

STRUTTURE SISMICA

Dopo il terremoto: le verifiche tecniche

Giacomo Cusmano

Il sisma dell'Aquila ha aperto una grossa ferita nel cuore dell'Italia. Oltre agli aiuti umanitari, tecnici qualificati sono oggi impegnati nel valutare l'agibilità delle costruzioni. Casa per casa, stanza per stanza, si analizzano gli edifici; ed emergono sistemi costruttivi deboli, errori di cantiere, ma anche costruzioni perfettamente antisismiche. Perché costruire bene è un dovere.





A seguito del sisma dello scorso aprile, al fine di fornire un servizio di assistenza tecnica (ma anche umana) in cui tutte le risorse a disposizione vengono ottimizzate grazie ad un coordinamento nazionale, il territorio aquilano è stato suddiviso per aree di competenza regionali, istituendo così uno o più campi operativi per la Regione Lombardia, uno per La Liguria, uno per il Piemonte e così via. All'interno di ciascun campo sono state attivate diverse funzioni: in primo luogo la funzione "ospitalità", con le tende per gli sfollati e tutti i servizi primari di sussistenza (spazi bagni, lavanderia, mensa), per poi passare alla funzione "servizi pubblici" (poste, centro medico, scuola, spazio ricreativo, supporto psicologico) ed infine alla funzione "gestione tecnica dell'emergenza" (segreteria organizzativa, centro operativo per le verifiche tecniche, organizzazione della logistica). Partendo da una suddivisione per competenze regionali del territorio l'impostazione delle verifiche di agibilità degli edifici prevede la formazione di numerose terne di verificatori composte da due professionisti competenti in materia di strutture (ingegneri, architetti, geometri) accompagnati da un vigile del fuoco addetto a valutare l'eventuale pericolosità immediata dell'attività ispettiva e dell'edificio danneggiato verso qualsivoglia utente. A seguito della formazione immediata delle squadre di tecnici individuate da un rispettivo codice, giornalmente il territorio comunale da esaminare viene a sua volta suddiviso in piccoli lotti all'interno dei quali ciascuna squadra esamina tutte le strutture edili presenti. Usualmente il punto di partenza per

orientarsi nel lavoro tecnico non è la mappa catastale del luogo (più volte non aggiornata), bensì la mappa aereo-fotogrammetrica dell'area in cui, a ciascun blocco edile individuato, viene assegnato in automatico da un elaboratore un codice numerico univoco (che funge quindi da riferimento per l'identificazione del-

Da sinistra: campo di accoglienza con tende per gli sfollati, mensa allestita in un campo di accoglienza e tenda scuola da campo allestita nel COM - Regione Lombardia.



Suddivisione dell'area geografica colpita dal sisma in aree di competenza regionali e per squadre di tecnici verificatori.

l'immobile su qualsiasi scheda di verifica e documento successivo pubblico).

In tal senso il lavoro dei tecnici ispettori che "spulciano" con verifiche sul luogo tutti gli immobili è importante per poter distinguere spazi abitativi da depositi, pollai, ruderi abbandonati (condizione poi distintiva per eventuali finanziamenti pubblici).

All'occorrenza su discrezione dei verificatori, a sua volta ogni blocco edile delle mappe può essere suddiviso in diversi organismi strutturali, perché non è detto che da un punto di vista statico abbiano un comportamento univoco. Per ciascun organismo strutturale la terna di verificatori, dopo aver effettuato un'ispezione visiva completa sia interna che esterna (eventualmente aiutandosi con strumentazioni di collaudo se ritenute necessarie) compila una scheda riassuntiva di valutazione già predisposta dalla Protezione Civile al fine di ottenere un esito di sintesi chiaro e possibilmente univoco.

Partendo da considerazioni di analisi delle tipologie costruttive, sull'età e forma dell'immobile, la scheda da compilare porta a poco i verificatori ad individuare la tipologia di:

- danni presenti causati dal sisma;
 - danni preesistenti tipici di edifici vetusti;
 - condizioni di vulnerabilità in caso di possibili future azioni sismiche.
- Sulla base delle diverse risposte parziali la scheda permette con logica di giungere a conclusioni di agibilità totale, agibilità solo condizionata ad interventi di pronto intervento con rimozione o messa in sicurezza di parti deboli, inagibilità totale per rischio interno o esterno. In caso di esito negativo va individuato il numero delle persone evacuate in attesa di un intervento definitivo che avverrà nel tempo.

Si evidenzia che l'agibilità di una casa è condizione necessaria, ma non sufficiente per permettere il rientro degli abitanti sfollati. Per ragioni di sicurezza nelle zone terremotate è prassi usuale bloccare la fornitura del gas: a seguito delle verifiche dei tecnici strutturisti occorre che l'azienda pubblica verifichi tutte le condutture di ogni singolo quartiere ed abitazione per assicurarsi dell'assenza di perdite di gas con rischio di scoppio.

Le schede compilate vengono poi rielaborate al campo base su supporto informatico e tramite programma GIS di gestione del territorio si aggiorna a poco a poco il fotogrammetrico con tutte le informazioni di sopralluoghi effettuati e immobili agibili. Il lavoro da compiere non è poco, ma si deve riconoscere l'impegno e la dedizione alla causa con cui gli addetti ai lavori stanno lavorando ogni giorno.

I casi di danno più frequenti

Da un'analisi a tappeto post-sisma di numerose costruzioni nel territorio aquilano emerge in primo luogo come il terremoto abbia agito innanzitutto per zone, ovvero si nota immediatamente come a parità di sistemi costruttivi vi siano quartieri devastati, con edifici lesionati gravemente e viceversa quartieri perfettamente integri. Come è noto la tipologia di terreno su cui sorge il costruito è il primo fattore che determina la diversa intensità dell'onda oscillatoria. In funzione della presenza di terreno roccioso, sabbioso, argilloso o altre condizioni geotecniche cambia l'azione del sisma.

Quando si costruisce, si esegue una lottizzazione nuova, approfondimenti di tipo geotecnico non sempre trovano la giusta considerazione da parte delle imprese di costruzioni. Il che è sempre un fatto negativo.

Ciò premesso vi è da porre in evidenza che numerose costruzioni, soprattutto nei paesini limitrofi alla città di L'Aquila, erano realizzati con pietre e materiale lapideo quasi posati a secco con poca malta, il che è stato una condizione che ha aumentato il numero di edifici degradati.

Imputare tutti i danni a condizione di vetusta costruzione non è però corretto, perché sul territorio si ritrovano altrettanti immo-

Tecnici-verificatori al lavoro nella tenda di coordinamento tecnico.



Parte conclusiva della scheda di verifica di agibilità degli edifici.

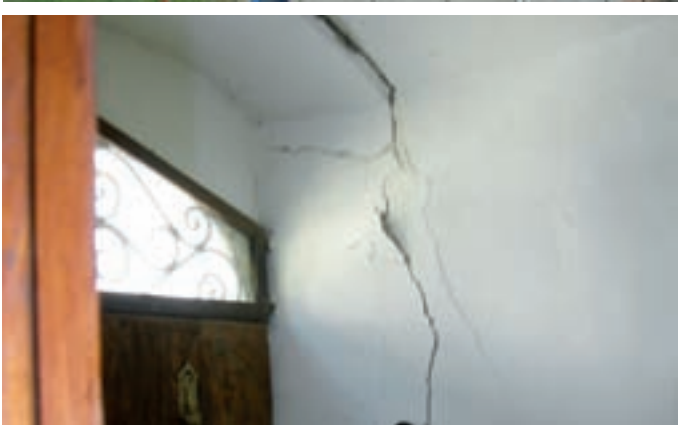
SEZIONE 8 Giudizio di agibilità				
Valutazione del rischio				
RISCHIO	STRUTTURALE (class. I e II)	NON STRUTTURALE (class. III)	ESTERNO (class. B)	INTERNO (class. C)
BASSO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BASSO CON PROVVEDIMENTI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ALTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Esito di agibilità	
A Edificio AGIBILE	<input type="checkbox"/>
B Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE (solo in parti) ma AGIBILE con provvedimenti di pronto intervento (1)	<input type="checkbox"/>
C Edificio PARZIALMENTE INAGIBILE (1)	<input type="checkbox"/>
D Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE da rivedere con approfondimento	<input type="checkbox"/>
E Edificio INAGIBILE	<input type="checkbox"/>
F Edificio INAGIBILE per rischio esterno (1)	<input type="checkbox"/>

(1) riportare nella colonna argomento della Sez. 9 l'edificio e nelle annotazioni le parti di edificio parzialmente rendi B, C) e le cause di rischio esterno rendi F)

Sull'accuratezza della visita

1 <input type="checkbox"/> Solo dall'esterno	4 <input type="checkbox"/> Non eseguito per	a <input type="checkbox"/> Sopralluogo rifilato (SR)	b <input type="checkbox"/> Rifilato (RI)	c <input type="checkbox"/> Denegato (DN)
2 <input type="checkbox"/> Parziale	d <input type="checkbox"/> Proprietario non trovato (PT)	e <input type="checkbox"/> Altro (AL)		
3 <input type="checkbox"/> Complessivo (= 2+3)				



bili danneggiati o crollati dotati di struttura a telaio in c.a.. Come sempre il materiale originale con cui sono erette le costruzioni ha la sua importanza ai fini della resistenza al sisma, ma si pone in evidenza come spesso, da un'analisi dei danni, si rilevi la mancanza di logiche statiche d'insieme, di errori di cantiere, di omissioni di ordinarie regole dell'arte da parte di costruttori e progettisti.

Tutte condizioni che con maggiore coscienza, maggiore attenzione nella fase di direzione lavori del cantiere, si sarebbero potute evitare. Ciò premesso, a titolo puramente didattico e non eusastivo di tutte le casistiche di danni manifestatisi nel territorio aquilano, si cerca con l'elenco a seguire di portare all'attenzione del lettore alcune tipiche "famiglie di dissesti", così da poter ragionare nei propri cantieri sugli errori da non commettere e, viceversa, sulla sensibilità ad alcuni problemi da acquisire.

- *Sbriciolamento degli edifici*: il sisma genera azioni repentine di oscillazione in tutte le direzioni, creando accelerazioni improvvise che si traducono in forze elevate tanto maggiore è la massa dei componenti.

La presenza di murature composte da materiali misti quali pietre, mattoni disposti quasi a secco con poca malta o legante di bassa qualità, comporta il facile disgregamento del setto murario in presenza di una forte vibrazione. I componenti della muratura devono essere ben legati tra di loro; non basta adottare un materiale altamente resistente a compressione per fornire garanzie, la muratura è un insieme di malta e mattoni e solo il loro corretto abbinamento preserva da dissesti rilevanti.

- *Apertura a "carciofo" delle facciate*: la presenza di una muratura ben consistente è condizione necessaria, ma non sufficiente per ottenere un edificio antisismico. Facciate e impalcati orizzontali devono essere ben collegati tra di loro, così come medesimo discorso va fatto per setti murari ortogonali e spigoli di edifici. Il terremoto dell'Abruzzo ha generato il distacco di numerose facciate con formazione di fessure verticali e, nei casi peggiori, un vero e proprio ribaltamento verso terra delle facciate.

Le murature ortogonali devono avere mattoni o pietre sfalsate incrociate e non devono essere semplicemente giustapposti una a fianco dell'altra.

- *Mancanza di simmetria*: in una struttura debole la generazione di azioni asimmetriche legate alla forma irregolare dell'edificio (irregolare disposizione delle masse) comporta

Edifici danneggiati per sbriciolamento della muratura.

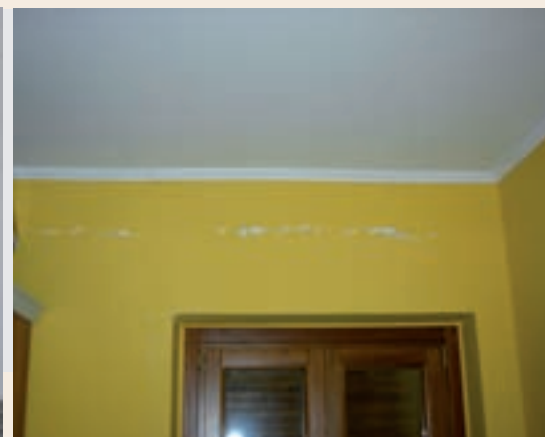
Apertura a "carciofo" degli edifici con distacco delle facciate.

Lesione interna all'abitato, tipico segnale del distacco della facciata dal resto dell'edificio.



Tipiche lesioni a X sulle murature causate dal sisma e, a destra, lesione orizzontale a 30 cm dal soffitto causata dallo scorrimento relativo tra trave fuori spessore in c.a. e tamponamento.

la formazione di azioni torcenti sull'edificio anche molto elevate (funzione del braccio di leva rispetto al centro delle rigidità delle strutture). Indipendentemente dalla consistenza delle murature analizzando diversi casi di strutture murarie in pietra dei paesini di montagna attorno a L'Aquila ci si accorge che dove c'è una forma simmetrica le strutture sono meno danneggiate. A L'Aquila la "casa del fascio" di forma quadrata con stile architettonico rigoroso ed elementi ripetitivi appare all'osservatore odierno perfettamente integra, mentre adiacenti palazzi storici sono danneggiati se non anche distrutti. Anche in presenza di tecnologie vetuste la simmetria aiuta. In tale direzione la giustapposizione di un unico vano scala posto su un fianco dell'edificio anziché in zona centrale è ad esempio tipica condizione di asimmetria, con effetti torcenti del solaio sui setti della scala stessa. Il terremoto agirà con maggiore sollecitazione (e il discorso vale sia per edifici esistenti che nuove costruzioni!).



Rottura della costruzione con espulsione esterna dei pilastri in c.a. e completo schiacciamento del piano primo da parte dei piani sovrastanti; l'esecuzione del nodo pilastro-trave è completamente inadeguata.





Effetto di cerniera plastica su un pilastro.

l'edificio dipende dalla loro collocazione. Segni a X tra le finestre di murature portanti sono quelli più temibili, perché lasciano la parte portante disgiunta, mentre più innocue (da un punto di vista strutturale e non estetico) sono quelle sotto le finestre. Lesioni a X nei tamponamenti spaventano "l'utente non tecnico" ma ai fini di stabilità edile sono innocue.

• **Lesioni a X come cicatrici:** l'azione di un sisma, come già detto, è bidirezionale e può essere sia verticale che orizzontale. In generale un edificio può subire sollecitazioni laterali e cedimenti differenziati del terreno che creano azioni interne di trazione dovute ad azioni flettenti sui setti murari.

Dato che la muratura resiste poco a trazione è facilmente frequente post sisma riscontrare lesioni inclinate a 45°, sinonimo di cedimento con rotazione verso il basso.

La bidirezionalità del sisma comporta l'immediato scambio di zone compresse con zone tese e quindi la formazione di un'analoga fessura a 45° nell'altra direzione. Nel complesso la conseguenza finale dell'evento tellurico è il manifestarsi di lesioni prevalentemente per l'appunto a X. La pericolosità di tali cicatrici sul-

• **Lesioni orizzontali sui tamponamenti interni:** molte abitazioni abruzzesi con telaio in c.a. vengono dichiarate agibili nonostante delle fessure orizzontali sui tamponamenti a circa 30 cm dal soffitto. Perché? Facendo delle semplici battiture con martello ci si accorge che in presenza di travi fuori spessore il sisma genera uno scorrimento relativo tra trave e tamponamenti, in quanto hanno masse e inerzie differenti.

Ne consegue che tali lesioni sono solo un innocuo movimento differenziato, ma strutturalmente la casa è perfetta nonostante il danno estetico interno.

• **Rotture del nodo dei pilastri:** usualmente i pilastri verticali di una casa vengono considerati come strutture semplicemente compresse; il sisma, se l'immobile non possiede setti di controvento, genera azioni orizzontali che, su un telaio in c.a. incastrato alla base genera azioni interne sui pilastri di momento e soprattutto forte taglio sui pilastri. In tale ottica se il pilastro non possiede adeguate staffe a passo ristretto sul nodo e riprese adeguate per la continuità dell'armatura, può avvenire la rottura del nodo di incastro con ribaltamento del pilastro.

Uno degli attuali macabri simboli del dramma del terremoto di l'Aquila è per l'appunto una villetta a due piani dove il piano primo è stato completamente schiacciato dal piano secondo causa

Da sinistra: rottura del vano scala posto su un fianco dell'edificio anziché in zona centrale e, nelle due foto al centro e a destra, scoppio dei tamponamenti murari ai piani bassi di edifici con struttura in c.a.



L'autore all'opera nel territorio abruzzese coem tecnico – verificatore della Regione Lombardia.

Un'esperienza sul campo

"Nei giorni successivi al sisma che colpì L'Aquila nel mese di aprile ricevetti una comunicazione del mio Ordine degli Ingegneri: ricercavano tecnici volontari per svolgere le verifiche di agibilità degli edifici nell'area colpita dall'evento tellurico. Senza troppo pensarci aderii alla lodevole iniziativa e così nel periodo successivo ricevetti la chiamata: una settimana al servizio della Regione (nel mio caso Lombardia) e della Protezione civile come volontario ingegnere per fornire un contributo tecnico al lavoro in corso di ricostruzione. Ho così potuto constatare, in prima persona, l'ottimo lavoro di assistenza fornito dai diversi organi di protezione civile intervenuti e altresì inquadrare numerosi casi di studio edile validi esempi in negativo e a volte, in positivo, per le imprese di costruzioni di tutta Italia. Nelle valutazioni di agibilità svolte



dal sottoscritto nella settimana di volontariato (pur avendo eseguito un lavoro di analisi ristretto e non su tutto il territorio, quindi non da interpretare come una statistica della protezione civile) si è ottenuto un risultato di 75% degli edifici "agibili" e di 25% "inagibili". E' bene quindi guardare al 75% degli edifici agibili: costruire bene si può e si deve. E' un dovere di tutti gli operatori del mondo edile".

Giacomo Cusmano

rottura dei nodi dei pilastri con staffe praticamente inesistenti e riprese di armature minimali. I pilastri del piano primo sono stati espulsi completamente verso l'esterno e casualmente, i piani superiori sono atterrati perfettamente sull'impalcato di calpestio del piano primo. Certe negligenze di esecuzione mettono i bri-

vidi solo a pensarci e si spera che l'esempio negativo possa servire come monito per porre maggiori attenzioni sui nodi dei pilastri ad un numero elevato di imprese.

- **Formazione di cerniere plastiche nei pilastri:** in strutture in calcestruzzo armato il nodo trave-pilastro è sempre un punto critico che se non armato in maniera adeguata subisce azioni elevate con plasticizzazione dell'acciaio e deformazione delle strutture come se si avesse la presenza di vere e proprie cerniere. Se la struttura è iperstatica tale aspetto singolare non genera problemi all'edificio, ma se tutti i pilastri (tipici quelli al piano terra che sono i più sollecitati) non sono armati per sollecitazioni di taglio e flessione si instaura un collasso della struttura dell'intero edificio che si accascia a terra rimanendo un blocco unico. Da un punto di vista fisico è come immaginare un tavolo a cui si piegano le gambe. La normativa antisismica vigente impone prescrizioni specifiche per detti punti critici proprio sulla base di tali esempi negativi di cattiva progettazione o realizzazione comparsi in più eventi sismici.

- **Lo scoppio dei tamponamenti ai piani bassi:** il terremoto trasmette energia che la struttura edile deve dissipare in qualche modo. Immaginando l'edificio pluripiano come una mensola incastrata alla base l'assorbimento dell'energia può avvenire con oscillazioni continue delle masse o con plasticizzazione di alcuni appositi componenti. L'evento sismico dell'Aquila ha ancora una volta messo in luce come il diverso comportamento tra struttura in c.a. e tamponamenti in mattoni forati può comportare lo scoppio di quest'ultimi a causa della diversa rigidità. Interessante è osservare il fatto che a rompersi sono spesso solo i tamponamenti dei piani bassi e non quelli dei piani alti.

Ciò fa capire come in alto vi sia maggiore oscillazione di mobili e pareti (ovvero maggiore spavento per gli utenti) ma ai piani bassi la concentrazione della rigidità strutturale comporta il trasferimento di tanta energia ai tavolati che scoppiano (con pericoli maggiori per gli utenti). I casi presentati, sia descrittivi che fotografici qui illustrati in maniera sommaria e soltanto indicativa (quindi senza alcuna pretesa di fornire certe risposte e sentenze a periti e proprietari degli immobili fotografati), troveranno risposte più adeguate a fronte di analisi scientifiche sulle singole strutture cedute. Non ci si vuole certo sostituire al giudizio di chi minuziosamente andrà ad approfondire ogni singolo caso. Ciò nonostante è bene che le imprese di costruzioni di tutta Italia riflettano sull'impostazione corretta da applicare nel proprio lavoro, affinché i prossimi eventi tellurici non si trasformino in eventi devastanti. Ognuno, nel suo piccolo, può fornire un valido contributo positivo. ■

Edificio adagiato su un fianco a causa verosimilmente della formazione di cerniere plastiche nei pilastri in c.a. del piano terra.

