



NGT-TEST
Laboratorio sperimentale
Controlli non distruttivi

NGT-TEST S.R.L.
VIA FIUME BUSENTO N.157 88100 CATANZARO (CZ)
TEL.: 0961 764755 P.IVA 03257490791
e-mail:ngt.testcz@gmail.com pec:ngttest@pec.it www.ngt-test.it
LABORATORIO DI PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE
AUTORIZZATO DAL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
C.S.LL.PP. – STC D.M. n. 27 DEL 28/02/2020 Art.59 D.P.R. n.380/2001



Al fine di contribuire a diffondere la conoscenza delle prove ed indagini in ambito delle strutture civili, il Laboratorio NGT-TEST ha iniziato questa attività di divulgazione relativa alle prove di laboratorio e prove su strutture esistenti, contestualizzate nel vigente quadro normativo. Il documento si rivolge ai colleghi ingegneri, architetti, geometri e tecnici che entrano nel merito delle prove in fase di qualificazione/accettazione dei materiali e delle campagne di indagini su strutture esistenti.

ABACO DELLE PRINCIPALI INDAGINI IN SITO SULLE MURATURE (SECONDA PARTE)





PROVE E METODI PER LA DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI MECCANICI NELLE MURATURE

❖ Premessa

Questo approfondimento è una continuazione dell'argomento trattato nell'**Informazione Tecnica 05**.

Di seguito verranno esposte altre indagini in sito che possono essere eseguite sulla muratura.

Le murature meriterebbero una maggiore attenzione e approfondimento, sia perché la maggior parte del nostro patrimonio edilizio è stato costruito in muratura sia perché le murature sono estremamente vulnerabili come si è evidenziato nei recenti eventi sismici.

La muratura in una costruzione esistente è il risultato dell'assemblaggio di materiali diversi, in cui la tecnica costruttiva, le modalità di posa in opera, le caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti e il loro stato di conservazione, determinano il comportamento meccanico dell'insieme.

Nel Cap. 8 - COSTRUZIONI ESISTENTI delle Norme tecniche per le costruzioni e ss.mm.ii. (NTC 2018 e Circolare esplicativa 2019) sono riportati i riferimenti principali ai metodi di prova per la determinazione dei parametri meccanici delle murature.

Per determinare il comportamento meccanico di una muratura, si ricorre a misure dirette delle caratteristiche meccaniche mediante l'esecuzione di prove in situ su porzioni di muratura, o di prove in laboratorio su elementi indisturbati prelevati in situ. Ulteriori informazioni si possono desumere da metodi di prova non distruttivi.

Nella Tabella C.8.5.I delle NTC 2018 sono riportati i valori di riferimento dei parametri meccanici delle tipologie di muratura più ricorrenti:

- **resistenza media a compressione, f ;**
- **resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (rif. formula CAP. C8.7.1.3) τ_0 ;**
- **resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (rif. formula CAP. C8.7.1.3) f_{v0} ;**
- **valore medio del modulo di elasticità normale, E ;**
- **valore medio del modulo di elasticità tangenziale, G .**
- **peso specifico medio, w .**

Di seguito si riportano alcune delle principali prove in sito utili alla stima delle proprietà meccaniche delle murature.



❖ PROVE DIAGONALI

La prova consente di determinare la resistenza a taglio e il modulo di elasticità tangenziale G della muratura.

La prova viene eseguita isolando una porzione di muratura avente dimensioni circa 120x120 cm.

Per trasmettere un'azione diagonale al pannello, si applicano elementi metallici ai vertici opposti della diagonale libera. Nello spigolo superiore è posizionato uno o più martinetti idraulici tra due profili metallici, uno più interno appoggiato allo spigolo del pannello, ed uno più esterno collegato tramite barre in acciaio all'elemento metallico di contrasto collocato nello spigolo opposto del pannello stesso. Le deformazioni sotto carico nel piano del pannello murario vengono misurate a mezzo di due coppie di trasduttori, una per faccia, disposti lungo le diagonali.

Tale prova è richiamata dalle NTC 2018 e codificata secondo le raccomandazioni previste dalle norme ASTM E 519-02 e RILEM TC-76-LUM.

E' una prova difficile da eseguire, in quanto in fase di taglio la muratura tende a sgretolarsi, si può fare solo quando può essere eseguito il taglio.

Durante la prova si ha compressione da un lato e trazione dall'altro. La rottura avviene per trazione.

❖ INDICE DI QUALITÀ MURARIA (IQM) E CORRELAZIONE CON LE CARATTERISTICHE MECCANICHE

Il metodo IQM si pone l'obiettivo di stimare le caratteristiche di resistenza e deformabilità di una determinata tipologia muraria e valutare la maggiore o minore predisposizione di una muratura a disgregarsi in caso di sisma.

La determinazione dell'INDICE DI QUALITÀ MURARIA (IQM) è uno dei metodi previsti dalla Circolare del 2019 per caratterizzare le murature. Infatti la Circolare del 2019, rispetto alla NTC 2008, ha apportato modifiche alle modalità di determinazione dei parametri meccanici per le murature esistenti. In particolare sono state modificate le tabelle C8.5.I e C8.5.II.

Per ciò che riguarda la procedura per il calcolo dell'IQM, al paragrafo C8.5.3.1, la norma specifica quanto segue: "A seguito delle indagini, è necessario valutare, per ogni prova, il grado di rappresentatività sia della classe tipologica attribuita al materiale, sia dei valori medi delle caratteristiche meccaniche dell'edificio da utilizzare nelle modellazioni. A questo scopo possono



essere utili metodi che, avvalendosi della lettura visiva dei paramenti e della sezione, consentano di ottenere delle stime di tali caratteristiche attraverso indicatori di qualità muraria, purché elaborati con procedure di comprovata affidabilità”.

Una tipologia muraria può essere esaminata da punti di vista diversi tra loro.

L’Indice di Qualità Muraria si sintetizza in un valore numerico compreso tra 0 e 10 che valuta la qualità del comportamento meccanico di una determinata tipologia muraria.

Date le sostanziali differenze tra azioni verticali e azioni orizzontali che possono impegnare un pannello murario, o nel proprio piano, oppure ortogonalmente ad esso, l’indice IQM viene valutato in modo diverso a seconda della direzione dell’azione sollecitante.

Si hanno quindi, per una stessa tipologia muraria, tre distinti indici: **IQM_v per azioni verticali, IQM_{FP} per azioni orizzontali fuori piano ed IQM_{NP} per azioni orizzontali nel piano.**

Tali indici, dipendono essenzialmente dal rispetto o meno dei requisiti caratteristici della corretta ed efficace messa in opera della muratura: i cosiddetti parametri della regola dell’arte muraria:

qualità della malta, ingranamento trasversale, forma degli elementi resistenti, dimensioni elementi, sfalsamento fra i giunti verticali/ingranamento nel piano della parete, presenza di filari orizzontali, buona qualità degli elementi resistenti.

Tramite l’osservazione diretta della muratura si valuterà il grado di rispetto di ogni parametro della regola dell’arte sulla base di alcune regole che saranno definite di seguito. Il risultato finale è costituito da tre indici IQM per la tipologia muraria esaminata, distinti in base alla direzione dell’azione sollecitante. Per ciascuna azione, dati i valori di IQM, verrà poi individuata una categoria di appartenenza della muratura – **A, B o C** – con l’obiettivo di qualificare la muratura in esame dal punto di vista del suo comportamento strutturale atteso.

Ad una muratura di categoria **A corrisponde un buon comportamento strutturale;**

ad una muratura di categoria **B corrisponde un comportamento di media qualità;**

una muratura di categoria **C manifesta un comportamento insoddisfacente di fronte a quelle eventuali sollecitazioni.** Tra le possibili correlazioni, indice di qualità muraria e parametro meccanico, sono state esaminate le seguenti:

- correlazione di IQMV con f_m (resistenza caratteristica a compressione);
- correlazione di IQMNP con τ_0 (resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali, f_{vk0});
- correlazione di IQMV con E (modulo di elasticità normale secante);
- correlazione di IQMNP con G (modulo di elasticità tangenziale secante);



❖ PROVA SONICA

La prova consente di ottenere delle informazioni qualitative sull'omogeneità dei paramenti murari. E' utile per diagnosticare la presenza di vuoti, discontinuità, lesioni, alterazioni diffuse.

Le prove soniche sfruttano lo stesso principio di funzionamento e le stesse modalità di esecuzione delle prove ultrasoniche sul c.a.. La sonda ricevente è a bassa frequenza in quanto consente di ottenere lunghezze d'onda maggiori e quindi permette di poter indagare elementi più spessi (pietre) e più profonde, il loro utilizzo risulta più efficace per materiali disomogenei, come le murature di edifici storici. L'impulso (onda) è generato da un martello strumentato che è collegato alla centralina e misura il tempo di volo e la velocità di attraversamento.

La superficie muraria su cui viene eseguita la prova sonica deve essere prima spicconata e pulita.

Poi viene disegnato un reticolo su entrambe le facce con i punti corrispondenti.

Attraverso il posizionamento della sonda ricevente da un lato e la battitura del martello dall'altro lato, utilizzando software specifici, si ottengono risultati utilizzabili per caratterizzare la muratura.

Le misure soniche possono essere eseguite secondo diverse procedure:

- diretta o per trasparenza: la scelta dei punti di emissione e di ricezione dei segnali acustici sono sui due lati opposti della parete muraria, alla stessa altezza dal suolo e in modo che la congiungente sia perpendicolare alle superfici;
- semidiretta: i due punti sono sui due lati opposti della parete muraria, ma non in corrispondenza simmetrica;
- di superficie: nel caso di disponibilità di una sola superficie si possono eseguire misure con punti di emissione e ricezione posti sullo stesso lato, lungo una linea retta (verticale o orizzontale);
- radiale: i trasduttori possono essere applicati su facce adiacenti del mezzo indagato.

La velocità di propagazione diminuisce in presenza di vuoti o alterazioni.

La velocità rivela le seguenti caratteristiche della muratura attraversata:

- **$V < 1000$ m/sec** : murature fortemente danneggiate con presenza di grossi vuoti interni;
 - **$1000 < V < 2000$ m/sec**: caratteristica per murature in mattoni;
- valori di V inferiori a 1500 m/sec indicano che anche in queste murature così costituite può esserci la presenza di vuoti e difetti, irregolarità nei corsi o nelle giunzioni;
- **$V > 2000$ m/sec**: individua murature di elevata resistenza a compressione (5-15 MPa).

La velocità sonica è influenzata da:



- frequenza di input;
- numero di giunti attraversati (la velocità tende a diminuire con l'aumento del numero di giunti);
- presenza di fessure;
- caratteristiche del materiale superficiale; ad es. la presenza di intonaci o lesioni superficiali filtra le componenti ad alta frequenza del segnale.

Le soniche si utilizzano anche per valutare l'efficacia di interventi di consolidamento attraverso il confronto delle velocità di propagazione ante e post interventi (iniezioni di malte o resine).

❖ GEORADAR

L'utilizzo dello strumento consente di ricercare elementi strutturali nascosti in murature portanti e orizzontamenti (eventuali strutture di rinforzo interne alle murature); individuare tessiture murarie nascoste da intonaci e affreschi; controllare l'efficacia di iniezioni; individuare difetti, fessure e vuoti o inclusioni di materiali diversi; individuare la morfologia delle sezioni di murature a più paramenti; rilievo della presenza di umidità nelle murature.

Lo strumento si basa sulla propagazione di onde elettromagnetiche (EM) e sulla loro riflessione in corrispondenza delle superfici che delimitano mezzi con proprietà dielettriche diverse.

Una coppia di antenne (con frequenza nominale tipicamente nell'intervallo 100-2000 MHz) invia brevi impulsi EM verso la superficie e registra gli echi di ritorno. Successivamente viene stimata la velocità di propagazione. Per cui è possibile arrivare attraverso l'impiego di software dedicati ad un rilievo 3D della zona indagata.

Nel caso della muratura, gli impulsi possono essere riflessi dalla superficie della parete, dai vuoti, dalle discontinuità, dai distacchi, ecc.

Il limite principale del georadar è l'elevato assorbimento dell'energia EM da parte dell'umidità, che riduce considerevolmente la profondità di penetrazione.

Il Georadar rileva anomalie anche in murature di consistente spessore e coglie la presenza di umidità.

E' utilizzabile nella diagnostica di pareti affrescate o rivestite in quanto non richiede il contatto diretto.



❖ SAGGIO MURARIO

Si tratta di indagini visive per caratterizzare la tessitura e le connessioni murarie.

Si tratta di un esame visivo della superficie muraria, condotto dopo la rimozione di una parte di intonaco. È da eseguirsi, preferibilmente, in corrispondenza delle connessioni tra strutture murarie principali, al fine di verificare tecnologie costruttive tessiture e tipologie di materiali, dettagli costruttivi, informazioni qualitative sullo stato di conservazione e sulla presenza di difetti costruttivi, e rilevare la dimensione dei mattoni, delle pietre, dei corsi di malta. Sono fondamentali se si vuole limitare al massimo gli interventi distruttivi o semidistruttivi o raggiungere i livelli di conoscenza minimi richiesti.

❖ TERMOGRAFIA INFRAROSSO

La termografia consente di individuare la tessitura muraria, le caratteristiche degli elementi costituenti (dimensioni e forma), verificare la presenza di elementi strutturali nascosti, individuare eventuali tamponamenti nascosti o elementi che possono interrompere la continuità strutturale.

La termocamera consente di visualizzare e misurare la radiazione termica emessa dagli elementi costituenti la muratura, producendo un'immagine con tonalità di colore differente (termogramma), in base alle temperature radianti apparenti rilevate superficialmente. L'immagine infatti restituisce, a differenza del radar, solamente immagini superficiali.

Nell'indagine e diagnosi degli edifici in muratura, questa tecnica rappresenta generalmente uno strumento economico, efficiente e non distruttivo per l'individuazione qualitativa di vuoti e difetti superficiali, per la mappatura dell'umidità e per la valutazione di trattamenti conservativi, nella diagnostica di pareti affrescate o rivestite.

❖ LASER SCANNER

E' utilizzato principalmente per rilievi architettonici.

Sotto l'aspetto ingegneristico è interessante perchè ha grandi capacità di rilevamento fino all'ordine di 1 mm.

Si possono individuare meccanismi di deformazione locali piccolissime. Quando si cercano le patologie bisogna capire le deformazioni. Si puo' valutare, ad esempio, la presenza di uno spanciamiento, consentendo di intervenire localmente.



NGT-TEST
Laboratorio sperimentale
Controlli non distruttivi

NGT-TEST S.R.L.
VIA FIUME BUSENTO N.157 88100 CATANZARO (CZ)
TEL: 0961 764755 P.IVA 03257490791
e-mail:ngt.testcz@gmail.com pec:ngttest@pec.it www.ngt-test.it
LABORATORIO DI PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE
AUTORIZZATO DAL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
C.S.LL.PP. – STC D.M. n. 27 DEL 28/02/2020 Art.59 D.P.R. n.380/2001



Confrontando la geometria originaria con quella attuale, facendo una serie di sezioni su due assi x-y si possono misurare le deformazioni e si può studiare la progressione, amplificando le deformazioni e studiarne l'evoluzione.

A CURA DEL LABORATORIO NGT-TEST

LE ALTRE INFORMATIVE POSSONO ESSERE SCARICATE DAL SITO WEB
www.ngt-test.it NELLA SEZIONE “*CONTENUTI*”

Si specifica che:

-considerata la complessità degli argomenti si consiglia sempre di verificare il contenuto esposto, il laboratorio NGT-TEST srl declina ogni responsabilità.



NGT-TEST S.R.L.
VIA FIUME BUSENTO N.157 88100 CATANZARO (CZ)
GESTIONE QUALITA' CERTIFICATA ISO 9001
TECNICI CERTIFICATI CND UNI PDR 56:2019 E UNI 9712:2012