



# MONUMENTI & TERREMOTI

NUOVE ESPERIENZE DI ANALISI  
DI VULNERABILITA' - PERICOLOSITA' SISMICA  
Risultati del programma ENEA-MIUR



Ministero per i Beni  
e le Attività Culturali



Istituto Centrale  
per il Restauro

---

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI  
ISTITUTO CENTRALE PER IL RESTAURO

## MONUMENTI & TERREMOTI

NUOVE ESPERIENZE DI ANALISI  
DI VULNERABILITÀ - PERICOLOSITÀ SISMICA  
Risultati del programma ENEA-MIUR





---

**Si ringraziano tutte le persone e gli enti che hanno cortesemente collaborato:**

Ing. Paolo Angeletti, Comitato Tecnico Scientifico del Terremoto della Regione Umbria - CTST

Arch. Giovanni Biallo, MondoGIS

Dr. Alessandro Bianchi, Istituto Centrale per il Restauro - MBAC

Dr.ssa Caterina Bon Valsassina, Direttore dell'Istituto Centrale per il Restauro - MBAC

Ing. Vincenzo Calabrese, Centro Regionale per la Progettazione, il Restauro e per le Scienze Naturali e Applicate ai Beni Culturali della Sicilia - Palermo

Arch. Donatella Cavezzali, Istituto Centrale per il Restauro - MBAC

Arch. Roberto Cecchi, Direttore Generale per i Beni Architettonici e il Paesaggio - MBAC

Ing. Alberto Cherubini, Consulente ICR- Presidente Comitato Tecnico Scientifico Regione Marche

Dr. Sandro Coppari, Servizio Sismico Nazionale

Prof. Ing. Giorgio Croci, Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

Arch. Maria Di Ferro, Centro Regionale per la Progettazione, il Restauro e per le Scienze Naturali e Applicate ai Beni Culturali della Sicilia - Palermo

Prof. Arch. Francesco Doglioni, Università degli Studi di Venezia - IUAV

Arch. Roberto Garufi, Centro Regionale per la Progettazione, il Restauro e per le Scienze Naturali e Applicate ai Beni Culturali della Sicilia - Palermo

Prof. Ing. Sergio Lagomarsino, Università degli Studi di Genova

Ing. Luciano Marchetti, Soprintendente Regionale per l'Umbria

Dr. Geol. Claudio Margottini, ENEA Centro Ricerche Casaccia - Roma

Arch. Floriana Marino, Cooperativa Arx s.r.l. - Venzone - UD

Arch. Clarice Marsano, Direzione per i Beni Architettonici e il Paesaggio - MBAC

Arch. Guido Meli, Centro Regionale per la Progettazione, il Restauro e per le Scienze Naturali e Applicate ai Beni Culturali della Sicilia - Palermo

Dr.ssa Almamaria Mignosi, ex-Direttore Istituto Centrale per il Restauro - MBAC

Prof. Ing. Giulio Mirabella Roberti, Università degli Studi di Venezia - IUAV

Ing. Alberto Moretti, Cooperativa Arx s.r.l. - Venzone - UD

Dr.ssa Cristina Negri Arnoldi, MondoGIS

Prof. Francesco Negri Arnoldi, Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

Arch. Annamaria Pandolfi, Istituto Centrale per il Restauro - MBAC

Ing. Stefano Podestà, Università degli Studi di Genova

Dr. Mario Serio, Direttore Generale per il Patrimonio storico, artistico, demoetnoantropologico, Commissario delegato per il terremoto in Umbria e Marche

Arch. Valeria Vocaturo, Consulente ICR

**Si ringraziano per avere fornito dati e informazioni:**

Dr. Antonio Petrucci, Sindaco del Comune di Nocera Umbra

Don Angelo Menichelli, Parroco di Nocera Umbra

Geom. Marco Betti, Geom. Enzo Malacchi, Comune di Nocera Umbra

Arch. Gabriele Ferranti, Arch. Ambra Ciarapica, Dr.ssa Orietta Niciarelli, Regione Umbria - Direzione Regionale Politiche Territoriali, Ambiente ed Infrastrutture, Servizio Informativo Territoriale

Dr. Geol. Arnaldo Boscherini, Dr. Geol. Andrea Motti, Regione Umbria - Direzione Regionale Politiche Territoriali, Ambiente ed Infrastrutture, Servizio Geologico

Dr.ssa Vittoria Garibaldi, Soprintendente per i Beni A.PPSA.D. dell'Umbria

Dr.ssa Michele Lampe, Responsabile degli archivi della Soprintendenza per i Beni A.PPSA.D. dell'Umbria

**Si ringraziano per l'assistenza tecnica e l'attrezzatura:**

Fabio Baiocco, A.P.A.T.

Dr. Giovanni D'Amore, Francesco Martire, A.R.P.A. Piemonte

Dr. Enzo Lanza, Trimble Navigation s.r.l.

Dr. Andrea Martelli, Crisel s.r.l.

**Coordinamento editoriale:** Cristina Negri Arnoldi - MondoGIS s.r.l.

**Progetto grafico:** Stefania Serra - MondoGIS s.r.l.

**Impaginazione e stampa:** CSR, Via di Pietralata 157 - 00158 Roma

Copyright 2003 - Istituto Centrale per il Restauro

---



## Indice

|                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Il Rischio Sismico                                                                                                                                                 | 7   |
| 1. La base dati "Carta del Rischio" sul terremoto del 26 settembre 1997 e il progetto ENEA-MIUR                                                                    | 9   |
| 2. Il progetto ENEA-MIUR per la salvaguardia dei Beni Culturali dai Rischi Naturali                                                                                | 11  |
| 3. La prevenzione dal rischio sismico del patrimonio architettonico: proposte di schedatura, analisi e valutazione del rischio elaborate con il Progetto ENEA-MIUR | 13  |
| 4. Definizione di pericolosità sismica e metodologie di approccio alla pericolosità sismica in ambiente GIS                                                        | 17  |
| 5. Approccio alla pericolosità a larga scala in ambiente GIS (macrozonazione)                                                                                      | 21  |
| 5.1 Metodi e carte prodotte in ambito nazionale                                                                                                                    | 21  |
| 6. Approccio alla pericolosità per il sito in ambiente GIS (microzonazione)                                                                                        | 25  |
| 6.1 Metodi di selezione delle aree oggetto di microzonazione                                                                                                       | 26  |
| 6.2 Carte tematiche a copertura sub-comunale fondamentali ai fini della pericolosità                                                                               | 27  |
| 6.3 Carte tematiche a copertura sub-comunale significative ai fini della pericolosità                                                                              | 30  |
| 6.4 Indagini geognostiche e geofisiche                                                                                                                             | 31  |
| 7. Localizzazione dei beni culturali ai fini dell'analisi di rischio                                                                                               | 33  |
| 7.1 Sistemi Informativi Geografici e modelli di rappresentazione dei beni culturali                                                                                | 34  |
| 7.2 Cartografia di riferimento                                                                                                                                     | 35  |
| 7.3 Tecniche di georeferenziazione dei beni                                                                                                                        | 36  |
| 8. Analisi della vulnerabilità sismica delle strutture                                                                                                             | 41  |
| 8.1 Definizione di valore ed esposizione per i beni monumentali                                                                                                    | 41  |
| 8.2 Tipologie strutturali dei beni monumentali                                                                                                                     | 43  |
| 8.3 Stato di conservazione delle strutture                                                                                                                         | 45  |
| 8.3.1 La ricostruzione della storia strutturale attraverso la documentazione tecnica d'archivio                                                                    | 45  |
| 8.3.2 Censimento e comparazione dei modelli di schede di vulnerabilità e danno                                                                                     | 65  |
| 8.3.3 Prima stesura del modello di scheda di vulnerabilità sismica per tipologia strutturale                                                                       | 79  |
| 8.4 Curve di fragilità                                                                                                                                             | 91  |
| 8.5 Prove sperimentali speditive e valutazioni di vulnerabilità delle murature                                                                                     | 93  |
| 8.6 Verifica strutturale                                                                                                                                           | 107 |
| 9. Analisi di rischio                                                                                                                                              | 109 |
| 10. Mitigazione del rischio                                                                                                                                        | 111 |





## 8.5 Prove sperimentali speditive e valutazioni di vulnerabilità delle murature

di Francesco Doglioni, Giulio Mirabella Roberti, DSA-IUAV Università degli Studi di Venezia

Le strutture murarie presentano caratteristiche e condizioni il cui variare influenza in modo molto marcato la risposta sismica. Murature con efficaci legami di adesione e coesione e più elevate caratteristiche meccaniche, in particolare della malta, tendono a discretizzarsi in grandi blocchi, subendo l'azione dei principali meccanismi di dissesto legati alla configurazione geometrica della costruzione. Al decrescere di tali caratteristiche e all'aumentare della vulnerabilità propria della muratura, si attivano sub-meccanismi di più limitata ampiezza fino a giungere, nel caso di inadeguate caratteristiche meccaniche ed adesivo-coesive, a disgregazioni diffuse che portano a collasso anche senza che si attivino i meccanismi di danno tipici per configurazione. I diversi livelli di vulnerabilità della muratura indicano perciò non soltanto una diversa propensione al danneggiamento, ma anche il variare delle modalità di danno (per grandi meccanismi/per disgregazione diffusa) cui dovrebbero corrispondere approcci di intervento marcatamente differenziati.

Un procedimento di stima della vulnerabilità sismica deve quindi fondarsi su una valutazione dell'efficienza e della qualità costruttiva propria della muratura. L'efficienza è legata al mantenimento o alla perdita di qualità costruttive iniziali; vanno quindi valutate con indicatori separati, per descrivere da un lato l'allontanamento dalla condizione iniziale dovuto al degrado, al dissesto e alle trasformazioni subite, dall'altro le caratteristiche di costruzione, legate in particolare all'ingranamento murario sul piano dei paramenti e trasversale. Tuttavia l'elemento di maggiore rilevanza ai fini dell'efficienza e della vulnerabilità è costituito dalle caratteristiche attuali della malta che forma la muratura, malta che è quindi necessario esaminare in modo specifico.

Si propone di valutare la *vulnerabilità muraria* secondo un indicatore articolato in cinque livelli e inserire questo valore nel procedimento di stima della vulnerabilità complessiva del manufatto. La valutazione sarà opportunamente articolata per macroelementi della costruzione (es. sagrestia laterale, torretta sopralzata, ecc.) nel caso le murature siano differenziate nelle parti costruite in tempi diversi.

I livelli previsti sono:

- 5 – muratura superiore: efficiente e di elevata qualità costruttiva (bassa vulnerabilità);
- 4 – muratura medio-superiore: efficiente e ben costruita (vulnerabilità limitata);
- 3 – muratura media: di media efficienza e qualità costruttiva (vulnerabilità media);
- 2 – muratura medio-inferiore: scarsamente efficiente e/o di mediocre qualità costruttiva (vulnerabilità accentuata);
- 1 – muratura inferiore: non efficiente e/o di cattiva qualità costruttiva (vulnerabilità elevata).

La muratura superiore (livello 5) presenta le più elevate qualità costruttive, in genere proprie delle grandi opere, con testiture a forte ingranamento sul piano e trasversale, malte di allettamento e nel nucleo che assumono a riferimento l'*opus caementicium* di tradizione romana e perciò di elevate caratteristiche adesivo-coesive. In tali contesti il lesionamento, se presente, si manifesterà con lesioni concentrate e non ramificate, dovute ad un comportamento marcatamente a blocco rigido, e non devono essere presenti marcati interventi di trasformazione e fenomeni di degrado. Si tratta quindi di murature ben costruite e ben conservate.

La muratura medio-superiore (livello 4) può essere costituita sia da una muratura di elevata qualità che ha subito fenomeni di parziale degrado, dissesto o trasformazione, sia da una muratura ben conservata ma con caratteristiche costruttive inferiori al massimo standard per almeno un parametro significativo: minore ingranamento, minori pur se elevate caratteristiche della malta, ecc.

La muratura di livello medio (livello 3) può essere sia una muratura di qualità che ha subito accentuati fenomeni di degrado, dissesto, trasformazione, sia una muratura ben conservata con caratteristiche di ingranamento e qualità delle malte non ottimali. Le lesioni, se presenti, si manifesteranno con ramificazioni e bracci paralleli non eccessivamente articolati, ed il comportamento tenderà a svilupparsi con discretizzazione in blocchi di ridotte dimensioni, con zone intermedie di plasticizzazione-disgregazione.

La muratura di livello medio-inferiore (livello 2) può essere costituita da una muratura di maggiore qualità che ha subito accentuati processi di degrado, dissesto, trasformazione, oppure da una muratura ben conservata di ridotte caratteristiche costruttive, con ingranamenti limitati, separazione tra paramenti nel nucleo, malte di ridotte caratteristiche meccaniche ed adesivo-coesive. Le lesioni, ove presenti, tenderanno a presentarsi con assetto fortemente ramificato discretizzando in piccoli blocchi la muratura, e con ampie zone di plasticizzazione-disgregazione. Il comportamento disgregativo prevale su quello a meccanismi e formazione di blocchi, a fatica riconoscibile.

La muratura di livello inferiore (livello 1) può essere costituita da una muratura di qualità media o medio-inferiore che ha subito accentuati e diffusi fenomeni di degrado, dissesto e trasformazione, oppure da una muratura povera largamente al di sotto della regola dell'arte per ingranamento, con separazione del nucleo dai paramenti, qualità meccaniche ed adesivo-coesive delle malte del tutto inadeguate (malte che si tolgono a mano senza attrezzi dall'allettamento, che si schiacciano manualmente polverizzandosi, ecc.). I quadri di dissesto presenteranno ampie deformazioni plastiche, lesioni diffuse con enucleazione dei singoli conci dalla malta, senza che sia più possibile riconoscere meccanismi di insieme separandoli dai fenomeni disgregativi diffusi.

L'attribuzione del livello di vulnerabilità può avvenire in via sintetica (I) come parere esperto che tiene conto di tali fattori, oppure, con maggiore attendibilità, (II) fondarsi su una valutazione separata dei diversi fattori analizzabili senza esecuzione di prove, o (III) attraverso l'ulteriore esecuzione di prove *in situ* o di laboratorio, operando una successiva combinazione dei risultati per ottenere il livello di vulnerabilità complessivo della muratura osservata.

L'attendibilità del livello di vulnerabilità attribuito è funzione della diversa modalità adottata, e del numero di osservazioni o prove realmente effettuate.

L'attribuzione del livello è basata sui risultati di due gruppi di osservazioni e prove:

**Primo gruppo:** osservazioni riconducibili a parametri misurabili o a classi differenziabili in base ad osservazioni visive, che non comportano prove strumentali *in situ* o su campioni:

- 1.1 Misura dell'ingranamento dei supporti sul piano esterno del paramento murario; esso è costituito dal numero e dalla lunghezza dei tracciati non contigui o intersecati riconoscibili tra il bordo superiore e il bordo inferiore di un campione di paramento murario di m. 1x1. Maggiore è la lunghezza del percorso e minore il numero dei tracciati, maggiore è l'ingranamento. Valori di riferimento: da 100-115 cm. livello 1; da 116 a 130 cm. livello 2; da 131 a 145, livello 3; da 145 a 160 livello 4; oltre 161, livello 5. (si veda allegato 1)
- 1.2 Misura dell'ingranamento trasversale tra i paramenti opposti; operabile solo nel caso sia osservabile la sezione muraria, misura su un tratto di 1 m. la lunghezza della linea centrale più breve che attraversa il nucleo murario in verticale aderendo al lato interno dei conci dell'uno o dell'altro paramento ove questi superino l'asse centrale. Maggiore è la lunghezza del tracciato, maggiore è l'ingranamento. Valori di riferimento: da 100-115 cm. livello 1; da 116 a 130 cm. livello 2; da 131 a 145, livello 3; da 145 a 160 livello 4; oltre 161, livello 5. La misura è significativa soltanto per murature in pietra di spessore non elevato (55-60 cm. max), mentre non lo è per murature di maggiore dimensione. In alternativa alla misura, possibile solo in particolari occasioni, questo elemento di valutazione può essere fondato su osservazioni di natura diversa, come la sicura assenza di diatoni o conci profondamente ingranati nel nucleo (in caso di murature di ciottoli di piccole dimensioni, di mattoni disposti unicamente o in larga prevalenza per fascia anziché per chiave, ecc.) o nel caso di evidenti separazioni dal paramento dal nucleo o dal paramento opposto (imbozzamenti discordi di uno o entrambe i paramenti, separazioni mediane verticali in corrispondenza di porte o finestre, ecc.).
- 1.3 Osservazione della qualità, costituzione e consistenza della malta di allettamento. Attraverso osservazioni visive (anche con eventuale ausilio di videomicroscopio) e limitate prove di estrazione e infissione, si stima la qualità della malta, considerata variabile da *fortemente adesa ai supporti e tenace* (valore 5) a *distaccata e fortemente friabile* (valore 1).
- 1.4 Osservazione dei modi di fessurazione, ove presente: classificazione da lesioni del tutto concentrate e a grande distanza una dall'altra (valore 5, indicatore di minima vulnerabilità) a lesioni molto ravvicinate e ramificate, fino ad enucleare i singoli conci (valore 1, indicatore di massima vulnerabilità), (si veda allegato 2)
- 1.5 Osservazione di fattori che hanno ridotto l'efficienza rispetto alla condizione iniziale: si tratta di una valutazione composta costituita dalla combinazione di più elementi, quali la presenza-assenza di discontinuità ed eterogeneità dovute a fasi e riprese costruttive, la presenza-assenza di fenomeni di degrado delle malte di allettamento (es. perdita dei giunti) o dei supporti, la presenza-assenza di fenomeni fessurativi da dissesto pregresso (si veda allegato 3).

**Secondo gruppo:** misure *in situ* o su campioni prelevati con strumentazioni non distruttive o a limitatissimo impatto.

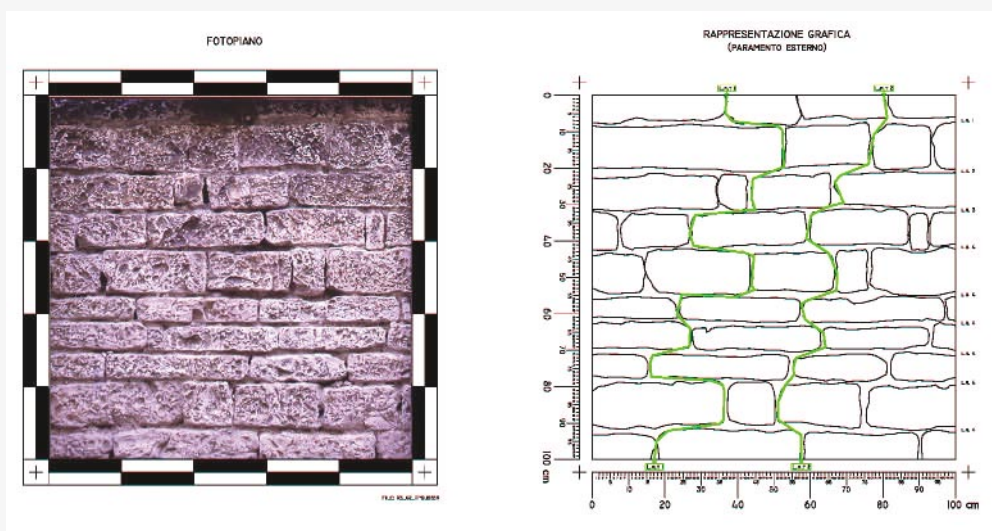
- 2.1 Esecuzione di prove penetrometriche dinamiche (metodo Liberatore) sulla malta dei giunti orizzontali di allettamento, e misurazione del numero di colpi necessari a raggiungere la profondità di mm. 40.
- 2.2 Esecuzione di prove soniche per trasparenza, con misura della velocità media di propagazione su 36 punti entro un campione di un mq.
- 2.3 Esecuzione di analisi su campioni di malta prelevata: distribuzione granulometrica, percentuale in calce, porosità totale e distribuzione percentuale della dimensione dei pori.

Per ciascun fattore o prova vengono stabilite soglie di valori o situazioni di riferimento opportunamente esemplificate, per suddividere il range in cinque livelli. Il valore attribuito alla muratura è costituito dalla media dei fattori relativi alle singole prove o osservazioni, approssimato al livello superiore o inferiore (es. 2,56=3). Nel caso sia presente anche un solo fattore con valore 1, il livello complessivo viene arrotondato per difetto, senza tenere conto dei decimali (es. 2,56= 2).

## Allegato 1

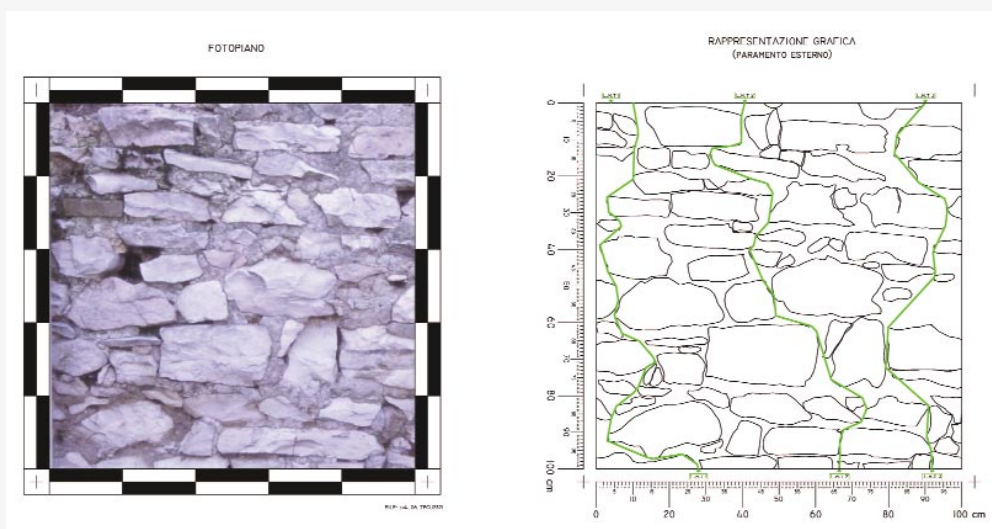
| IDCampione | Coditer   | Denominazione                                  | Località     | Localizzazione del campione           | Tipo di Sezione | Numero L.M.T./mq | Val. medio L.M.T. |
|------------|-----------|------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| 10         | TPGU 0359 | Chiesa di S. Chiara<br>Corso Vittorio Emanuele | Nocera Umbra | Chiesa<br>parete esterna<br>su strada | Non rilevabile  | 2/mq             | 164,5             |

### Tavole del campione murario 100x100 cm



| IDCampione | Coditer   | Denominazione                    | Località  | Localizzazione del campione | Tipo di Sezione | Numero L.M.T./mq | Val. medio L.M.T. |
|------------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| 15         | TPGU 2371 | Confraternita del SS. Sacramento | Boschetto | Edificio<br>parete esterna  | Non rilevabile  | 3/mq             | 132,38            |

### Tavole del campione murario 100x100 cm

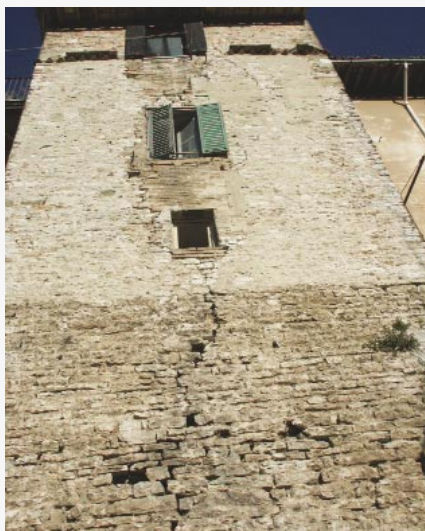




## Allegato 2

### Classificazione dei modi di fessurazione valutati sull'intero pannello murario

Si indicano due livelli, uno caratterizzante il tipo di muratura avente elevate qualità costitutive, l'altro caratterizzante il tipo di muratura di bassa qualità costitutiva, che identificano i livelli estremi (1,5) della variabilità all'interno del gruppo 1.4, facente riferimento ai modi di fessurazione dei pannelli murari.



**Livello 5**

Lesioni concentrate, non ramificate, dovute ad un comportamento marcatamente a blocco rigido.



**Livello 1**

Lesioni diffuse con enucleazione dei singoli elementi, con assenza di comportamento a blocco rigido.

## Allegato 3

### Valutazione dell'entità e diffusione dei processi di trasformazione (fattori di allontanamento dalla condizione iniziale del pannello murario)

Si indicano due livelli che esprimono rispettivamente un alto e un basso grado di allontanamento dalle condizioni iniziali del paramento, dovuto a fattori di trasformazione, di dissesto e degrado.



**Livello 5**

Manufatti in cui è prevalente un'unica fase costruttiva, in buono stato di conservazione in assenza di fenomeni degenerativi e di dissesto.



**Livello 1**

Condizione in cui si osserva una forte disomogeneità dovuta a trasformazioni della fabbrica (fasi costruttive) cui si aggiunge la presenza di effetti di degrado e di dissesto pregresso.



Tabella di valutazione della vulnerabilità muraria

| CAMPIONE n.      | denominazione               |                               | località |
|------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|
|                  | localizzazione del campione |                               |          |
| tipo di muratura | spessore                    | macroelemento di appartenenza |          |

| PARAMETRO                                                | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|----------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|
| ingranamento paramento sul piano esterno                 |   |   |   |   |   |
| ingranamento trasversale fra i paramenti                 |   |   |   |   |   |
| osservazione della qualità delle malte                   |   |   |   |   |   |
| valutazione dei modi fessurativi                         |   |   |   |   |   |
| allontanamento da condizione iniziale                    |   |   |   |   |   |
| disomogeneità costruttive/degrado/<br>dissesto pregresso |   |   |   |   |   |
| prove penetrometriche                                    |   |   |   |   |   |
| prove soniche                                            |   |   |   |   |   |
| analisi chimico fisica malte                             |   |   |   |   |   |
| valutazione complessiva della<br>vulnerabilità muraria   |   |   |   |   |   |

I risultati di seguito esposti costituiscono una prima sintesi in attesa del completamento delle analisi chimico-fisiche e di uno sviluppo delle correlazioni tra i risultati delle diverse prove.

## Descrizione del campione

Il gruppo di manufatti individuato come campo di studio nel territorio di Nocera Umbra presenta caratteristiche e condizioni che hanno indirizzato la scelta dei campioni di muratura da esaminare.

Tra questi:

- presenza di manufatti già restaurati dopo il 1984 e/o dopo il 1997, con sostituzione di malte di allettamento, iniezioni, ecc.;
- presenza di manufatti completamente intonacati o reintonacati, in cui la muratura non è osservabile;
- presenza di situazioni di crollo o di dissesto, che permettono in alcuni casi di osservare la sezione muraria oppure di studiare le modalità di danneggiamento, utilizzabile come sintomo indiretto della costituzione ed efficienza della muratura.

La scelta dei campioni è stata rivolta prevalentemente alle situazioni maggiormente osservabili e con limitati interventi recenti, includendo tuttavia anche murature già restaurate, in cui era osservabile il paramento senza i giunti di malta di allettamento iniziale.

Essa inoltre esemplifica murature rappresentative di diverse tipologie murarie, rispetto a quattro classi di riferimento, così definite:

tipo A: muratura a corsi regolari orizzontali realizzata con elementi in pietra squadrata o semisquadrata;

tipo B: muratura a corsi regolari sub-orizzontali realizzata con elementi in pietra semisbozzata o a lastra;

tipo C: muratura a corsi irregolari con interposizione di alcuni elementi di regolarizzazione orizzontale (corsature ad elementi laterizi o lapidei) realizzata con elementi in pietra semisbozzata o a lastra;

tipo D: muratura priva di corsature realizzata con elementi in pietra sbozzata o a spacco, elementi laterizi, ecc. senza elementi di regolarizzazione orizzontale (si vedano allegati 4, 5 ).

## Allegato 4

| Numero Campione | CODITER   | DENOMINAZIONE E LOCALIZZAZIONE DEL CAMPIONE                              | LOCALITÀ     | Tipo di paramento | Tipo di sezione   | Fugatura dei giunti           | Prova semplice di infissione | Prove penetrometriche | Prove soniche | Prova microscopio | Prelievo Campioni |
|-----------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| 1               | TPGU 0682 | Chiesa di S. Gregorio e Romano/Sacrestia parete ovest                    | Colle        | C                 | Non rilev.        | assente                       | 9-14 mm                      | •                     | •             | • più video       | ○ ●               |
| 2               | TPGU 0682 | Chiesa di S. Gregorio e Romano /lato sx_p. esterna ovest                 | Colle        | B                 | Non rilev.        | presente                      |                              |                       |               |                   |                   |
| 3               | TPGU 0682 | Chiesa di S. Gregorio e Romano /fronte principale                        | Colle        | C                 | Non rilev.        | presente                      |                              |                       |               |                   |                   |
| 4               | TPGU 0682 | Chiesa di S. Gregorio e Romano /Canonica nuova - parete ovest            | Colle        | A                 | Non rilev.        | assente                       |                              |                       | •             | •                 |                   |
| 5               | TPGU 0682 | Chiesa di S. Gregorio e Romano/lato dx-p.esterna est                     | Colle        | C                 | Non rilev.        | presente                      |                              |                       |               |                   |                   |
| 6               | TPGU 0682 | Chiesa di S. Gregorio e Romano /Abside parete est                        | Colle        | A                 | Non rilev.        | a tratti malta cement.        | 6 mm                         | •                     |               |                   | ○ ●               |
| 7               | TPGU 0296 | Ex Chiesa d. Madonna (Biblioteca Piervissani) / parete esterna su strada | Nocera Umbra | C                 | Non rilev.        | assente                       | 5 mm                         | •                     | •             |                   |                   |
| 8               | TPGU 0296 | Ex Chiesa d. Madonna (Biblioteca Piervissani) / parete esterna su strada | Nocera Umbra | C                 | Non rilev.        | assente                       | 9.5 mm                       | •                     | •             |                   | ○                 |
| 9               | TPGU 0309 | Portici di San Filippo parete esterna                                    | Nocera Umbra | B                 | Non rilev.        | a tratti riemp. malta cement. | 2.5 mm                       | •                     | •             |                   | ○ ●               |
| 10              | TPGU 0359 | Chiesa di S. Chiara, Corso Vittorio Emanuele /parete esterna su strada   | Nocera Umbra | A                 | Non rilev.        | a tratti ripass. malta        | 3.5 mm                       | •                     |               |                   | ○                 |
| 11              | TPGU 9176 | Palazzo Dominici, Via Camilli 13 parete esterna sul retro                | Nocera Umbra | B                 | Non rilev.        | assente                       |                              | •                     |               |                   | ○                 |
| 12              | TPGU 2377 | Ex Carcere Via del Sasso 15 Facciata parete esterna                      | Nocera Umbra | C                 | Non rilev.        | presente                      |                              |                       |               |                   |                   |
| 13              | TPGU 0890 | Chiesa di S. Stefano e canonica parete esterna canonica                  | Parrano      | C                 | Non rilev.        | assente                       | 1 mm                         |                       |               |                   | ○ ●               |
| 14              | TPGU 0779 | Chiesa di SS. Giacomo e Paolo parete esterna                             | Isola        | C                 | (rilevabile)      | presente, cocciopesto         | 1 mm                         |                       |               |                   | ○                 |
| 15              | TPGU 2371 | Confraternita del SS. Sacramento parete esterna                          | Boschetto    | D                 | Non rilev.        | assente                       |                              |                       |               |                   |                   |
| 16              | TPGU 0789 | Chiesa di S.Felice e Costanzo Abside parzialmente crollato               | Le Molina    | B                 | (rilevabile) (non | assente                       | 3 mm                         |                       |               |                   | ○ ●               |
| 17              | TPGU 1077 | Torre Medievale parete esterna / lato nord-est                           | Salmaregia   | B                 | rilevabile)       | presente malta cement.        |                              |                       |               |                   |                   |
| 18              | TPGU 2399 | Palazzo Silvi parete interna/sx                                          | Salmaregia   | D                 | Non rilev.        | assente                       | (?) con sale                 | •                     | •             |                   | ○ ●               |
| 19              | TPGU 2399 | Palazzo Silvi parete interna/fronte entrata                              | Salmaregia   | C                 | (rilevabile)      | assente                       | 14 mm                        | •                     | •             |                   |                   |
| 20              | TPGU 2399 | Palazzi Silvi parete interna                                             | Salmaregia   | B                 | Non rilev.        | assente                       | 2-3 mm indur. esterno        | •                     |               |                   | ○ ●               |
| 21              | TPGU 1078 | Chiesa di S.M. Assunta parete esterna nord-est                           | Salmaregia   | C                 | Non rilev.        | presente, cocciopesto         |                              |                       |               |                   |                   |
| 22              | TPGU 0296 | Ex Chiesa d. Madonna (Biblioteca Piervissani)/parete esterna ovest       | Nocera Umbra | C                 | Non rilev.        | assente                       |                              | •                     |               |                   | ○ ●               |

**Tipo di paramento:** A. muratura a corsi regolari orizzontali con elementi in pietra squadrata e semisquadrata; B. muratura a corsi regolari suborizzontali con elementi in pietra semisbozzati o a lastre; C. muratura a corsi irregolari con parziali elementi di regolarizzazione orizzontale; D. muratura incerta con elementi lapidei a spacco, irregolari e non corsi

○ I.a.m.a.

● Università della Basilicata



### Allegato 5

**Tabella generale.** Rilevamento della misura del L.M.T. sul piano esterno del paramento murario finalizzato alla misura dell'ingranamento dei Esso è costituito dal numero e dalla lunghezza dei tracciati non contugui e intersecati riconoscibili tra il bordo superiore e inferiore di un campione di paramento murario 1m x 1 m.

| Numero Campione | CODITER   | DENOMINAZIONE E LOCALIZZAZIONE DEL CAMPIONE                              | LOCALITÀ     | FUGATURA DEI GIUNTI           | Numero L.M.T./mq | Val. medio L.M.T. |
|-----------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------|------------------|-------------------|
| 1               | TPGU 0682 | Chiesa di S. Gregorio e Romano/Sacrestia parete ovest                    | Colle        | assente                       | 3/mq             | 124.69            |
| 2               | TPGU 0682 | Chiesa di S. Gregorio e Romano /lato sx_p. esterna ovest                 | Colle        | presente                      | 3/mq             | 159.79            |
| 3               | TPGU 0682 | Chiesa di S. Gregorio e Romano /fronte principale                        | Colle        | presente                      | 1/mq             | 137.37            |
| 4               | TPGU 0682 | Chiesa di S. Gregorio e Romano /Canonica nuova - parete ovest            | Colle        | assente                       | 3/mq             | 131.72            |
| 5               | TPGU 0682 | Chiesa di S. Gregorio e Romano/lato dx-p.esterna est                     | Colle        | presente                      | 3/mq             | 125.09            |
| 6               | TPGU 0682 | Chiesa di S. Gregorio e Romano /Abside parete est                        | Colle        | a tratti malta cement.        | 2/mq             | 167.67            |
| 7               | TPGU 0296 | Ex Chiesa d. Madonna (Biblioteca Piervissani) / parete esterna su strada | Nocera Umbra | assente                       | 3/mq             | 119.82            |
| 8               | TPGU 0296 | Ex Chiesa d. Madonna (Biblioteca Piervissani) / parete esterna su strada | Nocera Umbra | assente                       | 3/mq             | 140.77            |
| 9               | TPGU 0309 | Portici di San Filippo parete esterna                                    | Nocera Umbra | a tratti riemp. malta cement. | 3/mq             | 135.65            |
| 10              | TPGU 0359 | Chiesa di S. Chiara, Corso Vittorio Emanuele /parete esterna su strada   | Nocera Umbra | a tratti ripass. malta        | 2/mq             | 164.50            |
| 11              | TPGU 9176 | Palazzo Dominici, Via Camilli 13 parete esterna sul retro                | Nocera Umbra | assente                       | 3/mq             | 147.45            |
| 12              | TPGU 2377 | Ex Carcere Via del Sasso 15 Facciata parete esterna                      | Nocera Umbra | presente                      | 3/mq             | 131.86            |
| 13              | TPGU 0890 | Chiesa di S. Stefano e canonica parete esterna canonica                  | Parrano      | assente                       | 2/mq             | 136.66            |
| 14              | TPGU 0779 | Chiesa di SS. Giacomo e Paolo parete esterna                             | Isola        | presente, cocciopesto         | 3/mq             | 111.80            |
| 15              | TPGU 2371 | Confraternita del SS. Sacramento parete esterna                          | Boschetto    | assente                       | 3/mq             | 132.38            |
| 16              | TPGU 0789 | Chiesa di S.Felice e Costanzo Abside parzialmente crollato               | Le Molina    | assente                       | 2/mq             | 183.2             |
| 17              | TPGU 1077 | Torre Medievale parete esterna / lato nord-est                           | Salmaregia   | presente malta cement.        | 2/mq             | 123,4             |
| 18              | TPGU 2399 | Palazzo Silvi parete interna/sx                                          | Salmaregia   | assente                       | 4/mq             | 128,56            |
| 19              | TPGU 2399 | Palazzo Silvi parete interna/fronte entrata                              | Salmaregia   | assente                       | 3/mq             | 134,24            |
| 20              | TPGU 2399 | Palazzi Silvi parete interna                                             | Salmaregia   | assente                       | 2/mq             | 136,78            |
| 21              | TPGU 1078 | Chiesa di S.M. Assunta parete esterna nord-est                           | Salmaregia   | presente, cocciopesto         | 3/mq             | 122,43            |
| 22              | TPGU 0296 | Ex Chiesa d. Madonna (Biblioteca Piervissani)/parete esterna ovest       | Nocera Umbra | assente                       | 3/mq             | 136,66            |



## Prove penetrometriche

di Domenico Liberatore, Giuseppe Spera, Michele Cotugno, Vito Racina - DiSGG, Facoltà di Ingegneria, Università della Basilicata

Le caratteristiche meccaniche della muratura sono fortemente influenzate dalle caratteristiche della malta, specialmente nei casi, molto frequenti nell'edificato storico, in cui la tessitura muraria è costituita da pietre di forma irregolare con un ridotto grado di ingranamento. Le prove *in situ* sulla malta, come il bond wrench test, sono spesso distruttive e costose. Un'alternativa è rappresentata dalla prova penetrometrica, grazie al basso costo, alla minore distruttività e alla possibilità d'impiego su tutti i tipi di muratura. Tuttavia, il penetrometro Windsor, oggi comunemente utilizzato sul calcestruzzo, raggiunge una profondità di circa 10 mm., e quindi è in grado di fornire informazioni solamente sulla malta di ristilatura.

Al fine di aumentare la profondità di penetrazione, è stato recentemente progettato e realizzato presso il DiSGG uno strumento in grado di perforare giunti di malta fino a una profondità di 40-50 mm con una punta di piccolo diametro, adatta a giunti sottili. Queste caratteristiche possono essere realizzate solamente con un penetrometro a colpi multipli, in modo da prevenire l'instabilità e la rottura della punta. Il penetrometro permette di eseguire un gran numero di prove su una singola struttura, è facilmente trasportabile e ha un modo d'uso manuale.

Il meccanismo del penetrometro è realizzato con una molla calibrata, che spinge una massa battente cilindrica, che a sua volta colpisce un tamburo dove è alloggiata la punta. La molla è caricata tramite un manicotto fissato alla massa battente. Quando il manicotto viene tirato indietro, la molla si carica e, al rilascio del manicotto, la massa battente viene spinta in avanti e colpisce il tamburo. La corsa del manicotto è limitata da un anello in acciaio che può essere fissato in quattro posizioni differenti. La molla è in acciaio armonico DIN 17223, Classe C, di diametro 2.49 mm., calibrata in modo da fornire la rigidità 4.2 N/mm. Le prove sono state eseguite con corsa della molla pari a 30 mm, alla quale corrisponde il carico 126 N.

La massa battente è un cilindro con sezione circolare piena di massa 214 g. Il tamburo ha massa 245 g, e consiste di una testa con sezione circolare piena, che viene colpita dalla massa battente, e di uno stelo con un foro per l'inserimento della punta. La punta è in acciaio indurito, ha diametro 3 mm e lunghezza 110 mm. Il diametro è stato scelto considerando la necessità di perforare giunti di malta con spessore almeno pari a 10 mm. L'estremità è tronco-conica con un angolo di 25° e diametro inferiore 0.5 mm.

Il penetrometro, il cui peso complessivo è di circa 40 N, è completato da un treppiede con aste telescopiche, che permette di aggiustare l'altezza di prova da 0.70 a 2.10 m.

La prova consiste nell'infissione della punta, a una profondità almeno pari a 40 mm, attraverso colpi multipli, facendo avanzare a ogni colpo il meccanismo interno del penetrometro al fine di assicurare un'intensità del colpo costante al progredire dell'avanzamento. Il risultato della prova è il numero medio di colpi per millimetro di penetrazione (SPU: Strokes per Penetration Unit).

In una precedente campagna sperimentale, la prova penetrometrica è stata eseguita su 14 strutture in muratura site nella Provincia di Potenza, molto differenti riguardo alla destinazione d'uso, alla dimensione e all'importanza, in muratura di pietrame informe, con l'eccezione di un solo caso in muratura di mattoni.

Ogni struttura è stata sottoposta a 15 perforazioni, con l'eccezione di tre casi in cui sono state eseguite 30 perforazioni.

La singola perforazione ha richiesto un tempo generalmente compreso tra 5 e 10 min. Il valore di SPU è risultato compreso tra 0.538 e 1.274 mm<sup>-1</sup>, e il coefficiente di variazione (c.v.) tra 0.1732 e 0.5139. Metà delle strutture ha presentato un c.v. compreso nell'intervallo 0.2-0.3. È stata eseguita un'analisi di varianza su due pannelli, consistente nel test a una coda dell'ipotesi di uguaglianza delle medie tra giunti diversi all'interno dello stesso pannello. Il test è stato superato sia al livello di significanza 1% che al 5% per entrambi i pannelli, indicando che non sono presenti variazioni sistematiche tra i diversi giunti.



Penetrometro in azione su un paramento murario



## Allegato 6

## Prove penetrometriche - risultati e prime elaborazioni

Nota: in rosso le perforazioni andate anticipatamente a rifiuto

Chiesa di S. Gregorio e Romano - Sagrestia  
Colle di Nocera Umbra - **CAMPIONE 1**

| perforazioni | colpi | infissioni (mm) | SPU  |
|--------------|-------|-----------------|------|
| 1            | 57    | 40,55           | 1,41 |
| 2            | 47    | 41,2            | 1,14 |
| 3            | 40    | 44              | 0,91 |
| 4            | 38    | 42,55           | 0,89 |
| 5            | 32    | 47,1            | 0,68 |
| 6            | 41    | 41              | 1,00 |
| 7            | 40    | 41,75           | 0,96 |
| 8            | 48    | 41,35           | 1,16 |
| 9            | 26    | 41,75           | 0,62 |
| 10           | 38    | 40,4            | 0,94 |

SPU = 0,971026675 - 0,971027  
COEFF. DI VARIAZIONE = 23,58%Biblioteca Piervissani -Nocera Umbra  
Corpo principale a est - **CAMPIONE 7**

| perforazioni | colpi | infissioni (mm) | SPU  |
|--------------|-------|-----------------|------|
| 1            | 24    | 40              | 0,60 |
| 2            | 30    | 46,5            | 0,65 |
| 3            | 55    | 40,45           | 1,36 |
| 4            | 20    | 48,2            | 0,41 |
| 5            | 35    | 41,15           | 0,85 |
| 6            | 35    | 49,9            | 0,70 |
| 7            | 34    | 40,25           | 0,84 |
| 8            | 43    | 42,65           | 1,01 |
| 9            | 76    | 40,1            | 1,90 |
| 10           | 65    | 40,9            | 1,59 |

SPU = 0,990918  
COEFF. DI VARIAZIONE = 48,06%Biblioteca Piervissani -Nocera Umbra  
Corpo principale a ovest - **CAMPIONE 22**

| perforazioni | colpi | infissioni (mm) | SPU  |
|--------------|-------|-----------------|------|
| 1            | 24    | 40,4            | 0,59 |
| 2            | 18    | 40,05           | 0,45 |
| 3            | 15    | 40,4            | 0,37 |
| 4            | 24    | 41,2            | 0,58 |
| 5            | 13    | 40,55           | 0,32 |
| 6            | 20    | 43,65           | 0,46 |
| 7            | 16    | 41,7            | 0,38 |
| 8            | 44    | 40,95           | 1,07 |
| 9            | 43    | 41,05           | 1,05 |
| 10           | 20    | 42,15           | 0,47 |

SPU = 0,575626  
COEFF. DI VARIAZIONE = 46,88%Chiesa di S. Gregorio e Romano - Abside  
Colle di Nocera Umbra - **CAMPIONE 6**

| perforazioni | colpi | infissioni (mm) | SPU  |
|--------------|-------|-----------------|------|
| 1            | 58    | 40              | 1,45 |
| 2            | 22    | 40,4            | 0,54 |
| 3            | 68    | 40,5            | 1,68 |
| 4            | 87    | 40,05           | 2,17 |
| 5            | 70    | 41,35           | 1,69 |
| 6            | 30    | 40,05           | 0,75 |
| 7            | 20    | 40              | 0,50 |
| 8            | 50    | 41,55           | 1,20 |
| 9            | 30    | 41,9            | 0,72 |
| 10           | 44    | 40,45           | 1,09 |

SPU = 1,17949  
COEFF. DI VARIAZIONE = 47,67%Biblioteca Piervissani -Nocera Umbra  
Corpo aggiunto a est - **CAMPIONE 8**

| perforazioni | colpi | infissioni (mm) | SPU  |
|--------------|-------|-----------------|------|
| 1            | 40    | 41,3            | 0,97 |
| 2            | 35    | 41,1            | 0,85 |
| 3            | 54    | 41,55           | 1,30 |
| 4            | 51    | 41,15           | 1,24 |
| 5            | 31    | 41              | 0,76 |
| 6            | 33    | 41,3            | 0,80 |
| 7            | 33    | 45,3            | 0,73 |
| 8            | 32    | 42,25           | 0,76 |
| 9            | 42    | 40,6            | 1,03 |
| 10           | 25    | 41,05           | 0,61 |

SPU = 0,904361  
COEFF. DI VARIAZIONE = 25,14%Palazzo Silvi - Salmaregia  
Muro a sinistra - **CAMPIONE 18**

| perforazioni | colpi | infissioni (mm) | SPU  |
|--------------|-------|-----------------|------|
| 1            | 65    | 40,75           | 1,60 |
| 2            | 75    | 35,35           | 2,12 |
| 3            | 35    | 12,5            | 2,80 |
| 4            | 45    | 29,3            | 1,54 |
| 5            | 19    | 41,15           | 0,46 |
| 6            | 35    | 24,65           | 1,42 |
| 7            | 50    | 41,1            | 1,22 |
| 8            | 41    | 41,6            | 0,99 |
| 9            | 60    | 40,4            | 1,49 |
| 10           | 45    | 26,6            | 1,69 |

SPU = 1,531317  
COEFF. DI VARIAZIONE = 40,98%

## Allegato 6

## Prove penetrometriche - risultati e prime elaborazioni

Nota: in rosso le perforazioni andate anticipatamente a rifiuto

Palazzo Silvi - Salmaregia  
Muro crollato visibile in sezione - CAMPIONE 19

| perforazioni | colpi | infissioni (mm) | SPU  |
|--------------|-------|-----------------|------|
| 1            | 26    | 33,6            | 0,77 |
| 2            | 30    | 13,9            | 2,16 |
| 3            | 35    | 14,2            | 2,46 |
| 4            | 45    | 43,6            | 1,03 |
| 5            | 20    | 6,35            | 3,15 |
| 6            | 70    | 40,55           | 1,73 |
| 7            | 20    | 40,5            | 0,49 |
| 8            | 25    | 9,5             | 2,63 |
| 9            | 30    | 42,4            | 0,71 |
| 10           | 35    | 40,9            | 0,86 |

SPU = 1,599355

COEFF. DI VARIAZIONE = 59,39%

Palazzo Dominici - Nocera Umbra  
CAMPIONE 11

| perforazioni | colpi | infissioni (mm) | SPU  |
|--------------|-------|-----------------|------|
| 1            | 5     | 2,6             | 1,92 |
| 2            | 2     | 0,9             | 2,22 |
| 3            | 3     | 1,6             | 1,88 |
| 4            | 2     | 1,75            | 1,14 |
| 5            | 18    | 40,6            | 0,44 |
| 6            | 6     | 9,65            | 0,62 |
| 7            | 35    | 40,35           | 0,87 |
| 8            | 5     | 2,35            | 2,13 |
| 9            | 1     | 0,95            | 1,05 |
| 10           | 7     | 4,9             | 1,43 |

SPU = 1,370454

COEFF. DI VARIAZIONE = 46,71%

Portici di San Filippo - Nocera Umbra  
CAMPIONE 9

| perforazioni | colpi | infissioni (mm) | SPU  |
|--------------|-------|-----------------|------|
| 1            | 5     | 2,4             | 2,08 |
| 2            | 1     | 0,5             | 2,00 |
| 3            | 2     | 10,2            | 0,20 |
| 4            | 7     | 4,9             | 1,43 |
| 5            | 2     | 1,9             | 1,05 |
| 6            | 10    | 26,4            | 0,38 |
| 7            | 4     | 5,7             | 0,70 |
| 8            | 1     | 1,5             | 0,67 |
| 9            | 4     | 3,03            | 1,32 |
| 10           | 1     | 2,2             | 0,45 |

SPU = 1,02825

COEFF. DI VARIAZIONE = 64,71%

Chiesa di Santa Chiara - Salmaregia  
CAMPIONE 10

| perforazioni | colpi | infissioni (mm) | SPU  |
|--------------|-------|-----------------|------|
| 1            | 43    | 40,5            | 1,06 |
| 2            | 40    | 35,7            | 1,12 |
| 3            | 25    | 29,65           | 0,84 |
| 4            | 7     | 40,7            | 0,17 |
| 5            | 13    | 12,85           | 1,01 |
| 6            | 12    | 10,55           | 1,14 |
| 7            | 9     | 9,35            | 0,96 |
| 8            | 8     | 8,4             | 0,95 |
| 9            | 20    | 17,4            | 1,15 |
| 10           | 11    | 12              | 0,92 |

SPU = 0,932749

COEFF. DI VARIAZIONE = 30,64%

È stata eseguita anche un'analisi campionaria finalizzata a validare il numero di 15 perforazioni, eseguite su un singolo pannello, ai fini della stabilità dei risultati. I campioni di 15 perforazioni forniscono risultati molto stabili, con almeno il 90% delle medie campionarie comprese nell'intervallo [media della popolazione - 10%, media della popolazione + 10%].

L'analisi campionaria è stata ripetuta considerando un numero di perforazioni pari a 10, fornendo ancora risultati stabili, con almeno l'80% delle medie campionarie comprese nello stesso intervallo. Anche questo risultato si può considerare soddisfacente, considerando l'ampiezza dell'intervallo di SPU ricavato per le differenti strutture sottoposte a prova. Tali prove vanno integrate con le curve granulometriche e con le prove a taglio dei campioni prelevati (si veda allegato 6).

## Prove soniche

Le cosiddette prove soniche sono basate sull'osservazione dei fenomeni legati alla propagazione di onde elastiche in mezzi continui più o meno omogenei. Una sorgente (generalmente un martello strumentato) genera un impulso che attraversa il mezzo indagato (in questo caso un pannello di muratura) fino a uno strumento ricevitore (un accelerometro) che permette di registrare il segnale.

Nelle elaborazioni successive, il parametro caratteristico più frequentemente utilizzato è la velocità di trasmissione del segnale, ottenuta misurando il tempo di attraversamento dello spessore del muro nelle prove per trasparenza; la maggio-





Martello strumentato (al lato) e strumentazione per l'acquisizione (in basso)



re o minore velocità di attraversamento è direttamente legata alla maggiore o minore compattezza della muratura (in termini meccanici al suo modulo elastico) e inversamente legata alla presenza di vuoti o discontinuità; la mappa delle velocità misurate su un pannello murario consente di visualizzare in modo intuitivo il grado di disomogeneità del pannello ed evidenziarne il grado di compattezza, soprattutto per le caratteristiche legate alla consistenza degli strati interni. Bisogna osservare che è possibile eseguire queste prove anche in presenza di intonaco, purché ben aderente al supporto, anche se normalmente si cerca di utilizzare pannelli non intonacati.

## Descrizione dei risultati

Sono state eseguite prove su 7 pannelli, su un reticolo di 6x6 punti a passo 20 cm., in modo da coprire un'area di 1x1 m<sup>2</sup>. Un oscilloscopio digitale consentiva di osservare e registrare direttamente i segnali emessi e ricevuti su un computer portatile; la necessità di disporre di alimentazione elettrica ha forzatamente limitato l'estensione del campionamento.

## Sintesi dei risultati

Nella tabella sotto riportata si indicano soltanto i valori sintetici ottenuti nelle diverse prove, vale a dire: il valore medio della velocità sonica sui 36 punti misurati insieme alla varianza e al coefficiente di variazione che indicano la dispersione dei risultati attorno al valore medio. Si ritiene che questi parametri possano essere sufficienti per una stima speditiva della qualità delle murature.

| PROVA          | VALORE MEDIO [M/SEC] | VARIANZA | COEFF. VARIAZIONE |
|----------------|----------------------|----------|-------------------|
| NOCERA-BIB. 1  | 1133.823             | 547.8048 | 0.483149          |
| NOCERA-BIB. 2  | 1031.698             | 237.1513 | 0.229865          |
| NOCERA-PORTICI | 1250.437             | 182.8928 | 0.146263          |
| SALMAREGIA 1   | 813.5133             | 302.8115 | 0.372227          |
| SALMAREGIA 2   | 788.6765             | 303.8311 | 0.385242          |
| COLLE-SACR.    | 377.9248             | 81.24264 | 0.21497           |
| COLLE-CAN.     | 582.3777             | 153.1002 | 0.262888          |

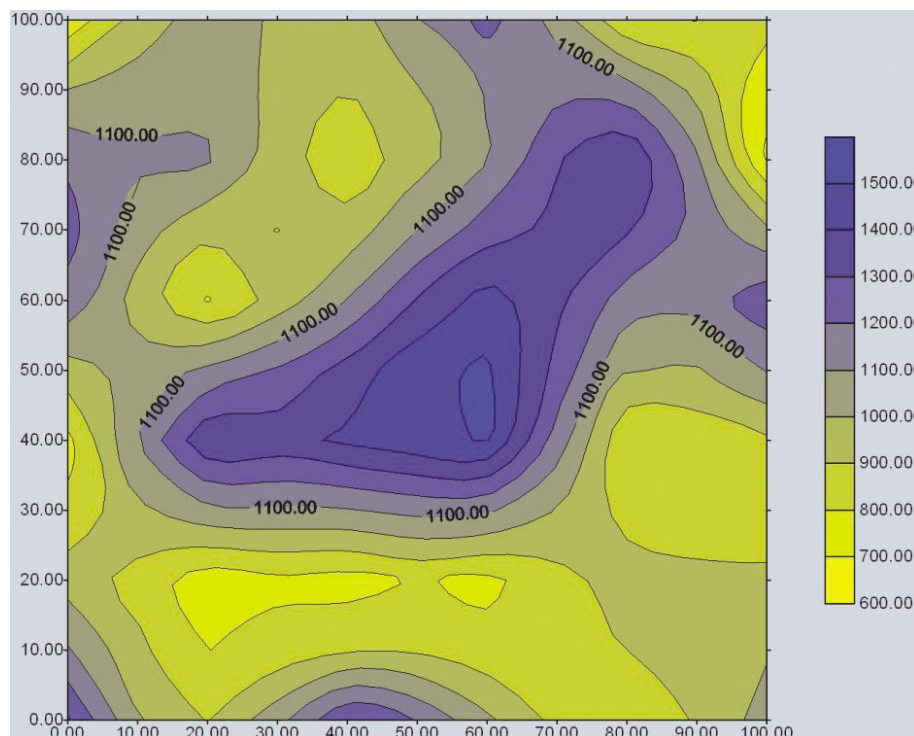
una prima stima potrebbe essere fatta con il criterio:

|                     |   |
|---------------------|---|
| 1100 < vel.m        | 5 |
| 900 < vel. m < 1100 | 4 |
| 700 < vel m < 900   | 3 |
| 500 < vel.m. < 700  | 2 |
| vel.m. < 500        | 1 |

da moltiplicare per un fattore di penalizzazione (<1) se il c.v. è elevato, per esempio:

|                            |
|----------------------------|
| 0.6 per c.v. > 0.50        |
| 0.7 per 0.50 > c.v. > 0.38 |
| 0.8 per 0.38 > c.v. > 0.26 |
| 0.9 per 0.26 > c.v. > 0.14 |
| 1.0 per c.v. < 0.14.       |





Esempio di mappa delle velocità soniche rilevate sul pannello 2 della Biblioteca Piervissani di Nocera Umbra.

## Malte e territorio

di Stefano Cancelliere - Laboratorio di Analisi dei Materiali Antichi - DSA-IUAV, Università degli Studi di Venezia

La preparazione e l'utilizzo di una malta ha sicuramente una forte attinenza con il territorio in cui nasce il manufatto. In tutte le epoche la costruzione di una casa di un monumento ha come utilizzo di base i materiali presenti nelle immediate vicinanze, e questo influenza fortemente la tipologia costruttiva. L'elemento comune a tutte le costruzioni è la malta, ma anche questa risente della qualità dei materiali disponibili per la sua corretta composizione; dipende quindi dalla geologia del territorio.

Le malte dei campioni murari di Nocera Umbra mostrano all'atto del prelievo di campionamento una forte decoesione e si mostrano polverulente; altra considerazione immediata, dopo un attento esame delle pareti in studio, è la presenza di un inerte grossolano, conglomeratico con clasti a spigoli vivi e di dimensioni superiori al cm. Da una lettura più attenta si nota che detti clasti sono elementi tipici delle rocce che compongono le murature.

Ad una ricognizione sui terreni circostanti si nota, ad un primo esame, che la composizione degli strati superficiali è formata da un limo pedogenizzato con una elevata frazione di clasti simili a quelli notati nelle malte.

La geologia del territorio circostante ci ricorda che siamo all'interno delle due falde di ricoprimento che formano la dorsale appenninica, e da un primo esame l'orogenesi di quest'area ha obliterato, se mai presenti, le zone alluvionali antiche per cui nell'area *non sono rilevabili depositi sabbiosi*. Infatti le malte, ad una prima osservazione, non presentano inerti a tipologia sabbiosa. Quando nella malta manca l'impalcatura rappresentata dai clasti sabbiosi fini, viene a mancare uno degli elementi fondamentali della struttura che conferisce ad una malta aerea l'effetto di *presa*, e tale condizione sembra rappresentare una condizione endemica dell'area di Nocera Umbra.

## Metodologie di studio

I campioni litoidi sono stati studiati con metodologie d'indagine minero-petrografiche e chimiche che hanno compreso le seguenti tecniche:

- Stereomicroscopia: per lo studio preliminare dei campioni, utile alla scelta delle orientazioni e modo d'inglobamento/preparazione dei campioni;
- Microscopia ottica in luce polarizzata sia trasmessa (su sezioni sottili) che riflessa (su sezioni lucide);
- Diffrazione dei raggi X (radiazione Cu K/Ni a 40 Kv e 20 mA) su polveri sia dei campioni tali e quali che, per alcuni, sul campione orientato finalizzato alla ricerca d'eventuali minerali argillosi presenti nei materiali litoidi;
- Analisi qualitativa e quantitativa degli anioni solubili mediante cromatografia ionica;
- Porosimetria mediante tecnica con mercurio finalizzata a distinguere le macroporosità dalle mesoporosità delle malte;
- Granulometria mediante setacciatura;



La preparazione delle sezioni sottili e lucide è stata eseguita previo inglobamento in resina poliestere per evitare disgregazioni e distacchi, specie nei materiali deteriorati. Nella levigatura sono stati utilizzati fluidi speciali per evitare la dissoluzione del gesso e di altri eventuali sali solubili in acqua presenti nei campioni.

Gli esami microscopici in luce polarizzata sono stati documentati con micrografie a vari ingrandimenti (vedi foto allegate), mentre quelli diffrattometrici e porosimetrici sono stati registrati su carta sotto forma di grafici.

Sia per i primi che per i secondi, nello studio dei materiali litoidi sono state seguite le raccomandazioni Normal 10/82, Normal 8/81, Normal 12/83, Normal 15/84.

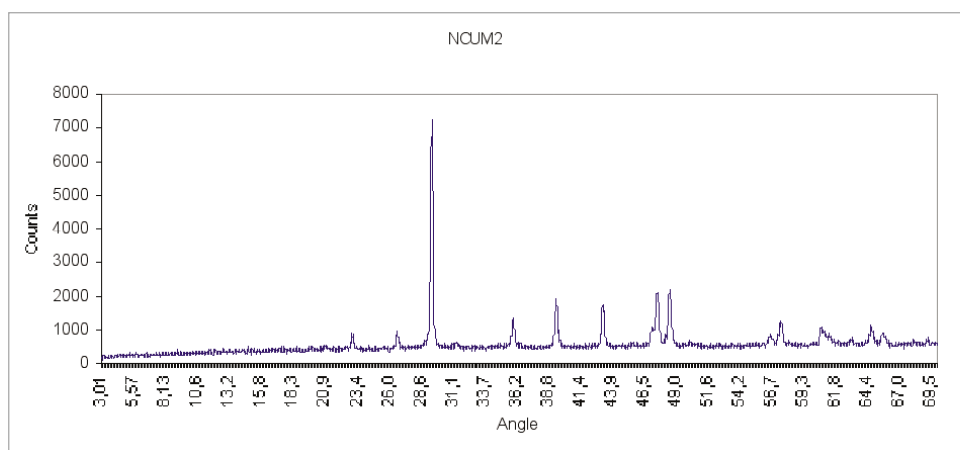
È da tener presente che quanto riportato nelle descrizioni microscopiche può non essere evidente nella documentazione fotografica allegata, che si riferisce solamente a una parte del campione/preparato.

Campione n. 2: località Colle di Nocera Umbra, dalla parete ovest della sagrestia della chiesa di S. Gregorio

Parte del campione è stato osservato allo stereomicroscopio, esso mostra una fase a particelle granulose di calcite proveniente dalla carbonatazione della calce spenta usata nell'impasto originario, questi hanno comportamento completamente indipendente dai clasti presenti. La granulometria dei clasti risulta di tipo conglomeratico con clasti di dimensione massima di 15 mm., mentre la dimensione media è intorno a 10 mm., i clasti si presentano completamente sciolti privi di cementazione

L'analisi diffrattometrica sulla polvere del campione privo dei clasti grossolani rivela una composizione calcitica e una presenza (rara) di quarzo (vedi diffrattogramma allegato). Con uno studio più accurato del campione in sezione sottile sarà possibile stabilire la struttura e la tessitura della calce e la percentuale di carbonatazione, mentre con l'analisi granulometrica sarà possibile stabilire il rapporto inerte legante e i percentili dell'inerte.

## Diffrattogramma



Il picco corrispondente a 27 segnala una limitata presenza di quarzo. Gli altri picchi corrispondono alle componenti calcaree, largamente prevalenti.

## Prime valutazioni e commenti

Come già ricordato, alla conclusione dello studio mancano ancora il completamento di alcune prove di laboratorio, la ricerca sistematica di correlazioni e la valutazione del significato di concordanze o discordanze tra i risultati delle diverse prove. Si possono tuttavia compiere alcune valutazioni.

Il particolare endemismo osservato nell'area di Nocera (la scarsità o l'assenza di sabbie con frazioni fini, la prevalenza di inerti di grossa granulometria) hanno sicuramente influenzato in modo negativo le caratteristiche delle malte di allettamento. A questo va aggiunto che la presenza diffusa di clasti ha influenzato le prove penetrometriche, in quanto sovente la punta incontrava clasti nel suo percorso interno, rallentando o interrompendo l'infissione, e contribuendo alla elevata varianza tra i risultati delle diverse prove sullo stesso campione.

La scarsa qualità della malta di allettamento sembra avere la prevalenza nel determinare il comportamento di murature anche ad alto livello di ingranamento: vedi il caso della muratura appartenente all'abside della chiesa di Le Molina, in cui si riscontra il più alto valore di ingranamento (oltre 180), ma che tuttavia è crollata a seguito del terremoto e presenta diffuse fessurazioni anche nelle parti superstiti. Al contrario, elevate caratteristiche della malta sembrano prevalere sulla presenza di un ingranamento più limitato nell'aumentare le caratteristiche della muratura: vedi il caso dei Portici di S. Filippo (antiche mura medievali).



L'osservazione in superficie delle malte di allettamento può produrre dati ingannevoli rispetto alla effettiva consistenza interna. Si segnalano in particolare i campioni relativi alla Biblioteca Piervissani e a Palazzo Silvi (parete antica) in cui l'osservazione visiva e prove empiriche (infissione di chiodi, prelievo di campioni) segnalavano una superficie esterna molto dura, con creste di malta quasi vetrose, mentre l'interno, superato uno strato di alcuni mm. forse meglio carbonatato o ricementato, appariva assai meno consistente. Dall'altro lato, è verificabile il caso, non riscontrato nei campioni osservati a Nocera Umbra, di inconsistenza di superficie dovuta a degrado, cui si accompagna una maggiore resistenza della malta interna.

Le prove soniche (valore assoluto e varianza tra le prove) sembrano costituire il mezzo più efficace per ottenere informazioni nel caso di murature intonacate su entrambe i lati, una volta accertata l'adesione dell'intonaco sulle superfici testate.

## **Nota:**

*Hanno collaborato allo studio:*

*per lo IUAV-DSA: Michele Bondanelli, Monica D'Angelantonio, Zuleika Esposto, Francesco Trovò;*

*per il DISGG - Facoltà di Ingegneria - Università degli Studi della Basilicata: prof. Domenico Liberatore, Ingg. Giuseppe Spera, Michele Cotugno, Vito Racina (prove penetrometriche);*

*per il LAMA-DSA: Stefano Cancelliere (analisi chimico-fisiche);*

*per il DIS - Laboratorio Prove materiali- Politecnico di Milano: Marco Cucchi (prove soniche)*