



SISMA ABRUZZO 2009 : La “ricostruzione” del Comune di L’Aquila - Percorso e metodologia

Pietro Di Stefano, Chiara Santoro, Vittorio Fabrizi

Servizio Ripianificazione, Politiche del territorio e ambientali del Comune L’Aquila

Consulenti: Daniele Iacovone, Sergio Pasanisi, Paolo Urbani

Servizio Ripianificazione del territorio del Comune L’Aquila

Giandomenico Cifani, Alberto Lemme, Antonio Martinelli, Carmenzo Miozzi, Aurelio Petracca
Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per le Tecnologie della Costruzione - L’Aquila.

SOMMARIO

Il lavoro illustra il percorso seguito dal Comune dell’Aquila per la programmazione e la pianificazione degli interventi di “ricostruzione” in attuazione alle direttive del Presidente della Regione Abruzzo Commissario Delegato. Il Decreto CD n.3/2010 e le Ordinanze del DPC prevedono la redazione di “piani di ricostruzione” anche con la partecipazione diretta dei cittadini attraverso la formulazione, al Comune, di proposte di intervento. Nello specifico il Comune dell’Aquila ha attivato un protocollo di progettazione che ha consentito di ottenere informazioni sulle condizioni di danno, sulle caratteristiche costruttive degli interventi, sulle condizioni d’uso, sullo stato di consistenza degli immobili con una indicazione quantitativa e qualitativa anche di eventuali beni storico artistici. I dati, relativi al centro storico dell’Aquila e alle frazioni, informatizzati su un data base, hanno consentito di effettuare analisi sia strutturali che per la programmazione degli interventi. Per quanto riguarda la programmazione e la pianificazione è prevista una stima dei costi da effettuare sulla base di analisi sul patrimonio edilizio aquilano desunte anche da precedenti esperienze post-sisma oltre alla individuazione delle zone sulle quali intervenire in tempi brevi (zone di “bordo” del centro storico).

1 PREMESSA

Affrontare il tema della ricostruzione del centro storico dell’Aquila, quinta città in Italia per presenza di un patrimonio storico-architettonico e artistico di grande pregio, e dei centri storici delle oltre cinquanta frazioni presenti nel territorio comunale, nonché del sistema di collegamenti materiali e immateriali necessari a ricostituire la città-territorio in un sistema policentrico coerente, induce ad alcune riflessioni preliminari. La naturale spinta a tornare ad abitare il centro storico e a ricollocarvi attività, servizi e residenze e la reazione del sistema città all’effetto centrifugo provocato dal sisma, sta subendo un progressivo rallentamento, anche per fattori strettamente psicologici data l’incertezza dei tempi “della ricostruzione”. Qualsiasi strategia di azione dovrebbe essere impostata e messa in campo in un periodo di tempo realisticamente compatibile con l’elasticità del sistema città. La vera opportunità dell’economia locale è un

intervento rapido, seppure per aree discontinue, secondo una strategia coordinata tra e con tutti coloro che operano nel centro storico.

2 IL PERCORSO INDICATO DALLA NORMATIVA

Il Decreto 3/2010 del Commissario delegato per la Ricostruzione “Linee guida per la ricostruzione”, pubblicato a marzo 2010, prevede la redazione di “Piani di Ricostruzione” e attiva la partecipazione diretta dei cittadini richiedendo la presentazione di proposte di intervento sugli edifici ricadenti all’interno delle perimetrazioni dei centri storici effettuate dal Comune. Ai sensi dell’OPCM 3820/2010 e s.m.i., a seguito di due avvisi del Sindaco (febbraio 2010 e giugno 2010) sono state presentate e istruite dal comune circa 2.000 proposte di aggregato per L’Aquila e le frazioni. All’interno della sola perimetrazione del capoluogo sono stati identificati 500 aggregati. In questo primo rapporto viene illustrato il percorso metodologico e alcuni risultati ottenuti

che saranno oggetto di successivi approfondimenti.



Fig. 1 - Perimetrazione e individuazione degli ambiti del centro storico del capoluogo



Fig. 2 - Individuazione degli aggregati nel centro storico del capoluogo

3 IL PROTOCOLLO DI PROGETTAZIONE E LA SCHEDA PROGETTO

Per la presentazione delle proposte di intervento è stato messo a punto dal Comune, in collaborazione con l'ITC- CNR L'Aquila, un protocollo di progettazione e una scheda-progetto che guidano il tecnico nella formulazione della proposta. La scheda progetto costituisce un format editabile che :

- unifica la tipologia e la quantità delle informazioni richieste;
- consente la formazione di una banca dati per il centro storico;
- facilita l'individuazione, integrazione, consultazione, estrazione delle informazioni.

Le schede-progetto sono state oggetto della valutazione preliminare che il Decreto commissariale pone in capo al Sindaco (art. 6 c. 3), che è stata eseguita da una commissione permanente costituita dal Comune di L'Aquila e dalla Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici dell'Aquila con specifico protocollo d'intesa del 13.10.2010. Tale primo livello di indagine progettuale ha consentito di definire il quadro conoscitivo urbanistico, edilizio, tecnico, sociale ed economico dell'Ambito in esame, inquadrando ciascun intervento nel suo contesto (storico, urbano, di danno, di accessibilità, di rapporto con edifici limitrofi, di previsione di funzionalità dei servizi a rete,...) e quindi ha consentito al Sindaco di delineare modalità, priorità, tempi di attuazione, stima dei costi degli interventi, loro inserimento nel programma delle opere pubbliche. Tra dicembre 2010 e agosto 2011 il Sindaco ha emanato 7 provvedimenti di attuazione relativi alle proposte di intervento di tutti gli edifici privati ricadenti all'interno delle mura del capoluogo, circa 220 delle cosiddette aree "a breve" (ambito B) e circa 500 della

cosiddetta "città storica" (ambito A). Sono in corso di predisposizione i provvedimenti riguardanti le frazioni. In particolare il primo riguarda l'asse centrale di Corso Federico II e il sistema di piazze ad esso collegato, già aperto al pubblico e messo in sicurezza con opere provvisorie partendo dalle direttrici principali e da queste verso le zone interne per un totale di circa 1.7 milioni di mq di cui circa 1.4 milioni per il centro storico. Per consentire la formulazione delle proposte di intervento è stato necessario effettuare la scomposizione del tessuto urbano in aggregati edilizi. Per una migliore comprensione del percorso, sono richiamati alcuni concetti fondamentali della procedura.

3.1 Analisi per aggregati urbani

Il punto di partenza dell'analisi per aggregati è l'individuazione dell'isolato urbano, delimitato da strade, spazi pubblici e/o privati comunque percorribili che può avere dimensioni rilevanti. Gli isolati sono individuabili con i codici identificativi attribuiti dal Dipartimento della Protezione Civile riportati sulla Carta Tecnica Regionale (figg.3, 4 e 5).



Fig 3 - Esempio di individuazione di isolato su base catastale



Fig 4 - Esempio di individuazione Isolato su CTR

L'isolato può costituirsi come aggregato unico ovvero essere suddiviso in più aggregati quando sono presenti giunti e connessioni deboli tra gli edifici (unità strutturale). Per "aggregato strutturale può intendersi un insieme di edifici (unità edilizio-strutturali) non omogenee, interconnessi tra di loro con un collegamento più o meno strutturalmente efficace determinato dalla loro storia evolutiva che possono interagire sotto un'azione sismica o dinamica in genere. Nel caso dei centri storici l'aggregato, ove non siano presenti giunti, quali ad esempio rue o altre disconnessioni tra i diversi edifici, coincide con il termine (urbanistico) di isolato, la cui soluzione di continuità dal resto del tessuto urbano è costituito dalla presenza di strade e piazze." Al fine di individuare univocamente un aggregato

edilizio pertanto è necessario indicare quali siano gli spazi (strade, piazze, corti interne, giunti di separazione) che lo rendono strutturalmente indipendente dagli edifici nelle immediate vicinanze.



Fig. 5 - Colore verde scuro : aggregato identificato in modo definitivo



Fig. 6- Colore grigio : aggregato identificato con riserva

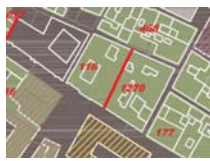


Fig 7 – Identificazione definitiva delle Porzioni di Aggregato (US)

Nel caso di aggregati particolarmente complessi e di dimensioni elevate è possibile effettuare la divisione in più porzioni di aggregato.

La definizione di “porzione” è stata introdotta dall’OPCM 3832/2009 e costituisce la cosiddetta UMI, Unità Minima di Intervento e può essere costituita da una o più unità strutturali. E’ possibile effettuare lo stralcio di una o più “porzioni” di aggregato quando :

- la superficie di impronta a terra della porzione (UMI) da stralciare sia uguale o superiore a 300 mq. (sui 1000 mq. minimi.)
- la porzione sia delimitata, da spazi aperti, rue (percorsi di larghezza limitata inferiore anche ad un metro) , giunti tecnici adeguati e/o a norma, collegamenti strutturali deboli che non alterano in modo significativo il comportamento strutturale d’insieme (esempio muri di cinta deboli, corpi di fabbrica di piccole dimensioni) o da edifici contigui costruiti con tipologie costruttive e strutturali diverse; in pratica murature adiacenti ad altre murature, realizzate con tecnologia costruttiva non necessariamente assimilabile, possono costituire la condizione per individuare una “porzione” (UMI) di aggregato.

La “Unità Minima di Intervento (UMI), si configura pertanto come una porzione di aggregato, costituita da una o più Unità Strutturali Omogenee (edifici), che sarà oggetto di intervento unitario, nel rispetto di una corretta modellazione degli aspetti di interazione strutturale tra la parte stralciata e quella posta in adiacenza, esterna alla UMI. La scelta ottimale delle UMI sarà tale da minimizzare le reciproche interazioni sotto l’effetto dell’azione sismica” e, ai sensi dell’art. 7 c. 5 dell’OPCM n. 3820/2009,

il Consorzio obbligatorio dei proprietari resta unico per l’intero aggregato, anche se suddiviso in porzioni e per assicurare l’unitarietà dell’intervento è previsto un coordinamento tecnico ed amministrativo. Di fondamentale importanza in questo processo è l’analisi delle trasformazioni urbane avvenute nel corso degli anni partendo dalle singole unità strutturali individuate come edifici compiuti che possono avere interazioni strutturali con gli altri edifici dell’aggregato. Infatti negli aggregati urbani dei centri storici sono presenti diversi livelli di interazione e il riconoscimento delle unità strutturali non sempre è univocal, o facilmente individuabile. Nella figura 8 sono indicate alcune configurazioni di base che illustrano, in modo sintetico, il percorso di accrescimento e di trasformazione degli aggregati urbani. Pertanto l’unità strutturale è il punto di partenza per la individuazione corretta degli aggregati e per la suddivisione degli aggregati in porzioni ma soprattutto per la definizione degli interventi di riparazione del danno e miglioramento sismico che dovranno essere concepiti per singola unità strutturale tenendo in debito conto le eventuali interazioni nell’ambito delle partizioni dell’aggregato.

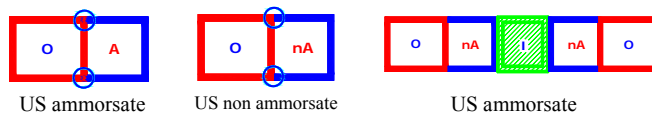


Fig. 8 - EVOLUZIONE : O = originario, A = Ammortato, I = Indipendente, nA = non ammortato

3.2 La scheda progetto

Il protocollo di progettazione elaborato prevede la formulazione delle proposte di intervento mediante l’utilizzo di una “**scheda progetto**” che rappresenta un **primo livello conoscitivo e propositivo** dell’attività progettuale sull’aggregato edilizio e consente in tempi brevi di raccogliere in un formato unico le informazioni necessarie alla definizione dei successivi piani di intervento. Infatti la redazione e la valutazione delle schede-progetto consentono la condivisione preliminare dell’intervento con Comune (conformità urbanistica) e Soprintendenza (compatibilità storico-paesaggistica) e facilita la successiva redazione dei progetti stessi e la loro valutazione. Tale impostazione consente :

- di costruire formazione di una banca dati per il centro storico;

- di facilitare l'individuazione, l'integrazione, la consultazione e l'estrazione delle informazioni da parte degli utenti, la valutazione e l'archiviazione da parte del Comune e degli enti preposti nella prospettiva di un protocollo unico di progettazione e istruttoria dei progetti.

Dalla informatizzazione dei dati è possibile effettuare:

- una analisi combinata della consistenza edilizia, del danno e della tipologia costruttiva;
- una stima preliminare dei costi di intervento
- la costruzione, attraverso la ricognizione delle proposte e l'individuazione dei progetti in fase più avanzata di definizione di un ampio quadro conoscitivo di supporto alla programmazione.

•

La **scheda progetto** comprende **5 sezioni** nelle quali è fornita l'individuazione dell'aggregato e delle unità strutturali che lo compongono, la descrizione dello stato di consistenza, del sistema costruttivo e una descrizione sintetica della proposta di intervento.

Sez.	Contenuti scheda progetto
A	Dati identificativi e descrittivi dell'aggregato e o dell'edificio singolo
B	dati di ciascuna unità strutturale (9 sezioni):
B1-B2	Dati catastali
B3	Consistenza edilizia : posizione dei livelli, superfici e volumi
B4-B5	Descrizione dell'edificio : epoca di costruzione, destinazioni d'uso, utilizzazione, occupanti, posizione, esito di agibilità post-sisma eventuali vincoli
B6	Tipologia degli elementi costruttivi
B7	Consistenza dei beni storico artistici
B8	Danno agli elementi strutturali
B9	Stima delle superfici e delle destinazioni d'uso prima del sisma e con la proposta di intervento
C	Dati riepilogativi delle singole unità strutturali
D	Allegati : elaborati descrittivi dell'aggregato
E	Descrizione della proposta progettuale con il supporto di elaborati grafici, stima delle superfici e destinazioni d'uso prima del sisma e dopo la proposta di intervento
F	Indicazione e illustrazione dell'eventuale coordinamento progettuale tra più aggregati adiacenti.
D	Note per la compilazione della scheda progetto
Tabella n.1 – contenuti della scheda progetto	

Nella scheda sono presenti indicazioni relative allo stato attuale e allo stato futuro.

Per lo **stato attuale** sono rilevati : danno sismico, caratteristiche costruttive degli interventi, condizioni d'uso, stato di consistenza degli immobili, indicazione quantitativa e qualitativa di eventuali beni storico artistici.

Per lo **stato futuro**: tipologia di intervento, eventuali variazioni di destinazioni d'uso, inserimento dell'intervento nel suo contesto, eventuale partecipazione di soggetti privati alla ricostruzione.

Gli **strumenti** utilizzati per rappresentare lo stato di consistenza sono stati tratti, in parte, dalle schede utilizzate dal Dipartimento della

Protezione Civile e dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali per il rilievo del danno e dell'agibilità nella fase dell'emergenza.

L'analisi delle schede, informatizzate su un data base, consente di effettuare :

- analisi comparate del danno e del rischio sismico, analisi delle tipologie costruttive;
- ottenere utili informazioni per fornire indicazioni ed indirizzi generali per la realizzazione degli interventi strutturali e funzionali;
- effettuare una stima dei costi di intervento, tenendo conto dei costi stabiliti dai provvedimenti fino ad oggi emanati dal Commissario Delegato;
- dei criteri applicati in precedenti esperienze post-sisma; (*NON E' detto bene. Consente di effettuare dei criteri.... ??*)
- individuare le più opportune modalità attuative degli interventi proposti.

3.3 Il modello per la stima dei costi

Sulla base dei dati contenuti nelle schede progetto è stato predisposto un **modello per la stima preliminare dei costi di intervento** partendo dai costi previsti dalla OPCM 3790/2009 ss.mm.ii. e tenendo conto dei limiti di convenienza indicati dal Presidente della Regione Abruzzo Commissario Delegato. L'applicazione del percorso e dei costi indicati dalle OPCM 3790/2009 e OPCM 3881/2010 all'edificato del centro storico ha evidenziato alcune criticità e la necessità di introdurre alcuni correttivi per la fase della progettazione esecutiva e la realizzazione degli interventi. Il modello prevede un costo di Riparazione dl Danno (RD) e di Miglioramento Sismico (MS) graduato in funzione del livello di danno e della tipologia costruttiva. Nel modello dei costi di stima è stato definito un costo unitario di riferimento pari a quello del miglioramento sismico (400-600 euro/mq). I dati per la stima sono stati ricavati dalle schede progetto e sono state applicate alcune maggiorazioni dei costi riferibili a particolari condizioni presenti nei centri storici quali la presenza di elementi di pregio negli edifici, l'amplificazione locale, le difficoltà di accesso e di esecuzione dei lavori, l'interazione tra edifici pubblici, e privati e la interazione degli impianti con il sistema strutturale. La stima, naturalmente, non rappresenta il contributo definitivo che sarà determinato con il progetto esecutivo, ma

consente alla pubblica amministrazione di effettuare la programmazione economica degli interventi.

RD- Riparazione del danno delle parti strutturali, non strutturali e degli impianti. E' stato assunto il costo massimo convenzionale previsto per il miglioramento sismico dalla OPCM 3790/2009 pari a 600 euro/mq. Tale valore è stato graduato in funzione del livello di danno e della sua estensione, stimato sulla base delle indicazioni riportate nella sezione B8 della scheda progetto (desunto dalla sez. 4 scheda AeDES), suddiviso per ciascuna componente strutturale (strutture verticali, orizzontamenti, scale, coperture, tamponature-tramezzi). Il costo di intervento di ogni unità strutturale è pari alla sommatoria dei costi di ciascuna componente determinato dal prodotto dell'indice di danno, della quota di partecipazione della componente strutturale e del costo massimo unitario di riparazione del danno ($C_{RD} = \sum (I_{di} * C_{RDi} * Sup)$).

MS – Miglioramento sismico

La OPCM 3790/2009 prevede i seguenti costi per gli interventi di miglioramento sismico :

- 1) 600 euro/mq (*edifici in muratura con solai deformabili, edifici con un numero di piani uguale o superiore a 5, edifici in c.a. con danno medio grave diffuso per oltre 2/3 nei pilastri e nelle travi di un piano*)
- 2) 400 euro/mq (*edifici in muratura con orizzontamenti rigidi con numero di piani inferiore a 5, edifici in c.a. con danno inferiore al livello medio-grave con diffusione inferiore a 2/3 degli elementi strutturali dello stesso livello*).

Nel modello di stima è stato assunto il valore di 600 euro/mq e sulla base dei costi ricavati da analisi effettuate per analoghi interventi di ricostruzione sono state individuate alcune classi tipologiche per caratteristiche costruttive degli edifici e alcune sequenze logiche di interventi necessarie per conseguire il miglioramento sismico previsto dalla normativa. Il costo di intervento per ciascuna unità strutturale è dato dal prodotto della superficie, dell'indice di struttura e del costo unitario. Per le tipologie edilizie più vulnerabili il costo del miglioramento sismico, necessario a conseguire il livello di sicurezza previsto da NTC 2008, è maggiore del costo limite ed è stato previsto un incremento di

contributo con la limitazione che il costo complessivo dell'intervento strutturale di riparazione del danno e miglioramento sismico non superi il limite di contributo ammissibile. Ciò comporta una maggiore flessibilità nell'applicazione della OPCM 3790/2009 per superare le difficoltà connesse alla distinzione degli interventi di riparazione del danno e di miglioramento sismico.

Maggiorazioni

Maggiorazione del costo di Miglioramento Sismico per edifici privati in aggregato con edifici pubblici.

Maggiorazione per Amplificazione locale.

Nel centro storico con la microzonazione sismica, sono state rilevate zone con elevata amplificazione (max. FA = 2) e anche se nella maggior parte della zona perimetrata è stato rilevato un fattore di amplificazione FA=1 comunque suscettibile di amplificazione sismica. Pertanto è stata prevista nel modello una maggiorazione per amplificazione sismica locale (AL) graduata in funzione del fattore di amplificazione FA (min 8% - max. 30%).

Maggiorazione per difficoltà di accesso e coordinamento dei cantieri pari al 10% del costo di RD e MS.

Maggiorazione per edifici di pregio e vincolati (Dec CD 45/2011) : In generale per determinare le maggiorazioni per gli edifici di pregio (max. 60%) e vincolati (max. 100%) sono state effettuate alcune ipotesi di lavoro che utilizzano le indicazioni tecniche contenute nella scheda progetto (epoca di costruzione, tipologia costruttiva, vincolo, presenza di beni storico artistici, utilizzazione, destinazione d'uso). Nella fase preliminare la maggiorazione relativa agli edifici di pregio (60%) è stata prevista soltanto per quelli aventi epoca di costruzione uguale o superiore a 70 anni e la maggiorazione del 100% è stata considerata per gli edifici vincolati e per quelli, non vincolati, con una elevata concentrazione di beni storici artistici di valore. I costi definitivi per il recupero dei beni storici artistici potranno essere computati soltanto in sede di progettazione esecutiva in accordo con il MIBAC e non sono stati considerati nella stima. Nella scheda è riportata una stima quantitativa e

qualitativa di tali beni. Per la fase esecutiva della progettazione esecutiva, con i dati contenuti nella scheda progetto, eventualmente integrati, possono essere individuati alcuni parametri quantitativi e qualitativi che consentono di stabilire, in modo oggettivo, la maggiorazione da applicare per gli edifici di pregio.

Maggiorazione per impianti pubblici connessi con l'edilizia pubblica e privata : il tessuto edilizio dei centri storici evidenzia come a fronte di una vulnerabilità dei manufatti in muratura sia spesso presente una vulnerabilità connessa ad interventi di natura impiantistica. La necessità di posizionare all'interno delle murature portanti gli impianti determina una riduzione della resistenza dei maschi murari che si trovano in corrispondenza del piano terra. Infatti nella maggior parte dei casi gli "scassi" effettuati risultano di dimensioni considerevoli a causa dell'impossibilità fisiologica di prevedere nicchie di ampiezza limitata in pannelli di muratura in pietra. Tale aspetto trascurato dalla normativa vigente dovrà essere considerato nella fase esecutiva della progettazione. Per tale motivo è stata prevista una maggiorazione di costo pari al 5% del costo di miglioramento sismico.

4 DESCRIZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO SULLA BASE DEI DATI CONTENUTI NELLE SCHEDE PROGETTO

L'analisi è stata svolta tenendo conto dei sei sottoambiti nei quali è stato diviso il centro storico che al momento del sisma era occupato da circa 12000 cittadini con una densità abitativa di circa 115 mq per abitante. Circa il 94% delle unità immobiliari risultava occupata per oltre il 65% e la destinazione d'uso prevalente era quella abitativa (65.76%) con una presenza significativa di attività commerciali e produttive (circa 28%) e di uffici pubblici (circa 7%). La proprietà è prevalentemente privata (circa 96%) e la superficie complessiva è di circa 1.4 milioni di mq a fronte di una superficie coperta di circa 164.000 mq. Le unità immobiliari destinate a residenza principale sono circa il 63% con una elevata percentuale di Unità Immobiliari non destinate a residenza principale (circa 37%). Il patrimonio edilizio è composto in prevalenza da edifici in aggregato, 72.66%, e da circa il 27% di edifici singoli. Per quanto riguarda l'epoca di costruzione circa il 74% degli edifici è stato costruito prima del 1945, una porzione

significativa è stata costruita tra il 1945 e il 1970 (circa 18%) e soltanto il 4-5% è stato costruito negli ultimi 30 anni. Complessivamente circa l'82% del patrimonio edilizio ha un'età superiore a 50 anni. Gli edifici soggetti a vincolo monumentale ex L. 1089/1939 sono circa il 13% ed è presente una limitata percentuale di edifici con altre tipologie di vincolo (circa 3%) che risultano attribuiti soltanto ad edifici in muratura. Sono numerosi gli edifici con elementi architettonici di pregio non soggetti ad alcun vincolo.

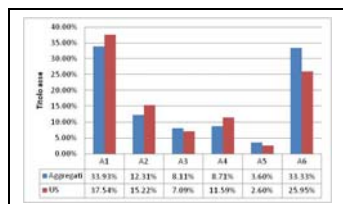


Fig. 9 proposte di intervento presentate e corrispondenti Unità Strutturali suddivise per sub-ambito

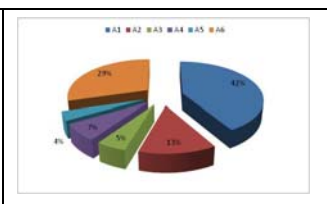


Fig. 10 Occupanti per ciascun sub ambito del centro storico



Fig. 11 - Destinazione d'uso

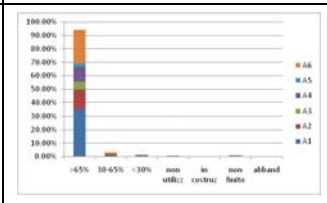


Fig. 12 - Livello di utilizzazione

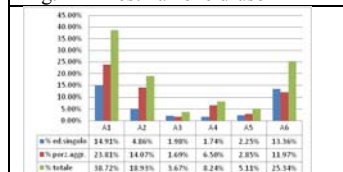


Fig. 13 - destinazione di residenza principale e non principale per sub ambito

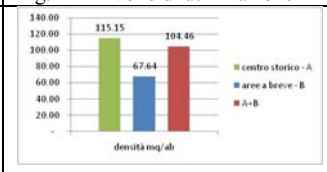


Fig. 14 - Densità abitativa del centro storico e della aree a breve

Zona	Superficie	Occupanti	Densità mq/ab
centro storico - A	1,390,057.14	12,072.07	115.15
aree a breve - B	236,998.72	3,504.00	67.64
A+B	1,627,055.86	15,576.07	104.46

Tabella 2 – superficie e occupanti il centro storico

4.1 Tipologie costruttive

La tipologia prevalente degli edifici e la muratura (circa 95%) con una percentuale minore di edifici in cemento armato (4,67%). Si evidenzia la differenza tra il centro storico e le aree a breve dove la percentuale degli edifici in muratura è inferiore (70%) e sono più numerosi gli edifici in cemento armato (circa 30%). Il numero dei piani, per circa il 74% degli edifici è compreso tra 4 e 6 con un numero limitato di edifici con 2-4 piani (circa 2.6%) e una percentuale più significativa (circa 16%) di edifici con 6-10 piani.

Complessivamente circa il 34% degli edifici ha un numero di piani inferiore a 5 e circa il 66% ha un numero di piani uguale o superiore a 5.

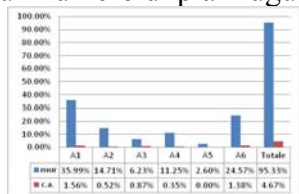


Figura 15 - Tipologie costruttive per gli ambiti del centro storico (A)

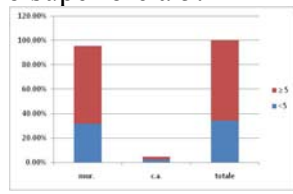


Figura 16 - Numero dei piani e tipologia costruttiva

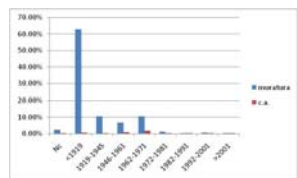


Figura 17 - Epoca di costruzione e tipologia costruttiva

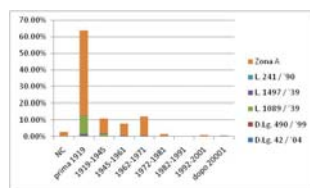
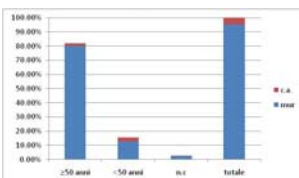


Figura 18 - Tipologia di vincolo ed epoca di costruzione

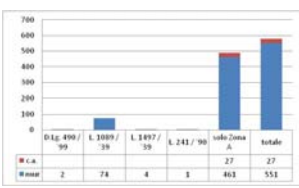
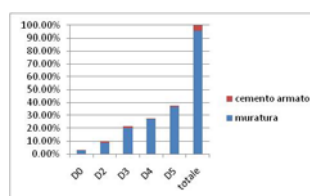


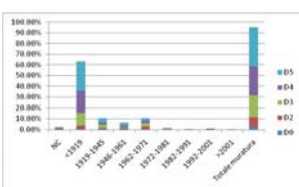
Figura 19 - Vincolo e tipologia costruttiva

4.2 – Analisi del danno

Il livello di danneggiamento degli edifici in muratura è elevato (oltre 45% livelli D4 (danno grave) e D5 (danno gravissimo) mentre per gli edifici in cemento armato si ha un danno minore concentrato nei livelli D2 (moderato) e D3 (medio-grave). Dalla distribuzione del livello di danno con il numero dei livelli si rileva una concentrazione del danno elevato negli edifici aventi 4 e 5 piani. Molti edifici vincolati risultano gravemente danneggiati e la posizione di estremità risulta quella maggiormente presente nei livelli D4 D5. L'epoca di costruzione evidenzia l'elevata vulnerabilità degli edifici costruiti prima del 1919 con circa il 63% di edifici con livelli di danno elevato D4 e D5.



Edifici in muratura : livello di danno alle strutture verticali



Edifici in muratura : livello di danno ed epoca costruzione

Di particolare interesse è la correlazione tra il livello di danno e l'esito di agibilità. Per gli edifici in muratura circa il 73% degli edifici è inagibile con livello di danno distribuito nei

cinque livelli e significativa risulta la presenza di edifici inagibili con livello di danno lieve(D1) e moderato (D2).

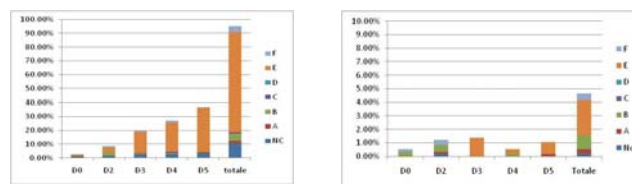


Figura 20 - Edifici in muratura : livello di danno ed esito di agibilità

4.2 – Analisi danno vulnerabilità e indicazioni per la esecuzione degli interventi strutturali

Per l'avvio della progettazione esecutiva degli interventi sono state svolte analisi combinate di danno e vulnerabilità sulla base dei dati ricavati dalle schede progetto che forniscono utili indicazioni per la esecuzione degli interventi strutturali sul patrimonio edilizio e sono state individuate alcune tipologie di edifici più ricorrenti e più vulnerabili utilizzando una classificazione con 4 codici corrispondenti alla qualità muraria, ai collegamenti di piano, alla tipologia degli orizzontamenti e alla copertura. Per ciascuno di essi è stato ipotizzato un codice binario corrispondente ad elementi costruttivi efficaci e non efficaci nei confronti della risposta sismica. Nella figure è stata indicata la correlazione tra le tipologie edilizie e la tipologia costruttiva. Sono risultate prevalenti le tipologie costruttive 1111 (circa 28%) e 1112 (circa 23%), corrispondenti ad edifici in muratura di qualità scadente, assenza di collegamenti di piano, orizzontamenti deformabili e copertura spingente e non spingente. La correlazione tra le classi di edifici e il livello di danno ha confermato l'elevata vulnerabilità delle classi 1111 e 1112 con presenza di livelli elevati (D4 circa 10% e D5 circa 14%) e la buona risposta sismica degli edifici della classe 2222 e 2221 con muratura buona, presenza dei collegamenti di piano, orizzontamenti rigidi e copertura non spingente. L'analisi conferma l'efficacia di alcune caratteristiche costruttive quali i collegamenti di piano per gli edifici in muratura (catene), gli orizzontamenti rigidi e le coperture non spingenti. Il modello utilizzato per la stima dei costi consente di definire le strategie di intervento attraverso un collegamento tra le tipologie costruttive, risultanti dall'analisi dei dati ottenuti dalla elaborazione delle proposte di intervento e le tipologie costruttive aquilane. Il passo successivo, propedeutico alla progettazione esecutiva, è stato quello di proporre

l'individuazione di interventi strutturali, compatibili con le tipologie costruttive, necessari per il recupero degli edifici e, attraverso una analisi costi/benefici individuare quelli che garantiscono il recupero edilizio i osservanza ai principi di: sicurezza sismica, costo contenuto, rispetto delle caratteristiche costruttive locali, rispetto del valore architettonico e storico artistico degli edifici. Per la classificazione delle tipologie costruttive sono stati individuati quattro elementi che possono rappresentare il comportamento strutturale : la qualità muraria, la presenza dei collegamenti di piano, la tipologia degli orizzontamenti e della copertura.

A - La qualità muraria.

Sono state individuate due classi principali:

1 - muratura a tessitura irregolare di cattiva qualità con elevata vulnerabilità per azioni fuori del piano e tendenza alla disgregazione dei paramenti murari mal collegati tra di loro con materiali aventi scarsa resistenza e configurazione disordinata dell'apparecchio murario.

2 - muratura a tessitura regolare e di buona qualità costituita da blocchi lapidei più o meno regolari con tessitura regolare e ben organizzata.

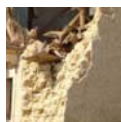


Fig. 21 - Classe A - Muratura realizzata con elementi di pietra irregolari



Fig. 22 - Classe B - Apparecchio aquilano



Fig. 23 - Classe B - Muratura intonacata a conci irregolari e ricorsi a continui in mattoni.



Fig. 24 - Classe B - Muratura in pietre di grosse dimensioni

B - I collegamenti di piano.

Caratterizzano in modo significativo il comportamento sismico degli edifici e sono da imputare al collegamento tra i maschi murari che può essere costituito sia dall'ammorsamento tra le pareti e sia da elementi di ritegno e collegamento tra le stesse. Il sistema più tradizionale sono le catene in acciaio e i cordoli di piano. In molti casi le catene sono realizzate anche in legno.



Fig. 25 - Bolzone di catena metallica



Fig. 26 - Catene lignee



Fig. 27 - Collegamenti continui di piano



C - qualità degli orizzontamenti, fortemente collegata ai collegamenti di piano, influenza in modo determinante il comportamento sismico degli edifici. Orizzontamenti deformabili sono i solai in legno, le volte sottili, i solai in ferro e tavelloni senza soletta di irrigidimento. Essi consentono le deformazioni della compagine muraria e, se ben collegati alle strutture verticali, garantiscono un comportamento favorevole alle azioni sismiche. Gli orizzontamenti rigidi sono costituiti da elementi in cemento armato e orizzontamenti consolidati con una soletta rigida in c.a. Per edifici irregolari si può avere un comportamento sfavorevole alle azioni sismiche per le deformazioni della scatola muraria in contrasto con la rigidità degli impalcati.

D - Strutture di copertura : coperture pesanti sono quelle in laterocemento eseguite con differenti tecnologie mentre le coperture spingenti presentano elementi strutturali inclinati che trasmettono azioni orizzontali alle strutture verticali.

Dall'esame di queste componenti strutturali possono essere individuati alcuni criteri generali per la scelta degli interventi di miglioramento sismico e gli edifici sono stati suddivisi in macrotipologie a cui corrisponde una strategia generale di intervento che può essere calibrata sul singolo caso in base ad un esame più approfondito degli elementi tipologici. Pertanto sono state individuate 4 macrotipologie, corrispondenti ognuna ad una strategia di intervento, che tengono conto degli elementi costruttivi di base.

A1 - Edifici regolari in pianta e in elevazione con orizzontamenti deformabili e muratura di buona o cattiva qualità.

Appartengono a questa macrotipologia gli edifici isolati o gli aggregati edilizi compatti e caratterizzati da una regolarità in pianta (edifici a blocco, a schiera corta). In questo caso la strategia di intervento è fortemente condizionata dal livello di danneggiamento post-evento e la presenza della regolarità in pianta potrebbe favorire la trasformazione dei solai da deformabili a rigidi e la cattiva qualità della muratura potrebbe richiedere un intervento di consolidamento diffuso. In presenza di un livello di danno grave e/o di una muratura di buona qualità è possibile prevedere il consolidamento

sia delle murature che degli orizzontamenti trasformandoli da deformabili a rigidi conferendo all'edificio un comportamento scatolare. In presenza di un danneggiamento lieve è possibile prevedere soltanto l'irrigidimento degli orizzontamenti. Si sconsiglia tale intervento quando la muratura è scadente perché verrebbe conferito un comportamento scatolare all'edificio con prevalenza dei meccanismi di taglio in presenza di una muratura non idonea a resistere a tali azioni. In tal caso l'intervento dovrebbe essere integrato con un rinforzo delle strutture verticali. È determinante, inoltre, la qualità e la quantità dei collegamenti tra gli elementi strutturali orizzontali e verticali, infatti, nel caso di collegamenti insufficienti, questi vanno previsti in modo diffuso. In presenza di una massa muraria insufficiente vanno previsti interventi di consolidamento e regolarizzazione del tessuto con la esecuzione di nuove pareti, il rinforzo delle aperture e la chiusura dei vuoti superflui.

A2 - Edifici non regolari in pianta e/o in elevazione con orizzontamenti deformabili in presenza di muratura di buona o cattiva qualità.

Tale macrotipologia è caratteristica degli edifici inseriti negli aggregati dei centri storici con configurazione irregolare in pianta e/o in elevazione. In questo caso la presenza di solai rigidi può produrre deformazioni nel piano dell'edificio con conseguente aumento del danneggiamento per effetti torsionali e deformazione delle cellule murarie. Indipendentemente dal livello di danno e dalla qualità della muratura, si consiglia di prevedere sempre solai deformabili e graduare l'intervento sulle murature in funzione delle effettive necessità. Si dovrà, prioritariamente, prevedere il controllo dei meccanismi fuori del piano ai vari livelli e in copertura e, successivamente, il consolidamento della muratura. Per questi edifici si consiglia di ottenere un comportamento scatolare attraverso l'inserimento di catene o collegamenti in acciaio, evitando l'irrigidimento degli orizzontamenti; nel caso di massa muraria insufficiente vanno previsti gli interventi di regolarizzazione del tessuto mediante l'esecuzione di nuovi setti, il rinforzo delle aperture e la chiusura dei vuoti non funzionali e successivamente il consolidamento della

muratura, da attuare con tecniche compatibili con le caratteristiche costruttive esistenti.



Fig. 28 - Esempio di aggregato edilizio

A3 - Edifici regolari in pianta con orizzontamenti rigidi e muratura di buona o cattiva qualità.

Appartengono a questa tipologia gli edifici eseguiti negli ultimi 40-50 anni o che hanno subito interventi di consolidamento con le tecniche in uso negli anni "80" e "90" caratterizzate dall'uso del cemento armato e da irrigidimenti parziali. In questi due gruppi, aventi bassa vulnerabilità, il danneggiamento è limitato e l'intervento dovrà essere rivolto a correggere alcuni errori costruttivi e alla riparazione del danno. In presenza di muratura di cattiva qualità occorre prevederne il consolidamento.

A4 - Edifici non regolari in pianta con orizzontamenti rigidi e muratura di buona o cattiva qualità.

In questa tipologia rientrano gli edifici aventi caratteristiche costruttive differenti che hanno subito interventi di irrigidimento negli ultimi anni e che possono essere inseriti anche in aggregati urbani con edifici adiacenti e orizzontamenti deformabili. La presenza contemporanea della irregolarità in pianta e dei solai rigidi costituisce una condizione strutturale sfavorevole di difficile controllo. Tenuto conto che risulta difficoltoso intervenire sugli orizzontamenti rigidi diventa necessario elevare la resistenza delle murature, migliorare la qualità dei collegamenti di piano, nei casi di impalcati rigidi mal collegati alle murature, e valutare la possibilità di regolarizzare la tessitura muraria anche mediante la esecuzione di nuovi muri e di giunti.

4.3 - Indicazioni per la scelta degli interventi ed analisi dei costi

Per quanto riguarda la scelta degli interventi sono state individuate alcune sequenze predefinite di intervento applicabili alle diverse tipologie

costruttive che consentono di definire il migliore rapporto costo-benefici in termini di riduzione della vulnerabilità sismica. Tali sequenze sono state selezionate in base all'efficacia e al costo impiegando modelli semplificati di analisi complessiva della vulnerabilità sismica (NTC 2008 _____) e analisi locali. Per definire con maggiore dettaglio gli interventi la strategia è stata calibrata sulle tipologie costruttive e sui livelli di danneggiamento e sono stati individuati più livelli di costo, collegati alle tipologie costruttive, che consentono di raggiungere i livelli di sicurezza sismica previsti dalla normativa. Sono stati selezionati gli interventi possibili per i quali è stata fatta una analisi di costo basandosi sui prezzi delle lavorazioni ricavate dal tariffario regionale suddividendoli in interventi sulle strutture orizzontali, sulle strutture verticali e in copertura.

Per completare il processo di analisi sono state esaminate alcune sequenze logiche di intervento in funzione della tipologia costruttive e del livello di danneggiamento.

Sequenza 1 : prevede un livello di costo base contenuto (L1) che corrispondente alla fase della *ricostruzione leggera* ed è adottabile per gli edifici danneggiati in modo lieve, regolari in pianta ed in elevazione, caratterizzati da una muratura di buona qualità, con solai deformabili o rigidi e una copertura leggera non spingente. Oltre alla riparazione del danno si prevede l'inserimento dei collegamenti di piano nel caso di solai deformabili, la realizzazione di un cordolo o di un cerchiaggio di sommità, il consolidamento delle piattabande e l'eventuale regolarizzazione del tessuto murario.

Sequenza 2: corrisponde alla *riparazione con miglioramento sismico* applicabile agli edifici che differiscono dai primi solo per il livello medio-grave del danneggiamento ed una qualità scadente della muratura. Sono previsti interventi di riparazione consistenti in operazioni di cucì scuci, nella chiusura di aperture o di nicchie presenti, e il consolidamento delle piattabande e delle murature. Anche in questo caso l'inserimento di catene o la realizzazione dei collegamenti di piano e gli interventi in copertura sono necessari per contrastare i modi di danno locale. La sequenza due prevede un costo maggiore che corrisponde ad un primo grado della ricostruzione pesante.

Sequenza 3 : corrisponde agli edifici danneggiati in modo grave con muratura di scadente qualità

con numerose carenze costruttive, assenza di collegamenti di piano e copertura spingente. Corrisponde alle classi strutturali 1111 e 1112 maggiormente danneggiate e presenti in circa il 51% (28% classe 1111 e 23% classe 1112 23%) degli aggregati del centro storico. La sequenza prevede la esecuzione di interventi di regolarizzazione del tessuto murario (chiusura vuoti e aperture, costruzione di nuovi muri, consolidamento piattabande), il consolidamento delle murature, che può essere realizzato con differenti tecnologie (collegamenti trasversali e iniezioni, cuciture armate attive, materiali compositi, ..), la realizzazione dei collegamenti di piano e interventi in copertura (cordolo, sostituzione elementi spingenti, ...). Il costo della sequenza tre è elevato e per esigenze di tutela e conservazione del patrimonio edilizio si procederà sempre a consolidare l'esistente e si ricorrerà alla demolizione soltanto nei casi di edifici di scarso pregio architettonico non facenti parte del tessuto storico.

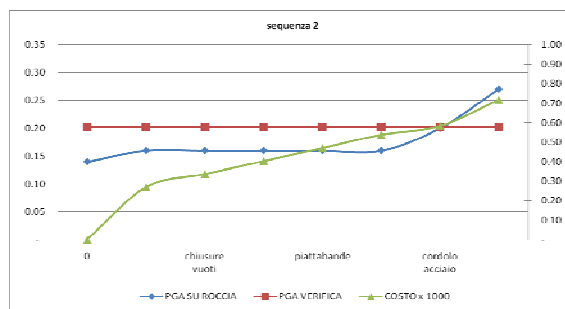


Fig. 29 - Sequenza 2

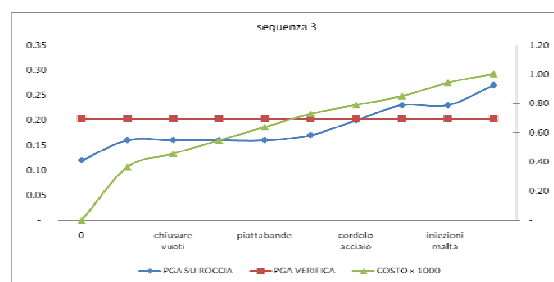


Fig. 30 - Sequenza 3

Le tre sequenze sono state esaminate per avere un'indicazione generale dell'efficacia degli interventi di miglioramento sismico ed è stato valutato il livello di vulnerabilità di un edificio virtuale prima e dopo l'intervento esaminando per ciascuna sequenza la variazione della vulnerabilità e il relativo costo dopo la esecuzione di ciascun intervento. Nei grafici, sull'asse orizzontale, è riportato l'ordine di esecuzione degli interventi ed in ordinata (lato destro) il costo, (lato sinistro) l'accelerazione. La linea rossa corrisponde al valore dell'azione

sismica di verifica corrispondente alla soglia di vulnerabilità indicata dalla normativa ($0.20 g = 0.262 g * 1.2 * 0.65$) in presenza di terreno di tipo B. Dall'esame dei grafici e dal loro confronto si evidenzia come, dal modello virtuale, sia possibile raggiungere la soglia di verifica prevista dalla normativa, con interventi limitati e fare alcune considerazioni di carattere generale utili per la progettazione degli interventi. La variazione della vulnerabilità complessiva risulta essere minore di quella dei singoli interventi in quanto alcune lavorazioni intervengono su più parametri del modello di verifica. Sono stati individuati e selezionati gli interventi che hanno un costo elevato e determinano una riduzione paragonabile a quella degli interventi che hanno un costo minore. Gli interventi sugli orizzontamenti e di regolarizzazione della maglia muraria contribuiscono in modo significativo alla riduzione della vulnerabilità con costi contenuti. Gli interventi di rinforzo e miglioramento delle proprietà meccaniche delle murature hanno costi elevati con una riduzione limitata della vulnerabilità se eseguiti in sequenza con gli altri interventi. Dal modello si rileva che nel caso della sequenza 1 il costo di intervento è pari a circa 550 euro/mq mentre per le sequenze 2 e 3 il costo di intervento è pari a circa 700 euro/mq e 1000 euro/mq.

REFERENCES

- Lemme A., Podestà S., Marinelli A. Sisma Molise 2002, dall'emergenza alla ricostruzione, edifici in muratura, DEI 2008,
 Gruppo Nazionale Difesa Terremoti, Servizio Sismico Nazionale, *manuale tecnico per la compilazione della scheda di agibilità AeDES*, 2001,
 A.Borri, la qualità muraria problematiche e interventi, *Sisma Abruzzo 2009 casi studio Vice Commissario per i BCC*, 2010,
 Comune L'Aquila – CNR-ITC L'Aquila, *scheda progetto per la presentazione delle proposte di intervento*, 2010
 Dipartimento Protezione Civile, *OPCM 3279 del 2009*

Seq.	Livello danno	Classi strutturali prevalenti	Livello di costo	Costo al mq di sup. lorda
1	D1-D2	2222-2221-2212-....	L1-L2	400-600
2	D3-D4	1222-2111-....	L2 – L3	600-800
3	D4-D5	1111-1112-....	L4 – L5	1000-1200

Tabella 3 – livelli di danno, costo e tipologie costruttive

Ai livelli di costo base vanno poi applicate le maggiorazioni previste nel modello di costo.

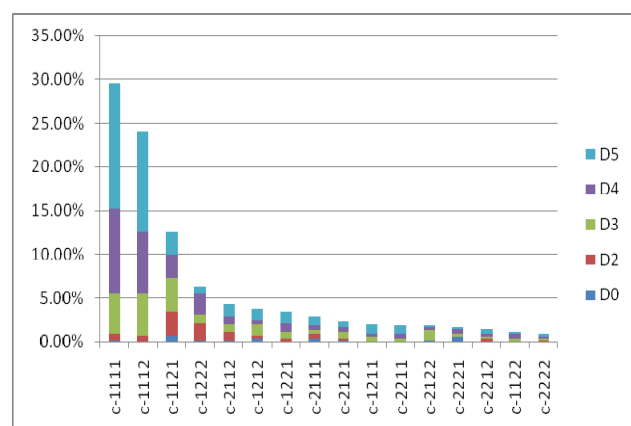


Fig. 31 - Correlazione delle classi strutturali con il livello di danno