



Consorzio POROTON® Italia

Via Gobetti 9 - 37138 VERONA

Tel 045.572697 Fax 045.572430

www.poroton.it - info@poroton.it

News - Statica

01 ottobre 2010

Valutazione della resistenza meccanica delle murature portanti in laterizio con riferimento al D.M. 14/01/2008

Lorenzo Bari

Una delle domande più ricorrenti sulle murature portanti è la seguente: qual è la resistenza meccanica della muratura? Nella Newsletter POROTON® n. 66 (Maggio 2010) abbiamo trattato l'aspetto relativo alle caratteristiche dei materiali da impiegare, così come previsto nel D.M. 14/01/2008.

Si illustra ora come si possono determinare i parametri meccanici che caratterizzano una muratura portante, con riferimento alle normative vigenti. Un sintetico vademecum per la valutazione delle caratteristiche meccaniche delle murature di nuova costruzione.

Resistenza della muratura

Una volta note le caratteristiche tipologiche e di resistenza dei materiali (malta ed elementi in laterizio) [cfr. Newsletter POROTON® n. 66 – Maggio 2010], la determinazione della resistenza della muratura può avvenire in due modi:

- per via tabellare;
- per via sperimentale.

I parametri della muratura utili ai fini dello svolgimento delle verifiche previste dal D.M. 14/01/2008 sono, in relazione alle diverse metodologie di calcolo previste, la resistenza caratteristica a compressione (indicata con il simbolo f_k) e la resistenza caratteristica a taglio (indicata con il simbolo f_{vk}), ma anche la resistenza media a compressione (indicata con il simbolo f_m) e la resistenza media a taglio (indicata con il simbolo f_{vm}); questi ultimi valori medi sono da considerare nel caso di analisi statica non lineare.

Determinazione tabellare della resistenza

Il D.M. 14/01/2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" (di seguito definite NTC) fornisce, nel § 11.10.3.1.2, una tabella che consente di determinare la resistenza caratteristica a compressione f_k della muratura a partire dalle caratteristiche dei materiali (malta e blocchi in laterizio) e, nel § 11.10.3.2.2, una analoga tabella inerente la resistenza caratteristica a taglio della muratura in assenza di carichi verticali f_{vk0} .

N.B. - La determinazione tabellare delle caratteristiche meccaniche della muratura (sia a compressione che a taglio) è consentita esclusivamente per le murature costituite da blocchi pieni o semipieni aventi giunti orizzontali e verticali riempiti di malta, di spessore compreso tra 5 mm e 15 mm.

Si riporta di seguito una tabella [tab. 1], equivalente alla "Tabella 11.10.V" delle NTC, ma opportunamente estesa per interpolazione ad un maggior numero di valori di resistenza caratteristica del blocco, utilizzabile esclusivamente per determinare la resistenza caratteristica a compressione di una muratura costituita da blocchi pieni o semipieni e giunti orizzontali e verticali riempiti di malta, di spessore compreso tra 5 mm e 15 mm.

La tabella ammette interpolazioni ma non estrapolazioni. La fig. 1 fornisce graficamente l'andamento dei dati della tab. 1.

Tab. 1 - Resistenza caratteristica a compressione della muratura f_k in funzione del tipo di malta e della resistenza dei blocchi utilizzati.

Resistenza caratteristica a compressione f_{bk} dell'elemento (N/mm ²)	Tipo di malta			
	M15 (N/mm ²)	M10 (N/mm ²)	M5 (N/mm ²)	M2,5 (N/mm ²)
2	1,2	1,2	1,2	1,2
3	2,2	2,2	2,2	2,2
4	2,9	2,8	2,8	2,6
5	3,5	3,4	3,3	3,0
6	4,1	3,8	3,6	3,2
7	4,7	4,3	3,9	3,4
7,5	5,0	4,5	4,1	3,5
8	5,2	4,7	4,2	3,6
9	5,7	5,0	4,5	3,9
10	6,2	5,3	4,7	4,1
11	6,6	5,6	5,0	4,3
12	7,0	5,9	5,2	4,5
13	7,4	6,1	5,5	4,7
14	7,8	6,4	5,7	4,9
15	8,2	6,7	6,0	5,1
16	8,5	7,0	6,2	5,3
17	8,8	7,2	6,4	5,5
18	9,1	7,5	6,6	5,7
19	9,4	7,7	6,8	5,9
20	9,7	8,0	7,0	6,1
21	9,9	8,2	7,2	6,2
22	10,2	8,4	7,3	6,3
23	10,4	8,6	7,5	6,4
24	10,6	8,8	7,6	6,5
25	10,9	9,0	7,8	6,6
26	11,1	9,2	8,0	6,8
27	11,3	9,4	8,1	6,9
28	11,5	9,6	8,3	7,0
29	11,8	9,8	8,4	7,1
30	12,0	10,0	8,6	7,2
31	12,2	10,2	8,8	-
32	12,5	10,4	9,0	-
33	12,7	10,6	9,1	-
34	12,9	10,8	9,3	-
35	13,2	11,0	9,5	-
36	13,4	11,2	9,7	-
37	13,6	11,4	9,9	-

38	14,0	11,5	10,0	-
39	14,1	11,7	10,2	-
40	14,3	12,0	10,4	-

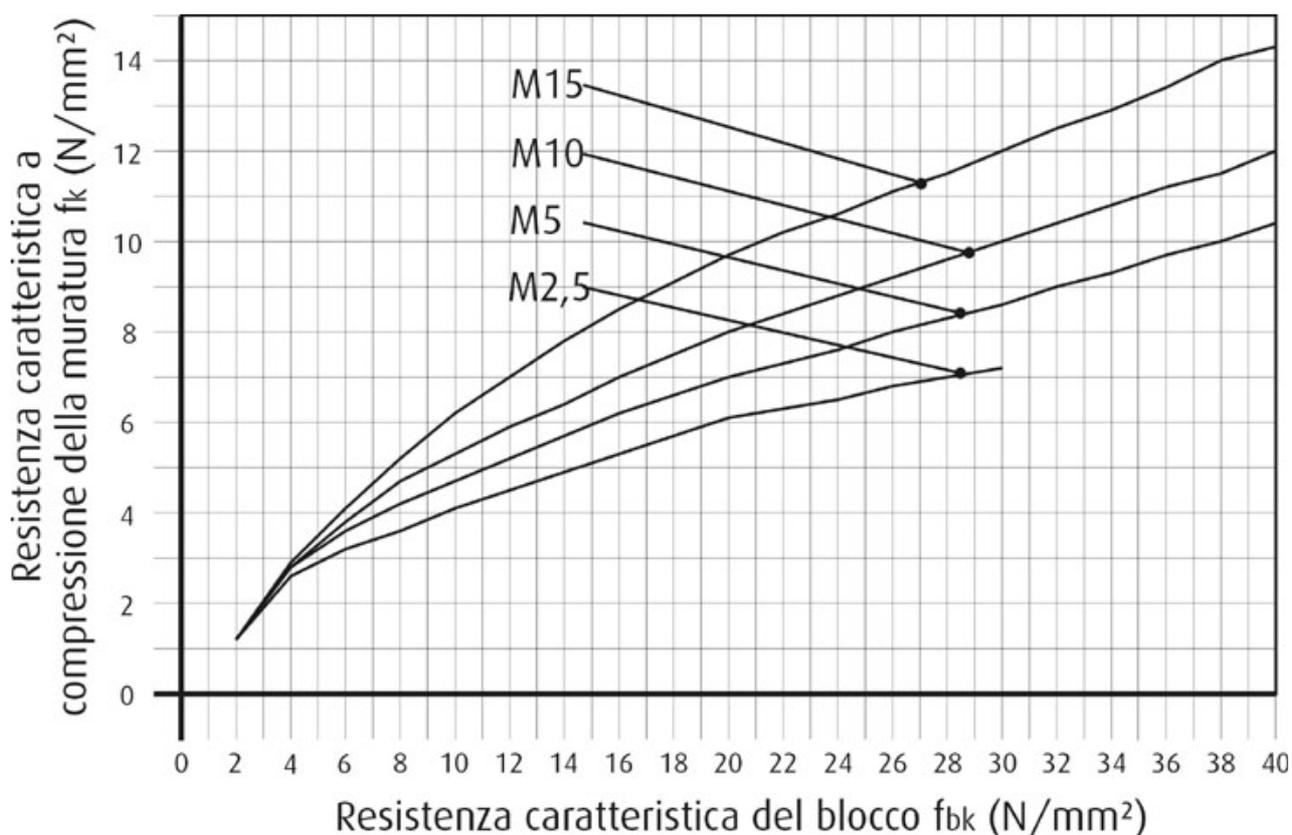


Fig. 1 - Resistenza caratteristica a compressione della muratura in funzione della resistenza caratteristica dell'elemento e del tipo di malta.

Un'altra tabella (Tabella 11.10.VII delle NTC) fornisce i valori di resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali [tab. 2].

Tab. 2 - Resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali f_{vk0} per murature in elementi artificiali in laterizio pieni e semipieni.

Tipo di elemento resistente	Resistenza caratteristica a compressione f_{bk} dell'elemento	Classe di malta	f_{vk0} (N/mm ²)
Laterizio pieno e semipieno	$f_{bk} > 15$	M10 ≤ M ≤ M20	0,30
	$7,5 < f_{bk} ≤ 15$	M5 ≤ M < M10	0,20
	$f_{bk} ≤ 7,5$	M2,5 ≤ M < M5	0,10

È opportuno segnalare che la suddetta tabella è affetta da un evidente errore in quanto, correlando il valore di f_{vk0} sia alla resistenza del blocco che al tipo di malta, si sono poste limitazioni non pertinenti alle classi di malta collegate alle resistenze dei blocchi, escludendo diverse possibili combinazioni dei due parametri e portando alla teorica impossibilità di ricavare il valore di f_{vk0} in diverse circostanze.

Si tenga presente a tal proposito che, traendo origine la tabella in questione dall'Eurocodice 6, si ritiene pertinente considerare, nei casi erroneamente (ed involontariamente) esclusi dalla tabella ministeriale, la corrispondente tabella contenuta appunto nell'Eurocodice 6 e di seguito riportata limitatamente alla parte attinente la tabella delle NTC [tab. 3].

Tab. 3 – Valori della resistenza a taglio iniziale della muratura, f_{vk0} (estratto da "Prospetto 3.4. UNI EN 1996-1-1:2006" – EC6).

Elementi per muratura	Malta ordinaria di classe di resistenza data	f_{vk0} (N/mm ²)
Laterizio	M10 - M20	0,30
	M2,5 - M9	0,20
	M1 - M2 (malte non ammesse dalle NTC per muratura portante – n.d.r.)	0,10

La resistenza iniziale a taglio è dipendente in modo prevalente dalla resistenza della malta più che da quella del blocco, come l'impostazione della tabella dell'EC6 ben evidenzia e dunque il "peso" maggiore nella determinazione del valore di f_{vk0} va attribuito alla classe della malta impiegata.

Il valore della resistenza caratteristica a taglio f_{vk} viene infine determinato applicando la seguente relazione:

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_n$$

in cui:

f_{vk0} è la resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali;

σ_n è la tensione normale media dovuta ai carichi verticali agenti nella sezione di verifica.

Le NTC stabiliscono inoltre un valore limite massimo di f_{vk} dato dalla relazione:

$$f_{vk} \leq f_{vk,lim} = 1,4 \overline{f_{bk}}$$

con:

$f_{vk,lim}$ valore massimo della resistenza caratteristica a taglio che può essere impiegata nel calcolo;

$\overline{f_{bk}}$ valore caratteristico della resistenza degli elementi in direzione orizzontale e nel piano del muro.

ESEMPIO - Per esempio, nel caso di una muratura in blocchi **POROTON® 800** semipieni aventi una resistenza caratteristica a compressione f_{bk} pari a 10 N/mm², posti in opera con giunti di malta orizzontali e verticali di spessore compreso tra 5 e 15 mm, si ottengono i seguenti valori tabellari di resistenza caratteristica a compressione f_k e taglio f_{vk0} della muratura (in funzione del tipo di malta):

Malta M15	$f_k = 6,2$ N/mm ²	$f_{vk0} = 0,3$ N/mm ²
Malta M10	$f_k = 5,3$ N/mm ²	$f_{vk0} = 0,3$ N/mm ²
Malta M5	$f_k = 4,7$ N/mm ²	$f_{vk0} = 0,2$ N/mm ²
Malta M2,5	$f_k = 4,1$ N/mm ²	$f_{vk0} = 0,1$ N/mm ²

ATTENZIONE – Nel caso in cui si preveda di impiegare un valore di f_k maggiore o uguale a 8 N/mm² le NTC prescrivono comunque il controllo del valore di f_k mediante prove sperimentali secondo le modalità descritte nel § 11.10.3.

Determinazione sperimentale della resistenza

Le NTC forniscono nel § 11.10.3.1.1 i criteri per procedere alla determinazione sperimentale della resistenza caratteristica a compressione f_k [fig. 2].

La prova va eseguita su n muretti ($n \geq 6$).

I provini (muretti) devono avere le stesse caratteristiche della muratura in esame e ognuno di essi deve essere costituito almeno da tre corsi di elementi resistenti e deve rispettare le seguenti limitazioni:

- lunghezza (b) pari ad almeno due lunghezze di blocco;
- rapporto altezza/spessore (l/t) variabile tra 2,4 e 5.

La confezione avviene solitamente su di un letto di malta alla base e la faccia superiore viene finita con uno strato di malta.

Dopo una stagionatura di 28 giorni a 20°C, 70% di umidità relativa, prima di effettuare la prova la faccia superiore di ogni provino viene eventualmente livellata con gesso; il muretto può anche essere contenuto fra due piastre metalliche rettificate, utili per gli spostamenti ed il suo posizionamento nella pressa.

Il provino viene posto fra i piatti della macchina di prova (uno dei quali articolato) e si effettua quindi la centratura del carico.

Il carico deve essere applicato con una velocità di circa 0,5 MPa ogni 20 secondi.

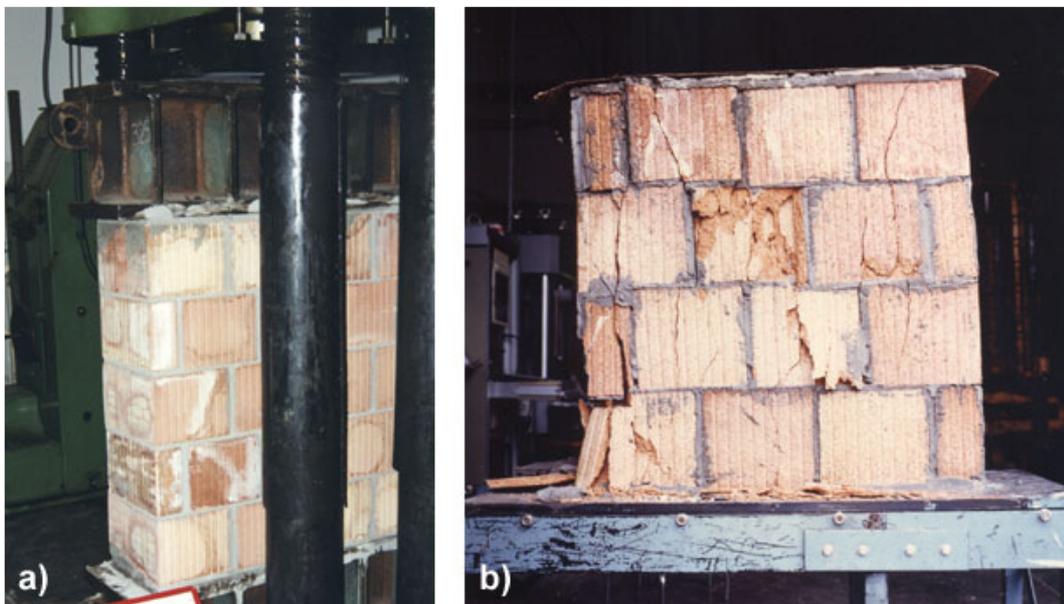


Fig. 2 - Esecuzione di una prova a compressione su muretto (a); un muretto al termine della prova a compressione (b).

La resistenza caratteristica è data dalla relazione:

$$f_k = f_m - k s$$

dove:

f_m = resistenza media;

s = stima dello scarto;

k = coefficiente che varia in funzione del numero di campioni sottoposti a prova (k è pari a 2,33 per prove eseguite sul numero minimo di 6 muretti).

La determinazione della resistenza caratteristica deve essere completata con la verifica dei materiali, da condursi come segue:

- malta: n. 3 provini prismatici 40 x 40 x 160 mm da sottoporre a flessione, e quindi a compressione sulle 6 metà risultanti, secondo la norma armonizzata UNI EN 998-2 [fig. 3];
- elementi resistenti: n. 10 elementi da sottoporre a compressione con direzione del carico normale al letto di posa.

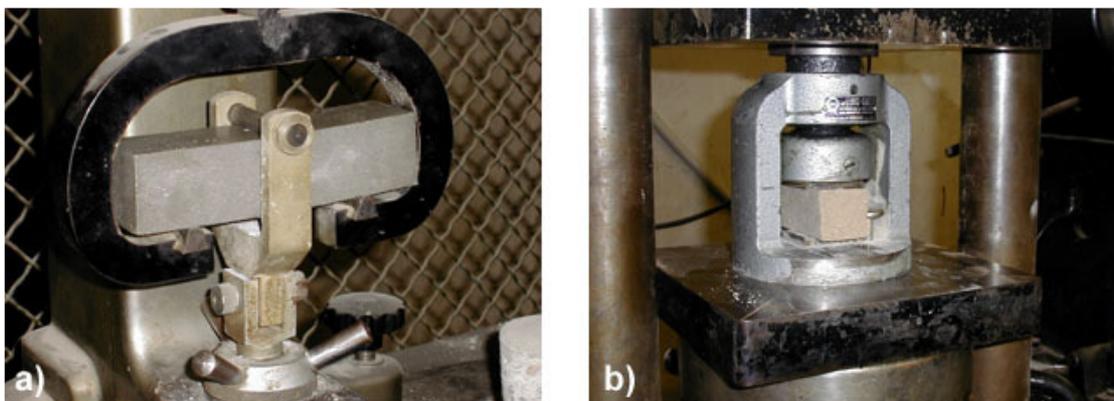


Fig. 3 - Prove sulle malte: a flessione (a) e compressione (b).

Si fa notare che le modalità di prova a compressione descritte nelle NTC ricalcano quelle già previste nel previgente D.M. 20/11/1987. Questo permette di affermare che le prove sperimentali a compressione su muretti svolte ai sensi del previgente decreto si possono ritenere valide anche ai sensi delle nuove NTC, a parità di materiali (blocchi e malta) impiegati.

Nel § 11.10.3.2.1 delle NTC vengono poi indicati i criteri per la determinazione sperimentale della resistenza caratteristica a taglio f_{vk0} della muratura, che deve avvenire mediante prove su n campioni ($n \geq 6$) seguendo, sia per la confezione che per la prova, le modalità indicate nella norma UNI EN 1052-3:2007 [fig. 4].

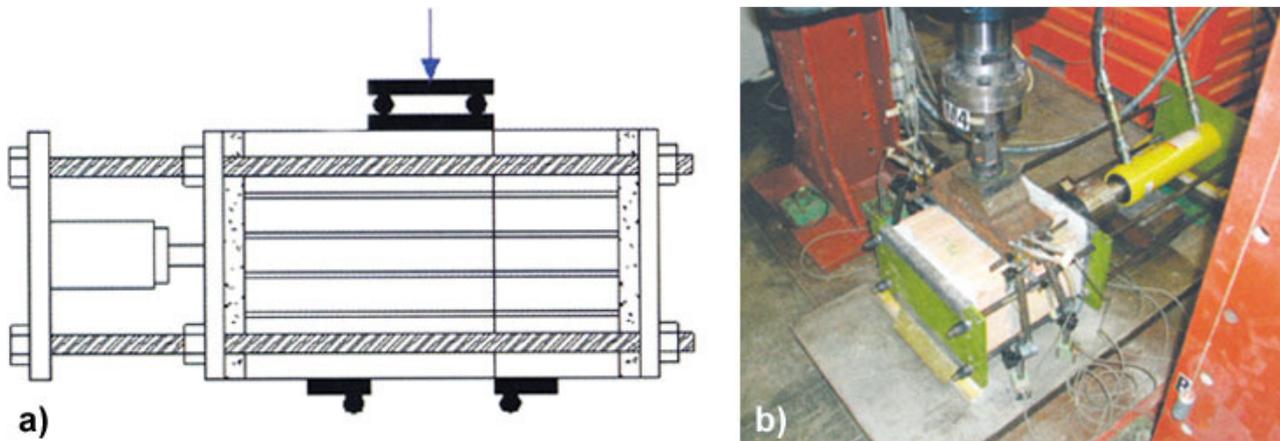


Fig. 4 - Prove di scorrimento a taglio secondo la UNI EN 1052-3: schema (a) e configurazione di prova (b).

Oltre a tale metodologia, di nuova introduzione, che prevede prove di taglio su "triplette" o "coppie" di elementi in relazione alle dimensioni degli stessi, opportunamente giuntati con malta e confinati o precompressi, la Circolare 02/02/2009, n. 617 recante "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008", al § C11.10.3.2.1 conferma comunque la possibilità di valutare la resistenza caratteristica sperimentale a taglio anche con prove di compressione diagonale su n muretti ($n = 6$), seguendo, sia per la confezione che per la prova, le modalità indicate in normative di comprovata validità [fig. 5].

Si tratta in tal caso, di fatto, delle medesime prove già previste nel previgente D.M. 20/11/1987 e solitamente condotte con riferimento agli standard di prova ASTM E 519-02 [fig. 6].

La resistenza caratteristica f_{vk0} viene dedotta dalla resistenza media f_{vm} , ottenuta dai risultati delle prove, mediante la relazione:

$$f_{vk0} = 0,7 f_{vm}$$

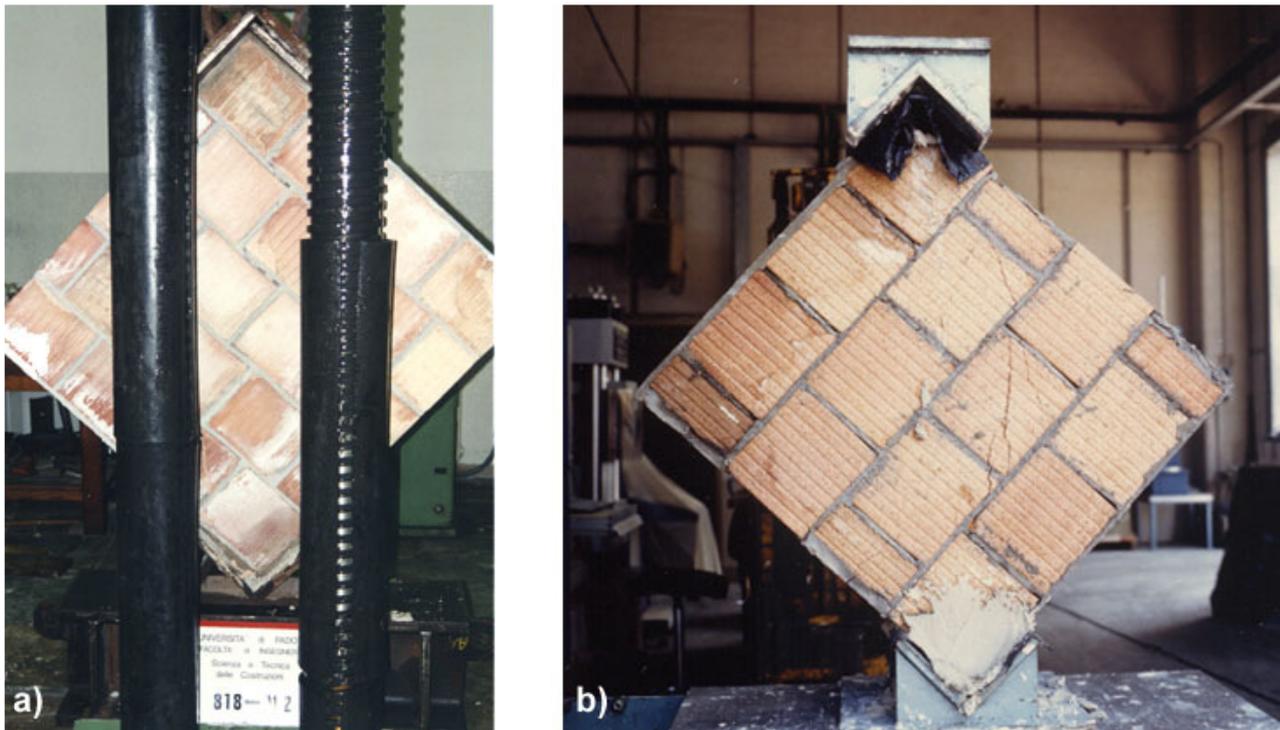


Fig. 5 - Esecuzione di una prova diagonale su muretto (a); un campione al termine della prova diagonale (b).

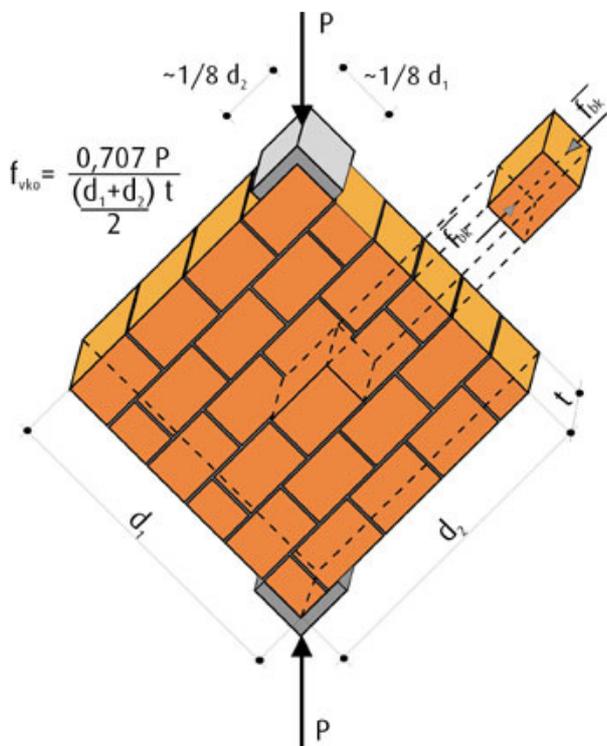


Fig. 6 - Schema di prova diagonale secondo ASTM E519-02. Il mancato rispetto dei requisiti di prova ivi indicati, anche in termini geometrici, può portare a risultati non rappresentativi e non attendibili.

Per quanto concerne le prove sperimentali a taglio su muretti svolte ai sensi del previgente D.M. 20/11/1987, se eseguite con riferimento agli standard di prova di comprovata validità citati nelle NTC, esse si possono ritenere valide anche ai sensi delle nuove norme tecniche, a parità di materiali (blocchi e malta) impiegati.

ATTENZIONE - In generale, per la natura stessa della prova diagonale, è opportuno diffidare da eventuali risultati che diano valori di f_{vko} superiori a quelli desumibili da tabelle; questo è spesso indice di una prova che potrebbe essere stata condotta con modalità non adeguate o non del tutto conformi alla letteratura tecnica scientifica in materia [fig. 6], e come tale non rappresentativa della resistenza a taglio in assenza di carico verticale che essa vuole riprodurre.

Limiti e validità delle prove sperimentali

Le NTC, come peraltro le previgenti norme, non specificano il campo e/o la durata di validità delle prove sperimentali di determinazione della resistenza meccanica della muratura.

Tuttavia, in relazione a murature di nuova costruzione, è stato già chiarito in passato, e tale chiarimento è sicuramente da ritenersi tuttora valido, che le prove possono essere svolte "una tantum" ed i risultati possono essere utilizzati in tutti i casi in cui si faccia riferimento a murature costituite da blocchi e malta aventi le stesse caratteristiche meccaniche di quelli impiegati nelle prove stesse.

In tal senso è opportuno ricordare il contenuto di un chiarimento in materia (*Parere del Consiglio Superiore del LL.PP. del 6 Marzo 1990, prot. N. 162*) che afferma testualmente:

"La vigente normativa sulle costruzioni in muratura di cui al D.M. 20/11/1987, in effetti non prevede a cosa fare riferimento, la produzione o il singolo intervento, nel caso si debba ricorrere alle prove su prototipi di muro per mancanza dei requisiti previsti per l'utilizzazione delle tabelle.

L'ipotesi di riferirsi alle singole opere, appare, oltre che eccessivamente onerosa, senza un valido fondamento tecnico. In effetti la norma tende ad ottenere una qualificazione dei vari tipi di muri realizzati al fine di una loro utilizzazione conforme alle caratteristiche di sicurezza richieste dalla norma stessa.

Detta qualificazione si basa su tre fattori essenziali: le caratteristiche meccaniche dell'elemento resistente, quelle della malta (o la sua composizione), la forma geometrica dell'elemento. A parità di tali fattori è evidente come le caratteristiche meccaniche del muro, così costituito, saranno eguali a meno dell'inevitabile approssimazione dovuta ai magisteri di costruzione del muro e alla prova di laboratorio.

Ne consegue quindi come prove su prototipi potranno essere prese come riferimento per tutte le murature che impieghino gli stessi costituenti (elementi resistenti e malta) aventi le stesse caratteristiche meccaniche di quelli del prototipo. ..."

Parimenti può non essere necessario ripetere le prove per la determinazione della resistenza a taglio qualora si abbia a che fare con blocchi aventi diverse altezze di taglio.

Le altezze di taglio che normalmente caratterizzano i blocchi in laterizio per muratura variano da 18 cm a 25 cm. Diverse ricerche sperimentali hanno messo in evidenza che la resistenza a compressione per carico verticale (f_{bk}) di questi blocchi, a parità di sezione e disegno della foratura, tende a decrescere all'aumentare dell'altezza di taglio, mentre è sostanzialmente costante la resistenza a compressione in direzione ortogonale e nel piano del muro (\bar{f}_{bk}).

Si può dunque estendere a questo caso il medesimo parere prima richiamato (*Parere del Consiglio Superiore del LL.PP. del 6 Marzo 1990, prot. N. 162*) ove esso afferma:

"... che le caratteristiche meccaniche di un prototipo di muro che impieghi l'elemento meno resistente di una predeterminata famiglia, possano essere estese a tutte le murature che impieghino gli elementi della stessa famiglia".

D'altronde anche la già citata Circolare 02/02/2009, n. 617, esplicativa delle NTC 2008, nel § C11.10.3 conferma questo principio già sancito in precedenza laddove afferma che *"... È da richiamare l'attenzione circa la determinazione sperimentale delle caratteristiche di una muratura confezionata con elementi resistenti appartenenti ad una stabilita "famiglia di prodotti", intendendosi come tale l'insieme di prodotti caratterizzati dallo stesso ciclo produttivo, simili nella configurazione geometrica, con la medesima percentuale di foratura e destinazione d'uso, ma con dimensioni diverse nel senso dello spessore e/o altezza della muratura stessa; per tali elementi è possibile verificare sperimentalmente le caratteristiche della tipologia meno resistente ed estendere i risultati conseguiti a tutte le murature che impieghino gli elementi, maggiormente resistenti, della stessa famiglia".*

Ciò significa che, disponendo per esempio dei risultati sperimentali di una prova su muretti realizzati con blocchi aventi

altezza di taglio pari a 25 cm, i risultati della stessa possono essere ritenuti validi, a parità di tipo di malta e di elemento, per murature realizzate con blocchi aventi altezze di taglio inferiori.

Muratura in blocchi ad incastro e/o rettificati o con tasca per malta

È opportuno soffermarsi su un aspetto molto dibattuto, inerente l'utilizzo di blocchi ad incastro e/o rettificati, con o senza tasca verticale da riempire di malta, o con giunti verticali non riempiti di malta; le NTC precisano, coerentemente alle previgenti norme, che la determinazione tabellare della resistenza a compressione e taglio della muratura è possibile esclusivamente in presenza delle seguenti concomitanti condizioni:

- per murature in elementi pieni o semipieni (sono quindi esclusi elementi forati);
- per murature con giunti orizzontali e verticali riempiti di malta e di spessore compreso tra 5 e 15 mm (sono quindi esclusi giunti sottili, giunti a secco, tasche per malta);
- per malte di classe compresa tra M2,5 e M15 e blocchi con resistenza f_{bk} compresa tra 2 e 40 N/mm²; sono ammesse interpolazioni lineari ma non estrapolazioni.

Ne consegue automaticamente che l'impiego di murature portanti realizzate con elementi forati di qualsiasi tipologia, come pure con elementi semipieni e/o forati ad incastro e/o rettificati con giunto verticale a secco o con tasca riempita di malta, è ammesso esclusivamente, con i limiti previsti per i requisiti dei materiali in relazione alle diverse zone sismiche (cfr. Newsletter POROTON® n. 66 – Maggio 2010), previa determinazione sperimentale della resistenza caratteristica a compressione e taglio della muratura.

Moduli elastici della muratura

Il calcolo e la verifica delle strutture in muratura portante richiedono in diversi casi anche la conoscenza dei moduli elastici.

La normativa prevede che, in sede di progetto si possano assumere i seguenti valori:

- modulo di elasticità normale secante E:
 $E = 1000 f_k$
dove f_k indica la resistenza caratteristica a compressione della muratura;
- modulo di elasticità tangenziale secante G:
 $G = 0,4 E$

In alternativa è possibile valutare sperimentalmente i suddetti moduli di elasticità facendo riferimento per le prove alle modalità indicate nella UNI EN 1052-1:2001.

Il modulo di Poisson "v" della muratura potrà essere valutato, noti "E" e "G", con la relazione seguente:

$$\nu = \frac{E}{2G} - 1$$

Conclusioni

La valutazione delle caratteristiche meccaniche di una muratura è un aspetto da non sottovalutare e che richiede la conoscenza dei materiali impiegati e della loro resistenza.

Si deve tenere presente che blocchi in laterizio di diversa origine, ancorché con analoghi parametri fisico-geometrici, possono presentare resistenze meccaniche diverse, in relazione alle caratteristiche della materia prima (argilla) che li caratterizza. Di conseguenza è importante che il calcolatore delle opere strutturali disponga di dati di resistenza meccanica corrispondenti a quelli dei materiali (blocchi e malte) che effettivamente verranno impiegati nella realizzazione di murature portanti, al fine di una corretta valutazione delle caratteristiche meccaniche della muratura.

Ai fini del calcolo strutturale, dati di resistenza di carattere generale possono essere considerati per eseguire valutazioni approssimate o di massima, non potendo tuttavia prescindere, per un calcolo e verifica esatti, dalla conoscenza dei parametri meccanici degli specifici materiali impiegati nell'opera.

Il Consorzio POROTON® Italia e le ditte produttrici associate sono a disposizione per fornire indicazioni più precise sulla resistenza meccanica dei prodotti POROTON® in relazione alle diverse tipologie disponibili, al fine di supportare ed indirizzare i tecnici che utilizzano blocchi POROTON® alla scelta dei materiali più idonei per la realizzazione di murature portanti nelle diverse condizioni di operatività.