di queste due tipologie di intervento sono:

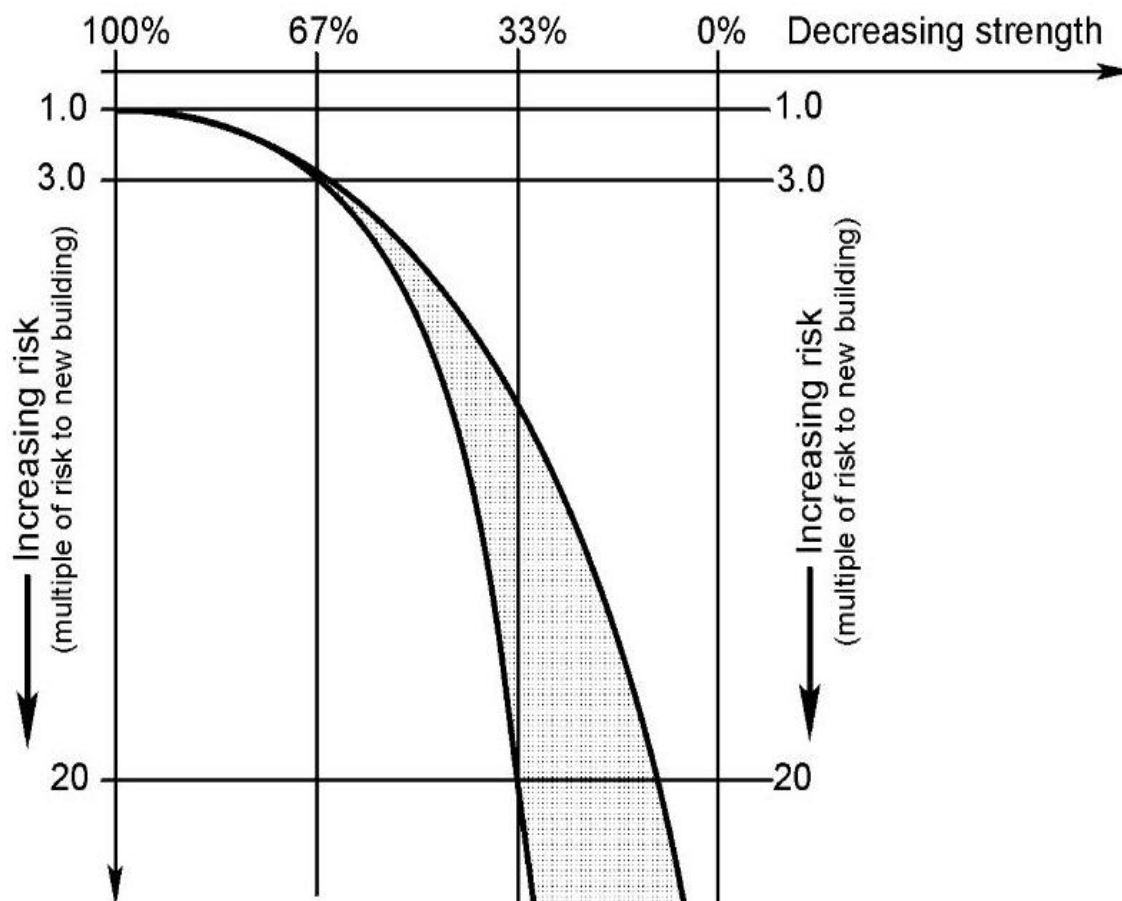
- prevenire il collasso "fuori piano" della muratura (I Modo);
- prevenire il collasso "nel piano" della muratura (II Modo).



Nel quadro degli interventi di consolidamento in grado di coniugare la "CONSERVAZIONE" del bene e il raggiungimento di un accettabile livello di "PROTEZIONE SISMICA", si inserisce l'impiego di un sistema di monitoraggio strutturale, almeno per l'edilizia storica di maggior pregio.

Si tratta di un efficace strumento per valutare la condizione strutturale e la sua evoluzione nel tempo e quindi in grado di fornire utili informazioni ai fini del programma di manutenzione e della sicurezza.





- **Edifici ad alto rischio sismico**, caratterizzati da un **rapporto capacità/domanda < 0.3**
Particolare attenzione deve essere riservata per i rapporti inferiori a 0,15

- **Edifici a moderato rischio sismico**, caratterizzato da un **rapporto capacità/domanda $\geq 0,3$ e < 0,6**

- **Edifici a basso rischio sismico**, caratterizzati da un **rapporto capacità/domanda $\geq 0,6$**

Figure 4.1: Strength versus risk and ULS as reference point



MATERIALI INNOVATIVI PER LA PROTEZIONE SISMICA

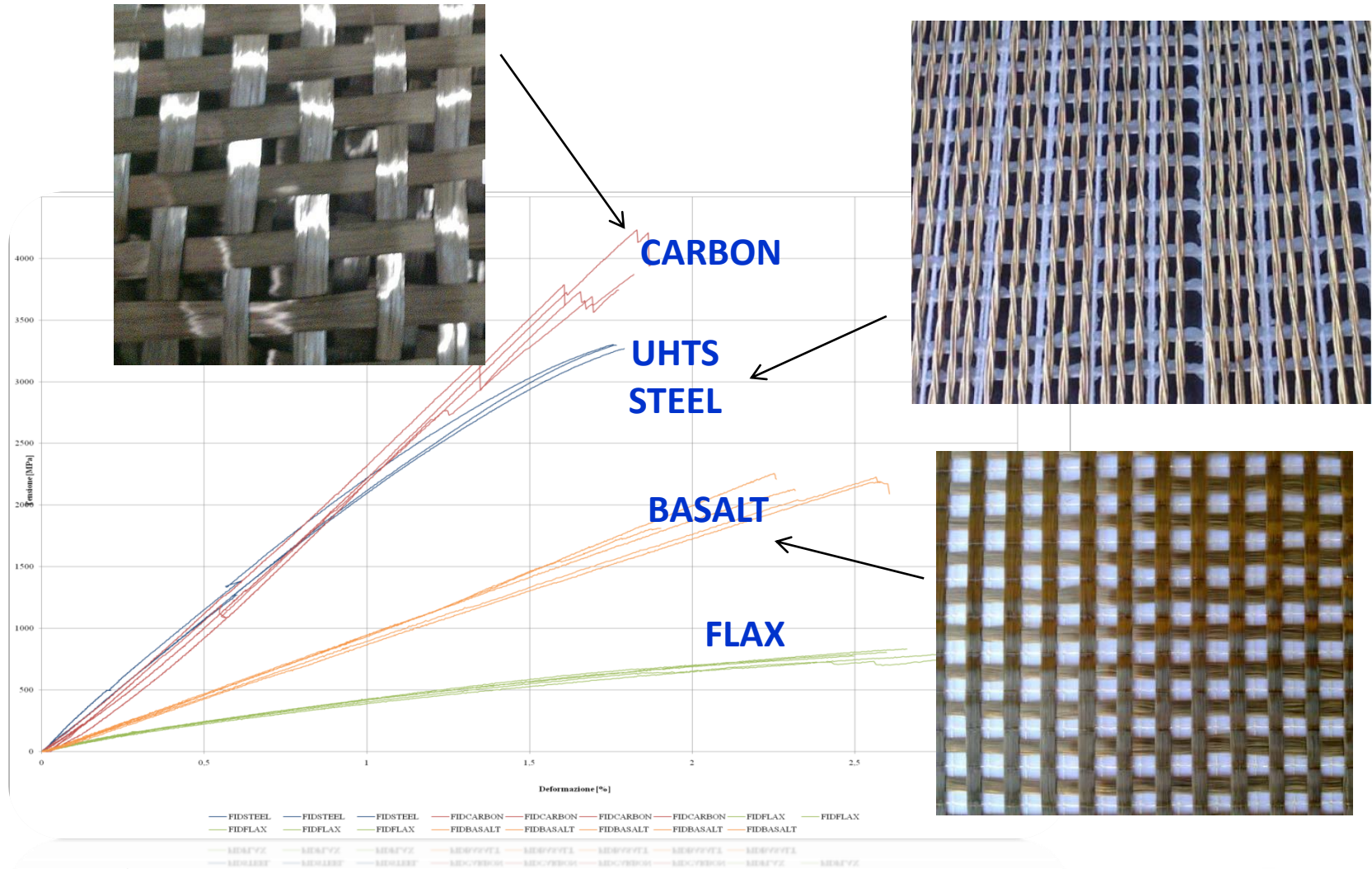
L'uso di FRP, SRG nella protezione sismica delle costruzioni, sia in C.A. che in muratura, presenta una serie di vantaggi quali:

- leggerezza
- adattabilità
- facilità di messa in opera
- reversibilità.

Questi materiali possono essere utilizzati per interventi di tipo locale (singole membrature) o per interventi di tipo globale (intera costruzione)



MATERIALI INNOVATIVI PER LA PROTEZIONE SISMICA



L'ESPERIENZA DEL SISMA 2009 A L'AQUILA

Prof. Dante Galeota - Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura ed Ambientale



MATERIALI INNOVATIVI PER LA PROTEZIONE SISMICA



MATERIALI INNOVATIVI PER LA PROTEZIONE SISMICA



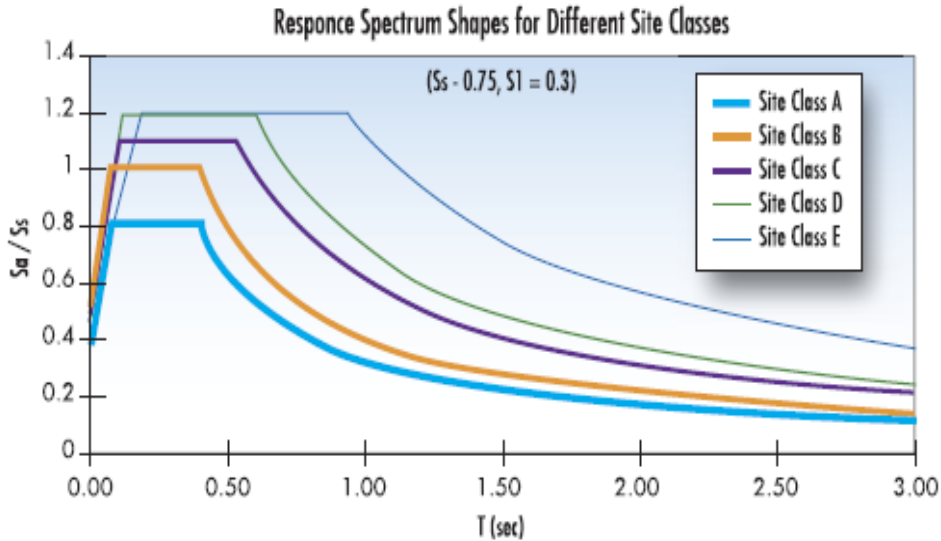
MATERIALI INNOVATIVI PER LA PROTEZIONE SISMICA



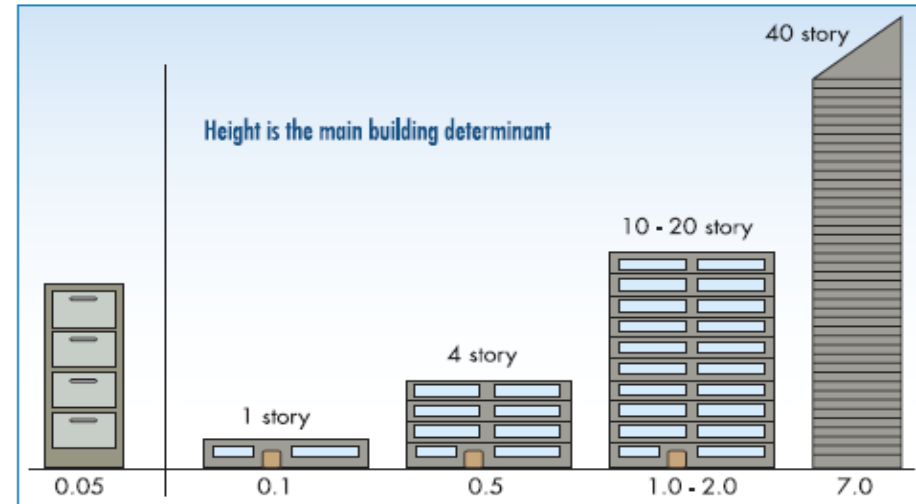
ISOLAMENTO SISMICO

L'isolamento sismico disaccoppia il movimento della struttura da quello del terreno allo scopo di ridurre gli effetti distruttivi del terremoto.

Spettro di Risposta Elastico in Accelerazione



Representative shapes of building code (or design) response spectra for different soils



Period (in seconds) and building height

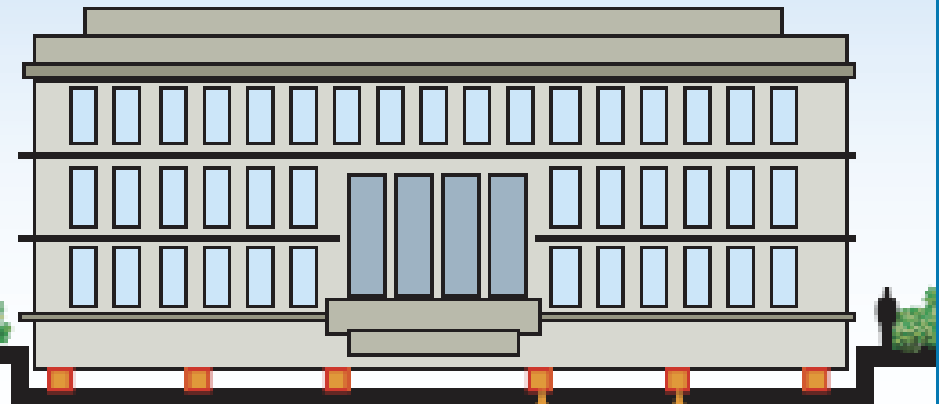
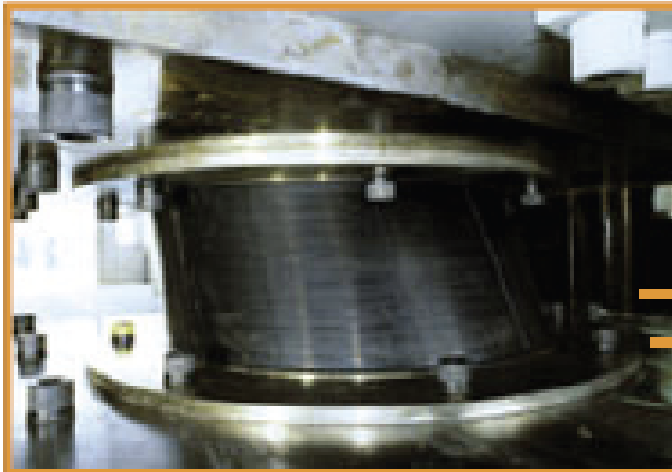


ISOLAMENTO SISMICO

L'isolamento sismico disaccoppia il movimento della struttura da quello del terreno allo scopo di ridurre gli effetti distruttivi del terremoto.

BASE ISOLATION

Modifying the **transmission** of the forces from ground to the building



Bearings

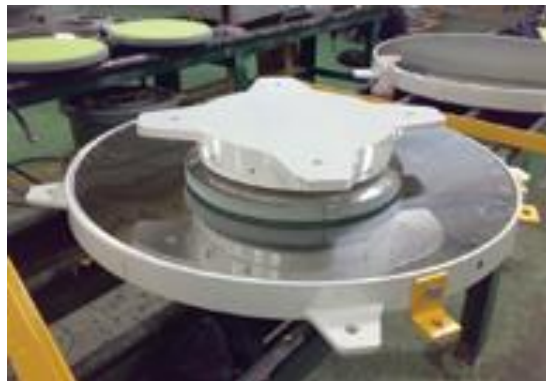


ISOLAMENTO SISMICO

Isolatori sismici elastomerici



Isolatori sismici a scorrimento



Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila

Basilica Santa Maria di Collemaggio



The church has been strongly damaged by the 2009 earthquake

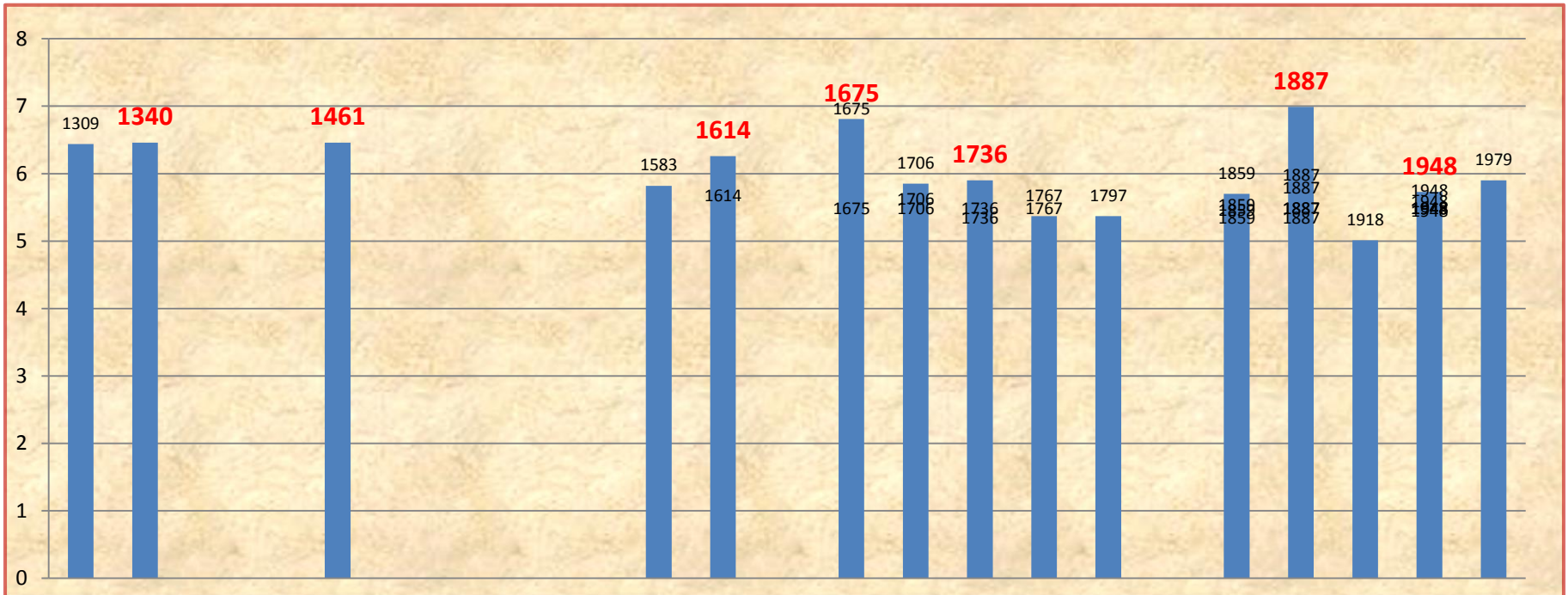
Celestinian church built in the 13th-14th century



La Basilica, la sua storia

Innumerevoli i terremoti storici dell'aquilano.

Quelli dell'area area umbro-reatino-abruzzese



Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila

The Basilica: the 2009 earthquake, the damages

Collapse of the Transept



Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila

The Basilica: the 2009 earthquake, the damages

Collapse of the Transept



Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila

The Basilica: the 2009 earthquake, the damages

Collapse of the Transept



Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila

The Basilica: the 2009 earthquake, the damages

RC beam



Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila

The Basilica: the 2009 earthquake, the damages

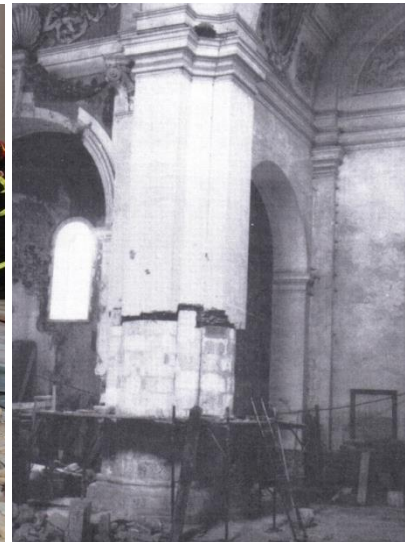
RC dome



Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila

The Basilica: the 2009 earthquake, the damages

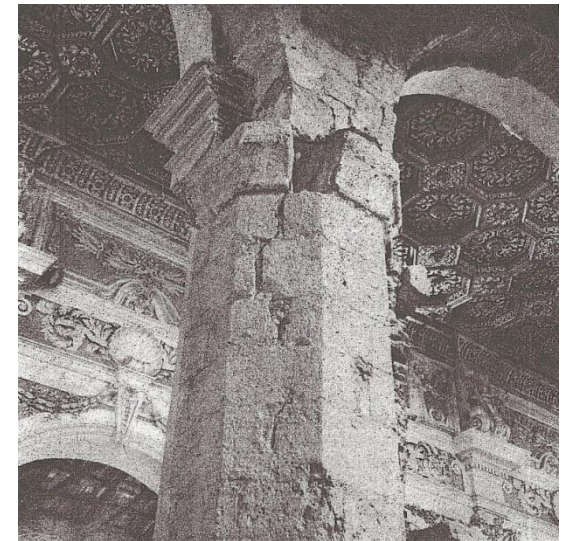
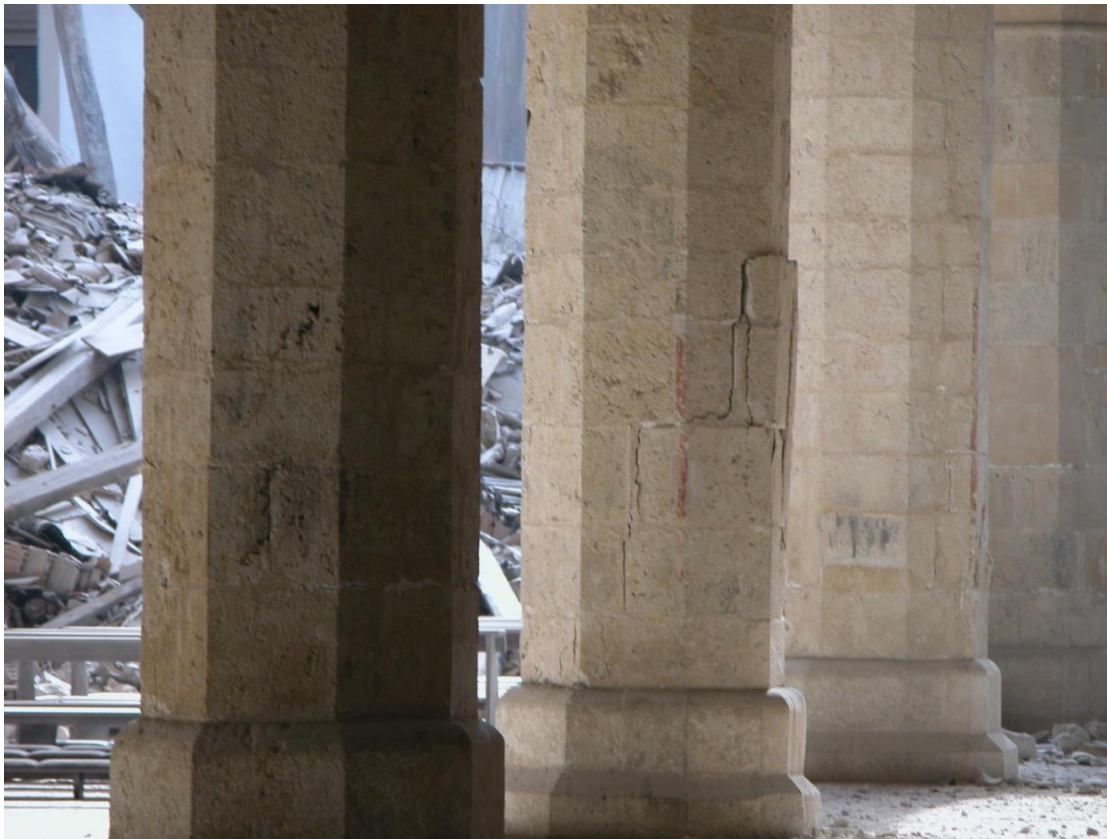
The collapsed pillar



Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila

The Basilica: the 2009 earthquake, the damages

Columns of the naves



Restoration works of Superintendent Moretti



Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila

The Basilica: the 2009 earthquake, the damages

The apse

before ..



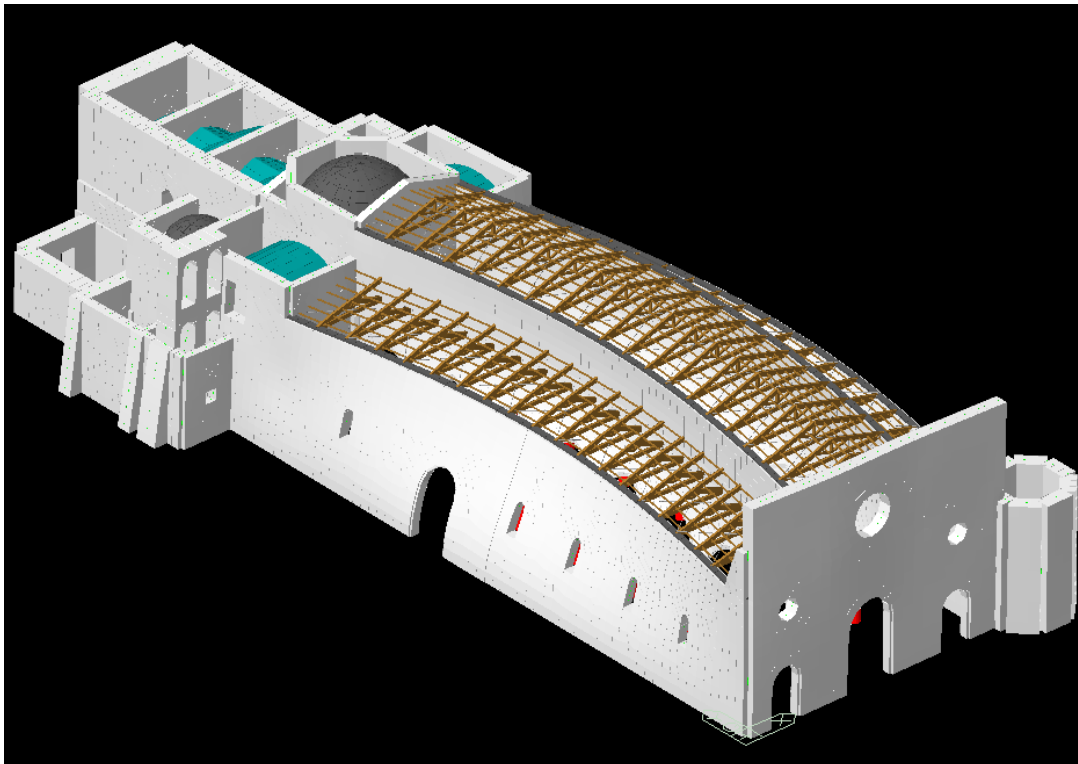
after ..



Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila

The Basilica: the investigations

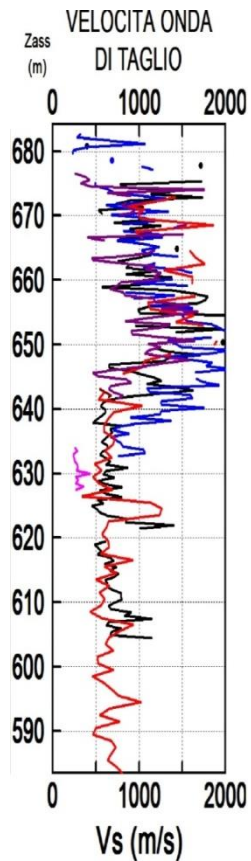
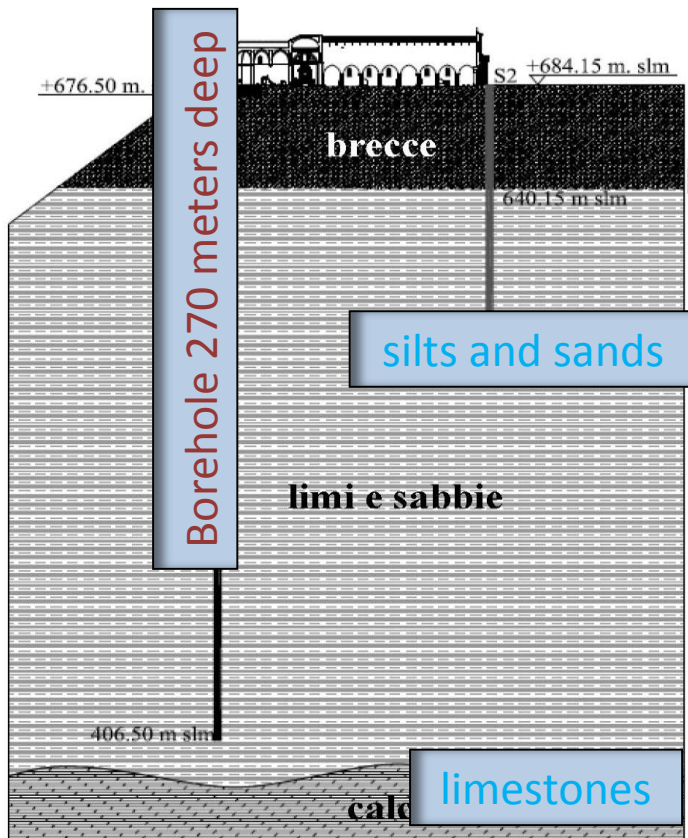
Dynamic tests



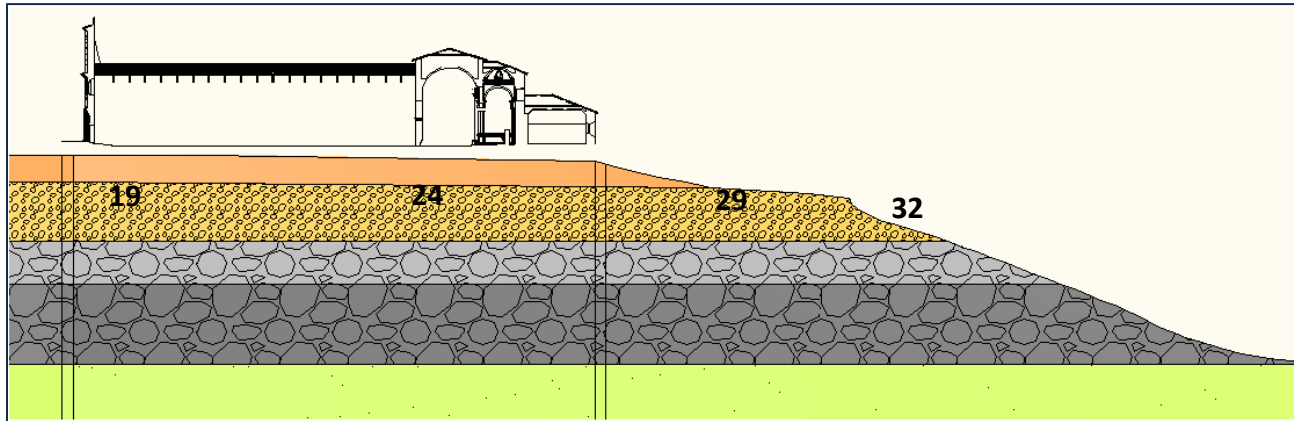
Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila

The Basilica: the investigations

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

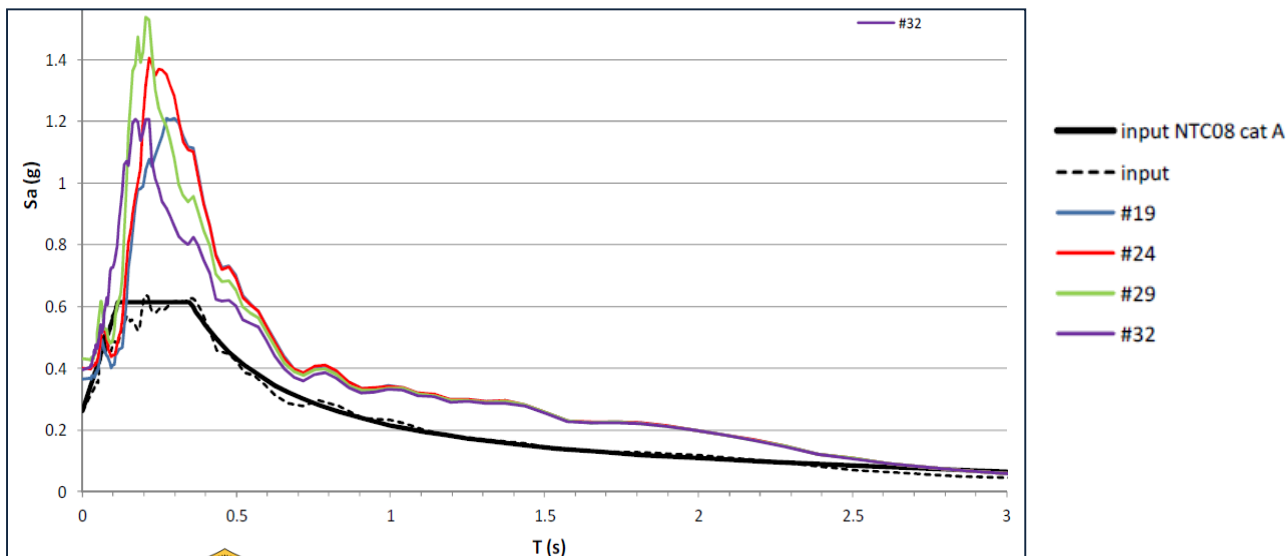


Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila



**Analisi di Risposta
Sismica Locale nel sito
della Basilica di
Collemaggio**

Ubicazione dei nodi nei quali
è stata calcolata l'azione
sismica

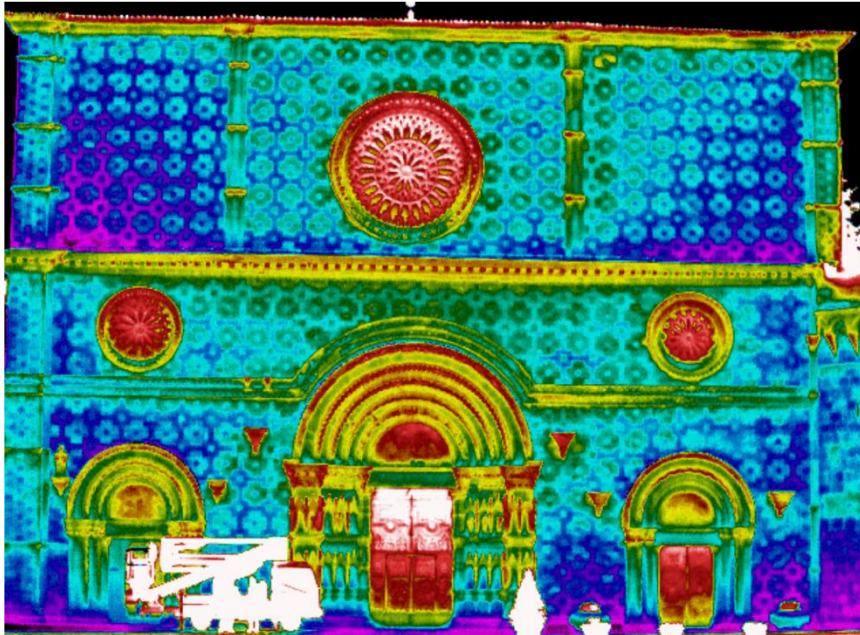


**Spettri di risposta medi
calcolati nei nodi ubicati al
piano di fondazione e
confronto con lo spettro di
input**

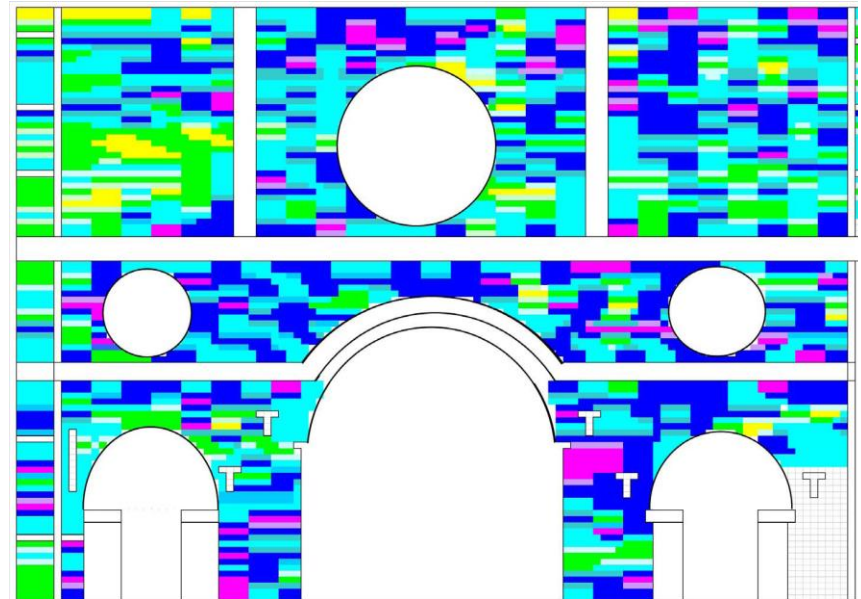


Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila

The Basilica: the investigations



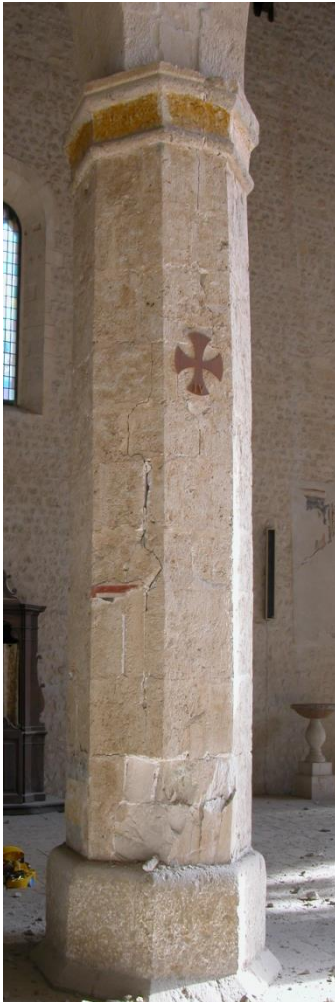
Thermography



Georadar

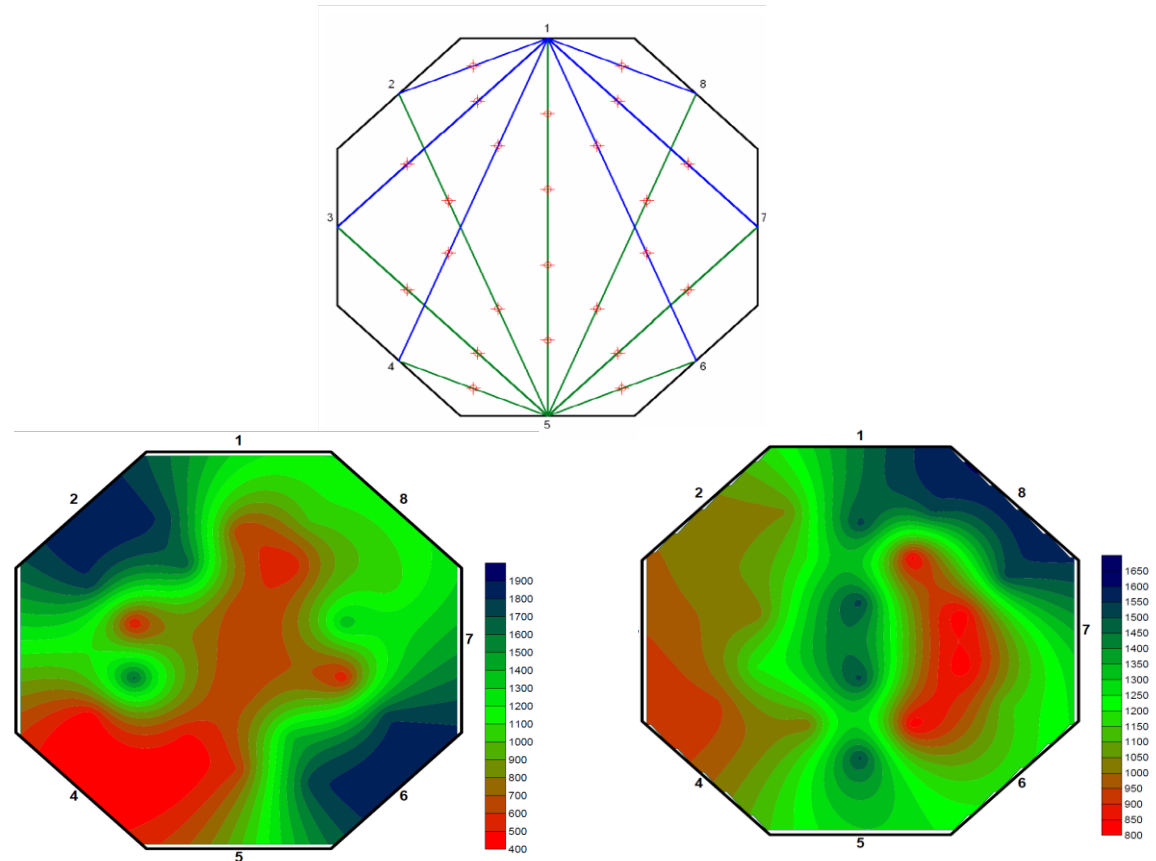


Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila



The Basilica: the investigations

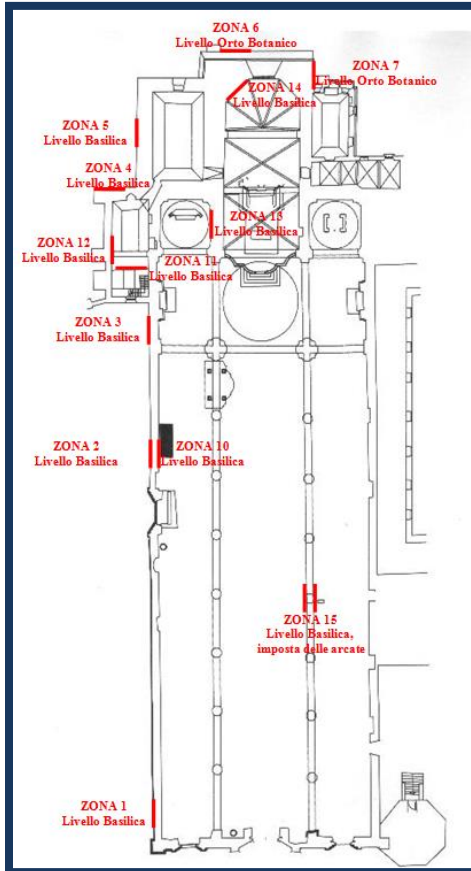
Sonic tomography



Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila

The Basilica: the investigations

Flat, single and double jacks tests



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				

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	-	-	-	-

Legenda

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

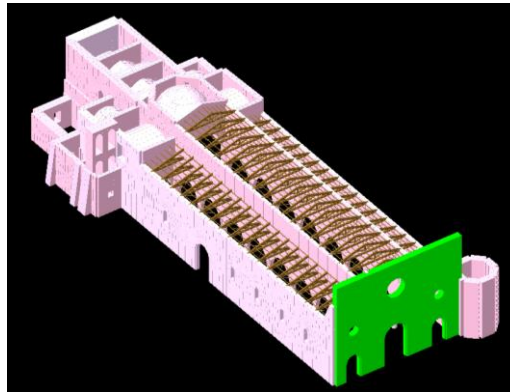
Santa Maria di Collemaggio: double Flat-Jack test to characterize masonry of the wall of the church



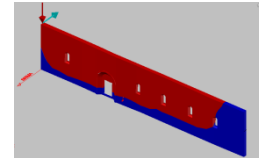
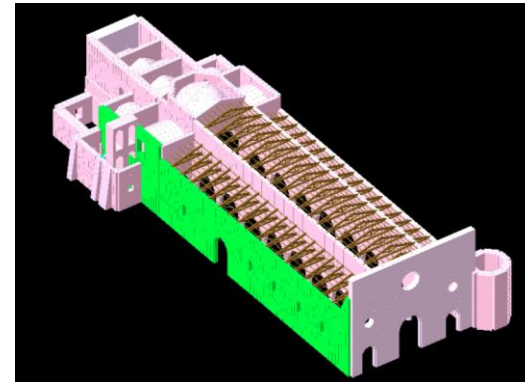
Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila

The Basilica: vulnerability analysis with macroelements

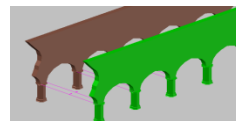
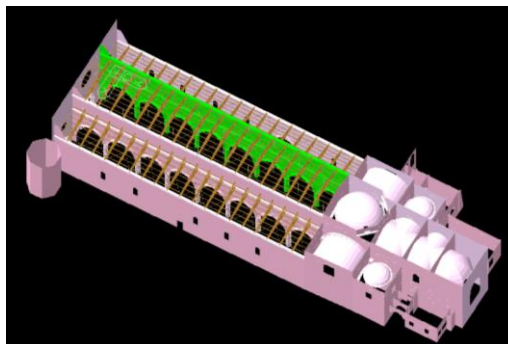
Overturning of a wall simply supported by the orthogonal wall



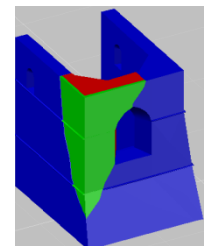
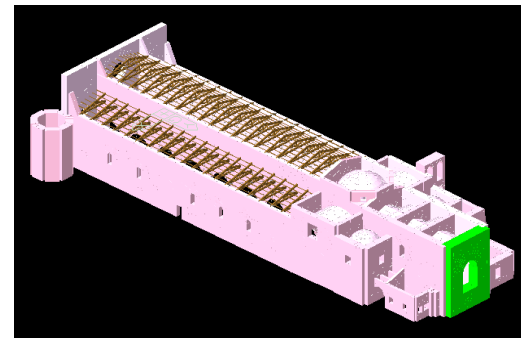
Facade



Lateral wall with the
"Holy Door"



Wall of the nave



Apse

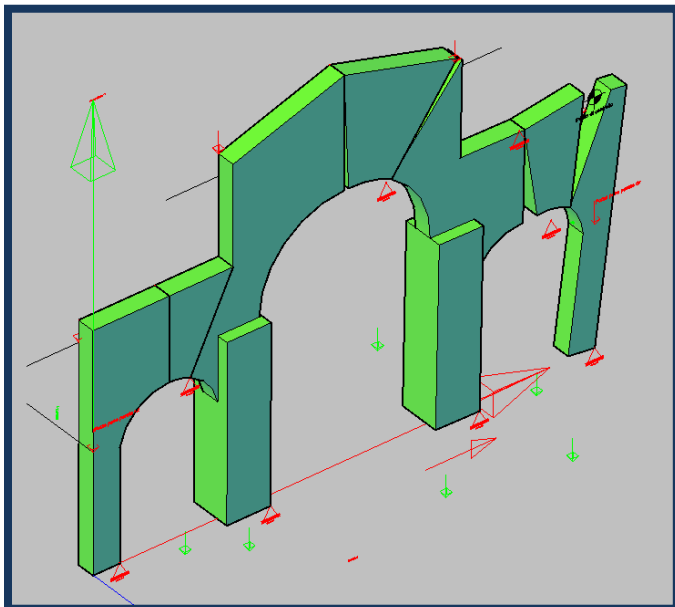


Alcuni interventi proposti dall'Ateneo dell'Aquila

The Basilica: vulnerability analysis with macroelements

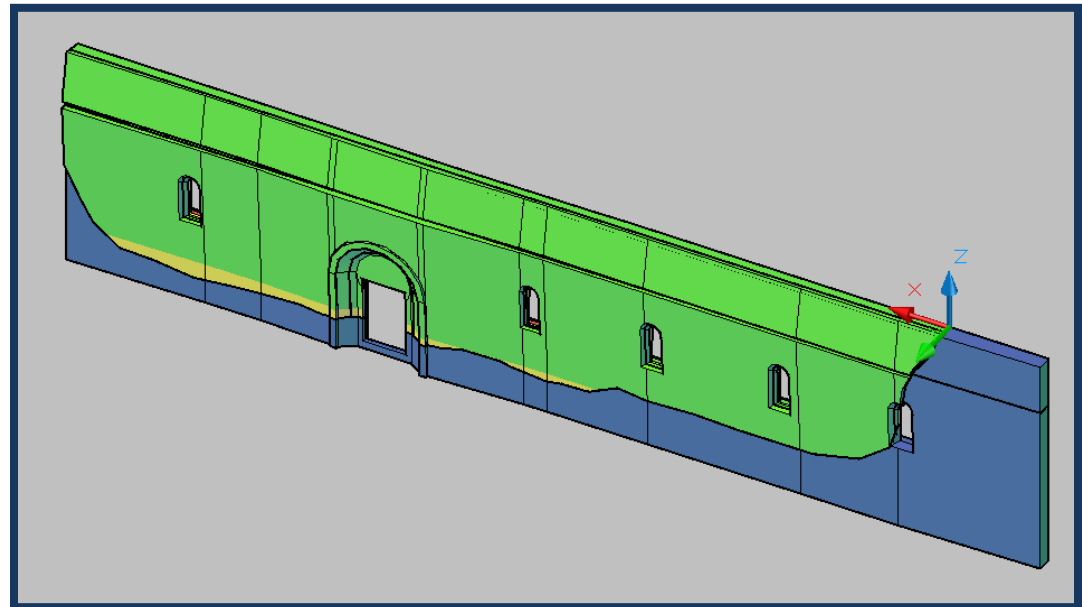
Kinematic mechanism of the triumphal arch

Transept's wall of the triumphal arch



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

Lateral wall with the "Holy Door"





La basilica ed il progetto “Ripartire da Collemaggio”

La duecentesca basilica di Collemaggio è uno dei principali monumenti dell’Aquila.

Legata alla storia di San Pietro da Morrone e alla sua proclamazione a Papa come **Celestino V**.

La basilica, con la presenza della Porta Santa, legata alla concessione dell’indulgenza plenaria perpetua che si ripete ogni anno (Perdonanza Celestiniana), ha un valore per la spiritualità cristiana senza uguali.

I lavori di restauro, finanziati insieme al progetto denominato “**Ripartire da Collemaggio**”, dall’**ENI**, hanno visto il coinvolgimento di:

- ❖ Soprintendenza per i Beni Architettonici e il Paesaggio per l’Abruzzo,
- ❖ Politecnico di Milano
- ❖ Università dell’Aquila,
- ❖ Università di Roma “La Sapienza”



L’Eni ha anche finanziato la progettazione del **sistema di monitoraggio** della basilica, affidandola all’Università dell’Aquila .



Nella definizione del piano di monitoraggio si è tenuto conto:

- ✓ dall'**analisi storica** dell'edificio;
- ✓ delle risultanze delle prove effettuate sui **materiali**;
- ✓ dell'accurata analisi di **rilievo del danno** emerso in seguito al sisma del 2009;
- ✓ dei risultati forniti dai **modelli** impiegati per analizzare la risposta strutturale della Basilica;
- ✓ di quanto identificato grazie alle campagne di **prove dinamiche** precedentemente condotte sulla basilica (2000, 2002, 2009)

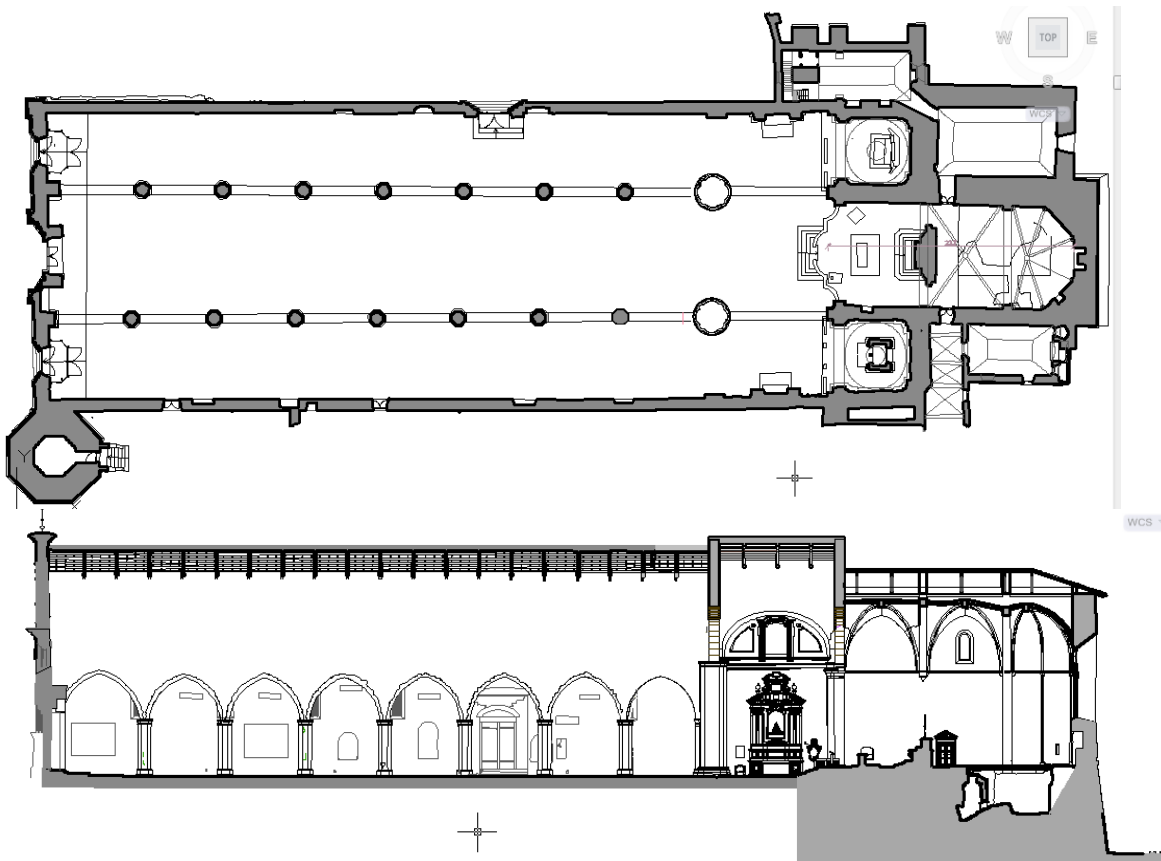


Breve descrizione della Basilica

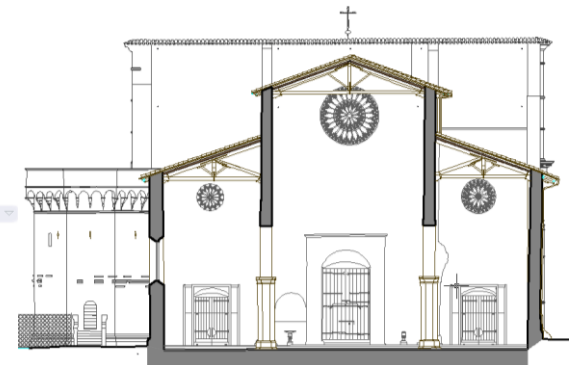
La Basilica ha un'aula divisa in **tre navate**, separate dai muri che poggiano su *archi a sesto acuto* sorretti da 14 *pilastrini ottagonali*.

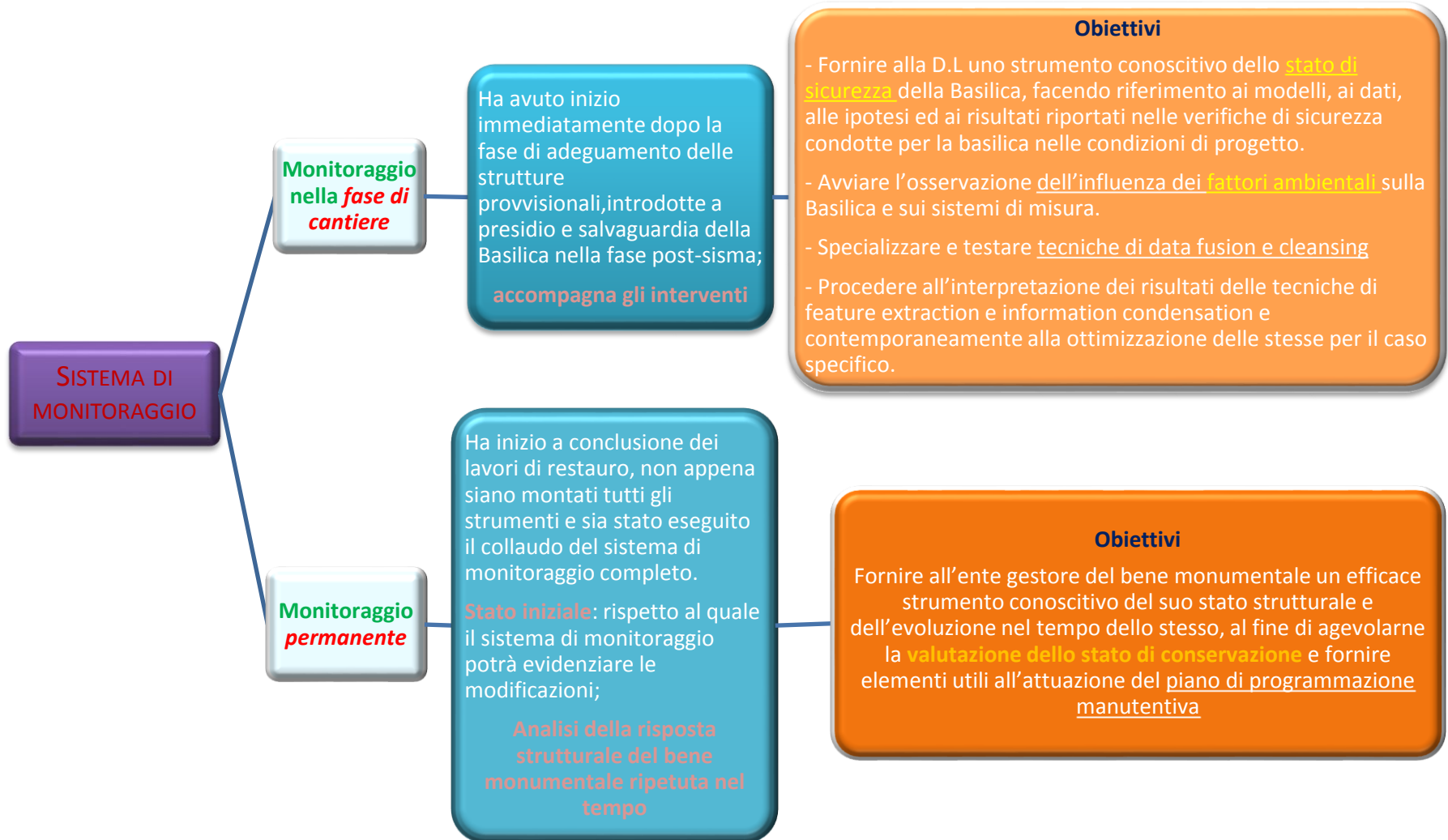
Il **transetto**, barocco, era separato dall'aula dagli archi trionfali innestati sulle *grandi piliere* a sezione polilobata. Esso era coperto nella parte centrale da una volta semisferica poggiante su pennacchi e lateralmente da volte cilindriche.

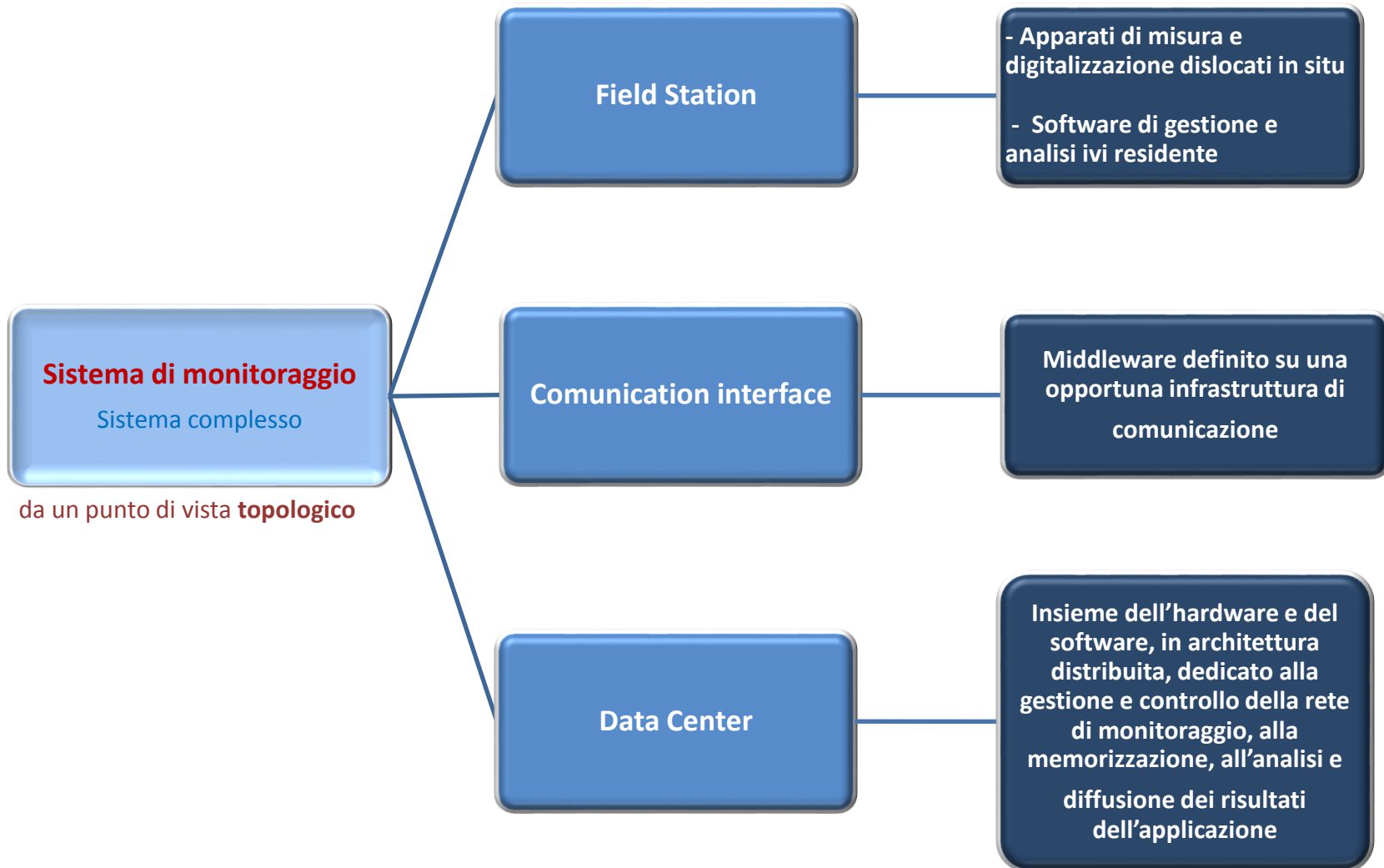
Le **coperture** di navate e transetto sono lignee, con capriate, mentre quelle di abside e cappelle sono in latero-cemento.

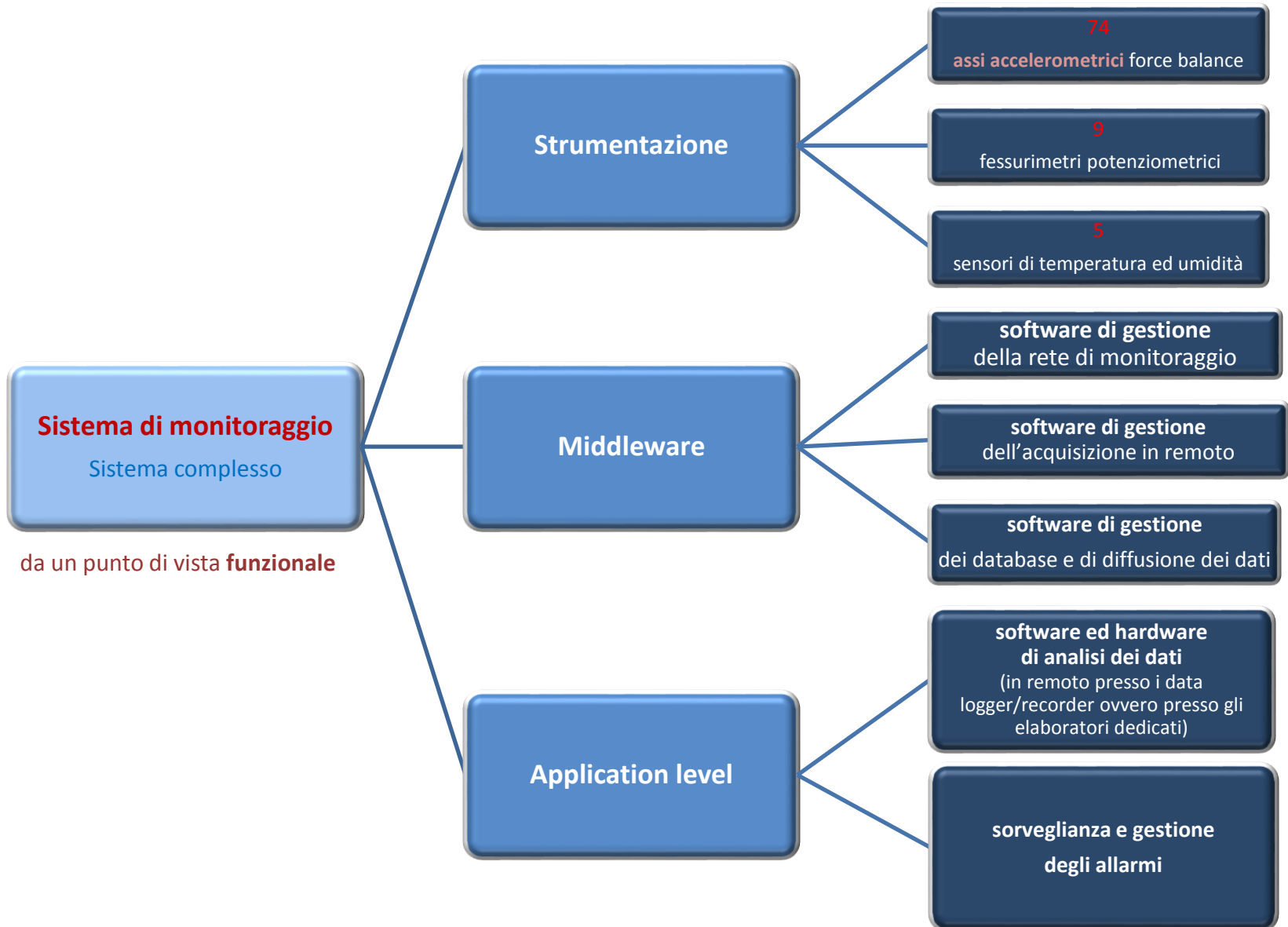


Accostata alla facciata la poderosa **torre ottagonale**. Le murature sono in pietra e sono morfologicamente molto variegate.









Strumenti impiegati



Accelerometri ad alta
precisione



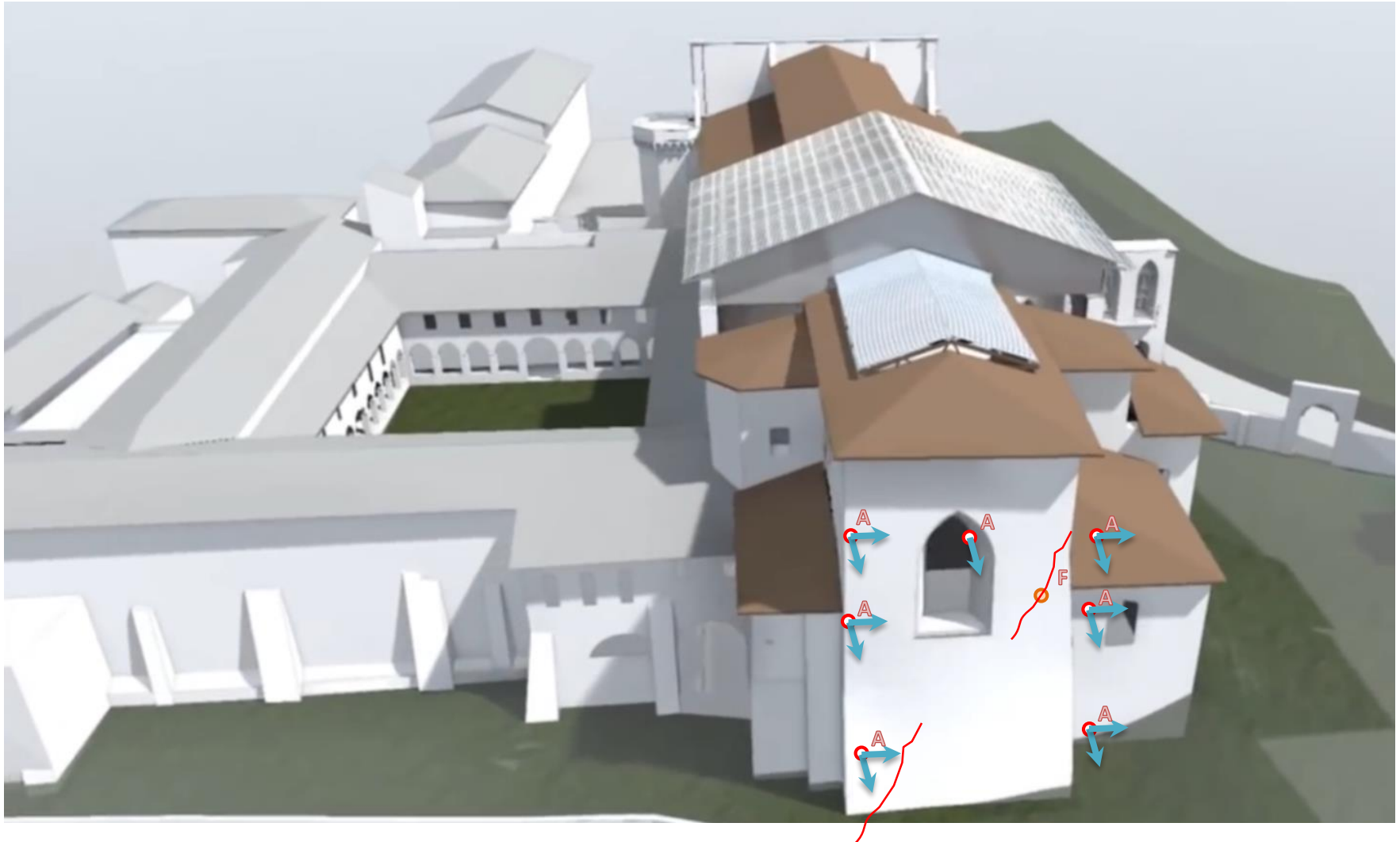
Sensori a
triangolazione laser



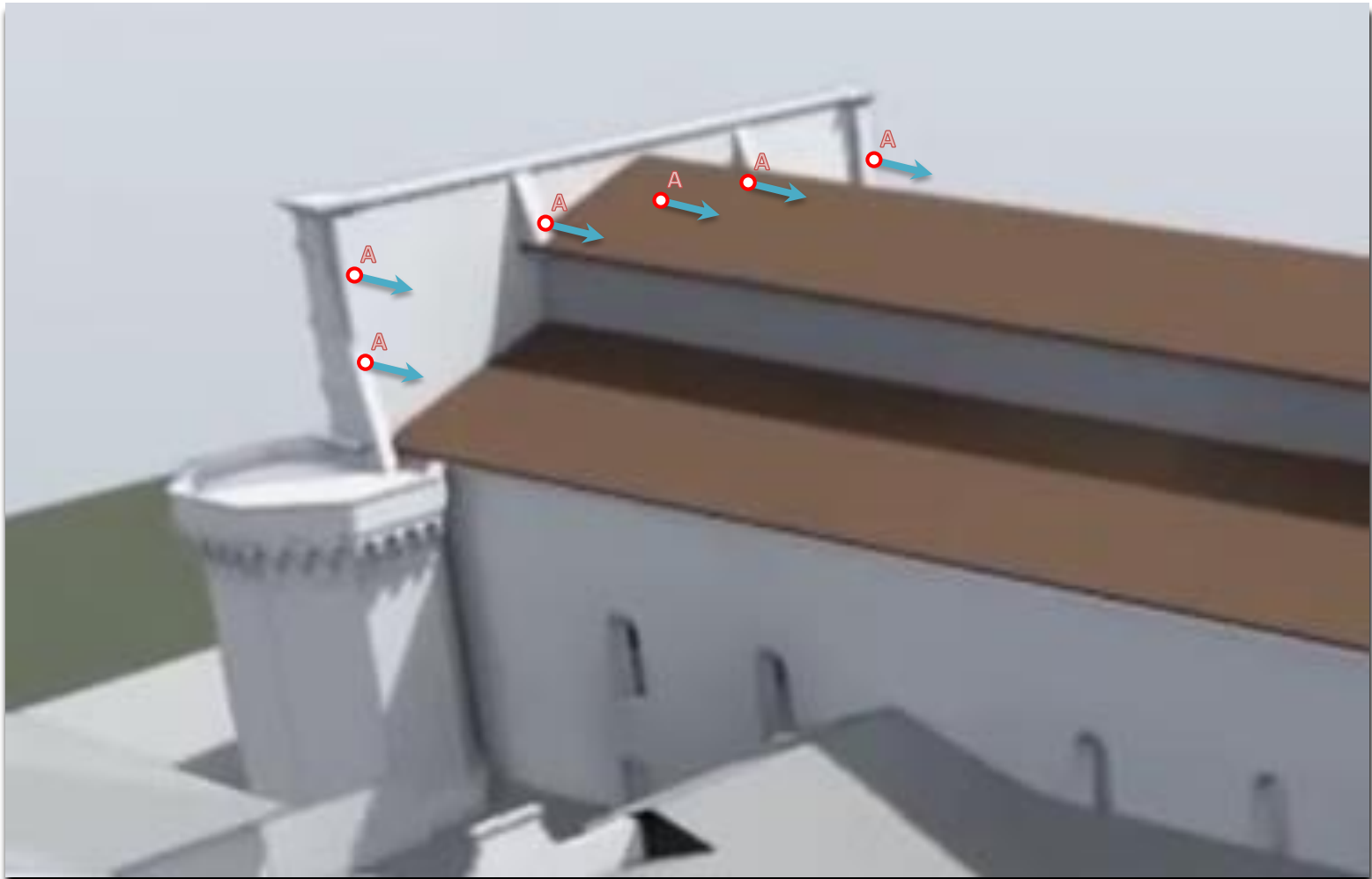
Inclinometro
misura variazioni del
centesimo di grado



Strumenti sull'abside



Strumenti sulla facciata principale



ELABORAZIONE DEI DATI ACCELEROMETRICI ACQUISITI ED ESTRAZIONE DEI PARAMETRI MODALI

Le analisi sono condotte impiegando tecniche di prova ampiamente sperimentate nell'ambito delle attività del Laboratorio di Dinamica per lo studio del comportamento di edifici ed infrastrutture sia in cemento armato che in muratura.

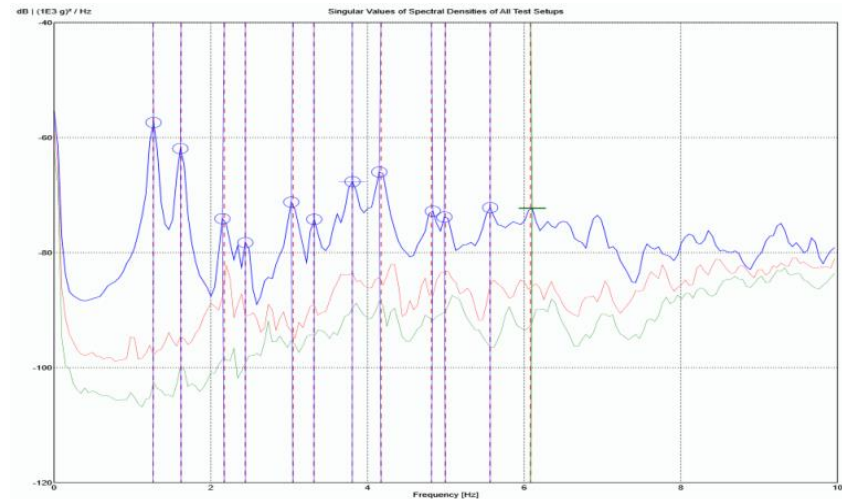
In particolare si impiegano tecniche Output-Only che operano senza conoscere il segnale di ingresso, cioè l'input che genera le vibrazioni del sistema, ma ipotizzando che esse siano prodotte dal cosiddetto "rumore ambientale", fornito dall'uso, dal vento, dal traffico, da microtremiti sismici.

Si utilizzano:

-la **tecnica di identificazione modale nel dominio delle frequenze** nota come *Enhanced Frequency Domain Decomposition (EFDD)*;

-**tecniche di identificazione modale nel dominio del tempo** *Stochastic Subspace Identification (SSI) Techniques: Principal Component Analysis (SSI-PCA), Unweighted Principal Component Analysis (SSI-UPC) e Canonical Variate Analysis (SSI_CVA)*.

L'utilizzo di tecniche indipendenti nell'estrazione dei parametri modali dalla stessa serie di dati consente la validazione reciproca mediante il confronto tra i risultati.



Valori singolari della matrice di densità spettrale

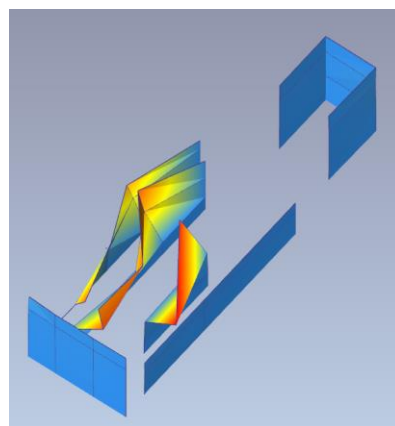
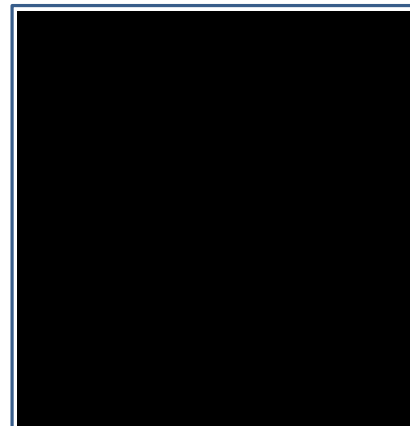
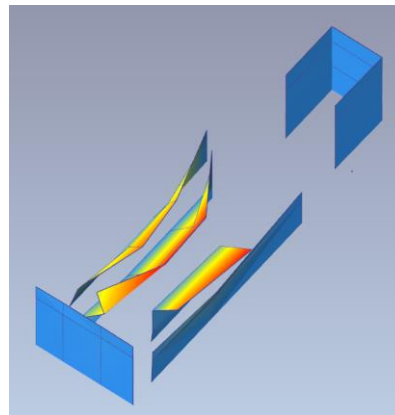


Primi risultati

Identificazione modale nel dominio delle frequenze
(EFDD): **frequenze** e **smorzamenti**

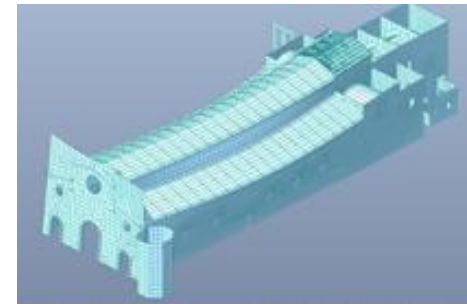
Modo	Frequency [Hz]	Damping [%]
1	1.27	2.0
2	1.6	2.1

Forme modali identificate

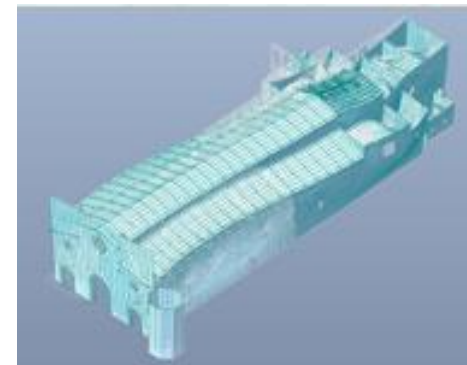


1° modo

Forme modali del modello ad e.f.



2° modo

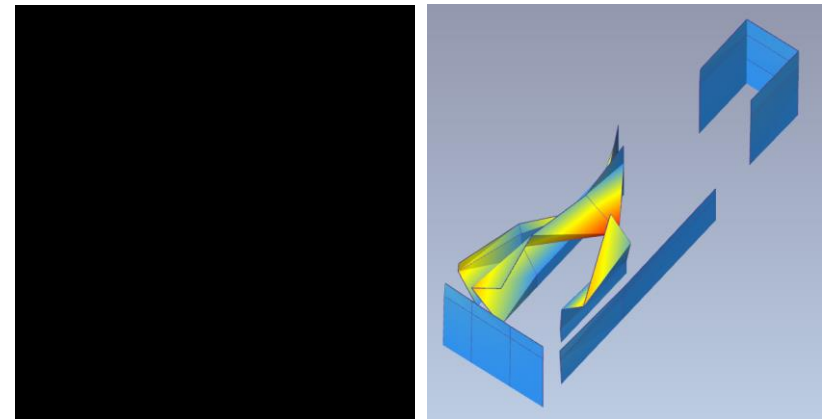
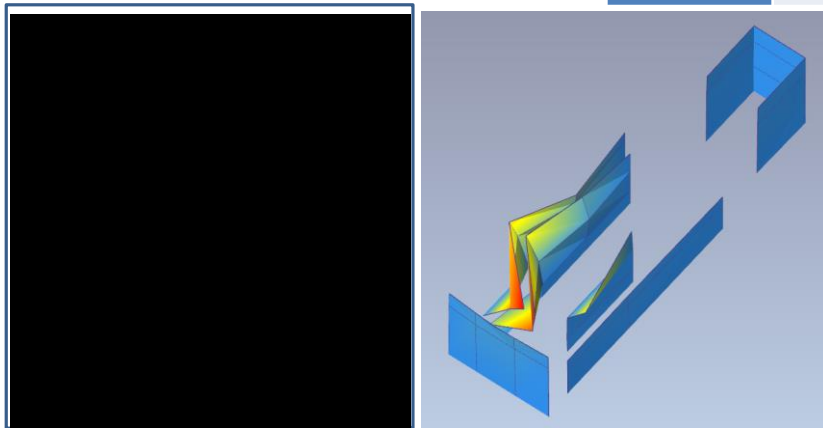


Identificazione modale nel dominio del tempo (SSI-UPC) e delle frequenze (EFDD)

Modo	Frequency [Hz]	Damping [%]
3	2.2	3.9
4	2.4	2.0
7	3.4	1.8
8	3.80	1.3

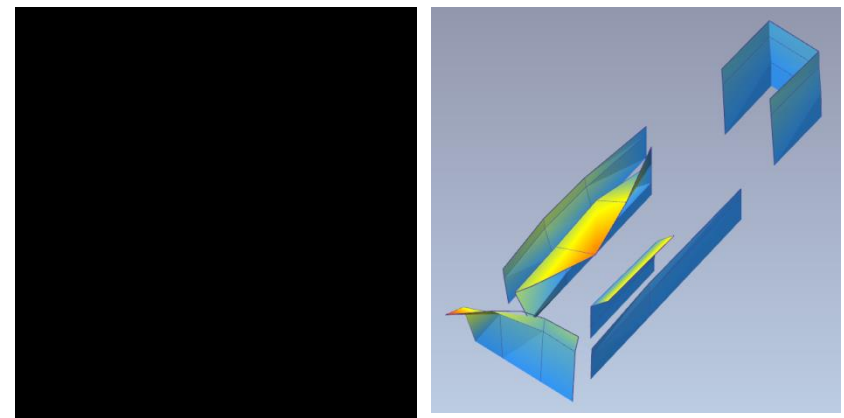
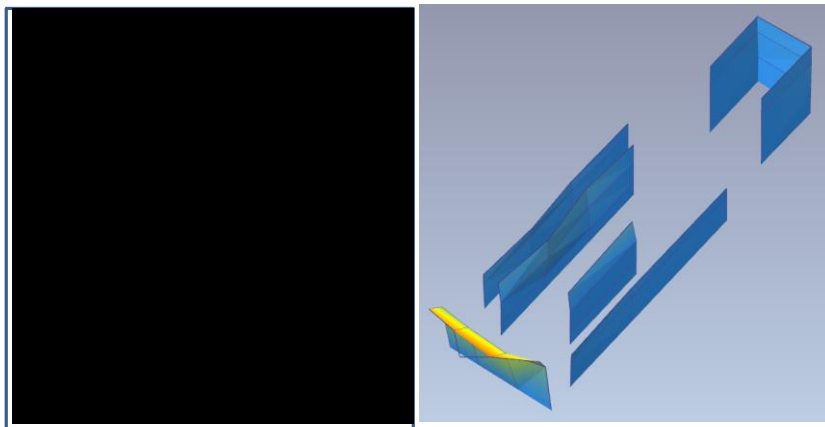
3° modo

4° modo



7° modo

8° modo



tour.edilportale.com



edilportale[®]

TOUR 2018

grazie per l'attenzione

tour.edilportale.com

