



Consorzio POROTON® Italia

Via Gobetti 9 - 37138 VERONA

Tel 045.572697 Fax 045.572430

www.poroton.it - info@poroton.it

News - Statica

20 aprile 2004

## L'impiego della muratura armata

Andrea Gambi, Maurizio Lenzi, Giancarlo Olivucci (Gruppo ACMAR, Ravenna)

Introduzione a cura di Lorenzo Bari

*L'impiego di murature armate in blocchi di laterizio alleggerito è volto a fornire caratteristiche di resistenza, duttilità e durabilità atte a migliorare le prestazioni in esercizio.*

*Alla luce delle recenti disposizioni in tema di classificazione sismica del territorio (si veda Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003) l'argomento torna ad essere di grande attualità.*

*Il futuro delle strutture in muratura portante passerà necessariamente attraverso un maggiore impiego della muratura armata.*

*Il Consorzio POROTON® Italia ha sempre dedicato grande interesse alla tematica della muratura armata (basti pensare alle innumerevoli ricerche svolte in questo campo negli anni dal Consorzio) e continua a farlo con la convinzione che questo sistema costruttivo meriti molta più attenzione di quanta finora ne abbia avuta.*

*Nel contributo che segue si fornisce una panoramica generale sul sistema costruttivo "Muratura armata", sulle sue peculiarità e sui vantaggi che esso consente di ottenere (e non solo dal punto di vista statico), sul dimensionamento delle armature e sulle modalità di esecuzione. Il tutto con un linguaggio volutamente semplice e descrittivo, volto a mettere in evidenza le caratteristiche qualitative del sistema senza il ricorso a formulazioni matematiche.*

*L'articolo è rivolto anche ad illustrare alcuni vantaggi dell'impiego della muratura armata in zone non sismiche; in relazione alla recente riclassificazione sismica del territorio italiano questo si deve intendere come estensione dell'impiego del sistema costruttivo anche a quelle zone, precedentemente non classificate sismiche, ed ora considerate a basso rischio sismico, con lo scopo di prevenire tutta una serie di patologie che talvolta interessano le strutture in muratura ordinaria (per esempio fenomeni fessurativi).*

*L'articolo, pur essendo stato redatto prima dell'emanazione dell'Ordinanza P.C.M. prima menzionata, risulta tuttavia estremamente attuale anche nel nuovo contesto normativo.*

Lorenzo Bari

### Premessa

È ben noto che i requisiti prestazionali degli edifici costituiscono un parametro imprescindibile per una corretta progettazione ed esecuzione di un involucro edilizio e non a caso, a tal riguardo, le direttive comunitarie hanno introdotto già da anni una classificazione di requisiti cogenti e di requisiti raccomandati miranti alla piena valorizzazione e fruibilità dell'immobile.

Il requisito di **resistenza meccanica** alle azioni esterne, intesa come risorsa necessaria a garantire la stabilità dell'edificio, costituisce ovviamente una proprietà intrinseca fondamentale, ma è altrettanto evidente che la sola stabilità non esaurisce le prestazioni di carattere meccanico che l'involucro strutturale è chiamato a fornire.

La qualità dell'edificio è spesso, infatti, pesantemente condizionata dalle prestazioni in esercizio delle strutture murarie e il soddisfacimento di requisiti minimi di compatibilità con le **sollecitazioni di carattere ambientale** può rappresentare una condizione di progetto ben più severa dei carichi stessi per i quali la struttura muraria è stata progettata.

Da ciò consegue la necessità di un ripensamento dei criteri di progettazione strutturale, attribuendo la dovuta attenzione alle verifiche in condizioni di esercizio.

Va inoltre considerato che la ricerca di una qualità superiore ha comportato l'esigenza di modificare il sistema costruttivo, individuando nel **blocco alleggerito di grandi dimensioni** la risposta alle variegate prestazioni meccaniche, termiche ed acustiche richieste. Tuttavia tale processo è spesso avvenuto trasferendo acriticamente alle murature alveolate di uso oggi corrente i concetti mutuati dalle tradizionali murature in mattoni pieni senza tenere nel debito conto l'effetto scala conseguente alle mutate dimensioni dei blocchi, al minor peso dei componenti, alle diverse modalità di allettamento ed alla modifica dei meccanismi di fessurazione e di rottura.

È pertanto l'uso improprio dei materiali e dell'organismo murario, e non tanto carenze congenite del laterizio, la causa a cui ascrivere il decadimento nel tempo delle caratteristiche meccaniche e la perdita conseguente di prestazioni a cui si espone inevitabilmente la struttura in assenza di azioni correttive.

Queste considerazioni rendono evidente che le murature devono possedere adeguate caratteristiche intrinseche di resistenza, duttilità e durabilità, tenuto conto anche del fatto che le coazioni di natura ambientale si presentano sempre di incerta quantificazione.

La piena rispondenza alle necessità delineate può essere assicurata, a parere degli Autori, mediante l'impiego mirato, anche in zone non sismiche o classificate a bassa sismicità, della **muratura armata** intesa come sistema costruttivo autonomo e distinto che, associando i pregi del laterizio e dell'acciaio, può consentire di sfruttare al meglio le qualità di entrambi i materiali.

Tale proposta si inserisce pertanto nel contesto dell'Eurocodice 6 che introduce, accanto alla muratura semplice, la

muratura armata e la muratura confinata come sistemi costruttivi da impiegare in un'ottica prestazionale. A tale riguardo si illustrano alcuni case histories sperimentati con successo.

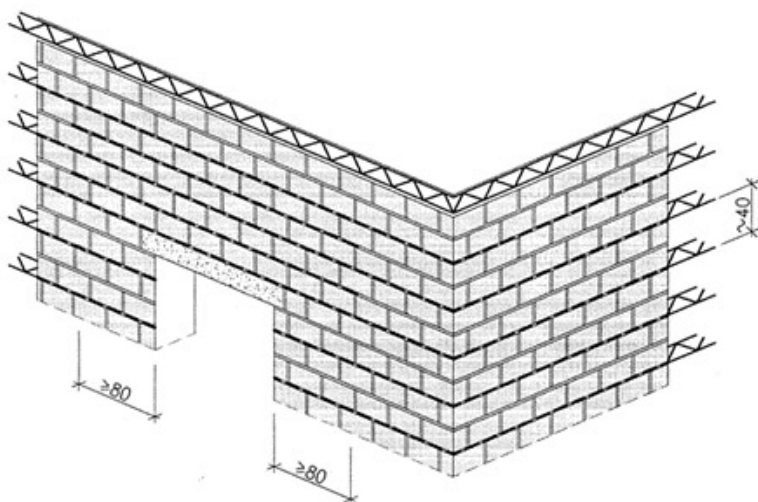


Fig. 1 - Disposizione delle armature orizzontali in corrispondenza di discontinuità (misure in cm).

### Il sistema muratura armata

La muratura armata è nata principalmente come sistema costruttivo per le strutture di edifici posti in zona sismica ed è così definita dalla normativa sismica vigente (D.M. 16.01.1996, par. C.5.3):

"... per muratura armata s'intende quella costituita da elementi resistenti artificiali semipieni tali da consentire la realizzazione di pareti murarie incorporanti apposite armature metalliche verticali ed orizzontali. I blocchi devono essere collegati mediante malta di classe M2-M1 che deve assicurare il riempimento sia dei giunti orizzontali, sia dei giunti verticali."

La valenza della muratura armata è peraltro, come già delineato, più ampia di quella esclusivamente votata al conferimento di resistenza alle azioni orizzontali ed essa può essere efficacemente utilizzata come metodo costruttivo in grado di consentire alla struttura muraria un soddisfacente comportamento in esercizio nei confronti delle azioni di natura sostanzialmente coattiva.

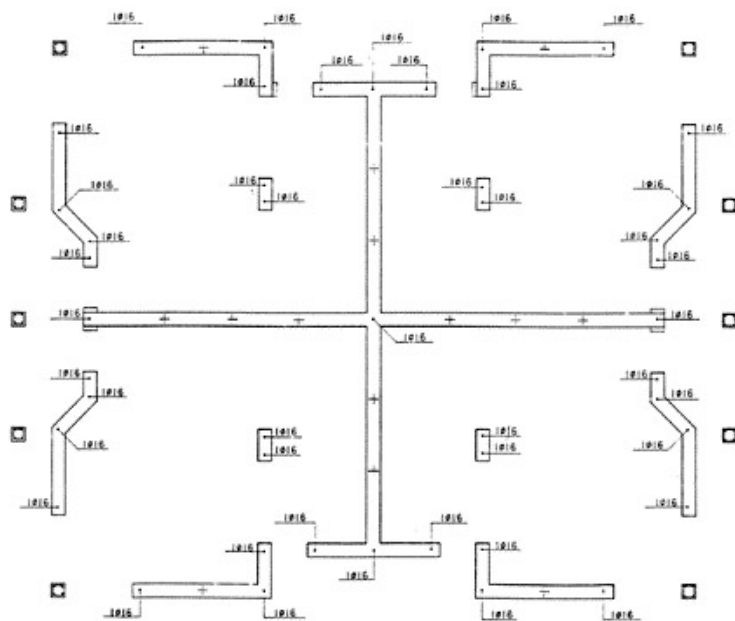


Fig. 2 - Esempio di disposizione delle armature verticali (pianta).

Tali azioni cimentano le strutture nel corso della loro vita utile, con sollecitazioni d'intensità paragonabile a quelle indotte dai carichi esterni ed a cui conseguono effetti spesso indesiderati.

È infatti abbastanza frequente riscontrare nelle murature, siano esse portanti o di tamponamento, tutta una serie di difetti, quali cavillature e lesioni, che possono essere fatte risalire a fenomeni coattivi o a movimenti imposti e sulla cui genesi si trova ampia traccia nella letteratura tecnica.

L'impiego della muratura armata come sistema costruttivo anche per gli edifici posti in zone non classificate sismiche o classificate a basso rischio sismico può ridurre tali problematiche.

A tal proposito si elencano di seguito alcuni dei vantaggi che la muratura armata può offrire. In particolare risulta possibile:

- limitare i fenomeni fessurativi caratteristici dei materiali non resistenti a trazione e conseguenti agli effetti delle variazioni termiche, del ritiro, di concentrazione di sollecitazioni in prossimità di aperture e cavedi o in corrispondenza di carichi concentrati o di sezioni indebolite, nonché dei cedimenti imposti;
- incrementare la resistenza ai carichi agenti ortogonalmente al piano della muratura, quali ad esempio l'azione del vento e la spinta del terreno, favorendo i meccanismi resistenti a piastra;
- incrementare la resistenza ai carichi agenti nel piano della muratura, come nel caso degli architravi;
- migliorare il collegamento nelle zone d'intersezione dei muri o tra le pareti componenti murature a cassa vuota, a doppio strato o di rivestimento.

La valenza di questo sistema costruttivo trova inoltre ampia enfasi nell'ambito della normativa europea e nella norma UNI di recepimento che definisce, oltre ai criteri di calcolo delle strutture portanti realizzate con l'impiego di murature, anche regole specifiche concernenti resistenza, sicurezza e durabilità.

Particolarmente interessanti risultano i paragrafi 5 "Particolari costruttivi strutturali" e 6 "Esecuzione" dell'Eurocodice 6, UNI ENV199-1-1 "Progettazione delle strutture in muratura", nei quali vengono specificatamente identificate sia la muratura armata sia la muratura confinata come sistemi costruttivi in un codice non espressamente indirizzato alle murature per le zone sismiche.

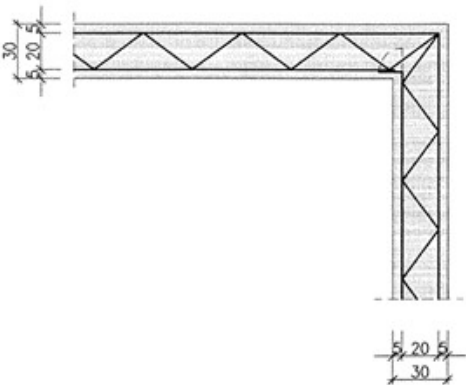
In relazione a tali recenti orientamenti si ritiene utile riportare alcune osservazioni ed esperienze pratiche relative a questa tecnica costruttiva impiegata nella realizzazione di alcuni edifici in zona non sismica, aventi caratteristiche tipiche.

### **Tipologia strutturale ed architettonica**

- costruzione di edifici di civile abitazione, villette mono-bi-tri familiari;
- numero massimo di piani fuori terra pari a tre;
- solai in latero-cemento;
- strutture di tipo misto quali muratura armata e c.a.;
- fondazioni di tipo diretto a platea o a travi continue in c.a..

### **Materiali**

- blocchi alleggeriti in pasta semipieni di dimensioni 30x25x19 cm, percentuale di foratura max 45%, resistenza caratteristica dei blocchi maggiore di 10 N/mm<sup>2</sup>, peso specifico apparente 800 daN/m<sup>3</sup>;
- malta cementizia tipo M2 con resistenza superiore a 8 N/mm<sup>2</sup>, spessore dei giunti di malta verticali ed orizzontali pari a 10-15 mm, allettamento a giunto completo;
- armatura orizzontale realizzata con traliccio a fili zincati a caldo ( $Zn > 60 \text{ gr/m}^2$ ), di diametro  $\varnothing = 4-5 \text{ mm}$ , di area complessiva pari a 50 mm<sup>2</sup> e larghezza trasversale di 200 mm, avente una tensione di snervamento di 500 N/mm<sup>2</sup> e tensione di rottura pari a 550 N/mm<sup>2</sup>;
- armatura verticale costituita da barre in acciaio FeB44K controllato, di diametro  $\varnothing = 12-16 \text{ mm}$ .



L'impiego del blocco in laterizio alleggerito semipieno, l'utilizzo del giunto di malta completo e l'inserimento mirato di armatura costituiscono pertanto le caratteristiche salienti che contraddistinguono i prototipi realizzati e che assicurano, unitamente a requisiti di resistenza e duttilità, anche una garanzia di durabilità nel tempo.

Fig. 3 – Raccordo angolare delle armature orizzontali nel caso di giunti tradizionali (misure in cm).

### **Criteri di scelta delle armature orizzontali**

Il primo aspetto da considerare nella scelta delle armature riguarda la loro durabilità, in relazione alle condizioni ambientali in cui la struttura si trova inserita.

Allo scopo EC6 individua cinque classi di esposizione:

- classe 1: ambiente secco
- classe 2: ambiente umido
- classe 3: ambiente umido con gelo
- classe 4: ambiente marino
- classe 5: ambiente chimico aggressivo

In base alla classe di esposizione si individua l'entità del **copriferro laterale** tenendo presente che, nel caso in cui si preveda l'impiego di acciaio al carbonio non protetto da trattamenti superficiali, viene prescritto un copriferro laterale

variabile da 20 mm per la classe di esposizione 1 a 40 mm per la classe di esposizione 5; nel caso di impiego di acciaio protetto (zincato, inossidabile o con protezione equivalente) il copriferro laterale minimo prescritto deve essere maggiore di 15 mm.

Un altro aspetto fondamentale da tenere in considerazione nella scelta del copriferro laterale, e conseguentemente nella scelta della larghezza del traliccio, è la presenza di **nicchie ed incassature** destinate all'alloggiamento degli impianti.

Utili indicazioni a tal proposito sono riportate nel prospetto 5.3 del citato EC6 "*Dimensioni delle incassature orizzontali ed inclinate, consentite senza effettuare calcoli*" che, ad esempio, per una muratura di 30 cm di spessore fissa in 30 mm la massima profondità di un'incassatura verticale formata "dopo" la costruzione della muratura.

Tenuto conto che le costruzioni prese in considerazione ricadono nella classe di esposizione 3 (ambiente umido con elementi esposti al gelo) si è effettuata la scelta di aumentare il copriferro laterale a 50 mm anche per l'inevitabile presenza di tracce per impianti.

Nei casi in esame si sono pertanto utilizzati tralicci larghi 200 mm, garantendo in tal modo sia la durabilità che l'integrità delle armature orizzontali.

È evidente peraltro come tali dimensioni di incassature consentono l'alloggiamento solo di impianti elettrici e di segnalazione, mentre per gli impianti idro-termici, per le canne fumarie e di esalazione e per le dorsali degli stessi impianti elettrici la muratura va organizzata in sede di progetto se si vuole evitare di scadere pericolosamente in qualità ed annullare persino l'efficacia del sistema descritto.

### **Dimensionamento delle armature**

Nelle costruzioni a cui si fa riferimento la funzione principale delle armature è quella di prevenire e contenere i fenomeni fessurativi, senza con questo trascurare specifici scopi portanti nei confronti delle azioni orizzontali.

Il dimensionamento è quindi principalmente dettato da regole pratiche di esecuzione basate su un'esperienza consolidata e mirata a garantire al sistema una diffusa capacità di far fronte, con resistenze superiori e con un comportamento più duttile, alle sollecitazioni derivanti da coazione o cedimento imposto.

S'intende che l'approccio pragmatico può essere integrato con analisi mirate a definire nel dettaglio stati di sollecitazioni locali, quali ad esempio le zone di concentrazione dei carichi, di variazione di geometria ed in corrispondenza delle aperture, ricorrendo, ad esempio, a modelli ad elementi finiti qualora la forma e la geometria dell'opera ne richiedano l'impiego.

I tralicci d'armatura orizzontali sono stati posti in opera ogni due corsi di blocchi, con un distanziamento in verticale di 40 cm e con un infittimento ad ogni corso in corrispondenza delle discontinuità quali spigoli, porte e finestre. In tal modo si conferisce un concreto presidio contro fessurazioni verticali ed inclinate.

Le armature verticali sono state disposte in corrispondenza delle testate delle pareti, degli angoli, degli incroci e delle spalle delle murature portanti in modo da realizzare un efficace collegamento in grado di presidiare, soprattutto nelle murature dei piani più alti (meno compresse), la tendenza alla fessurazione orizzontale imputabile ai movimenti della copertura ed alla rotazione dell'ultimo solaio.

### **Modalità di esecuzione**

#### ***Posa delle armature verticali***

A struttura di fondazione ultimata è stato posato a secco il primo corso di blocchi in modo da individuare la posizione esatta delle armature metalliche verticali [fig. 4].

Eseguiti i fori nella fondazione [fig. 5], le barre sono state ancorate con resina epossidica [fig. 6]. Montati i primi corsi di blocchi lasciando vuoto il foro per l'alloggiamento dell'armatura, lo si è poi riempito con la malta e si è inserita la barra di ripresa [fig. 7].

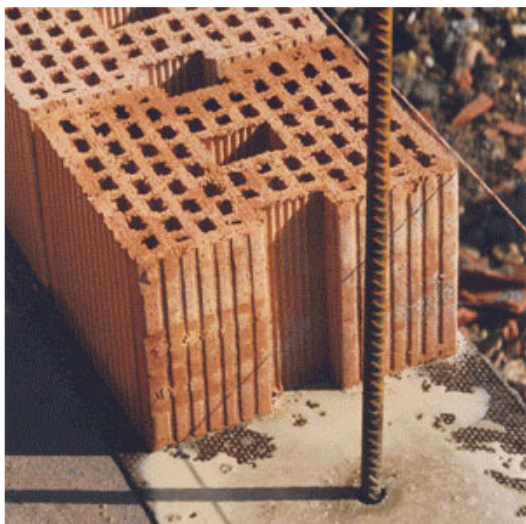
Le operazioni di messa in opera sono state semplificate dalla presenza di pezzi speciali (mezzo blocco).



*Fig. 4 - Disposizione del primo corso di blocchi "a secco" ed individuazione della posizione delle armature verticali.*



*Fig. 5 - Impiego di una miscela (resina epossidica) per l'ancoraggio delle barre in fondazione.*



*Fig. 6 - Inserimento della barra in fondazione.*



*Fig. 7 - Giunzione per sovrapposizione delle barre di armatura verticali.*

### **Posa delle armature orizzontali**

Per la corretta messa in opera delle armature orizzontali occorre procedere dapprima alla posa dello strato di malta, di spessore variabile da 10 a 15 mm, e poi appoggiare il traliccio, immergendolo nella malta con una leggera pressione.

In molti casi si riscontra tuttavia l'adozione della procedura inversa, ossia la posa in opera prima del traliccio e poi della malta [figg. 8, 9], con il rischio di non riuscire a garantire un copriferro inferiore delle barre.

Altri aspetti esecutivi importanti da verificare attentamente in cantiere sono le giunzioni dei tralicci e la formazione degli angoli, per dare continuità alla armatura.

Vanno in tal senso evitate le sovrapposizioni in spessore dei due tralicci, che comporterebbero copriferri insufficienti, tagliando e piegando le armature secondo gli schemi forniti dal produttore.

Una soluzione alternativa impiegata per evitare la sovrapposizione delle staffe in corrispondenza delle intersezioni tra murature (angoli) è quella di disporre le stesse "alternate", in una parete in corrispondenza dei corsi dispari e nell'altra nei corsi pari.



*Fig. 8 - Disposizione delle staffe di armatura orizzontali: le staffe, sempre chiuse, possono essere di forme diverse. La scelta del tipo di acciaio dipende invece dalle condizioni ambientali.*



*Fig. 9 - Muratura armata in fase di costruzione.*

### **Esecuzione dei giunti di malta**

La realizzazione di un giunto completo di malta costituisce un ulteriore elemento di qualità della muratura.

Esperienze condotte dagli Autori e recenti ricerche condotte presso l'Università di Ancona, nonché lo stesso EC6, mostrano come la muratura realizzata con giunto interrotto, ossia con due strisce di malta parallele di larghezza di circa 10 cm, muta radicalmente il proprio meccanismo di rottura con crisi anticipata per trazione delle cartelle interne trasversali che lavorano a ponte tra i due letti di malta.

Le penalizzazioni che ne conseguono in termini di resistenza risultano drastiche ed il ricorso a tale tipologia di muratura

(shell-bedded) è da sconsigliare decisamente tenendo presente che, a seguito delle coazioni, essa risulta soggetta anche a sforzi di trazione anche nel piano longitudinale, con ulteriore riduzione di resistenza per trazione biassiale.

## **Conclusioni**

Alcuni degli edifici realizzati con il sistema costruttivo precedentemente descritto sono stati ultimati da oltre due anni e non presentano cavillature e lesioni, tipiche di edifici analoghi realizzati in muratura non armata con blocchi alleggeriti. Tale constatazione conferma la validità dell'utilizzo del sistema muratura armata anche in zone a basso rischio sismico come sistema costruttivo autonomo, in grado di soddisfare egregiamente, con apporti di armatura quantitativamente limitati, il cosiddetto stato limite di servizio del fabbricato, nei confronti di sollecitazioni aventi natura ciclica od evolutiva nel tempo.

Il riconoscimento del Ministero dei LL.PP. del sistema muratura armata, come metodo di costruzione specifico utilizzabile senza preventiva autorizzazione, amplia la possibilità del suo impiego rendendo disponibili soluzioni costruttive alternative di facile impiego, rapide ed economiche.

Per una muratura in blocchi di spessore di 30 cm, l'incremento di costo dovuto alla fornitura e posa in opera dell'armatura orizzontale e verticale rispetto ad una soluzione tradizionale non armata, risulta estremamente contenuto: nel caso di una villetta unifamiliare di medie dimensioni l'incremento di costo complessivo può essere considerato dell'ordine di circa 1500 Euro.

Considerando la maggiore qualità del prodotto fornito ed il risparmio in termini di manutenzione per il ripristino di eventuali cavillature o lesioni, si può ritenere valida la scelta di adottare la muratura armata come sistema costruttivo anche per edifici posti in zone a bassa sismicità.

## **Bibliografia**

Eurocodice 6 (UNI ENV 1996-1-1), *"Progettazione delle strutture di muratura, Parte 1-1. Regole generali per gli edifici - Regole per le murature armate e non armate"*

D.M. 16.01.1996 - *"Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"*

D.M. 20.11.1987 - *"Norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento"*

Manuale BEKAERT - Sistema Murfor: armature per murature

F. Bazzocchi, A. Gambi, M. Lenzi, F. Nuti, C. Savelli *"Progettazione ed esecuzione di murature in blocchi"*, Costruire in Laterizio, novembre 1998

## **Note**

Le foto sono state fornite dal Consorzio POROTON® Italia.