

## CARATTERIZZAZIONE DELLA MURATURA

(aggiornata ai sensi del DM2008 e bozza Istruzioni giugno 2008)

Si commenta con la presente nota l'aggiornamento istituito dalla nuova norma di riferimento (D.M. 14 gennaio 2008) ed in particolare dalle Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" - bozza giugno '08 - nei confronti del trattamento dei dati riguardanti i parametri meccanici delle murature.

La revisione viene fatta in particolare impostando un confronto con quanto determinato sulla base dell'applicazione "critica" del riferimento di norma applicativa precedente, cioè l'OPCM 3431, nei documenti sulla muratura già pubblicati (Scuola Fagnani di Senigallia e Municipio di Montecarotto).

Il nuovo testo di riferimento, capitolo C8A (appendice al cap. C8) della Circolare suddetta, pur affermando nella sostanza l'approccio già impiantato con la OPCM 3431 apporta alcune modifiche che possono o meno incidere sui risultati finali delle verifiche (a parità delle altre condizioni).

L'obiettivo è sempre quello di cogliere la qualità muraria (rispetto o meno della "regola dell'arte") e l'eventuale valutazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche, per determinare se la muratura in esame è in grado di assolvere al compito assegnatole.

Con riferimento alla parte iniziale del nuovo documento, oltre allo "stemperamento" di alcuni termini che maggiormente esprimono la volontà del normatore di dare *indicazioni* piuttosto che *prescrizioni*, si colgono comunque alcune variazioni degne di nota ed in particolare:

- con riferimento alle indagini *in-situ* estese, non è di secondaria importanza l'affermazione che è semplicemente "opportuna" e non "richiesta" l'effettuazione delle prove per ogni tipo di muratura presente. Con riferimento all'attività di APQ in essere presso questo Servizio, si era già ritenuta necessaria una interpretazione di questo tipo per la norma precedente, che ridimensionasse nello specifico l'obbligatorietà per la caratterizzazione delle tipologie percentualmente meno utilizzate all'interno della struttura in esame;
- l'indicazione per il livello di conoscenza LC1 di utilizzare per i moduli elastici i valori medi degli intervalli della Tabella C8A.2.1, invece del minimo come indicato nella corrispondente Tabella della OPCM3431. Contrariamente a quanto noto per altre nuove assunzioni riportate nel seguito, non risulta reso pubblico (o perlomeno ben chiaro allo scrivente) il perché di questa variazione;
- la presenza di un refuso all'interno della Tabella di sintesi C8A.1.1, ove per le indagini *in-situ* estese viene trascritta per la determinazione del modulo elastico la possibilità di ottenerlo dalla "media delle prove", quando per questo livello di indagine è prevista precedentemente la sola attribuzione del valor medio dell'intervallo;
- l'indicazione esplicita che i moduli di elasticità normale E e tangenziale G sono da considerarsi relativi a condizioni non fessurate (si tornerà nel seguito sulla portata di questa nuova affermazione).

Procedendo alla ri-determinazione numerica delle caratteristiche meccaniche delle murature della scuola Fagnani con la stessa sequenza già adottata ed appoggiandosi alla stessa base dati acquisita con le prove, si intende nel seguito mostrare le differenze finali che si ottengono per un caso specifico.



Ricordando che dalle due prove con martinetti piatti doppi effettuate su pareti originarie, propriamente sulla muratura in pietra listata e malta di calce (paramento interno delle pareti perimetrali esterne) e sulla muratura in mattoni pieni e malta di calce (parete interna), si erano determinati i seguenti valori:

$$E = 4938 \text{ N/mm}^2 \text{ per la muratura in pietra listata}$$

$$E = 2095 \text{ N/mm}^2 \text{ per la muratura in mattoni pieni}$$

si continua ad appoggiare l'individuazione delle quattro tipologie murarie principali presenti sulle tipologie di base oggetto di prove, riscontrate parimenti anche nella nuova *Tabella C8A.2.1*, cioè muratura in pietre a spacco con buona tessitura e muratura in mattoni pieni e malta di calce.

I nuovi *range* di valori proposti per questi due tipi di muratura dalla *Tabella C8A.2.1* sono:

	$f_m$	$\tau_0$	E	G	w
	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]
	min-max	min-max	min-max	min-max	
<b>Muratura in pietre a spacco con buona tessitura</b>	260	5.6	1500	500	
	380	7.4	1980	660	21
<b>Muratura in mattoni pieni e malta di calce</b>	240	6.0	1200	400	
	400	9.2	1800	600	18

Le variazioni apportate per le due tipologie in questione riguardano sia incrementi che decrementi nei valori dei diversi parametri; più genericamente, con riferimento alla intera *Tabella C8A.2.1* le variazioni apportate sono le seguenti:

- incremento medio significativo (massimo incremento del 100%) del valore di  $f_m$  per le prime sette tipologie, ed un unico valore in decremento (minimo del *range* della ottava tipologia). Di tale necessità si era anticipato già negli articoli pubblicati;
- mantenimento completo dei valori di attribuzione della  $\tau_0$ , ad esclusione della quinta tipologia, ove si riscontra un aumento per entrambi i valori limite del *range*;
- a partire dalla quinta tipologia, si possono riscontrare variazioni sia in aumento che in diminuzione del modulo di elasticità normale E;
- per una diminuzione generalizzata del rapporto E/G, passato dal *range* 5÷6 della Tabella 11.D.1 dell'Allegato 2 dell'OPCM3431, al *range* 3÷4 della nuova tabella, si rileva un incremento dei valori del modulo di elasticità tangenziale G. Come detto per la  $f_m$ , anche la necessità di questa correzione era nota in anticipo.

Occorre osservare a questo punto l'introduzione, a cappello della *Tabella C8A.2.1*, della necessità di valutazione preliminare della *tessitura* al fine del corretto ingresso nella tabella stessa: viene infatti descritto come i valori indicati per le murature regolari siano riferibili a situazioni di tessitura a regola d'arte, e pertanto viene richiamata l'obbligatorietà di una adeguata riduzione qualora questa non fosse rispettata. Sembra abbastanza esplicito, e nuovo, il riferimento a importanti documenti tipo quello prodotto dalla Regione Molise<sup>1</sup>, o il corrispondente prodotto

<sup>1</sup> Pasquale C., Lemme A., "Indicazioni per la valutazione della qualità delle murature", 2006

dalla Regione Umbria<sup>2</sup>. Non si apporta comunque, per la finalità del presente confronto, nessuna correzione derivante dall'applicazione di questa pur importante prescrizione.

Ricordando che si considera raggiunto il livello di conoscenza LC2, per tale livello le Istruzioni al p.to C8A.1.A.4 confermano quanto precedentemente noto, cioè: "LC2 - Resistenze: medie degli intervalli riportati in Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione; moduli elastici: valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta."

Con la nuova configurazione di norma, il valore determinato dalla prova realizzata sulla tipologia in mattoni ricade all'esterno dell'intervallo prospettato per tale varietà (il valore ottenuto è superiore al massimo). Si mantiene invece esattamente negli stessi termini il confronto tra il risultato dell'altra prova con il *range* di controllo corrispondente, e pertanto permangono valide le considerazioni a latere sulla localizzazione ed esecuzione della prova e sull'organizzazione muraria dei componenti nel tratto interessato, in conseguenza delle quali era logico supporre una sovrastima del parametro estratto. In questa nuova situazione si riscontra però, sempre per quest'ultima, la più diretta corrispondenza tra la resistenza a compressione estrapolabile dalla prova (circa 3.5N/mm<sup>2</sup>) ed il nuovo *range* di riferimento.

Avendo presente quanto detto nel documento sulla scuola Fagnani sui moduli elastici E e G, in cui riferendosi all'articolo del Prof. Lagomarsino citato per i valori da assegnare si sceglieva di adottare E come valore dimezzato della media del range proposto in Tab. 11.D.1 dell'OPCM3431, mentre per G ci si limitava, considerandolo come valore già fessurato, a determinarne semplicemente il valor medio dell'intervallo dato, nella nuova accezione riportata precedentemente i valori di E e G della *Tabella C8A.2.1* sono entrambi esplicitamente da considerare relativi a condizioni non fessurate, e pertanto verranno contestualmente dimezzati.

A questo punto, quindi, i nuovi valori definiti in seguito a questo primo passaggio saranno i seguenti:

	$f_m$	$\tau_0$	E	G	w
	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]
<b>Muratura in pietre a spacco con buona tessitura</b>	320	6.5	870	290	21
<b>Muratura in mattoni pieni e malta di calce</b>	320	7.6	750	250	18

Tali valori sono pronti per l'applicazione, con la stessa logica già vista, dei coefficienti correttivi previsti adesso dalla *Tabella C8A.2.2*, stante le risultanze delle indagini sperimentali e visive. Per tale Tabella, il più recente riferimento (ricordiamolo, ancora disponibile solo sotto forma di bozza) introduce due nuovi parametri di cui sotto, ma contemporaneamente elimina il riferimento alle ultime cinque tipologie (!!!!).

Una prima variazione apportata dal nuovo testo normativo per questa parte riguarda l'aggiunta del coefficiente correttivo sui giunti sottili (<10mm), in grado di agire su

<sup>2</sup> Regolamento Regionale 15 luglio 2003, n.9, "Norme regolamentari di attuazione dell'art.5 della legge regionale 23 ottobre 2002, n.18 - Norme in materia di prevenzione sismica del patrimonio edilizio"

tutti i parametri, anche se viene fatto notare che per la resistenza a taglio l'incremento percentuale deve essere posto pari alla metà rispetto a quanto valutato per la resistenza a compressione. Tale coefficiente può risultare particolarmente significativo per la muratura di mattoni (ove è maggiormente riscontrabile la presenza di giunti ridotti), in quanto è proposto per questa un valore di 1.5. Anche in questo caso, essendo una valutazione aggiuntiva, per la finalità del presente confronto non si porterà nessuna correzione derivante dalla sua applicazione.

Una seconda aggiunta, della quale risultava indispensabile l'introduzione, riguarda la possibilità di specificare più approfonditamente l'influenza del nucleo nelle murature a sacco. Come anticipato nel documento parallelo, la precedente indicazione di norma non chiariva in maniera esaustiva l'approccio alle murature a paramenti distanziati e/o differenziati con nucleo intermedio di consistenza differenziata. Ripercorriamo cosa viene introdotto nel nuovo testo:

- viene detto esplicitamente che la muratura in *Tabella C8A.2.1* deve essere intesa come costituita da due paramenti accostati o con un nucleo interno di limitato spessore (inferiore allo spessore del paramento). Questo ad eccezione del caso della muratura a conci sbazzati (per la quale è implicita la presenza di un nucleo interno anche significativo ma di discrete caratteristiche), e quello della muratura in mattoni pieni (che spesso presenta un nucleo interno con materiale di reimpiego reso coeso);
- nel caso, pertanto, in cui il nucleo interno sia ampio rispetto ai paramenti e/o particolarmente scadente, è opportuno ridurre opportunamente i parametri di deformabilità e resistenza, attraverso una omogeneizzazione delle caratteristiche meccaniche nello spessore. Viene comunque detto che, in assenza di valutazioni più accurate, è possibile penalizzare i suddetti parametri meccanici attraverso il coefficiente indicato in tabella *Tabella C8A.2.2*.

L'utilizzo di questo nuovo parametro, i cui valori sono riportati in una colonna aggiuntiva nella *Tabella C8A.2.2*, verrà previsto per le finalità del presente confronto, ma non in questa fase, ma quanto nella successiva determinazione delle caratteristiche associabili alle tipologie delle pareti intere in funzione della differenziazione dei paramenti e della dimensione del nucleo interno, in analogia al percorso suggerito nel documento precedente.

Continuando nell'esplorazione della possibilità applicativa dei coefficienti correttivi, per la muratura in pietra si conferma l'adozione del moltiplicatore migliorativo per la presenza di ricorsi o listature (di pari valore, 1.1), mentre per la muratura in mattoni si può ancora usare il coefficiente che ne affina le prestazioni per la presenza della connessione trasversale, stante l'organizzazione in continuità in tutto lo spessore (anche questo mantenutosi di pari valore, 1.3).

Secondo passaggio:

	$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\tau_0$ [N/cm <sup>2</sup> ]	E [N/mm <sup>2</sup> ]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	w [kN/m <sup>3</sup> ]
<i>Muratura in pietre a spacco con buona tessitura</i>	352	7.15	870	290	21
<i>Muratura in mattoni pieni e malta di calce</i>	416	9.88	750	250	18

Il passaggio finale per la caratterizzazione delle due murature, l'applicazione del Fattore di Confidenza FC, comporta nuovamente l'abbattimento delle sole resistenze medie dei materiali per il calcolo della capacità della costruzione. Avendo quindi

raggiunto un LC2, il fattore FC da adottare, come riportato in *Tabella C8A.1.1*, continuerà ad essere pari ad 1,2.

I valori definitivi, da adottare per i parametri di calcolo delle due tipologie murarie di base presenti nell'edificio, saranno quindi i seguenti:

	$f_m$	$\tau_0$	E	G	w
	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]
<b>Muratura in pietre a spacco con buona tessitura</b>	293.3	5.95	870	290	21
<b>Muratura in mattoni pieni e malta di calce</b>	346.6	8.23	750	250	18

A questo punto, a partire dalle due tipologie di "appoggio" si ri-determinano le caratteristiche di ogni tipologia di muratura presente nell'edificio, con le opportune modifiche. Ricordando che queste fondamentalmente (con riferimento anche a singoli paramenti) sono di quattro tipi:

1. muratura originaria in pietra listata con pianelle in laterizio e malta di calce
2. muratura originaria in pianelle faccia a vista (solo per paramenti esterni) e malta di calce
3. muratura originaria in mattoni pieni a pasta gialla e malta di calce
4. muratura nuova (1973) in mattoni pieni a pasta rossa e malta di cemento,

si ri-assegnano i valori per le tipologie mancanti. La tabella assume la seguente configurazione tenendo conto dell'utilizzo del coefficiente migliorativo per la malta di buone caratteristiche per la definizione del tipo 4 (sempre pari a 1.5), e tenendo conto che per il tipo 2 (solo per le finalità del presente documento) si utilizzano i valori della prova sulla muratura in mattoni:

	$f_m$	$\tau_0$	E	G	w
	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]
<b>1. Muratura originaria in pietra listata e malta di calce</b>	293.3	5.95	870	290	21
<b>2. Muratura originaria in pianelle faccia vista e malta di calce</b>	346.6	8.23	750	250	18
<b>3. Muratura originaria in mattoni pieni e malta di calce</b>	346.6	8.23	750	250	18
<b>4. Muratura nuova in mattoni pieni e malta di cemento</b>	520	12.34	1125	375	18

Si fa notare che, in questo caso, se il materiale 4 fosse stato assimilato alla tipologia "muratura in mattoni semipieni con malta cementizia" della *Tabella C8A.2.1*, saremmo arrivati a valori significativamente diversi per alcuni parametri, contrariamente a quanto avvenuto per il documento parallelo.

Le suddette tipologie di muratura in diversa combinazione hanno dato origine, nell'edificio in esame, alle seguenti tipologie di pareti:

- A. parete perimetrale esterna a sacco con tipologia muraria 2 sul paramento esterno e 1 su quello interno
- B. parete perimetrale corte interna e pareti interne di spina con tipologia muraria 3 a tutto spessore
- C. pareti interne di competenza del vano più ampio (palestra) a sacco con tipologia muraria 1 per entrambi i paramenti
- D. pareti interne inserite con l'intervento del 1973 con tipologia muraria 4 a tutto spessore.

Vediamo ora, stante quanto anticipato, l'iter per la determinazione del comportamento delle pareti multistrato a sacco (per la A e la C), sulla base delle più esplicite indicazioni sulla cooperazione del nucleo interno.

Resta comunque nuovamente non definito un percorso che riguardi l'altra problematica riscontrata nell'applicazione a casi reali (perlomeno con riferimento alla nostra Regione): l'eventuale differenziazione di materiali per i paramenti esterni della parete stratificata.

E' vero che il passaggio a chiarimento dell'introduzione di questo coefficiente indica la volontà di "correggere" la prestazione muraria attraverso una omogeneizzazione delle caratteristiche meccaniche nello spessore, ma ovviamente il discorso è riferibile ad una mediazione fra il valore presunto per i paramenti esterni (considerati uguali) e quello per il nucleo interno. Resta quindi non esplicito come affrontare casi come quello in esame.

Si può comunque tentare un approccio intermedio che non tenga conto esplicitamente della formula adottata nel documento di primo riferimento (Egermann e Neuwald-Burg, 1994), ma che proceda dapprima semplicemente alla "media pesata" delle caratteristiche di resistenza e deformabilità associabili ai due paramenti esterni, e successivamente all'applicazione del coefficiente di penalizzazione per la presenza di *nucleo scadente e/o ampio*.

Quindi, per la determinazione delle caratteristiche meccaniche delle pareti A e C si assegneranno - per la media - i valori noti dalla determinazione geometrica e dalla ultima tabella soprastante, e successivamente - per l'abbattimento dato dal nucleo - si adotterà il valore 0.8 per il coefficiente correttivo. Il riferimento per i calcoli, anche in questo caso, è sempre uno spessore paritario per le fodere esterne.

Per le pareti A e C si ottengono pertanto i valori seguenti di caratterizzazione:

	$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\tau_0$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>E</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>G</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>w</b> [kN/m <sup>3</sup> ]
<b>A. Parete perimetrale esterna a sacco con tipologia muraria 2 sul paramento esterno e 1 su quello interno</b>	266	5.9	648	216	19.5
<b>C. Pareti interne di competenza del vano più ampio (palestra) a sacco con tipologia muraria 1 per entrambi i paramenti</b>	256	5.2	696	232	21

Pertanto, i valori di calcolo finali delle caratteristiche meccaniche da associare alle diverse pareti presenti nel fabbricato sono i seguenti:

	$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\tau_0$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>E</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>G</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>w</b> [kN/m <sup>3</sup> ]
<b>A. Parete perimetrale esterna a sacco con tipologia muraria 2 sul paramento esterno e 1 su quello interno</b>	<b>266</b>	<b>5.9</b>	<b>648</b>	<b>216</b>	<b>19.5</b>
<b>B. Parete perimetrale corte interna e pareti interne di spina con tipologia muraria 3 a tutto spessore</b>	<b>346.6</b>	<b>8.23</b>	<b>750</b>	<b>250</b>	<b>18</b>
<b>C. Pareti interne di competenza del vano più ampio (palestra) a sacco con tipologia muraria 1 per entrambi i paramenti</b>	<b>256</b>	<b>5.2</b>	<b>696</b>	<b>232</b>	<b>21</b>
<b>D. Pareti interne inserite con l'intervento del 1973 con tipologia muraria 4 a tutto spessore</b>	<b>520</b>	<b>12.34</b>	<b>1125</b>	<b>375</b>	<b>18</b>

Valori di calcolo parametri meccanici per le murature in esame (DM2008+bozza Istruzioni 06/2008)

Si riportano sotto, per confronto, i corrispondenti valori precedentemente determinati ai sensi della OPCM3274 e s.m.i., ricordando ancora una volta la



“correzione” apportata a G e l’introduzione di coefficienti “esterni” per valutare il comportamento delle pareti multistrato:

	$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\tau_0$ [N/cm <sup>2</sup> ]	E [N/mm <sup>2</sup> ]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	w [kN/m <sup>3</sup> ]
<b>A. Parete perimetrale esterna a sacco con tipologia muraria 2 sul paramento esterno e 1 su quello interno</b>	<b>140</b>	<b>4.7</b>	<b>669</b>	<b>223</b>	<b>19</b>
<b>B. Parete perimetrale corte interna e pareti interne di spina con tipologia muraria 3 a tutto spessore</b>	<b>249</b>	<b>8.2</b>	<b>1050</b>	<b>350</b>	<b>18</b>
<b>C. Pareti interne di competenza del vano più ampio (palestra) a sacco con tipologia muraria 1 per entrambi i paramenti</b>	<b>105</b>	<b>3.9</b>	<b>599</b>	<b>199</b>	<b>20</b>
<b>D. Pareti interne inserite con l’intervento del 1973 con tipologia muraria 4 a tutto spessore</b>	<b>373</b>	<b>12.3</b>	<b>1575</b>	<b>525</b>	<b>18</b>

Valori di calcolo parametri meccanici per le murature in esame (OPCM3274 e s.m.i.)