

Convegno in modalità on-line

14 ottobre 2026 ore 14:30 - 17:30

CORSI DI FORMAZIONE ATE

**L'INDICE DI QUALITÀ MURARIA (IQM) NELLE ANALISI
DELLE COSTRUZIONI MURARIE ESISTENTI**

UN PROTOCOLLO DI BASE PER L'ANALISI DELLE COSTRUZIONI MURARIE ESISTENTI

Prof. Ing. Antonio Borri

Ordinario di Scienza delle Costruzioni f.r. – Università degli Studi di Perugia

Presidente Onorario del Centro Studi Sisto Mastrodicasa

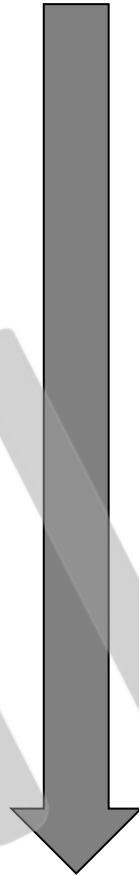
Fondatore e Coordinatore del Master in “Miglioramento Sismico, Restauro e Consolidamento del Costruito Storico e Monumentale”

Membro del Consiglio Scientifico di ISI - Ingegneria Sismica Italiana

Email: antonio.borri@unipg.it

ESPERIENZE

Non tutte positive.
Ogni volta si riparte da capo,
dicendo che prima si era
sbagliato, che stavolta abbiamo
capito tutto; ogni volta
cambiando modelli, norme,
tecniche di intervento.
Mettendoci sempre e comunque
tempi lunghi o lunghissimi ...



1976 FRIULI
1979 VALNERINA
1980 IRPINIA
1997 UMBRIA-MARCHE
2002 MOLISE
2009 ABRUZZO
2012 EMILIA-ROMAGNA
2016 CENTRO ITALIA

«Fratello terremoto», negli ultimi dieci anni, è stato «clemente»: solo due eventi con magnitudo elevata, ma molto profondi, quindi senza grosse conseguenze.



Next time?

(Speriamo più in là possibile, e speriamo di non ripartire ancora una volta da zero)

MA I SISTEMI SONO OCCASIONE ANCHE DI EVOLUZIONE IN DIVERSI CAMPI:

- SCIENTIFICO
- PROFESSIONALE
- PRODUTTIVO
- TECNOLOGICO

PER LE MURATURE NE È STATA FATTA DI STRADA ...

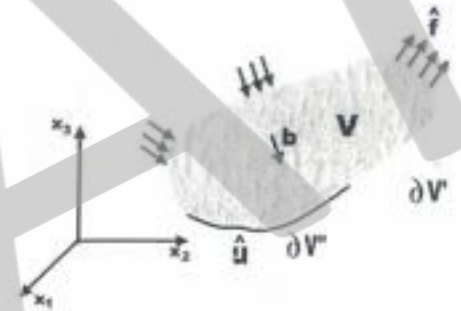
SI ERA PARTITI DAI MATERIALI MODERNI
(ben diversi dalle murature storiche ...)



Augustin-Louis Cauchy

IL PROBLEMA DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Hp: Materiale a comportamento ELASTICO LINEARE (OMOGENEO) ISOTROPO



- 3 Eq. Equilibrio: $\sigma_{ij,i} + b_j = 0$ in V
 $\sigma_{ij} n_i = f_j$ in ∂V
- 6 Eq. Congruenza: $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i})$ in V
- 6 Eq. Legame: $\sigma_{ij} = 2G\varepsilon_{ij} + \lambda I_c \delta_{ij}$ in V
 $\left[\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2G} \left(\sigma_{ij} - \frac{\lambda}{3\lambda + 2G} I_o \delta_{ij} \right) \right]$ in V

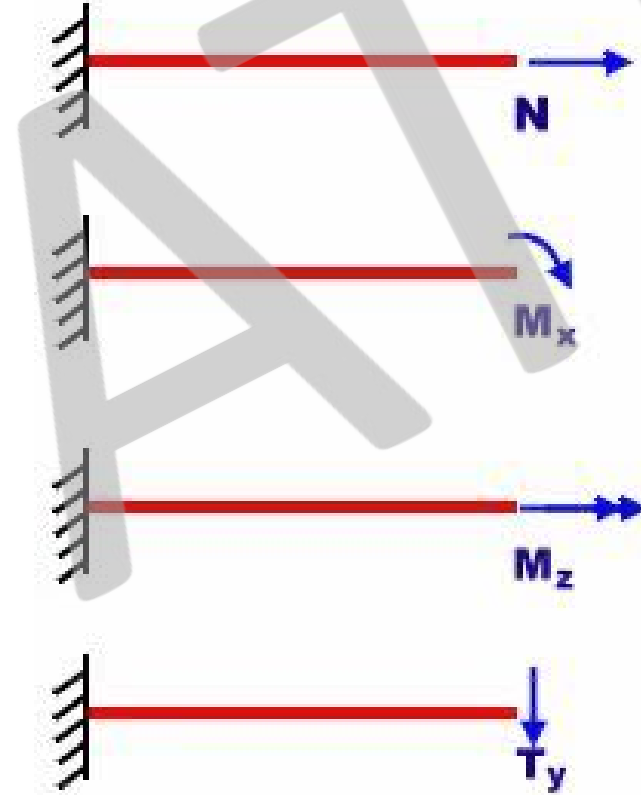
Incognite: 6 componenti σ_{ij} - 6 componenti ε_{ij} - 3 componenti u_i

PER LE MURATURE NE È STATA FATTA DI STRADA ...

SI ERA PARTITI DAI MATERIALI MODERNI
(ben diversi dalle murature storiche ...)

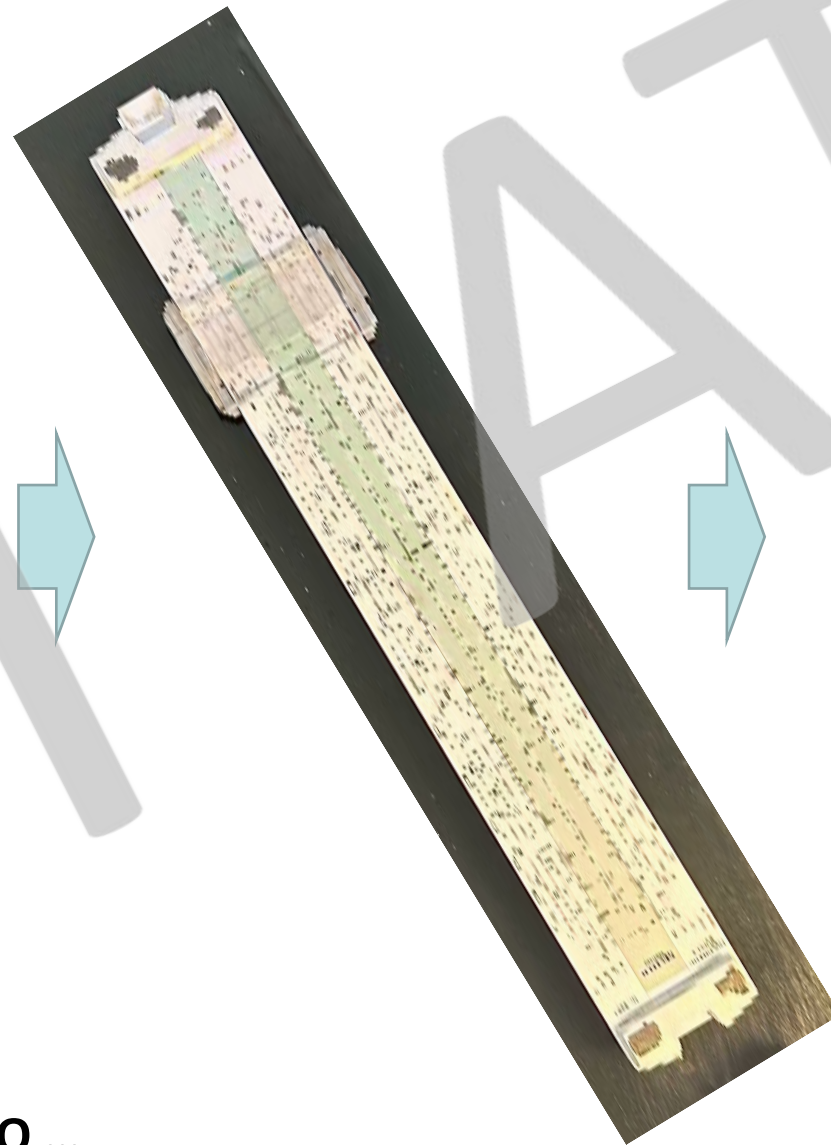


Adhémar-Jean-Claude Barré
de Saint-Venant (1797 – 1886)
Matematico e Ingegnere



→ TEORIA TECNICA DELLE TRAVI

PER IL CALCOLO NUMERICO NE È STATA FATTA DI STRADA ...



ANNI '70: STRUMENTI PER IL CALCOLO ...

ED ANCHE PER L'ANALISI SISMICA NE È STATA FATTA DI STRADA ...



Friuli 1976

Irpinia 1980



EFFETTI COLLATERALI (NEGATIVI): DANNI DA NORMATIVA

Friuli '76: POR (→ sostituzione solai e coperture lignee, cordoli in breccia)

Umbria '79 «Protocollo B.»

Irpinia '80: iniezioni di cemento

DM '96

Elenco lunghissimo di danni e lutti

ANNI '80: EVOLUZIONE DEGLI STRUMENTI PER IL CALCOLO ...

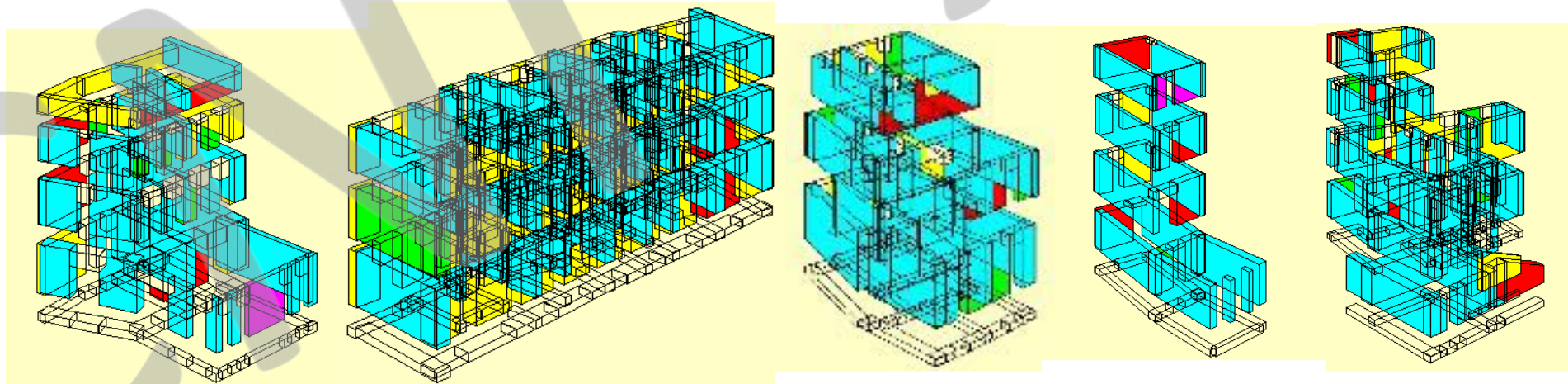


→ SVILUPPO DI METODI NUMERICI PER L'ANALISI STRUTTURALE

ANNI '80

Documento Tecnico 2 (Friuli)
D.M. 30.07.1981 (Irpinia)

- Introduzione verifica numerica di edifici in muratura esistenti
- Metodo POR
- **Interventi con ampio ricorso al cemento armato**



COSA ERA OBBLIGATORIO FARE NEGLI ANNI '80:

Documento Tecnico 2 - Friuli

D.M. 30.07.1981 (Irpinia)

Tra gli interventi «suggeriti» (= obbligatori):

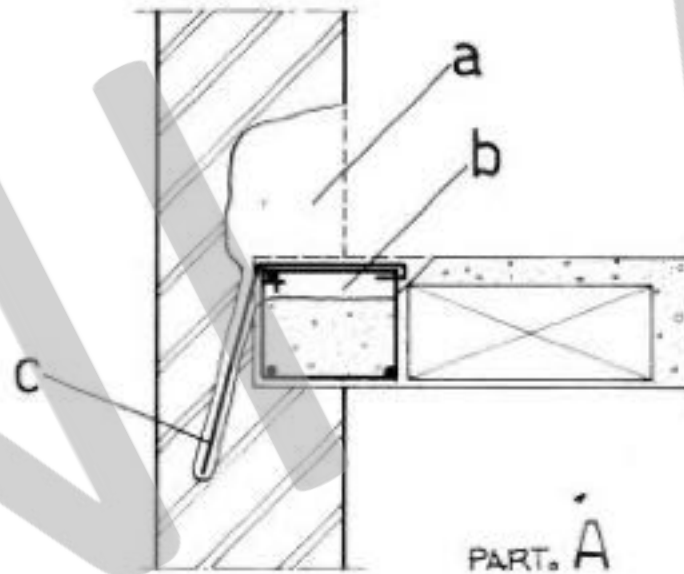
- **Iniezioni** di miscele leganti su pareti murarie.
- **Lastre in cemento armato** o di reti metalliche elettrosaldate su pareti murarie.
- **Pilastrini in cemento armato** o metallici in breccia nella muratura;
- Tirantature orizzontali e verticali su pareti murarie.
- **Archi e volte** interessati da gravi dissesti e se realizzati con muratura di non buona consistenza e fattura, devono essere **eliminati**. Il rinforzo può invece essere conseguito costruendo in aderenza a quelli esistenti **archi e volte in cemento armato**.
- **Solai** avvallati o deteriorati, si da non possedere adeguata rigidità nel proprio piano, **devono essere sostituiti con solai in cemento armato** ordinario o precompresso, ovvero in acciaio.
- Le **scale** in muratura a sbalzo, cioè quelle aventi gli scalini o la sottostruttura incastrati nei muri di gabbia da un lato e liberi d'altro, devono essere di regola **sostituite con scale in cemento armato** o in acciaio.



Interventi realizzati negli anni '80
su un edificio del 1300 a Gubbio

Come si interveniva (spesso obbligatoriamente) negli anni '80:

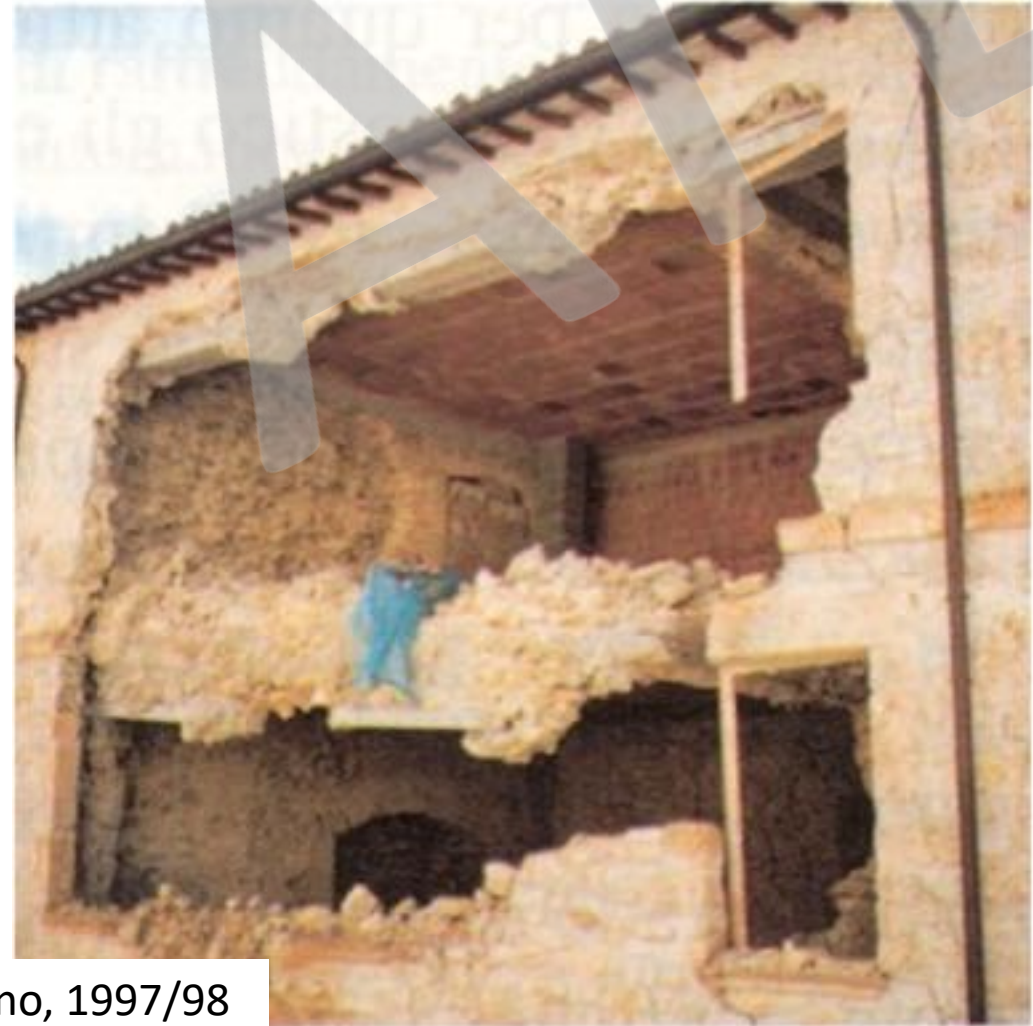
CORDOLI «IN BRECCIA»



1997 UMBRIA

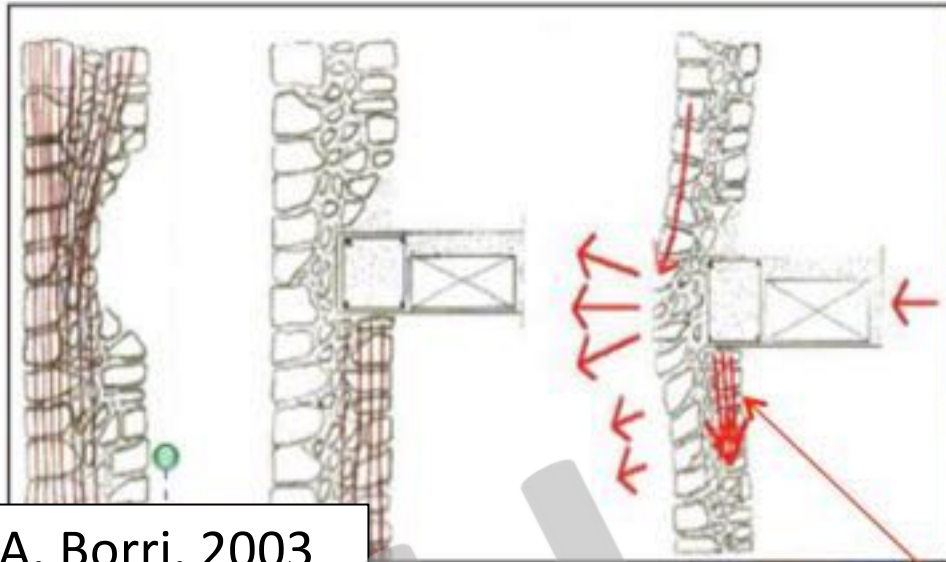
Gravi danni anche su edifici consolidati con i criteri delle norme del 1981 e seguenti.

→ **Inefficacia di interventi troppo pesanti** su edifici in muratura



Sellano, 1997/98

COMPORTAMENTO EFFETTIVO NEL CASO DI CORDOLI IN BRECCIA



A. Borri, 2003

Il cordolo si appoggia
sul solo paramento
interno

Muratura a due
paramenti scollegati



NORME TECNICHE DEL 1996

D.M. 16 gennaio 1996 ⁽¹⁾.

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Pubblicato nella Gazz. Uff. 5 febbraio 1996, n. 29.

⁽²⁾ Il presente provvedimento è anche citato, per coordinamento, in nota all'art. 1, *L. 2 febbraio 1974, n. 64*.

IL MINISTRO DEI LAVORI PUBBLICI

di concerto con

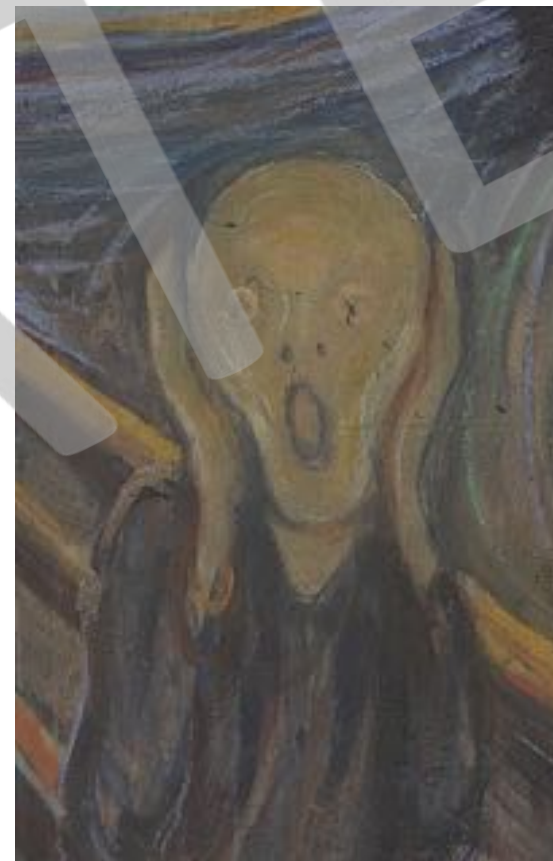
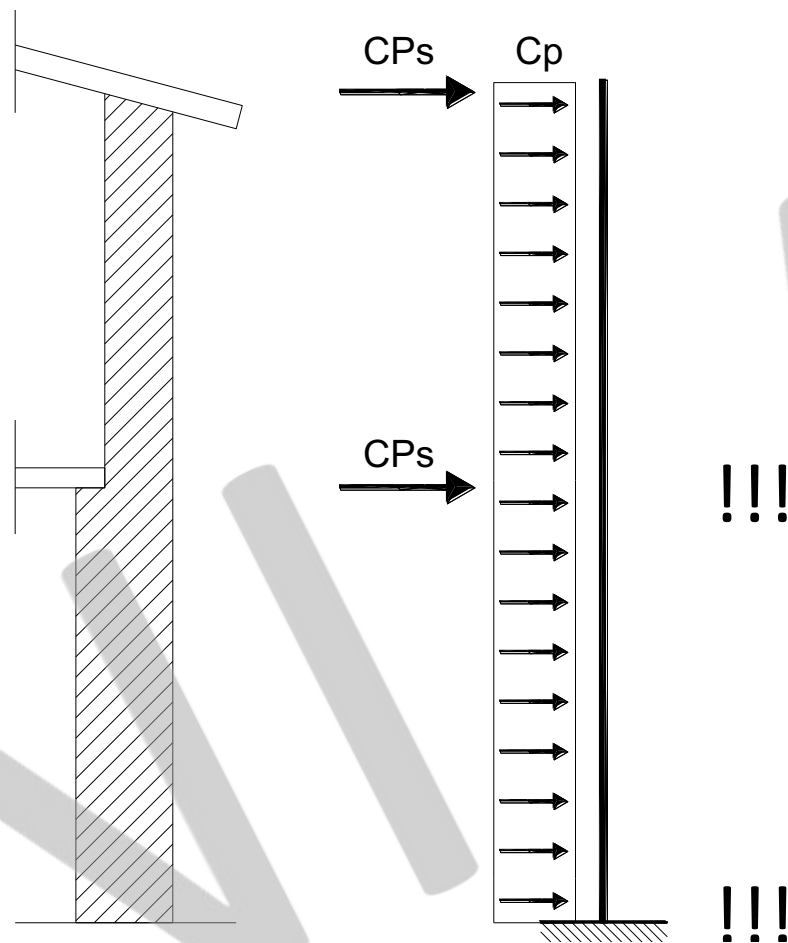
IL MINISTRO DELL'INTERNO

Vista la *legge 2 febbraio 1974, n. 64*, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 76 del 21 marzo 1974, recante: «Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche».

Visto il *D.M. 24 gennaio 1986*, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 108 del 12 maggio 1986, di approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche;

Ritenuto che, in forza dell'art. 3, primo comma, della citata *legge n. 64/1974*, le norme

D.M. 96

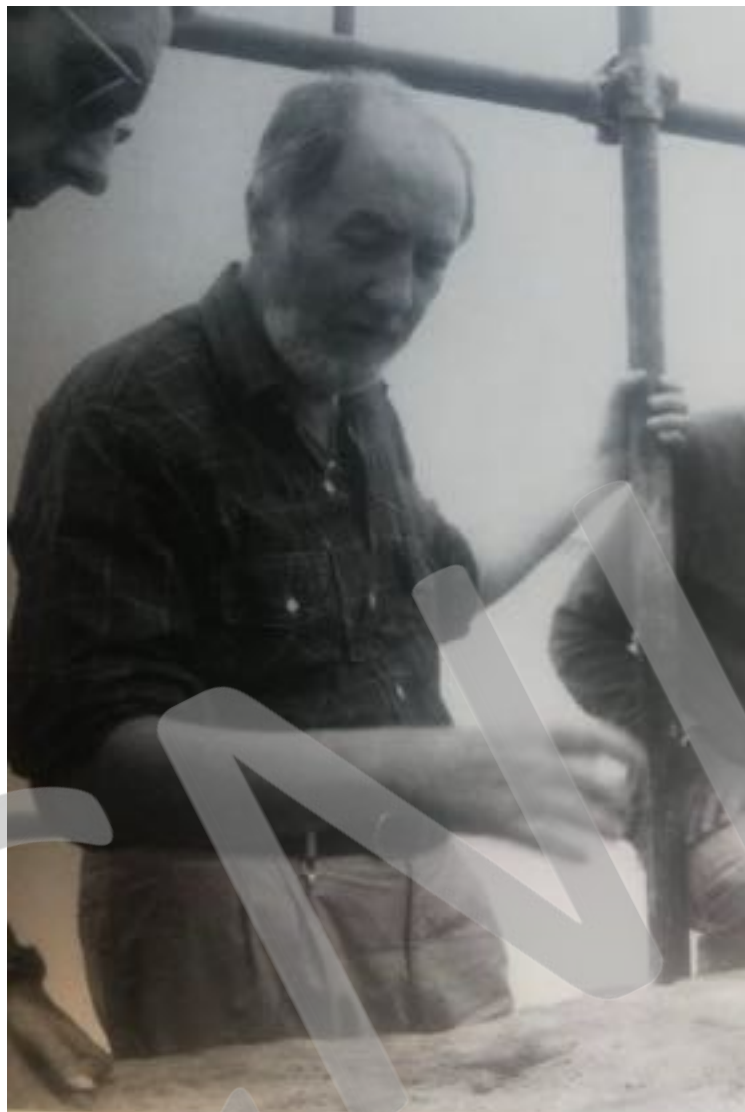


C.9.5.3. Verifica sismica.

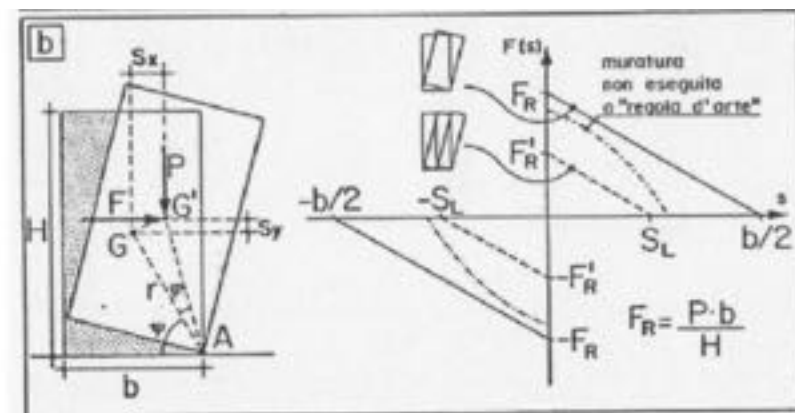
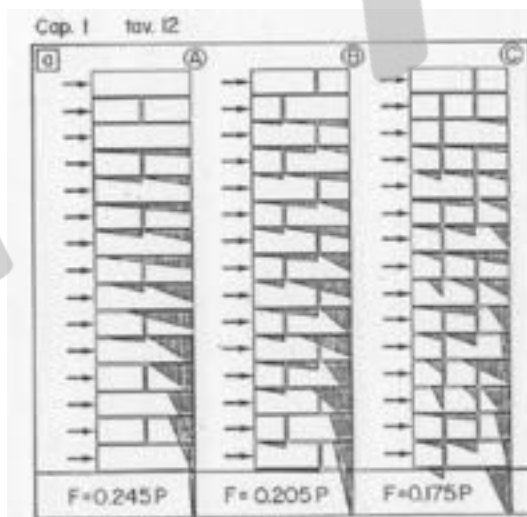
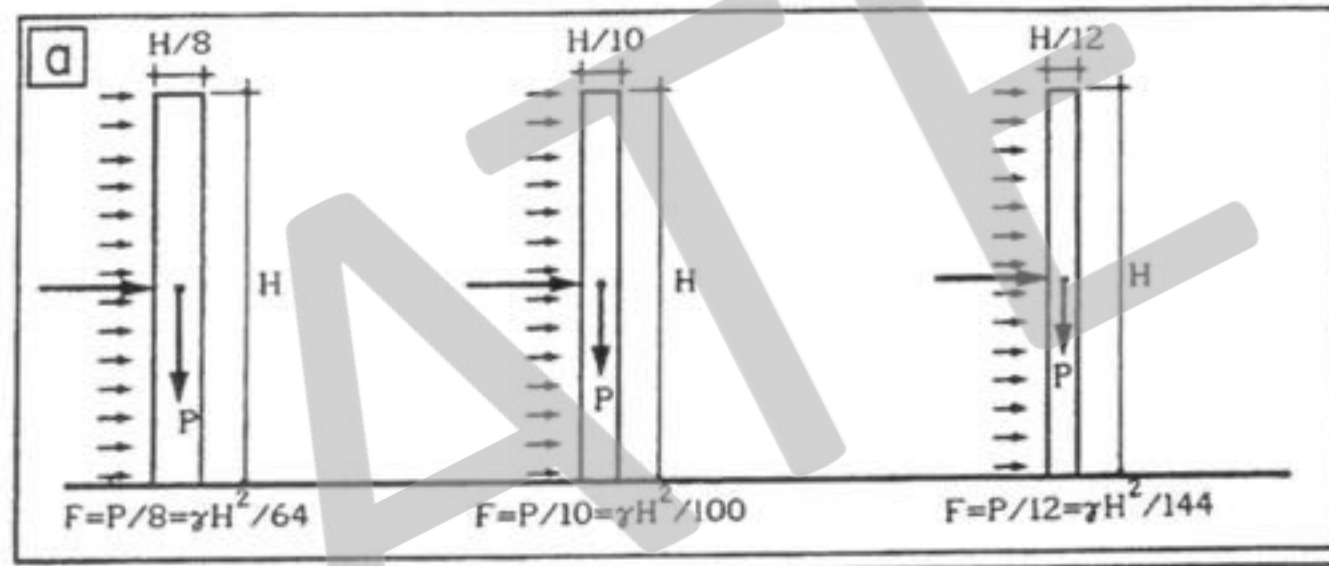
Per la verifica sismica si può adottare una ipotesi di comportamento elasto-plastico con controllo della duttilità.

Anni '90

RECUPERO DELLE CONOSCENZE SUL COMPORTAMENTO DELLE COSTRUZIONI MURARIE



Antonino Giuffrè
(Messina 1933 - Roma 1997)



NORME REGIONE UMBRIA POST SISMA 1997 (DGR 5180/1998)

- **verifiche più leggere** (65% di azione sismica)
- **interventi più lievi** con particolare attenzione ai collegamenti fra solai e pareti e fra pareti confluenti, eliminazione spinte, miglioramento della **qualità muraria** dal punto di vista meccanico
- **privilegiato il recupero dell'esistente**
- **considerate interazioni fra edifici all'interno di agglomerati edilizi**
- considerata **amplificazione del terreno** ($F_a \text{ max} = 2$)
- permane il ricorso al metodo POR per la verifica globale

1999

RECUPERO DELLE CONOSCENZE SUL COMPORTAMENTO
DELLE COSTRUZIONI MURARIE ...

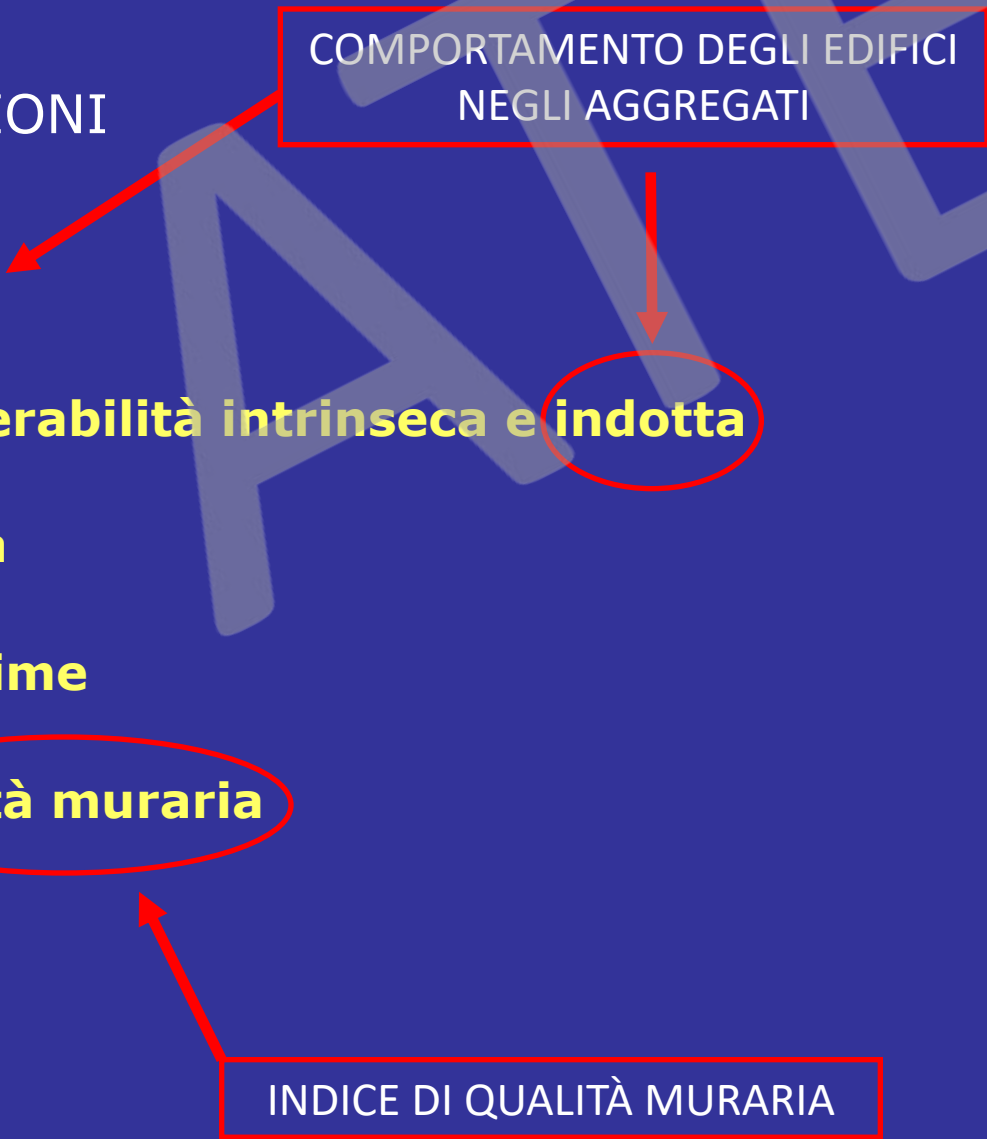


A. Borri, A. Avorio, G. Cangi – Cap. 5 - Costruzioni in muratura

LE PRINCIPALI INNOVAZIONI

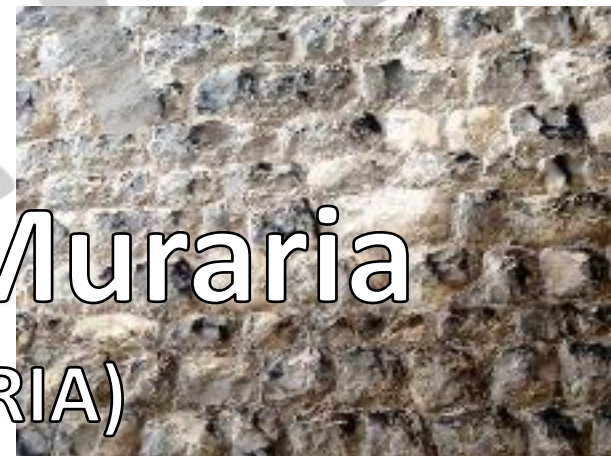
- il riferimento all'**isolato**
- la misurazione della **vulnerabilità intrinseca e indotta**
- la **soglia di vulnerabilità**
- le **opere strutturali minime**
- la valutazione della **qualità muraria**

COMPORTAMENTO DEGLI EDIFICI
NEGLI AGGREGATI



INDICE DI QUALITÀ MURARIA

2002



IQM

Indice di Qualità Muraria

(A. BORRI – A. DE MARIA)



2002-2003

COMUNE DI FOLIGNO
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PERUGIA
CENTRO STUDI CITTA' DI FOLIGNO
FONDAZIONE CASSA DI RISPARMIO DI FOLIGNO
CENTRO STUDI MASTRODICASA

MASTER UNIVERSITARIO IN

**MIGLIORAMENTO SISMICO, RESTAURO E
CONSOLIDAMENTO DEL COSTRUITO STORICO E
MONUMENTALE**

Direttore: Antonio Borri

I edizione: Anno Accademico 2002-2003

DALLE ESPERIENZE POST SISMA '97

OGGI ANCORA ATTIVO !



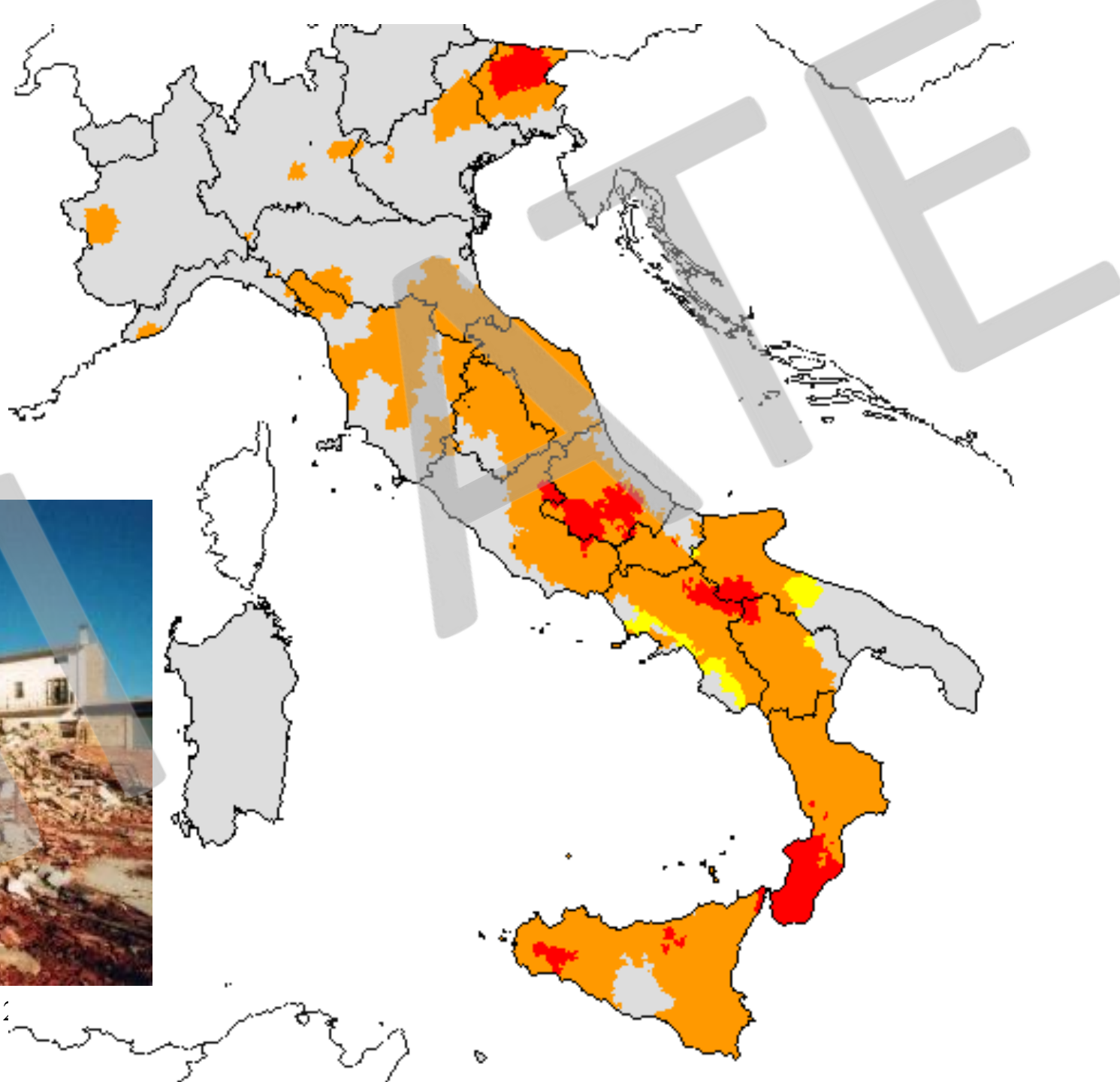
PROSSIMA EDIZIONE:
2026/2027

Master in
Miglioramento Sismico, Restauro e Consolidamento del Costruito Storico e Monumentale
Dipartimento di Architettura - Università degli Studi di Ferrara
AA 2026-2027 e 2027/2028

Diretto da: Rita Fabbri
Fondato e coordinato da: Antonio Borri e Riccardo Dalla Negra

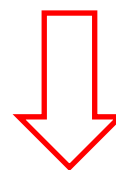
2002 MOLISE

Crollo di una scuola in una zona a «bassa sismicità» secondo la zonazione sismica allora vigente.



RECUPERO DELLE CONOSCENZE SUL COMPORTAMENTO DELLE COSTRUZIONI MURARIE ...

MODIFICHE ALL'ORDINANZA 3274/2003

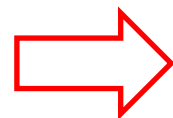


Gruppo di lavoro per gli edifici esistenti in muratura:

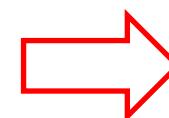
- Prof.ssa Luigia Binda (PoliMI) †
- Prof. Antonio Borri (UniPG)
- Prof. Sergio Lagomarsino (UniGE)
- Prof. Guido Magenes (UniPV)
- Prof. Claudio Modena (UniPD)



MODIFICHE ALLA
ORDINANZA 3274/2003



ORDINANZA 3431/2005



NTC 2008

OPCM 3431/2005 ➡

NTC 2008 E CIRCOLARE 617 DEL 2009

ESPERIENZE REGIONE UMBRIA

(Analisi vulnerabilità, CTS
Umbria '97, LR 18/2002)

- Nuovo metodo per la **definizione dell'azione sismica**
- **Quando fare valutazione della sicurezza** di una costruzione esistente
- Ridefinizione **categorie di intervento** (adeguamento, miglioramento e intervento localizzato)
- Fattore di sicurezza dipende dai **livelli di conoscenza** della costruzione
- Importanza della **"qualità muraria"**; aggiornamento **tabelle** con resistenza e rigidezza delle murature
- Importanza del **rilievo critico** (strutturale)
- Nuovi metodi di analisi e nuovi **modelli dell'edificio** in muratura esistente
- Analisi locali dei **meccanismi di collasso** (analisi limite)
- Edifici in **aggregato** e loro suddivisione in **unità strutturali** (U.S.)
- Necessità di un'analisi anche per gli **edifici tutelati** (Beni Culturali)
- Aggiornamento tecniche d'intervento (es. recente: linee guida compositi e **DT 200**)

24 AGOSTO 2016



CONOSCENZA VS PERCEZIONE DEL RISCHIO

2003

Geophys. J. Int. (2003) **155**, 521–531

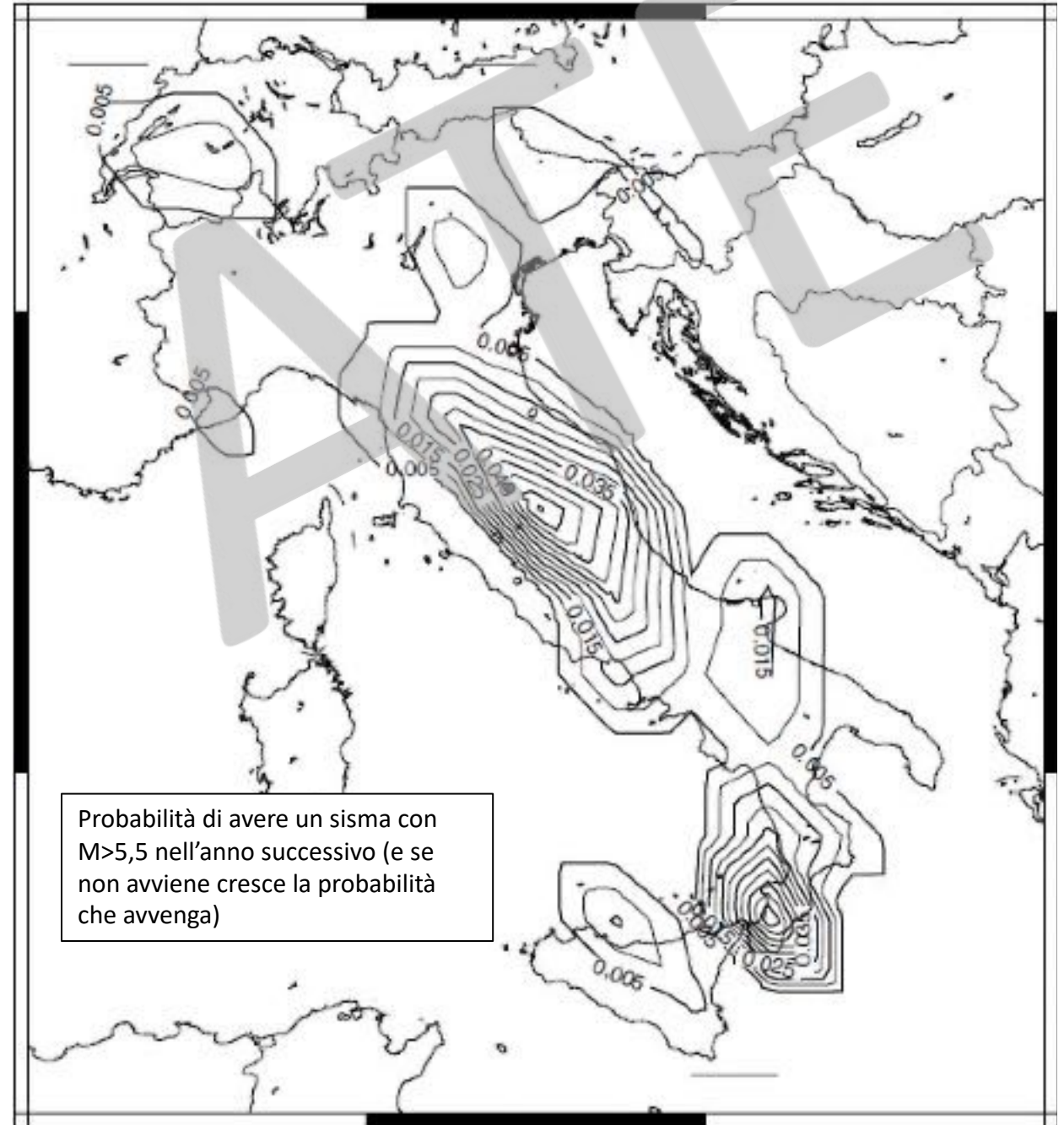
A non-parametric hazard model to characterize the spatio-temporal occurrence of large earthquakes; an application to the Italian catalogue

Licia Faenza, Warner

Marzocchi and Enzo Boschi

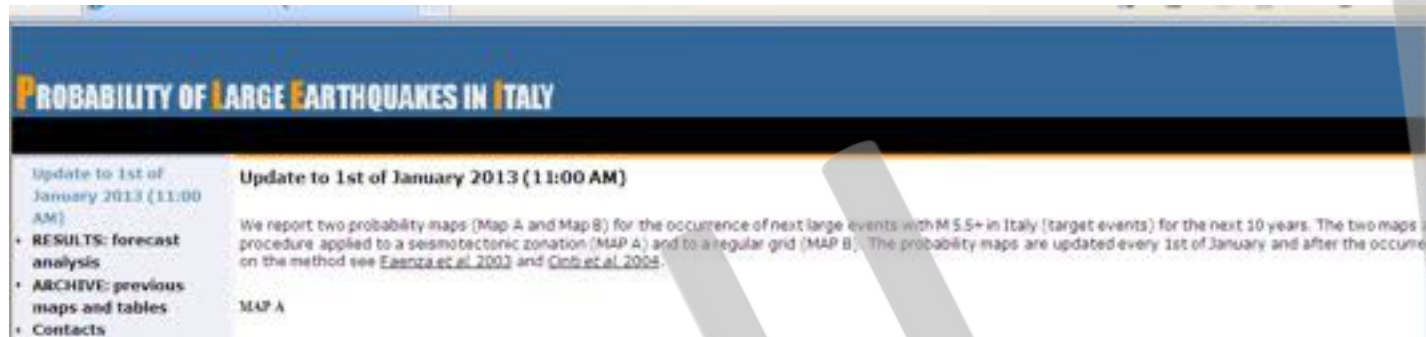
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via Donato Creti 12, 40128 Bologna, Italy. E-mails: faenza@bo.ingv.it; marzocchi@bo.ingv.it

NON SI PUO' DIRE: «NON LO SAPEVAMO»

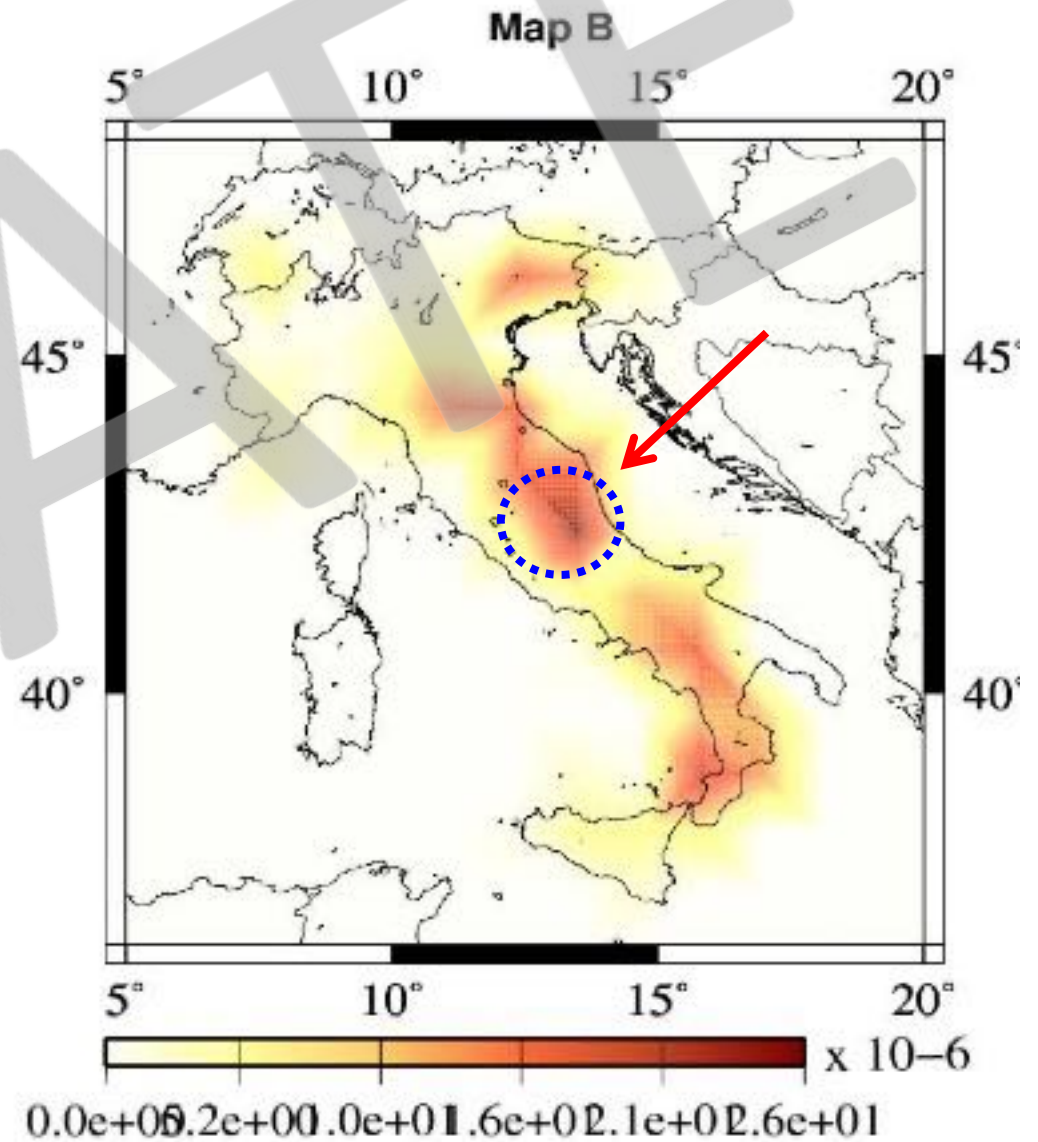


CONOSCENZA VS PERCEZIONE DEL RISCHIO

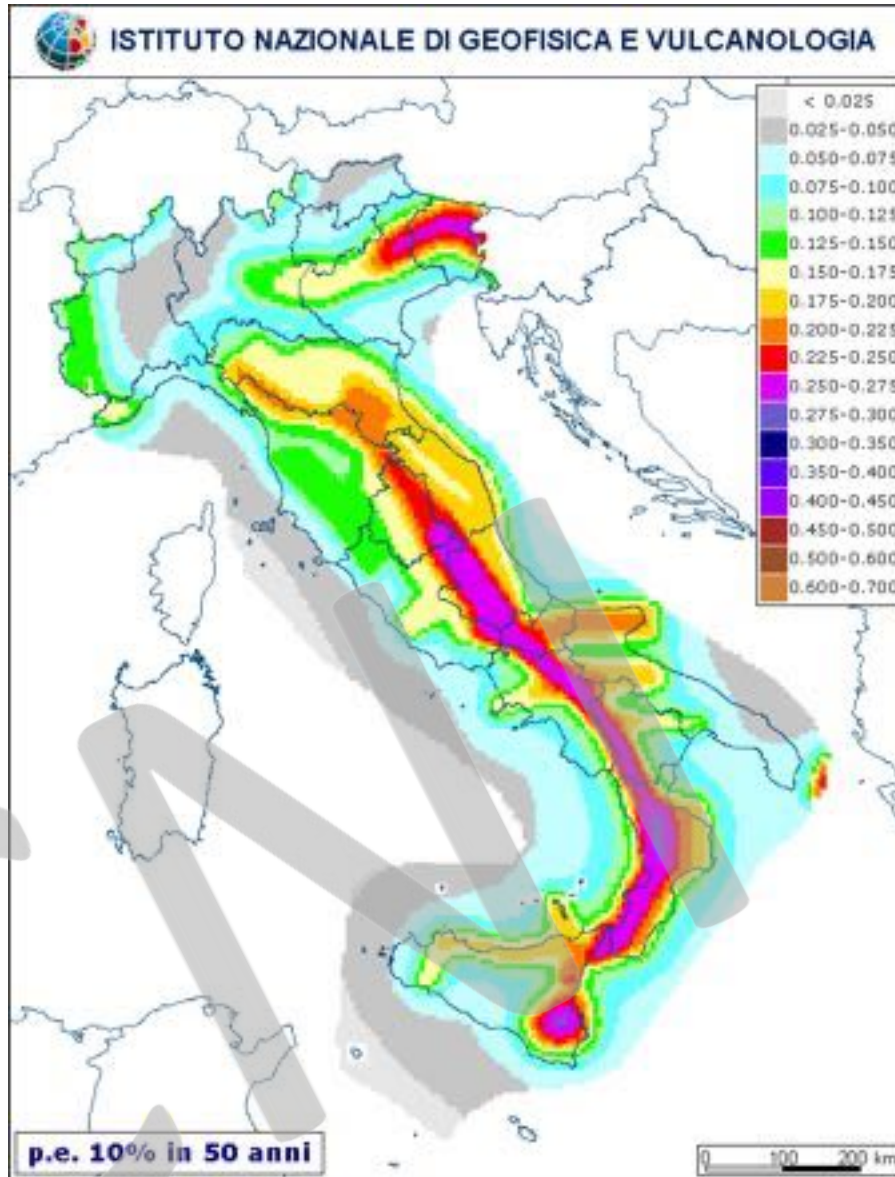
2013



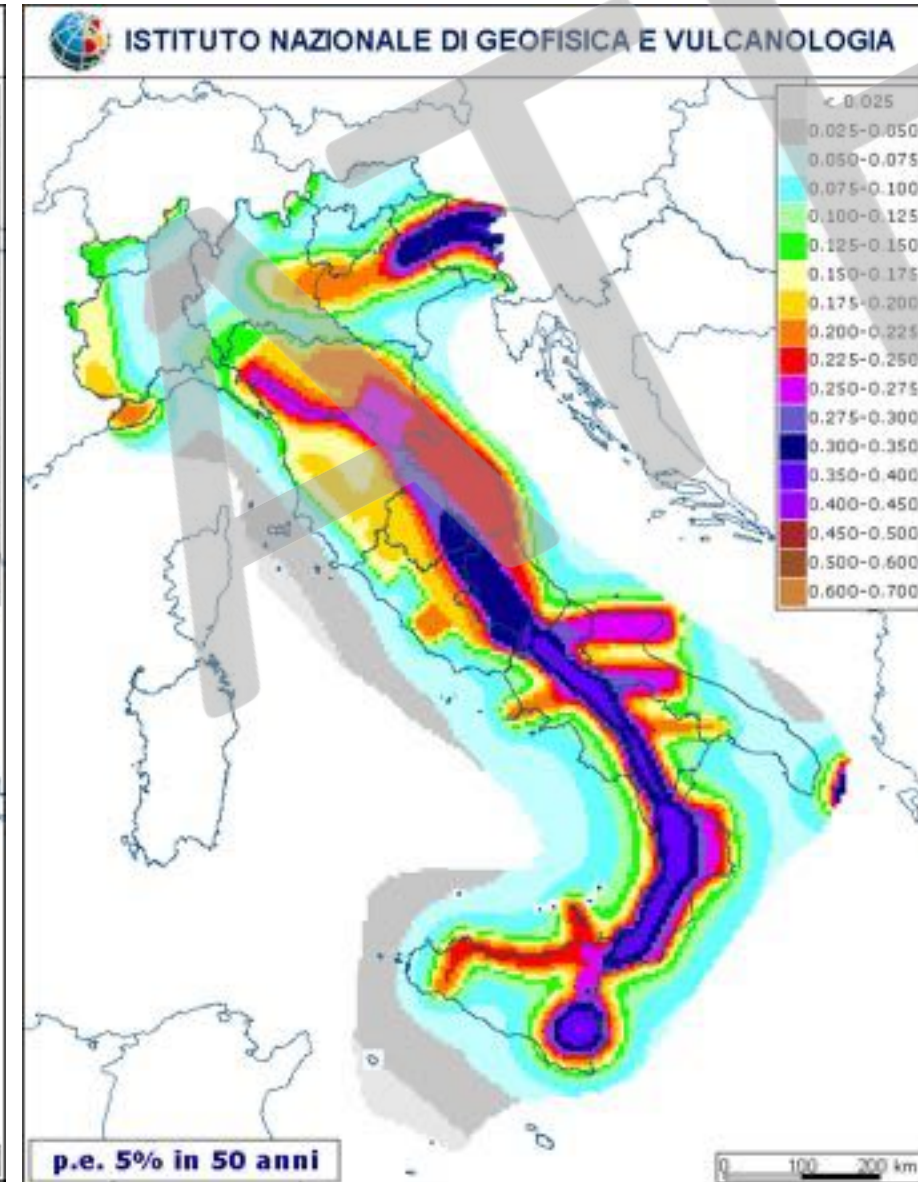
NON SI PUO' DIRE: «NON LO SAPEVAMO»



DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA



$T_R = 475$ anni

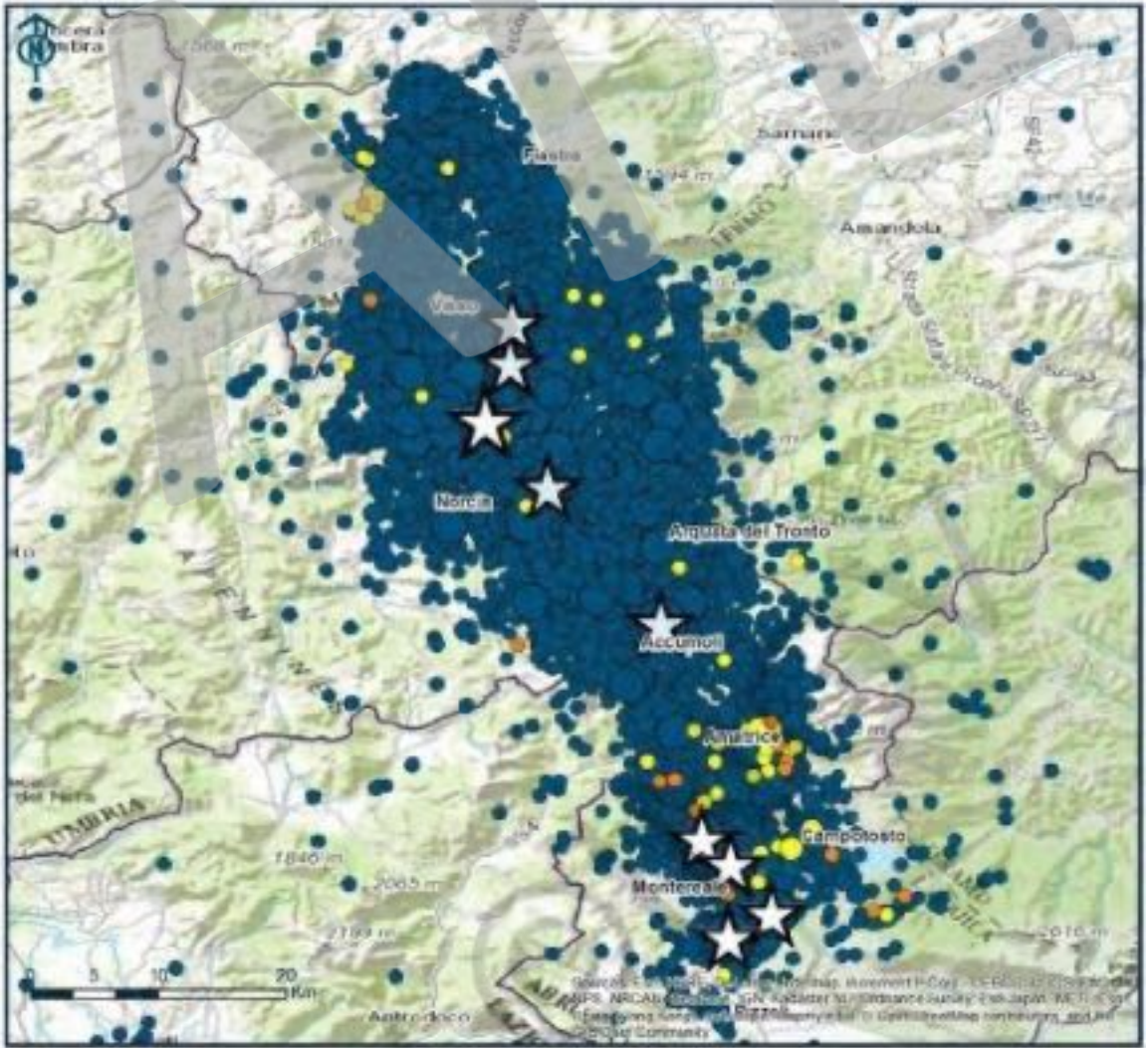


$T_R = 975$ anni

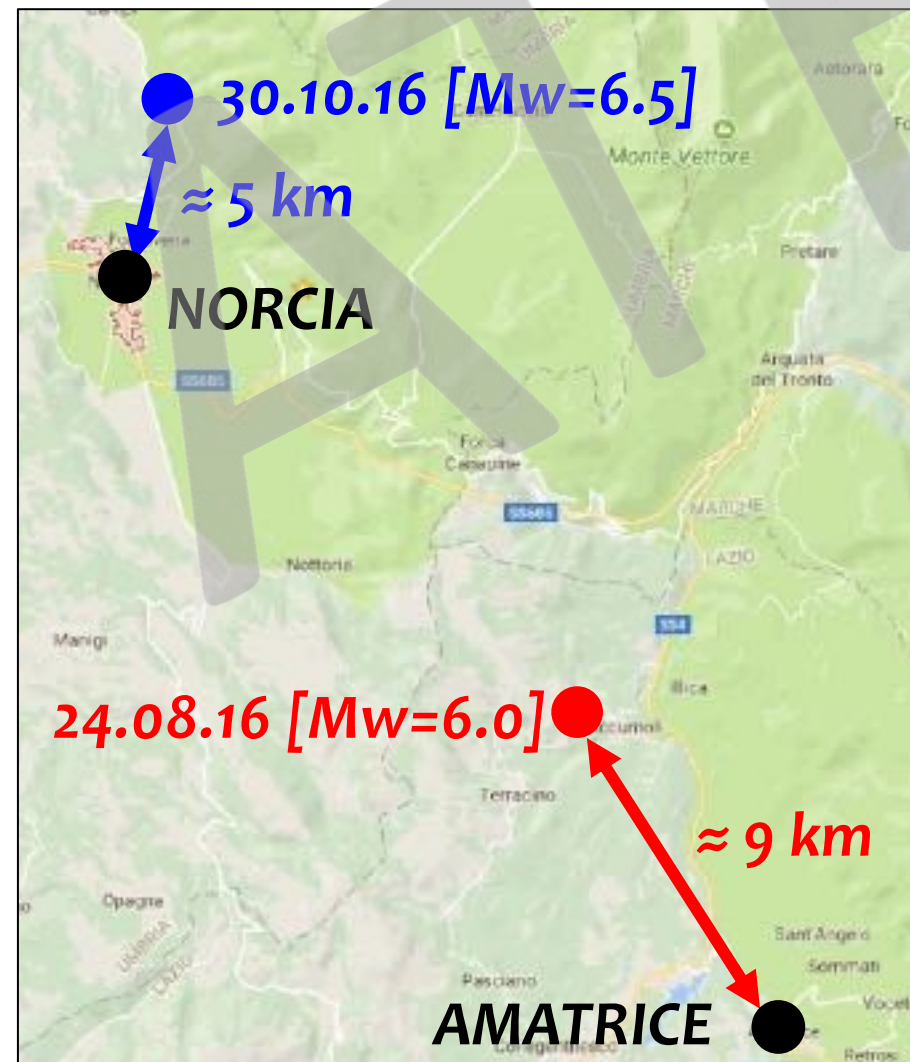
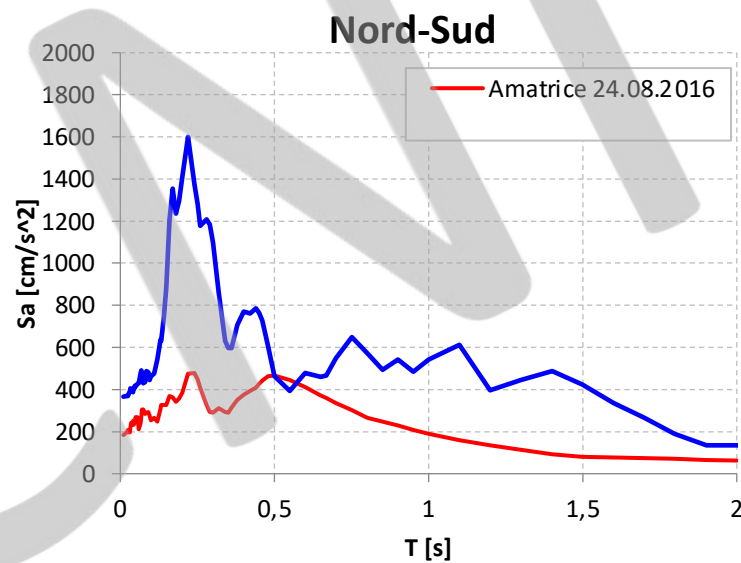
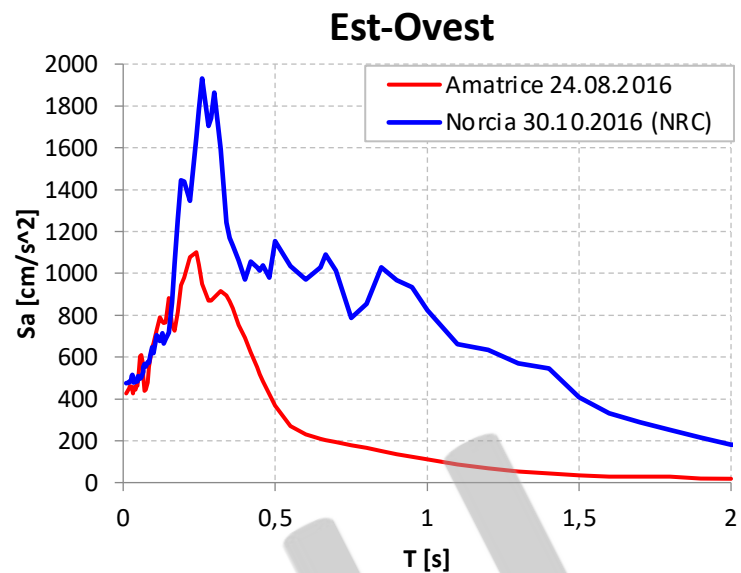
SISMI NEL CENTRO ITALIA NEL PERIODO 24.08.2016 - 18.01.2017

$M_w > 5.0$ Earthquakes

Date & time (Italy)	Mw	Region name
2017-01-18 11:25:23	5.4	Capitignano (AQ)
2017-01-18 11:14:09	5.5	Capitignano (AQ)
2017-01-18 10:25:40	5.1	Capitignano (AQ)
2016-10-30 07:40:17	6.5	Norcia (PG)
2016-10-26 21:18:05	5.9	Castelsantangelo sul Nera (MC)
2016-10-26 19:10:36	5.4	Castelsantangelo sul Nera (MC)
2016-08-24 04:33:28	5.3	Norcia (PG)
2016-08-24 03:36:32	6.0	Accumoli (RI)



SISMI DEL 24.08.2016 E DEL 30.10.2016



DOPO GLI EVENTI DEL 2016

NORCIA



AMATRICE





NORCIA DOPO GLI EVENTI DEL 2016: SONO CROLLATE SOLO LE CHIESE E I POCHI EDIFICI MAI RINFORZATI



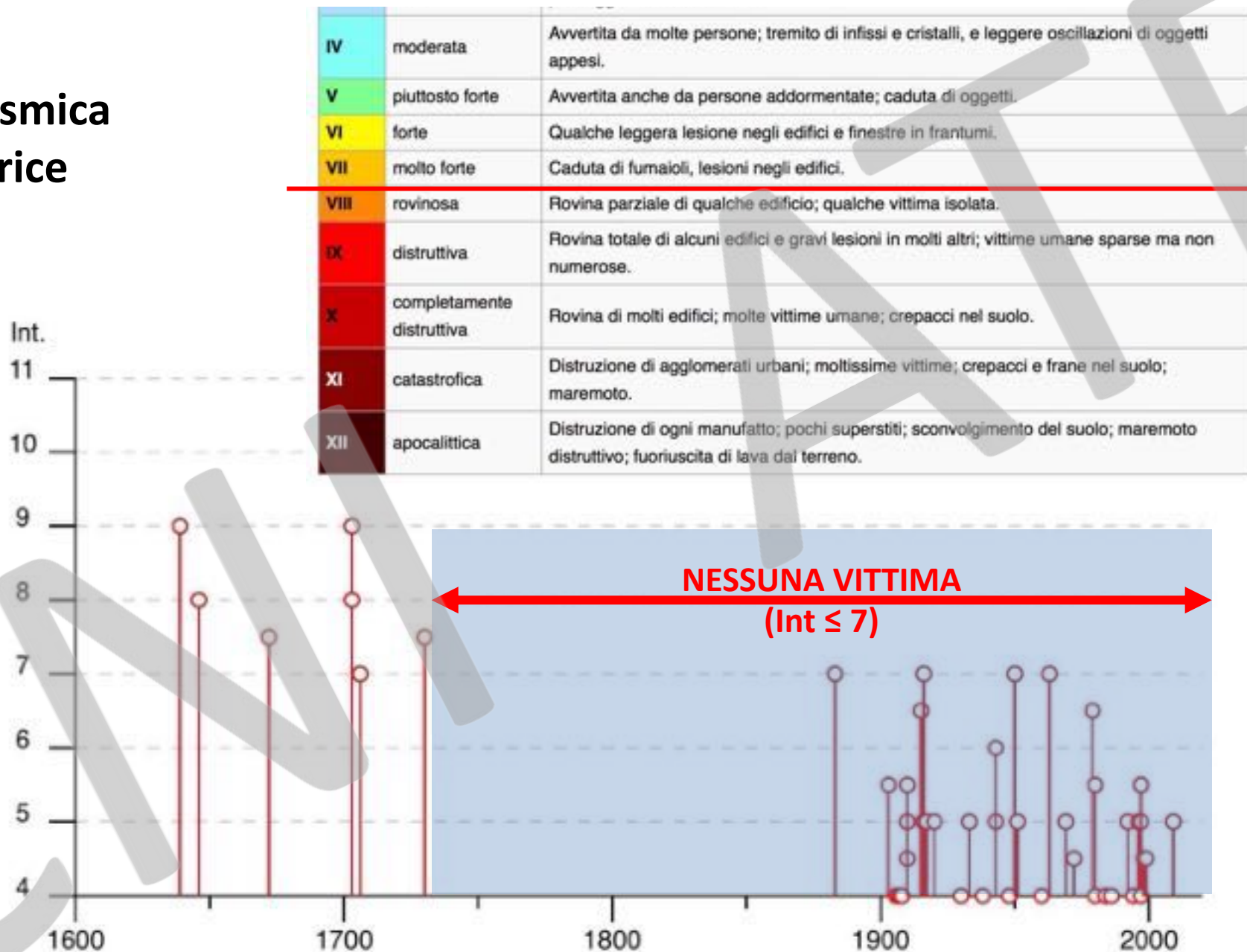
AMATRICE DOPO GLI EVENTI DEL 2016



PERCHÉ QUESTE DIFFERENZE?

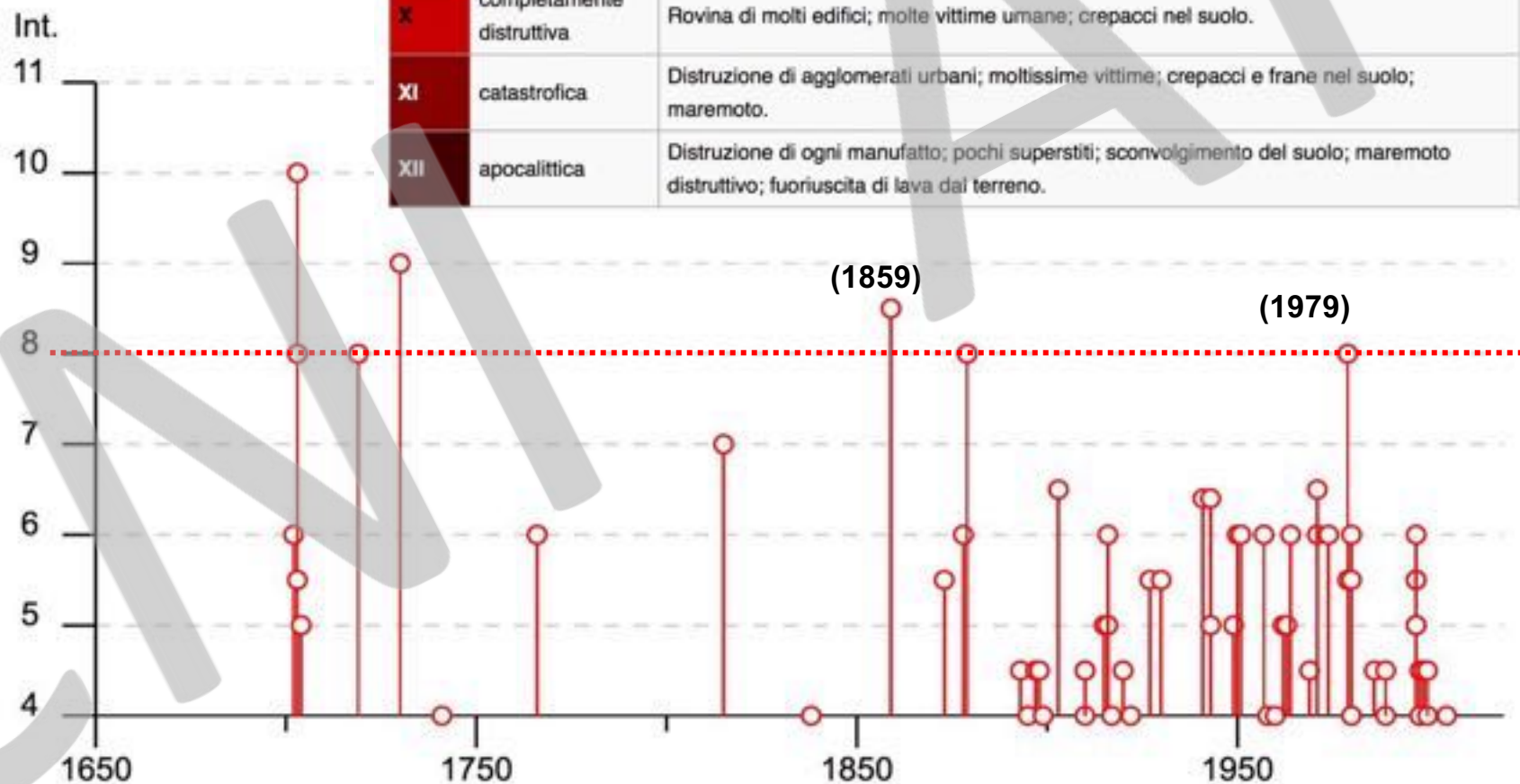
Storia sismica di Amatrice

Ad Amatrice, dopo 300 anni, si era persa la memoria di eventi luttuosi.



Storia sismica di Norcia

IV	moderata	Avvertita da molte persone; tremito di infissi e cristalli, e leggere oscillazioni di oggetti appesi.
V	piuttosto forte	Avvertita anche da persone addormentate; caduta di oggetti.
VI	forte	Qualche leggera lesione negli edifici e finestre in frantumi.
VII	molto forte	Caduta di fumaioili, lesioni negli edifici.
VIII	rovinosa	Rovina parziale di qualche edificio; qualche vittima isolata.
IX	distruttiva	Rovina totale di alcuni edifici e gravi lesioni in molti altri; vittime umane sparse ma non numerose.
X	completamente distruttiva	Rovina di molti edifici; molte vittime umane; crepacci nel suolo.
XI	catastrofica	Distruzione di agglomerati urbani; moltissime vittime; crepacci e frane nel suolo; maremoto.
XII	apocalittica	Distruzione di ogni manufatto; pochi superstiti; sconvolgimento del suolo; maremoto distruttivo; fuoriuscita di lava dal terreno.



A Norcia, anche il sisma del 1979 aveva provocato vittime.

TRA GLI INTERVENTI POST SISMA '79 A NORCIA:
MIGLIORAMENTO DELLA QUALITÀ MURARIA

LA PREVENZIONE «PAGA»

Studio pubblicato su:



216 | MARZO-APRILE



**LA RISPOSTA STRUTTURALE DEGLI EDIFICI
ORDINARI DEL CENTRO STORICO DI NORCIA
ALLA SEQUENZA SISMICA DEL 2016**

di Antonio Borri, Romina Sisti, Andrea Prota,
Marco Di Ludovico, Sandro Costantini, Marco Barluzzi,
Alessandro De Maria, Elisabetta Aisa, Alessio Bragetti,
Francesco Savi, Gianluca Fagotti, Luciano Baldi

Structural 216 – marzo/aprile 2018 – paper 07 – ISSN 2282-3794 | © DELETTERA
WP 1 DOI 10.12917/STRU216.07 – <https://doi.org/10.12917/STRU216.07>

CENTRO STORICO DI NORCIA

Sono stati valutati i dati contenuti in 714 schede AeDES compilate dopo il 30.10.2016

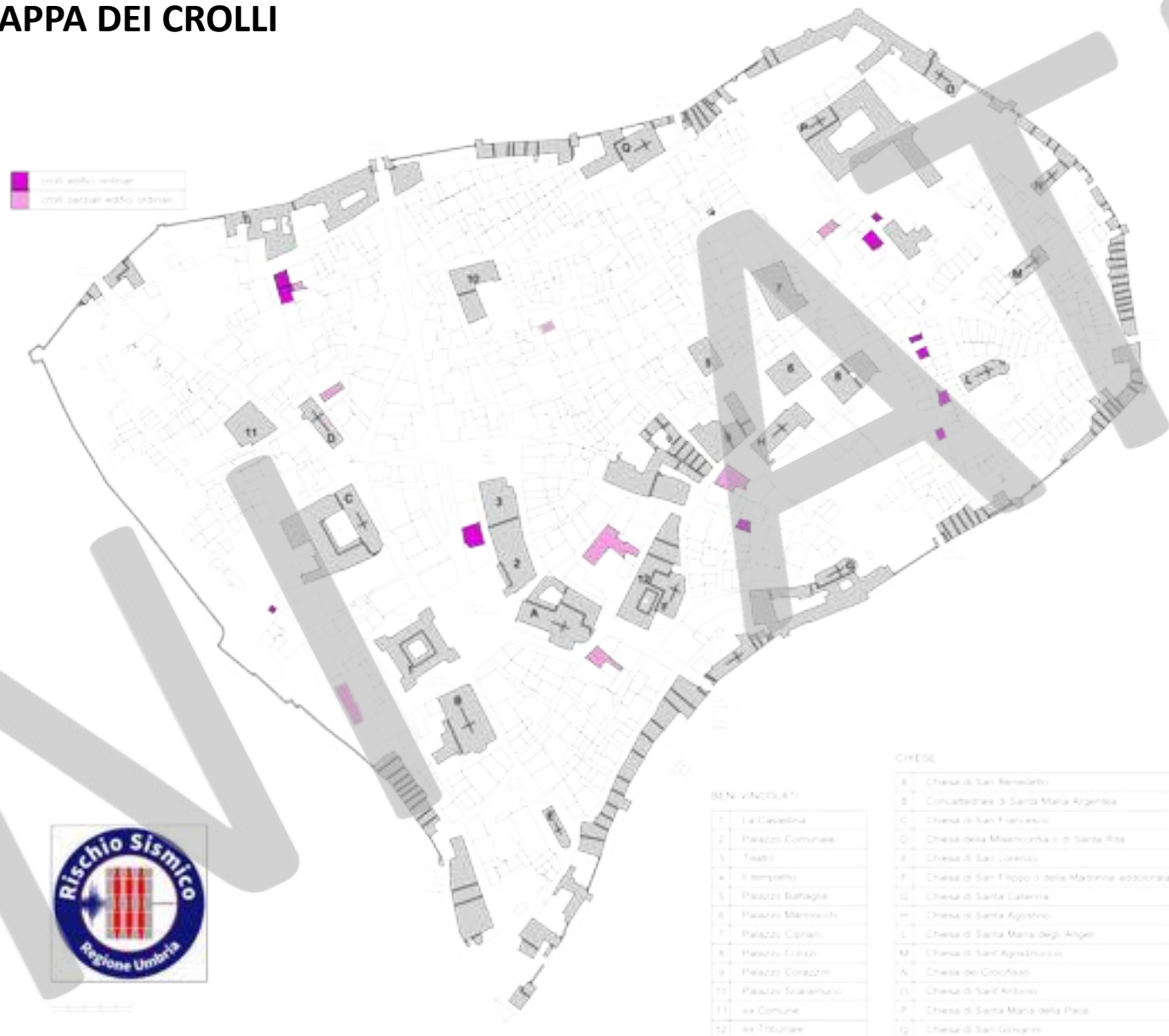


Le analisi sono state effettuate su
670 unità strutturali
con struttura in muratura
(94% delle schede valutate)
che costituiscono un campione
tipologicamente omogeneo.

Finalità dello studio:

Correlare gli esiti di agibilità e i danni riportati
con le caratteristiche strutturali e gli interventi di
consolidamento eseguiti nel passato.

EDIFICI ORDINARI: MAPPA DEI CROLLI



IMPORTANZA DELLA QUALITÀ MURARIA



Per gli edifici ordinari i crolli hanno riguardato edifici di qualità muraria povera, per i quali non era mai stato fatto alcun intervento ...

IMPORTANZA DELLA QUALITÀ MURARIA

23/02/2017

Foto:
Servizio Sismico Regione Umbria



Per gli edifici ordinari i crolli hanno riguardato edifici di qualità muraria povera, per i quali non era mai stato fatto alcun intervento ...

IMPORTANZA DELLA QUALITÀ MURARIA



...o erano stati fatti interventi non opportuni (appesantimento copertura senza rinforzare la muratura verticale)



CHIESA DI SAN BENEDETTO - NORCIA



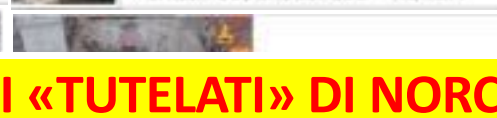
CHIESA DEL CROCEFISSO - NORCIA



MONASTERO S. MARIA DELLA PACE - NORCIA



CHIESA DI S. MARIA DEGLI ANGELI - NORCIA



EDIFICI «TUTELATI» DI NORCIA DOPO GLI EVENTI DEL 2016



EX CHIESA DI SAN FRANCESCO - NORCIA



CHIESA DI SANTA MARIA ARGENTEA - NORCIA



CHIESA DI S. AGOSTINO - NORCIA



SEMINARIO S. CATERINA - NORCIA



CHIESA DI S. FILIPPO - NORCIA



CHIESA DELLA MISERICORDIA - NORCIA



CHIESA DI S. AGOSTINUCCIO - NORCIA



CHIESA DI S. MARIA DI PIAZZA - CAMPI



CHIESA DI S. GIOVANNI - NORCIA



CHIESA DI S. MARIA DELLE GRAZIE - NORCIA



CHIESA DI S. ANDREA - CAMPI



CHIESA DI S. SALVATORE - CAMPI



EDIFICI «NON TUTELATI» DI NORCIA DOPO GLI EVENTI DEL 2016



LA PREVENZIONE PAGA



Una nota positiva dell'esperienza nel CTS SISMA 2016:

**CRITERI DI INDIRIZZO
PER LA PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE
DEGLI INTERVENTI DI RAFFORZAMENTO LOCALE
(ORDINANZA N. 44 DEL 18/12/17)**

«INTERVENTI MINIMI»

La riduzione della vulnerabilità sismica può essere perseguita attraverso la sistematica applicazione di una serie di interventi di rafforzamento locale finalizzati a ridurre/eliminare i collassi locali.

Si dovranno riparare, anzitutto, i danni e le lesioni causati dal sisma.

Si dovrà poi valutare se la costruzione esistente abbia:

1. **qualità muraria** sufficiente per rispondere ad azioni, sia verticali, sia orizzontali come quelle sismiche, senza disgregarsi;
2. **vincoli bilaterali efficaci** tra pareti e tra pareti e orizzontamenti, nonché vincoli efficaci sugli elementi non strutturali (comignoli, torrini, sporti di gronda, parapetti).
3. sufficiente **capacità di sostenere le spinte** di archi, volte e coperture;
4. **orizzontamenti con capacità portante per carichi verticali sufficiente.**

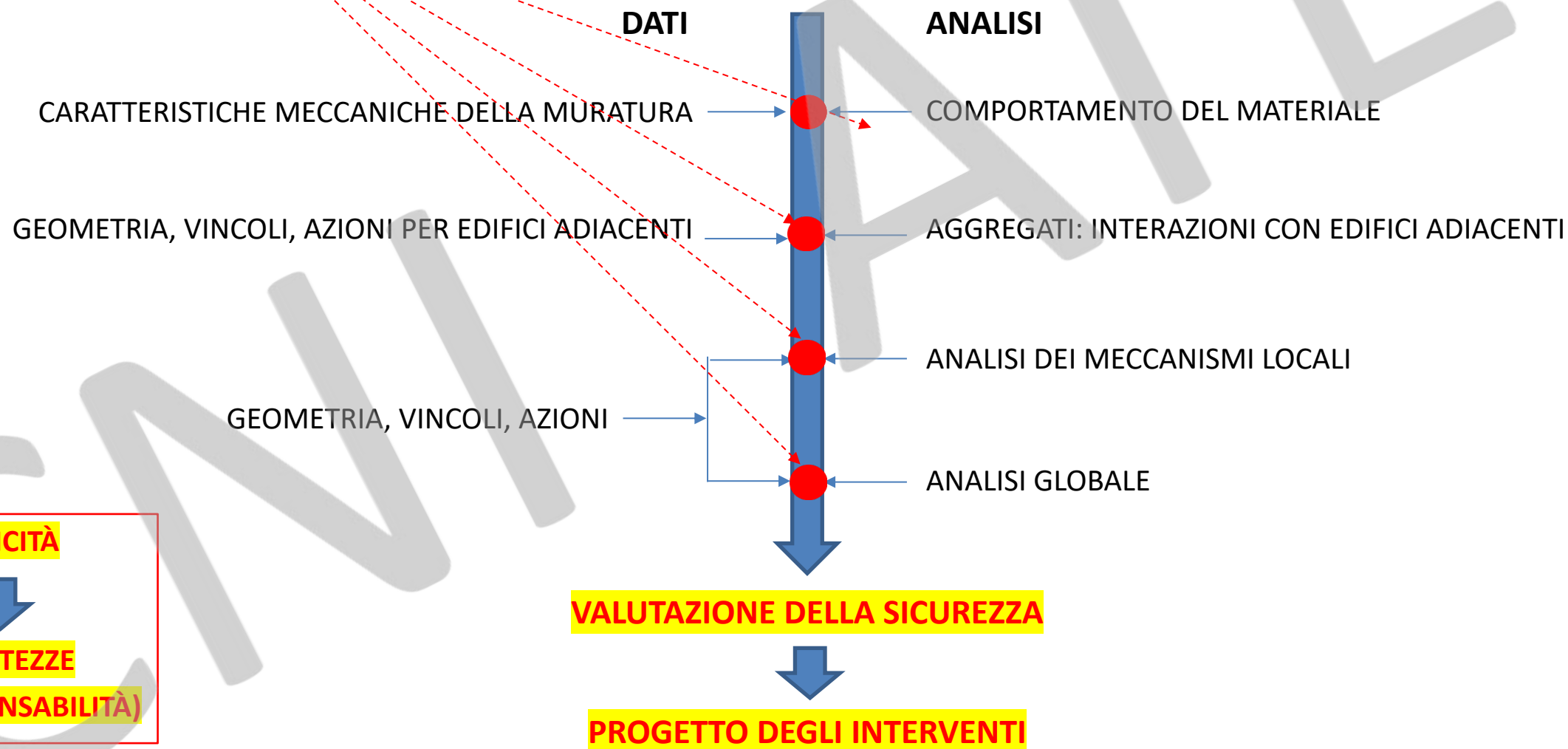
PER LA PRIMA VOLTA, IN UNA RICOSTRUZIONE POST SISMA, SI FA PREVENZIONE E NON SOLO RIPRISTINO DEI DANNI:

Interventi

- **refacimento dell'intonaco** con idonea malta, previa incisa scarnitura delle commessure murarie;
- posa in opera di **intonaco** eseguito con malta leggera e **rinforzato** con reti di metallo o di altro materiale resistente a trazione. L'intervento deve avvenire, di norma, su entrambi i lati della parete, collegando tra loro le reti mediante adeguati connettori. Caratteristiche delle reti, spessore e malta dell'intonaco rinforzato così ottenuto dovranno essere tali da non comportare variazioni significative del comportamento della costruzione;
- **ristilatura armata con connessione dei paramenti**, effettuata mediante fili di acciaio o altro materiale resistente a trazione, passanti nelle commessure previa incisa scarnitura delle stesse e loro successiva stuccatura;
- **iniezioni** localizzate di miscele cementizie o di calce, purché non comportino variazioni significative del comportamento della costruzione e a condizione che gli effettivi benefici delle iniezioni vengano verificati sia preliminarmente (attraverso prove di iniettabilità), sia a posteriori (attraverso saggi e riscontri sperimentali);

2026

CRITICITÀ E INCERTEZZE PER LE COSTRUZIONI ESISTENTI IN MURATURA



INCERTEZZE NELLA «DOMANDA»: QUALE SISMA ATTESO IN UN DETERMINATO SITO?

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

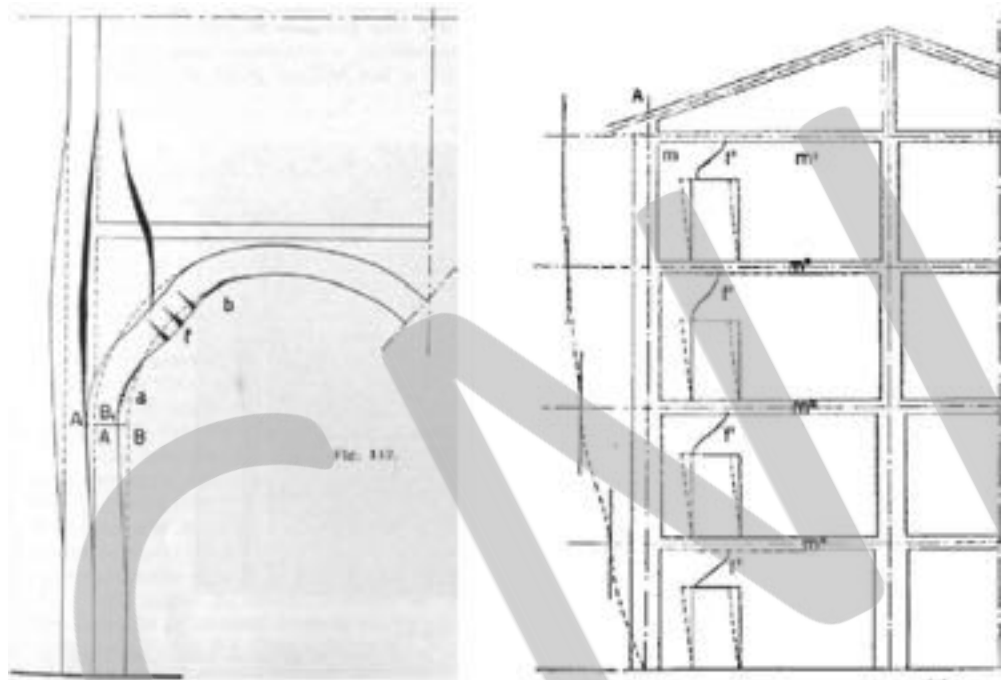


I TERREMOTI AVVENGONO COME E QUANDO VOGLIONO LORO ...

SISTO MASTRODICASA



DALL'UOMO CHE «PARLA CON I MURI»



**APPROCCIO FISICO-MATERICO:
GUARDA E ASCOLTA LA COSTRUZIONE.**

INCERTEZZE NELLE ANALISI

ALL'UOMO CHE PARLA CON I MODELLI



**APPROCCIO NUMERICO:
GUARDA E ASCOLTA IL MODELLO.**

INCERTEZZE NELLE ANALISI

PRASSI OPERATIVA:

Incombenze
«procedurali»

Tempo disponibile
per gli aspetti tecnici

COMPLESSITÀ:

- DELLE METODOLOGIE DI ANALISI
- DEGLI STRUMENTI HW & SW
- ...



**Rischio: tecnicismo numerico, anche molto sofisticato,
ma, non di rado, del tutto sconnesso con la realtà.**

INCERTEZZE NELLE ANALISI



SE MANCA UNA ADEGUATA CONOSCENZA DELLA COSTRUZIONE MURARIA
(AD ES: LA QUALITÀ MURARIA)

NESSUN PROGRAMMA POTRÀ FORNIRE RISULTATI COERENTI CON LA REALTÀ

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

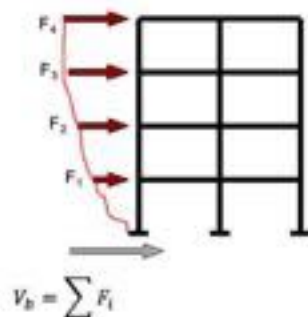
Miraggio delle modellazioni numeriche ultra sofisticate:
illusione di poter ricondurre una realtà variegata
e complessa come quella muraria
a modelli simili a quelli utilizzati per i materiali moderni

CONDIZIONI NECESSARIE (MA IN GENERALE, NON SUFFICIENTI) PERCHÉ ANALISI DI QUESTO TIPO POSSANO DARE RISULTATI AFFIDABILI:

- non ci sia disgregazione muraria;
 - non si abbiano paramenti scollegati tra loro;
 - siano stati eliminati cinematismi e criticità locali.
- } = MURATURA DI BUONA QUALITÀ

IN TUTTI GLI ALTRI CASI
NESSUNO È IN GRADO DI DIRE SE E QUANTO
QUEL MODELLO CORRISPONDA ALLA REALTÀ

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 α 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



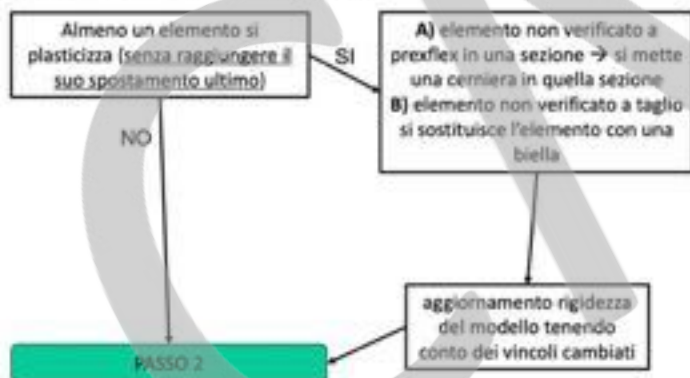
COMPLESSITÀ DI UN'ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)

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

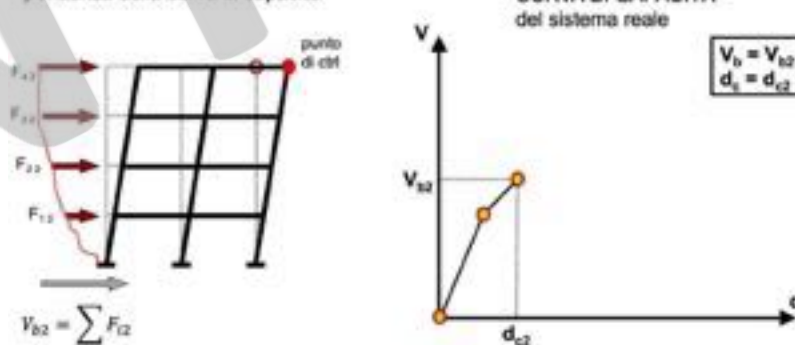
PASSO 2

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

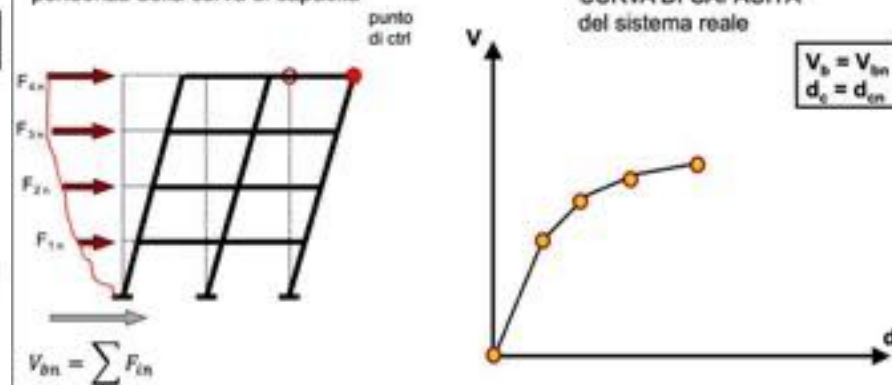
PASSO n

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





Metodologia nata per edifici moderni



Bradbury Building, Los Angeles, 1893



«Esportata ed adattata» per edifici in muratura
ma comunque di particolare qualità costruttiva





MOLTE DELLE NOSTRE
COSTRUZIONI IN MURATURA HANNO
UNA REALTÀ «COMPLESSA» ...



SPESSO LE COSE SONO PIÙ COMPLICATE

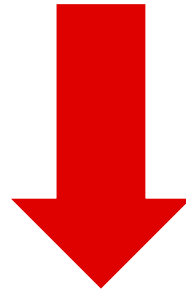


SPESSE LE COSE SONO PIÙ COMPLICATE



ULTERIORI INCERTEZZE NEL CASO DEI BENI CULTURALI ...

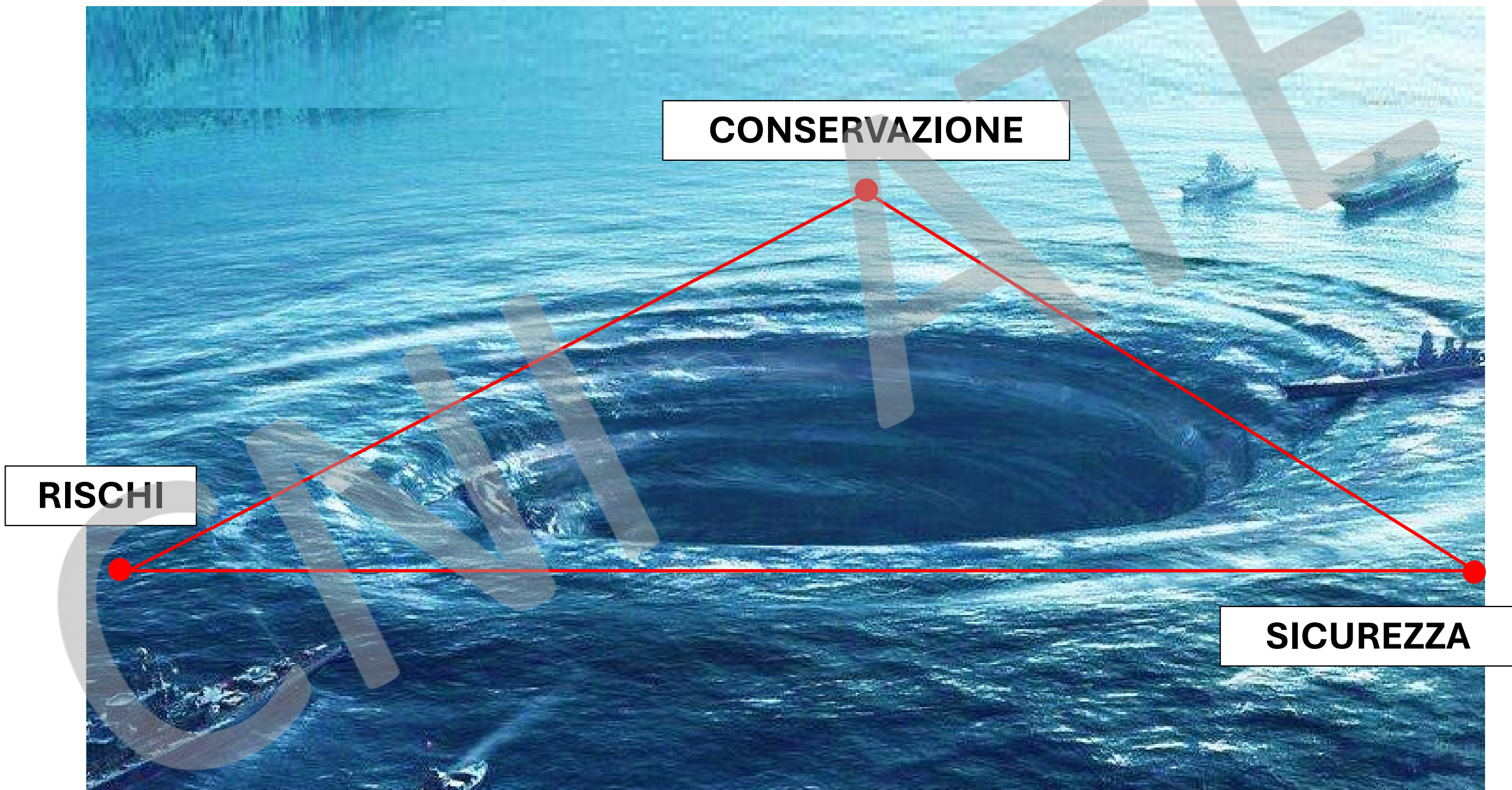
SICUREZZA - CONSERVAZIONE - RISCHI



IL «TRIANGOLO DELLE INCERTEZZE»

(e le incertezze si propagano)

IL «TRIANGOLO DELLE INCERTEZZE»



CUI SI AGGIUNGONO LE INCERTEZZE PER IL QUADRO NORMATIVO
→ «QUADRILATERO DELLE INCERTEZZE»

CONSERVAZIONE

RISCHI

SICUREZZA

**QUADRO
NORMATIVO**



MiC

INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO INTRECCIO DI NORME

MiT

DPCM 9.2.2011

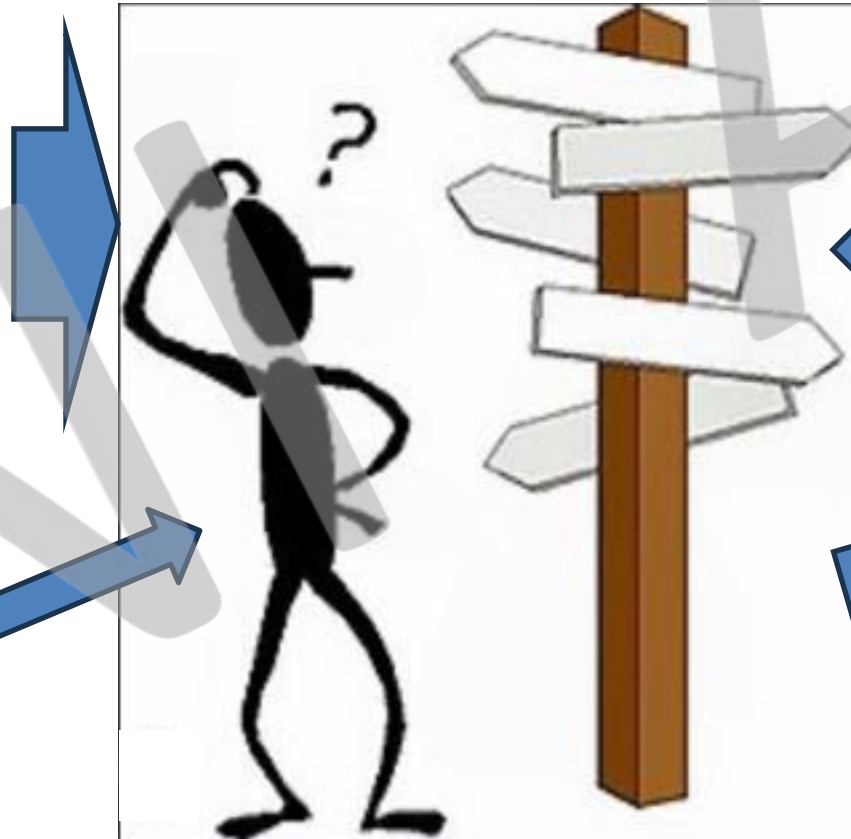


.....
SI POSSONO FARE
VALUTAZIONI DELLA
SICUREZZA CON
**VALUTAZIONI
QUALITATIVE**

(... «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



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

NEL CASO DI BENI TUTELATI NON VIGE ALCUN LIMITE

(→ responsabilità sui tecnici)

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

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

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



CONOSCENZA E
QUALITÀ MURARIA

**PROTOCOLLO DI BASE
PER LE COSTRUZIONI MURARIE ESISTENTI**

STEP 1

CONOSCENZA

ESAME ACCURATO DELLA COSTRUZIONE

«Guarda bene l'edificio e le sue criticità. Fai i saggi, fai le prove ...»

- Anamnesi;
- Esame obiettivo (rilievo materico, riconoscimento tipologie murarie, presenza/efficacia dei collegamenti, rilievo e lettura del quadro fessurativo, presenza di vuoti e cavità, di elementi in falso, presenza/efficacia di incatenamenti, ...);
- Saggi e indagini sperimentali (esame dei paramenti, della sezione muraria, angolate, solai, volte, fondazioni, copertura, ..., caratteristiche delle murature, degli elementi lignei, tiro nelle catene, ...).

Ricordando Leonardo Sciascia:

Tutti i nodi vengono al pettine.

Quando c'è il pettine.

Qui, il «pettine», quello capace di «tirare fuori» le reali problematiche, è: **L'OSSERVAZIONE ACCURATA ED APPROFONDATA DELLA COSTRUZIONE.**

QUANDO QUESTA CONOSCENZA MANCA,
LE REALI CARENZE DELL'EDIFICIO NON EMERGONO.

«APPROCCIO FISICO-MATERICO»: GUARDA E «ASCOLTA» LA COSTRUZIONE!

1 OGGETTO DELLA DIRETTIVA

2 REQUISITI DI SICUREZZA E CONSERVAZIONE

3 AZIONE SISMICA

4 CONOSCENZA DEL MANUFATTO

5 MODELLI PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA

6 CRITERI PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO E TECNICHE DI INTERVENTO

7 QUADRO RIASSUNTIVO DEL PERCORSO DI VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA E PROGETTO DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO

Allegato A. Programma per il monitoraggio dello stato di conservazione dei beni architettonici tutelati

Allegato B. L'analisi strutturale delle costruzioni storiche in muratura

Allegato C. Modello per la valutazione della vulnerabilità sismica delle chiese

**PROTOCOLLO DI BASE
PER LE COSTRUZIONI MURARIE ESISTENTI**

STEP 2

QUALITÀ MURARIA

*«Fai l'analisi qualità muraria. Con IQM o come vuoi, ma falla!
Se non è ok, fermati! Inutile andare avanti. Fermati e risolvi le carenze della muratura».*

Valutazione della qualità meccanica della muratura
(ad esempio, con il METODO IQM)

Se la qualità muraria è insufficiente (ad esempio, quando $IQM_{FP} < 4$): **STOP!**
Prima di qualsiasi altra cosa, occorre consolidare la muratura!

Se invece la qualità muraria è sufficiente, si passa allo STEP successivo.

Individuazione dell'organismo resistente

Valutazione della qualità muraria:

- la presenza di elementi trasversali (denominati **diatoni**), di collegamento tra i paramenti murari; la forma, tipologia e dimensione degli elementi;
- il riconoscimento di una **disposizione regolare** e pressoché orizzontale dei corsi (o, in alternativa, la presenza di **listature** a passo regolare);
- la **buona tessitura**, ottenuta tramite **l'ingranamento** degli elementi (numero ed estensione dei contatti, presenza di scaglie) ed il regolare **sfalsamento dei giunti**;
- la natura delle **malte** ed il loro stato di **conservazione**

Quindi, prima di qualsiasi analisi occorre verificare se la qualità muraria è tale da poter garantire un comportamento meccanico (meccanismi locali o globali) oppure si ha la disgregazione della fabbrica muraria.

CASO 0

- **muratura di scarsa qualità**

→ comportamento “disgregativo”
(**disgregazione** della muratura)

CASO 1

- muratura di qualità sufficiente/buona
- assenza di sistemi di collegamento diffusi sull'intero edificio

→ comportamento “locale”
(**meccanismi locali**)

CASO 2

- muratura di buona qualità
- efficaci collegamenti fra elementi strutturali

→ **comportamento “globale”**
(pareti impegnate “nel piano” e che rispondono insieme)

CASO 0

- muratura di qualità meccanica insufficiente



QUALITÀ MURARIA INSUFFICIENTE → PROBABILE DISGREGAZIONE MURARIA

DISGREGAZIONE MURARIA

Avviene quando, sotto l'effetto di azioni dinamiche e cicliche rilevanti, la muratura non è capace di “tenere insieme” gli elementi che la costituiscono e si disgrega.

Tale fenomeno anticipa ogni possibile risposta meccanica; il muro “implode” su sé stesso, lasciando ai piedi del pannello un accumulo di macerie minute.

Fenomeno visto in occasione di molti sismi





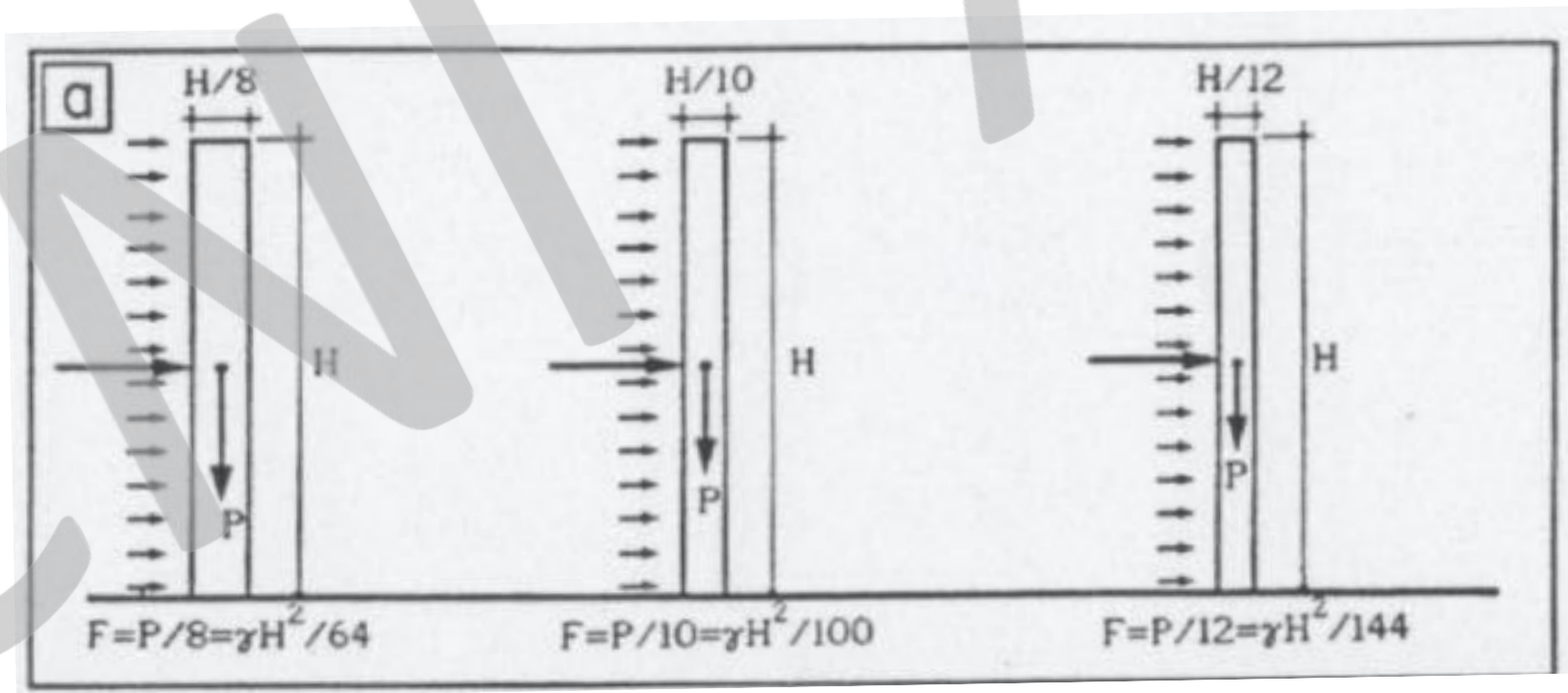


Slide di A. De Maria

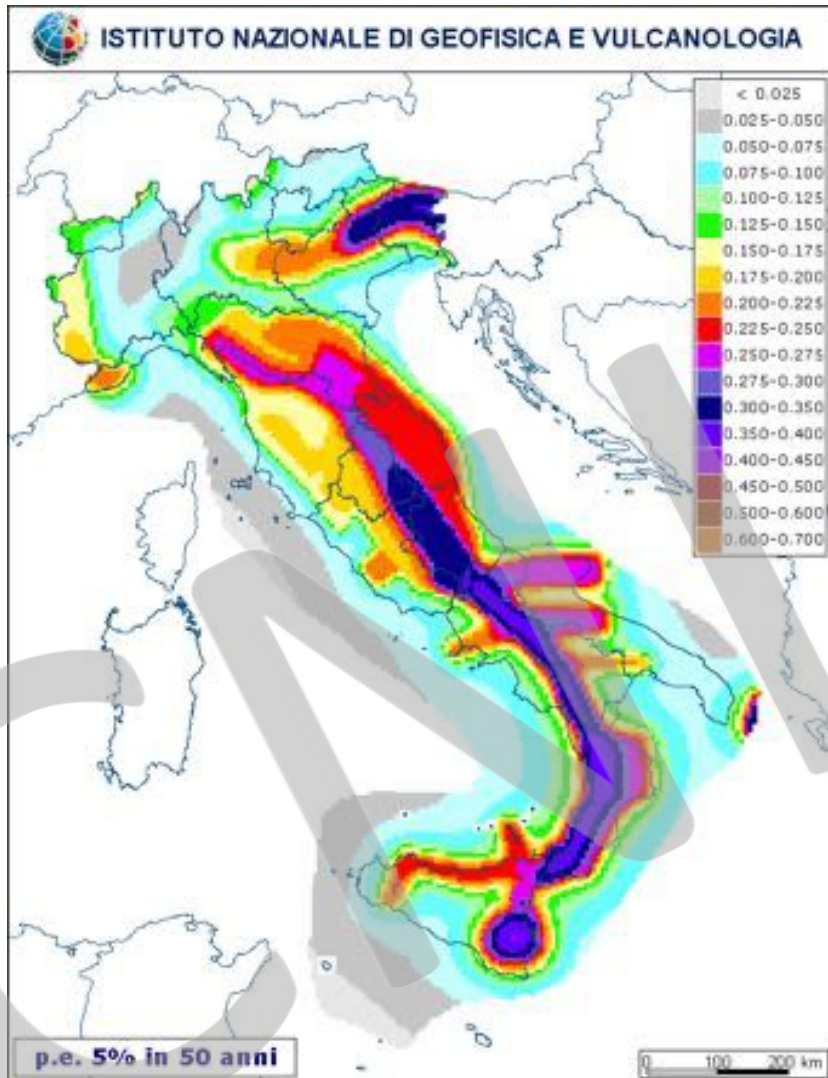
Rondelet: ***“piuttosto la stabilità che la forza costituisce la solidità degli edifici”***

Basandosi sull'osservazione di “edifici di tutti i generi” pone in relazione diretta la stabilità dei muri con la loro snellezza:

“un muro avrà una forte stabilità se ha per spessore l'ottava parte della sua altezza, che la decima parte procurerà ad esso una stabilità media, e la duodecima il minor grado di stabilità ch'esso può avere”.



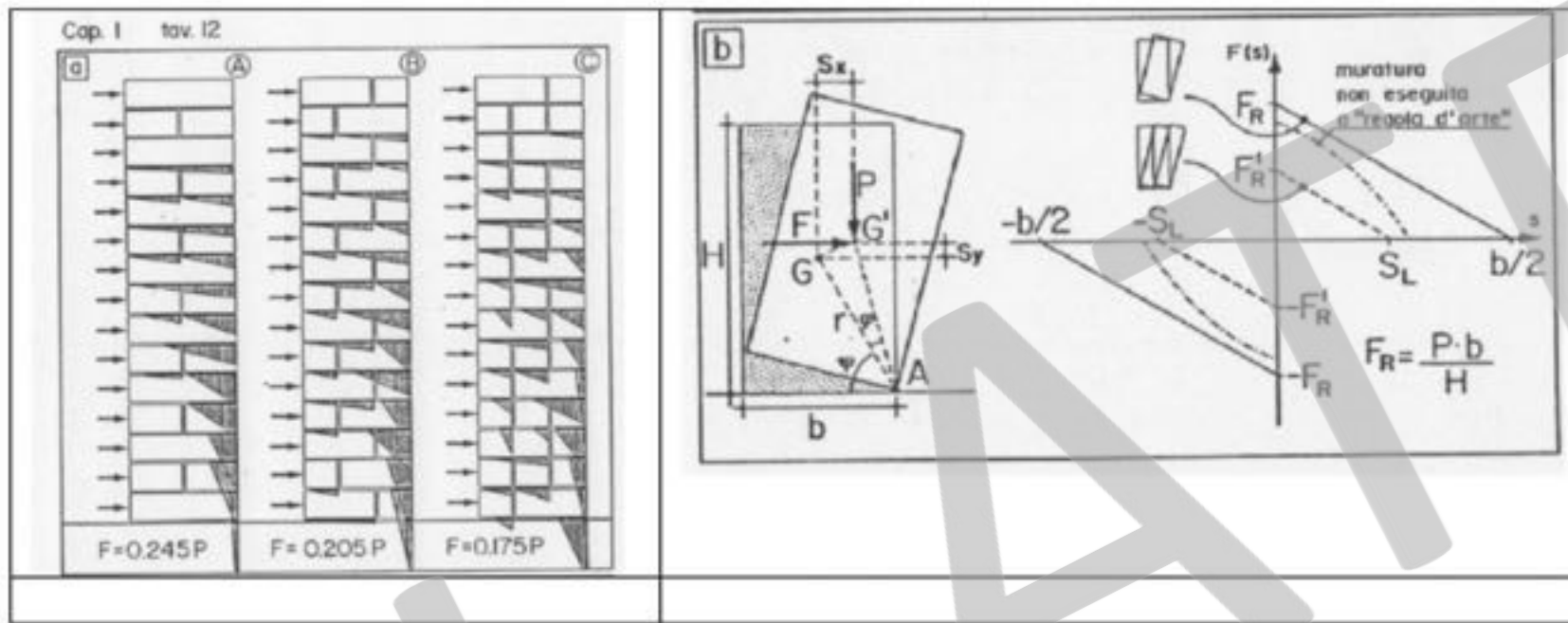
Guardando tali murature, Rondelet osserva che **“*sembra che il tempo* (cioè: sismi e vento, ndr) *le abbia ridotte all'altezza a cui i muri isolati, ..., possono sostenersi*”**.



Nota: Rondelet ha basato le sue considerazioni sull'esame di costruzioni poste in zone a sismicità limitata (Firenze, Roma e Napoli) e quindi i valori da lui indicati andrebbero «rimodulati» per le zone con sismicità più elevate.



Villa Adriana – Tivoli (RM)



Influenza della qualità muraria sul comportamento monolitico:

«I diatoni garantiscono il monolitismo del muro se sono disposti secondo le regole; ogni loro difetto si traduce in minor resistenza» (A. Giuffrè).

NON RISPETTO DELLE REGOLE DELL'ARTE

→ **PERDITA DI MONOLITICITÀ**

→ **PERDITA DI EQUILIBRIO**

→ **DISGREGAZIONE**

Spediz. abb. post. - art. 1, comma 1
Legge 27-02-2004, n. 46 - Filiale di Roma

GAZZETTA UFFICIALE

DELLA REPUBBLICA ITALIANA

PARTE PRIMA

Roma - Martedì, 20 febbraio 2018

SI PUBBLICA TUTTI I
GIORNI NON FESTIVI

DIREZIONE E REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA ARENULA, 76 - 00186 ROMA
AMMINISTRAZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - VIA SALARIA, 891 - 00138 ROMA - CENTRALINO 06-85001 - LIBRERIA DELLO STATO
PIAZZA G. VERDI, 1 - 00186 ROMA

Spediz. abb. post. - art. 1, comma 1
Legge 27-02-2004, n. 46 - Filiale di Roma

GAZZETTA UFFICIALE

DELLA REPUBBLICA ITALIANA

PARTE PRIMA

Roma - Lunedì, 11 febbraio 2019

SI PUBBLICA TUTTI I
GIORNI NON FESTIVI

DIREZIONE E REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA ARENULA, 76 - 00186 ROMA
AMMINISTRAZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - VIA SALARIA, 891 - 00138 ROMA - CENTRALINO 06-85001 - LIBRERIA DELLO STATO
PIAZZA G. VERDI, 1 - 00186 ROMA

NTC 2018

N. 5

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI

DECRETO 17 gennaio 2018.

**Aggiornamento delle «Norme tecniche per
le costruzioni».**

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI

CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.

**Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento
delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al de-
creto ministeriale 17 gennaio 2018.**



NORME TECNICHE ATTUALI

IL PROBLEMA DELLA DISGREGAZIONE MURARIA VIENE CITATO (SOLO) IN DUE PAGINE (MA SONO DUE PESANTI «STRONCATURE»!)

Pag. 257 della G.U. (Circolare esplicativa 2019):

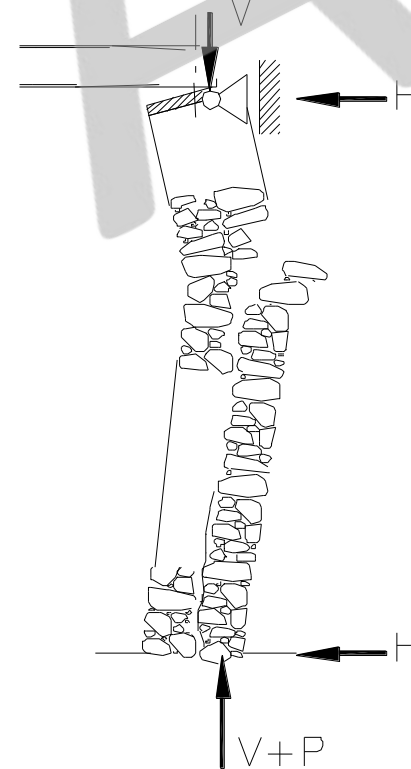
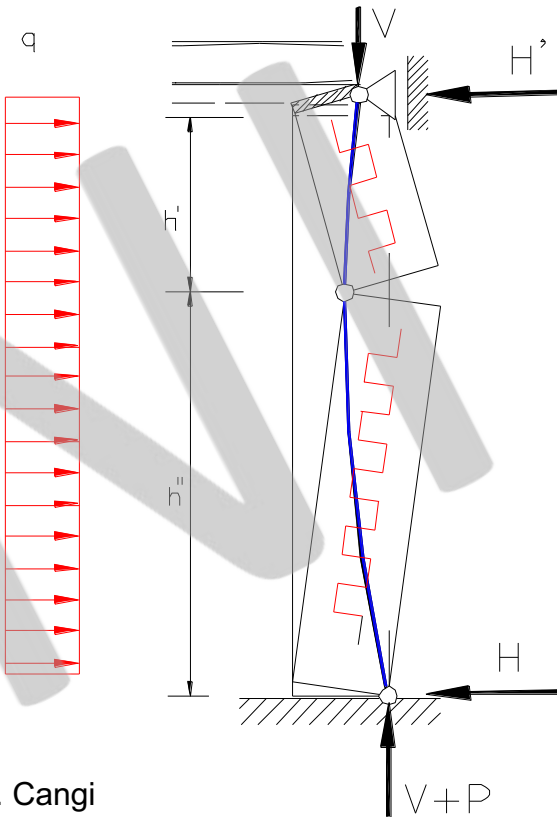
«I dati riportati nella Tabella C8.5.I fanno riferimento, ad eccezione dell'ultima riga, a una **muratura costituita da due paramenti accostati**, con eventuale nucleo interno di limitato spessore (significativamente inferiore a quello dei paramenti). **In questi casi è preventivamente necessario valutare se la muratura ha caratteristiche tali da garantire che il pannello murario possa comportarsi unitariamente nei riguardi delle sollecitazioni**; **in caso contrario la modellazione con parametri meccanici equivalenti ha poco significato**».



IL PROBLEMA DELLA DISGREGAZIONE MURARIA VIENE CITATO (SOLO) IN DUE PAGINE (MA SONO DUE PESANTI «STRONCATURE»!)

Pag. 268 della G.U. (Circolare esplicativa 2019):

«La rappresentazione della struttura come catena cinematica di corpi rigidi è attendibile solo se la parete non è vulnerabile nei riguardi di fenomeni di disgregazione».



Disegni: G. Cangi

Più esplicito quanto scritto nell'Ordinanza Commissariale n. 44 del 2018 (Sisma 2016):

“Come primo punto occorre considerare la capacità o meno della tipologia muraria dell'edificio in esame di avere un comportamento strutturale vero e proprio.

Infatti, nel caso in cui la muratura tenda a disgregarsi e decomporsi sotto azioni cicliche ripetute, viene vanificato qualsiasi tipo di intervento che non sia capace anche di ostacolare tale disgregazione.

In queste situazioni perdono significato sia i valori delle caratteristiche di resistenza e deformabilità di cui alle normative, sia i metodi di analisi ivi previsti”.

Se invece la qualità muraria è (almeno) sufficiente:

~~CASO 0~~

~~- muratura di scarsa qualità~~

→ ~~comportamento “disgregativo”~~
(~~disgregazione~~ della muratura)

CASO 1

- muratura di qualità sufficiente/buona
- assenza di sistemi di collegamento diffusi
sull'intero edificio

→ comportamento “locale”
(**meccanismi locali**)

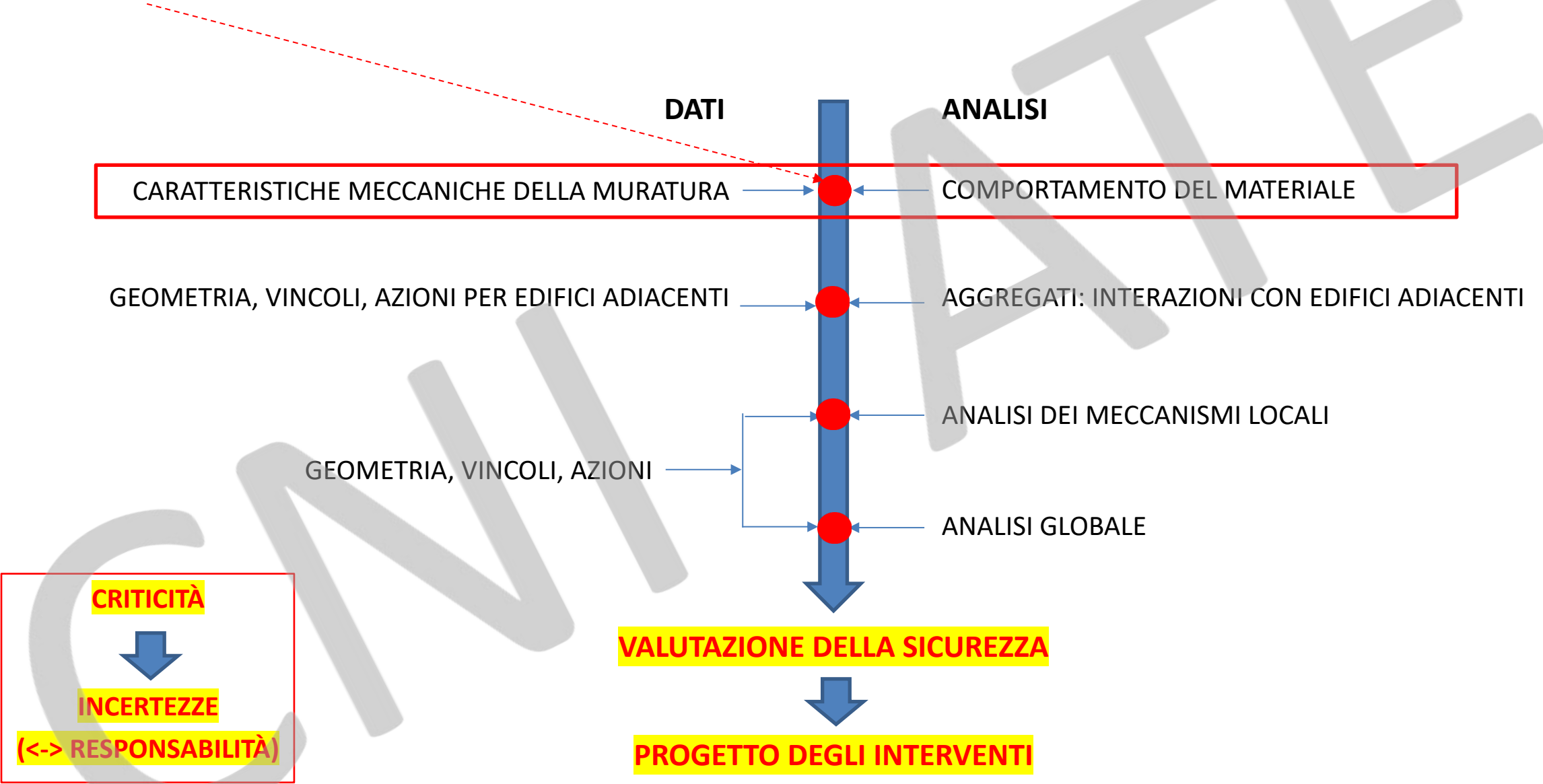
CASO 2

- muratura di buona qualità
- efficaci collegamenti fra elementi strutturali

→ **comportamento “globale”**
(pareti impegnate “nel piano”
e che rispondono insieme)

COME VALUTARE LE CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA?

CRITICITÀ E INCERTEZZE PER LE COSTRUZIONI ESISTENTI IN MURATURA:



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/mm²),
- 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, τ_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 (N/mm ²)	τ_0 (N/mm ²)	f_{v0} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	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.

Ricordiamoci di quanto espresso dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Adunanza del 27.02.1992, prot. N°29):

“E’ compito del progettista valutare le caratteristiche meccaniche della muratura con riferimento all'osservazione della realtà di fatto”.

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, τ_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 (N/mm ²)	τ_0 (N/mm ²)	f_{v0} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	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	-	-	-	1000-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera	-	0,028-0,042	-	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari (pietra tenera, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei quadrati	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.

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

METODI PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ MURARIA

Classificazione con il METODO IQM

UN PO' DI «STORIA»
ma solo per «recuperare» cose
che possono essere utili ..

EVOLUZIONE DELLE NORMATIVE

L.R. Umbria 18/2002 (Norme Tecniche 2003) →

DM '96

OPCM 3274/2003

OPCM 3431/2005



NTC2008



NTC2018

NORME TECNICHE DEL 1996

D.M. 16 gennaio 1996 ⁽¹⁾.

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Pubblicato nella Gazz. Uff. 5 febbraio 1996, n. 29.

⁽²⁾ Il presente provvedimento è anche citato, per coordinamento, in nota all'art. 1, L. 2 febbraio 1974, n. 64.

IL MINISTRO DELL'INTERNO

27+12 pagine

Vista la legge 2 febbraio 1974, n. 64, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 76 del 21 marzo 1974, recante: «Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche».

Visto il D.M. 24 gennaio 1986, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 108 del 12 maggio 1986, di approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche;

Ritenuto che, in forza dell'art. 3, primo comma, della citata legge n. 64/1974, le norme

DECRETO MINISTERIALE 16 gennaio 1996.

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

C.9.10. Complessi edilizi.

Nel caso di complessi edilizi privi di giunti tra gli edifici, il progetto esecutivo dell'intervento deve documentare la situazione statica degli edifici contigui, a dimostrazione che gli interventi previsti non arrechino aggravi a tale situazione.

Circolare n. 65/AA.GG. del 10 aprile 1997

Ministero dei Lavori pubblici

Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale" n. 97 del 28 aprile 1997 - Serie generale

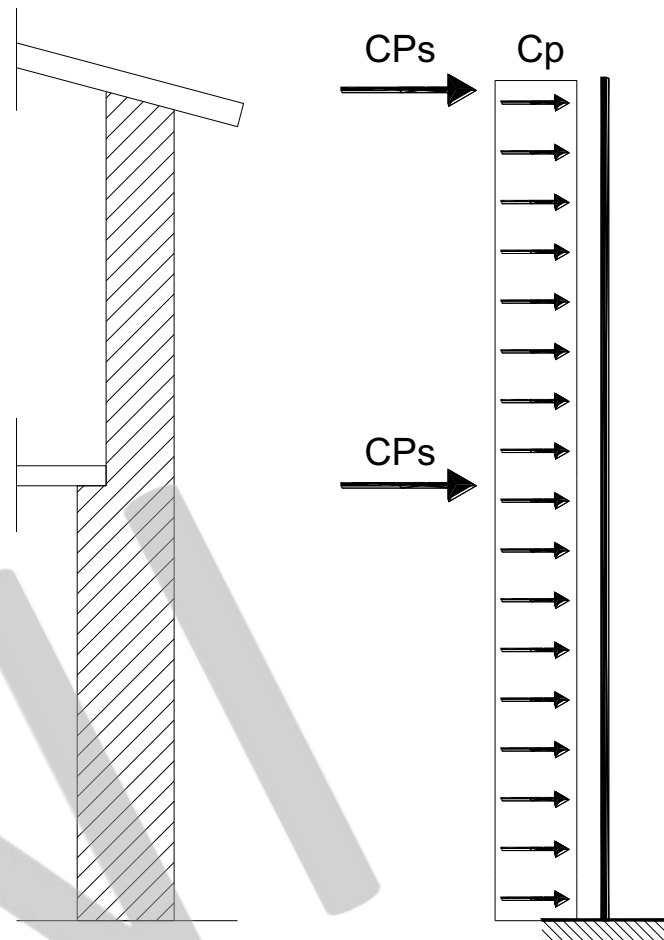
Istruzioni per l'applicazione delle «Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche» di cui al D.M. 16 gennaio 1996.

C.9.10 - COMPLESSI EDILIZI

Per quanto riguarda i complessi edilizi, nel caso di assenza di giunti, i calcoli di verifica devono tener conto, anche con valutazioni approssimate, delle eventuali azioni trasmesse dagli edifici contigui.

Per gli edifici in muratura, ciò può essere fatto, in prima approssimazione, aumentando convenzionalmente le forze orizzontali di progetto, facendo gravare sulle strutture resistenti dell'edificio in esame una quota parte delle masse relative agli edifici adiacenti.

D.M. '96



C.9.5.3. Verifica sismica.

Per la verifica sismica si può adottare una ipotesi di comportamento elasto-plastico con controllo della duttilità.

UMBRIA 1997



Norme Regione Umbria post sisma 1997 (DGR 5180/1998)

- verifiche più leggere (65% di azione sismica)
- interventi più lievi con particolare attenzione ai collegamenti fra solai e pareti e fra pareti confluenti, eliminazione spinte, miglioramento della qualità muraria dal punto di vista meccanico
- privilegiato il recupero dell'esistente
- considerate interazioni fra edifici all'interno di agglomerati edilizi
- considerata amplificazione del terreno (Fa max pari a 2)
- permane il ricorso al metodo POR per la verifica globale

UMBRIA 2002 - 2003

La legge regionale dell'Umbria
per la prevenzione sismica
L.R. 23 ottobre 2002, n. 18

Norme tecniche:
Regolamento regionale
15 luglio 2003, n. 9
(su: BUR 30 luglio 2003)

Contiene indicazioni, suggerimenti e valutazioni
numeriche che possono essere utili ancora oggi.



L.R. 23 ottobre 2002, n. 18

LE PRINCIPALI INNOVAZIONI

- il riferimento all'isolato
- la misurazione della vulnerabilità intrinseca e indotta
- la soglia di vulnerabilità
- le opere strutturali minime
- la valutazione della qualità muraria

COMPORTAMENTO
DEGLI EDIFICI NEGLI
AGGREGATI

INDICE DI QUALITÀ
MURARIA

Borri A., De Maria A. (2009). IMQ - Indice di Qualità Muraria. Applicazioni nell'ambito delle NTC 2008. L'EDILIZIA n. 160. Ed. De Lettera.

Borri A., De Maria A. (2019). Qualità muraria secondo il metodo IQM. Aggiornamento alla Circolare esplicativa n. 7 del 2019. STRUCTURAL n. 222.

Borri A., De Maria A. (2020). L'indice di qualità muraria (IQM) e la disgregazione delle murature per effetto del sisma. STRUCTURAL n.229.

Borri A., De Maria A., Corradi M. (2026). Stima delle proprietà meccaniche delle murature mediante l'indice di qualità muraria: studi e applicazioni. STRUCTURAL n. 259

DATA LA CENTRALITÀ, NELLE ANALISI E NEGLI INTERVENTI, DEL TEMA «**QUALITÀ MURARIA**»:

UN «INTEGRATORE» DI CONOSCENZA

- quando non si possono fare prove sperimentali;
- quando una determinata tipologia muraria non è, meccanicamente, ben conosciuta;
- ...

METODO IQM PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ MURARIA



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.



IQM Indice di Qualità Muraria

(A. Borri – A. De Maria)



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 data 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) **“Indice di Qualità Muraria (IQM): Correlazione con le caratteristiche meccaniche e livelli di conoscenza”** – 16° convegno Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica, 18-20 settembre 2015.

A. BORRI, G. CASTOPINO, 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»

Pubblicazione recente su:
STRUCTURAL n. 259 – aprile-giugno 2026
(ESEMPI DI UTILIZZO DEL METODO IQM)



STIMA DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE DELLE MURATURE MEDIANTE L'INDICE DI QUALITÀ MURARIA: STUDI E APPLICAZIONI

Antonio Borri

già Professore Ordinario

Dipartimento di Ingegneria, Università di Perugia, Perugia, Italia

antonio.borri@unipg.it

Marco Corradi

Autore corrispondente, Professore Ordinario

Dipartimento di Ingegneria e Tecnologia, Università di Huddersfield, Huddersfield,
Regno Unito

m.corradi@hud.ac.uk

Alessandro De Maria

Regione Umbria, Servizio Rischio Sismico, Perugia, Italia

ale.dm2002@gmail.com

C'è anche una WebApp!



IL METODO IQM È CONOSCIUTO E UTILIZZATO SIA IN ITALIA CHE IN MOLTI ALTRI PAESI

Masonry walls with irregular texture of L'Aquila (Italy) seismic area: validation of a method for the evaluation of masonry quality
L. Rovero, V. Alecci, J. Mechelli, U. Tonietti & M. De Stefano

The Medina of Chefchaouen (Morocco): A survey on morphological and mechanical features of the masonries
October 2013 | Construction and Building Materials 47:465–470
DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.05.025
Project: Seismic Damage and Fragility Assessment of Ancient Masonry Churches of Chile
Luiza Rovero · Fabio Fratini

A Bayesian Network for the Definition of Probability Models for Masonry Mechanical Parameters
F. Rovero, F. Frattini, E. Khamis, A. Vignoli, S. Burchi and F. Luzzi

Triplet Test on Rubble Stone Masonry: Numerical Assessment of the Shear Mechanical Parameters
Michele Angeli and Andrea Crisafulli

OF VAULTED SYSTEMS IN SAN CHURCH AFTER 2012 SEISMIC EVENTS

Abstract
This paper presents results of a survey on morphological and mechanical characteristics of the masonries in the Medina of Chefchaouen, XV–XIX century, in the Western Rif in Morocco, aimed at providing the information needed for a correct diagnosis and for the planning of conservation interventions adequate to the specificity of the local building culture. To this end, the work characterizes chemical, physical, and mechanical properties of materials as well as morphological features of traditional masonry walls. In particular, three main types of walls are identified and characterized by the stonework sections. Numerical estimate of compressive strength of the three masonry types is determined both through empirical and analytical formulas and

UTILIZZO DEL METODO IQM 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 (TMRJ)
(Cintra et al., 2024)



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



The Desert Rose Domes of the Souf Region (Algeria). (C. Aziz et al., HERITAGE2020CONF., 2020) Conference, Valencia)



Building in the city of Atlixco (Puebla, México) (Eutenei et al., Buildings, 2023)



Edifici a Tabriz, Iran (Aminfar, Akhoundi, Lourenço, 2022).



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



Masonry house in Kemphville, Ontario, Canada. (Farcașu & Pulatsu, 2020)

CASI DI UTILIZZO DELL'QM: EDIFICI STORICI



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



Torre a Sileto (Lecce). (Nicedi et al., Engineering Failure Analysis, 2020)



Rocca Anostessa di Castelnuovo dell'Agropoli (Toscana). (Orlando, Bonatini, Betti, Journal of Building Engineering, 2023)



The Church of Santa Ana in Sevilla. (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* (Villaverde Oporto et al., CINPAR, 2018)



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



Casa di Giorgio Vasari ad Anzico. (Betti et al., Heritage, 2021)



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



Barrô 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 Andić, Mislav Štepinac, Ana Poljanec, 2023)

CASI DI UTILIZZO DELL'QM: EDIFICI STORICI



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



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



Glebe St. James Church. (Devon Rolyk, Canada)



Masseria "Tagliatella" a Lacco. (Giordano, Cascardi, Miceli, Aiello, 2018).



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



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



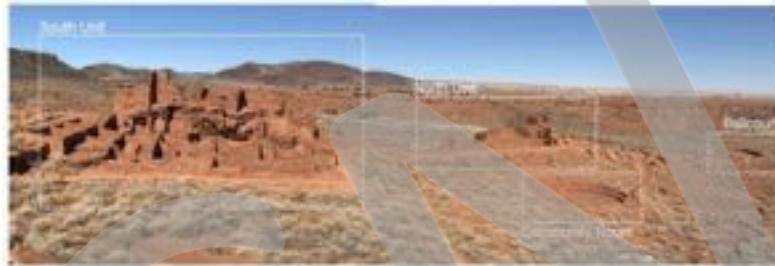
Chiesa di S. Ius (Samandag), S. Giorgio Sanitar, e S. Nicola (Iskenderun), Turkey. (Y. Yang et al., Bulletin of Earthquake Engineering, 2025)



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. (Gambilongo, Chieffo, Lourenço, Bulletin of Earthquake Engineering, 2024)



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



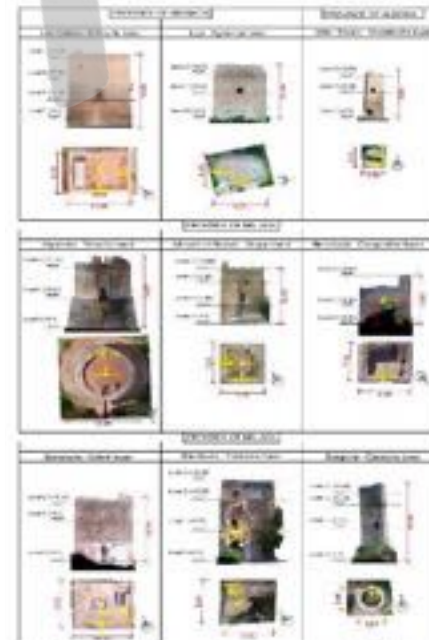
Muro bizantino di Tabesca (Algeria). (Sebou, Achmani e Formisano, Int. J. of Masonry Research and Innovation, 2023)



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



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



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



Ruins of Carmo Convent (Lisbon)* (Meirões et al., Sensors, 2024)



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^a

Deane de Mesquita Roehl^b

Emil de Souza Sánchez Filho^b

Paulo B. Lourenço^c

Nuno Mendes^c

^aPontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

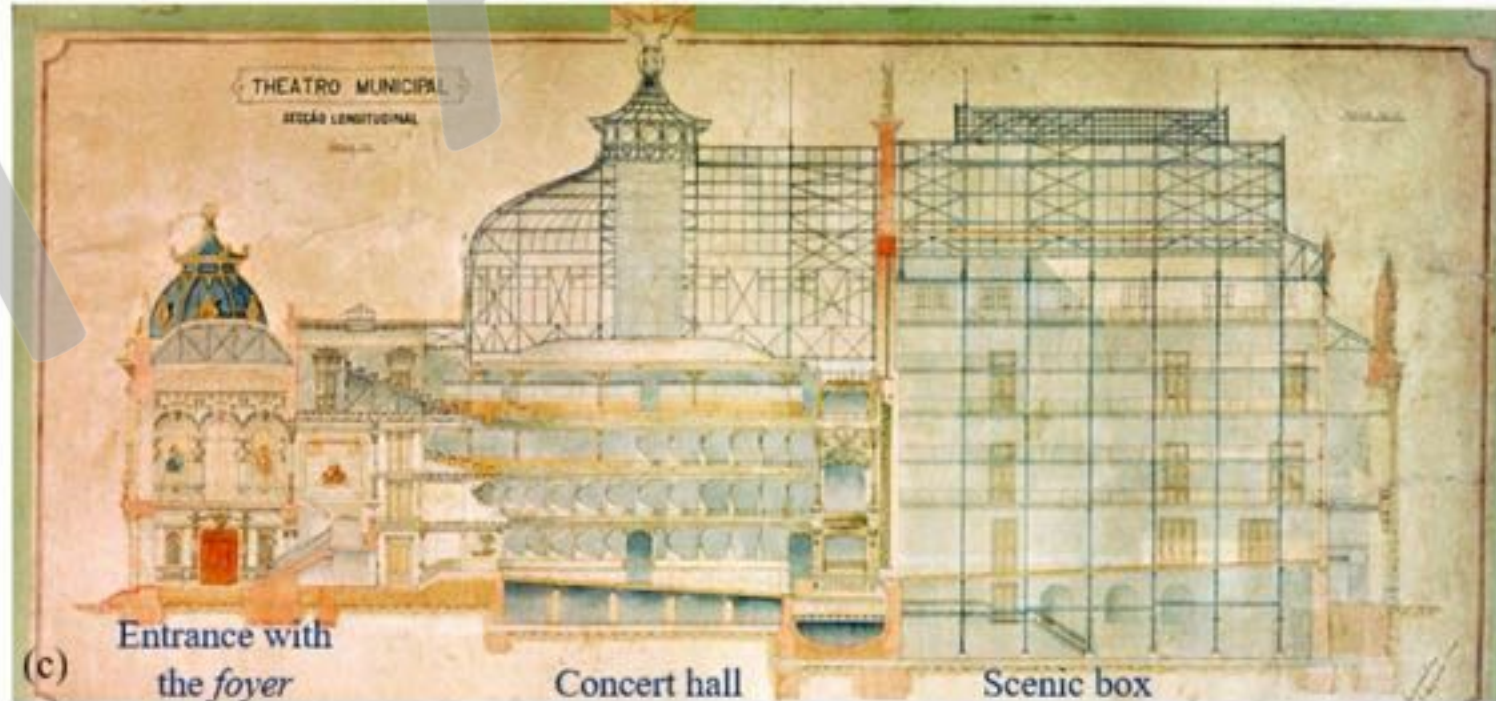
^bUniversidade Federal Fluminense – UFF, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Niterói, RJ, Brasil

^cUniversidade 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.

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: 10.1080/15459622.2021.1916622

CITATIONS
69

READS
1,055

6 authors, including:



Alberto Barattini
University of Chieti-Pescara
89 PUBLICATIONS 452 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Daniel V. Oliveira
University of Minho
438 PUBLICATIONS 8,349 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Helder Sousa
University of Minho
148 PUBLICATIONS 3,442 CITATIONS

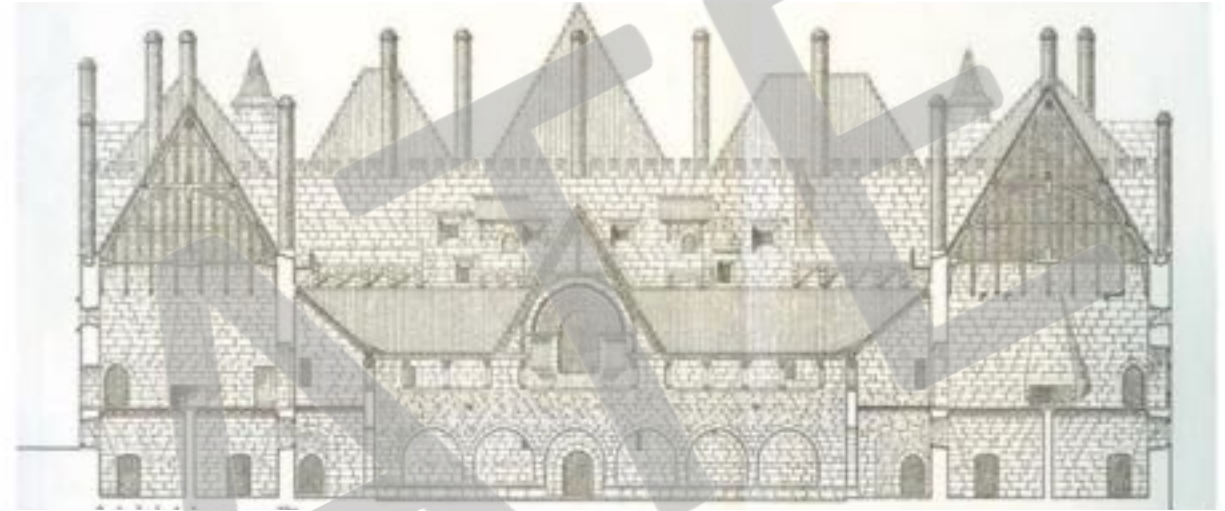
[SEE PROFILE](#)



Maria Giovanna Masciotta
University of Chieti-Pescara
96 PUBLICATIONS 3,843 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

PALAZZO DUCALE DI GUIMARÃES (PORTOGALLO)



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.

Article

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

Estefanía Chaves ^{1,*}, Jaime Aguilar ², Alberto Barontini ¹ , Nuno Mendes ¹  and Víctor Compán ² 

¹ ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, University of Minho, 4800-058 Guimarães, Portugal

² 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 - SIVIGLIA



Inspección y diagnóstico de la Catedral de Potosí, Bolivia

Inspection and diagnosis of the Cathedral of Potosí, Bolivia

Jahdiel VILLAFUERTE¹, Michele D' AMATO², Michelangelo LATERZA³
Gunnady CARO⁴, Julio RUIZ⁵, Gonzalo SALAZAR⁶

¹University of Basilicata, Matera, Italy, jahdiel1634@gmail.com

²University of Basilicata, Matera, Italy, michelangelo.laterza@unibas.it

³University of Basilicata, Matera, Italy, michele.damato@unibas.it

⁴Servicios de Ingeniería y Supervisión ALBIS Adamczyk S.R.L., Potosí, Bolivia, gudy-rcc@hotmail.com

⁵Empresa Zigurat S.R.L., Bolivia, julio.ruiz10@yahoo.com

⁶University of Basilicata, Matera, Italy, gsa1965@gmail.com

CATTEDRALE DI POTOSÍ (BOLIVIA)



Tabla 5 – Procedimiento de cálculo del índice de calidad de la mampostería MQJ

N°	UBICACIÓN	FOTOGRAFÍA Y ESQUEMA	EVALUACIÓN DEL MQJ																
			NO	MC	SS	V1	SD	MM	SM										
1	Fachada Sur Torre Este Torre Oeste		Valor	F	FF	F	F	F	F										
			V	2	1	1	1	1	2	1									
			MEJ	1	1	1	2	1	2	1									
			MEQ	2	1.5	2	1	1	1	1									
			<table><tr><td rowspan="3">MQJ</td><td>V</td><td>10.0</td><td>A</td></tr><tr><td>MEJ</td><td>7.0</td><td>A</td></tr><tr><td>MEQ</td><td>8.5</td><td>A</td></tr></table>							MQJ	V	10.0	A	MEJ	7.0	A	MEQ	8.5	A
MQJ	V	10.0	A																
	MEJ	7.0	A																
	MEQ	8.5	A																
2	Fachada Este		Valor	NO	MC	SS	V1	SD	MM	SM									
			F	FF	FF	FF	FF	F	F										
			V	1	0	0	0	0.5	2	1									
			MEJ	0.5	0	0	0	0.5	2	1									
MEQ	1	0	0	0	0.5	1	1												
			<table><tr><td rowspan="3">MQJ</td><td>V</td><td>3.5</td><td>B</td></tr><tr><td>MEJ</td><td>3.0</td><td>C</td></tr><tr><td>MEQ</td><td>2.5</td><td>C</td></tr></table>							MQJ	V	3.5	B	MEJ	3.0	C	MEQ	2.5	C
MQJ	V	3.5	B																
	MEJ	3.0	C																
	MEQ	2.5	C																
3	Fachada Oeste		Valor	NO	MC	SS	V1	SD	MM	SM									
			F	FF	FF	FF	FF	F	F										
			V	1	0	1.5	0	0.5	2	1									
			MEJ	0.5	0	1	0	0.5	2	1									
MEQ	1	0	1	0	0.5	1	1												
			<table><tr><td rowspan="3">MQJ</td><td>V</td><td>5.0</td><td>A</td></tr><tr><td>MEJ</td><td>4.0</td><td>B</td></tr><tr><td>MEQ</td><td>3.5</td><td>B</td></tr></table>							MQJ	V	5.0	A	MEJ	4.0	B	MEQ	3.5	B
MQJ	V	5.0	A																
	MEJ	4.0	B																
	MEQ	3.5	B																
4	Fachada Norte		Valor	NO	MC	SS	V1	SD	MM	SM									
			F	FF	F	F	F	FF	FF										
			V	2	1	1	1	1	0.5	0.7									
			MEJ	1	1	2	2	1	1	0.7									
MEQ	2	1.5	2	1	1	0.5	0.7												
			<table><tr><td rowspan="3">MQJ</td><td>V</td><td>6.0</td><td>A</td></tr><tr><td>MEJ</td><td>5.5</td><td>A</td></tr><tr><td>MEQ</td><td>5.0</td><td>A</td></tr></table>							MQJ	V	6.0	A	MEJ	5.5	A	MEQ	5.0	A
MQJ	V	6.0	A																
	MEJ	5.5	A																
	MEQ	5.0	A																

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

Rafael Ramirez^(IS2), Annalaura Vuoto, and Paulo B. Lourenço

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

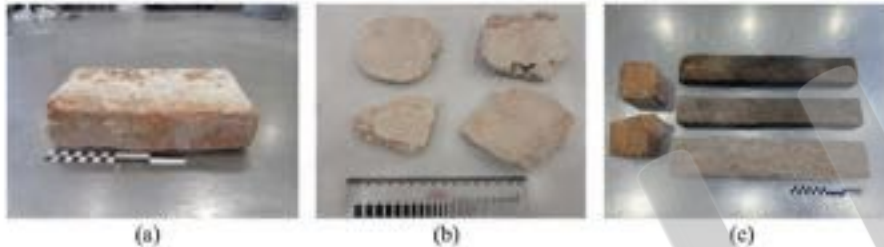


Fig. 4. Materials collected for laboratory testing: (a) solid fired-clay brick; (b) mortar from masonry bed joints; (c) timber elements.

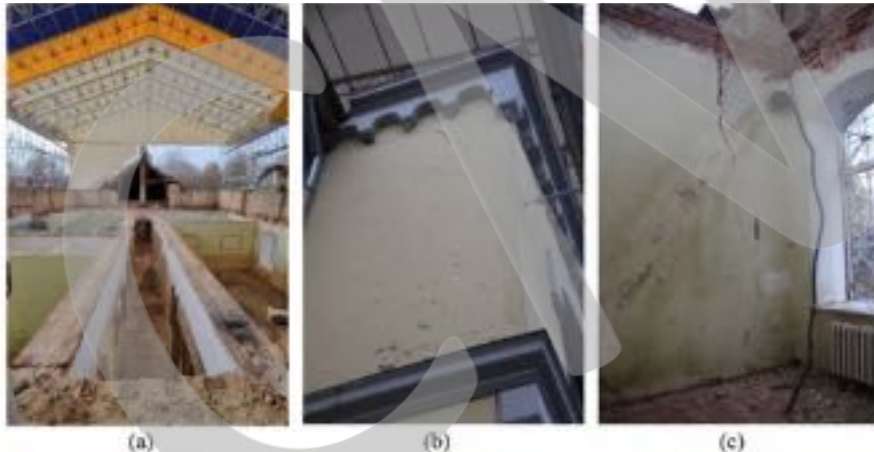


Fig. 3. Main types of damage: (a) complete loss of roof and slabs; (b) out-of-plane deviation of the longitudinal façades; (c) structural cracks at the intersection between orthogonal walls.



Obiettivo: valutazione strutturale del “Land Management Building” della 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.

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 ¹, Farhad Akhoundi* ², Ahad Nejadebrahimi ³

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

², Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, IRAN

³, Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, IRAN

EDIFICI STORICI A TABRIZ – IRAN

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

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)



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 ¹, Farhad Akhoundi* ², Ahad Nejadebrahimi ³

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

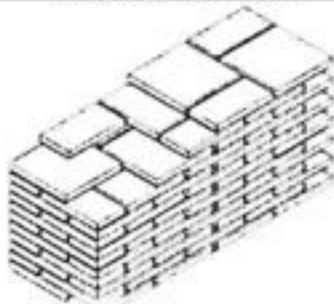
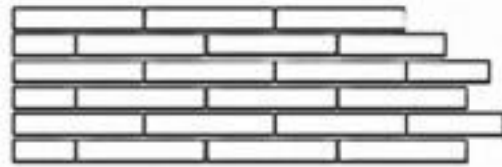
², Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, IRAN

³, Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, IRAN



EDIFICI STORICI A TABRIZ – IRAN

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

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



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

Laura Gambilongo¹ · Nicola Chieffo¹ · Paulo B. Lourenço¹

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” - ARIZONA



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

Sara Donzelli¹, Lorenza Petrini¹, Alessandra Zambrano², Vincenzo Calvanese²,
Gabriel Zuchtriegel², and Maurizio Lualdi¹

¹ Department of Civil and Environmental Engineering, Politecnico di Milano, Milan,
Italy

² Parco Archeologico di Pompei, Ministero della Cultura, Pompeii, Italy

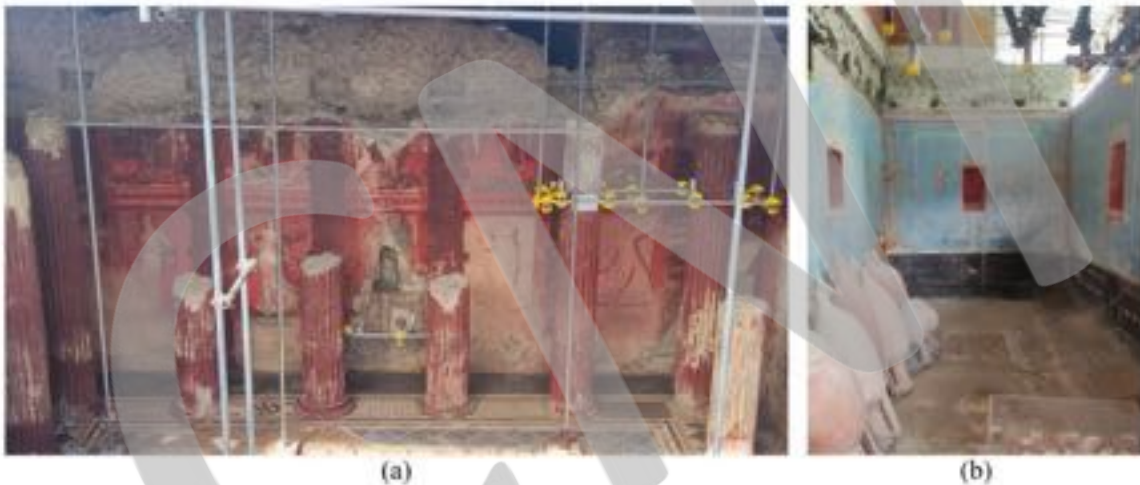


Fig. 1. Examples of well preserved frescoes in the House of Thiasus (XI,10,3): a) Dionysian megalography; b) *sacrum* with blue walls

POMPEI

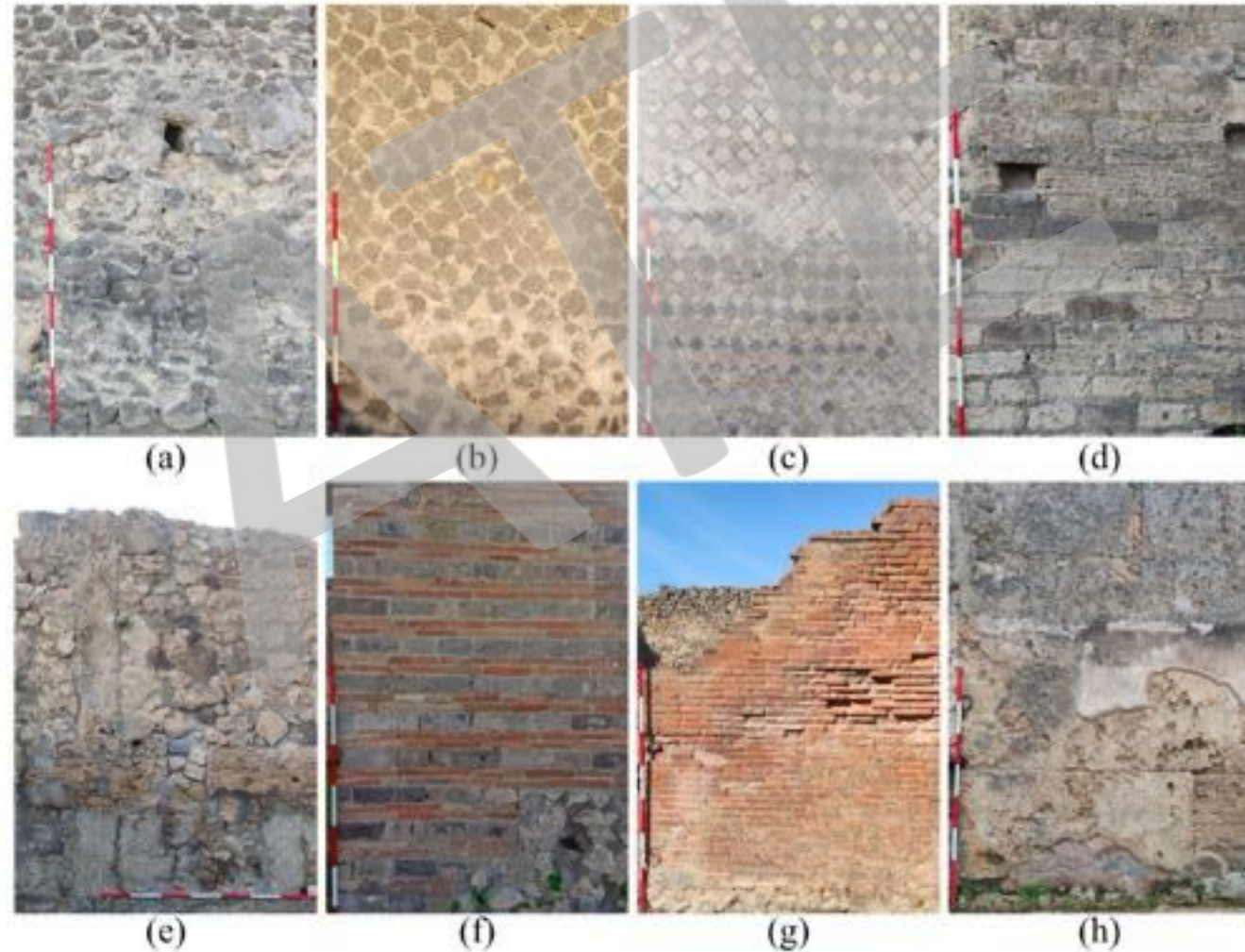


Fig. 3. Examples of building techniques used in Pompeii with their position according to the labelling of the Archaeological Park [25]: a) *opus incertum* (P VIII 7 E 15); b) *opus quasi reticulatum* (P VIII 7 21 38 E); c) *opus reticulatum* (P VI 3 E 4); d) *opus vittatum* (P VII 9 18 1 E); e) *opus 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).

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

Sara Donzelli¹, Lorenza Petrini¹, Alessandra Zambrano², Vincenzo Calvanese²,
Gabriel Zuchtriegel², and Maurizio Lualdi¹

¹ Department of Civil and Environmental Engineering, Politecnico di Milano, Milan,
Italy

² 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.

POMPEI

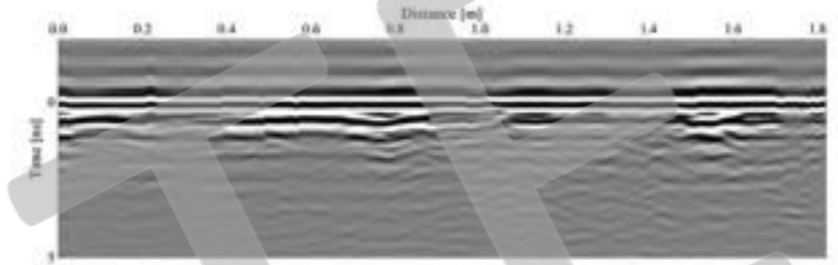


Fig. 5. Preliminary 2D GPR profile acquired to verify that the 3D reconstruction of the masonry arrangement in Pompeii is feasible

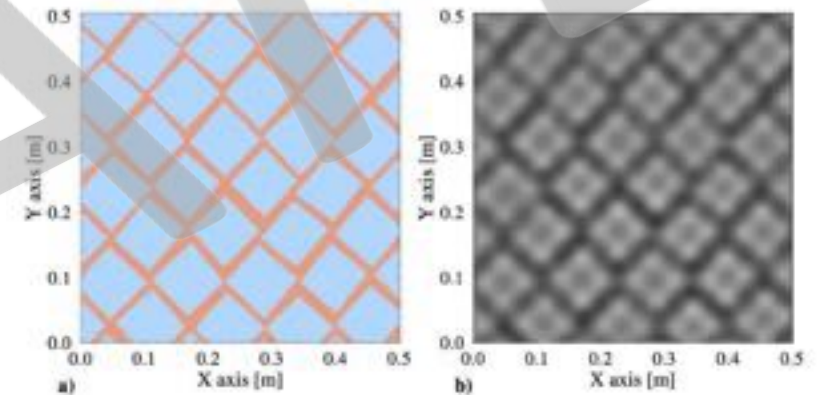


Fig. 6. a) Geometry model and b) simulated GPR time slice for the *opus reticulatum* panel

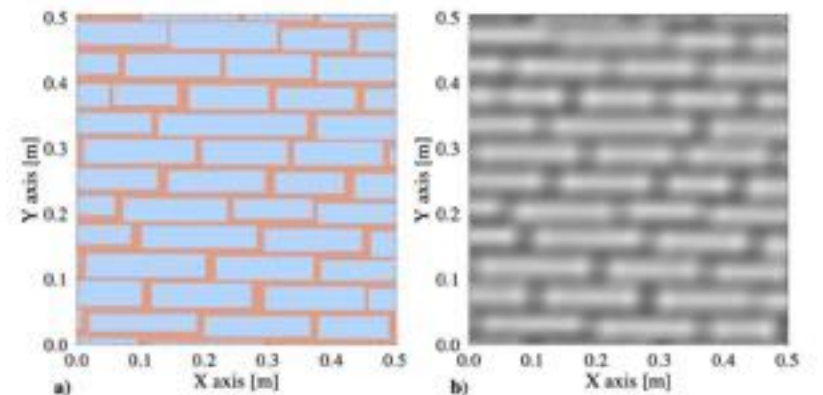


Fig. 7. a) Geometry model and b) simulated GPR time slice for the *opus testaceum* panel

Article

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

Luca Sbrogiò ^{1,*}, Lorenzo Tavano ², Ylenia Saretta ¹, Amedeo Caprino ³, Alejandra Chavarria Arnau ¹, Gian Pietro Brogiolo ⁴ and Maria Rosa Valluzzi ¹

¹ Department of Cultural Heritage, University of Padova, Piazza Capitaniato 7, 35139 Padova, Italy

² Department of Civil Environmental and Architectural Engineering, University of Padova, Via F. Marzolo 9, 35131 Padova, Italy

³ Department of Geosciences, University of Padova, Via Gradenigo 6, 35131 Padova, Italy

⁴ University of Padova, Piazza Capitaniato 7, 35139 Padova, Italy



(a)

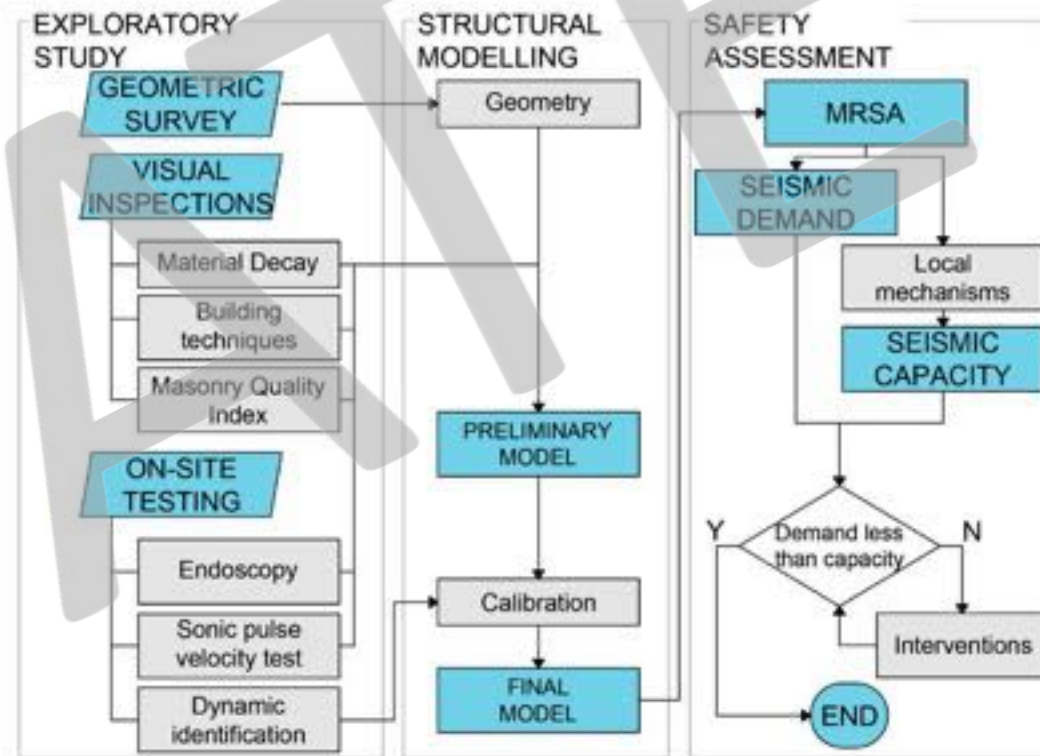


Figure 1. Workflow of the engineering methodological approach to an archaeological site proposed in this work.



(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

ISISE, 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@gmail.com (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.

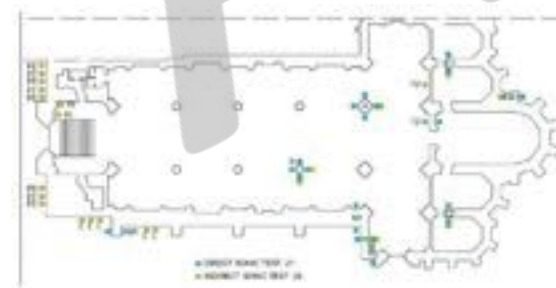


Figure 8. Sonic test locations.

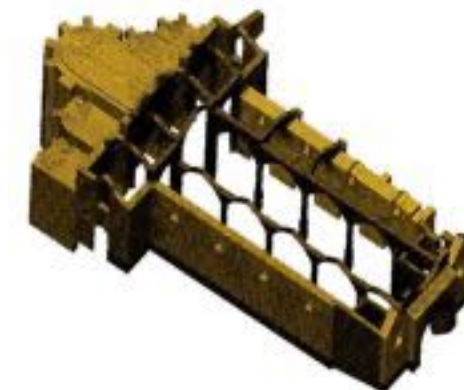


Figure 17. FEM global model in DIANA environment.



(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

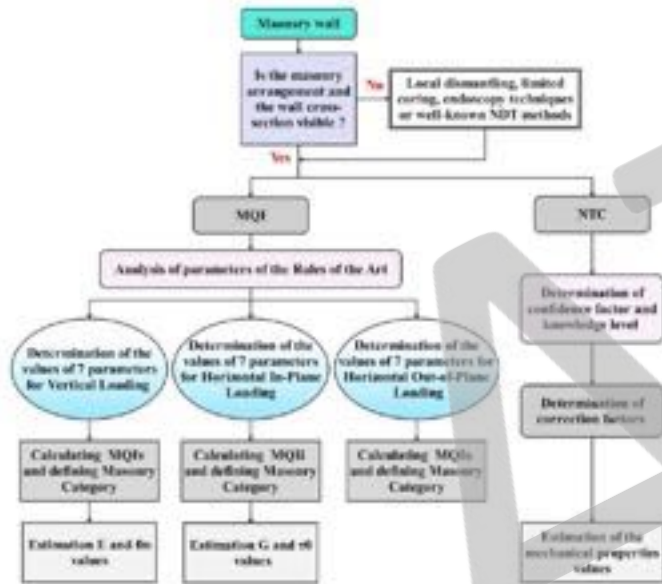


Fig.11 Scheme of correlation between NTC18 and MQI methodologies

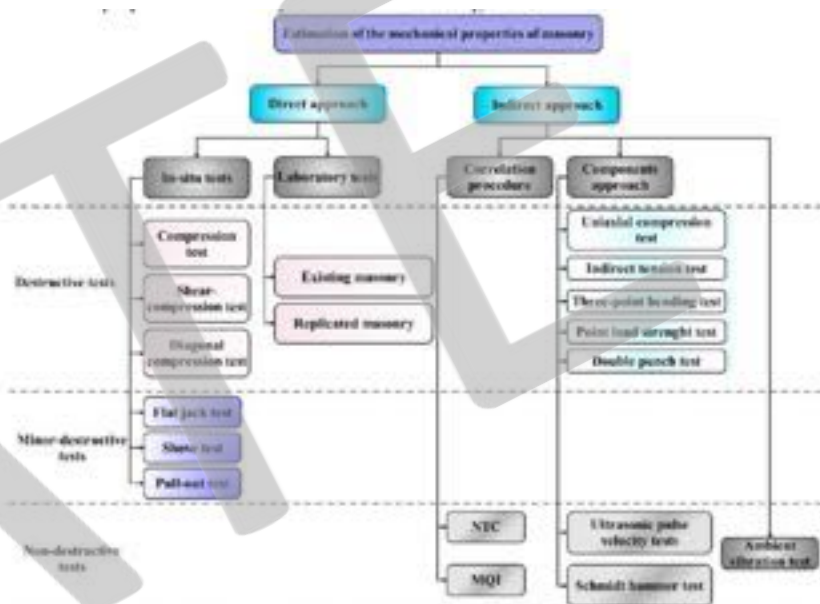


Fig.20 Different methods of measuring the mechanical properties of masonry

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 τ_0 (kPa)	Young modulus E_m (MPa)	Shear modulus G_m (MPa)	Weight density W_m (kN/m ³)
NTC	8.40	126	3360	1032	22
MQI	8.14	121	3175	786.6	/

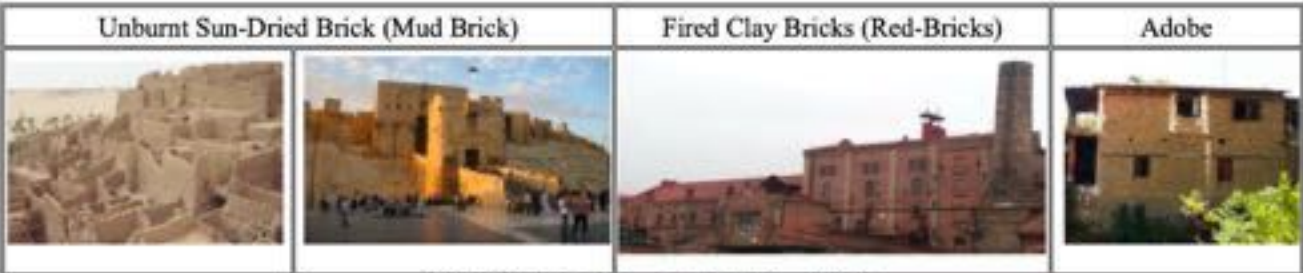


Fig.2 Historic clay units (Ibrahim, 2018)

FORTEZZA DI BATTICALOA - SRI LANKA

Engineering History and Heritage



Mechanical characterisation of stone masonry of Batticaloa fortress, Sri Lanka

Julian Thamboo PhD

Senior Lecturer, Department of Civil Engineering, South Eastern University of Sri Lanka, Oluvit, Sri Lanka (Droid:0000-0003-0207-8808)

Ramachandran Niroshan BSc Eng

Teaching Assistant, Department of Civil Engineering, South Eastern University of Sri Lanka, Oluvit, Sri Lanka (Droid:0009-0008-7087-0657)

Sivajathurshana Vijayathasan BSc Eng

Teaching Assistant, Department of Civil Engineering, South Eastern University of Sri Lanka, Oluvit, Sri Lanka (Droid:0009-0005-2364-4170)

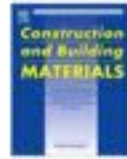
Marco Corradi PhD, CE, FStructE

Professor, Department of Engineering and Technology, School of Computing and Engineering, University of Huddersfield, Huddersfield, UK (Droid: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 (IQM); 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.





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

L. Rovero^{a,*}, F. Fratini^b

^a Dipartimento di Architettura, Università di Firenze, piazza Brunelleschi 6, 50121 Firenze, Italy

^b ICVBC, CNR, via Madonna Del Piano 10, Sesto Fiorentino, 50019 Firenze, Italy



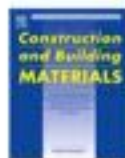
Indagine sulle caratteristiche morfologiche e meccaniche delle murature tradizionali della Medina di Chefchaouen (XV–XIX secolo).

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.

MEDINA DI CHEFCHAOUEN - MAROCCO





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

L. Rovero^{a,*}, F. Fratini^b

^a Dipartimento di Architettura, Università di Firenze, piazza Brunelleschi 6, 50121 Firenze, Italy

^b ICVBC CNR, via Madonna Del Piano 10, Sesto Fiorentino, 50019 Firenze, Italy



MEDINA DI CHEFCHAOUEN - MAROCCO

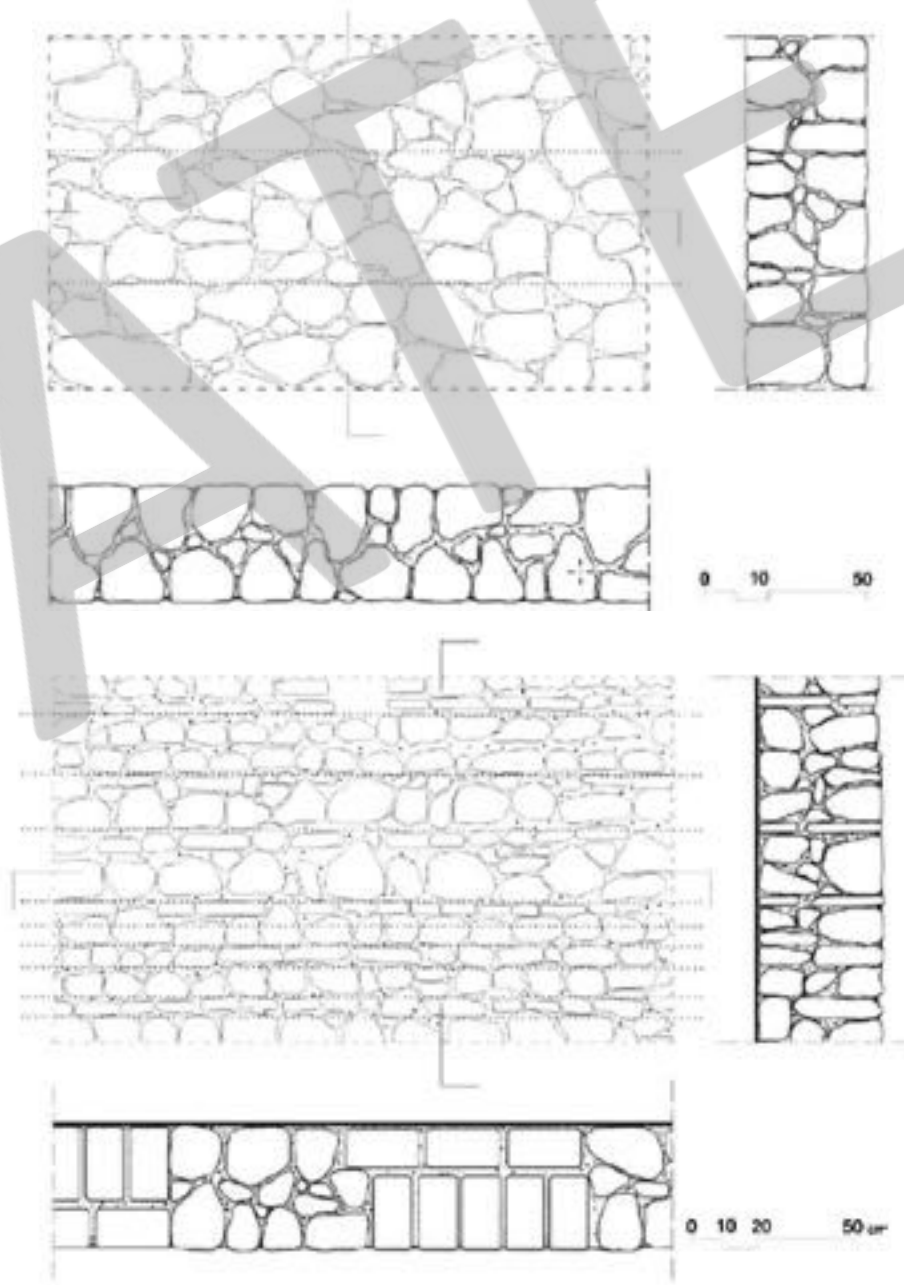


Fig. 21. M73 type: mixed stone and brick masonry.

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

C.Azil ^{1,2,*}, L. Rovero ², B. Djebri ¹, F. Fratini ³, G. Misseri ², U. Tonietti ²

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

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

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

GUEMAR CITY, SOUF (ALGERIA)

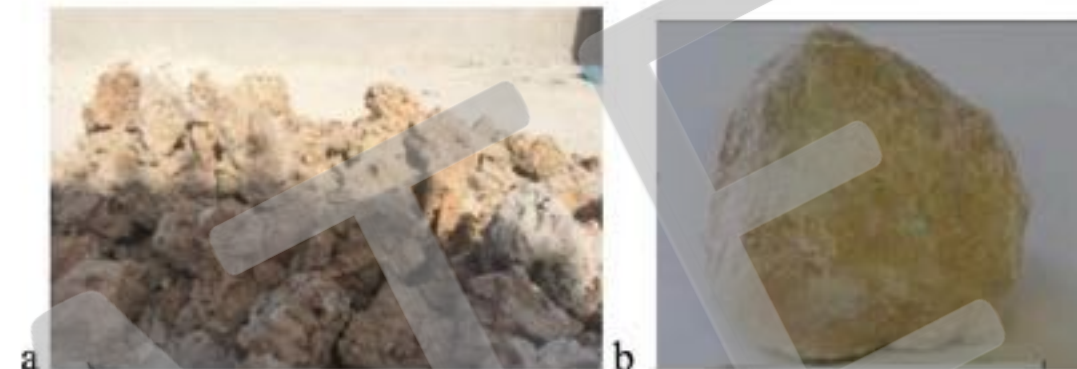
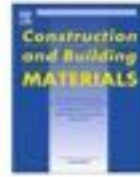


Figure 3. a. 'Desert Rose' stone. b. Tafza stone.



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





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

A.P. Ferreira Pinto^a, B. Sena da Fonseca^{b,*}, D. Vaz Silva^c

^a Department of Civil Engineering, Architecture and Georesources, CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal

^b Centro de Química Estrutural-CQE, DEQ, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal

^c Parques de Sintra – Monte da Lua S.A., Parque de Monserrate, 2710-405 Sintra, Portugal



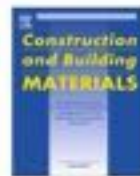
Caratterizzazione meccanica di otto murature in pietrame provenienti da diverse strutture del Palácio Nacional de Sintra (Portogallo) e valutazione della loro qualità utilizzando l'IQM e il Commentario alle NTC 2018.

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.

PALÁCIO NACIONAL DE SINTRA - PORTOGALLO





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

A.P. Ferreira Pinto^a, B. Sena da Fonseca^{b,*}, D. Vaz Silva^c

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

^b Centro de Química Estrutural-CQE, DEQ, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal

^c Parques de Sintra – Monte da Lua S.A., Parque de Monserrate, 2710-405 Sintra, Portugal



PALÁCIO NACIONAL DE SINTRA - PORTUGALLO

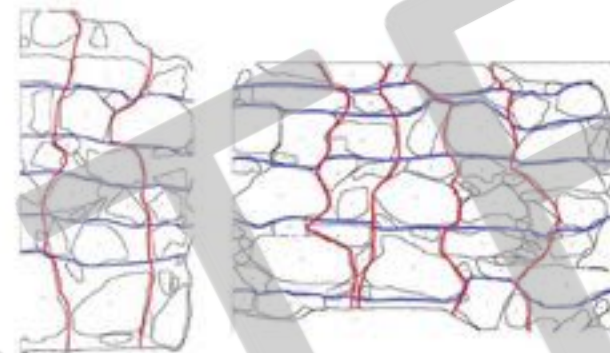


Fig. 6. Representation of several shortest paths along the horizontal (blue) and vertical joints (red) (left: MW1 paths; right: MW2 paths). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

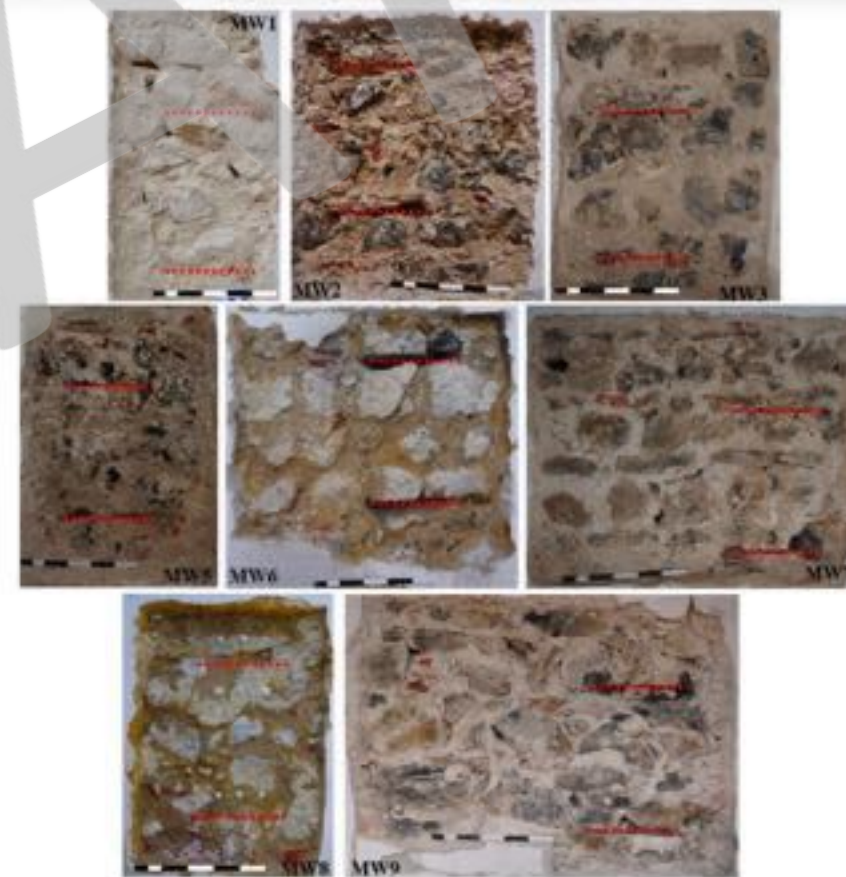


Fig. 2. Visual appearance of the masonry panels exposed by the removal of plaster/render and position of the flat jacks (red dashed lines) – Total length of scale: 50 cm (5 and 10 cm segments). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version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

Article

Physical-Mechanical Properties of Stone Masonry of Gjirokaštër, Albania

Enea Mustafaraj ¹, Erion Luga ¹, Marco Corradi ^{2,3,*}, Antonio Borri ³, Ylber Muceku ⁴ and Aleksandra Zharkalli ¹

¹ 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.)

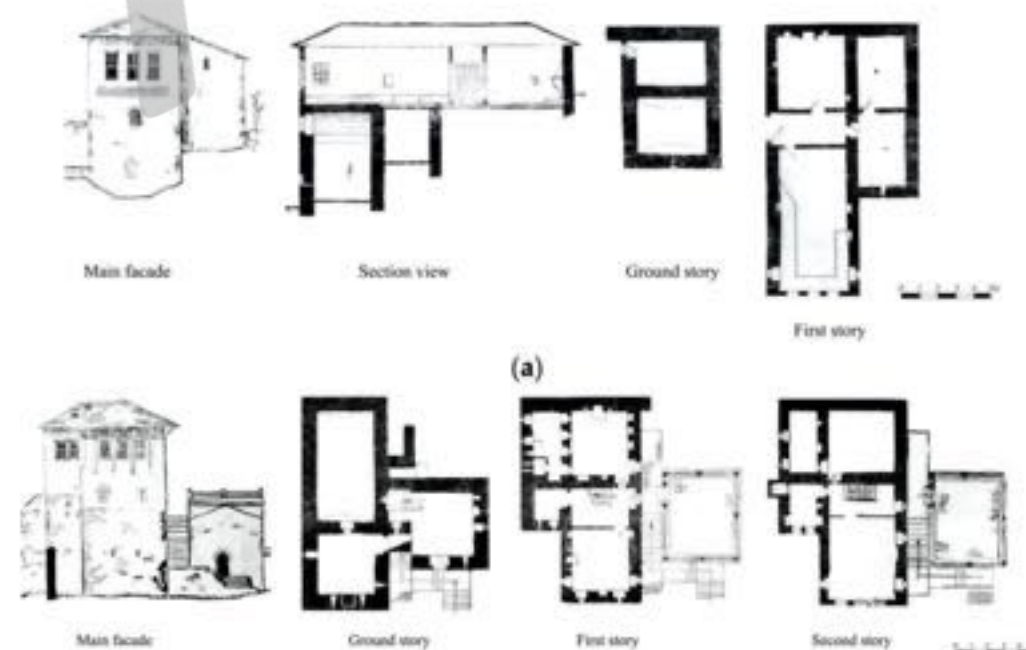
² Department of Mechanical & Construction Engineering, Northumbria University, Newcastle upon Tyne NE1 8ST, UK

³ Department of Engineering, University of Perugia, 06125 Perugia, Italy; antonio.borri@unipg.it

⁴ 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

GIROCASTRO (SITO UNESCO) - ALBANIA



Structural analysis of the Barrô Romanesque Church

Article · November 2021

CITATIONS
0

READS
288

4 authors, including:



Daniel R. Oliveira
University of Minho
420 PUBLICATIONS 8,348 CITATIONS
SEE PROFILE



Stefano Tassi
Sapienza University of Rome
12 PUBLICATIONS 58 CITATIONS
SEE PROFILE



Eduardo Vila-Cha
University of Minho
8 PUBLICATIONS 27 CITATIONS
SEE PROFILE



Pratik Gajjar
CEPT University
14 PUBLICATIONS 40 CITATIONS
SEE PROFILE

CHIESA DI SANTA MARIA DI BARRÔ- PORTOGALLO

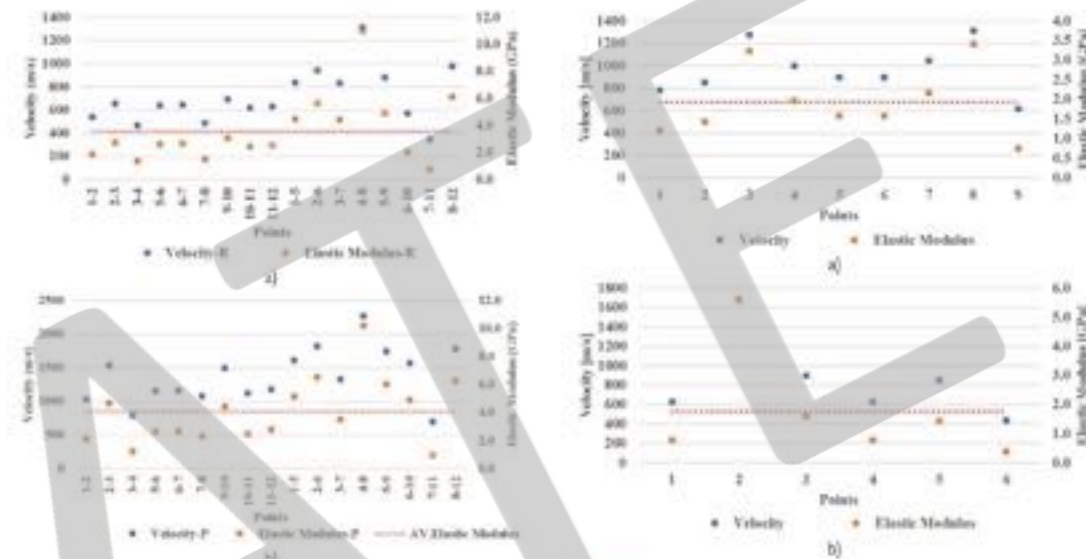


Figure 9 Correlation between velocity and the elastic modulus: a) R-waves; b) P-waves.

Figure 8 Correlation between velocity and the elastic modulus in: a) northern wall (IE_1); b) southern wall (IE_3)

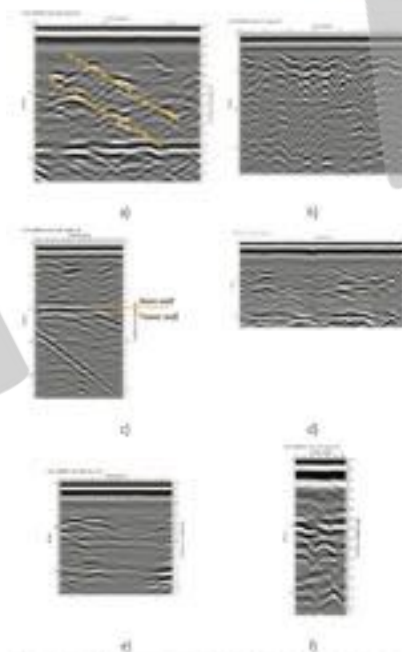
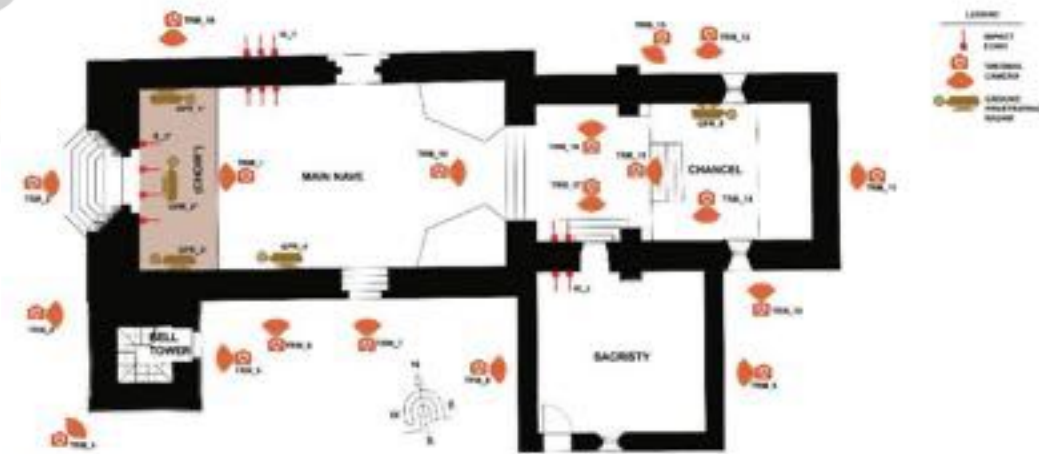


Figure 7 Radargrams at: a) GPR_1 northern wall choir level; b) GPR_2 western facade wall choir level; c) GPR_3 southern nave-tower wall interface choir level; d) GPR_4 southern wall; e) GPR_5 northern wall; f) GPR_5 beginning of the vault



Article

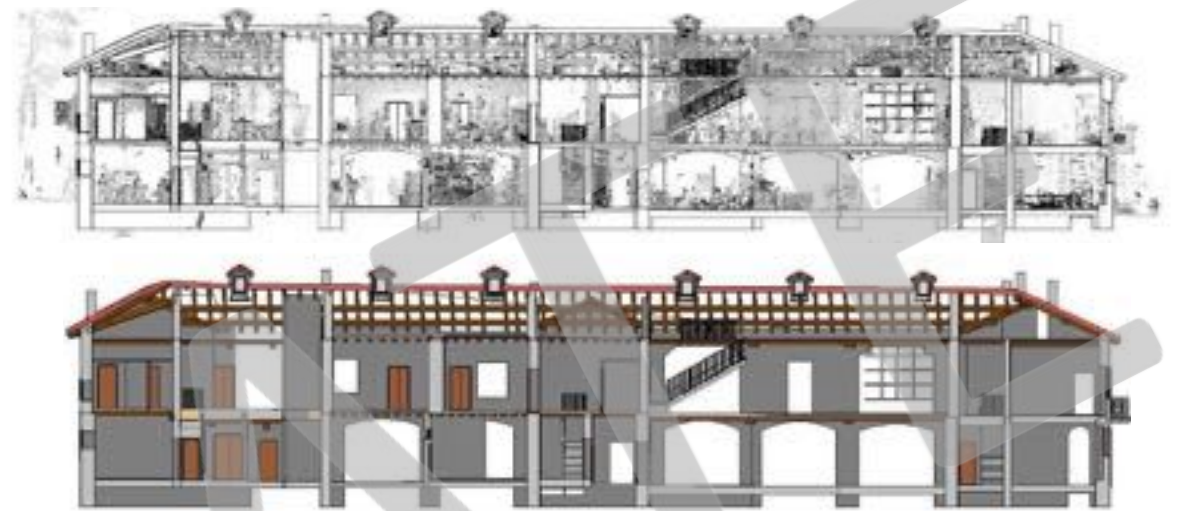
Non-Invasive Identification of Vulnerability Elements in Existing Buildings and Their Visualization in the BIM Model for Better Project Management: The Case Study of Cuccagna Farmhouse

Elsa Garavaglia ^{1,*}, Anna Anzani ², Fabio Maroldi ¹ and Fabio Vanerio ¹

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

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

* Correspondence: elsa.garavaglia@polimi.it



CASCINA “CUCCAGNA” - MILANO

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.

