

$$\text{RISCHIO SISMICO} = \text{ESPOSIZIONE} \times \text{VULNERABILITÀ} \times \text{PERICOLOSITÀ}$$

PERICOLOSITA' SISMICA (HAZARD) Stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto ad un evento sismico, in una determinata area.

X

VULNERABILITA' (VULNERABILITY) La vulnerabilità esprime la correlazione non lineare esistente tra l'intensità di un evento esterno (es. terremoto) ed il danno atteso; ogni sistema ha quindi una propria curva di vulnerabilità.

X

ESPOSIZIONE (EXPOSURE) Ciò che può essere negativamente affetto da un evento sismico e sul quale viene svolta l'analisi di rischio sismico.

=

RISCHIO SISMICO Probabilità che si verifichi o che venga superato un certo livello di danno o di perdita in termini economico-sociali in un prefissato intervallo di tempo ed in una data area, a causa di un evento sismico.

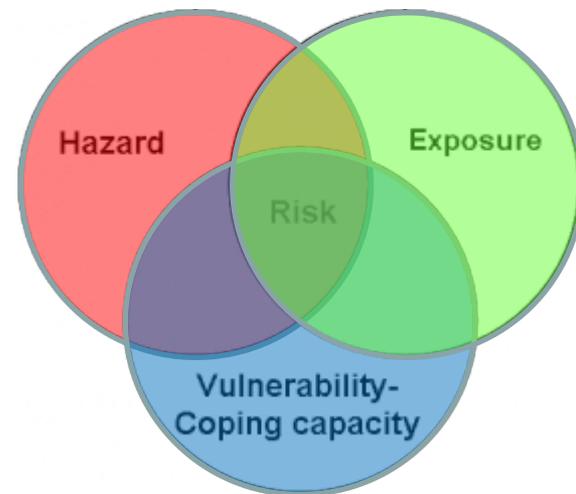




$$\text{RISCHIO SISMICO} = \text{ESPOSIZIONE} \times \text{VULNERABILITÀ} \times \text{PERICOLOSITÀ}$$

A. Valutazione probabilistica («affidabilistica»):

- definizione della pericolosità locale (in senso probabilistico)
- costruzione della curva (o delle curve) di vulnerabilità
- convoluzione in senso probabilistico delle due grandezze
- confronto con probabilità di superamento annue prefissate in funzione dell'esposizione del bene



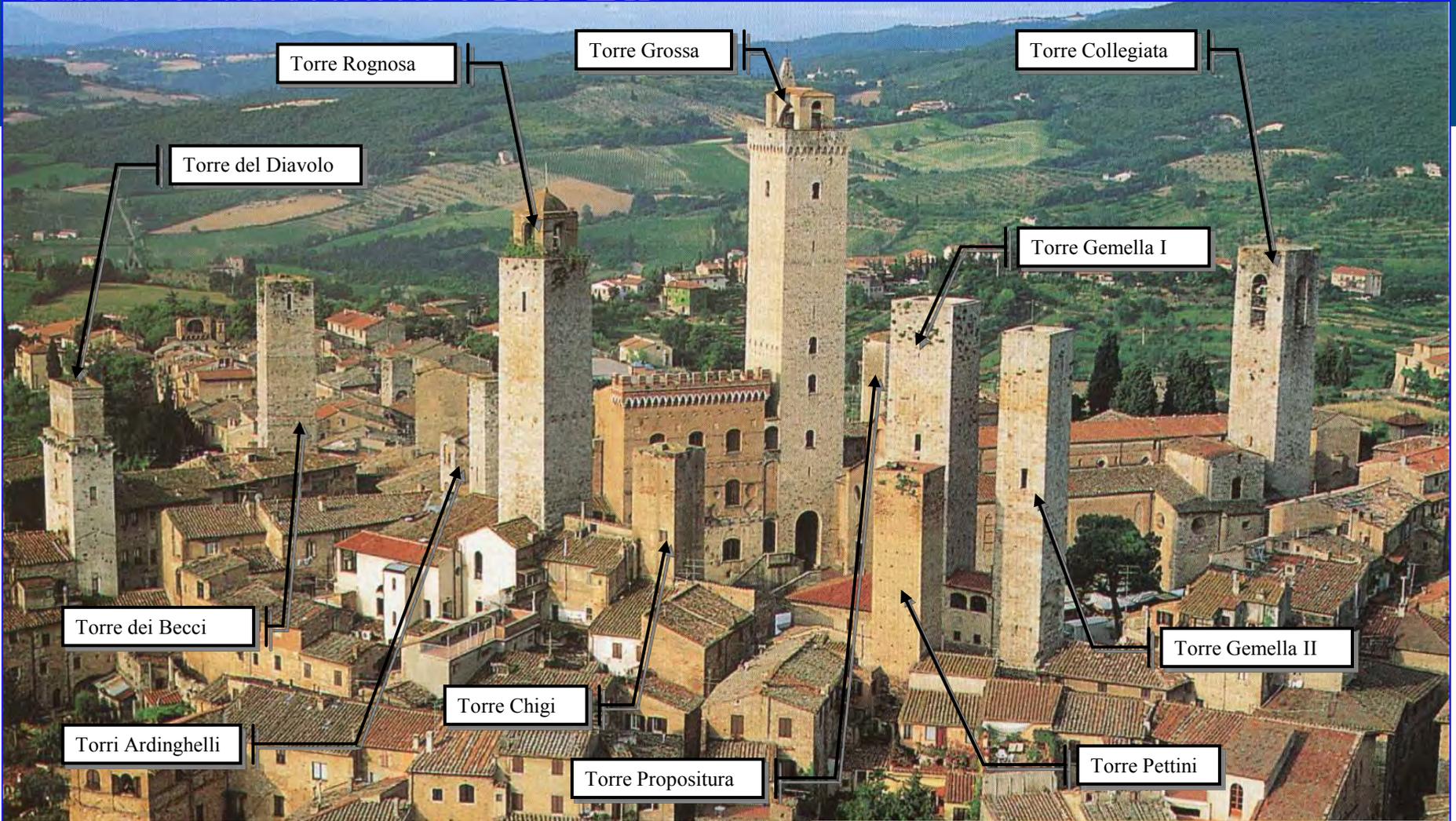
B. Valutazione semplificata

(approccio probabilistico di «primo livello», introducendo opportuni stati limite)

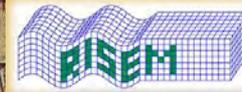


*Direttiva Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011
«Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008»*

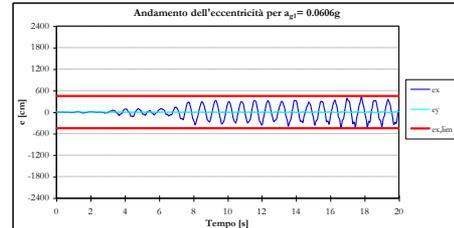
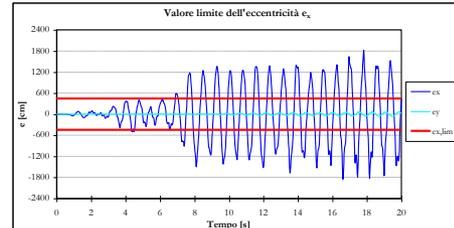
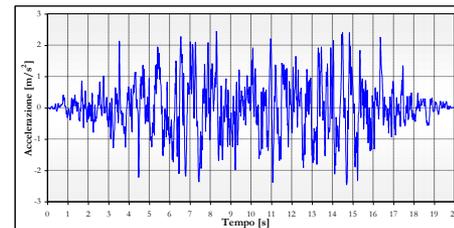
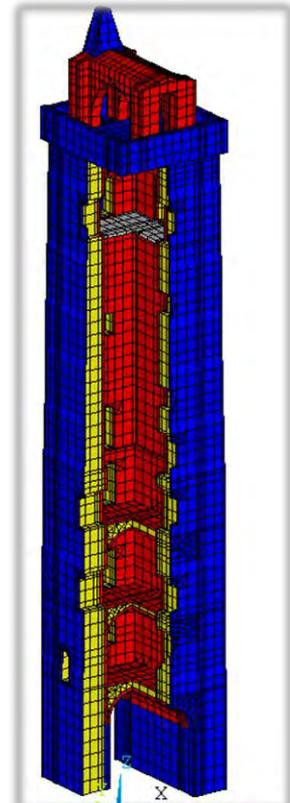
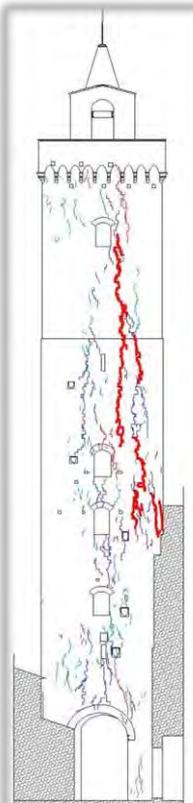
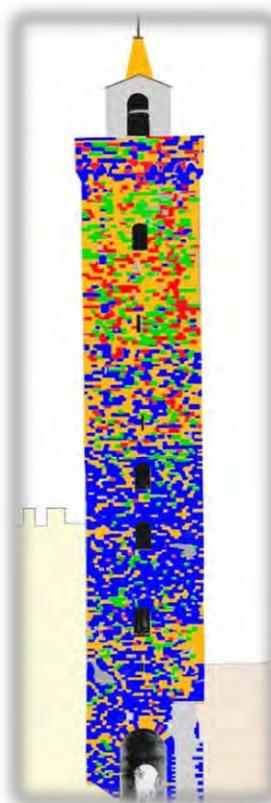
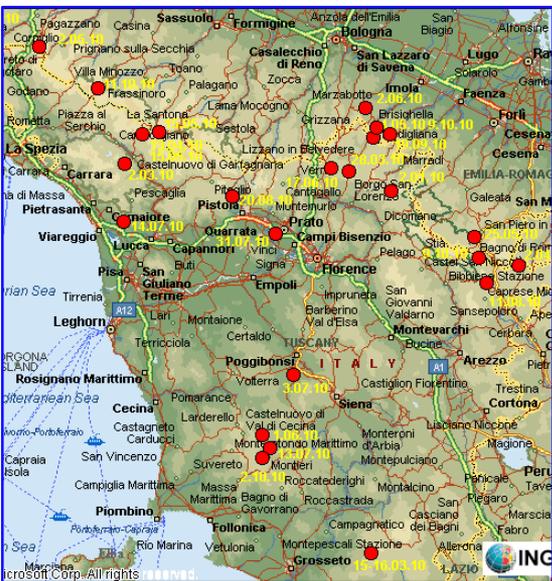
DPCM 9 febbraio 2011 (già Circolare MiBAC 26/2010)



Bartoli G., Betti M. (2011). **The RISEM project: Seismic Risk of Monumental Buildings**. 5th International Congress "Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin", Istanbul, Turkey 22-25/11/2011.



Rischio Sismico negli Edifici Monumentali



Definizione della pericolosità sismica

Rilievo e caratterizzazione delle torri

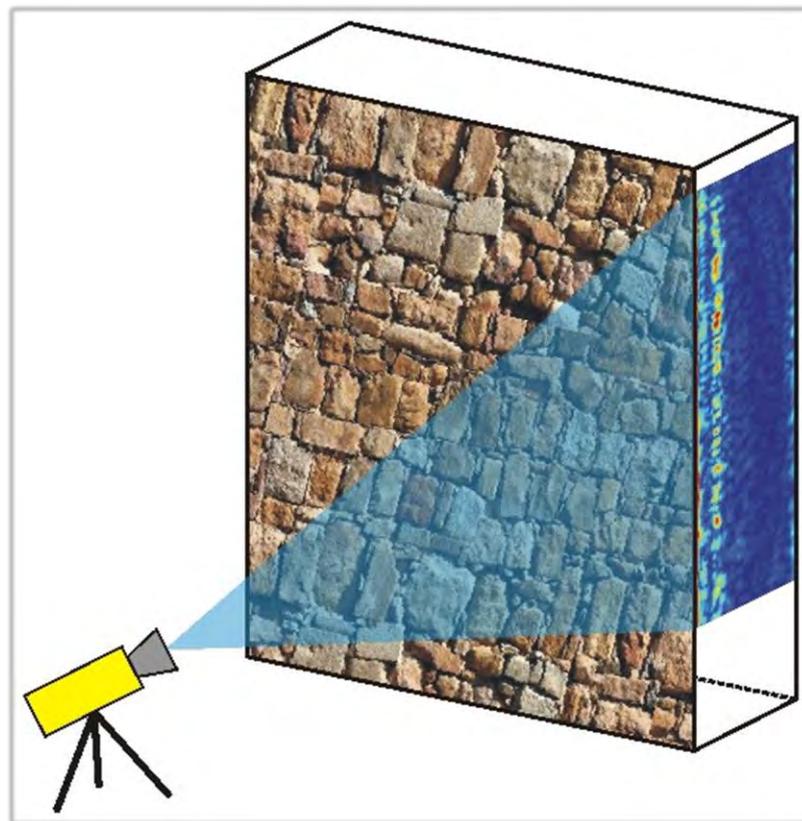
Modellazione numerica

Valutazione del rischio sismico

Definizione delle caratteristiche meccaniche e dinamiche delle torri



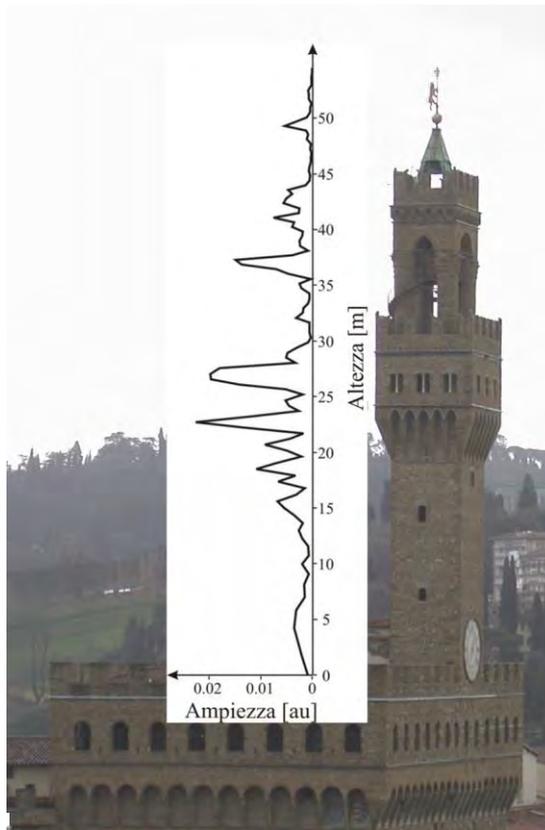
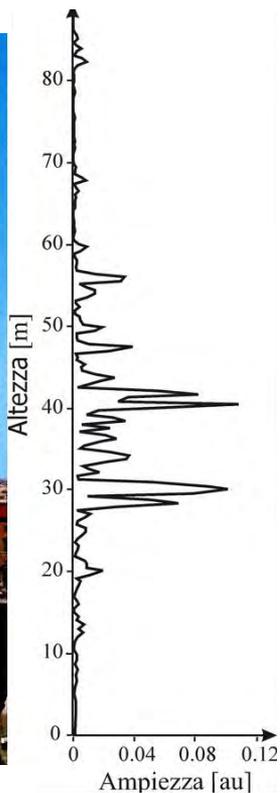
Caratterizzazione dinamica delle torri con radar interferometrico



Caratterizzazione delle murature con radar penetrante non a contatto



Caratterizzazione dinamica di monumenti con radar interferometrico



Distanza operativa: **fino a 2 Km**

Risoluzione in range: **40 cm**

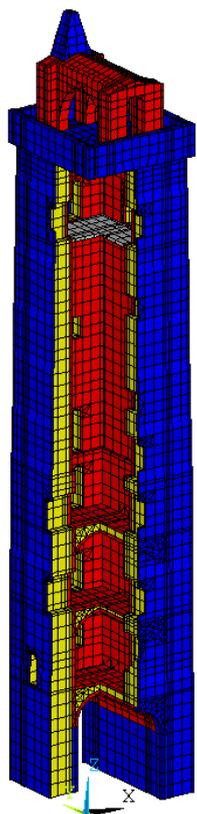
Campionamento: **10-100 Hz**

Accuratezza: **< 0.1 mm**

Pieraccini M., Dei D., Betti M., Bartoli G., Tucci G., Guardini N. (2014). **Dynamic identification of historic masonry towers through an expeditious and no-contact approach: application to the “Torre del Mangia” in Siena (Italy).** *J. of Cultural Heritage* 2014; 15(3): 275–282.

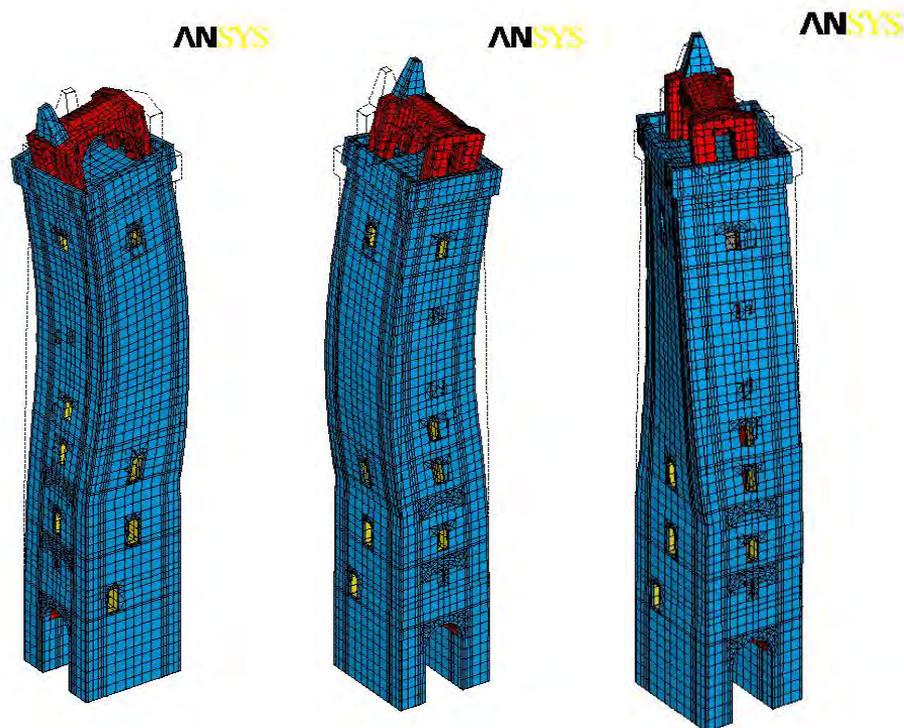
Fratini M., Pieraccini M., Betti M., Bartoli G., Atzeni C. (2011). **Assessment of vibration reduction on the Baptistery of San Giovanni in Florence (Italy) after vehicular traffic block.** *J. of Cultural Heritage* 2011; 12(3), pp. 323-328

Modellazione numerica del comportamento delle torri



	MATERIALS	E [N/mm ²]	γ [kN/m ³]
	STONE MASONRY	11000	24
	INFILL MASONRY	1000	20
	BRICK MASONRY	3000	18

Definizione dei modelli numerici di riferimento



Analisi del comportamento dinamico e sotto azione sismica

Bartoli G., Betti M., Giordano S. (2013). In situ static and dynamic investigations on the “Torre Grossa” masonry tower. *Engineering Structures* 2013; 52: 718-733.



LV1

Graduatoria di rischio

LV2

Interventi locali

LV3

Interventi diffusi

➤ Definizione dei risultati in termini di **indicatori sintetici**

- **indice di sicurezza sismica**, dato dal rapporto tra il periodo dell'azione sismica che porta al generico SL ed il corrispondente periodo di riferimento $T_{R,SL}$

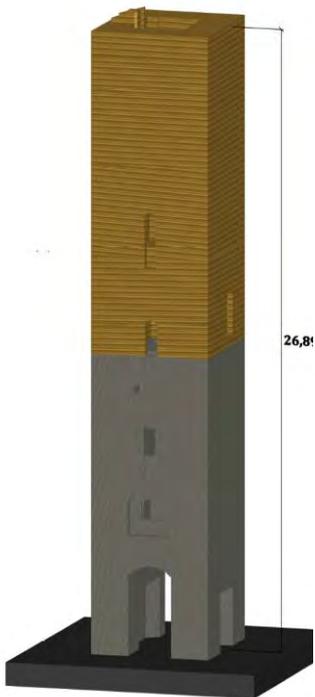
$$I_{S,SLV} = \frac{T_{SLV}}{T_{R,SLV}} \quad I_{S,SLV} \geq 1 \rightarrow \text{sicurezza}$$

capacità
domanda

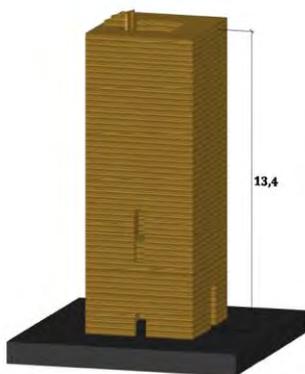
- **fattore di accelerazione**, definito dal rapporto tra l'accelerazione al suolo che porta al raggiungimento dello SLV e quella corrispondente al periodo di ritorno di riferimento, entrambe riferite alla categoria di sottosuolo A.

$$f_{a,SLV} = \frac{a_{SLV}}{a_{g,SLV}} \quad f_{a,SLV} \geq 1 \rightarrow \text{sicurezza}$$

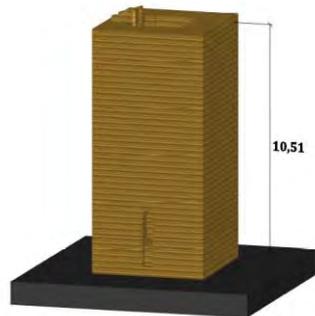
Modello A



Modello B

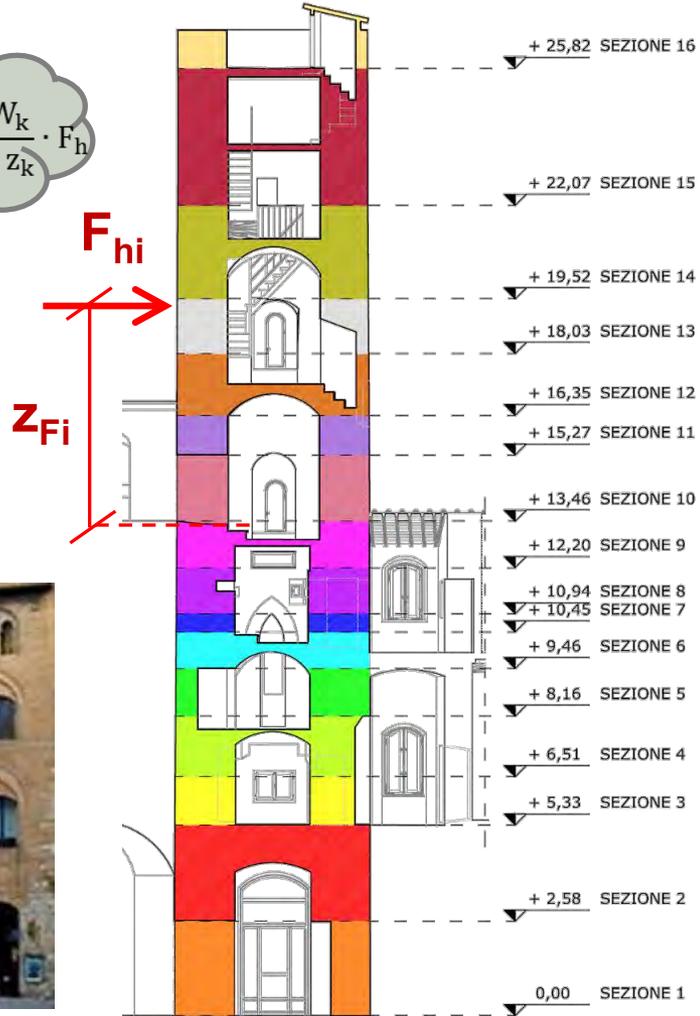


Modello C



$$F_{hi} = \frac{\sum_{k=i}^n z_k \cdot W_k}{\sum_{k=1}^n W_k \cdot z_k} \cdot F_h$$

$$M_{si} = F_{hi} \cdot z_{Fi}$$



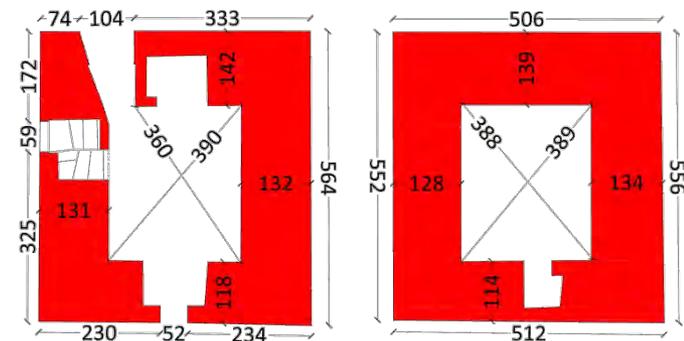
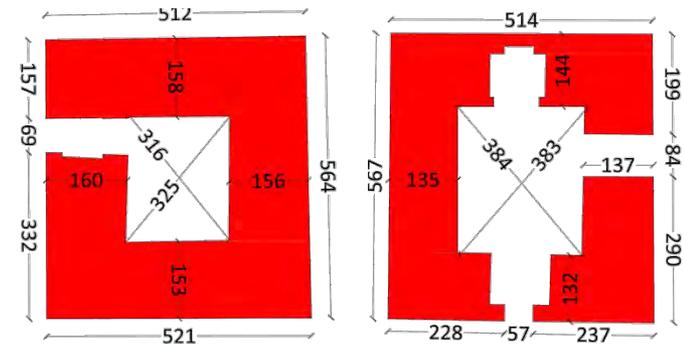
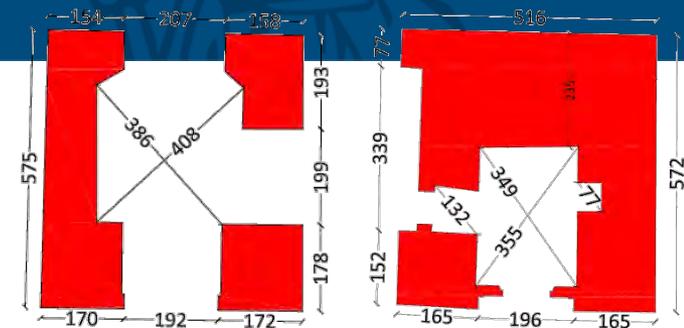
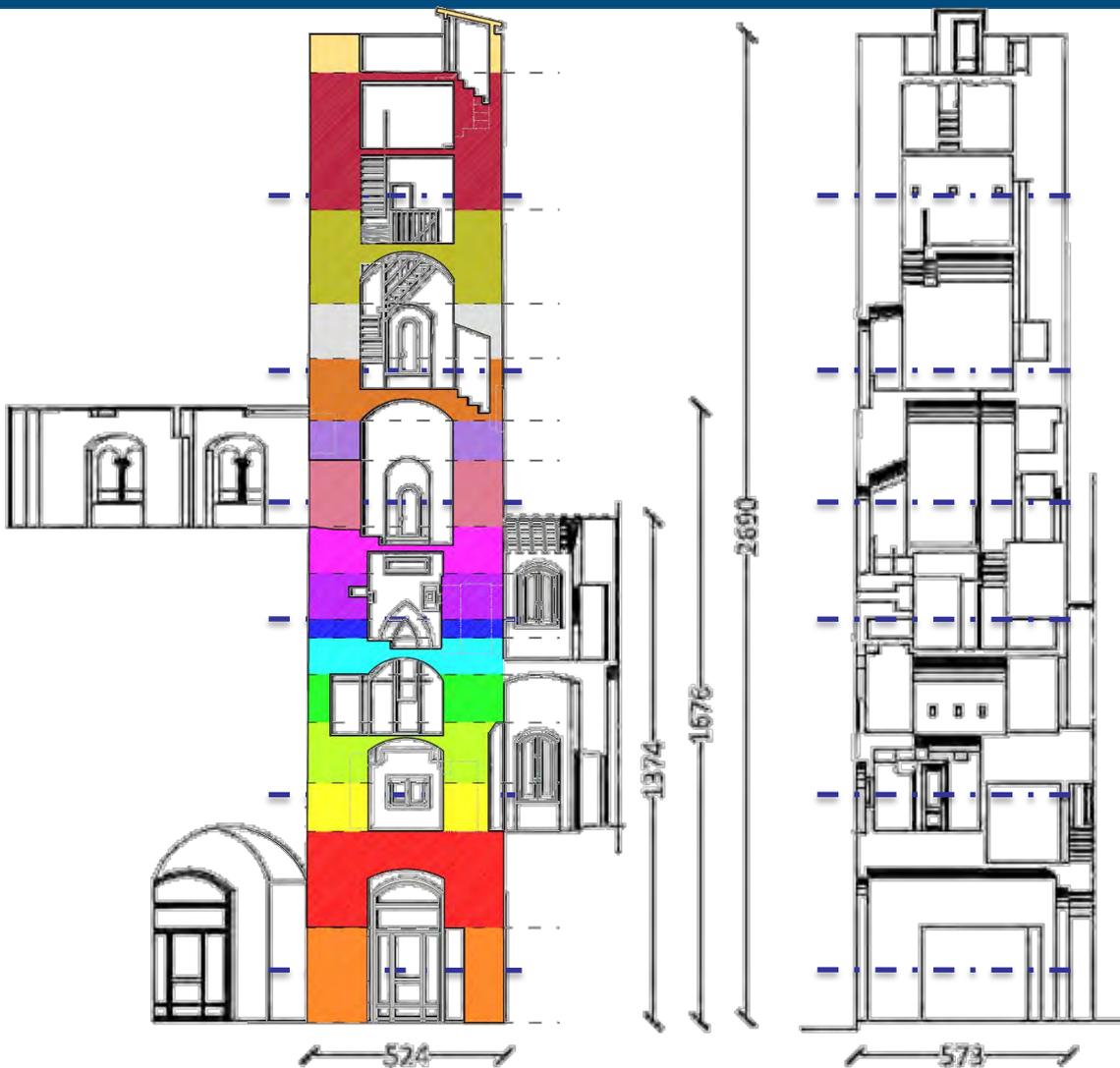
torre Chigi



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

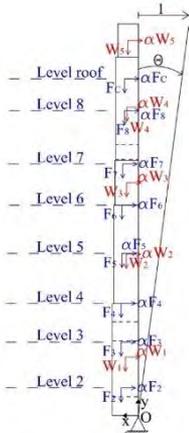
DICEA

Dipartimento di Ingegneria
Civile e Ambientale

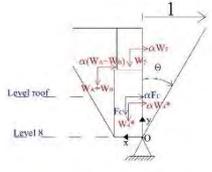


La diagnostica strutturale nel settore dei beni culturali

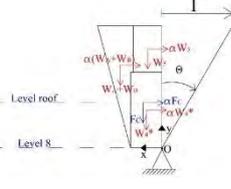
A) Ribaltamento semplice (7)



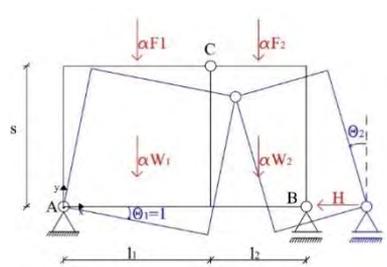
B) Ribaltamento composto (3)



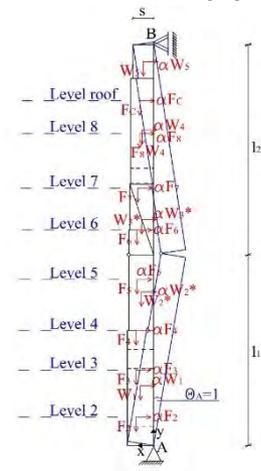
C) Ribaltamento dei cantonali (3)



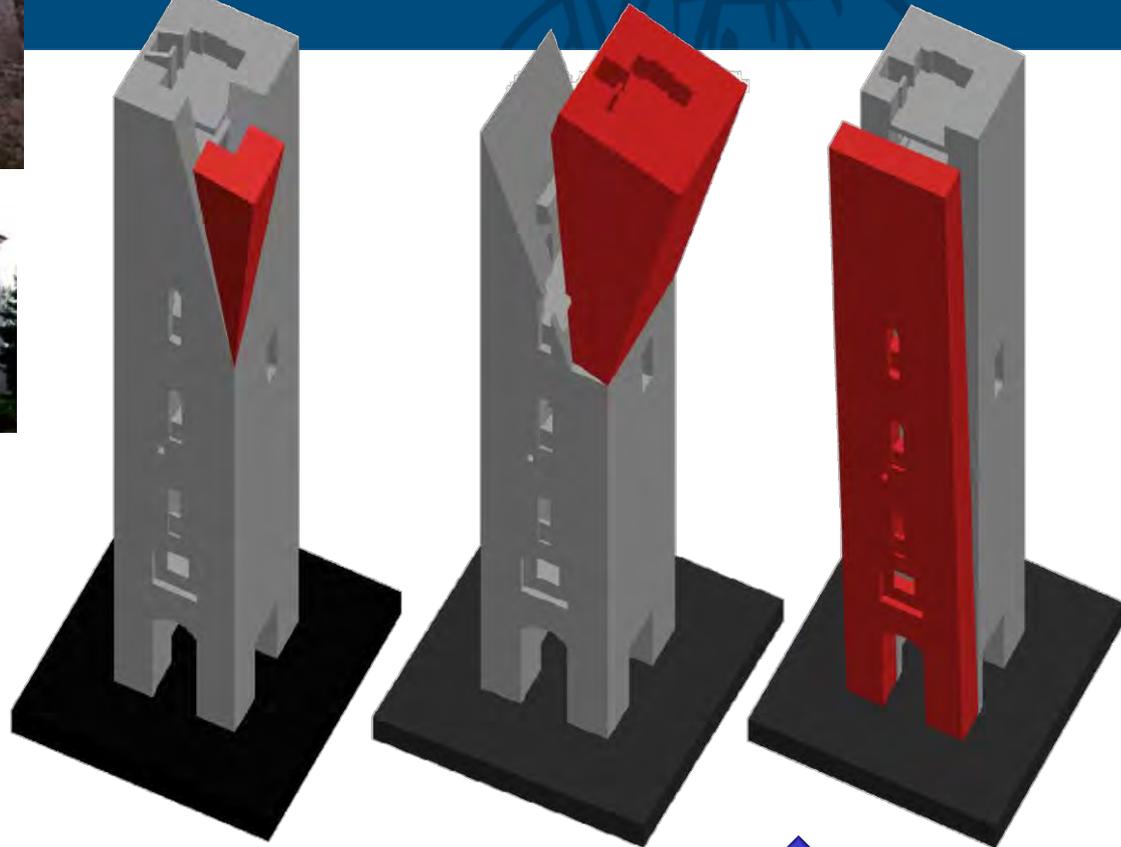
D) Rottura a flessione orizzontale (1)



E) Rottura a flessione verticale (1)



torre Cugnanesi



Meccanismi locali di collasso

- Presenza di spinte concentrate;
- Assenza di collegamento tra pareti ortogonali;
- Efficace collegamento tra pareti ortogonali;
- Assenza di collegamento ai piani

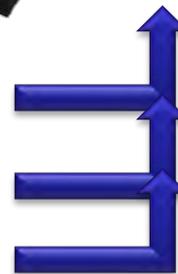
Meccanismi analizzati

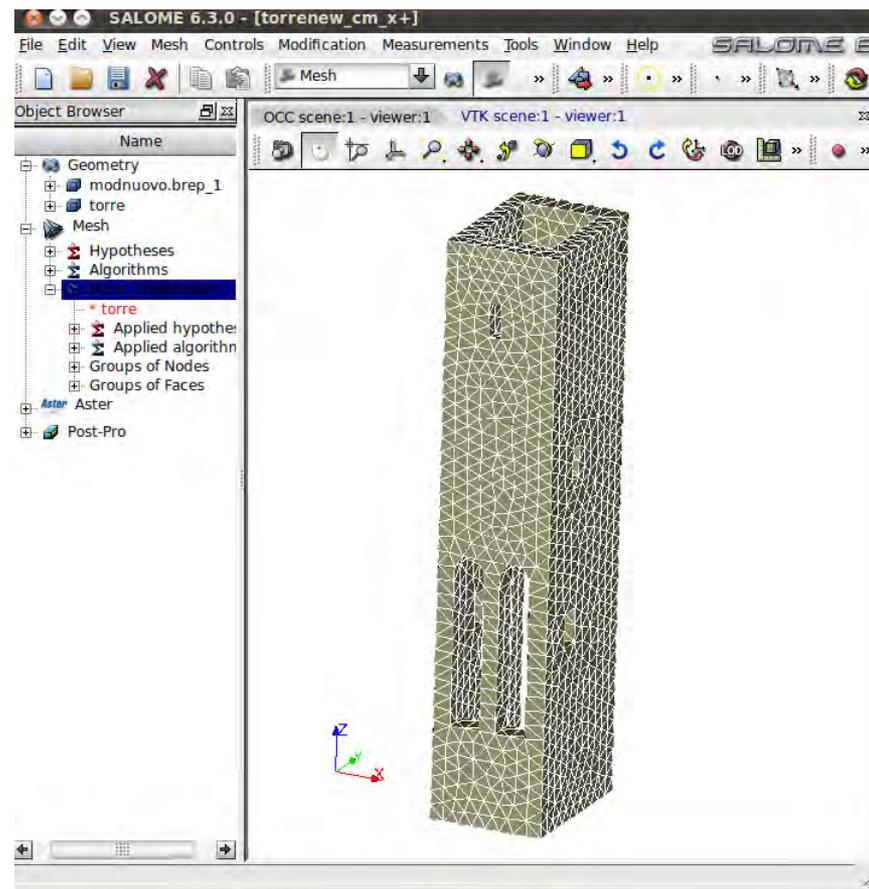
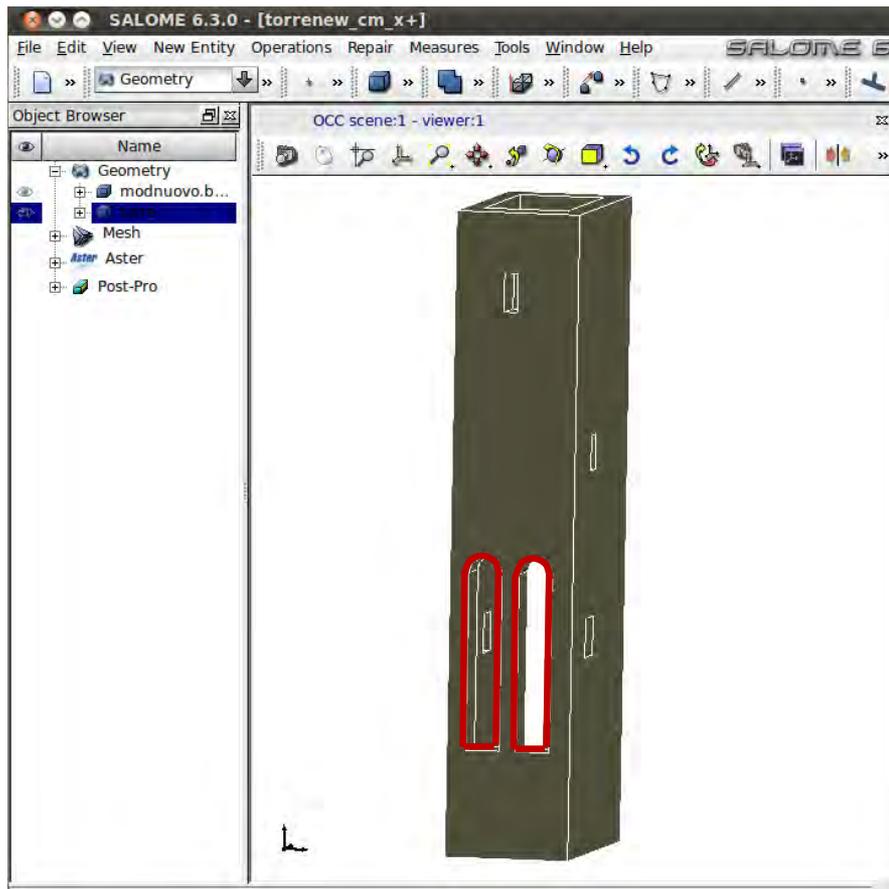


Ribaltamento cantonale

Ribaltamento composto

Ribaltamento semplice





Codice Open Source sviluppato da



torre Coppi-Campatelli

La diagnostica strutturale nel settore dei beni culturali

LA MODELLAZIONE

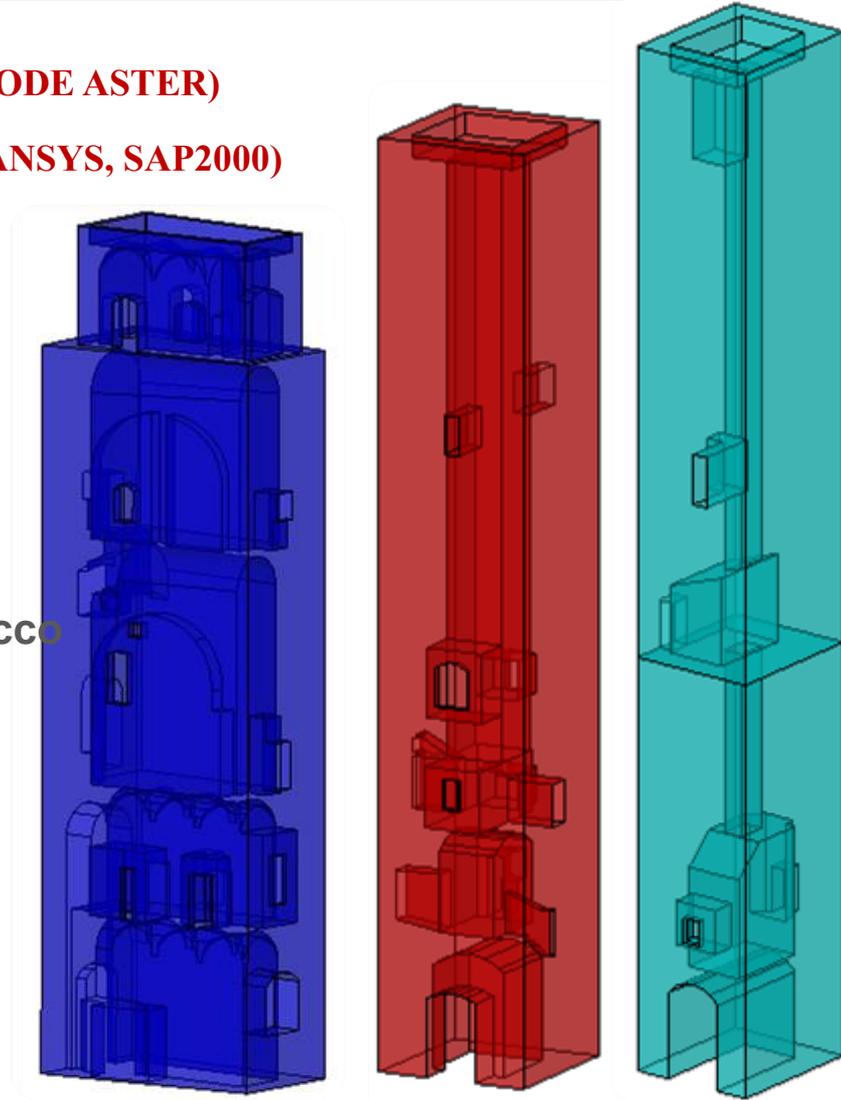
SOFTWARE «**OPEN-SOURCE**» (CODE ASTER)

SOFTWARE «**COMMERCIALI**» (ANSYS, SAP2000)

Valutare:

- 1) La sensibilità della risposta a:
 - modalità di modellazione del muro a sacco
 - parametri non lineari del materiale
- 2) Le prestazioni sismiche globali

Modellazione non lineare della struttura





MODELLO "1"

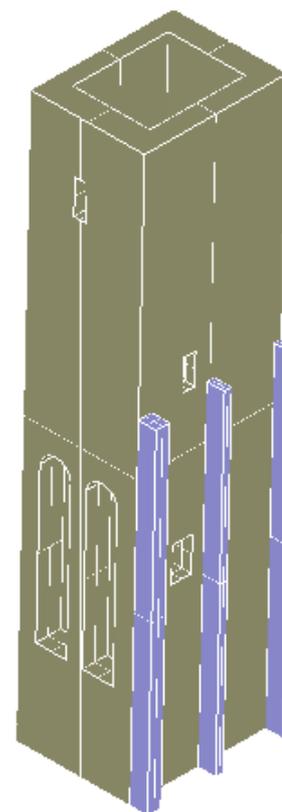
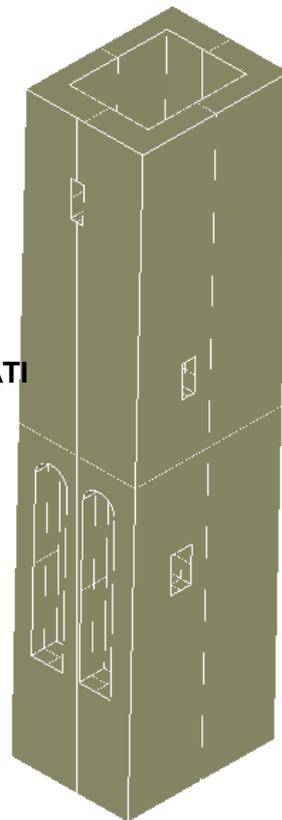
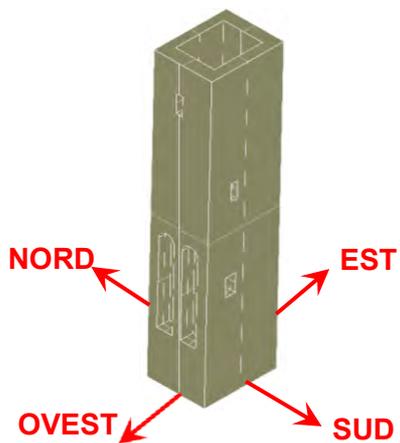
MODELLO "2A"

MODELLO "2B"

LA MODELLAZIONE

ANALISI PUSH-OVER

- ✓ DISTRIBUZIONE DEI CARICHI
PROPORZIONALE ALLE MASSE
- ✓ CURVE DI **CAPACITÀ**
- ✓ QUADRO DI **DANNO**
- ✓ INTERPRETAZIONE DEI **RISULTATI**
IN TERMINI DI **SPOSTAMENTO**
(ADRS)

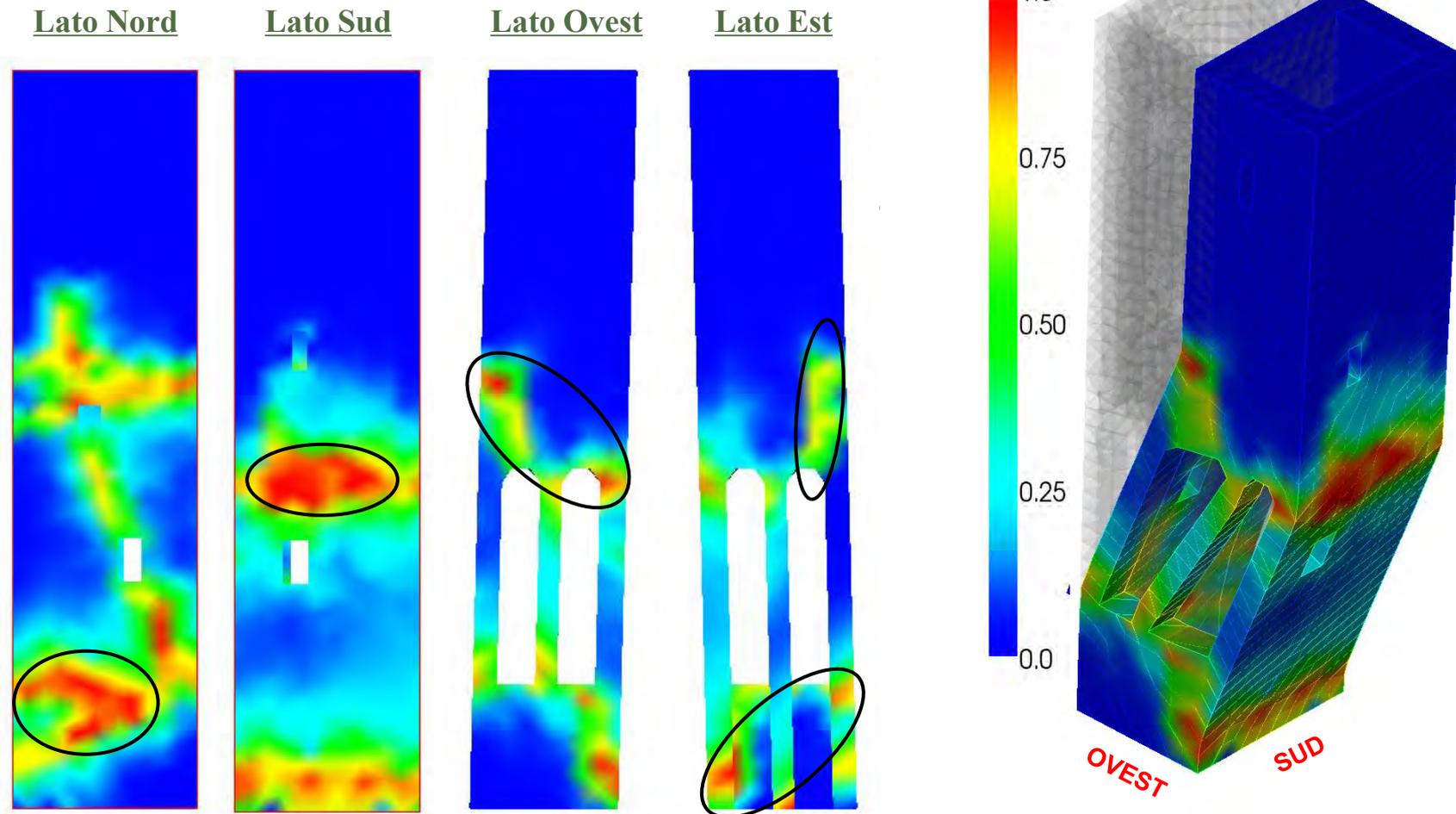


E_{eq}



$10 \cdot E_{eq}$

SOFTWARE «**OPEN-SOURCE**» (**CODE ASTER**)





Michelangelo's David

(Static and dynamic identification of statues)

Michelangelo built David between 1501 and 1504.

David stands with one leg holding its full weight (the right) and the other leg (the left) forward. Such a static position, with the right leg bearing most of the weight, caused Michelangelo to reinforce the right leg with the tree trunk

Gruppo di lavoro:

G. Bartoli, M. Betti, L. Facchini, M. Pieraccini (UNIFI)
D. Dei, F. Papi (Florence Engineering)
D. Forcellini (UNIRSM)
R. Corazzi, V. Kovačević (KOBÉ Engineering)

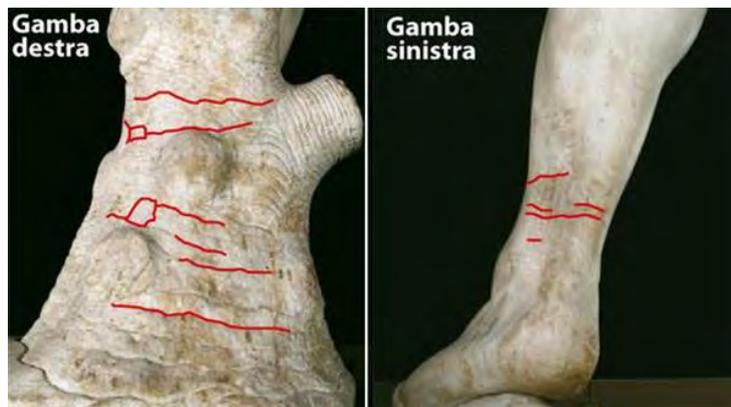




Michelangelo's David

(Static and dynamic identification of statues)

Between 1852 and 1872 a growing concern arose about the deterioration and stability of David due to a series of visible cracks. Some of these were found in the tree trunk that supports the right leg, and others in the lower part of the left leg



Borri, A., and Grazini, A. **Diagnostic analysis of the lesions and stability of Michelangelo's David**, J of Cultural Heritage 2006, 7, 273–285.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DICEA

Dipartimento di Ingegneria
Civile e Ambientale



3D laser scan survey by Prof. Marc Levoy (Stanford University), coordinator of the "Digital Michelangelo Project"

La diagnostica strutturale nel settore dei beni culturali



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DICEA

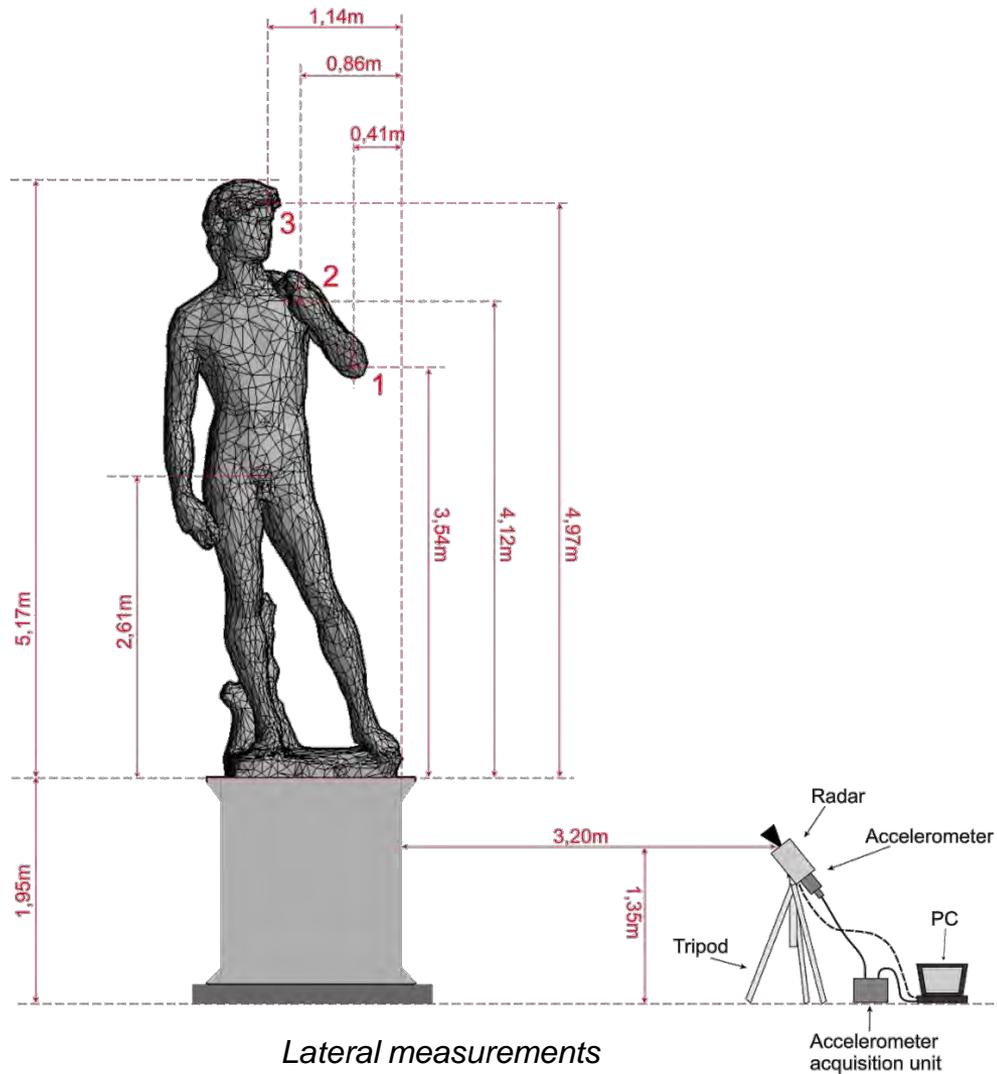
Dipartimento di Ingegneria
Civile e Ambientale



STATIC ANALYSIS: VON MISES STRESSES



La diagnostica strutturale nel settore dei beni culturali





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

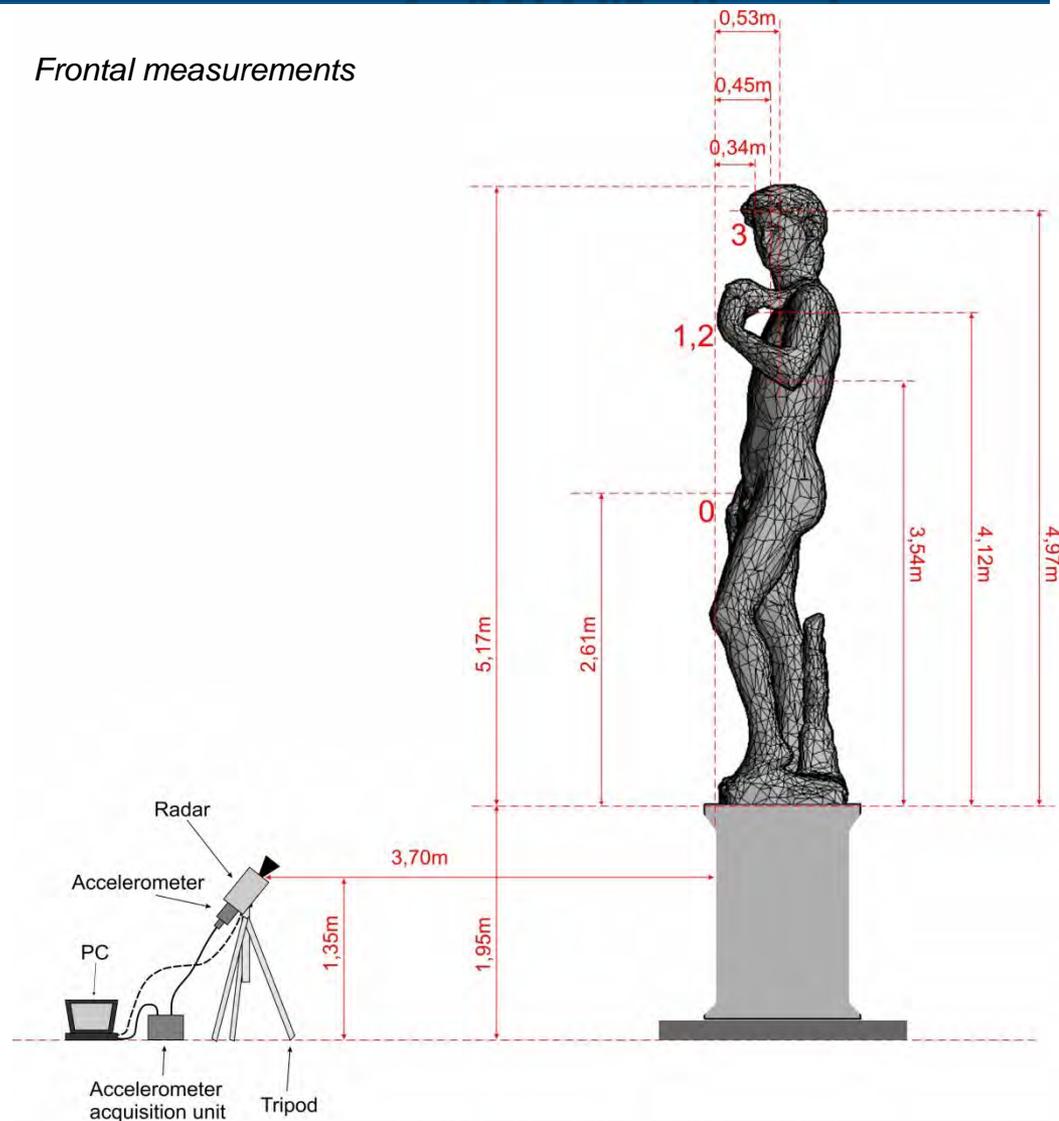
DICEA

Dipartimento di Ingegneria
Civile e Ambientale

Dynamic survey: Interferometric radar



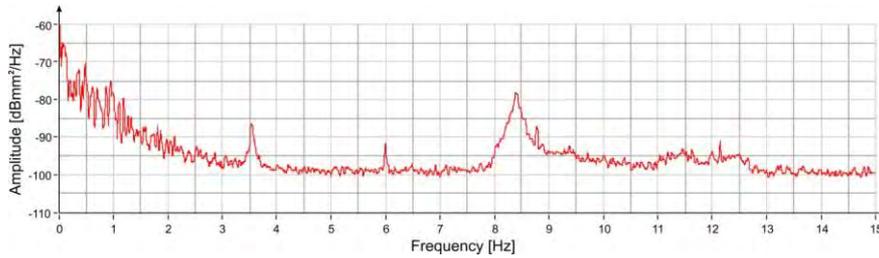
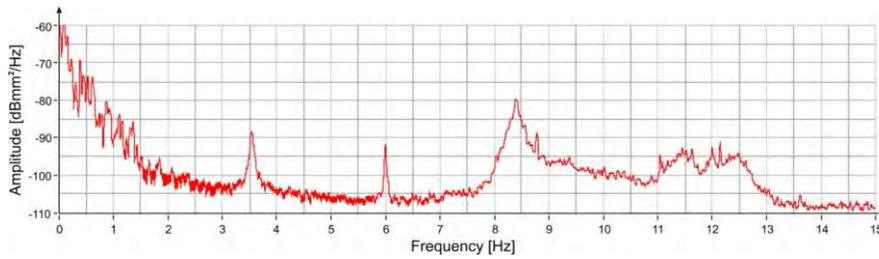
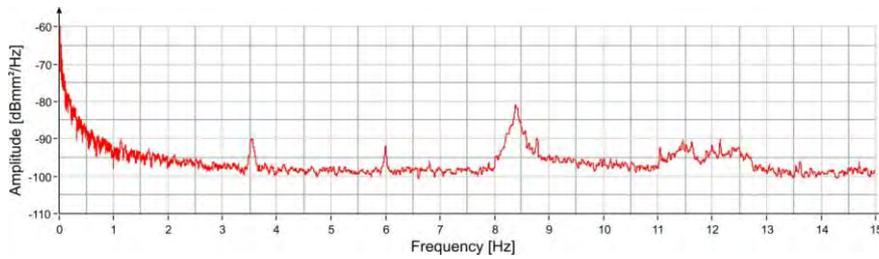
Frontal measurements



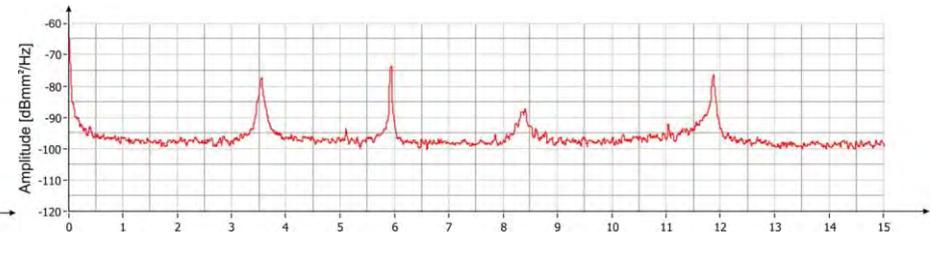
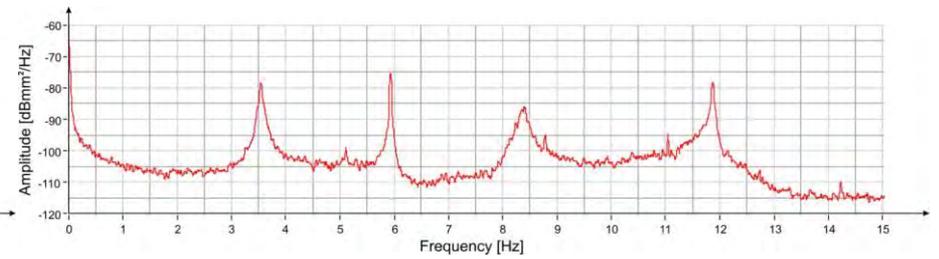
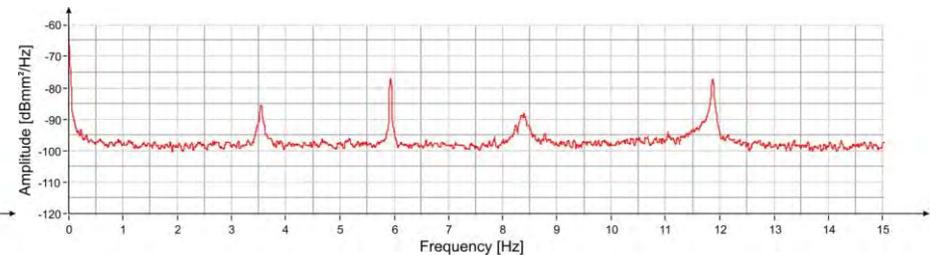
La diagnostica strutturale nel settore dei beni culturali



Lateral measurements

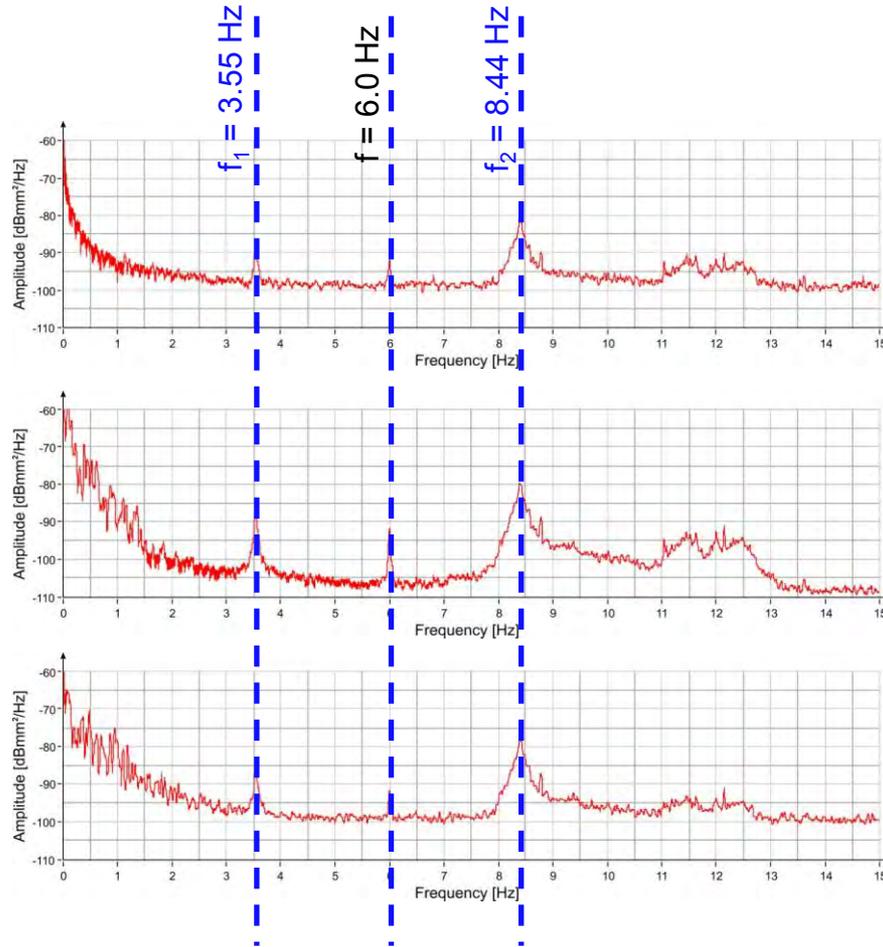


Frontal measurements

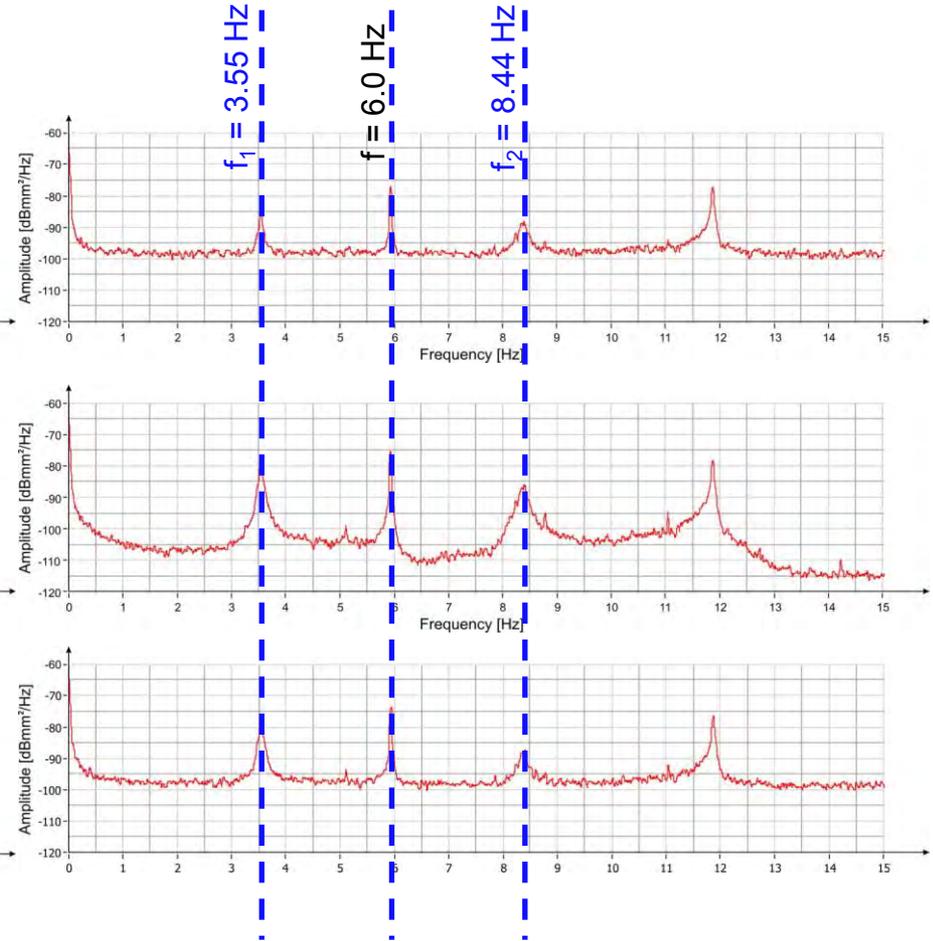




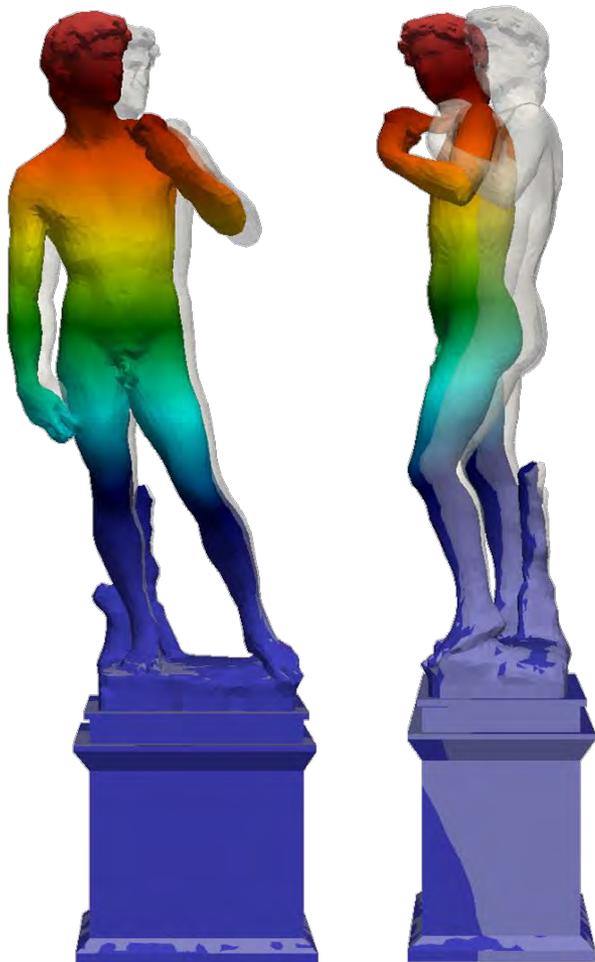
Lateral measurements



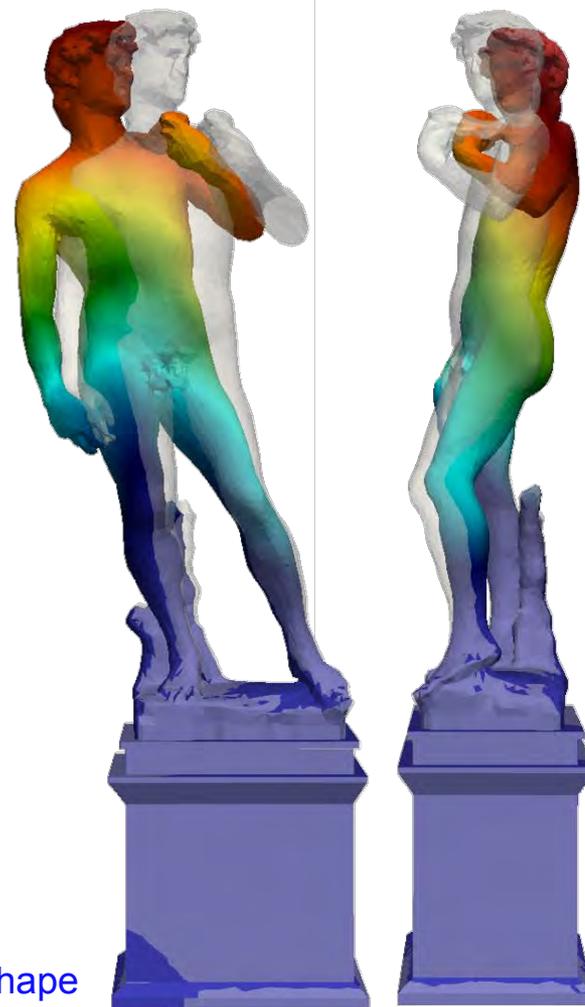
Frontal measurements



First mode shape ($f_{1,Num} = 3.5$ Hz)



Second mode shape
($f_{2,Num} = 8.4$ Hz)





Third mode shape ($f_{1,Num} = 23.1$ Hz)



Pieraccini M., Betti M., Forcelini D., Dei D., Papi F., Bartoli G., Facchini L., Corazzi R., Kovačević V.C. **Radar detection of pedestrian-induced vibrations on Michelangelo's David**. PLoS ONE 2017, **12(4)**, e0174480.



Fourth mode shape ($f_{4,Num} = 26.8$ Hz)



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DICEA

Dipartimento di Ingegneria
Civile e Ambientale



info@kobe-ie.com

What's next

«KOBE» ...

Working on two main ideas :

- 1) web based SHM with Real-Time FEM updating;
- 2) civil structures: web-FE modeling and design.

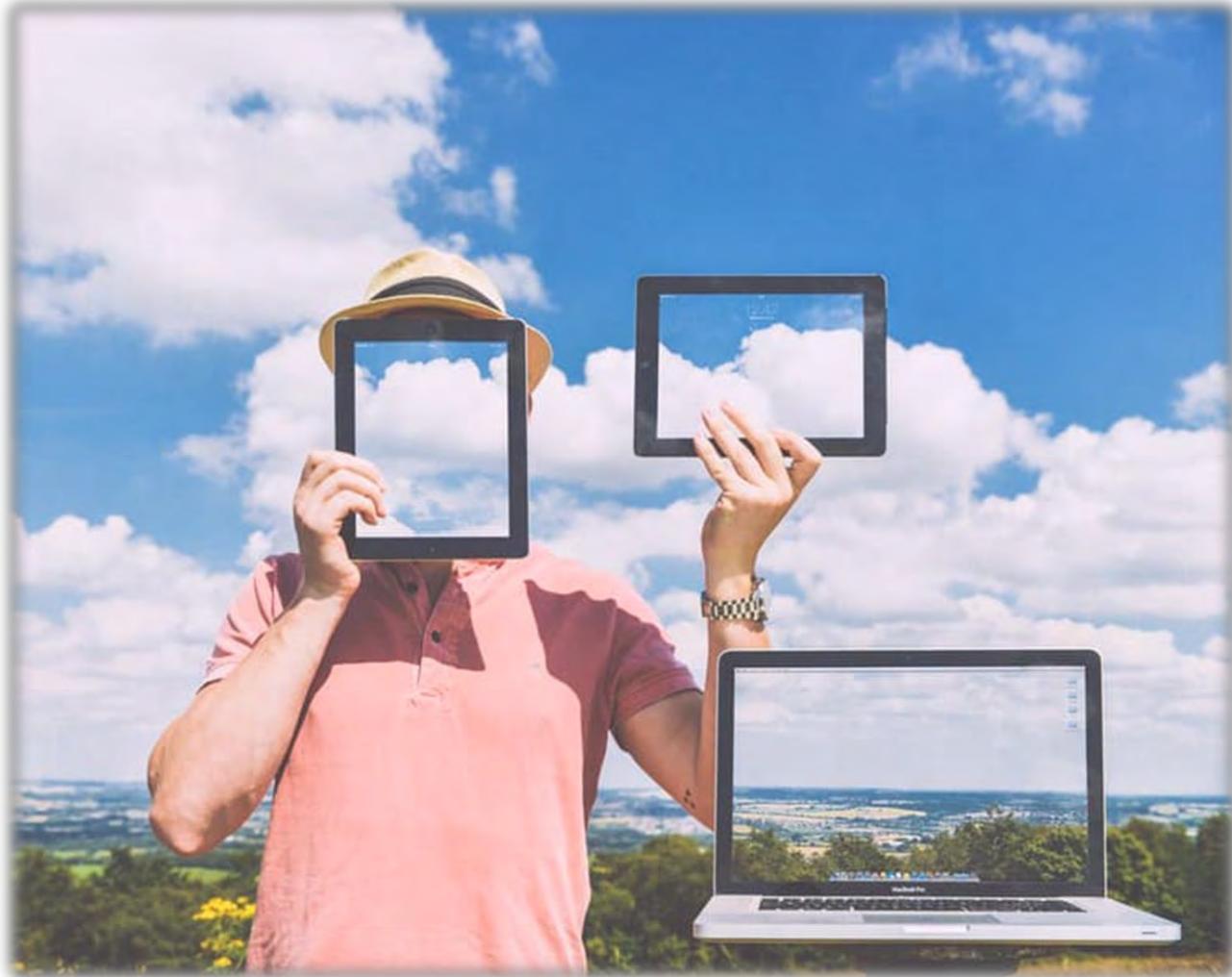




UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DICEA

Dipartimento di Ingegneria
Civile e Ambientale



info@kobe-ie.com

What's next

«KOBÉ» ...

Working on two
main ideas :

- 1) web based
SHM with Real-
Time FEM
updating;
- 2) civil structures:
web-FE
modeling and
design.

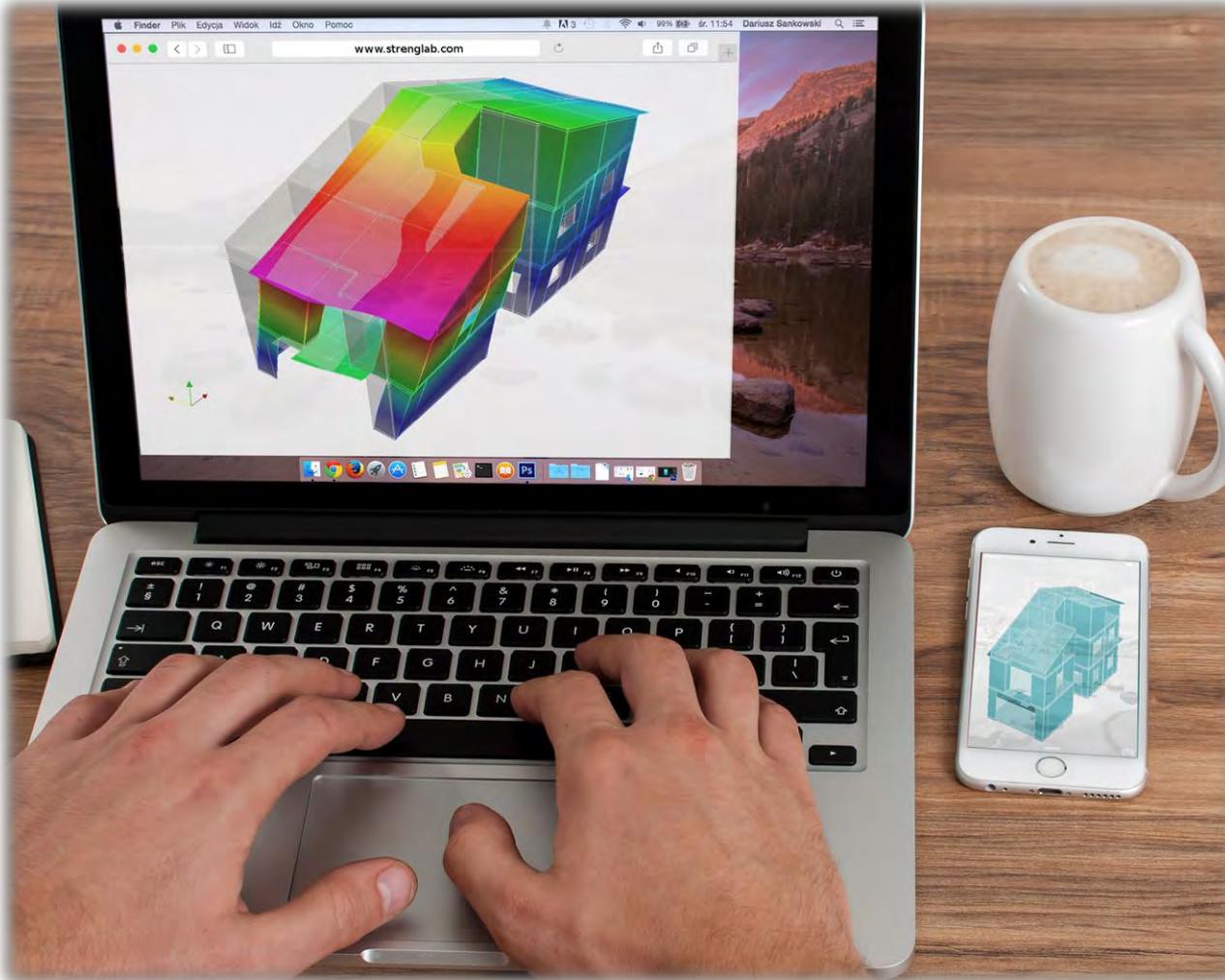




UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DICEA

Dipartimento di Ingegneria
Civile e Ambientale



What's next

«KOBE» ...

Working on two main ideas :

- 1) web based SHM with Real-Time FEM updating;
- 2) civil structures: web-FE modeling and design.

info@kobe-ie.com



La diagnostica strutturale nel settore dei beni culturali

Venerdì 29 settembre 2017 – 17:45-18:00

Michele Betti (michele.betti@unifi.it)

https://www.researchgate.net/profile/Michele_Betti2

Grazie per l'attenzione