

Intervento di miglioramento sismico di un edificio in cemento armato a Coppito (AQ)

Angelo De Cocinis¹ ■



**Progetto /
Nome dell'opera**
Miglioramento sismico
edificio residenziale in c.a.

Ubicazione
Coppito (AQ)

Committente
Privato

**Progettazione
Direzione Lavori**
StudioDEG - Ing. Angelo
De Cocinis

Dettagli strutturali
StudioDEG -
Ing. Angelo De Cocinis

Richiesta Finanziamento
Fintecna AQ-BCE 9326 7/
marzo/2010

**Anno
completamento lavori**
2011

Il lavoro presentato di seguito è relativo ad un intervento di miglioramento sismico di un edificio in c.a. esistente ubicato in località Coppito (AQ), lesionato dal sisma del 6 aprile 2009.

Dopo aver individuato i problemi inerenti il danneggiamento attraverso indagini dirette, le soluzioni da adottare per ripristinare l'agibilità dell'unità immobiliare in esame ubicata al primo piano sono state definite analizzando le parti strutturali dell'intero fabbricato nella sua globalità. Ne è nato un progetto che ha seguito un percorso particolarmente articolato, approvato dalla filiera composta da FINTECA, ReLUIS, CINEAS, Comune de L'Aquila ed infine Genio Civile della provincia de L'Aquila.

Il progetto, in particolare, ha previsto un intervento di miglioramento sismico in conformità alle "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. 14/01/2008 cap.8, con l'obiettivo di raggiungere un indicatore maggiore di 0.6 e minore di 0.8, così come disposto dall'OPCM 3790 del 09/07/2009 e relativo atto di indirizzo.

Dal punto di vista strutturale, l'edificio, composto da due solai fuori terra e due solai di copertura a più falde inclinate, può essere classificato come una struttura a telaio in c.a. con più piani e campate. In particolare, è articolato nel modo seguente:

- struttura portante a telaio in c.a., costituita da pilastri di sezione rettangolare 30x30 cm e 30x50 cm e da travi in altezza a sezione rettan-

golare variabile, eccetto le travi di colmo realizzate in spessore di solaio;

- fondazioni a sezione rettangolare 60x80 cm con piano d'imposta a quota -120 cm rispetto al pavimento finito interno;
- solai in latero-cemento di spessore 16+4 cm;
- solaio di primo piano realizzato a quote sfalsate (+277 cm) e (+315 cm), considerato elemento di vulnerabilità sismico;
- sporti di copertura costituiti da solette in c.a. a sbalzo di sp. 20 cm;
- rampe della scala realizzate con solette in c.a.;
- presenza di terreno addossato al fabbricato su due lati per una altezza di circa un metro, considerato elemento negativo nei confronti del comportamento dinamico della struttura.

L'analisi dell'edificio e delle lesioni causate dal sisma è stata effettuata tramite accurati sopralluoghi ed indagini di cui si riportano alcune immagini nelle pagine seguenti. Da una analisi di dettaglio della struttura sono emersi danni non strutturali ai tamponamenti interni ed esterni e lievi danni strutturali, in particolare in corrispondenza dei nodi trave-pilastro non confinati, dai quali si evince un meccanismo incipiente di rottura degli stessi. Si è riscontrata un'elevata deformabilità del fabbricato con escursioni in campo plastico degli elementi in c.a. e lesioni maggiormente gravose e numerose in corrispondenza del piano terra, con andamento a croce o inclinate, spesso accompagnate da espulsione

¹ Titolare StudioDeg, San Giovanni in Persiceto (BO) - ✉ angelo.decocinis@ordingbo.it

localizzata di materiale. Sono presenti, inoltre, fratture ad andamento orizzontale in corrispondenza delle travi di piano ad indicare un distacco dei tamponamenti dalla struttura portante. All'interno del fabbricato sono presenti diverse lesioni, a volte isolate e capillari, in maggior numero al piano terra e progressivamente in numero inferiore nei piani sovrastanti. In particolare, sono state rilevate lesioni inclinate con distacco di materiale in corrispondenza del vano scala al piano terra, inclinate nei tamponamenti interni ed esterni in corrispondenza delle aperture, orizzontali in corrispondenza delle travi di piano conseguenti al distacco dei tamponamenti dalla struttura portante, alcune delle quali passanti e pertanto visibili anche all'esterno dell'edificio, a croce con distacco di materiale.

Si è convenuto che l'intervento migliorativo non potesse prescindere da una ottimale distribuzione delle rigidezze e delle resistenze nelle due direzioni principali. Nel contempo, è stato necessario consolidare le sezioni resistenti esistenti nello stato di fatto per mezzo di un adeguato confinamento. È da notare che il ripristino dell'appartamento situato al primo piano, effettivo oggetto dell'intervento, sebbene non prescinde dal danno riscontrato al suo interno, peraltro molto modesto, è pesantemente condizionato dall'agibilità dell'intero edificio ed è pertanto quest'ultima che va garantita attraverso un intervento globale sull'intera struttura.

In accordo con quanto definito negli "Indirizzi per l'esecuzione degli interventi di cui all'Ordinanza del Presidente del consiglio dei ministri del 17.7.2009" anche in presenza di danno strutturale modesto, ma con fattore di rischio $\alpha_{uv} < 0.6$, è possibile realizzare interventi di miglioramento sismico. Per tale motivo si è valutato preventivamente l'indice di rischio della struttura pre-evento, eseguendo una modellazione che trascura l'influenza dei danni indotti dall'evento del 06 aprile 2009. Dalle analisi modali si sono ricavati valori del periodo di vibrazione pari a 0.39 s e 0.33 s con masse partecipanti pari a 80% e 79% rispettivamente in direzione x e y. Oltre a questo, si è ottenuto un indicatore di rischio $\alpha_{uv} = 0.313$. Tale valore è ben al di sotto di quello previsto dalle ordinanze, che, nel caso di miglioramento, deve essere compreso tra 0.6 e 0.8. Ai fini dell'analisi dello stato di fatto precedente al sisma, considerato che la tipologia della struttura in oggetto è a telaio in c.a. a più piani e campate, assunta una classe di duttilità CD"B" e trattandosi di un edificio esistente, si assume un fattore di struttura $q=2.25$.

Le opere di miglioramento sismico progettate sono state pertanto suddivise in interventi struttu-

rali e non strutturali. I primi, in particolare, hanno riguardato l'introduzione di nuovi setti in c.a. ed il collegamento di questi ultimi con la struttura esistente, oltre all'esecuzione di interventi in fondazione. Se ne riportano di seguito i dettagli principali.

Tenuto conto del quadro di danneggiamento e della configurazione strutturale riscontrati, è stato effettuato un tentativo preliminare per valutare se fosse possibile migliorare le prestazioni della struttura attraverso il solo confinamento dei nodi trave-pilastro ed il rinforzo dei pilastri stessi, interventi che avrebbero garantito una maggiore capacità resistente. Questa soluzione, però, non è risultata sufficiente, da sola, ad assicurare il livello di sicurezza atteso dalla normativa, per cui è stato necessario inserire nuovi elementi strutturali in modo da conferire una risposta maggiormente regolare attraverso una opportuna distribuzione della rigidezza di piano. Il progetto di miglioramento sismico ha quindi previsto:

- la costruzione di nuovi elementi strutturali in corrispondenza dei pilastri a cui affidare la resistenza sia alle azioni verticali che orizzontali, in modo che le travi e i pilastri esistenti vadano a costituire una struttura pendolare a cui è affidato il solo ruolo di resistere ai carichi verticali;
- il consolidamento delle fondazioni: sebbene non siano state riscontrate particolari carenze nelle fondazioni, l'intervento sulla struttura richiede una riconfigurazione ed un consolidamento delle stesse in considerazione delle differenti sollecitazioni cui sono sottoposte a causa della nuova configurazione degli elementi verticali.

Per quanto attiene al comportamento statico e sismico, il nuovo intervento consente di conferire una migliore distribuzione delle rigidezze e delle resistenze nelle due direzioni principali, infatti la disposizione planimetrica dei nuovi setti in c.a. (setti a sezione rettangolare di dimensioni 30x125 cm e 30x135 cm, realizzati in calcestruzzo autocompattante SCC) è stata definita in modo da minimizzare gli effetti torsionali sull'edificio, cercando il più possibile una regolarità in pianta che consenta di avere il centro di massa prossimo al centro delle rigidezze degli elementi verticali. Per valutare se la disposizione planimetrica degli elementi resistenti è effettivamente accettabile, sono stati calcolati i raggi torsionali r_x e r_y del sistema strutturale in accordo con l'Eurocodice 8 (EC8, §4.2.3.2(6)) e successivamente confrontati con le eccentricità e_0 delle forze agenti, calcolate rispetto al baricentro delle rigidezze. Si è poi verificata la condizione seguente, che limita gli effetti torsionali:

$$\begin{cases} e_{0x}/r_x \leq 0.30 \\ e_{0y}/r_y \leq 0.30 \end{cases} \quad (1)$$

I nuovi setti introdotti materializzano una struttura che si collega a quella esistente tramite barre di acciaio inghisate con resina. In particolare, il collegamento con i pilastri esistenti avviene tramite l'inserimento di barre filettate in acciaio inox $2+2\phi 18/200$ mm inghisate con resina all'interno dei setti e ancorate a piastre in acciaio zincato continue di spessore pari a 8 mm posizionate sulle facce libere del pilastro stesso e per il suo intero sviluppo. Il collegamento con le travi di piano e di fondazione avviene invece tramite barre inghisate con resina $\phi 18/150$ mm ed un placcaggio esterno tramite piastre in acciaio zincato di spessore 5 mm, intervento che comporta la demolizione di porzioni di tamponamenti esterni e tramezzature interne esistenti.

La nuova configurazione strutturale che si realizza determina una differente distribuzione delle sollecitazioni sul terreno sotto azione sismica e pertanto ha richiesto un intervento di consolidamento delle travi di fondazione che ha comportato la demolizione e successiva ricostruzione dei pavimenti esistenti al piano terra, in quanto è coinvolta la quasi totalità del fabbricato. In particolare è stato previsto un aumento di sezione delle travi esistenti (inizialmente di sezione 60x80 cm) mediante aggiunta di armatura e getto di completamento per pervenire a sezioni di dimensioni 120x80 e 160x80 cm.

Le travi aggiunte a rinforzo delle esistenti verranno caricate solo in caso di sisma, in quanto tutto il carico permanente grava sulla fondazione esistente, ed il nuovo complesso strutturale entrerà in gioco solo per incrementi di carico (statico e dinamico), infatti sulle fondazioni non sono previsti accoppiamenti mediante pre-tensionamento. Al fine di ottenere una maggiore aderenza fra le fondazioni esistenti e quelle nuove è stato necessario seguire i seguenti passaggi:

- rimozione del terreno di ricoprimento fino a 8 cm al di sotto della quota d'imposta della fondazione;
- getto di magrone di pulizia sui fianchi della fondazione esistente;
- spicconatura del copriferro laterale sulla fondazione esistente al fine di aumentarne l'attrito;
- realizzazione di fori per armature di collegamento ($\phi 18/200$ mm);
- lavaggio con idropulitrice a pressione fino a saturazione;
- inserimento armature di collegamento e relativo inghisaggio con resine epossidiche;
- armatura e cassetatura ringrosso travi;
- applicazione a spruzzo di resina epossidica fluida prestando la massima attenzione ai tempi di open time;
- getto di calcestruzzo entro i tempi di open-time della resina aggrappante.

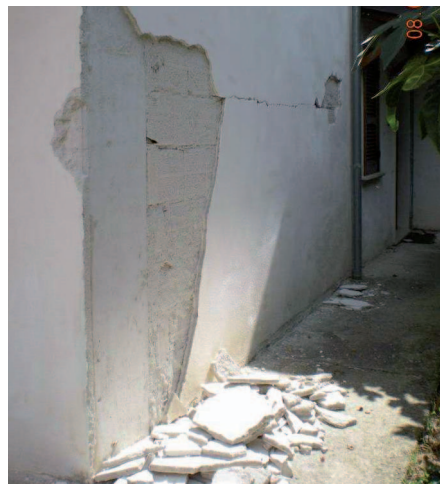


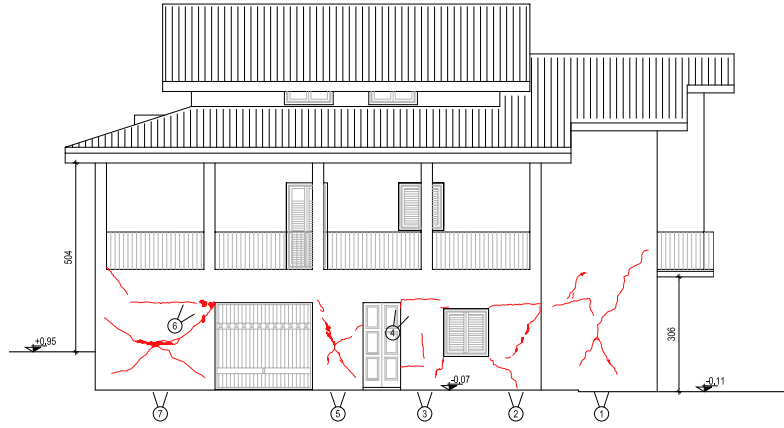
Figura 1
Rilievo preliminare: lesioni isolate in corrispondenza dell'unione tra struttura portante e tamponamenti esterni nel prospetto sud-ovest (a sinistra) ed espulsione di intonaci e parti nel prospetto nord-ovest (a destra).



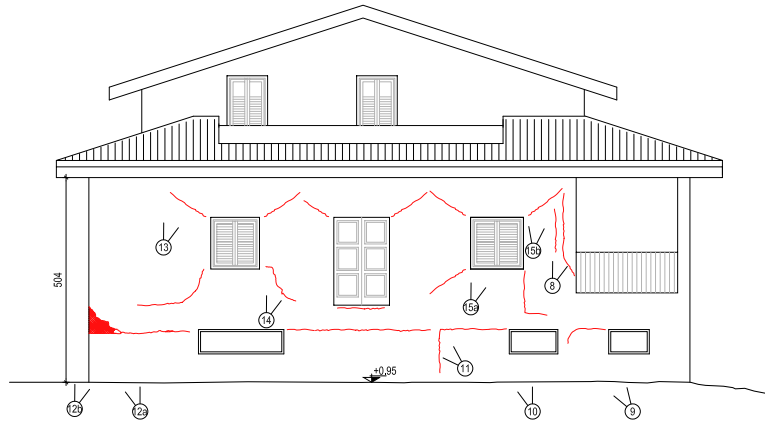
Figura 2
Rilievo preliminare: fratturazioni concentrate, decoesioni localizzate con espulsione di parti e corrugamento intonaci in corrispondenza del prospetto nord-ovest.

Figura 3
Danneggiamento esterno
rilevato in corrispondenza
dei prospetti dell'edificio.

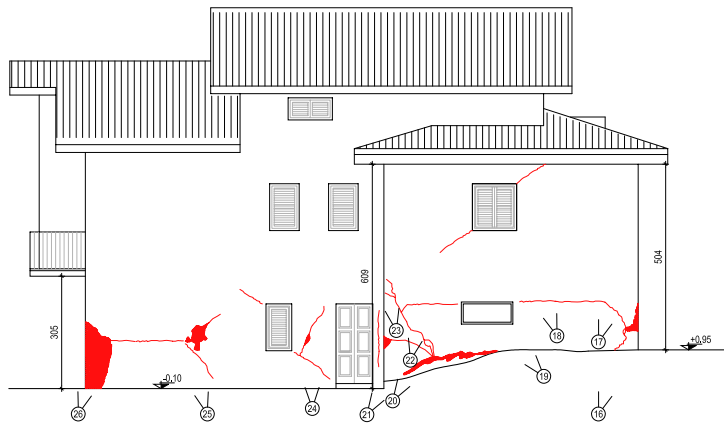
Prospetto sud-est



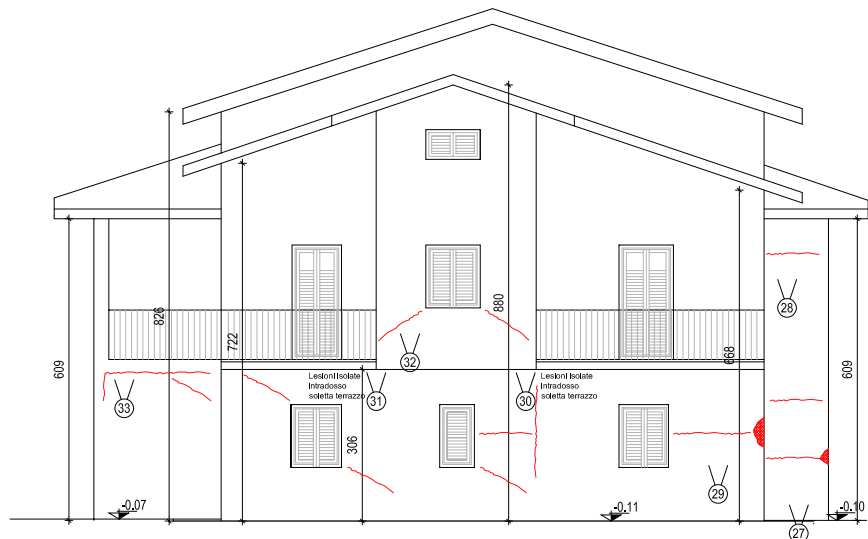
Prospetto sud-ovest.



Prospetto nord-ovest



Prospetto nord-est



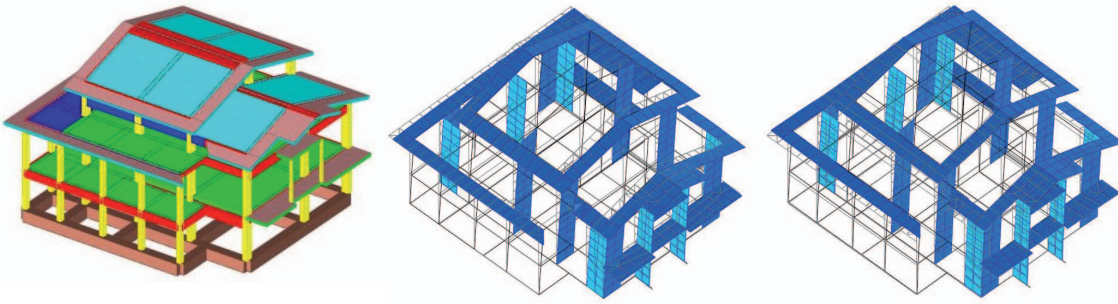


Figura 4
Modello ad elementi finiti della struttura dopo l'intervento di miglioramento sismico e primo e secondo modo di vibrare.

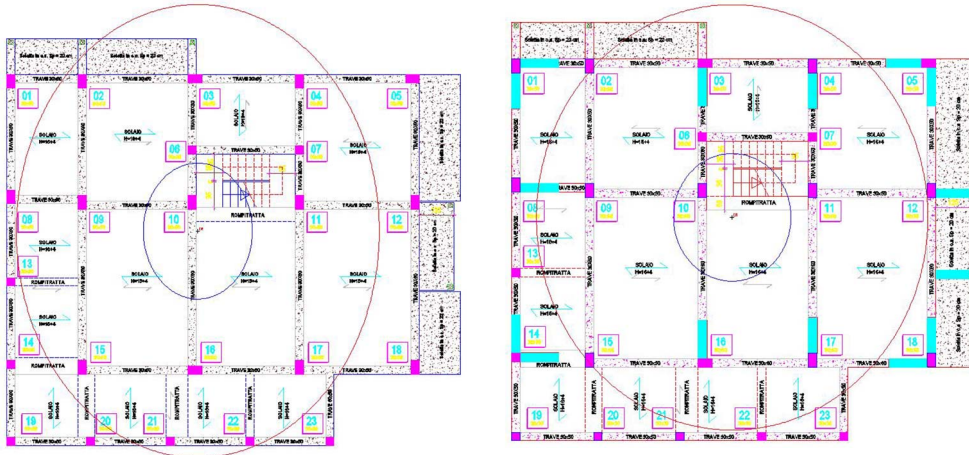


Figura 5
Ellisse delle rigidità nello stato di fatto (a sinistra) e dopo il miglioramento sismico (a destra).

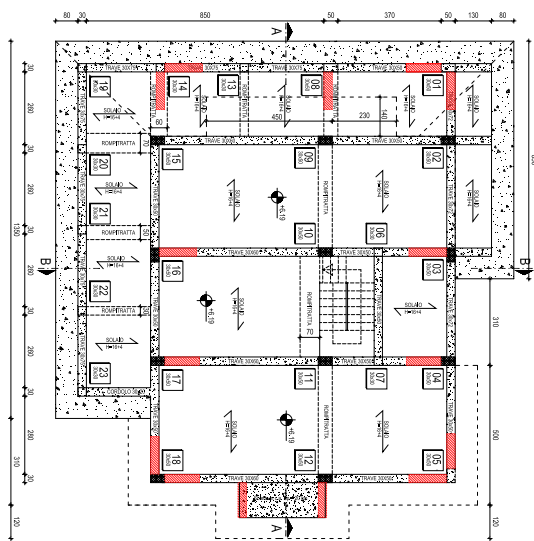
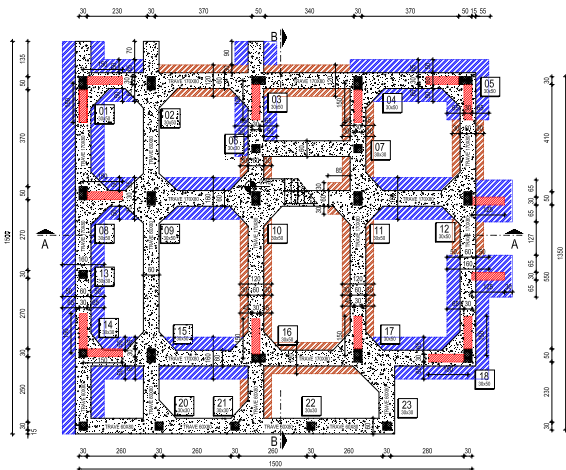


Figura 6
Inserimento dei nuovi setti strutturali all'interno del telaio esistente ed identificazione delle piastre di collegamento pilastro-setti al primo piano (a sinistra), carpenteria di fondazione e rinforzo travi esistenti (a destra), le travi rinforzate di dimensione 160x80 cm sono tratteggiate in blu, quelle rinforzate di dimensioni 120x80 cm sono tratteggiate in rosso).



- Inserimento setti in c.a.
- Allargamento travi di fondazione 160x80cm
- Allargamento travi di fondazione 120x80cm

Figura 7
Armatura dei setti di
nuova realizzazione e
collegamento con i pilastri
esistenti.



Figura 8
Piastrine di confinamento trave





Figura 9
Rinforzo delle travi di
fondazione. Dettaglio dei
fori per il tassellamento
dell'armatura di
collegamento (in alto a
sinistra), dettagli delle
gabbie di armatura prima
del getto (in alto a destra,
al centro ed in basso).

