

## Strutture miste con pareti in muratura portante, con riferimento al D.M. 14/01/2008

*Il ritorno di interesse per la **muratura portante ordinaria o armata**, conseguente all'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008, è alimentato anche dalla rinnovata e ampliata possibilità di adottare **strutture miste**, introdotte per la prima volta nel D.M. 16/01/1996 (di seguito DM'96).*

*Le strutture miste infatti permettono di realizzare **costruzioni in muratura portante integrata con elementi di diversa tecnologia** per sopportare i soli carichi verticali.*

*Dal punto di vista architettonico questa possibilità fornisce maggiore libertà di composizione degli spazi esterni e flessibilità di distribuzione degli spazi interni. Possono infatti realizzarsi porticati o logge esterne e creare ampi ambienti interni.*

*L'impiego della **struttura mista** permette la realizzazione di **costruzioni in muratura portante adeguatamente concepite dal punto di vista strutturale** e, al tempo stesso, architettonicamente svincolate da limitazioni troppo restrittive.*



## Le strutture miste con pareti in muratura portante secondo le NTC 2008

Le **strutture miste**, che nella pratica sono sempre state realizzate e quindi verificate (nel campo delle costruzioni di medio-piccola dimensione, è raro trovare una struttura per così dire "pura" - solo in c.a. o solo in muratura), vengono regolamentate per la prima volta nell'ambito delle costruzioni in muratura nel decreto DM'96, così come è accaduto per la muratura armata.

Il concetto della struttura mista comprende organismi strutturali che presentano **elementi verticali in muratura ed in altra tecnologia** (cemento armato, acciaio, legno, etc..) disposti altimetricamente allo stesso piano, oppure disposti altimetricamente su piani successivi (come precisato al §7.8.4 della Circolare alle NTC 2008).

È consentito infatti, sin dal decreto DM'96, realizzare l'ultimo piano di un edificio in muratura portante con una struttura di differente tecnologia, purché siano rispettate alcune specifiche condizioni indicate al §7.8.4 delle NTC 2008. Tale soluzione strutturale sembra riferirsi, tuttavia, più alla possibilità di sopraelevazione di un edificio in muratura portante, che al progetto di nuova costruzione.

La maggioranza delle **strutture miste con pareti in muratura portante** è rappresentata infatti da costruzioni con elementi in altra tecnologia disposti altimetricamente allo stesso piano delle murature. In questi casi la resistenza all'azione sismica viene affidata esclusivamente agli elementi resistenti della struttura muraria, considerata l'elevata rigidità di tali elementi rispetto a quelli in diversa tecnologia, quali ad esempio pilastri in c.a.. La rigidità delle pareti in muratura in campo lineare è infatti prevalente nell'assorbire le azioni sismiche.

Le recenti NTC 2008, al §7.8.4, offrono la possibilità di realizzare strutture miste con pareti in muratura ordinaria o armata, purché la **resistenza all'azione sismica** venga affidata agli elementi di identica tecnologia. Dunque è permesso affidare la resistenza alle azioni orizzontali alle sole pareti in muratura, oppure alle sole strutture di altra tecnologia (per esempio pareti in c.a.), rispettando le pertinenti regole di progettazione, a seconda della scelta progettuale.

In recepimento dei risultati ottenuti da ricerche condotte presso alcune Università Italiane [1, 2], le **NTC 2008** estendono ulteriormente la possibilità di impiego di strutture miste rispetto al DM'96, riprendendo le indicazioni introdotte nell'O.P.C.M. 3431 del 03/05/2005. Esse prevedono infatti che si possa anche considerare la **collaborazione delle pareti in muratura e dei sistemi di diversa tecnologia** nella resistenza alle azioni sismiche, purché essa venga verificata utilizzando i metodi di analisi non lineare, al fine di valutare adeguatamente i diversi contributi di elementi caratterizzati da rigidità, resistenze e capacità deformative molto differenziate tra di loro (come richiamato al §7.8.4 della Circolare alle NTC 2008). In questo caso i collegamenti fra gli elementi di diversa tecnologia devono essere verificati, prestando attenzione anche alla compatibilità delle deformazioni degli elementi strutturali stessi.

Il ruolo svolto dagli orizzontamenti ai fini della ripartizione dell'azione sismica fra i muri di controventamento, richiesto per le costruzioni in muratura portante, è fondamentale anche nel caso delle strutture miste.

Il solaio rigido nel proprio piano riesce a trasferire le azioni orizzontali alle pareti in muratura proporzionalmente alla rigidità di ciascuna parete, dunque eventuali pilastri non parteciperanno all'assorbimento dell'azione sismica, mentre il solaio deformabile non ripartisce le azioni sismiche, che si distribuiscono sugli elementi verticali in base all'area di influenza.

Nel caso in cui gli orizzontamenti siano realizzati in legno, possono considerarsi rigidi

completando l'orizzontamento stesso con un caldano in c.a. di 5 cm circa (§7.2.6 delle NTC 2008), con funzioni anche di isolamento acustico, dato che aumenta la massa.

## Le strutture miste con pareti in muratura portante: approfondimento ed aspetti particolari

Con riferimento all'ambito di applicazione pratica, la soluzione più diffusa corrisponde a quella di edifici con **struttura in muratura portante perimetrale (ordinaria o armata) con la presenza di pilastri in c.a.** interni e/o esterni (Fig. 1).

Tale soluzione garantisce libertà distributiva interna e flessibilità architettonica esterna, ed al tempo stesso permette di realizzare un involucro perimetrale in grado di assorbire le azioni sismiche, termo-igrometricamente omogeneo (privo di ponti termici dovuti ai pilastri), dotato di elevata inerzia termica e capace di garantire elevato isolamento acustico.

Per edifici di medio-piccole dimensioni la muratura portante impiegata come muratura perimetrale, integrata a pilastri interni e/o esterni, risulta essere una soluzione ideale, anche dal punto di vista economico.



Fig. 1 - Realizzazione tipo di strutture miste: muratura armata perimetrale e pilastro interno (a sinistra), muratura armata perimetrale e pilastro esterno (a destra).

Nelle strutture miste, con muratura portante perimetrale (ordinaria o armata) e pilastri in c.a. interni e/o esterni, la normativa richiede in sostanza di realizzare orizzontamenti rigidi, in modo da non fare gravare sui pilastri le azioni sismiche.

In questa condizione si osserva che i pilastri, per non partecipare alla resistenza dell'azione sismica, devono avere capacità deformative maggiori rispetto le pareti in muratura. Ciò implica che la verifica della compatibilità delle deformazioni tra muratura e pilastri non è necessaria.

I concetti fin qui espressi risultano essere intuitivi e per certi versi banali. Sembra meno banale approfondire, riprendendo e sviluppando argomenti già trattati in "L'edificio in muratura" [3], la reale "omogeneità" della risposta ai carichi orizzontali di una struttura mista in funzione della quantità relativa di elementi in altra tecnologia rispetto alla muratura. Intendendo per "omogeneità" ai carichi orizzontali, il fatto che essi vengano assorbiti esclusivamente da una sola tipologia di sistema costruttivo, nel caso allo studio dalle sole pareti in muratura.

Per fornire un riferimento utile, rispetto cui una struttura mista possa essere considerata "omogenea" piuttosto che "mista" ai carichi orizzontali, si analizza nel seguito un esempio pratico, limitandoci alla sola direzione X.

La pianta della costruzione riportata in Fig. 2, ipotizzando che abbia tre piani fuori terra, solai rigidi e che sia ubicata in zona 3, può essere considerata semplice e per questo può essere progettata secondo il metodo semplificato (§4.5.6.4 e §7.8.1.9 delle NTC 2008). Può essere realizzata sia in muratura ordinaria che in muratura armata, adeguando lo spessore delle pareti per rispettare le percentuali minime di pareti resistenti indicate in Tabella 7.8.III delle NTC 2008.

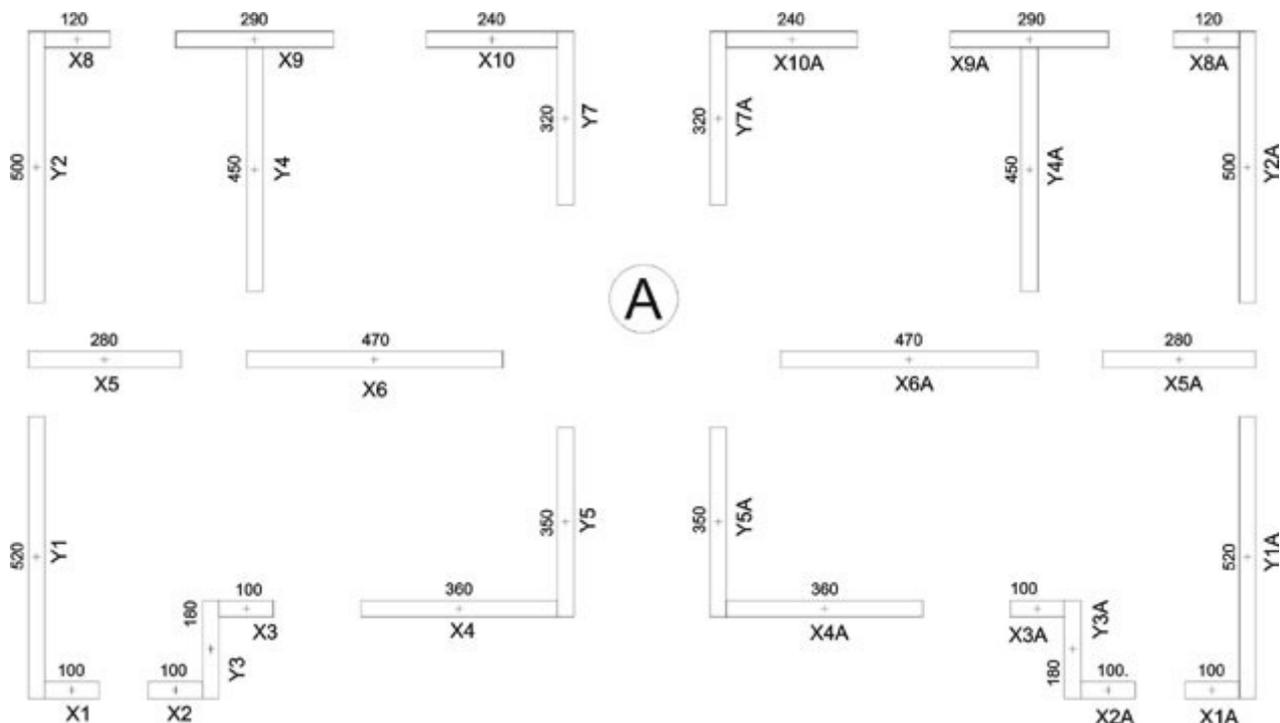


Fig. 2 - Pianta tipo di una costruzione in muratura portante (configurazione A, dimensioni in cm).

Sostituendo le pareti X5 e X5A con due pilastri (30x30 cm), si ottiene la configurazione B (Fig. 3).

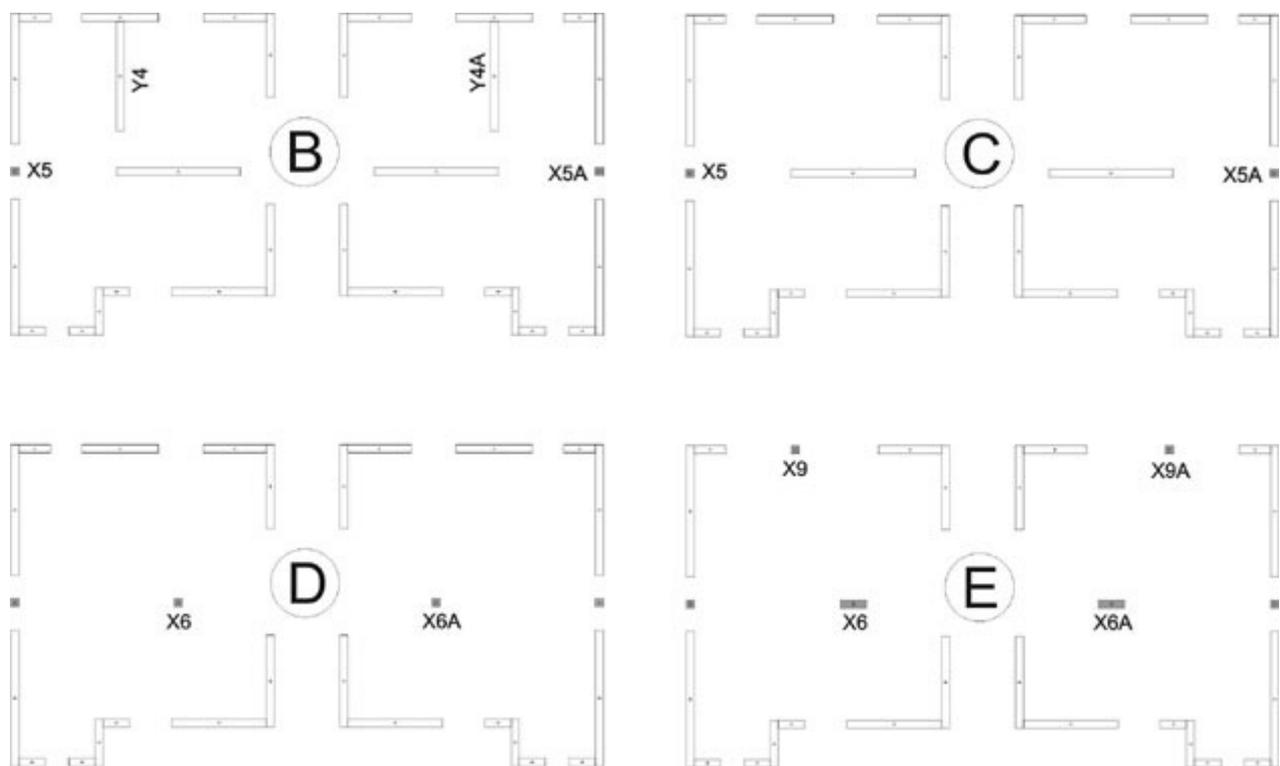


Fig. 3 - Pianta in struttura mista alternative, ottenute a partire dalla pianta tipo (configurazione A).

La rigidità percentuale degli elementi in cemento armato rispetto la rigidità totale della struttura è di circa 0.2%. La struttura è diventata mista, ma rimane "omogenea" ai carichi orizzontali, che vengono interamente assorbiti dalle pareti in muratura. Si osserva che l'edificio è ancora semplice dato che i carichi verticali portati dai pilastri equivalgono al 5% dei carichi verticali totali. Questo significa infatti che il requisito di avere almeno il 75% dei carichi verticali portati da pareti resistenti alle azioni orizzontali (§7.8.1.9 NTC 2008), è rispettato.

Anche in questo caso l'edificio si può realizzare sia in muratura ordinaria che in muratura armata, adeguando lo spessore delle pareti.

La planimetria C (Fig. 3) si ottiene eliminando le pareti Y4 e Y4A, l'edificio non è più semplice dato che l'interasse delle pareti in direzione Y risulta ora essere maggiore dei 7 m o 9 m, rispettivamente per muratura ordinaria ed armata. I carichi verticali portati dai pilastri corrispondono al 6% del totale. La rigidità percentuale degli elementi in c.a. rispetto la rigidità totale della struttura in direzione X, risulta invariata rispetto il caso precedente, dunque la struttura mista rimane "omogenea" ai carichi orizzontali.

Dato che l'edificio non è più semplice va verificato con un'analisi estesa. Applicando l'analisi lineare la verifica sismica è assolta se si impiega una muratura armata con normali quantità di armatura, mentre richiede una analisi non-lineare per verificare la costruzione realizzata con muratura ordinaria.

Sostituendo anche le pareti X6 e X6A con due pilastri (30x30 cm), si ottiene la configurazione D (Fig. 3). I carichi verticali portati dai pilastri corrispondono al 33% del totale e la rigidità percentuale degli elementi in c.a. rispetto la rigidità totale della struttura, diventa di circa 0.6%. La struttura mista rimane "omogenea" ai carichi orizzontali. La verifica estesa è positiva se si adottano quantità medie di armatura, impiegando un'analisi non-lineare, mentre la muratura ordinaria non è verificata.

Sostituendo infine le pareti X9 e X9A con due pilastri (30x30 cm) e sostituendo i pilastri X6 e X6A con due setti in cemento armato (100x30 cm), si arriva alla configurazione E (Fig. 3). I carichi verticali portati dagli elementi in c.a. diventano 40% del totale. La rigidità percentuale degli elementi in cemento armato rispetto la rigidità totale della struttura, raggiunge il 14.5%. La struttura reagisce ai carichi orizzontali come una struttura "mista". La verifica estesa deve essere eseguita con analisi non-lineare in ogni caso, per tenere conto della interazione tra pareti in muratura armata ed elementi in c.a. .

Il valore di rigidità percentuale degli elementi in cemento armato ottenuto nel caso studio, è in linea con il limite imposto dalla normativa per gli elementi secondari. Questi ultimi debbono infatti, secondo le NTC 2008, fornire un contributo alla rigidità totale sotto azioni orizzontali non superiore al 15% dell'analoga rigidità degli elementi principali (§7.2.3), oltrepassato questo limite diventa evidente che tali elementi non possono più essere considerati secondari.

## Conclusioni

Le strutture miste rappresentano un sistema costruttivo adatto alle costruzioni di medio-piccole dimensioni per i vantaggi economici, di flessibilità distributiva interna e di libertà compositiva esterna.

Il principio su cui si basa la normativa, che affida le azioni orizzontali agli elementi di identica tecnologia, nel nostro caso le pareti in muratura, risulta confermato e coerente con la risposta ai carichi orizzontali della struttura mista analizzata.

Il caso studio discusso conferma che configurazioni di strutture miste quali B, C, D, sono effettivamente "miste" per i carichi verticali, mentre si possono ancora considerare "omogenee" rispetto ai carichi orizzontali, che vengono assorbiti quasi esclusivamente dalle pareti in muratura. Solo quando gli elementi in c.a. assumono dimensioni confrontabili a quelle della muratura (configurazione E), introducendo dei setti anziché dei pilastri, il comportamento strutturale diventa "misto" anche in relazione ai carichi orizzontali, e risulta dunque necessario svolgere la verifica con analisi non-lineare (statica o dinamica), come indicato dalle NTC 2008.

Il valore di rigidezza percentuale degli elementi in cemento armato ottenuto nel caso studio (14.5%) è coerente con il limite del 15% imposto sul contributo alla rigidezza degli elementi secondari al §7.2.3 delle NTC 2008, che può perciò essere assunto come riferimento dal progettista per decidere se la struttura mista si trova nelle condizioni per cui è necessario considerare la collaborazione delle murature e degli elementi di diversa tecnologia per resistere al sisma, e procedere dunque con analisi non lineare.

Una ulteriore considerazione che emerge dallo studio svolto riguarda l'impiego dell'analisi statica non-lineare: essa permette infatti di verificare la struttura che diventa sempre più complicata, anche quando l'analisi statica lineare fornisce esito negativo. In particolare sembra che l'analisi statica lineare riesca a soddisfare la verifica sismica fintanto che il 75% dei carichi verticali sono portati da pareti resistenti alle azioni orizzontali, requisito questo richiesto per gli edifici "semplici".

## Bibliografia

[1] Nardone F., Verderame G.M., Prota A., Manfredi G., *"Analisi comparativa su edifici misti in c.a. - muratura"*, Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti in c.a., Roma, 29-30 maggio 2008 (Publicazione reluis).

[2] Cattari S., Lagomarsino S., *"Formulazione di elementi non lineari per l'analisi degli edifici esistenti a struttura mista muratura-c.a."*, XII Convegno ANIDIS "L'Ingegneria sismica in Italia", Pisa, 10 -14 Giugno 2007.

[3] Righetti G., Bari L., *"L'edificio in muratura"* 2° edizione, Edizioni B.I.N., 1999.

---

**Autore: Flavio Mosele, Lorenzo Bari**