

Progettare e costruire con la muratura armata

La muratura armata associa laterizio e acciaio consentendo di sfruttare al meglio le qualità di entrambi i materiali: il risultato è una struttura molto duttile, in grado di fornire prestazioni eccezionali, certamente non inferiori rispetto ad altri sistemi costruttivi, con riflessi interessanti anche di tipo economico. Non è un caso dunque che, dopo una lunga sperimentazione, oggi la muratura armata registri una buona diffusione con riscontri ampiamente soddisfacenti

L'idea di armare la muratura per migliorarne la resistenza alle sollecitazioni di trazione non è certo recente: anche se il sistema costruttivo, come attualmente conosciuto, è databile alla fine dell'Ottocento (contemporaneo, quindi, alla sperimentazione del calcestruzzo armato), le soluzioni di muratura portante con intelaiatura in legno o metallo sono vecchie di secoli. Si pensi alle *Colombage* francesi, ai *Fachwerk* tedeschi e, più recentemente, alle architetture sperimentali ottocentesche di Anatole de Baudot o, ancora, alle numerose proposte di soluzioni tecniche in muratura armata avanzate da più parti subito dopo il terremoto di Messina e Reggio Calabria del 1908. Essendo una struttura lineare, la muratura armata è concepita come un sistema costruttivo tridimensionale in cui le pareti, gli orizzontamenti e le fondazioni sono

collegati tra loro in modo da resistere alle azioni verticali ed orizzontali, grazie al conseguente comportamento scatolare.

Anche per tale motivo, la risposta strutturale di un edificio migliora quanto maggiori sono la sua compattezza, la sua regolarità morfologica e costruttiva, la sua simmetria rispetto ai due assi ortogonali.

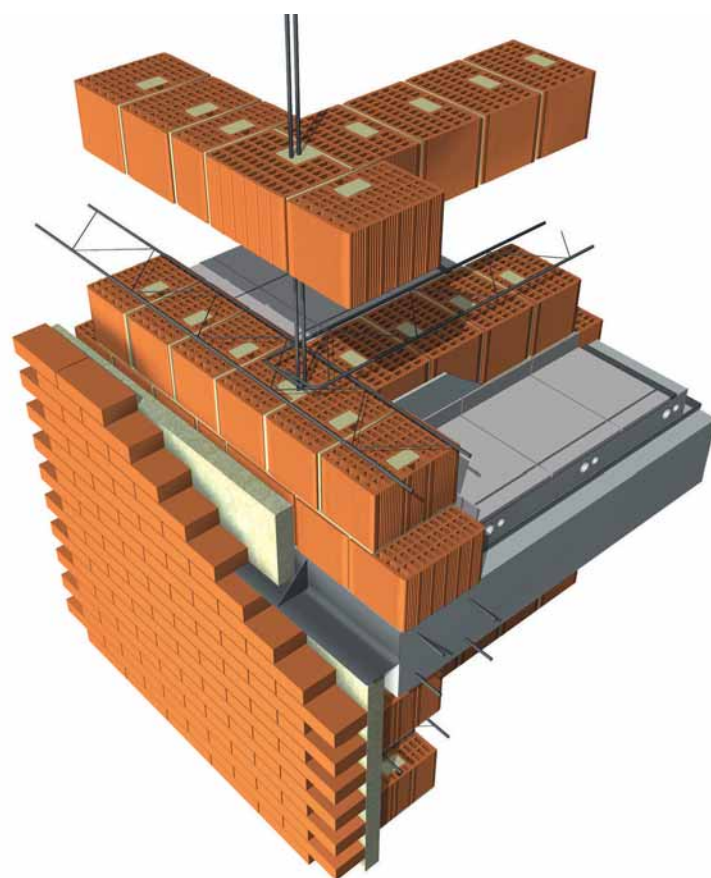
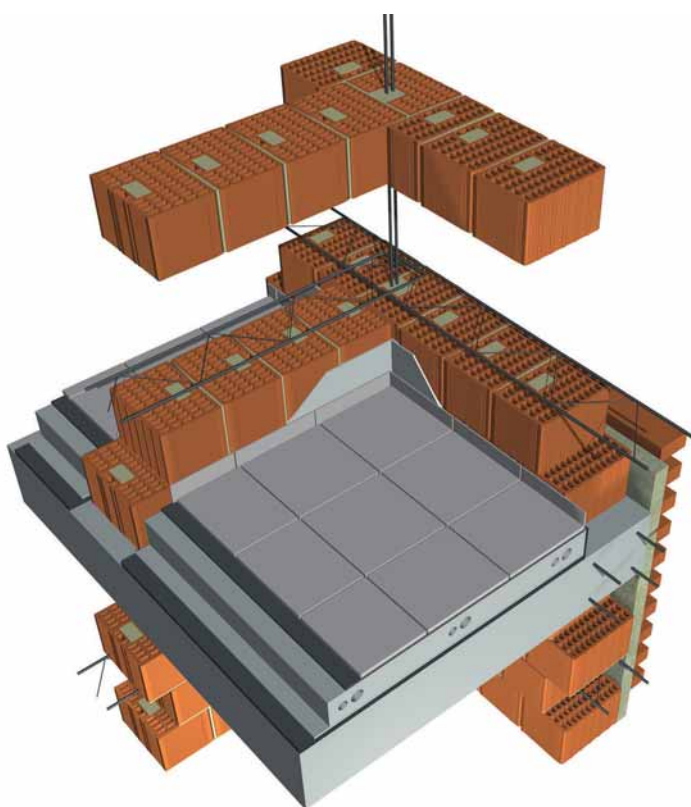
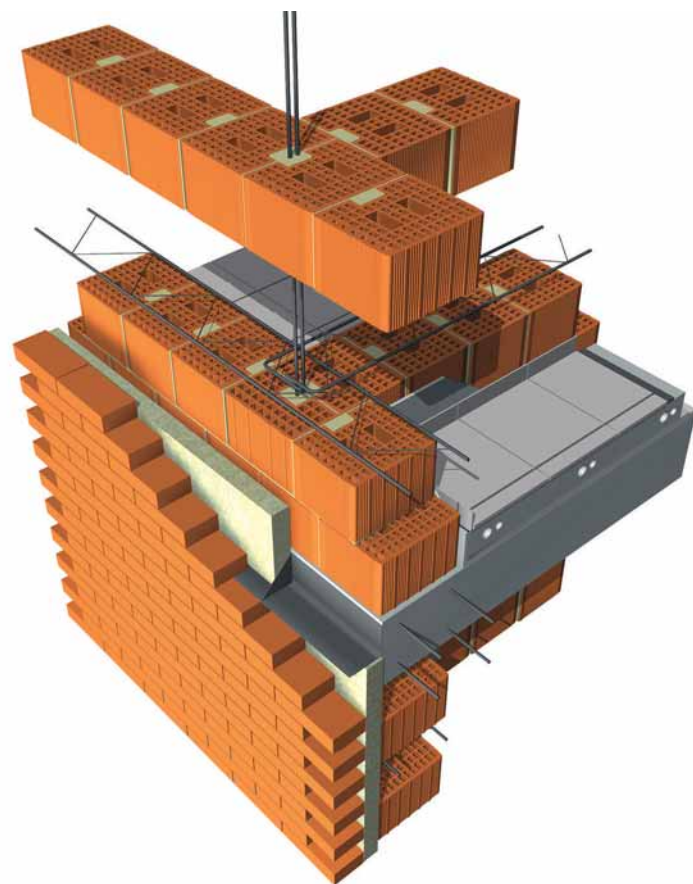
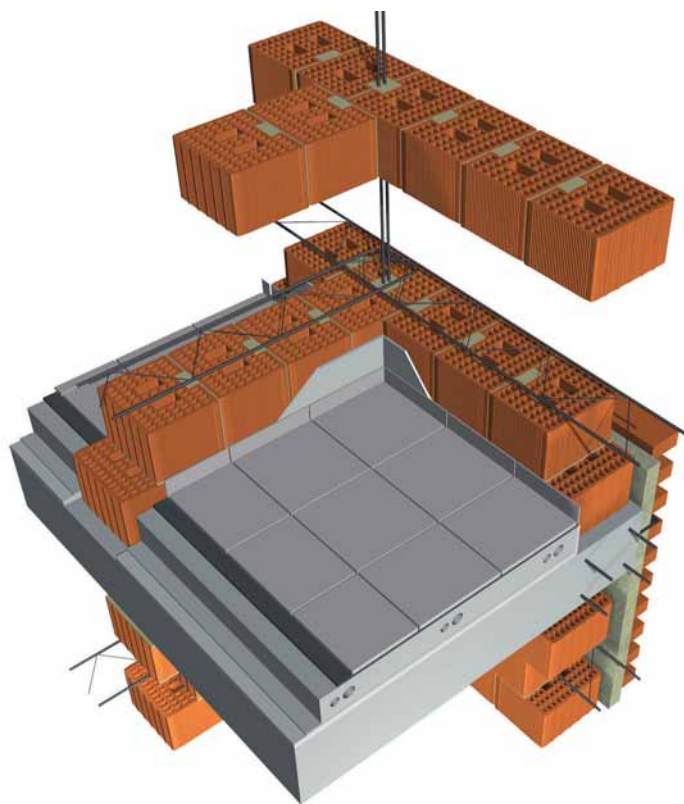
A seconda della collocazione dell'armatura, si possono distinguere le seguenti soluzioni di muratura armata:

- le murature ad *armatura concentrata* sono in genere del tipo intelaiato, ovvero con le armature verticali poste alle estremità dei setti murari, in corrispondenza degli innesti, e degli incroci e dei bordi liberi, e quelle orizzontali a livello dei cordoli di piano;
- le murature con *armatura concentrata a tasca* sono una variante alle strutture intelaiate in cui l'armatura è posi-

zionata all'esterno del muro in appositi alloggiamenti: tale tipologia muraria ha criteri costruttivi analoghi a quelli delle pareti nervate;

- le murature ad *armatura diffusa* sono realizzate con blocchi che consentono di collocare l'armatura verticale, ad interasse ridotto, in appositi fori continui e l'armatura orizzontale nei giunti di malta, solitamente ogni 2-3 corsi di blocchi, ovvero circa ogni 50,0 cm;
- le murature *cave* sono costituite da due paramenti murari (generalmente in mattoni pieni faccia a vista) e una intercapedine riempita da calcestruzzo armato. I due tavolati sono tenuti insieme da staffe per resistere alla spinta del calcestruzzo durante la fase di getto.

In Italia, anche per i vincoli normativi oggi vigenti, la tipologia impiegata è essenzialmente quella della muratura armata diffusa.



Spaccati assometrici di incroci a "T" di muratura armata con elementi resistenti in laterizio.

Normativa di riferimento La muratura armata si è maggiormente diffusa nei Paesi, come l'Italia, in cui il problema della resistenza all'azione sismica pone numerosi vincoli (in particolare, di altezza e spessore) all'impiego della muratura ordinaria.

Nonostante la muratura armata sia utilizzata all'estero da molto tempo e sia conosciuta in Italia almeno da un secolo, la normativa nazionale la cita per la prima volta soltanto nel DM 19 giugno 1984 "Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche".

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", e la successiva Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 3 maggio 2005, "Ulteriori modifiche ed integrazioni all'OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003", descrivono, all'articolo 8.3, i criteri progettuali, le verifiche di sicurezza e i particolari costruttivi necessari a garantire un buon comportamento strutturale in zona sismica.

Tali indicazioni sono comunque contenute anche nel più recente DM 14 gennaio 2008, "Norme tecniche per le costruzioni", in cui, al punto 4.5.7, "Muratura armata", il sistema viene definito come "costituito da elementi resistenti artificiali pieni e semipieni idonei alla realizzazione di pareti murarie incorporanti apposite armature metalliche, verticali e orizzontali, annegate nella malta e nel conglomerato cementizio".

Il testo normativo non pone limiti di altezza alla muratura armata (mentre limita a due piani l'altezza degli edifici in muratura ordinaria in zona 1): l'altezza massima per i nuovi edifici è determinata unicamente dalle capacità resistenti e deformative della struttura, valutabili mediante specifiche analisi e attraverso le verifiche di sicurezza previste.



Residenze a Mondolfo (Pu): fase di esecuzione dell'orizzontamento tra il piano terra e il primo piano; vista aerea del cantiere.

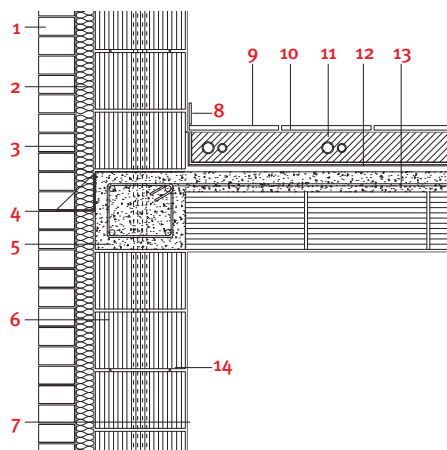
Per gli edifici "semplici" in muratura armata, ovvero per gli edifici che presentano precise condizioni di regolarità geometrica e ben determinate limitazioni costruttive, sono ammesse verifiche in via semplificata e la possibilità di costruire fino a quattro piani anche in zone considerate ad alta sismicità (zona 1, con accelerazione di picco del terreno $a_g \geq 0,25 g$), tenendo conto della prevista sezione minima di parete resistente.

La stessa normativa, poi, fissa in 24,0 cm lo spessore minimo per la muratura armata nelle zone con livelli

di sismicità 1, 2 e 3: tale spessore può, però, essere ridotto a soli 20,0 cm in zona 4. La snellezza della muratura è sempre limitata a 15.

Elementi in laterizio, armatura, malta e calcestruzzo

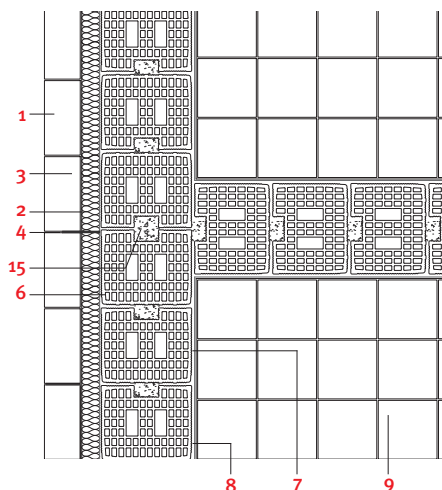
Pur variando tra i diversi produttori, gli elementi in laterizio per muratura armata (blocchi) presentano, generalmente, un profilo ad "H" o a "C". Sono caratterizzati da una percentuale di foratura compresa tra il 15 e il 45%, e una resistenza di almeno 5 MPa nella direzione dei fori e di 1,5 MPa in direzione ad essi perpendicolare.



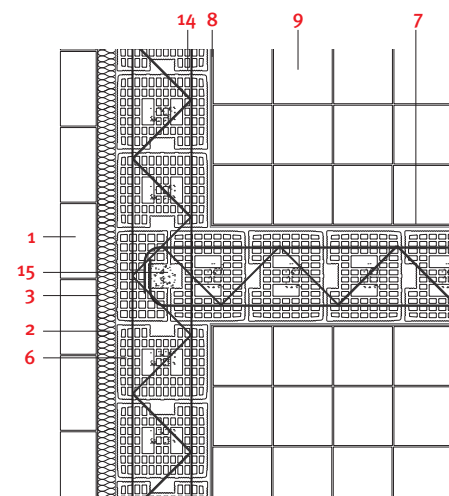
Residenze a Mondolfo (Pu): dettaglio costruttivo in prossimità dell'incrocio tra la parete perimetrale e il solaio intermedio.

Legenda:

1. mattone pieno in laterizio faccia a vista
2. isolante termico in lana di roccia
3. intonaco di staghezza



4. profilo metallico per l'ancoraggio del paramento murario esterno
5. cordolo in calcestruzzo armato
6. blocco in laterizio (25,0x30,0x19,0 cm)
7. intonaco civile per interni
8. battiscopa in "cotto"
9. pavimentazione in "cotto" (25,0x25,0 cm)



10. malta di allettamento
11. massetto alleggerito porta impianti
12. isolante acustico
13. solaio in laterocemento
14. armatura orizzontale
15. armatura verticale

Per consentire l'allocazione dell'armatura verticale, gli elementi hanno delle apposite cavità in ciascuna delle quali è possibile inscrivere un cilindro di almeno 6,0 cm di diametro.

L'armatura metallica ha il compito di aumentare la duttilità strutturale dell'edificio e di resistere alle sollecitazioni di trazione che, come noto, non sono efficacemente contrastate da una muratura ordinaria.

Le barre di armatura, la cui area complessiva viene definita in funzione dei carichi, esclusivamente del tipo ad aderenza migliorata, sono in acciaio al carbonio, acciaio inossidabile o acciaio con rivestimento speciale. Quelle orizzontali sono ancorate alle estremità, mediante piegatura, attorno alle barre verticali: è ammesso anche l'impiego di tralicci elettrosaldati in metallo o di altre armature conformate in modo da garantire una adeguata aderenza e un efficace ancoraggio.

Con un diametro minimo di 5,0 mm, l'armatura orizzontale non può avere un interasse superiore a 60,0 cm, mentre l'armatura verticale, con sezione complessiva comunque non inferiore a 2,0 cm², è collocata in corrispondenza di ciascuna estremità e intersezione tra

murature portanti di ogni apertura, con interasse non superiore a 4,0 m.

Le sovrapposizioni dell'armatura metallica devono essere tali da garantire la continuità nella trasmissione degli sforzi di trazione, in modo che lo snervamento dell'armatura stessa abbia luogo prima che venga meno la resistenza della giunzione: in mancanza di dati sperimentali relativi alla tecnologia usata, la lunghezza di sovrapposizione è di almeno 60 diametri. Come per ogni altra tecnica costruttiva, le parti metalliche (l'armatura) devono essere adeguatamente protette dalla corrosione. A tal proposito, l'Eurocodice 6 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 di protezione tenendo presente che, nel caso in cui si preveda l'impiego di acciaio al carbonio non protetto da trattamenti superficiali, viene prescritto un copriferro variabile da 20,0 mm per la classe di esposizione 1 a 40,0 mm per la clas-

se di esposizione 5; nel caso di impiego di acciaio protetto (zincato, inossidabile o con protezione equivalente), il copriferro minimo deve essere maggiore di 15,0 mm.

La resistenza a compressione della malta non deve risultare inferiore ai 10 MPa, mentre la classe minima del conglomerato cementizio è C12/15.

Posa in opera Gli edifici realizzati con struttura in muratura armata sono ormai numerosi e il giudizio di imprese e direzioni dei lavori è ampiamente positivo. Certamente, anche per tale sistema costruttivo, il risultato è condizionato dalla qualità del lavoro di ogni operatore coinvolto nel processo edificatorio; è evidente che una particolare cura deve essere riservata alla redazione del progetto esecutivo e alla posa in opera della struttura (precauzioni che, peraltro, dovrebbero essere sempre garantite).

L'esecuzione di una muratura armata non richiede manodopera specializzata, o attrezzature particolari, e quindi può essere eseguita da qualsiasi impresa di costruzione.

Nel dettaglio, terminata la struttura di fondazione, si posa a secco il primo

corso di blocchi, così da individuare la posizione esatta delle armature metalliche verticali. Eseguiti i fori nella fondazione e ancorate le barre verticali con l'ausilio di resine epossidiche, si posano in opera i primi corsi di blocchi e si collocano le barre di ripresa.

L'impiego di pezzi speciali, quali il "mezzo blocco", semplifica sensibilmente le operazioni di messa in opera della muratura.

L'armatura metallica orizzontale è posata ogni due corsi di blocchi, ovvero ogni 40,0 cm circa, con un infittimento ad ogni corso in corrispondenza di discontinuità quali incroci e aperture: così facendo, si assicura un concreto presidio contro fessurazioni vertica-



li ed inclinate. I cordoli, in corrispondenza di tutti i solai, hanno altezza minima pari all'altezza del solaio e larghezza almeno pari a quella del muro; è consentito un arretramento massimo di 6,0 cm dal filo esterno che consente di eliminare la presenza di possibili ponti termici.

L'armatura corrente non è inferiore a 8,0 cm², mentre le staffe hanno diametro non inferiore a 6,0 mm ed interasse non superiore a 25 cm.

Parapetti, o simili, sono ben collegati alle pareti adiacenti, garantendo continuità all'armatura orizzontale e, laddove possibile, anche a quella verticale. Gli architravi possono essere realizzati direttamente in muratura armata.

Agli incroci delle pareti perimetrali, è possibile derogare dal requisito di avere, su entrambe le pareti, zone di muratura di lunghezza non inferiore a 1,0 m. Relativamente al posizionamento delle armature metalliche nei corsi orizzontali, per assicurare un idoneo copriferro inferiore, l'esecuzione deve avvenire realizzando prima il giunto di malta (12,0÷15,0 mm) per poi poggiare l'armatura immergendola con una leggera pressione. A tale proposito, è da evitare la sovrapposizione in spessore dell'armatura metallica, onde evitare un copriferro insufficiente.

Valutazioni di massima I vantaggi che la muratura armata fornisce, anche se non mancano positivi riflessi economici, sono prevalentemente di ordine strutturale, soprattutto in zone a rischio sismico.

La muratura armata, intesa come sistema costruttivo autonomo e distinto, associa i pregi del laterizio e dell'acciaio, consentendo di sfruttare al meglio le qualità di entrambi i materiali: il risultato è una struttura molto più duttile rispetto ad una muratura normale, con maggiore capacità di deformazione. Per tale motivo, sollecitata dall'azione tellurica, la struttura risponde in funzione del suo periodo di oscillazione e ne attenua gli effetti dissipando energia per plasticizzazione: si tratta, quindi, di un sistema in grado di fornire prestazioni eccezionali, certamente non inferiori rispetto ad altri sistemi costruttivi. Non va trascurato, inoltre, che, eliminando il telaio in calcestruzzo armato o in acciaio, si riduce l'insorgenza di cavillature e fessurazioni (dovute al diverso comportamento dei materiali) e si eliminano completamente tutti i problemi legati alla dispersione termica localizzata. Il comportamento acustico, che come noto è correlato alla massa frontale della parete, è solitamente ottimo. Il minore impiego di calcestruzzo, di armature lavorate e casseforme incide favorevolmente sul costo complessivo

di costruzione. Se si aggiunge, infine, il risparmio in termini di manutenzione per il ripristino di eventuali cavillature e lesioni, le condizioni economiche risultano ulteriormente favorevoli.

Una recente realizzazione: le residenze a Mondolfo (PU) L'area destinata al progetto, non lontana dal centro urbano di Mondolfo, insiste su di un tratto tipico del paesaggio marchigiano, in cui le colline degradano dolcemente verso il mare. L'intervento interessa tre distinti lotti, la cui forma scaturisce dall'orografia del terreno: il primo edificio è collocato nella parte più alta, il secondo nella parte più bassa, mentre il terzo, più piccolo degli altri, chiude il complesso destinato a residenze.

Uno degli obiettivi dei progettisti è stato quello di offrire al maggior numero di alloggi la vista sulla vallata e verso il mare. Il progetto, caratterizzato dall'essenzialità dell'impianto e dei caratteri architettonici, si propone la creazione di un borgo di campagna utilizzando i modelli tradizionali dell'architettura locale, inserendosi nell'equilibrio delicato dell'ambiente naturale, rielaborando i tratti essenziali del costruito.

L'intervento, dunque, riprende lo schema tradizionale dell'insediamento rurale, adagiando gli edifici lungo i bordi del lotto e destinando la zona centrale a spazio verde condominiale, sul quale fare affacciare tutti gli elementi caratteristici della costruzione: portici, terrazze e giardini privati.

I percorsi carrabili e pedonali sono chiaramente distinti: i primi consentono l'accesso al piano interrato, in cui si trovano i *garage*, mentre i secondi si sviluppano lungo il verde comune.

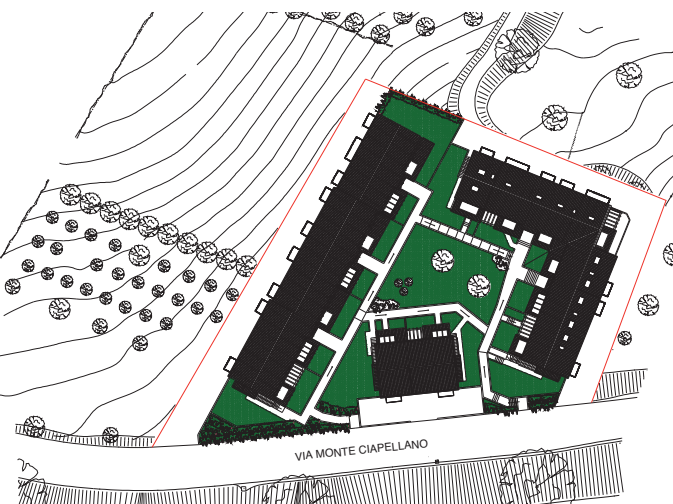
Nel corpo di fabbrica ad "L", che occupa la parte più alta del lotto e si sviluppa su tre livelli, di cui due fuori terra, sono stati realizzati 11 alloggi, alcuni dei quali del tipo *duplex*, articolati su due piani.

Per limitare, in caso di sisma, gli effetti

Lo sviluppo del prospetto esposto a sud accompagna la pendenza della collina.

Planimetria generale.

Nella pagina a fianco: dettaglio in prossimità del cordolo perimetrale.



torcenti dovuti alla forma, ma anche per la presenza di un terreno di fondazione con caratteristiche geomeccaniche diverse, la struttura è stata divisa in due corpi di fabbrica attraverso un giunto di separazione.

Mentre il primo edificio è stato realizzato su fondazioni a travi rovesce a sezione rettangolare, in quanto il suolo presentava buone caratteristiche geotecniche, per il secondo corpo di fabbrica è stato necessario ricorrere a fondazioni profonde su pali trivellati, collegati da un reticolo di cordoli in calcestruzzo armato, a causa di uno strato superficiale del terreno dalle scadenti caratteristiche meccaniche. La struttura portante è stata realizzata



con una soluzione costruttiva mista: lungo il perimetro si sviluppa la muratura armata (spessore 30,0 cm), mentre in posizione centrale è collocato un pilastro in calcestruzzo armato (dimensione 40,0x40,0 cm). Tale impostazione, oltre a garantire un buon comportamento strutturale nei riguardi delle azioni sismiche, ha consentito al progettista di avere la massima libertà nella composizione-distribuzione degli spazi interni e, ai futuri utenti, la massima flessibilità di impiego.

Gli orizzontamenti interni sono stati realizzati in laterocemento (spessore 24,0 cm), mentre il solaio di copertura è in legno lamellare. ¶

Bibliografia essenziale

Bari, L.; Zanarini, G. "La muratura armata", *Costruire in Laterizio*, n. 110 (marzo-aprile 2006), pp. 56-59.

DM 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni".

Eurocodice 6 "Progettazione delle strutture di muratura. Parte 1-1. Regole generali per gli edifici. Regole per le murature armate e non armate", 2006.

Gambi, A.; Lenzi, M.; Olivucci, G. "Realizzazione di murature armate in zone sismiche", *Costruire in Laterizio*, n. 72 (novembre-dicembre 1999), pp. 60-64.

Da Porto, F.; Modena, C.; Mosele, F. "Comportamento ciclico nel piano di un sistema di muratura armata", *Costruire in Laterizio*, n.

130 (luglio-agosto 2009), pp. 54-61.

Da Porto, F.; Mosele, F.; Della Benetta, M.; Modena, C. "Caratterizzazione meccanica di armatura armata con blocchi a 'C' e ad 'H'", *Murature Oggi*, n. 101 (dicembre 2008), pp. 14-20.

Da Porto, F.; Mosele, F.; Garbin, E.; Modena, C. "Pareti alte in muratura armata sollecitate fuori piano", *Murature Oggi*, n. 103 (giugno 2009), pp. 12-18.

Latina, C. *Muratura portante in laterizio*, Lateriservice, Roma 1994.

Latina, C. *Per costruire in laterizio*, Maggioli editore, Rimini 1999.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 3 maggio 2005 "Ulteriori modifiche ed integrazioni all'OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003".

Petris, S. "Costruire in muratura armata", *Murature Oggi*, n. 97 (dicembre 2007), pp. 13-15.

Preite, G. *Manuale delle costruzioni in muratura semplice e armata*, ESAC, Roma 1988.

Toricelli, M. C.; Del Nord, R.; Felli, P. *Materiali e tecnologie dell'architettura*, Editori Laterza, Roma-Bari 2001.

Zanarini, G. "La muratura armata", *Costruire in Laterizio*, n. 76 (luglio-agosto 2000), pp. 65-71.

Scheda tecnica

Progetto: Emilio Viola e Sandro Pennacchioli
Strutture: Nicolò Scenna
Impianti: Riccardo Cicetti
Acustica: Andrea Sabbatini
Committente: Pennacchioli Costruzioni
Cronologia: 2007, progetto;
2009, costruzione