

# SALONE DEL RESTAURO

Ferrara Expo

Via della Fiera, 11



CONSIGLIO NAZIONALE  
DEGLI INGEGNERI



ORDINE  
INGEGNERI  
FERRARA

12, 13 e 14 MAGGIO 2026

## Sicurezza-Conservazione-Rischi: Tecnici e Beni culturali di fronte al “triangolo delle incertezze”

**Antonio Borri**

Presidente Onorario Centro Studi Sisto Mastrodicasa  
Già Ordinario di Scienza delle Costruzioni nell'Università degli Studi di Perugia

Filo conduttore dell'intervento:

# CONSAPEVOLEZZA

Capacità di comprendere e percepire la realtà; conoscere; essere presenti; essere informati; capacità di scelta;...

**Noi non sappiamo cosa ci sta accadendo,  
ed è precisamente questo che ci sta accadendo!**

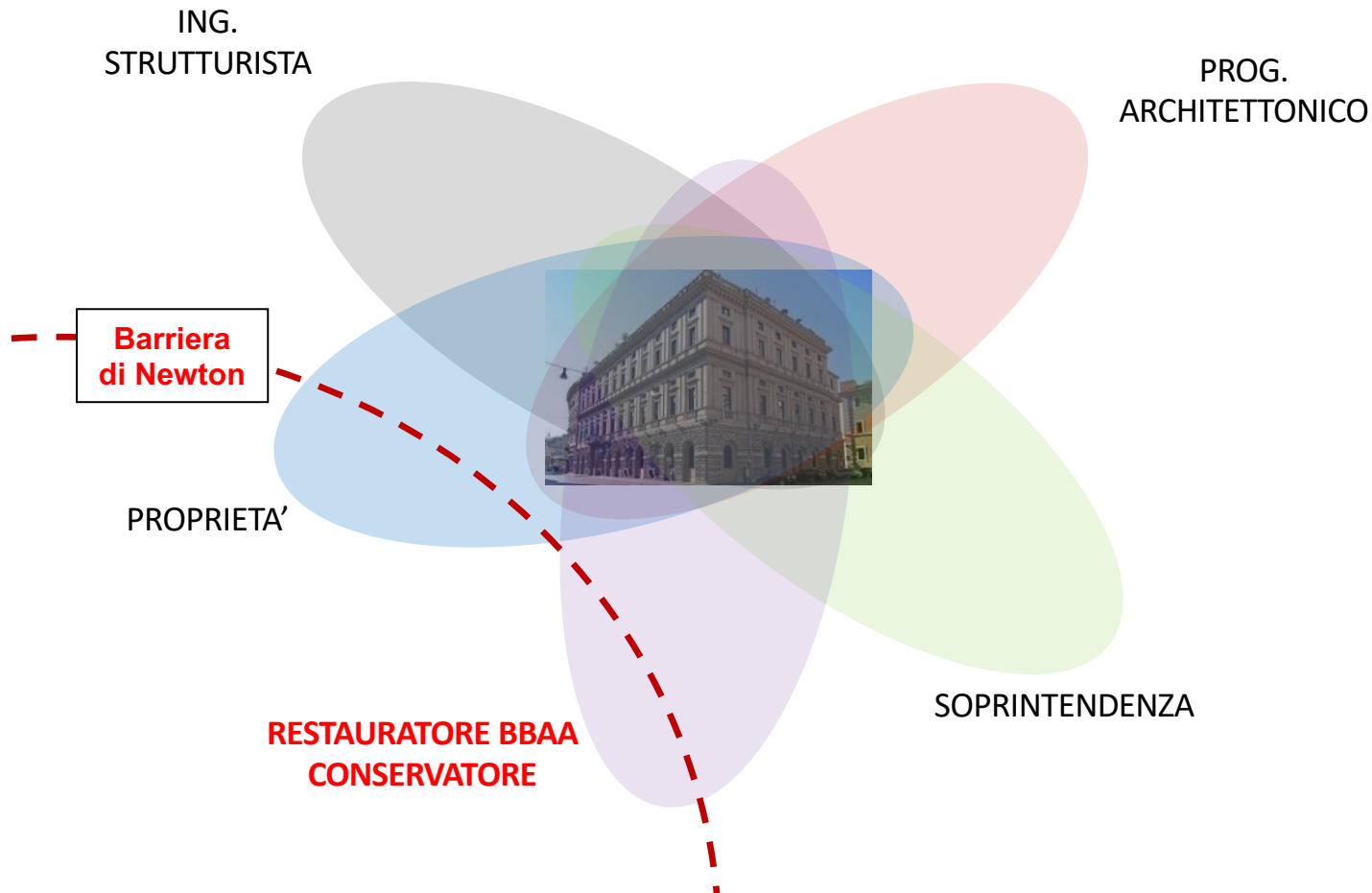
Josè Ortega y Gasset

PROBLEMA: MANCANZA DI CONSAPEVOLEZZA

## CONSAPEVOLEZZA

- dei rischi
- delle diverse esigenze
- dei diversi punti di vista
- delle responsabilità connesse
- della necessità e dell'utilità del dialogo e del confronto
- delle capacità e dei limiti della tecnica
- delle possibilità e dei limiti delle nuove tecnologie
- ...

## PROBLEMATICHE NEL DIALOGO TRA STRUTTURISTI, RESTAURATORI E CONSERVATORI ....



# CULTURAL DIVIDE

**SEPARAZIONE  
DELLE CARRIERE**

Come si supera:

«conoscere, conoscere, conoscere»

**SEPARAZIONE DELLE  
COMPETENZE**

A partire dalle Università ... (invece: CdS senza sismica!)

Aggiornamento professionale ← Occasione di crescita

**SEPARAZIONE DELLE  
RESPONSABILITÀ**

Aggiornamento negli Enti (??????)

Inserimento di ingegneri nelle Soprintendenze (utopia..)

«Convergenze parallele»:

Gli Ingegneri studino il Restauro

Gli Architetti studino il Consolidamento

## **SEPARAZIONE DELLE CARRIERE**

PER UN OBIETTIVO COMUNE (TUTELA):

- CONSOLIDAMENTO «CONSAPEVOLE»

## **SEPARAZIONE DELLE COMPETENZE**

- RESTAURO «CONSAPEVOLE»

## **SEPARAZIONE DELLE RESPONSABILITÀ**

Reciproco riconoscimento di:

- PROBLEMATICHE
- COMPETENZE
- RESPONSABILITÀ

(e invece, spesso, «a compartimenti stagno»...)

SICUREZZA  $V_s$  CONSERVAZIONE

**CONVITATO DI PIETRA: IL RISCHIO**

**SICUREZZA - CONSERVAZIONE - RISCHI**

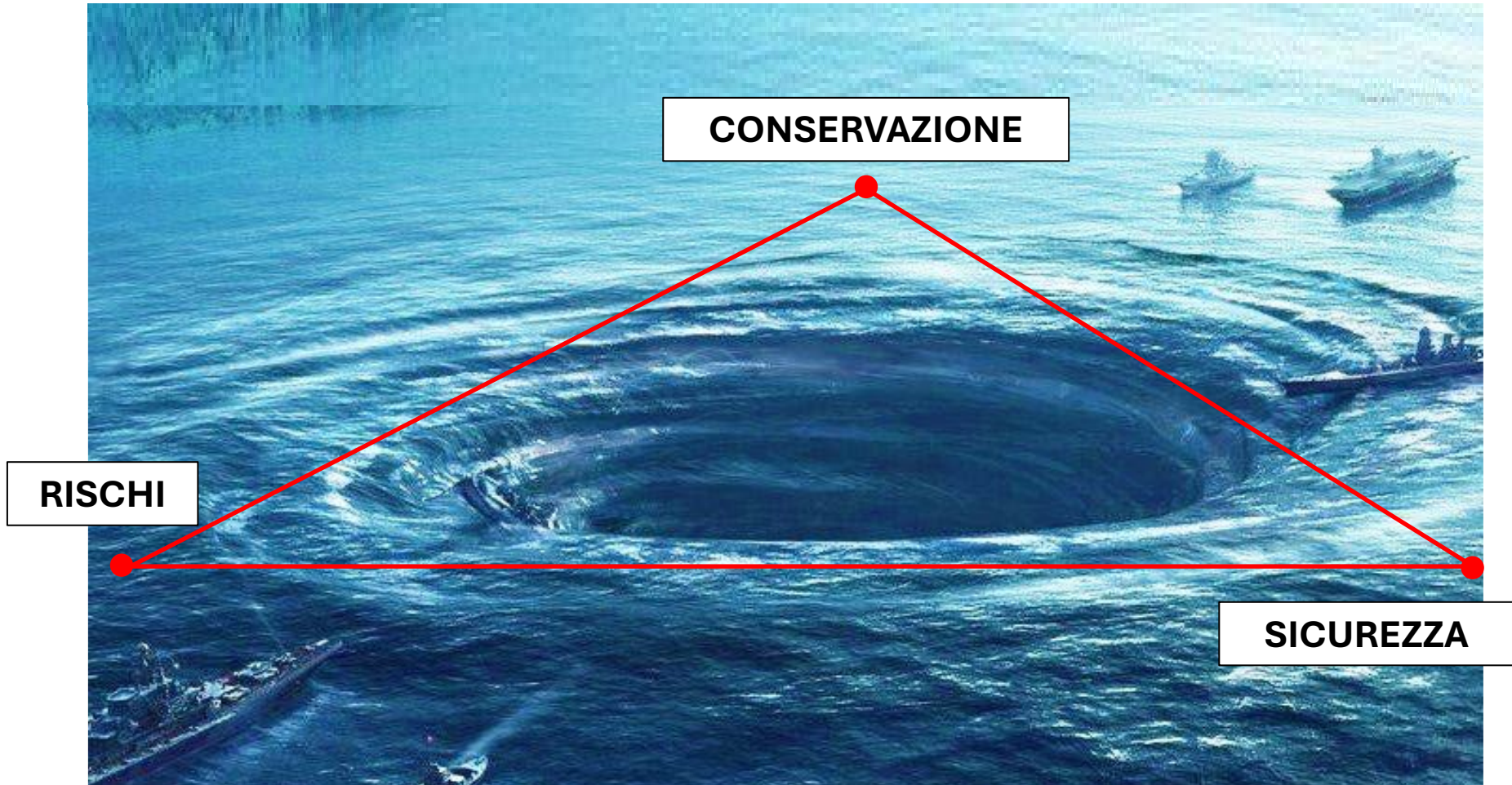


**IL «TRIANGOLO DELLE INCERTEZZE»**

(e le incertezze si propagano ....)

**(Una sola certezza: le incertezze!)**

# IL «TRIANGOLO DELLE INCERTEZZE»



**COS'È IL «RISCHIO»?**

## **INCERTEZZE NELLA «DOMANDA»**

### **QUALE SISMA ATTESO IN UN DETERMINATO SITO?**

(dal tacchino di Popper .... al sisma deterministico, passando per le NTC ...)

LA PERICOLOSITÀ SISMICA DI UN SITO È **VALUTATA SU BASE STATISTICA**  
TRAMITE LA C.D. LEGGE DEGLI EVENTI RARI:



$$p(n) = [(\lambda V_R)^n e^{-\lambda V_R}] / n!$$

Siméon-Denis POISSON  
(Pithiviers, 1781 – Parigi, 1840)

## **1) MANCA UNA STATISTICA ADEGUATA**

(cioè sufficientemente completa, sito per sito, dei terremoti)

## **2) IL FENOMENO SISMICO NON È «SENZA MEMORIA»**

Questo rende la legge di Poisson, almeno puntualmente, poco affidabile.

**SI USA QUELLA ESPRESSIONE  
SOLO PERCHÉ NON SAPPIAMO FARE DI MEGLIO**



**I TERREMOTI AVVENGONO COME E QUANDO VOGLIONO LORO ...**

**COS'È LA CONSERVAZIONE ?**

# INCERTEZZE

- dipendenza dalla «visione» della Soprintendenza
- disponibilità dei finanziamenti
- definizione delle priorità
- percorso di conoscenza e suo effettivo utilizzo
- .....

**RANGE: DALLA MERA CONSERVAZIONE DELLE SUPERFICI  
ALLA «CONSERVAZIONE IN VITA»**

*«Conservare significa evitare di pagare il prezzo maggiore della perdita completa»  
(Atto di Indirizzo della Commissione mista MiC-MIT, 2018)*

ESEMPI ECLATANTI DI  
MANCANZA DI «BUON SENSO»

QUESTA È CONSERVAZIONE?

~~FIRMITAS~~  
~~UTILITAS~~  
~~VENUSTAS~~



I SUOI AFFRESCI



«... l'incapacità di mettere le cose in ordine d'importanza e d'urgenza...»

# CHIESA DI SANTA MARIA DI PIAZZA (CAMPI DI NORCIA)



«... l'incapacità di mettere le cose in ordine d'importanza e d'urgenza...»

Lavori per il Giubileo del 2000:

**2.454.049,38 Euro**

Lavori dopo sisma '97 (Piano stralcio  
- DGR 5241/1998):

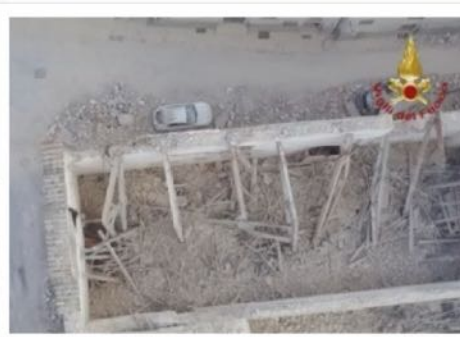
**254.821,18 Euro**



NORCIA 2016



**CHIESA DI SAN BENEDETTO - NORCIA**



Lavori per il Giubileo del 2000:  
**2.944.364,70 Euro**

NORCIA 2016

CONSERVAZIONE DELLE MACERIE



**EX CHIESA DI SAN FRANCESCO - NORCIA**

Perché questi crolli?

Non si tratta, in genere, della INCONGRUENZA  
degli interventi di consolidamento,

ma della MANCANZA DEGLI OPPORTUNI INTERVENTI.

**COS'È LA «SICUREZZA» ?**

# CULTURAL DIVIDE

## SICUREZZA

Significato diverso a seconda dei punti di vista:

- secondo il senso comune
- secondo la Giustizia
- in ambito scientifico
- secondo il MIT
- secondo il MiC
- ...
- ...

## SEPARAZIONE DEI SIGNIFICATI

SECONDO PM E GIUDICI:

**SICUREZZA = CERTEZZA**

## COME LA PENSA LA MAGISTRATURA SUL TEMA «SICUREZZA»:

### Sentenza

Cassazione Penale, Sez. 4, 21 gennaio 2016, n. 2536 - Crollo dell'edificio che ospitava il Convitto nazionale in l'Aquila. Omicidio colposo a carico del dirigente scolastico e di quello del settore edilizia e pubblica istruzione

*“L'inesistenza di fondi sufficienti ed i vincoli di carattere culturale ed artistico **non possono limitare gli obblighi di sicurezza ...**”*

*“**Fermo resta l'obbligo di garantire, nelle more dell'intervento richiesto, un equivalente livello di sicurezza e, nel caso in cui ciò non sia possibile, di interrompere l'attività**”.*

NON CONTA SE MANCANO RISORSE PER GLI INTERVENTI,

NON CONTA SE L'EDIFICIO È UN BENE CULTURALE,

**CONTA, PRIMA DI TUTTO, LA SICUREZZA**

# UNA SOLA CERTEZZA: LE INCERTEZZE !

*(«So di non sapere»)*

La componente probabilistica c'è (quasi) sempre.

(davvero poche sono le cose davvero sicure, nessuna piacevole .....

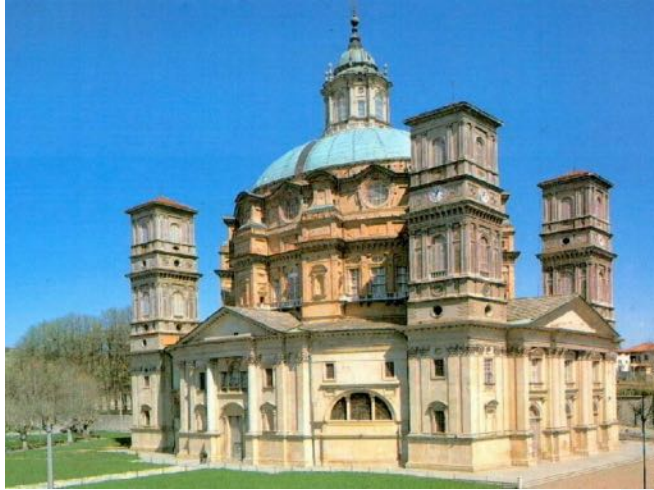
Il concetto di «**SICUREZZA**» è associato al c.d. «**RISCHIO ACCETTABILE**»  
(per noi, per la società, ecc) che varia da caso a caso,  
e al rischio sono associate le «**RESPONSABILITÀ**».

# CRITICITÀ E INCERTEZZE PER LE COSTRUZIONI ESISTENTI IN MURATURA



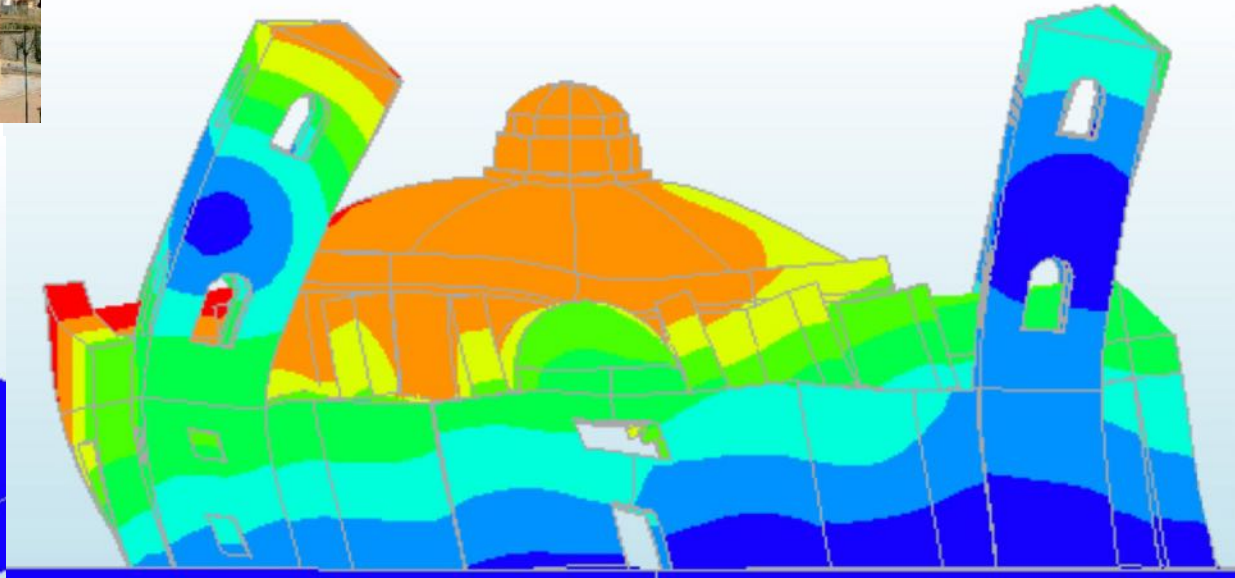
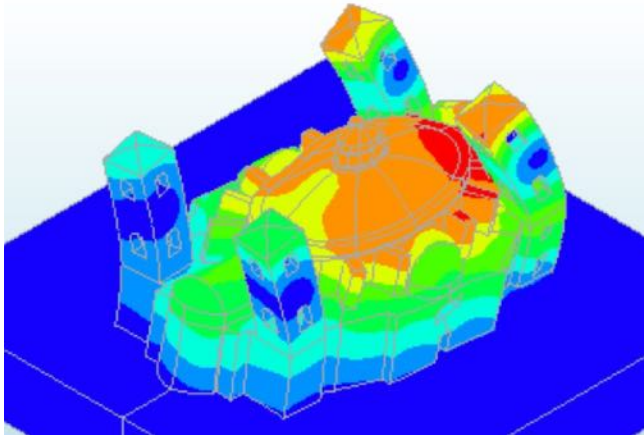
**«L'insostenibile leggerezza ....  
di ILLUSORI (E FUORVIANTI) TECNICISMI**

Miraggio delle modellazioni numeriche ultra sofisticate:  
**illusione di poter ricondurre una realtà variegata  
e complessa come quella muraria  
a modelli simili a quelli utilizzati per i materiali moderni**

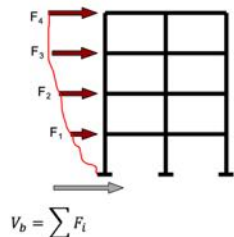


Le analisi modali sono utili per i modi principali e per la distribuzione di forze da adottare nelle analisi statiche n.l..  
Ma in casi come questo .....

**muratura o giochi gonfiabili?**



## ANALISI PUSHOVER. DETERMINAZIONE DEL TAGLIO ALLA BASE



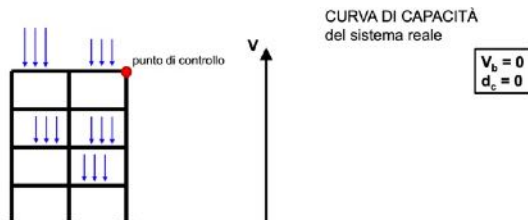
## ANALISI PUSHOVER. Costruzione curva di capacità Vb-dc del sistema reale

### PASSO 0

Risoluzione della struttura con i soli carichi verticali (si suppone che per i soli carichi verticali nessun elemento della struttura vada in fase plastica)

#### Risultati:

- sollecitazioni ( $N_{i0}$ ,  $T_{i0}$ ,  $M_{i0}$ ) di ciascun elemento murario i-esimo;
- spostamento ( $d_{i0}$ ) di ciascun elemento murario i-esimo;



## ANALISI PUSHOVER. Costruzione curva di capacità Vb-dc del sistema reale

### PASSO 1

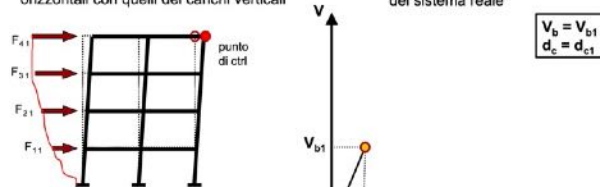
applicazione del 1° sistema di forze orizzontali  $F_{i1}$

(Nota:  $F_{i1} = \alpha T_{MAX}$  con  $\alpha$  fra 1/10 e 1/50 del  $T_{MAX}$  stimato)

#### Risultati:

- sollecitazioni ( $N_{i1}$ ,  $T_{i1}$ ,  $M_{i1}$ ) di ciascun elemento murario i-esimo;
- spostamento ( $d_{i1}$ ) di ciascun elemento murario i-esimo;

Le sollecitazioni ( $N_{i1}$ ,  $T_{i1}$ ,  $M_{i1}$ ) sono ottenute combinando gli effetti dei carichi orizzontali con quelli dei carichi verticali



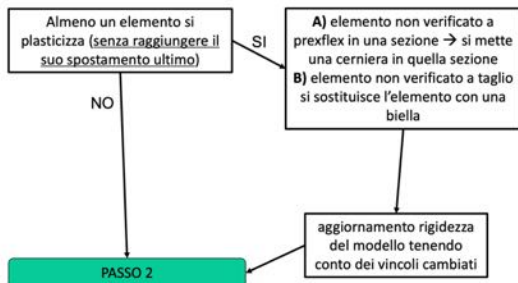
# COMPLESSITÀ DI UN'ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)

## ANALISI PUSHOVER. Costruzione curva di capacità Vb-dc del sistema reale

### PASSO 1

#### VERIFICA DEGLI ELEMENTI MURARI

→ verifica puntuale su ciascun elemento secondo i criteri di resistenza definiti per i pannelli portanti e le travi di accoppiamento



## ANALISI PUSHOVER. Costruzione curva di capacità Vb-dc del sistema reale

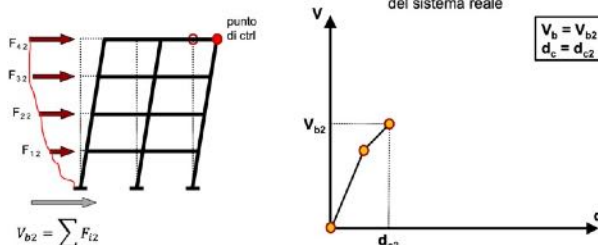
### PASSO 2

applicazione del 2° sistema di forze orizzontali  $F_{i2} (= F_{i1} + \alpha T_{MAX})$

#### Risultati:

- sollecitazioni ( $N_{i2}$ ,  $T_{i2}$ ,  $M_{i2}$ ) di ciascun elemento murario i-esimo;
- spostamento ( $d_{i2}$ ) di ciascun elemento murario i-esimo;

riducendo la rigidità del modello (per gli elementi plasticizzati) → si riduce la pendenza della curva di capacità



## ANALISI PUSHOVER. Costruzione curva di capacità Vb-dc del sistema reale

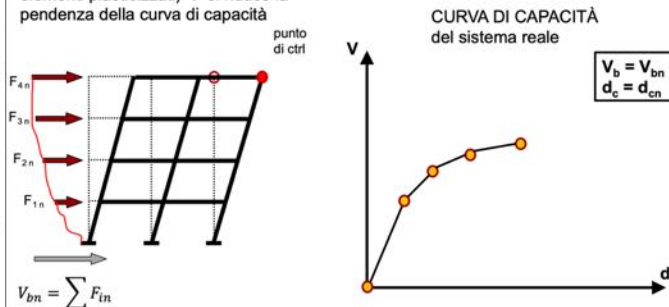
### PASSO n

applicazione del n° sistema di forze orizzontali  $F_{in} (= F_{i(n-1)} + \alpha T_{MAX})$

#### Risultati:

- sollecitazioni ( $N_{in}$ ,  $T_{in}$ ,  $M_{in}$ ) di ciascun elemento murario i-esimo;
- spostamento ( $d_{in}$ ) di ciascun elemento murario i-esimo;

riducendo la rigidità del modello (per gli elementi plasticizzati) → si riduce la pendenza della curva di capacità



IN REALTÀ, C'È POI UN'ULTERIORE FONTE DI INCERTEZZE:

**IL QUADRO NORMATIVO**

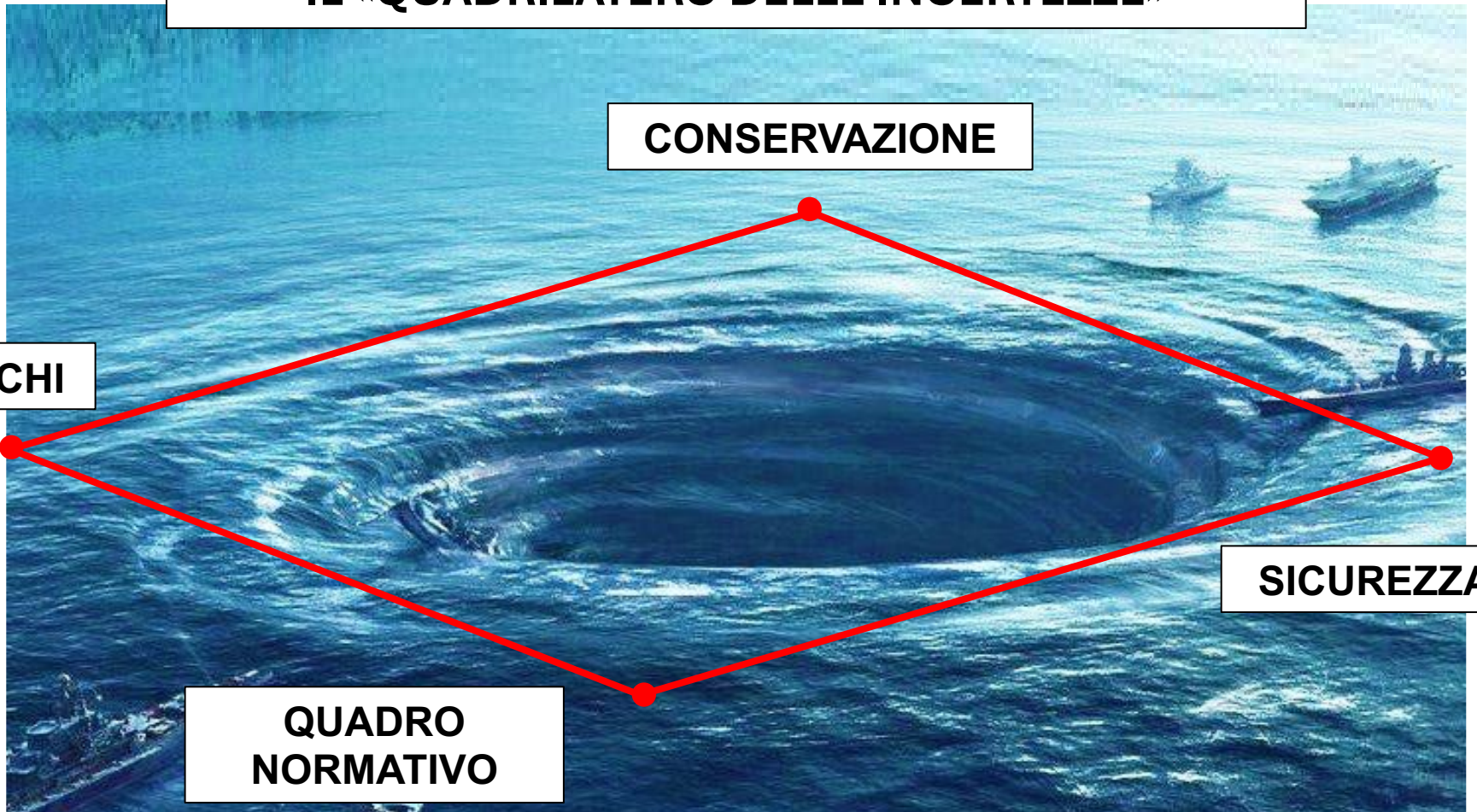
# IL «QUADRILATERO DELLE INCERTEZZE»

CONSERVAZIONE

RISCHI

SICUREZZA

QUADRO  
NORMATIVO



MiC

## INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO INTRECCIO DI NORME

MiT

DPCM 9.2.2011

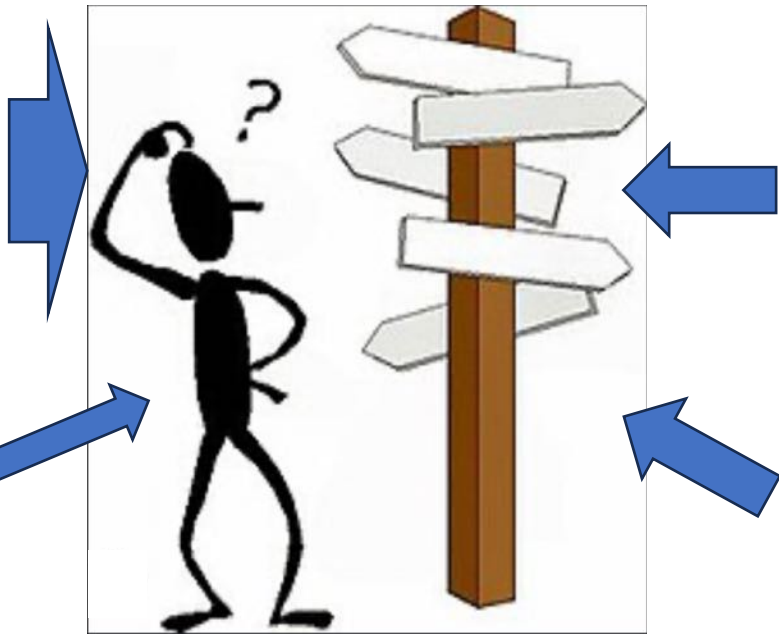
.....  
SI POSSONO FARE  
VALUTAZIONI DELLA  
SICUREZZA CON

**VALUTAZIONI  
QUALITATIVE**

(... quantificare  
l'inquantificabile ...)

PRESCRIZIONI  
SOPRINTENDENZA

.....



NTC 2018: Nel caso di BBCC  
il riferimento è la DPCM  
9.2.2011.

**PERÒ:**

**È OBBLIGATORIA** LA  
VALUTAZIONE DELLA  
SICUREZZA (MEDIANTE I  
**METODI QUANTITATIVI**  
PREVISTI DELLE NTC)

CON ESSA **SI DICHIARA SE IL  
BENE È UTILIZZABILE O NO**

# «SICUREZZA» PER LE NUOVE COSTRUZIONI (**PROGETTAZIONE**)

Per i nuovi edifici il «rischio accettabile» deriva da una scelta di compromesso tra i costi e i benefici di un costruzione più sicura.

→ STANDARD FISSATI DALLE NTC



# «SICUREZZA» PER LE COSTRUZIONI ESISTENTI (VALUTAZIONE DEL RISCHIO)

Per gli interventi sugli edifici esistenti, si valuta il rischio e si chiede che sia al di sotto di un limite fissato dalle norme («rischio accettabile»).

→ PARAMETRI INDICATI NELLA CIRCOLARE



**BBCC**

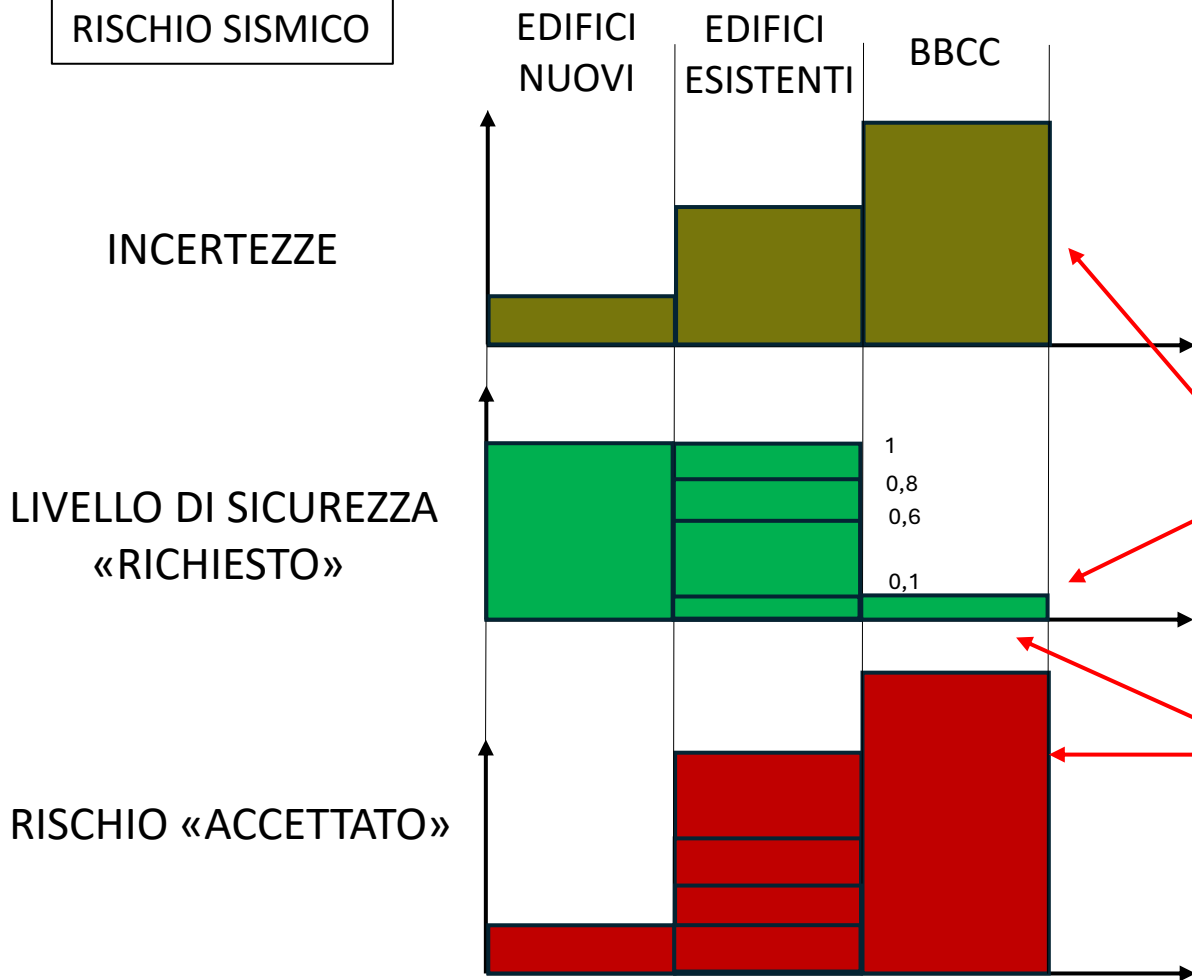
MENTRE PER TUTTE LE COSTRUZIONI, NUOVE O ESISTENTI (ORDINARIE),  
LE NORME TECNICHE HANNO STABILITO UN «RISCHIO ACCETTABILE» .....

**PER I BENI TUTELATI NON VIGE ALCUN LIMITE**

e spesso ci sono le massime incertezze (conoscenza «azzoppata»)

Non solo per gli edifici vincolati, ma anche anche per le «*costruzioni che abbiano una valenza storica, artistica o urbanistico-ambientale*» (C 8.1.- Circolare 2019).

RISCHIO SISMICO



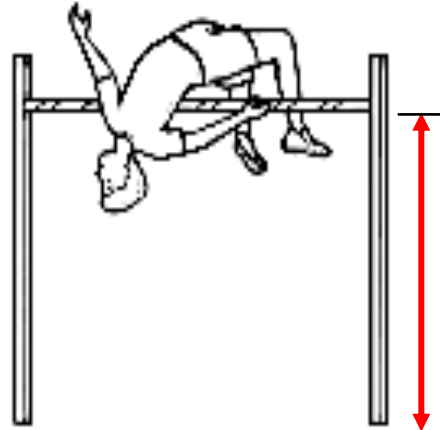
**INCERTEZZA MASSIMA ?**  
**RICHIESTA DI SICUREZZA MINIMA !**  
(e solo nel caso di miglioramento sismico...)

DPCM 2011:  
«... è opportuno accettare un livello di rischio più elevato ...»

**EDIFICI NUOVI**



**EDIFICI ESISTENTI**



**BBCC**



**CONTRO OGNI LOGICA (CHE VORREBBE LA RICHIESTA DI SICUREZZA PROPORZIONALE ALLE INCERTEZZE) QUI È L'INVERSO:**

**INCERTEZZA MASSIMA ? RICHIESTA DI SICUREZZA MINIMA !**



**NELL'INTRECCIO DI REGOLE E DI INCERTEZZE  
IL TECNICO È IL "VASO DI COCCIO" ...**

**RICHIESTA DI SICUREZZA**

NORME TECNICHE  
PER LE COSTRUZIONI

NORME SPECIFICHE  
(SISMABONUS, 110%, PNRR)

NORMATIVE  
RICOSTRUZIONE  
POST SISMA



**ASPETTATIVE DELLA  
COMMITTENZA**

**ESIGENZE DELLA  
CONSERVAZIONE  
(MiC, SOPRINTENDENZA)**

**ESIGENZE DI SICUREZZA DA PARTE DELLA SOCIETÀ  
(RESPONSABILITÀ IN SEDE GIUDIZIARIA)**

SOLUZIONI (???): NON VERRANNO DALLA REVISIONE DELLE NTC E DELLE LLGGBB ...

Una legge che definisca quale è il «rischio accettabile» anche per i BBCC, sollevando il tecnico per responsabilità di scelte che non sono le sue.

(→ «scudo penale», come per i medici ...)

Mettere tutto in capo al Ministero della Cultura è un'ipotesi, che però (forse, anzi, certamente) porta verso il nulla ...

In ogni caso, ci vorrebbe una visione unica, cioè un unico «decisore» - sia chi sia - che prenda le decisioni. (Es: Commissione unica, in ER)

# CRITICITÀ E INCERTEZZE PER LE COSTRUZIONI ESISTENTI IN MURATURA:



A proposito di incertezze ....

Quando non si possono fare prove sperimentali (BBCC: conoscenza «azzoppata»)

Quando una determinata tipologia muraria non è, meccanicamente, ben conosciuta ...

METODI PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ MURARIA:

## **IL METODO IQM**

(Borri-De Maria, 2002)



ATE - Associazione Tecnologi per l'Edilizia

*organizza il webinar:*

# L'INDICE DI QUALITÀ MURARIA (IQM) PER LE COSTRUZIONI STORICHE: UNO STRUMENTO DI CONOSCENZA

**4 giugno 2026**

ORE 14.20 - 18.00 - WEBINAR SU PIATTAFORMA ZOOM

**Quota di partecipazione:**

**30 EURO (Iva Inclusa) Non Soci**

**25 EURO (Iva Inclusa) Soci ATE**

**GRATUITO per studenti e  
Dottorandi.**

**Valido per il rilascio di**

**3 CREDITI FORMATIVI  
PROFESSIONALI**

*(D.P.R. 137 DEL 07/08/2012)*

*per i soli iscritti all'Albo degli  
Ingegneri (CFP validi su tutto il  
territorio nazionale)*

**MEDIA PARTNER:**

**STRUCTURAL**

BUILDING ENGINEERING + STRUCTURAL DESIGN

[www.structuralweb.it](http://www.structuralweb.it)

Per iscriversi all'evento:

**[LINK](#)**

Per Informazioni:

**[info@foim.org](mailto:info@foim.org)**

**02.83420200**

Responsabile scientifico:

***Ing. Donatella Guzzoni***

*Past President ATE*

Relatori:

***Ing. Antonio Borri***

*Già Ordinario di Scienza delle  
Costruzioni - Università degli Studi  
di Perugia*

***Ing. Marco Corradi***

*Ordinario di Ingegneria Strutturale  
- University of Huddersfield, UK*

***Ing. Alessandro De Maria***

*Servizio Rischio Sismico - Regione  
Umbria*

## Peculiarità del Metodo IQM (Borri-De Maria, 2002)

Approccio meccanico, con obiettivi specifici:

- valutazione della possibile risposta strutturale dell'elemento murario;
- stima delle caratteristiche meccaniche.

La **Tabella C8.5.I delle NTC 2018** riporta, per il comportamento delle tipologie murarie più ricorrenti, **indicazioni (non vincolanti)**, sui possibili valori dei parametri meccanici, identificati attraverso il rilievo degli aspetti costruttivi ( § C8.5.2.1) e relativi, con l'eccezione dell'ultima riga, a precise condizioni:

- malta di calce di modeste caratteristiche ( $f_m$  stimabile tra 0,7 a 1,5 N/mm<sup>2</sup>),
- assenza di ricorsi (listature),
- paramenti semplicemente accostati o mal collegati,
- muratura non consolidata.

**Tabella C8.5.I** -Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a:  $f$  = resistenza media a compressione,  $\tau_0$  = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),  $f_{v0}$  = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),  $E$  = valore medio del modulo di elasticità normale,  $G$  = valore medio del modulo di elasticità tangenziale,  $w$  = peso specifico medio.

Tipologia di muratura	$f$	$\tau_0$	$f_{v0}$	$E$	$G$	$w$
	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

(\*) Nella muratura a conci sbozzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(\*\*) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione  $f_{pu}$  può essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(\*\*\*) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

**Tabella C8.5.I** -Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a:  $f$  = resistenza media a compressione,  $\tau_0$  = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),  $f_{v0}$  = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),  $E$  = valore medio del modulo di elasticità normale,  $G$  = valore medio del modulo di elasticità tangenziale,  $w$  = peso specifico medio.

Tipologia di muratura	$f$	$\tau_0$	$f_{v0}$	$E$	$G$	$w$
	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051			340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura				1180	500-660	21
Muratura irregolare di pietre a spacco		0,03-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari (es.: conci regolari ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei sbozzati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

**COSA SI PUÒ FARE SE LA MURATURA NON RIENTRA APPIENO TRA QUESTE TIPOLOGIE?**

(\*) Nella muratura a conci sbozzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(\*\*) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione  $f_{pu}$  può essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(\*\*\*) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

# METODI PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ MURARIA

Classificazione con il METODO IQM

A differenza delle altre schedature, **il metodo IQM ha finalità di tipo strutturale.**

Obiettivi specifici:

- valutazione della possibile risposta strutturale dell'elemento murario;
- stima delle caratteristiche meccaniche.



## Alcune pubblicazioni sul metodo IQM

A. BORRI, A. DE MARIA, (2009) **“L’indice di Qualità Muraria (IQM): evoluzione ed applicazione nell’ambito delle norme tecniche per le costruzioni del 2008”** – XIII Convegno ANIDIS "L'ingegneria Sismica in Italia", Bologna, Palazzo "Re Enzo" 28 giugno - 2 luglio 2009.

A. BORRI, A. DE MARIA, G. PACI, (2011) **“Resistenza a taglio delle murature: prove diagonali e correlazione con l’Indice di Qualità Muraria IQM”** – XIV Convegno di Ingegneria Sismica, organizzato da ANIDIS “Associazione Nazionale di Ingegneria Sismica” e dal Politecnico di Bari, 18- 22 settembre 2011, Bari.

A. BORRI, A. DE MARIA, M. MARINO, F. NERI, (2014) **“Experimental study of friction coefficient for some types of masonry and its correlation with the index of quality masonry (IQM)”** – Second European Conference of Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul 25-29 August 2014.

A. BORRI, A. DE MARIA, (2015) **“L’indice di Qualità Muraria (IQM): Correlazione con le caratteristiche meccaniche e livelli di conoscenza”** – 16° convegno Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica, 17 settembre 2015.

A. BORRI, G. CANTAVADI, A. DE MARIA, (2015) **“A method for the analysis and classification of masonry”** – Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 13 (2015), pp. 2647–2665.

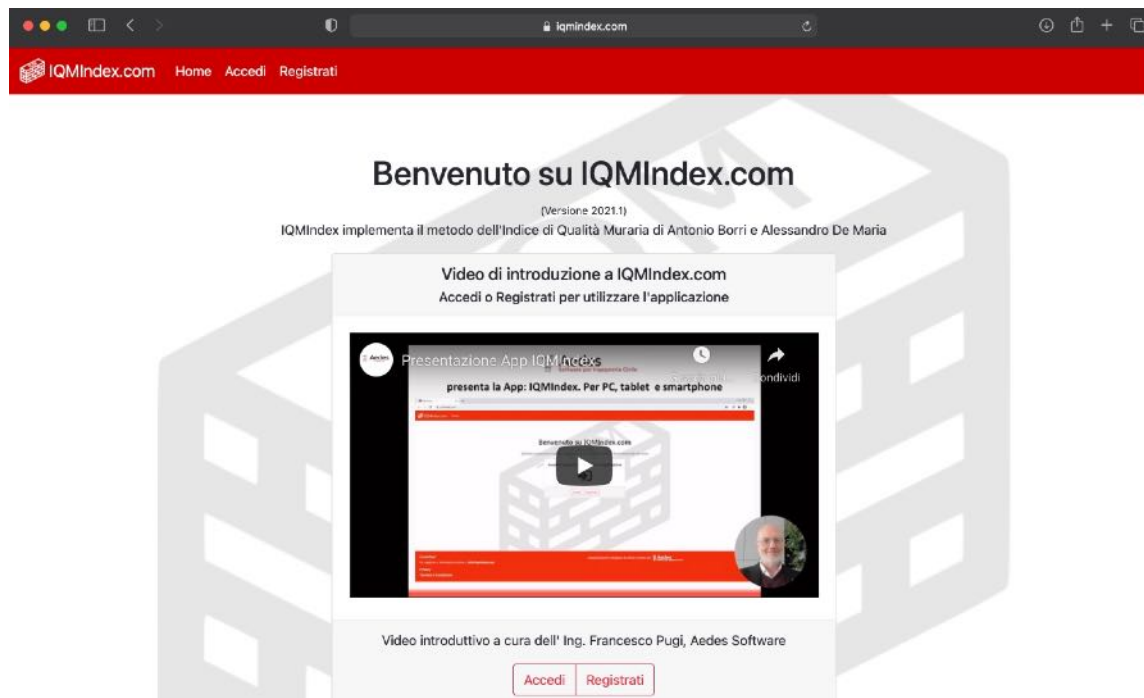
A. BORRI, A. DE MARIA, (2015) **“Indice di Qualità Muraria (IQM): correlazione con le caratteristiche meccaniche e livelli di conoscenza”** - Progettazione Sismica – Vol. 6, N. 2.

A. BORRI, A. DE MARIA, (2019) **“ QUALITÀ MURARIA SECONDO IL METODO IQM: aggiornamento alla Circolare esplicativa n. 7 del 2019”** - Structural 222 – Ed De Lettera.

A. BORRI, A. DE MARIA, (2020) **“L’INDICE DI QUALITÀ MURARIA (IQM) e la disgregazione delle murature per effetto del sisma”** - Structural 229 – Ed De Lettera.

**«METODO DI COMPROVATA VALIDITÀ»**

# WebApp!



The screenshot shows a web browser window with the URL `iqmindex.com`. The navigation bar is red and contains the logo and links for `Home`, `Accedi`, and `Registrati`. The main content area features a large heading `Benvenuto su IQMIndex.com` with the subtext `(Versione 2021.1)` and a paragraph stating that the site implements the method of the Quality Index for Masonry by Antonio Borri and Alessandro De Maria. Below this is a video player with the title `Video di introduzione a IQMIndex.com` and a subtitle `Accedi o Registrati per utilizzare l'applicazione`. The video player shows a thumbnail of the website's home page with a play button in the center. At the bottom of the video player, there is a small circular profile picture of a man. Below the video player, there is a caption `Video introduttivo a cura dell' Ing. Francesco Pugi, Aedes Software` and two buttons: `Accedi` and `Registrati`.

Benvenuto su IQMIndex.com

(Versione 2021.1)

IQMIndex implementa il metodo dell'Indice di Qualità Muraria di Antonio Borri e Alessandro De Maria

Video di introduzione a IQMIndex.com  
Accedi o Registrati per utilizzare l'applicazione

Presentazione App IQMIndex  
presenta la App: IQMIndex. Per PC, tablet e smartphone

Benvenuto su IQMIndex.com

Video introduttivo a cura dell' Ing. Francesco Pugi, Aedes Software

Accedi Registrati

## IQM - INDICE DI QUALITA' MURARIA

### OBIETTIVI:

- a) valutazione della qualità muraria espressa mediante un indice;
- b) stima dei parametri meccanici della muratura necessari per effettuare le verifiche di sicurezza richieste dalle NTC 2008 per gli edifici esistenti.

# Indice di Qualità Muraria - IQM

## Finalità:

- valutazione della **qualità muraria** espressa da un **indice numerico**
- stima dei **parametri meccanici** della muratura necessari per effettuare le verifiche di sicurezza richieste dalle NTC del 2008 per edifici esistenti

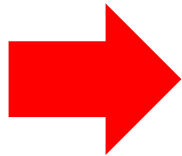
$f_m$  = resistenza media a compressione della muratura;

$\tau_0$  = resistenza media a taglio della muratura;

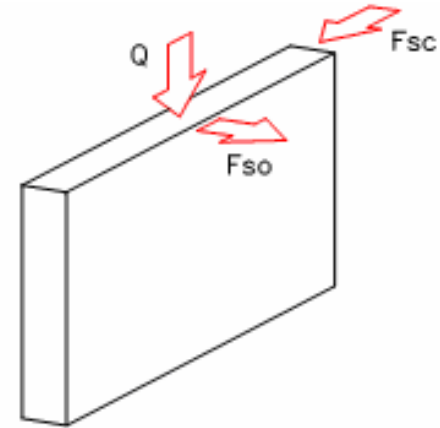
$E$  = valore medio del modulo di elasticità normale.

## Origine e sviluppo del metodo

- Ricerche Regione Umbria (2001-2006)
- L.R. Umbria n. 18 del 2002 (prevenzione sismica)
- Progetto ReLUIS I (perfezionamenti e contributi di IUAV - Prof. Doglioni e PoliMI - Prof.ssa Binda)



**IQM distinto in base alla direzione dell'azione sollecitante (tre indici di qualità muraria: IQM per azioni verticali, IQM per azioni orizzontali fuori piano ed IQM per azioni orizzontali nel piano)**



- Q - Carichi statici verticali
- Fsc - Forza sismica complanare
- Fso - Forza sismica ortogonale

## Parametri della regola dell'arte

**MA. = qualità della malta / efficace contatto fra elementi / zeppe;**

**P.D. = ingranamento trasversale / presenza dei diatoni;**

**F.EL. = forma degli elementi resistenti;**

**D.EL. = dimensione degli elementi resistenti;**

**S.G. = sfalsamento dei giunti verticali / ingranamento nel piano della parete;**

**OR. = orizzontalità dei filari;**

**RE.EL. = resistenza degli elementi.**

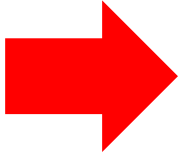
### Giudizio sul rispetto dei parametri della regola dell'arte:

R. = parametro rispettato;

P.R. = parametro parzialmente rispettato;

N.R. = parametro non rispettato.

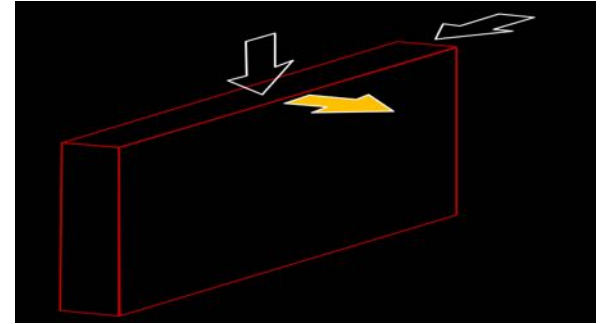
Valutazione di IQM → tramite i giudizi sul grado di rispetto della regola dell'arte si valuta l'IQM per azioni verticali, orizzontali ortogonali al piano e orizzontali nel piano.



## Determinazione categoria meccanica della muratura

<div style="color: red; font-weight: bold;">Categoria</div> <div style="color: red; font-weight: bold;">Azioni</div>	A	B	C
azioni verticali	$5 \leq IQ \leq 10$	$2,5 \leq IQ < 5$	$0 \leq IQ < 2,5$
azioni orizzontali ortogonali	$7 \leq IQ \leq 10$	$4 < IQ < 7$	$0 \leq IQ \leq 4$
azioni orizzontali complanari	$5 < IQ \leq 10$	$3 < IQ \leq 5$	$0 \leq IQ \leq 3$

«Comportamento atteso» per azioni orizzontali fuori piano:



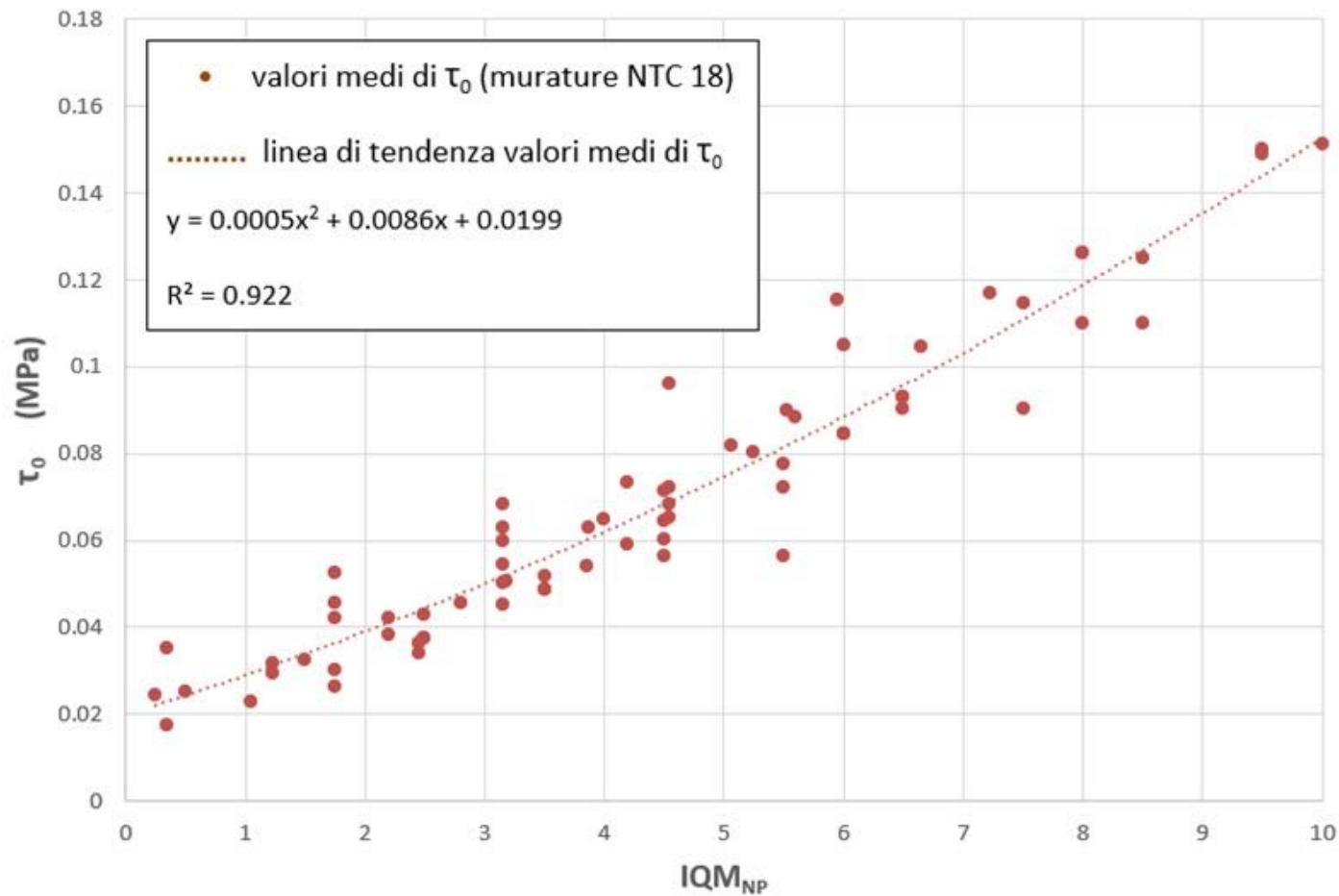
- una muratura di categoria A è in grado di mantenere un comportamento monolitico. Le verifiche per meccanismi di collasso possono essere svolte ipotizzando un comportamento monolitico.
- una muratura di categoria B non è in grado di mantenere un comportamento monolitico ma non si disgrega. Le verifiche per meccanismi di collasso possono essere svolte, in favore di sicurezza, ipotizzando che la muratura sia formata da due paramenti distinti.
- **una muratura di categoria C può disgregarsi in caso di sisma**; per essa è probabile il collasso, anche in presenza di efficaci collegamenti. Le verifiche per meccanismi di collasso sono sostanzialmente non indicative, in quanto non sono rispettate le ipotesi di sufficiente coesione degli elementi murari.

## CORRELAZIONE TRA IQM E CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA

Combinando le tipologie della tabella C.8.5.I (circolare esplicativa NCT) con i possibili coefficienti correttivi della tabella C.8.5.II → **74** diverse tipologie murarie “ufficiali”.

Per ciascuna tipologia si può valutare l'IQM e quindi esaminare le correlazioni tra gli IQM trovati e i valori delle caratteristiche meccaniche forniti dalle tabelle delle NCT.

### IQM<sub>NP</sub> vs resistenza tangenziale $\tau_0$



UTILIZZO DEL METODO IQM PER VALUTARE LA  
PROPENSIONE ALLA DISGREGAZIONE MURARIA



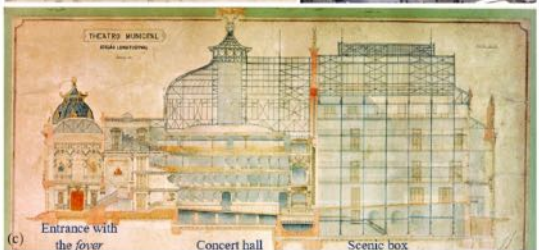
UTILIZZO DEL METODO IQM  
DA PARTE DI VARI RICERCATORI



**METODO IQM: CASI APPLICATIVI**  
 (AL DI FUORI DELL'ITALIA)



Palácio Nacional de Sintra (Portogallo). (Ferreira Pinto et al., *Construction and Building Materials*, 2021).



Theatro Municipal do Rio de Janeiro (TMR) (Cintra et al., 2024)



The Medina of Chefchaouen (Morocco). L. Rovero et al., *Construction and Building Materials*, 2013)



The Desert Rose Domes of the Souf Region (Algeria). (C. Azli et al., *HERITAGE2020CONF*, 2020) *Conferenza, Valencia*



Building in the city of Atlixco (Puebla, Mexico). (Eudeve et al., *Buildings*, 2023)



Edificios a Tabriz, Iran (Aminfar, Akhondi, Lourenço, 2022).



Catholic Faculty of Theology, Zagabria (Hafner et al., 2021)



Masonry house in Kemptville, Ontario, Canada. (Farcaslu & Putasu, 2025)

# EDIFICI STORICI



Palazzo Ducale di Guimarães (Portogallo). (Berontini et al., *Int. Journal of Architectural Heritage*, 2021).



Torre a Soletto (Lacco). (Miceli et al., *Engineering Failure Analysis*, 2020)



Rocca Ariostesca di Castelnovo Garfagnana (Toscana). (Oriando, Becattini, Betti, *Journal of Building Engineering*, 2023)



The Church of Santa Ana in Seville. (Chaves et al., *Heritage*, 2024)



Chiesa della Madonna della Rocca, Sabbio Chiese, Brescia, Italy. (Marini et al., *Heritage*, 2018)



San Francisco Church, Santiago, Chile. (Jorquera et al., *Int. J. of Architectural Heritage*, 2017)



Cathedral of Potosí, Bolivia\* (Villafruto Oporto et al., *CINPAR*, 2018)



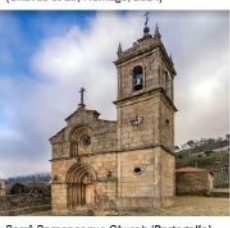
Rocca di Spoleto (PG). (Castori et al., *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2018)



Casa di Giorgio Vasari ad Arezzo. (Betti et al., *Int. Heritage*, 2021)



Certosa di Pisa. (De Falco et al., *Heritage*)



Barrà Romanesque Church (Portogallo). (Oliveira et al., 2021)



SS. Salvatore's church (Capurso, Bari). (Sangiorgio et al., *Archeologia e Calcolatori*, 2020)



Sacral Architecture After the Earthquakes in Croatia\* (David Anđić, Mislav Stepinac, Juraj Pajatina, 2023)

# EDIFICI STORICI



Chiesa di San Sebastiano, situata a Castel Sant'Angelo sul Nera (MC). (Micheli Rampado et al., COMPDYN 2023)



Bell Tower, St. Nicholas Cathedral, Newcastle, UK. (Righetti et al., 2017). (Castori et al., 2025).



Gible St. James Church. (Devon Rdyk, Canada)



Chiesa di S. Illas (Samandag), S. Giorgio Sanlor, e S. Nicola (Iskenderun), Turkey. (Y. Yang et al., Bulletin of Earthquake Engineering, 2025)



Messerie "Tagliateile" a Lecce. (Giordano, Cascardi, Micelli, Aiello, 2019).



72 URM Italian medieval churches. (Pirchio et al., Construction and Building Materials, 2022)



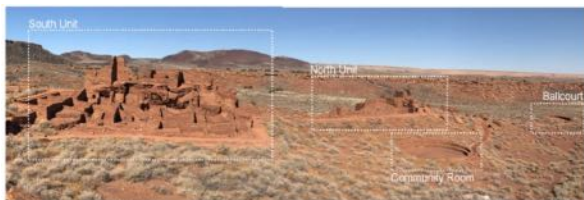
Chiesa di San Giovanni Battista a Macchie, Amatrice. (Cesosti et al., 2020)



Dillon Hall, University of Notre Dame (Indiana, USA). (Pirchio et al., Construction and Building Materials, 2022)



«Cuccagna» Farmhouse (Garavaglia et al., Applied Sciences, 2020)



Sito archeologico "The Wupatki Pueblo" in Arizona. (Gambitongo, Chieffo, Lourenço, Bulletin of Earthquake Engineering, 2024)



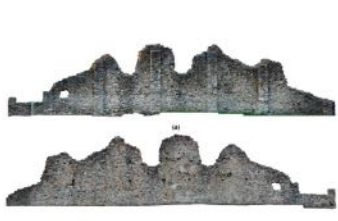
Sito archeologico di Priene (Turchia). (Giovannini et al., Heritage, 2024)



Muro bizantino di Tebessa (Algeria). (Seboui, Athmani e Formisano, Int. J. of Masonry Research and Innovation, 2023)



Casa di Giove, Pompeii. (Donzelli et al.)



Free-Standing Walls of San Giovanni Church in Castelseprio (Varese) UNESCO World Heritage Site" (Sbroglio et al., Heritage, 2024)

[PROPERTY OF BRANNO]		[PROPERTY OF ADERLA]	
URM LUMBER - STEELFRAMING	URM - APERTURE WALLS	URM - BRICKS - BRICKWORK WALLS	URM - BRICKS - BRICKWORK WALLS
[PROPERTY OF ANAGIOLA]		[PROPERTY OF ANAGIOLA]	
Aluminum - Concrete Slabs	Aluminum - Concrete Slabs	Reinforced - Composite Slabs	Reinforced - Composite Slabs
[PROPERTY OF ANAGIOLA]		[PROPERTY OF ANAGIOLA]	
Reinforced - Concrete Slabs	Reinforced - Concrete Slabs	Reinforced - Concrete Slabs	Reinforced - Concrete Slabs

fi avvistamento e difesa storiche appartenenti all'antico Regno di ... (Ruiz-Jaramillo et al., Applied Sciences, 2020)



Ruins of Carmo Convent (Lisbon)" (Mendes et al., Sensors, 2024)

SITI ARCHEOLOGICI

ALCUNI ESEMPI PARTICOLARI

ORIGINAL ARTICLE

## Methodologies for assessing the structural integrity of historic masonry domes and vaults

*Metodologias para avaliação da integridade estrutural de cúpulas e abóbadas históricas em alvenaria*

Danielli Cristina Borelli Cintra<sup>a</sup> ●  
 Deane de Mesquita Roehf<sup>b</sup> ●  
 Emil de Souza Sánchez Filho<sup>b</sup> ●  
 Paulo B. Lourenço<sup>c</sup> ●  
 Nuno Mendes<sup>c</sup> ●

<sup>a</sup>Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>b</sup>Universidade Federal Fluminense – UFF, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Niterói, RJ, Brasil

<sup>c</sup>Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal

Obiettivo: comprendere il comportamento strutturale, individuare le cause dei danni osservati negli anni '70 (in particolare quelli legati ai cedimenti differenziali del terreno dovuti alla costruzione della metropolitana), e valutare l'efficacia dell'intervento di rinforzo realizzato in quel periodo.

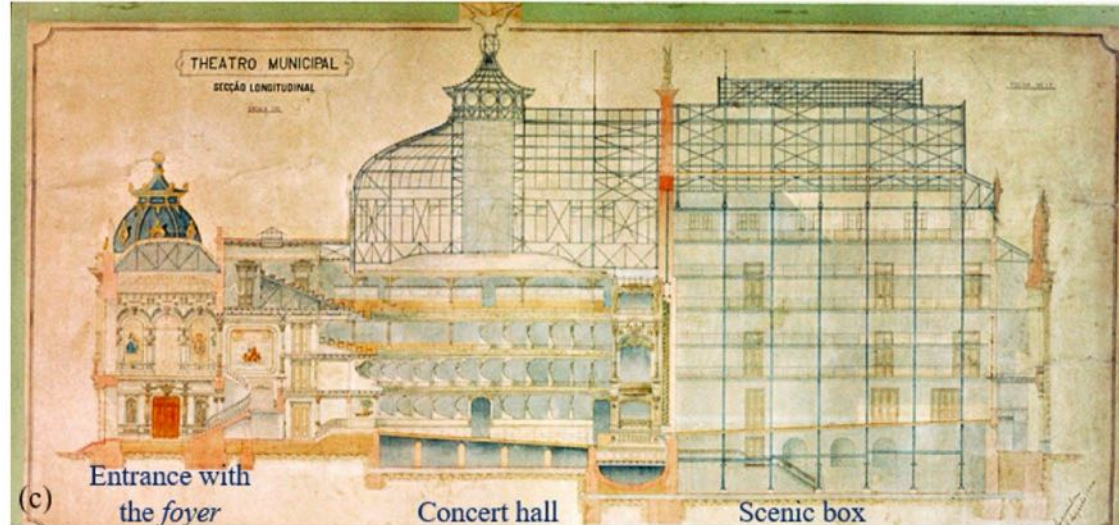
L'IQM è stato utilizzato per integrare le prove dinamiche, ai fini delle modellazioni FEM/DEM per la valutazione di volte e cupole.



(a)



(b)



(c)

Entrance with  
the foyer

Concert hall

Scenic box

Teatro Municipal di Rio de Janeiro

# Development and Demonstration of an HBIM Framework for the Preventive Conservation of Cultural Heritage

Article in *International Journal of Architectural Heritage* · April 2021

DOI: 10.1080/15488558.2021.1894002

CITATIONS

69

READS

1,055

6 authors, including:



Alberto Barontini

University of Chieti-Pescara

80 PUBLICATIONS 451 CITATIONS

SEE PROFILE



Helder Sousa

University of Minho

148 PUBLICATIONS 1,443 CITATIONS

SEE PROFILE



Daniel V. Oliveira

University of Minho

430 PUBLICATIONS 8,949 CITATIONS

SEE PROFILE

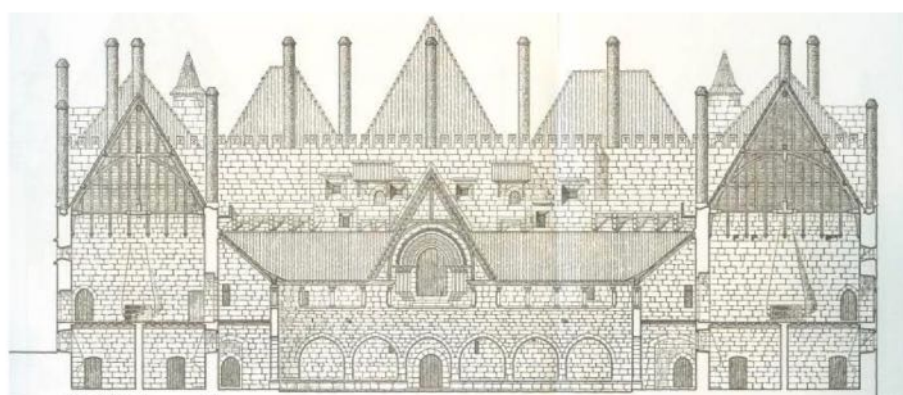


Maria Giovanna Masciotta

University of Chieti-Pescara

96 PUBLICATIONS 3,643 CITATIONS

SEE PROFILE



Obiettivo: definire un processo sistematico e accessibile che consenta di monitorare nel tempo l'evoluzione dei danni negli edifici storici, utilizzando strumenti HBIM basati su formati aperti (IFC) e su Product Data Templates (PDTs) per standardizzare l'informazione.

L'approccio è stato sperimentato sul Palazzo Ducale di Guimarães (Portogallo), mostrando come il sistema consenta una gestione sostenibile e collaborativa dei dati di conservazione.

L'IQM è inserito nei PDT per valutare la qualità costruttiva delle murature, migliorando la capacità del modello di integrare dati tecnici e di supportare decisioni manutentive e conservative.



Palazzo Ducale di Guimarães (Portogallo).

Article

## Digital Tools for the Preventive Conservation of Built Heritage: The Church of Santa Ana in Seville

Estefanía Chaves <sup>1,\*</sup>, Jaime Aguilar <sup>2</sup>, Alberto Barontini <sup>1</sup>, Nuno Mendes <sup>1</sup> and Víctor Compán <sup>2</sup>

<sup>1</sup> ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, University of Minho, 4800-058 Guimarães, Portugal

<sup>2</sup> Department of Building Structures and Geotechnical Engineering, University of Seville, 41012 Seville, Spain

\* Correspondence: echaves@us.es

HBIM (Historic Building Information Modelling) per la conservazione preventiva del patrimonio costruito, applicato alla chiesa di Santa Ana a Siviglia.

Obiettivo: flusso di lavoro replicabile che permetta di digitalizzare e gestire dati storici, geometrici e materici, condurre analisi di vulnerabilità sismica e strutturale, integrare informazioni da rilievi, prove non distruttive e modelli numerici FEM e creare una “digital twin” del bene, in grado di evolvere con il monitoraggio nel tempo.

L'IQM è impiegato come strumento base per la caratterizzazione qualitativa e quantitativa della muratura della chiesa, senza ricorrere a prove distruttive, fornendo valori coerenti da usare nel modello FEM.



Church of Santa Ana in Seville

**Inspección y diagnóstico de la Catedral de Potosí, Bolivia**

*Inspection and diagnosis of the Cathedral of Potosí, Bolivia*

Jahdiel VILAFUERTE<sup>1</sup>, Michele D' AMATO<sup>2</sup>, Michelangelo LATERZA<sup>3</sup>  
Gunnady CARO<sup>4</sup>, Julio RUIZ<sup>5</sup>, Gonzalo SALAZAR<sup>6</sup>

<sup>1</sup>University of Basilicata, Matera, Italy, jahdiel1634@gmail.com

<sup>2</sup>University of Basilicata, Matera, Italy, michelangelo.laterza@unibas.it

<sup>3</sup>University of Basilicata, Matera, Italy, michele.amato@unibas.it

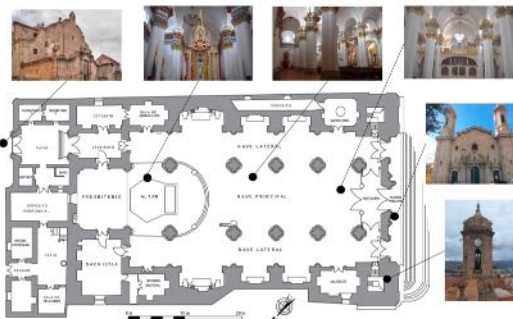
<sup>4</sup>Servicios de Ingeniería y Supervisión ALBIS Adamczyk S.R.L., Potosí, Bolivia, gurdexro@hotmail.com

<sup>5</sup>Empresa Zigurat S.R.L., Bolivia, julio.ruiz10@yahoo.com

<sup>6</sup>University of Basilicata, Matera, Italy, gsa1365@aial.com



Cattedrale di Potosí (Bolivia)



(a)



(b)



(c)

**Figura 3 – Memoria fotográfica histórica de la Catedral de Potosí. (a) La catedral menor de Potosí en 1975, cuadro en óleo de Gaspar Miguel de Berrío. (b) Fotografía tomada en 1875, fuente anónima. (c) Fotografía actual de la Catedral Mayor de Potosí, septiembre 2017.**

**Tabla 5 – Procedimiento de cálculo del índice de calidad de la mampostería MQI**

N°	UBICACIÓN	FOTOGRAFIA Y ESQUEMA	EVALUACIÓN DEL MQI								
			HJ	WC	SS	VJ	SD	MM	SM		
1	Fachada Sur Torre Este Torre Oeste		Valor	F	PF	F	F	F	F	F	
			V	2	1	3	1	1	2	1	
			H(I)	1	1	2	2	1	2	1	
			H(O)	2	1.5	2	1	1	1	1	
			MQI			V	10.0	A			
						H(I)	9.0	A			
						H(O)	8.5	A			
2	Fachada Este		Valor	HJ	WC	SS	VJ	SD	MM	SM	
				PF	NF	NF	NF	PF	F	F	
			V	1	D	0	0	0	0.5	2	1
			H(I)	0.5	D	0	0	0	0.5	2	1
						V	3.5	B			
						H(I)	3.0	C			
						H(O)	2.5	C			
3	Fachada Oeste		Valor	HJ	WC	SS	VJ	SD	MM	SM	
				PF	NF	NF	NF	PF	F	F	
			V	1	D	1.5	0	0.5	2	1	
			H(I)	0.5	D	0	0	0.5	2	1	
						V	5.0	A			
						H(I)	4.0	B			
						H(O)	3.5	B			
4	Fachada Norte		Valor	HJ	WC	SS	VJ	SD	MM	SM	
				F	F	F	F	F	PF	PF	
			V	2	1	3	1	1	0.5	0.7	
			H(I)	1	1	2	2	1	1	0.7	
						V	6.0	A			
						H(I)	5.6	A			
						H(O)	5.6	A			

## Structural Assessment of a War-Damaged Heritage Building in Lviv, Ukraine

Rafael Ramirez<sup>(ORCID)</sup>, Annalaura Vuoto<sup>(ORCID)</sup>, and Paulo B. Lourenço<sup>(ORCID)</sup>

Department of Civil Engineering, ISISE, ARISE, University of Minho, Guimarães, Portugal  
rramirez@civil.uminho.pt

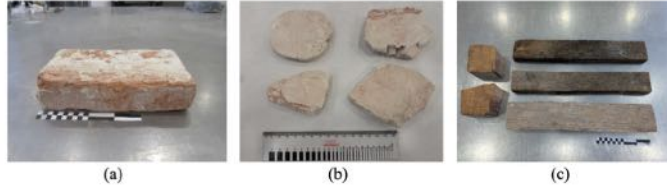


Fig. 4. Materials collected for laboratory testing: (a) solid fired-clay brick; (b) mortar from masonry bed joints; (c) timber elements.

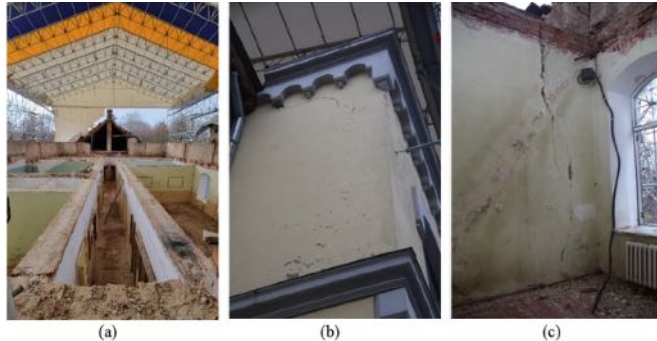


Fig. 3. Main types of damage: (a) complete loss of roof and slabs; (b) out-of-plane deviation of the longitudinal façades; (c) structural cracks at the intersection between orthogonal walls.

Obiettivo: valutazione strutturale del “Land Management Building” dell’Università Nazionale Ambientale di Lviv, una costruzione storica in muratura danneggiata da un attacco con drone nel gennaio 2024. Il danneggiamento ha provocato il crollo della copertura, il degrado delle connessioni tra pareti portanti e deformazioni fuori piano delle facciate. L’IQM è stato impiegato come strumento speditivo per valutare la qualità della muratura e stimare il livello di sicurezza, basandosi su osservazioni dirette delle superfici murarie e sulle condizioni costruttive, validando la scelta dei parametri meccanici utilizzati nel modello FEM e orientando la definizione degli interventi di stabilizzazione.



Land Management Building dell’Università Nazionale Ambientale di Lviv (Ucraina)



## Characterization of the Mechanical Properties of Historical Buildings Using Semi-Destructive Methods: A Case Study of Nafisi, Sorkheie and Kalantar Historic Houses, Tabriz

Ebrahim Aminifar<sup>1</sup>, Farhad Akhoundi<sup>2</sup>, Ahad Nejadebrahimi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Master of Strengthening of Historical Buildings, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, IRAN

<sup>2</sup> Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, IRAN

<sup>3</sup> Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, IRAN

**Obiettivo:** determinazione delle proprietà meccaniche delle murature storiche di tre edifici del periodo Qajar (le case Nafisi, Sorkheie e Kalantar) situati a Tabriz (Iran).

Gli autori confrontano test con martinetti piatti doppi con IQM per verificare la validità e l'adattabilità del metodo per murature in mattoni iraniane.

Il metodo MQI è efficace come strumento qualitativo, ma suggeriscono di ricalibrarlo per le murature in mattoni locali, differenti da quelle miste pietra-mattone italiane.

(Nota: non hanno però usato il metodo aggiornato per murature regolari ....)

Table6: Comparing the values of compressive strength and modulus of elasticity obtained from the double flat jack testing and the relations proposed by Borri et al.

Mechanical properties	Nafisi House		Sorkheie House		Kalantar House	
	Min and max values obtained by double flat jack test (MPa)	Min and max values obtained by Borri's relations (MPa)	Min and max values obtained by double flat jack test (MPa)	Min and max values obtained by Borri's relations (MPa)	Min and max values obtained by double flat jack test (MPa)	Min and max values obtained by Borri's relations (MPa)
Compressive strength	0/81 -1/13	2/39 - 3/89	0/0-53/81	2/21 -3/62	1/36 -1/68	3/27 -5/13
Elastic modulus	-1182/06 1382/27	-1137/74 1631/23	- 1179/42 1480/35	-1070/59 1540/56	-1794 2611/3	-1451/16 2050/53



(b)



(a)

Fig. 4. Sorkheie House: (a) stipulations for the conduction of the tests, (b) arrangement of measuring gauges



## Characterization of the Mechanical Properties of Historical Buildings Using Semi- Destructive Methods: A Case Study of Nafisi, Sorkheie and Kalantar Historic Houses, Tabriz



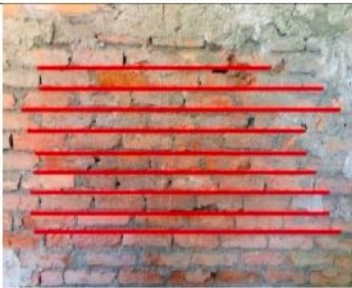


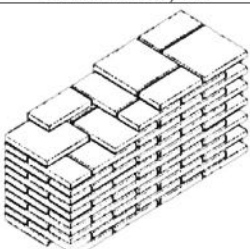
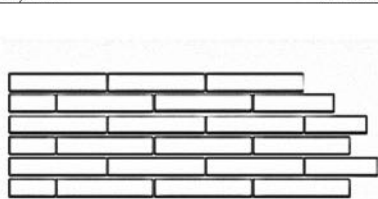
Ebrahim Aminifar <sup>1</sup>, Farhad Akhoundi\* <sup>2</sup>, Ahad Nejadebrahimi <sup>3</sup>

<sup>1</sup>. Master of Strengthening of Historical Buildings, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, IRAN

<sup>2</sup>. Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, IRAN

<sup>3</sup>. Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, IRAN

Table 3. The results of the qualitative evaluation of the Nafisi House based on Borri's approach.

<p>Photos</p>	 <p>Western elevation of the house</p>	 <p>Wall's elevation</p>	
<p>Analysis of horizontal and vertical joints and wall location</p>	 <p>Horizontal bed joints</p>	 <p>Vertical joints</p>	 <p>Wall section</p>
<p>Arrangement of bricks</p>	 <p>Axonometric projection</p>	 <p>Front view</p>	





## A comprehensive approach to assess the seismic vulnerability of archaeological sites: the Wupatki Pueblo in Arizona

Laura Gambilongo<sup>1</sup>  · Nicola Chieffo<sup>1</sup> · Paulo B. Lourenço<sup>1</sup>

Nel sito preistorico di Wupatki Pueblo in Arizona (USA), costruito con arenaria e malta terrosa, l'IQM è utilizzato come strumento di valutazione qualitativa-quantitativa della muratura, con il fine di derivare i parametri meccanici necessari per le successive fasi di valutazione della vulnerabilità sismica.

L'analisi è organizzata in tre livelli principali: caratterizzazione meccanica della muratura tramite IQM; valutazione della vulnerabilità sismica con metodi a Indice di Vulnerabilità; analisi locale del comportamento dei singoli pannelli murari (curve di capacità e fragilità).



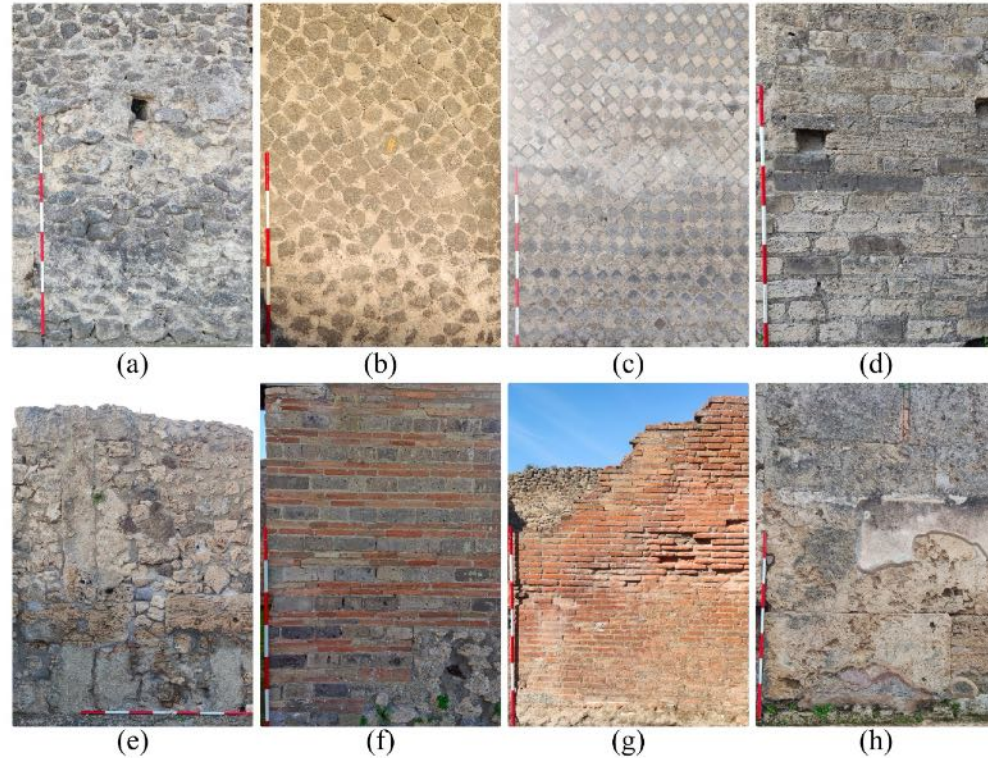
Sito archeologico “The Wupatki Pueblo” in Arizona.

## Reconstructing Masonry Textures in Pompeii's Buildings Using Ground-Penetrating Radar: A Feasibility Study

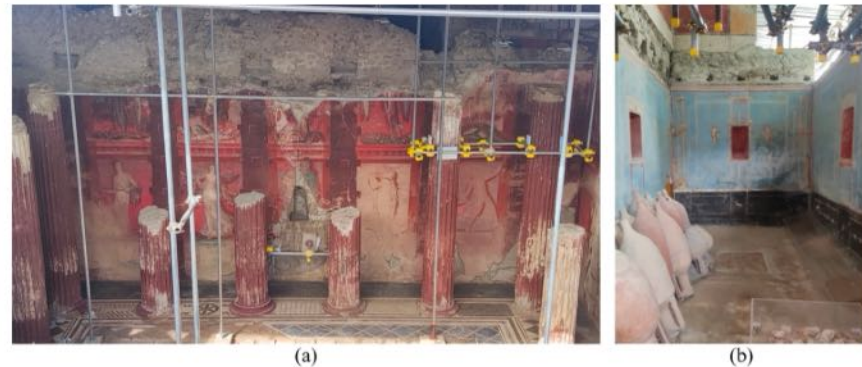
Sara Donzelli<sup>1</sup>, Lorenza Petrini<sup>1</sup>, Alessandra Zambrano<sup>2</sup>, Vincenzo Calvanese<sup>2</sup>,  
Gabriel Zuchtriegel<sup>2</sup>, and Maurizio Lualdi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, Politecnico di Milano, Milan,  
Italy

<sup>2</sup> Parco Archeologico di Pompeii, Ministero della Cultura, Pompeii, Italy



**Fig. 3.** Examples of building techniques used in Pompeii with their position according to the labelling of the Archaeological Park [25]: **a)** *opus incertum* (P VIII 7 E 15); **b)** *opus quasi reticulatum* (P VIII 7 21 38 E); **c)** *opus reticulatum* (P VI 3 E 4); **d)** *opus vittatum* (P VII 9 18 1 E); **e)** *opus africanum* (P V 2 5 a N); **f)** *opus mixtum* (P IX 4 5 d S1); **g)** *opus testaceum* (P VI 14 S 17); **h)** *opus quadratum* (P IX 7 N 5).



**Fig. 1.** Examples of well preserved frescoes in the House of Thiasus (XI,10,3): **a)** Dionysian megalography; **b)** *sacrum* with blue walls

## Reconstructing Masonry Textures in Pompeii's Buildings Using Ground-Penetrating Radar: A Feasibility Study

Sara Donzelli<sup>1</sup>, Lorenza Petrini<sup>1</sup>, Alessandra Zambrano<sup>2</sup>, Vincenzo Calvanese<sup>2</sup>,  
Gabriel Zuchtriegel<sup>2</sup>, and Maurizio Lualdi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, Politecnico di Milano, Milan,  
Italy

<sup>2</sup> Parco Archeologico di Pompei, Ministero della Cultura, Pompeii, Italy

**Obiettivo:** valutare le caratteristiche meccaniche delle murature antiche di Pompei per progettare interventi di consolidamento e copertura compatibili con la conservazione dei manufatti archeologici e delle decorazioni parietali.

Poiché prove distruttive, o invasive, non sono ammissibili in un tale contesto, il lavoro esplora un approccio non distruttivo basato sull'integrazione tra georadar (GPR) e IQM, con l'obiettivo di ricostruire, basandosi sulle immagini ottenute da GPR, la tessitura muraria anche in presenza di intonaci e affreschi e consentire una ricostruzione virtuale della muratura nascosta e quindi

In altre parole, il GPR è lo strumento che consente di "ripristinare" la base osservativa necessaria all'applicazione dell'IQM.

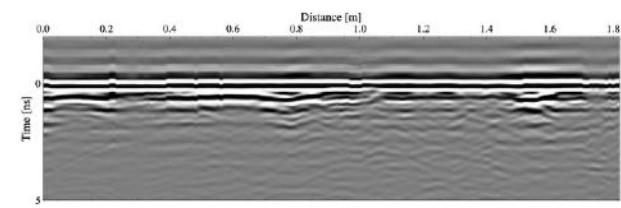


Fig. 5. Preliminary 2D GPR profile acquired to verify that the 3D reconstruction of the masonry arrangement in Pompeii is feasible

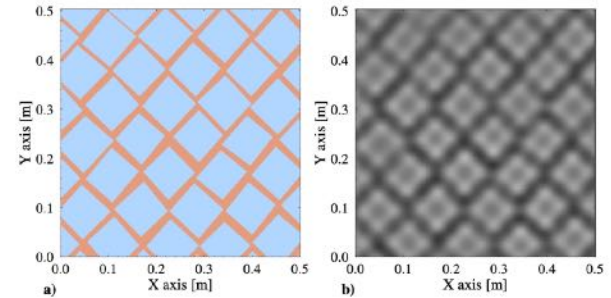


Fig. 6. a) Geometry model and b) simulated GPR time slice for the *opus reticulatum* panel

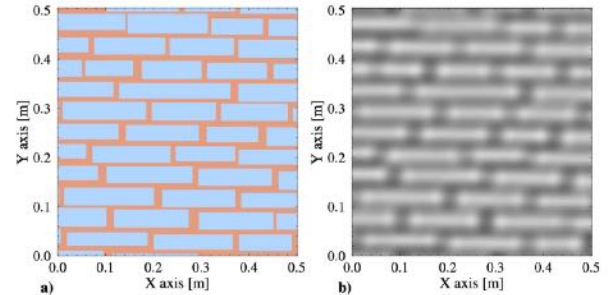


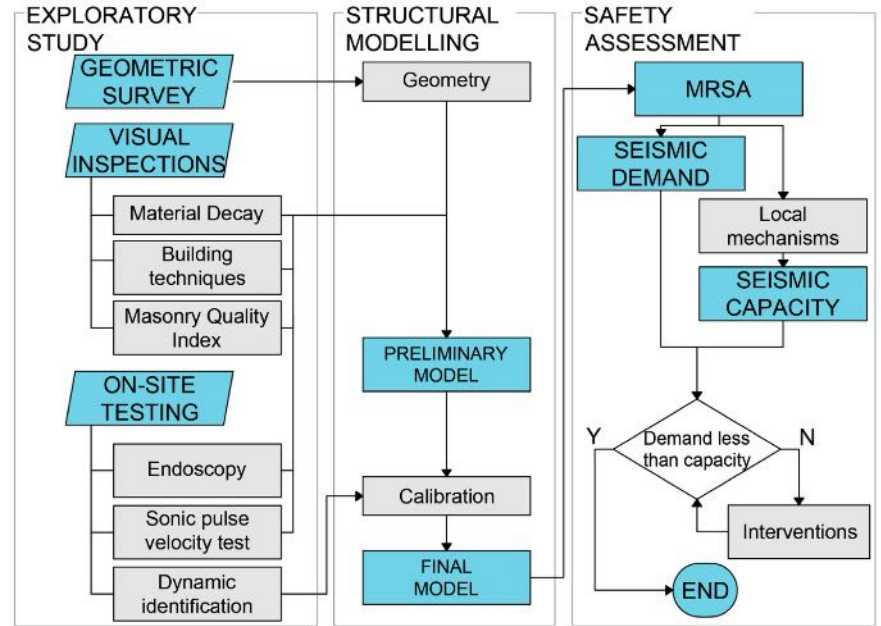
Fig. 7. a) Geometry model and b) simulated GPR time slice for the *opus testaceum* panel

Article

# Dynamic-Based Limit Analysis for Seismic Assessment of Free-Standing Walls of San Giovanni Church in Castelseprio UNESCO World Heritage Site

Luca Sbrogiò <sup>1,\*</sup>, Lorenzo Tavano <sup>2</sup>, Ylenia Saretta <sup>1</sup>, Amedeo Caprino <sup>3</sup>, Alejandra Chavarria Arnau <sup>1</sup>, Gian Pietro Brogiolo <sup>4</sup> and Maria Rosa Valluzzi <sup>1</sup>

- <sup>1</sup> Department of Cultural Heritage, University of Padova, Piazza Capitanio 7, 35139 Padova, Italy  
<sup>2</sup> Department of Civil Environmental and Architectural Engineering, University of Padova, Via F. Marzolo 9, 35131 Padova, Italy  
<sup>3</sup> Department of Geosciences, University of Padova, Via Gradenigo 6, 35131 Padova, Italy  
<sup>4</sup> University of Padova, Piazza Capitanio 7, 35139 Padova, Italy



**Figure 1.** Workflow of the engineering methodological approach to an archaeological site proposed in this work.



(a)







(b)



(c)

Article  
**Preservation and Protection of Cultural Heritage: Vibration Monitoring and Seismic Vulnerability of the Ruins of Carmo Convent (Lisbon)**

Nuno Mendes \* , Nicoletta Bianchini , Georgios Karanikoloudis, Anna Blyth , Jacopo Scacco, Luis Gerardo Flores Salazar , Cassie Cullimore and Lavina Jain

ISE, ARISE, Department of Civil Engineering, University of Minho, 4800-058 Guimarães, Portugal; nicoletta.bianchini@gmail.com (N.B.); karanikoloudis@hotmail.com (G.K.); balzac.js@gmail.com (J.S.); gsalazar@fe.up.pt (L.G.F.S.); cassiecullimore@cmail.carleton.ca (C.C.); gcad10114@gmail.com (L.J.)

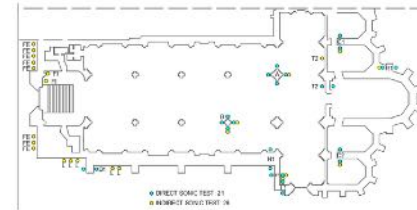


(a)

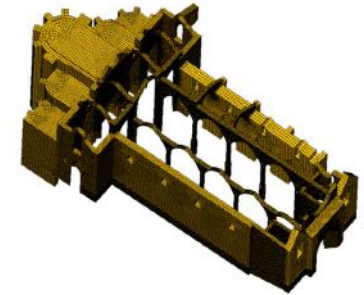


(b)

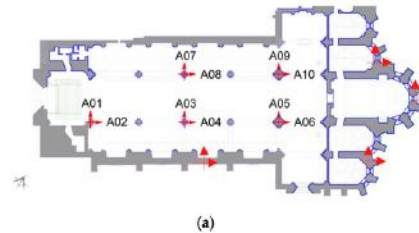
**Figure 6.** Details of the chapels: (a) masonry barrel vault covering the main apse; (b) example of the limestone ribbed vaults covering the secondary chapels.



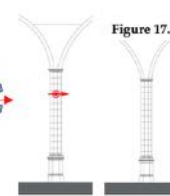
**Figure 8.** Sonic test locations.



**Figure 17.** FEM global model in DIANA environment.



(a)



(b)

**Figure 9.** Indicative testing setup of the dynamic identification tests: (a) plan; (b) height for accelerometers on the north arcade and the south arcade (arrows indicate reference axis of the accelerometers).

**Literature review on the mechanical properties estimation of historical masonry buildings: application of an evaluation method for the Algerian case**

**SEBOUI Hatem \***

Laboratory of Civil Engineering,  
Department of Civil Engineering,  
University of BADJI Mokhtar - Annaba,  
P.O. Box 12, 23000, Annaba, Algeria  
Email: seboui.ha@gmail.com

**ATHMANI Allaeddine**

Laboratory of Civil Engineering,  
Department of Civil Engineering,  
University of BADJI Mokhtar - Annaba,  
P.O. Box 12, 23000, Annaba, Algeria  
Email: allaeddine.athmani@yahoo.com

**FORMISANO Antonio**

Department of Structures for Engineering and Architecture,  
University of Naples Federico II,  
Piazzale Tecchio 80, 80125 Naples, Italy  
Email: antoform@unina.it

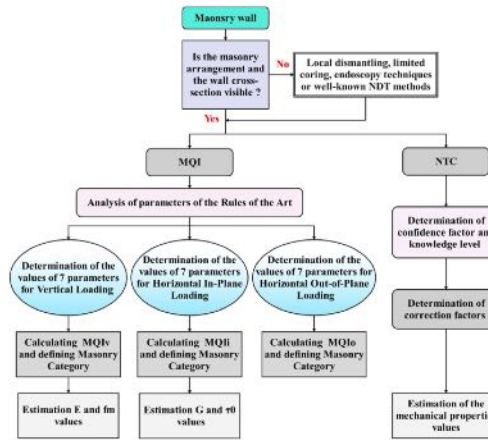


Fig.11 Scheme of correlation between NTC18 and MQI methodologies

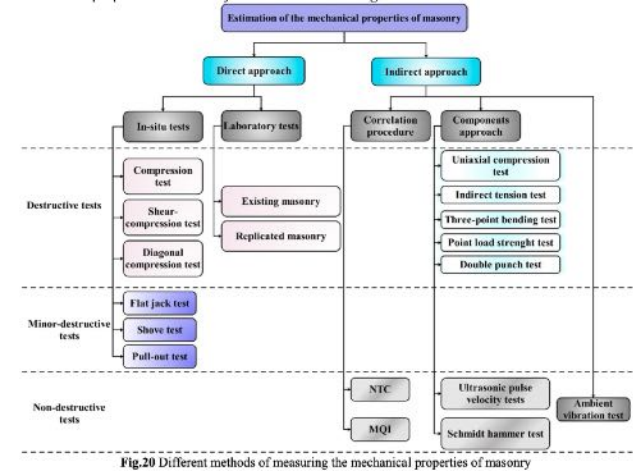


Fig.20 Different methods of measuring the mechanical properties of masonry



Muro bizantino di Tebessa (Algeria)

**Table 15.** The mechanical properties of the Byzantine Wall provided by NTC and MQI correlation procedures.

Correlation procedure	Compression strength $f_m$ (MPa)	Shear strength $\tau_0$ (kPa)	Young modulus $E_m$ (MPa)	Shear modulus $G_m$ (MPa)	Weight density $W_m$ (kN/m <sup>3</sup> )
NTC	8.40	126	3360	1032	22
MQI	8.14	121	3175	786.6	/

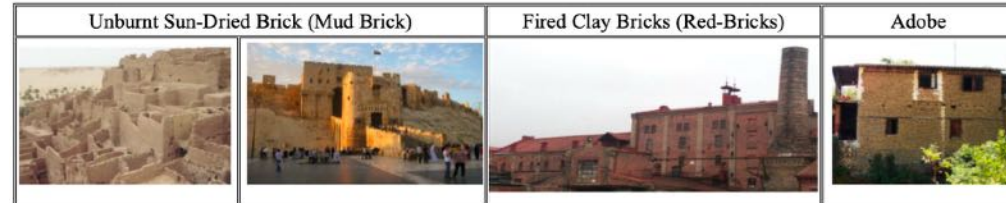


Fig.2 Historic clay units (Ibrahim, 2018)

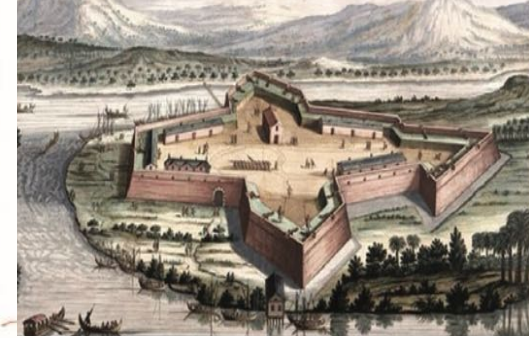
## Mechanical characterisation of stone masonry of Batticaloa fortress, Sri Lanka

**Julian Thambo** PhD  
Senior Lecturer, Department of Civil Engineering, South Eastern University of Sri Lanka, Oluvi, Sri Lanka (Orcid:0000-0003-0207-8808)

**Ramachandran Niroshan** BSc Eng  
Teaching Assistant, Department of Civil Engineering, South Eastern University of Sri Lanka, Oluvi, Sri Lanka (Orcid:0009-0008-7087-0657)

**Sivajathurshana Vijayathasan** BSc Eng  
Teaching Assistant, Department of Civil Engineering, South Eastern University of Sri Lanka, Oluvi, Sri Lanka (Orcid:0009-0005-2364-417X)

**Marco Corradi** PhD, CE, FStructE  
Professor, Department of Engineering and Technology, School of Computing and Engineering, University of Huddersfield, Huddersfield, UK (Orcid:0000-0003-3872-3303) (corresponding author: m.corradi@hud.ac.uk)



**Obiettivo:** stimare le proprietà meccaniche della muratura (resistenza a compressione, modulo elastico, modulo di taglio) attraverso un approccio integrato che combina: valutazione esperta e visiva (metodi IQM e GI); prove non distruttive (NDT) — *rebound hammer* (RH) e *ultrasonic pulse velocity* (UPV).

L'approccio è stato applicato a dieci pareti in muratura irregolare di pietra e malta di calce situate in diversi punti della fortezza, dove non era possibile eseguire prove distruttive.



La fortezza di Batticaloa (Sri Lanka)



ELSEVIER

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Construction and Building Materials

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/conbuildmat](http://www.elsevier.com/locate/conbuildmat)



The Medina of Chefchaouen (Morocco): A survey on morphological and mechanical features of the masonries



L. Rovero<sup>a,\*</sup>, F. Fratini<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Dipartimento di Architettura, Università di Firenze, piazza Brunelleschi 6, 50121 Firenze, Italy

<sup>b</sup> ICVBC, CNR, via Madonna Del Piano 10, Sesto Fiorentino, 50019 Firenze, Italy

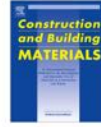


Indagine sulle caratteristiche morfologiche e meccaniche delle murature tradizionali della Medina di Chefchaouen (XV–XIX secolo).

Obiettivo: fornire le basi per una diagnosi corretta e per la progettazione di interventi di conservazione compatibili con la cultura costruttiva locale.

L'IQM è stato utilizzato come strumento chiave per correlare qualità costruttiva e prestazioni meccaniche delle murature, permettendo di quantificare in modo realistico la qualità e la resistenza delle murature tradizionali, evidenziare l'efficacia delle tecniche costruttive locali, fornire dati affidabili per interventi di restauro e consolidamento compatibili con la tradizione costruttiva.





## The Medina of Chefchaouen (Morocco): A survey on morphological and mechanical features of the masonries

L. Rovero<sup>a,\*</sup>, F. Fratini<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Dipartimento di Architettura, Università di Firenze, piazza Brunelleschi 6, 50121 Firenze, Italy

<sup>b</sup> ICVBC, CNR, via Madonna Del Piano 10, Sesto Fiorentino, 50019 Firenze, Italy



Fig. 12. Setup for the uniaxial compression test.

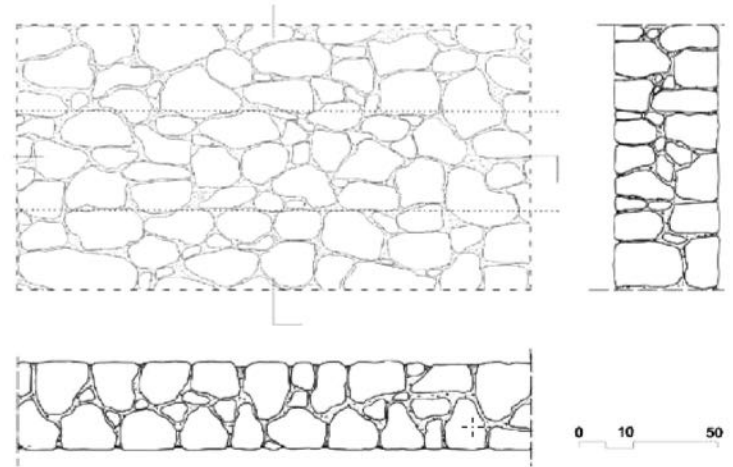


Fig. 18. MT1a type: stone masonry.

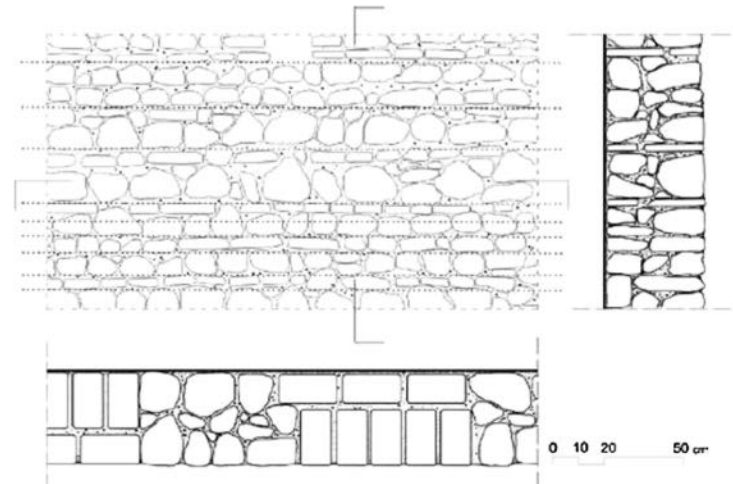


Fig. 21. MT3 type: mixed stone and brick masonry.

## THE *DESERT ROSE* DOMES OF THE SOUF REGION (ALGERIA). PRELIMINARY EVALUATIONS ON THE VULNERABILITY OF A UNIQUE VERNACULAR HERITAGE

C.Azil<sup>1,2,\*</sup>, L. Rovero<sup>2</sup>, B. Djebri<sup>1</sup>, F. Fratini<sup>3</sup>, G. Misseri<sup>2</sup>, U. Tonietti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LVAP, Laboratoire Ville, architecture et patrimoine, Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme EPAU, Alger, Algeria – (c.azil, B.Djebri)@cpau-alger.edu.dz

<sup>2</sup> Dept. of Architecture, University of Florence, Florence, Italy – (chima.azil, luisa.rovero, Giulia.misseri)@unifi.it

<sup>3</sup> Institute of Heritage Science- National Research Council, Florence, Italy – fratini@icvbc.cnr.it

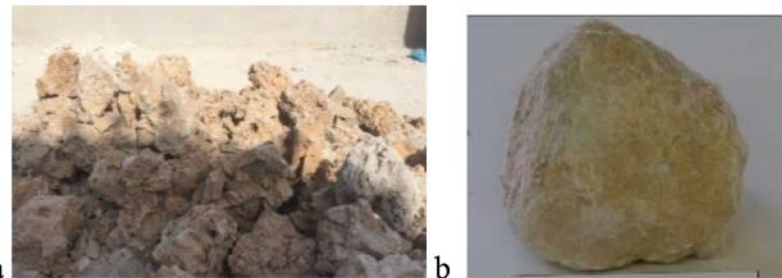


Figure 3. a. 'Desert Rose' stone. b. Tafza stone.



Guemar city, Souf (Algeria)



Figure 8. a. Section of 'Desert Rose' stone masonry. b. Wall of masonry building. c. Big 'Desert Rose' blocks.



Contents lists available at ScienceDirect

## Construction and Building Materials

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/conbuildmat](http://www.elsevier.com/locate/conbuildmat)

### Mechanical characterization of historical rubble stone masonry and its correlation with the masonry quality assessment

A.P. Ferreira Pinto<sup>a</sup>, B. Sena da Fonseca<sup>b,\*</sup>, D. Vaz Silva<sup>c</sup><sup>a</sup> Department of Civil Engineering, Architecture and Georesources, CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal<sup>b</sup> Centro de Química Estrutural-CQE, DEQ, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal<sup>c</sup> Parques de Sintra – Monte da Lua S.A., Parque de Monserrate, 2710-405 Sintra, Portugal

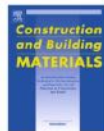
Caratterizzazione meccanica di otto murature in pietrame provenienti da diverse strutture del Palácio Nacional de Sintra (Portogallo) e valutazione della loro qualità utilizzando l'IQM e il Commentario alle NTC 2018.

Sono state utilizzate prove con sclerometro a rimbalzo per valutare la qualità degli elementi in pietra e dei giunti di malta, e prove con martinetto piatto per valutare le proprietà meccaniche delle murature.

I risultati hanno permesso di proporre nuovi criteri quantitativi per valutare la qualità di malte e pietre nell'IQM e di supportare la decisione di applicare il fattore di moltiplicazione relativo alla qualità delle malte nella metodologia delle NTC 2018.



Il Palácio Nacional de Sintra (Portogallo)



## Mechanical characterization of historical rubble stone masonry and its correlation with the masonry quality assessment

A.P. Ferreira Pinto<sup>a</sup>, B. Sena da Fonseca<sup>b,\*</sup>, D. Vaz Silva<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Department of Civil Engineering, Architecture and Geosciences, CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal

<sup>b</sup> Centro de Química Estrutural-CQE, DEQ, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal

<sup>c</sup> Parques de Sintra – Monte da Lua S.A., Parque de Monserrate, 2710-405 Sintra, Portugal

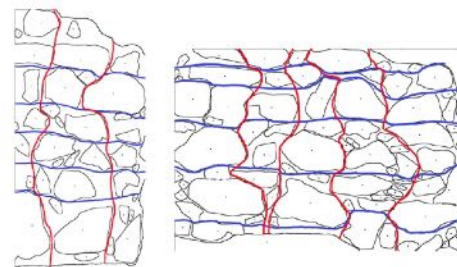
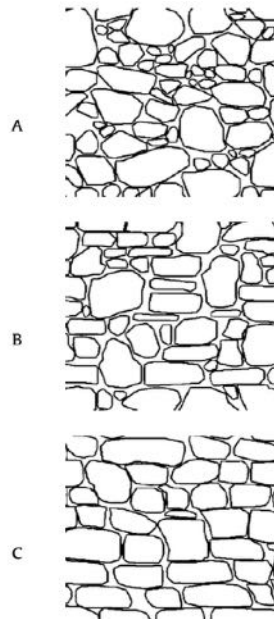


Fig. 3. Representation of several shortest paths along the horizontal (blue) and vertical joints (red) (left: MW1 panel; right: MW9 panel). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

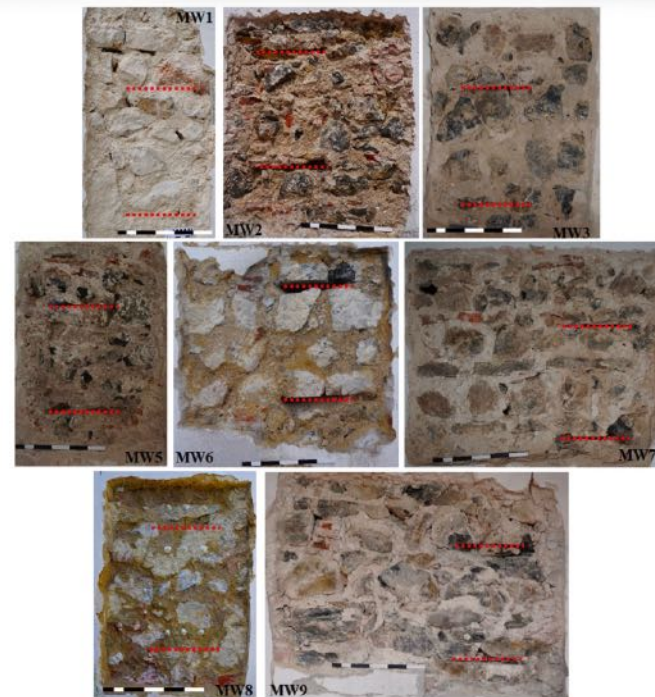




Fig. 2. Visual appearance of the masonry panels exposed by the removal of plaster/render and position of the flat jacks (red dashed lines) – Total length of scale: 50 cm (5 and 10 cm segments). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

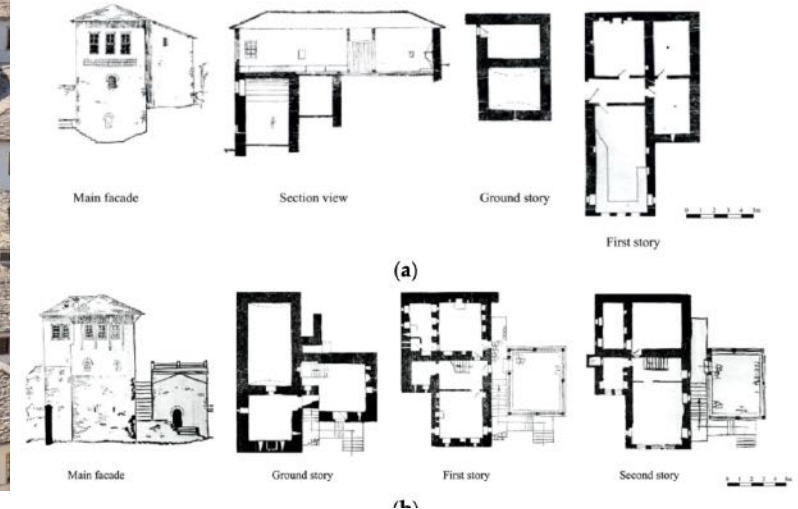
Article  
**Physical-Mechanical Properties of Stone Masonry of Gjirokaštër, Albania**

Enea Mustafaraj <sup>1</sup> , Erion Luga <sup>1</sup>, Marco Corradi <sup>2,3,\*</sup> , Antonio Borri <sup>3</sup>, Ylber Muceku <sup>4</sup> and Aleksandra Zharkalli <sup>1</sup>

- <sup>1</sup> Department of Civil Engineering, EPOKA University, 1039 Tirana, Albania; emustafaraj@epoka.edu.al (E.M.); eluga@epoka.edu.al (E.L.); azharkalli14@epoka.edu.al (A.Z.)
- <sup>2</sup> Department of Mechanical & Construction Engineering, Northumbria University, Newcastle upon Tyne NE1 8ST, UK
- <sup>3</sup> Department of Engineering, University of Perugia, 06125 Perugia, Italy; antonio.borri@unipg.it
- <sup>4</sup> Institute of Geosciences, Energy, Water and Environment, 1024 Tirana, Albania; y.muceku@geo.edu.al
- \* Correspondence: marco.corradi@northumbria.ac.uk; Tel.: +44-(0)191-227-3071



Gjirokaštër (site UNESCO), Albania



# Structural analysis of the Barrô Romanesque Church

Article · November 2021

CITATIONS  
0

READS  
288

6 authors, including:

 Daniel V. Oliveira  
University of Minho

430 PUBLICATIONS 8,549 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

 Bledian Nela  
Sapienza University of Rome

13 PUBLICATIONS 58 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

 Eduarda Vila-Chã  
University of Minho

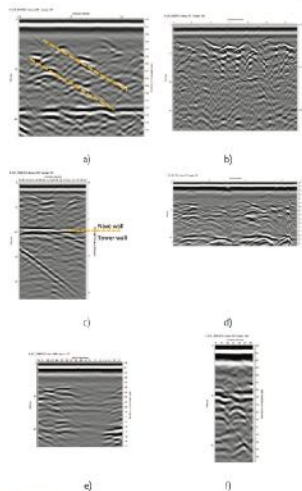
6 PUBLICATIONS 37 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

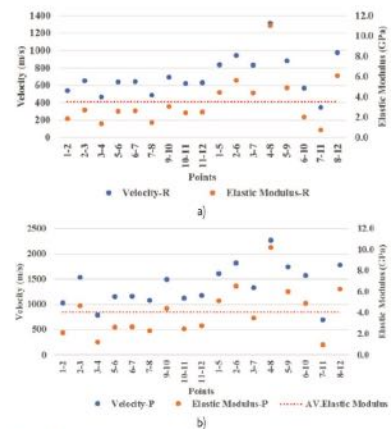
 Pratik Gajjar  
CEPT University

14 PUBLICATIONS 21 CITATIONS

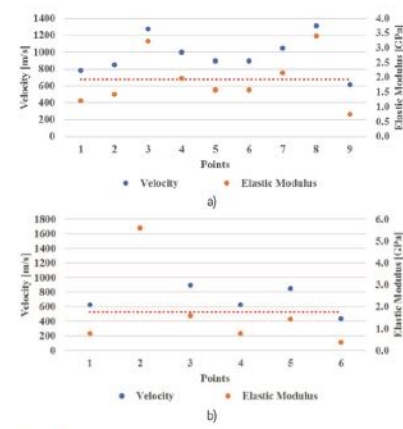
[SEE PROFILE](#)



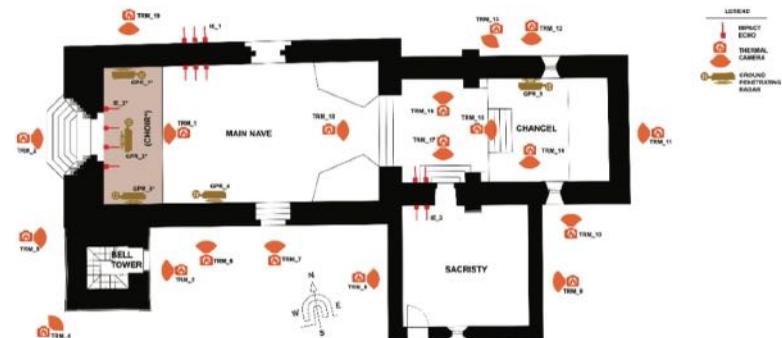
**Figure 7** Radargrams at: a) GPR\_1 northern wall choir level; b) GPR\_2 western façade wall choir level; c) GPR\_3 southern nave-tower wall interface choir level; d) GPR\_4 southern wall; e) GPR\_5 northern wall; f) GPR\_6 beginning of the vault



**Figure 9** Correlation between velocity and the elastic modulus: a) R-waves; b) P-waves



**Figure 8** Correlation between velocity and the elastic modulus in: a) northern wall IE\_1; b) southern wall IE\_3



**Figure 5** Non-destructive test locations (\*for the tests in the Choir level)

Article

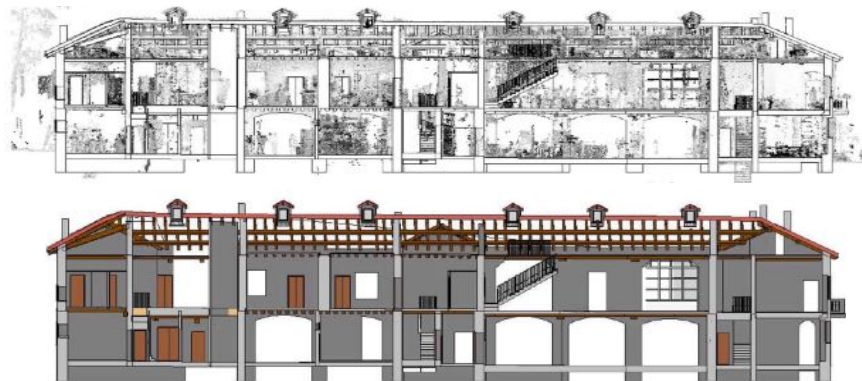
## Non-Invasive Identification of Vulnerability Elements in Existing Buildings and Their Visualization in the BIM Model for Better Project Management: The Case Study of Cuccagna Farmhouse

Elsa Garavaglia <sup>1,\*</sup>, Anna Anzani <sup>2</sup>, Fabio Maroldi <sup>1</sup> and Fabio Vanerio <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, Politecnico di Milano, 20133 Milano, Italy; fabio.maroldi@polimi.it (F.M.); fabio.vanerio@polimi.it (F.V.)

<sup>2</sup> Department of Design, Politecnico di Milano, 20158 Milano, Italy; anna.anzani@polimi.it

\* Correspondence: elsa.garavaglia@polimi.it



**Obiettivo:** combinare metodi rapidi di analisi strutturale con la modellazione BIM, per identificare e visualizzare graficamente gli elementi vulnerabili. L'IQM costituisce il fulcro del primo livello di valutazione strutturale.

risultati vengono inseriti nel modello BIM, assieme ad altri indicatori di vulnerabilità (irregolarità, connessioni, degrado, ecc.).

Da qui derivano: un giudizio qualitativo complessivo di vulnerabilità; la stima di un fattore di sicurezza convenzionale correlato all'IQM; una mappatura grafica nel modello 3D che evidenzia i pannelli più deboli o disconnessi.



Cascina "Cuccagna", Milano.