



edilportale[®]
smart
village
in tour
in collaborazione con **MADE**expo

segui su   

22 maggio 2013 / Genova

Valutazione della sicurezza sismica delle costruzioni esistenti in muratura e soluzioni compatibili per l'adeguamento

Sergio Lagomarsino



Università degli Studi di Genova - Scuola Politecnica
DICCA
Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale

Vulnerabilità sismica del costruito in muratura

- La PERICOLOSITÀ in Italia è piuttosto alta: terremoti non molto violenti (negli ultimi 30 anni magnitudo minore di 6.5) ma frequenti
- RISCHIO SISMICO elevato: presenza di molte costruzioni vulnerabili, antiche o progettate senza prescrizioni antisismiche
- MURATURA: sono naturalmente soggette a danneggiamento anche per terremoti di bassa intensità (strutture rigide, materiale non resistente a trazione, possibilità di meccanismi locali)
- CULTURA SISMICA LOCALE: specifici dettagli costruttivi si trovano nelle zone a maggiore rischio sismico
- VULNERABILITÀ AGGIUNTA da invasivi interventi della “tecnica moderna”
- PRINCIPIO del “MINIMO INTERVENTO”: necessità di conciliare esigenze di sicurezza con desiderio di conservazione

OBIETTIVI DELL'INTERVENTO DI PREVENZIONE SISMICA

- **SICUREZZA**
- **CONSERVAZIONE**
- **SOSTENIBILITÀ**

Perpetuate | Subline description - Windows Internet Explorer

http://www.perpetuate.eu/

File Modifica Visualizza Preferiti Strumenti ?

Google Effettua la ricerca

Perpetuate | Subline description



PERFORMANCE-BASED APPROACH TO EARTHQUAKE PROTECTION OF CULTURAL HERITAGE IN EUROPEAN AND MEDITERRANEAN COUNTRIES

European Research Project funded by FP7




HOME RESEARCH PROJECT» RESULTS AND DOCUMENTS» DISSEMINATION» RESTRICTED AREA CONTACTS RSS RSS



*Time is the keyword for the conservation of cultural heritage.
 Periodic maintenance protects against material decay, ensuring endless life to buildings.
 Structural health monitoring controls the occurrence of damage or instability due to anthropic or environmental transformations.
 Preventive actions must be adopted in order to PERPETUATE the life of monuments in seismic areas, in due time, before an earthquake interrupts their life forever.*

Sergio Lagomarsino
 Coordinator of PERPETUATE Project

Login
 ...

Newsletter
 Subscribe to receive updates from perpetuate.eu

Forum
 Discussion board for the perpetuate.eu topics.

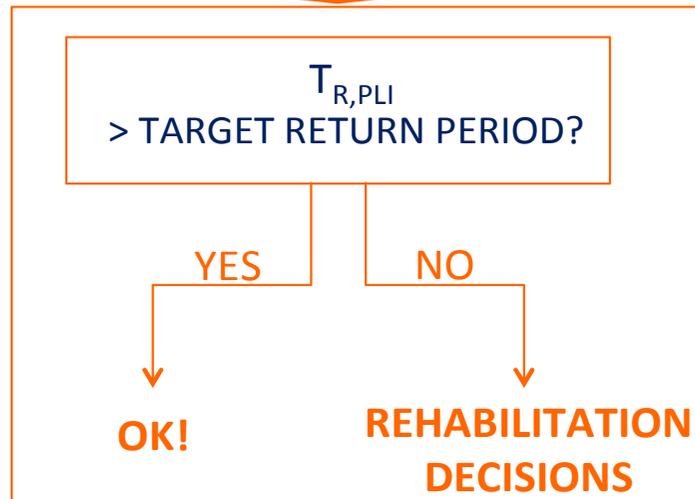
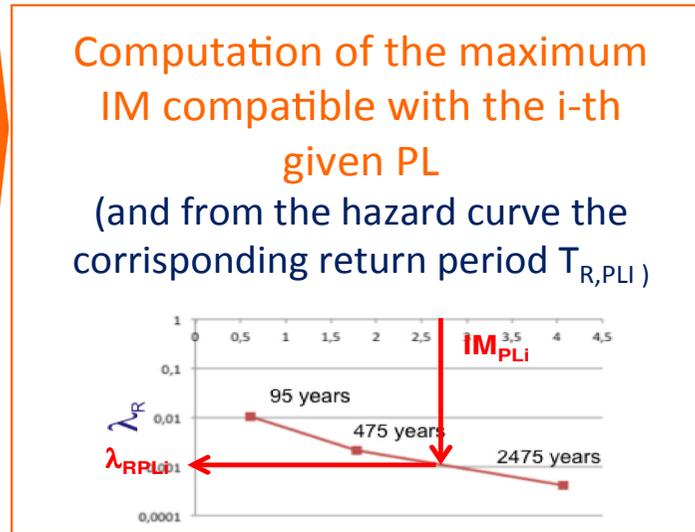
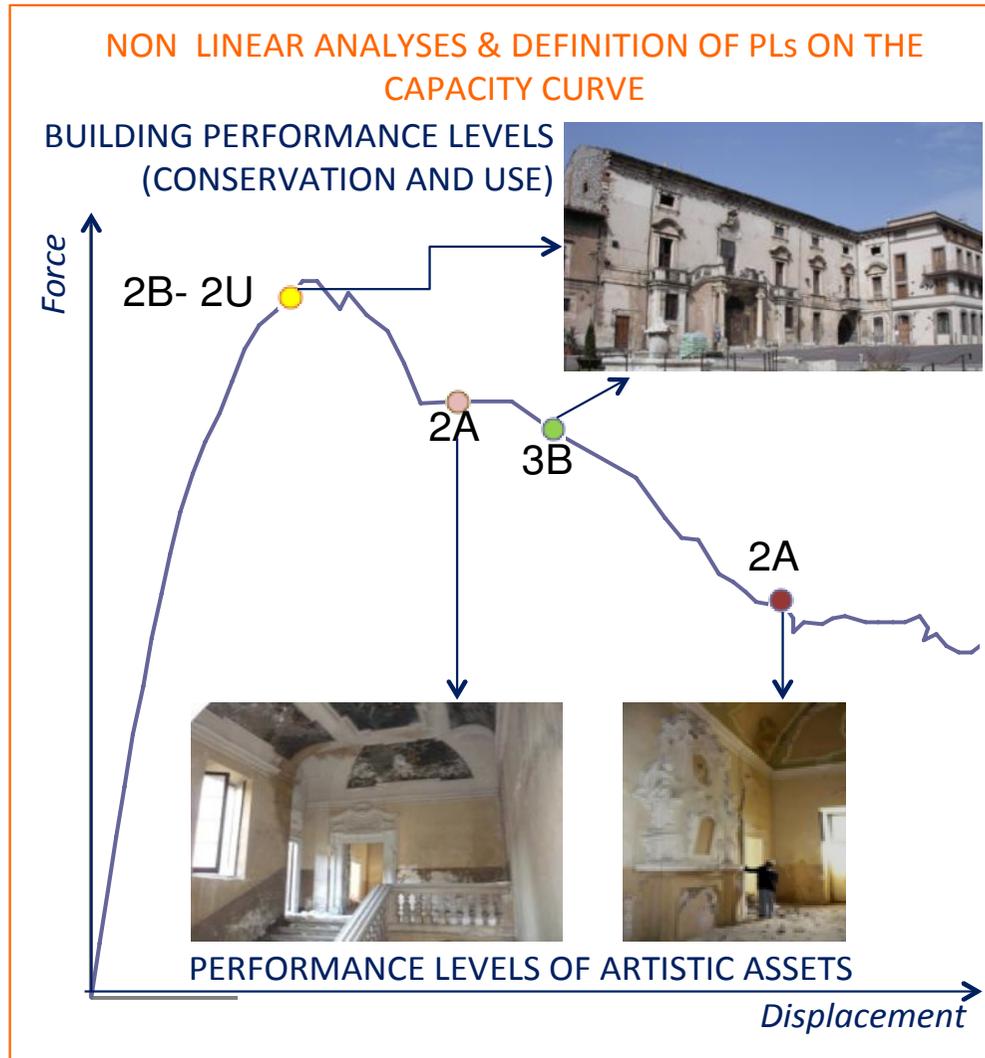
Links
 Reference websites and partners

video su YouTube: "perpetuate research project"
www.perpetuate.eu

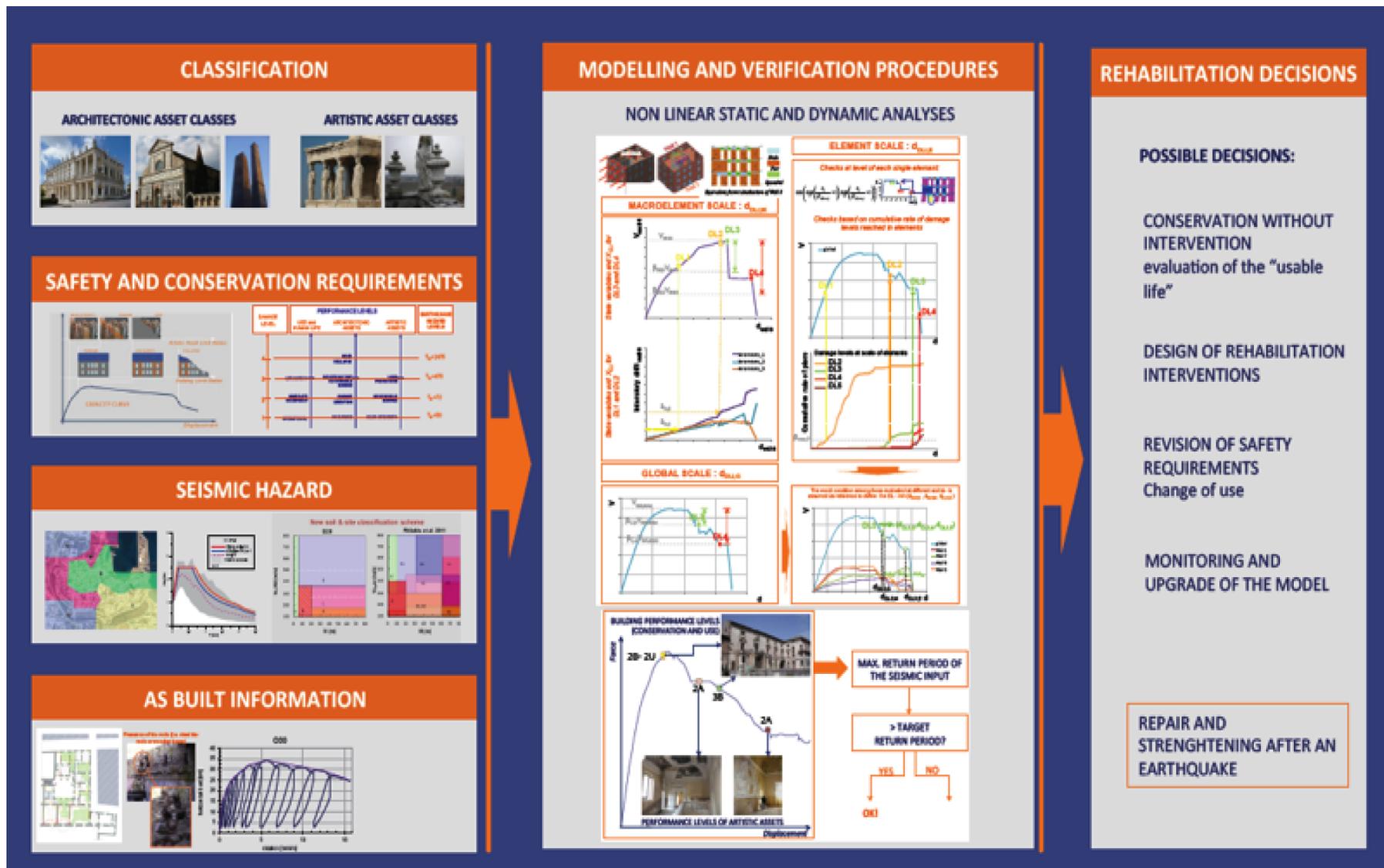
Principi delle Linee Guida PERPETUATE

- Per la protezione dal rischio sismico del patrimonio culturale è prioritariamente necessario **sviluppare affidabili metodi di analisi e procedure di valutazione**, strumenti indispensabili per attuare concretamente i principi del **“minimo intervento”** tenendo conto delle imprescindibili esigenze di sicurezza.
- Nell’ambito di un **approccio prestazionale**, la valutazione deve essere fatta in spostamenti (**“displacement-based approach”**).
- È necessario riferirsi a **metodi di analisi nonlineari (statici o dinamici)**, oggi disponibili ed applicabili in ambito professionale.
- Nella progettazione degli **interventi di miglioramento sismico** è necessario privilegiare soluzioni: poco invasive, che privilegiano la capacità di spostamento, migliorando i collegamenti, integrando tradizione e innovazione.

Principi delle Linee Guida PERPETUATE



I passi della procedura PERPETUATE



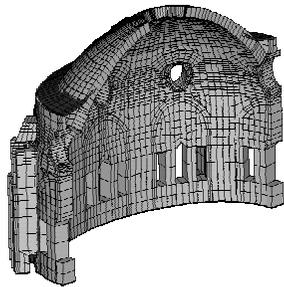
Classificazione e modelli meccanici per l'analisi

ARCHITECTONIC CLASSES

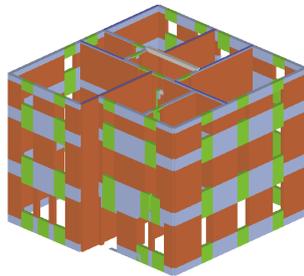


MODELS CLASSES

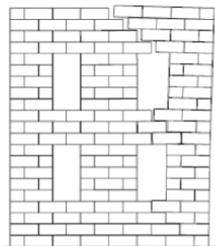
**CCLM - Continuum
 Constitutive Laws models**



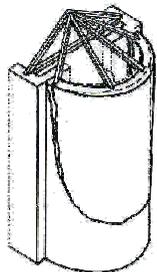
**SEM - Structural Element
 models**



**DIM - Discrete Interface
 models**



**MBM - Macro Block
 models**



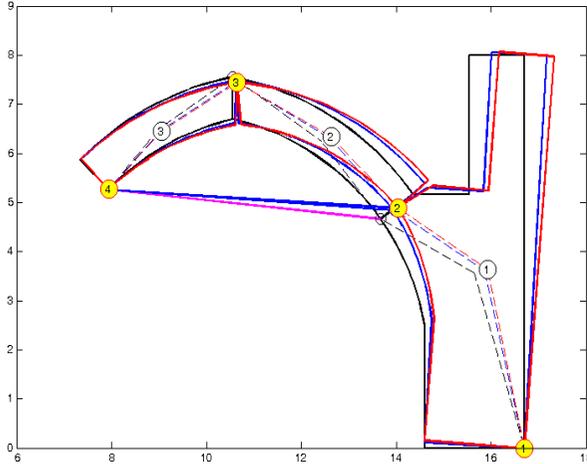
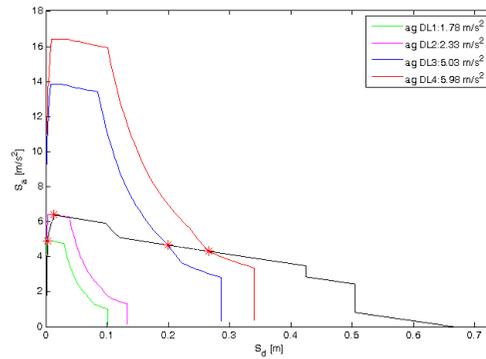
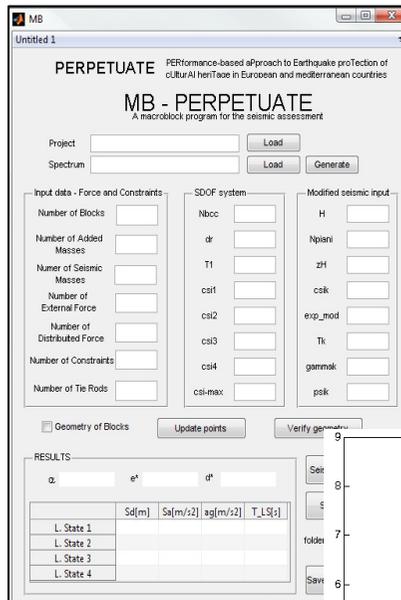
CORRELATION

	Architectonic asset class	Models			
		CCLM	SEM	DIM	MBM
A	Assets subjected to prevailing in-plane damage	POSSIBLE	Global	POSSIBLE	Local
B	Assets subjected to prevailing out-of-plane damage	POSSIBLE		POSSIBLE	STANDARD
C	Assets characterized by monodimensional masonry elements		STANDARD		POSSIBLE
D	Arched structures subject to in-plane damage	POSSIBLE		POSSIBLE	STANDARD
E	Massive structures in which local failure of masonry prevails	POSSIBLE		STANDARD	
F	Blocky structures subjected to overturning			POSSIBLE	STANDARD
G	Built systems subjected to complex damage		Global	POSSIBLE	Local

RARE
 POSSIBLE
 STANDARD

Analisi limite a macroblocchi

MB - PERPETUATE

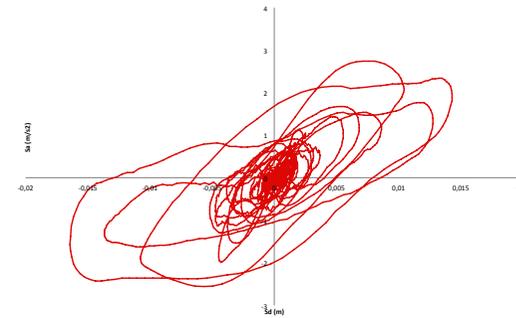
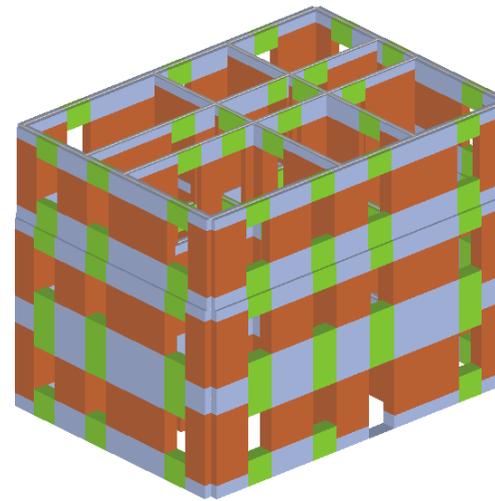


by Lagomarsino S. and Ottonelli D.
 download: www.perpetuate.eu

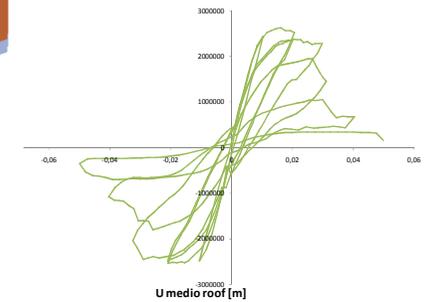
SOFTWARE

Analisi 3D a telaio equivalente

TREMURI



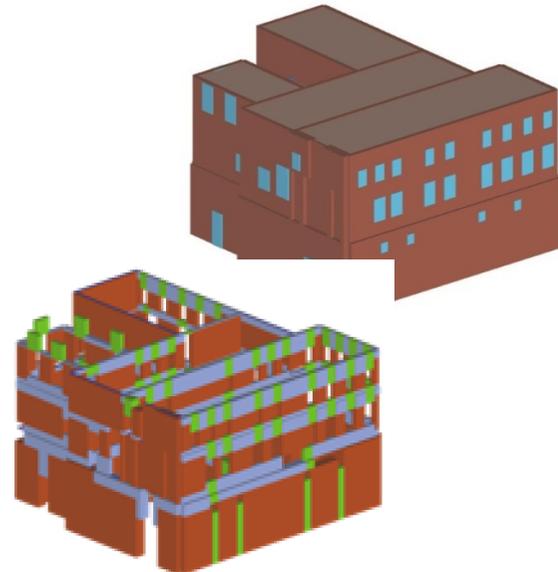
NONLINEAR DYNAMIC ANALYSES



CYCLIC NONLINEAR
STATIC ANALYSES

by Lagomarsino, Penna, Galasco, Cattari
 ask to: tremuri@gmail.com

Conoscenza e indagini: analisi di sensitività e F_c



SENSITIVITY ANALYSES

STATISTIC UNCERTAINTIES
 RANDOM VARIABLES

- MATERIAL PROPERTIES
- PAR. FOR MULTILINEAR CONSTITUTIVE LAWS
- IN-PLANE STIFFNESS OF FLOORS

MASONRY MATERIAL PROPERTIES

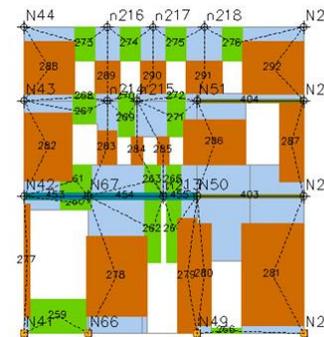
	var x_k	x_k mean value	f_k
TYPE 1	E	615	0,17
	G	205	0,17
	τ [Mpa]	0,043	0,19
	f_m	2,5	0,2
TYPE 2	E	1400	0,14
	G	430	0,09
	τ [Mpa]	0,082	0,21
	f_m	5	0,2

EPISTEMIC UNCERTAINTIES
 LOGIC TREE APPROACH

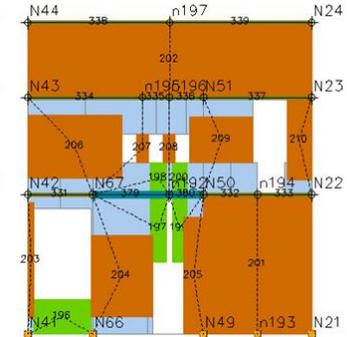
INFILLED OPENINGS



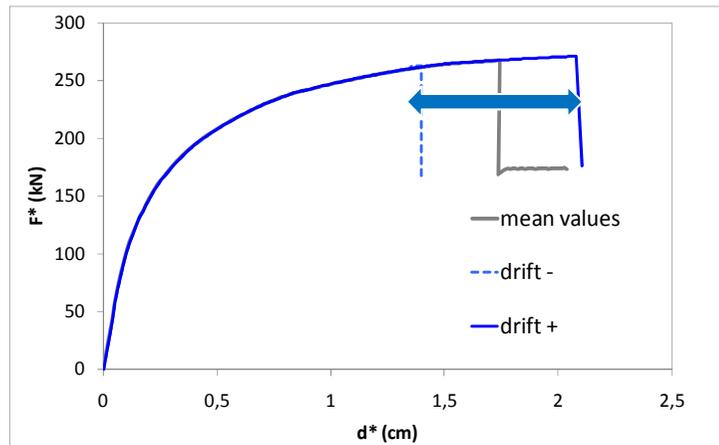
MODEL A



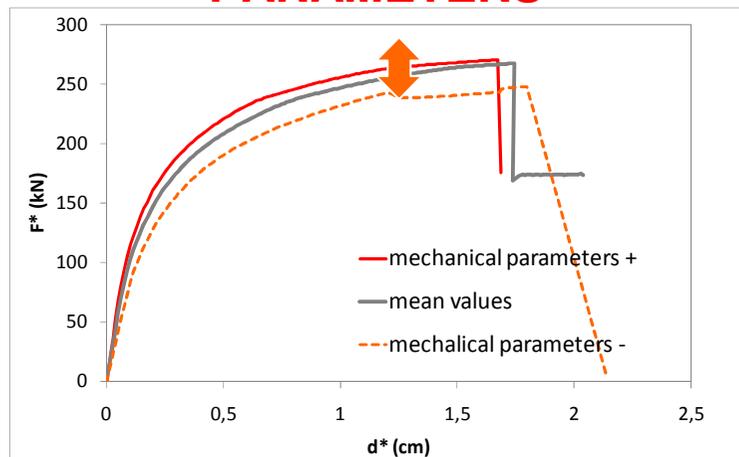
MODEL B



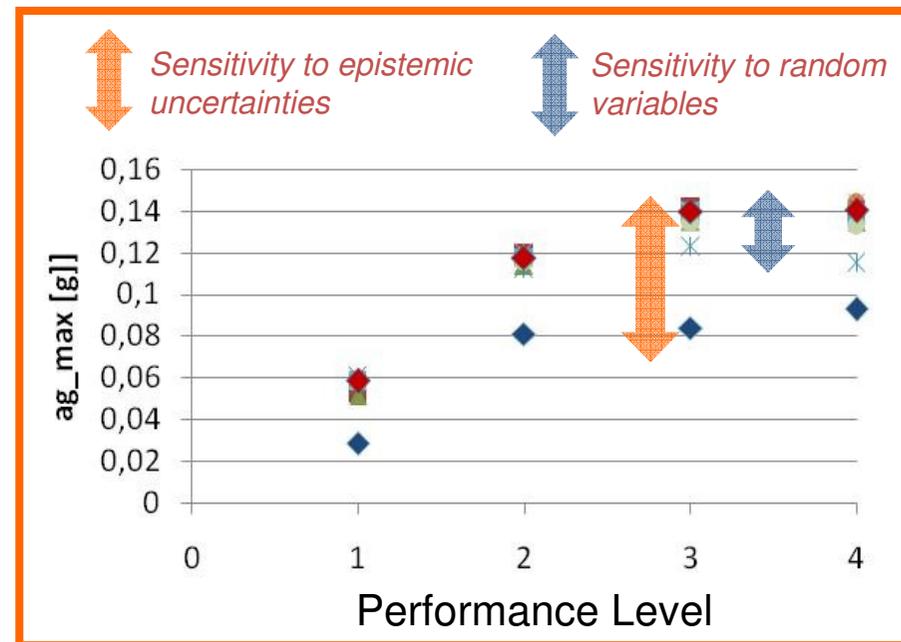
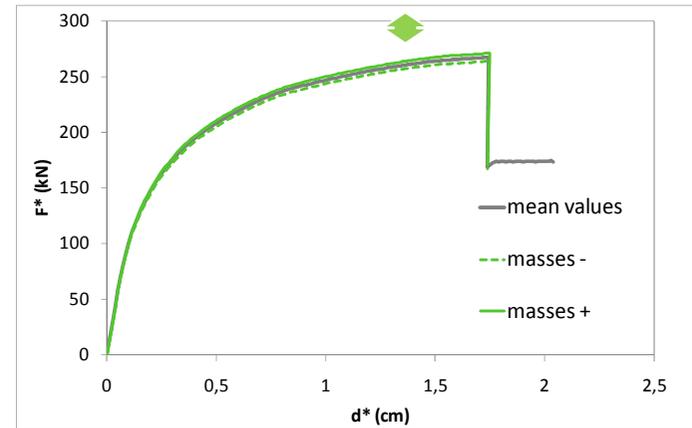
SENSITIVITY TO DRIFT



SENSITIVITY TO MATERIAL PARAMETERS

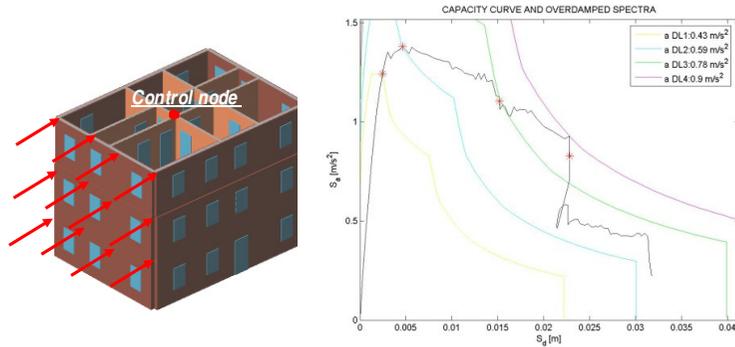


SENSITIVITY TO MASSES

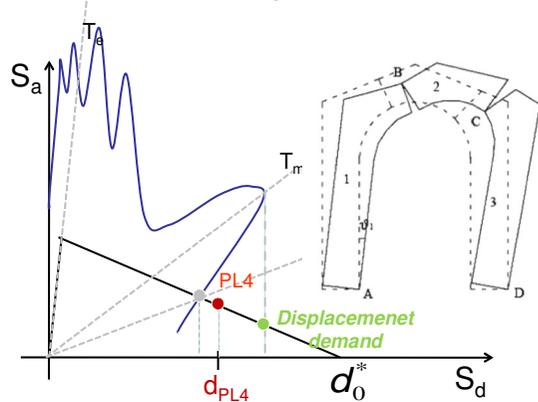


PUSHOVER ANALYSES AND CAPACITY SPECTRUM METHOD (STANDARD METHOD)

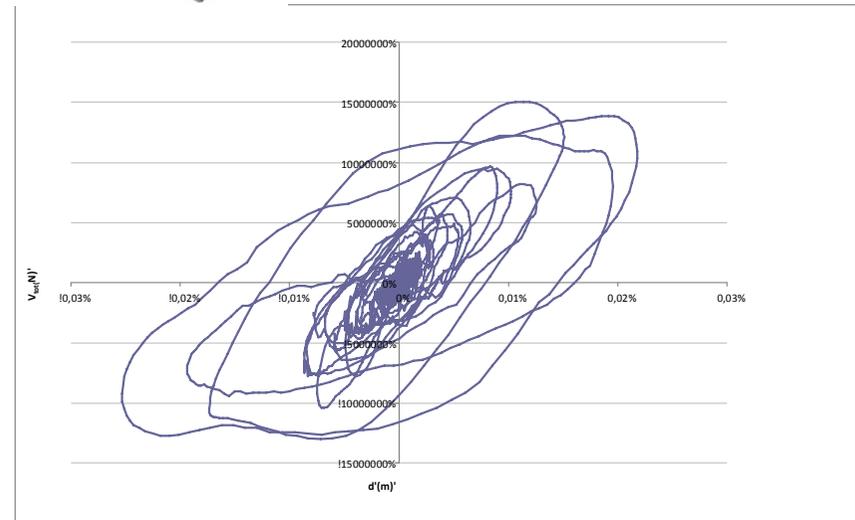
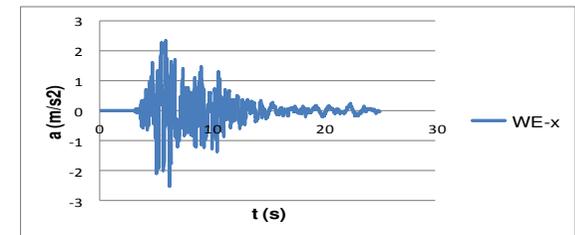
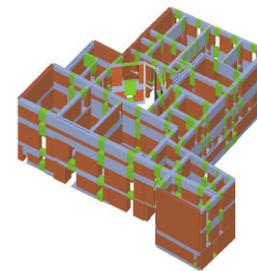
Non linear static analyses



Incremental equilibrium analyses



NON-LINEAR DYNAMIC ANALYSIS (IDA) (MORE ACCURATE – HIGH COMPUTATIONAL EFFORT)



Il terremoto del maggio 2012 in Emilia

- **ELEVATA INTENSITÀ:** massimo storico per l'area epicentrale (più forte del terremoto stimato dalla mappa INGV per $T_R=475$ anni).
- **AMPLIFICAZIONE LOCALE:** caratteristiche del moto sismico tipiche di un suolo deformabile (tipo C), con contenuti in frequenza sui lunghi periodi e grandi domande di spostamento.
- **VULNERABILITÀ:** costruzioni con limitata presenza di dettagli costruttivi antisismici (“regole dell’arte”) - terremoti poco frequenti: pareti sottili, poche catene, coperture spingenti e mal collegate.
- **TIPOLOGIE VULNERABILI** – strutture flessibili: torri e campanili, elementi svettanti, chiese, palazzi con grandi aule, casolari, rocche.
- **EDILIZIA RESIDENZIALE IN MURATURA:** buon comportamento di edifici regolari, isolati, a 2 o 3 piani (se sufficiente qualità malta).

Le scosse sismiche del 20 e 29 maggio 2012

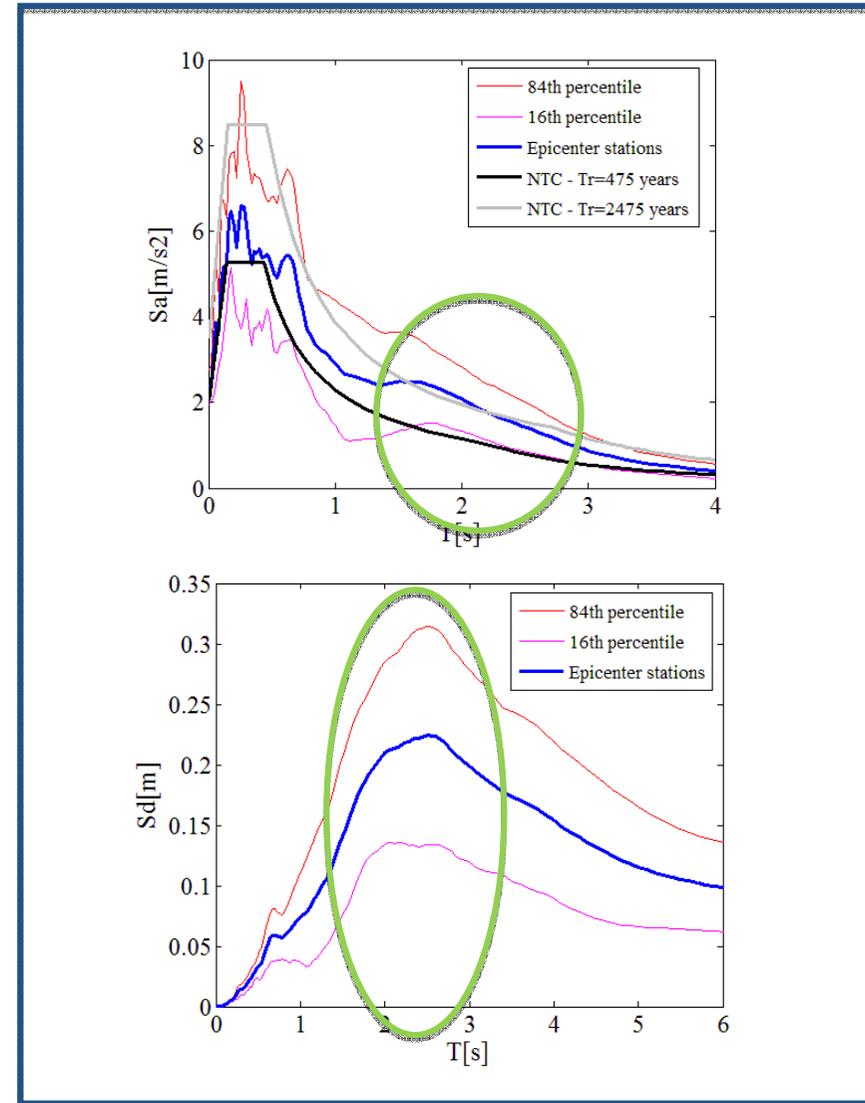
PRIMA SCOSSA: 20-5-12
 ($M_L=5.9$; EPICENTRO VICINO A
 FINALE EMILIA – MO)

SECONDA SCOSSA: 29-5-12
 ($M_L=5.8$; EPICENTRO VICINO A
 MIRANDOLA – MO)

ELEVATA COMPONENTE VERTICALE

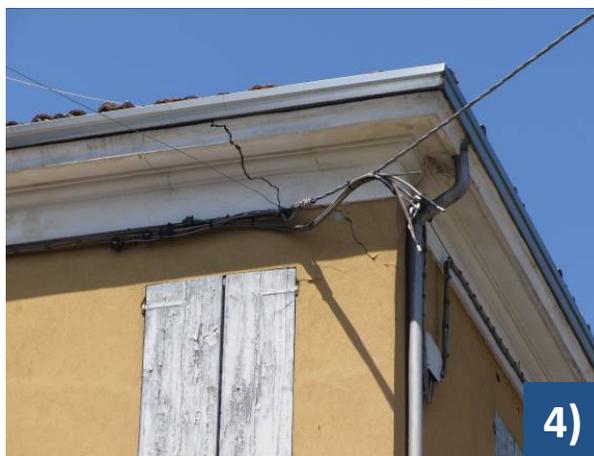


Dalle registrazioni nella zona epicentrale
 (MRN 20/5/2012 e 29/5/2012; SAN0 29/5/2012):



Vulnerabilità degli edifici in muratura emiliani

- 1) MURATURA DI MATTONI CON MALTA DI BASSA QUALITA' E SCARSA ADERENZA
- 2) DEGRADO E UMIDITA' (NEI CASI DI EDIFICI ABBANDONATI)
- 3) LIMITATO SPESSORE DELLE PARETI (A DUE O TRE TESTE, MALE AMMORSATE)
- 4) COPERTURE LIGNEE SPINGENTI E MALE COLLEGATE ALLA SOMMITA' DEL MURO



Risposta sismica delle costruzioni in muratura

DALLA LETTURA DEL DANNO

GRAVI DANNI A SPECIFICHE CATEGORIE

EDIFICI MONUMENTALI: VULNERABILITA'
DI ALCUNE TIPOLOGIE



CASOLARI: TIPOLOGIA VULNERABILE E
CATTIVA MANUTENZIONE



BUON COMPORTAMENTO EDILIZIA ORDINARIA



EDILIZIA ORDINARIA

- ✓ AGGREGATI RECENTI E POCO COMPLESSI
- ✓ BUONI AMMORSAMENTI GRAZIE ALL'USO DEL MATTONE



LIMITATA VULNERABILITA' PER AZIONI FUORI PIANO



- RIBALTAMENTO DI PORZIONI SVETTANTI IN CORRISPONDENZA DI IRREGOLARITÀ IN ELEVAZIONE



- CROLLO DEI CORNICIONI O DI PORZIONI SOMMITALI DELLA FACCIATA, CAUSATI DAL SISTEMA DI COPERTURA (PUNTONI SPINGENTI O COPERTURA NON COLLEGATA ALLA CIMASA MURARIA)

EDILIZIA ORDINARIA

✓ BUONI AMMORSAMENTI GRAZIE ALL'USO DEL
MATTONE

✓ ASSENZA DI CORDOLI DI PIANO



DANNO PREVALENTE PER
AZIONI NEL PIANO
(MECCANISMO PER "FASCE
DEBOLI")



○ IL DANNO INTERESSA IN
MODO "UNIFORME" TUTTA LA
PARETE

○ SI LOCALIZZA IN TUTTE LE
FASCE, PRIMA CHE NEI
MASCHI MURARI



○ I MASCHI SI DANNEGGIANO
IN GENERE ALLA BASE, SOLO
A SEGUITO DI SIGNIFICATIVI
SPOSTAMENTI

Simulazione del danno in un edificio a San Felice sul Panaro

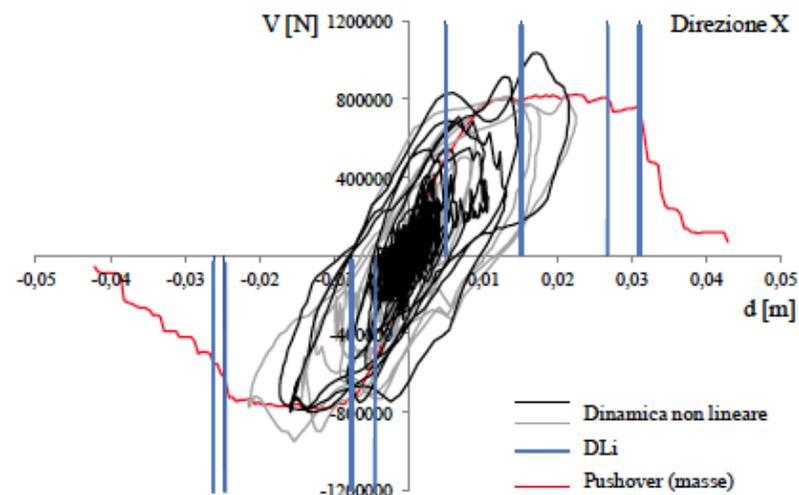
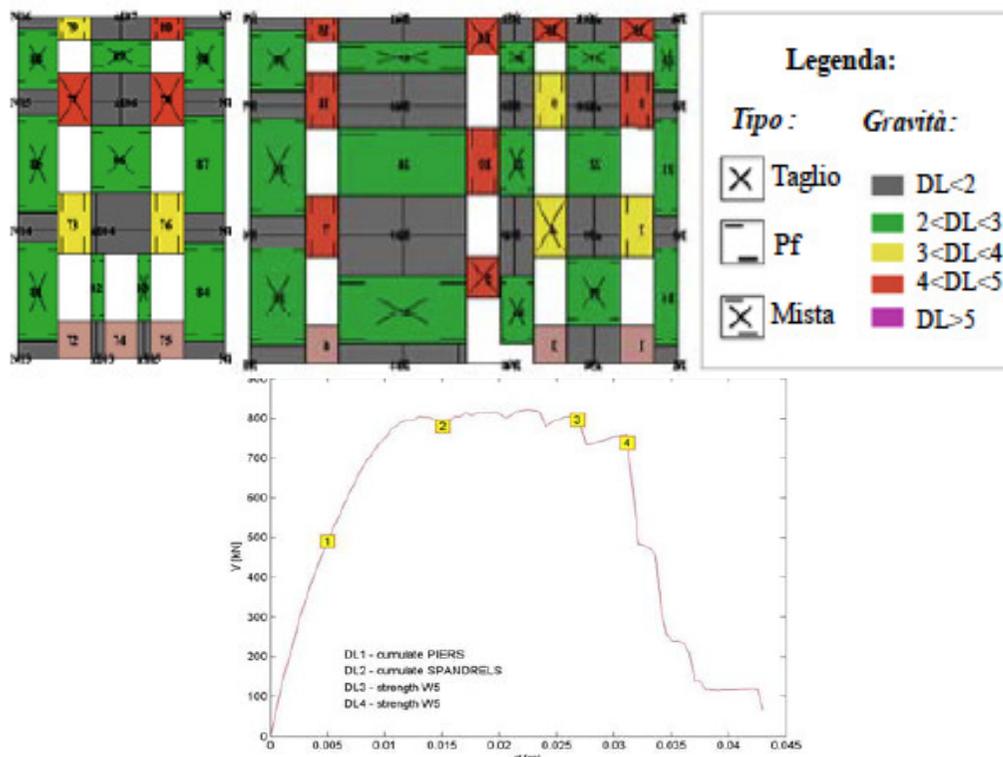


Figura 18. Direzione X: confronto tra le analisi non lineari statiche e dinamiche

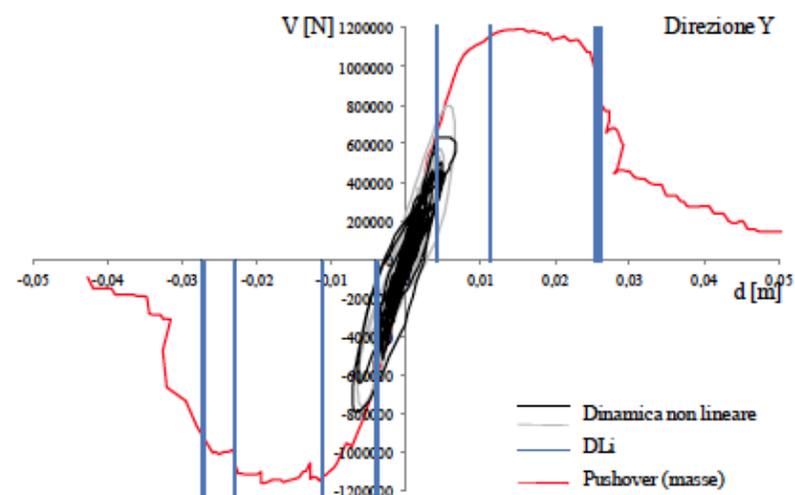
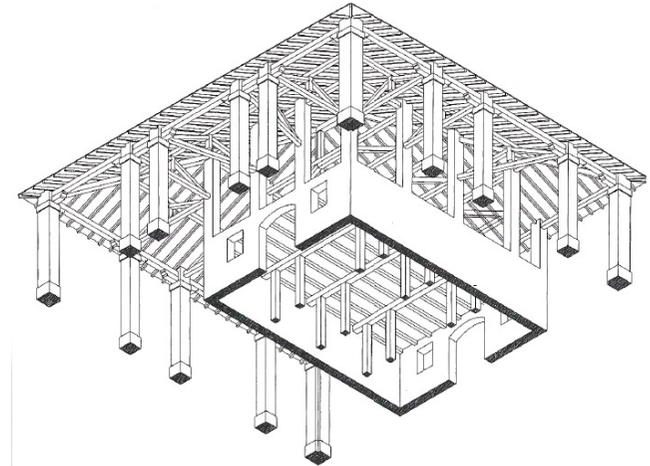


Figura 19. Direzione Y: confronto tra le analisi non lineari statiche e dinamiche

VULNERABILITA'

- CATTIVO STATO DI MANUTENZIONE
- PRESENZA DI PILASTRI MURARI MOLTO SNELLI E DI POCHE PARETI PIENE
- PERIODI DI VIBRAZIONE PIUTTOSTO LUNGHI
- LIMITATO GRADO DI IPERSTATICITÀ, LEGATO ALL'ASSENZA DI UNA STRUTTURA DI COPERTURA BEN ORGANIZZATA E CONTROVENTATA
- SONO PRESENTI CAPRIATE NELLA ZONA CENTRALE, DA CUI SI DIPARTONO UNA SERIE DI PUNTONI DI FALDA SPINGENTI SULLE PARETI LATERALI E SUI PILASTRI DEL PROSPETTO

CASOLARI RURALI



DANNI:

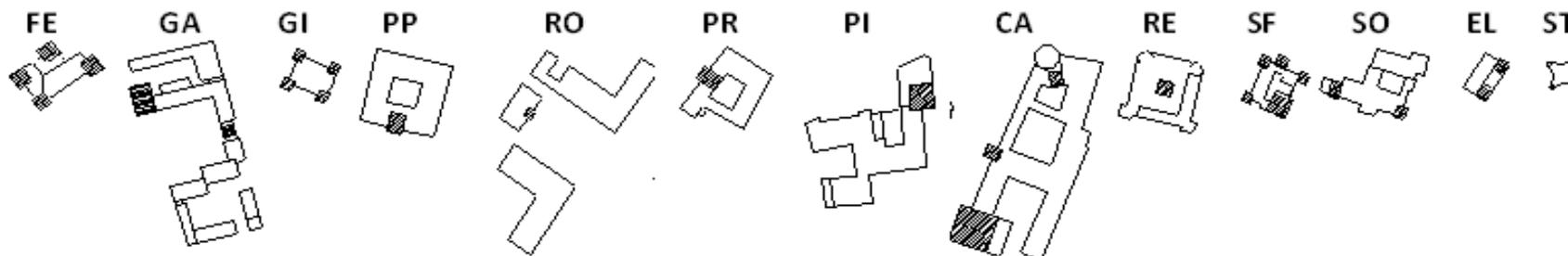
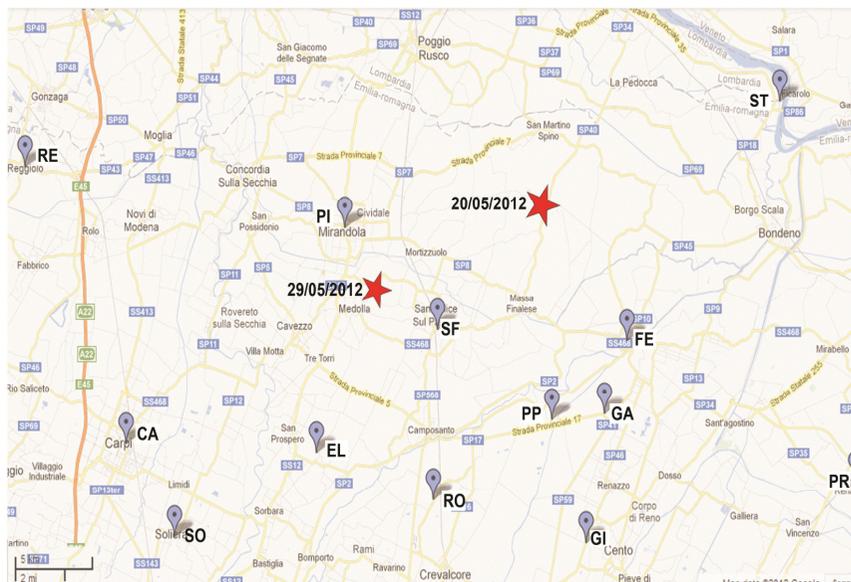
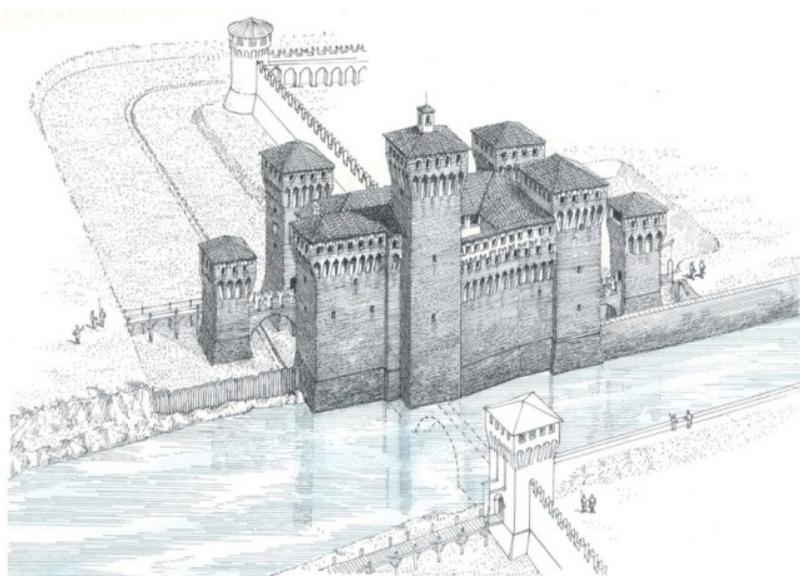
I DANNI RICORRENTI OSSERVATI SONO TIPICAMENTE ASSOCIATI ALLA SPINTA DI ELEMENTI DELLA COPERTURA NON ADEGUATAMENTE COLLEGATI, CON APERTURA DEI GIUNTI NELLA SEZIONE DI BASE DEI PILASTRI MURARI



Esempi di rotazioni con parzializzazione alla base dei pilastri del prospetto principale

ROCCE FORTIFICATE

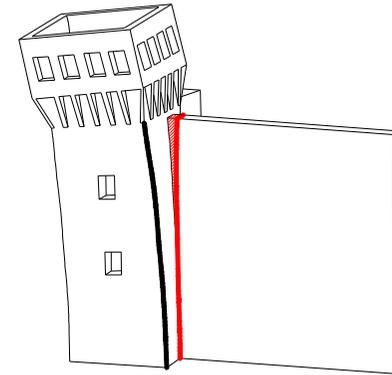
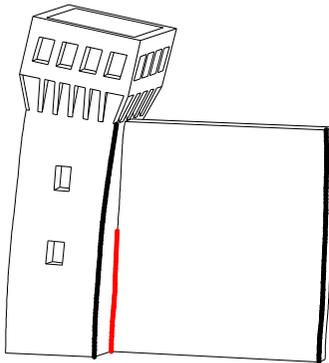
- COSTRUZIONI FORTIFICATE MEDIEVALI COSTRUITE COME FORTILIZIO MILITARE
- PRESENZA DI UN BASTIONI E TORRI, COLLEGATI PER MEZZO DI MURA DEFENSIVE



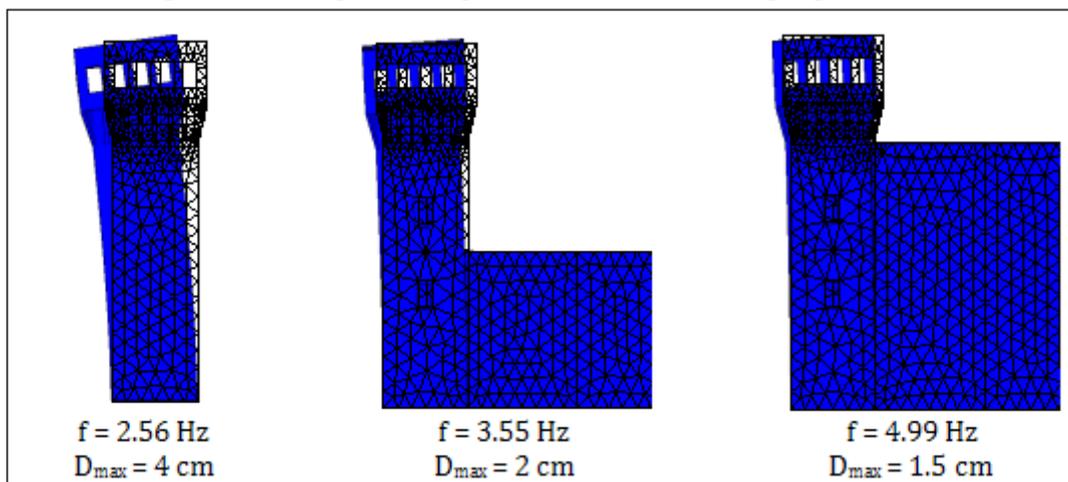
0 50m

ROCCE FORTIFICATE

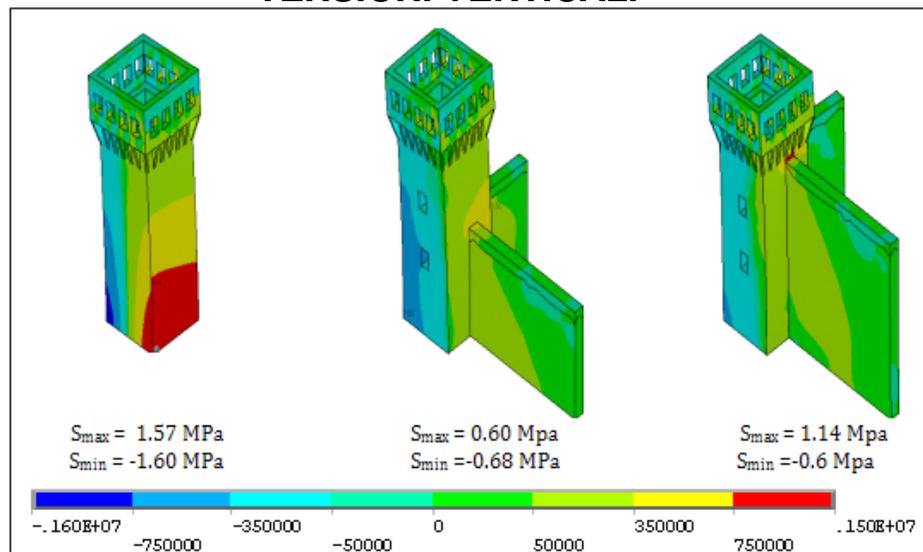
- TORRI D'ANGOLO COLLEGATE AI MURI PERIMETRALI SENZA CONTINUITÀ ED ALLINEAMENTO → CONCENTRAZIONI DI SOLLECITAZIONI → FLESSIONE SUI MURI DELLA TORRE, CONDIZIONI DI VINCOLO ECCENTRICO CHE FAVORISCONO UNA RISPOSTA TORSIONALE.
- LA DIVERSA ALTEZZA E SNELLEZZA DEI MURI PERIMETRALI DELLA FORTEZZA E DELLA TORRE → DIVERSA RISPOSTA DINAMICA AD AZIONI ORIZZONTALI, CARATTERIZZATA DA UNA DEFORMAZIONE PREVALENTEMENTE A TAGLIO PER I PRIMI E FLESSIONALE PER LA SECONDA.



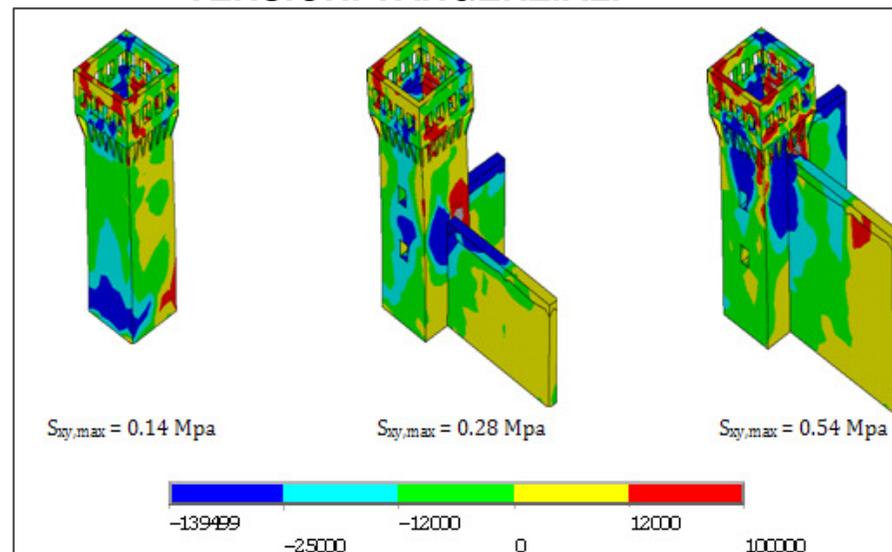
DEFORMATE OTTENUTE DALL'ANALISI SPETTRALE



TENSIONI VERTICALI

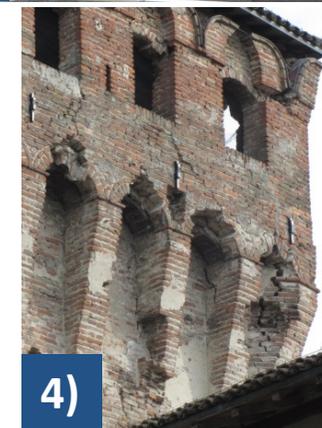
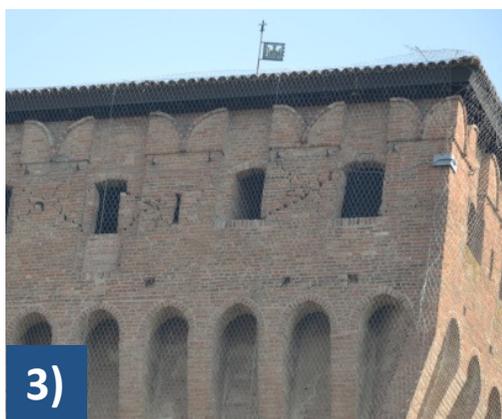


TENSIONI TANGENZIALI



ROCCE FORTIFICATE

- 1) LESIONI A TAGLIO NEL CORPO PRINCIPALE DELLE TORRI
- 2) DANNI FAVORITI DALLA PRESENZA DI COPERTURE SPINGENTI O MAL COLLEGATE
- 3) DANNI CONCENTRATI IN SOMMITÀ NEI MASCHI MURARI E NELLE MERLATURE
- 4) LESIONI NELLE MENSOLE DI MURATURA CHE SORREGGONO LA PARTE SOMMITALE





TALVOLTA
GUGLIA
SLANCIATA

CELLA
CAMPANARIA

FUSTO CON
PICCOLE
APERTURE
ALLINEATE

CIASCUNO DEI TRE ELEMENTI È CARATTERIZZATO DA SPECIFICI MECCANISMI DI DANNO E COLLASSO

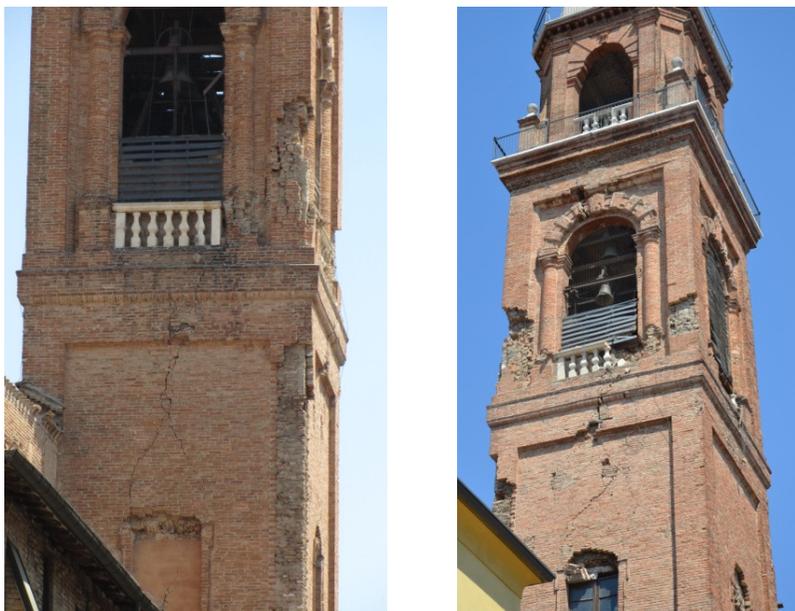
✓ STRUTTURE FLESSIBILI

✓ IL COLLEGAMENTO A STRUTTURE ADIACENTI PIÙ RIGIDE (LA CHIESA) RIDUCE IL PERIODO DI VIBRAZIONE E MODIFICA IL COMPORTAMENTO

VINCOLATI SU UN LATO

CAMPANILI ISOLATI

✓ Campanile del Duomo di Mirandola



- Sollecitazioni di taglio nel fusto, aggravate dalla presenza di aperture allineate su tale asse
- Nella cella campanaria le sollecitazioni di compressione si concentrano nei pilastri murari, (collasso locale delle paraste esterne)
- Deformazione permanente torsionale, causata dal vincolo asimmetrico

✓ Campanile di Buonacompra



- Danno per pressoflessione alla base, subito sopra il basamento, particolarmente robusto
- Crollo della guglia

✓ Chiesa di S. Francesco di Assisi (Finale Emilia)



✓ Rocca di Galeazza



✓ Palazzo di Pico



VULNERABILITA'

- SNELLEZZA
- AMPLIFICAZIONE DELL'INPUT PER L'EFFETTO FILTRO
- MOTO SISMICO CON DOMANDE DI SPOSTAMENTO SPETTRALE ELEVATE AI LUNGI PERIODI
- ELEVATA COMPONENTE SUSSULTORIA NELL'AREA EPICENTRALE

DANNO OSSERVATO

- SCONNESSIONI
- SCORRIMENTI
- CROLLI A TERRA

A Mirandola l'accelerazione spettrale per un periodo $T=0.6$ s ha addirittura superato i 3 g → un elemento ha ricevuto istantaneamente un'azione risultante verso l'alto pari a 2 volte il proprio peso, che lo ha sollevato!!!

L'uso di modelli meccanici, purchè basati su una attenta conoscenza della costruzione e affiancati da interpretazioni qualitative, è essenziale nella valutazione del giusto punto di equilibrio tra sicurezza e conservazione.

Nel secolo scorso, in Italia, gli interventi di consolidamento sul costruito sono stati progettati senza far uso di modelli meccanici, e ciò ha portato:

- Interventi di adeguamento invasivi, dettati dalla fiducia sulla “tecnica moderna” e sui principi di irrigidimento e resistenza.
- Interventi di miglioramento, basati su un approccio qualitativo, talvolta insufficienti, altre volte inutili.

Gli effetti degli ultimi terremoti italiani sul patrimonio storico ci impongono di operare una strategia di prevenzione consapevole degli edifici storici, che consideri la sicurezza, conservazione e sostenibilità.