

Analisi di dati finalizzata alla calibrazione di modelli di vulnerabilità, danno e stima dei costi di intervento per edilizia ordinaria e pubblica

Sonia Giovinazzi

Department of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand

Stefano Podestà, Sonia Resemini

DICAT, Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio, Università di Genova, Italia

Alberto Lemme

Regione Molise, Isernia, Italia

Keywords: *Rischio sismico, gestione dell'emergenza e della ricostruzione, modelli di vulnerabilità, modelli di costo*

ABSTRACT:

Il processo di ricostruzione dei comuni della provincia di Campobasso, colpiti dalla crisi sismica iniziata il 31.10.2002, è stato demandato alla Regione Molise con la nomina di un Commissario Delegato che ha emanato le direttive O.C.D. n.13/2003, fissando i criteri e le norme generali per il processo di ricostruzione degli edifici pubblici, delle infrastrutture, dei dissesti idrogeologici e dell'edilizia privata residenziale, agricola e produttiva. I documenti progettuali prodotti durante il processo di ricostruzione del Molise e i rilievi di danno realizzato durante la fase di emergenza rappresentano una fonte di informazione estremamente utile al fine del confronto, calibrazione, e integrazione dei modelli correntemente utilizzati a differente livello di dettaglio e precisione per la: 1) valutazione della vulnerabilità, 2) previsione del danno e delle perdite attese, 3) stima dei costi e delle risorse necessarie per la ricostruzione. Il presente lavoro rappresenta un primo passo di questa analisi. In particolare, dai dati sintetici relativi ai progetti preliminari semplificati (base di dati sintetica PPS) presentati nell'ambito del processo di ricostruzione del Molise, sono stati estratti dati ed informazioni utili per il confronto con le previsioni ottenute implementando un metodo per la stima di vulnerabilità e danno, noto come metodo macrosismico. I dati PPS relativi al danno osservato sono stati utilizzati per verificare l'affidabilità delle distribuzioni di danno stimate, per diverse macro-tipologie implementando il metodo macrosismico. A loro volta, i costi di intervento stimati all'interno del database PEU-PES sono stati confrontati con quelli risultanti dall'implementazione di modelli di costo, correntemente utilizzati nell'ambito di analisi di rischio sismico, rispetto allo scenario di danno simulato.

1 INTRODUZIONE

Il 31 Ottobre 2002 la regione Molise è stata colpita da una sequenza sismica che, iniziata con una serie di eventi di magnitudo $M=2.6\div 3.5$ è culminata in un evento di magnitudo $M=5.7$ (epicentro lat. 41.63 N, long. 14.77 E), seguito da numerosi aftershocks ($M=2.5\div 3.8$) e da un evento di magnitudo $M=5.7$, registrato il 1 Novembre. Il campo macrosismico rilevato, a seguito dei due eventi principali, è riportato in Fig. 1.

A fronte del diffuso livello di danneggiamento che ha interessato molti paesi dell'area epicentrale ($I_{MCS} = VI\div VII$) il Comune di San Giuliano di Puglia è apparso da subito il più colpito ($I_{MCS} = VIII\div IX$). In particolare, nell'area circostante il centro storico, situata su un crinale argilloso, sono stati osservati numerosi crolli (totali e parziali) e un elevato grado di distruzione.

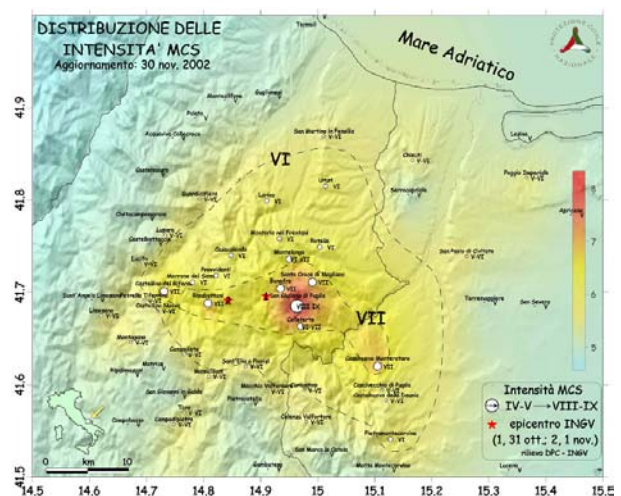


Figura 1. Campo macrosismico rilevato nella Regione Molise a seguito degli eventi del 31 Ottobre e 1 Novembre (fonte DPC - INGV).

Ad una prima sommaria analisi le cause della distruzione sembrano imputabili alla concomitante elevata vulnerabilità degli edifici coinvolti (quasi tutti co-

struiti nella prima metà del XX secolo, in muratura mista, con aggiunte di solai in c.a.) e ad effetti d'amplificazione locale. Questi ultimi sarebbero contemporaneamente imputabili a cause morfologiche (situazione di cresta sottile) e geologiche (depositi di riporto e depositi argilloso-sabbiosi su bedrock poco profondo).

La vulnerabilità e il danneggiamento subito dagli edifici è stata rilevata in fase di emergenza utilizzando la scheda AeDES 05/2000 (Agibilità e Danno in emergenza sismica (Bernardini, 2000). Il rilievo ha interessato circa 25.000 edifici; i dati raccolti sono stati inseriti in un data-base, reso disponibile dal DPC (Dipartimento di Protezione Civile) alla Regione Molise.

Superata la fase di emergenza, il processo di ricostruzione dei comuni della provincia di Campobasso, è stato demandato alla Regione Molise con la nomina di un Commissario Delegato che ha emanato le direttive O.C.D. n.13/2003, fissando i criteri e le norme generali per il processo di ricostruzione degli edifici pubblici, delle infrastrutture, dei dissesti idrogeologici e dell'edilizia privata residenziale, agricola e produttiva. Il Commissario Delegato, al fine di predisporre le direttive per le fasi della ricostruzione ha nominato un Comitato Tecnico Scientifico (CTS). Nel rispetto di tali criteri, è stato richiesto ai comuni di individuare i Progetti Edilizi Unitari - PEU (in cui più di un edificio o unità abitativa sono raggruppati insieme organicamente) e i Progetti Edilizi Singoli - PES, affidando a tecnici privati gli incarichi per la redazione dei Progetti Preliminari Semplificati-Perizie di Stima (PPS).

In questo lavoro i dati sintetici relativi ai PPS dei Comuni della Provincia di Campobasso danneggiati dal sisma del 2002 (n.83 con esclusione di Guardiaregia) sono stati rielaborati perseguendo un duplice scopo. Nella prima parte del lavoro, i dati relativi al danno subito dall'edilizia residenziale, in relazione all'intensità risentita e alla vulnerabilità rilevata sono stati confrontati con le previsioni di danno stimate secondo un approccio di vulnerabilità noto come metodo macrosismico (Giovinazzi e Lagomarsino 2004).

Nella seconda parte del lavoro, i costi di intervento, disponibili nel database sintetico dei PPS sono stati messi in relazione al danno subito, alla tipologia edilizia, nonché alla destinazione d'uso e confrontati con i modelli disponibili per la previsione dei costi di riparazione e miglioramento/adequamento.

2 BASI DATI DISPONIBILI PER LA REGIONE MOLISE

I documenti progettuali prodotti durante il processo di ricostruzione del Molise, uniti all'osservazione e rilievo del danno realizzato durante la fase di emer-

genza, rappresentano una fonte di informazione estremamente utile al fine della calibrazione e perfezionamento dei modelli correntemente utilizzati nell'ambito di analisi di rischio sismico per: 1) valutazione della vulnerabilità, 2) previsione del danno e delle perdite attese, 3) stima dei costi e delle risorse necessarie per la ricostruzione.

La ricchezza e la quantità dei dati raccolti nel Molise consentirà analisi di crescente livello di dettaglio e accuratezza fino ad comprendere analisi strutturali semplificate che potranno utilizzare le informazioni reperibili dalle progettazioni esecutive disponibili per i Progetti Edilizi Singoli (PES).

Questo consentirà di indagare uno spettro molto ampio nell'ambito di analisi di rischio sismico correntemente implementate per diverse finalità: da analisi a macroscala, come quelle implementate in questo lavoro (che fa riferimento alla sola consistenza del patrimonio costruttivo in termini di numero di edifici macrotipologie) utili a fini assicurativi e per la definizione di politiche di mitigazione del rischio, ad analisi di dettaglio per la definizione di interventi su singoli edifici. Si intende, inoltre, indagare la possibilità e la modalità di integrazione di risultati ottenuti da diversi livelli di analisi.

E' importante sottolineare che le analisi di vulnerabilità e stima del danno a diverso livello di dettaglio, potranno essere integrate con le informazioni relative alla microzonazione. Uno studio di microzonazione è, infatti, già disponibile per i 13 Comuni della zona epicentrale (www.regione.molise.it/sis) ed è in fase di ultimazione per gli altri comuni della provincia di Campobasso (Decreto n. 27 del 6 agosto 2003).

Le basi dati disponibili per la Regione Molise a seguito dell'evento sismico del 31 Ottobre vengono di seguito brevemente descritte, organizzate secondo il dettaglio di conoscenza relativamente al patrimonio costruttivo che sono in grado di fornire. In particolare, vengono distinti tre crescenti livelli di conoscenza corrispondenti ad altrettanti livelli di analisi: Livello 0, L0, Livello 1, L1 e Livello 2, L2.

2.1 Base di dati sintetica PPS e dati ISTAT – Livello 0

Il livello di conoscenza L0 è limitato alla valutazione della consistenza del patrimonio costruttivo, in termini di numero di edifici per macro-tipologie (muratura, cemento amato, altre tipologie).

Il livello di conoscenza L0 è desumibile per gli 83 Comuni (provincia CB) ammessi a finanziamento nella fase di ricostruzione della Regione Molise a partire dal database sintetico relativo a circa 16200 PPS. I progetti contenuti nel database sintetico dei PPS, essendo in genere condotti su segnalazione del cittadino, non comprendono la totalità degli edifici, ma verosimilmente la maggior parte di quelli danneggiati con una parte di quelli senza danno. Al fine

di dedurre la consistenza totale del patrimonio abitativo nella Regione Molise è stato fatto riferimento al censimento ISTAT (2001), che, per la prima volta in Italia ha avuto come obiettivo anche quello della conoscenza del numero e delle caratteristiche degli edifici ad uso abitativo. Purtroppo, non essendo ancora state rese disponibili le informazioni aggregate a livello di sezione censuaria, verranno di seguito considerate solo quelle aggregate a livello comunale e provinciale.

2.1.1 Base di dati sintetica Progetti Preliminari Semplificati-Perizie di Stima

I dati presenti nel database sintetico dei Progetti Preliminari Semplificati- Perizie di Stima (PPS) sono stati raccolti utilizzando una scheda predefinita, predisposta dalla Regione Molise nella forma di un foglio elettronico (www.regione.molise.it/sis); essi sono relativi a: 1) identificazione e localizzazione degli interventi (nome e codice ISTAT del Comune, numero identificativo del PPS); 2) valutazione della vulnerabilità (tipologia costruttiva) e del danno (livello di danno); 3) valutazione del costo di riparazione e ricostruzione (tipologia d'uso, numero di unità immobiliari, superficie dell'edificio, tipologia di intervento, contributo stanziato, totale spese tecniche); 4) livello di priorità dell'intervento (priorità).

La definizione delle tipologie costruttive e delle tipologie d'uso distinte all'interno del database sintetico dei PPS, è stata demandata al Comitato Tecnico Scientifico - CTS. Secondo le direttive CTS, sono state distinte preliminarmente 6 tipologie costruttive (Tab. 1) e 10 tipologie d'uso (Tab. 2).

Tabella 1. Tipologie costruttive secondo le direttive del CTS.

Muratura	Mur	Acciaio	Acc
Cemento armato	CA	Prefabbricato	Pre
CA - Mista	Mis	Altro	Alt+NI

Tabella 2. Tipologie d'uso secondo le direttive del CTS.

Edifici Residenziali	Res
Edifici Monumentali	Mon
Attività produttive e sociali	Prs
Attività Ricettiva	Ric
Attività Agricola (zootecniche e stalle)	AG1
Attività Agricola (rimesse, attrezzi, fienili etc.)	AG2
Edificio scolastico	ESC
Municipio	Mun
Edifici di culto	Chi
Edilizia cimiteriale	Cim
Edifici per la sanità	Asl
Opere pubbliche (edifici strategici, infrastrutture)	OPU

In Figura 4 è riportata la distribuzione % del numero di SP per destinazione d'uso e tipologia costruttiva, risultante secondo una rielaborazione dei dati già ef-

fettuata da Pasquale e Lemme (2005). Si nota la netta prevalenza di SP relativi a edilizia residenziale (circa l'88% degli SP), la maggior parte dei quali realizzati in muratura. Il numero di edifici per ciascuna tipologia, relativamente all'edilizia residenziale, è riportata in Tab. 3, nell'ipotesi di considerare residenziali gli SP per i quali non sia stata chiaramente specificata la destinazione d'uso. Le altre destinazioni risultano: attività agricole (3.47%), altre opere pubbliche (2.82%), attività produttive e sociali (1.88%), edifici di culto e municipi (circa 1%).

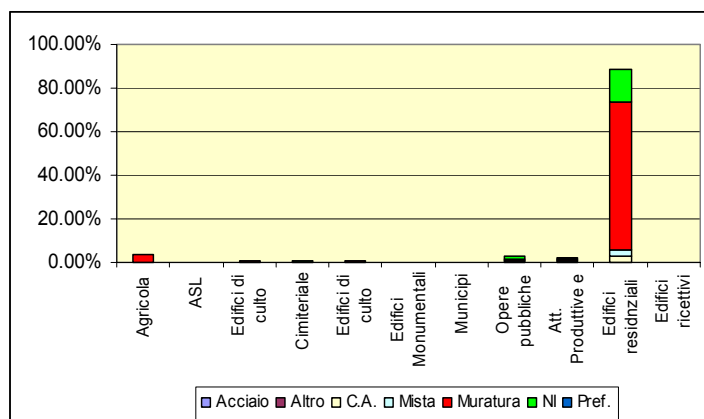


Figura 2. Distribuzione % del numero di SP per destinazione d'uso e tecnologia costruttiva.

Tabella 3. Numero e percentuali degli edifici ammessi a finanziamento relativamente all'edilizia residenziale.

	<i>N_mur</i>	<i>N_ca</i>	<i>N_mis</i>	<i>N_NI</i>	<i>N_pre</i>	<i>Totale</i>
N	10871	415	485	2470	8	14249
%	0.76	0.03	0.03	0.17	0.00	1

La descrizione del danno subito dagli SP, viene fatta distinguendo tre livelli di danno: 1) significativo, S; 2) grave, G; 3) limite di convenienza, LC, più l'assenza di danno, N. Tali livelli di danno sono stati valutati secondo le direttive predisposte dal CTS ed approvate dal Commissario Relegato per la ricostruzione post-sisma. E' importante notare, inoltre, che è prevista la possibilità che il danno non sia meglio identificato (NI). La Figura 3 mostra la distribuzione del numero di SP per livello di danno e tipologia costruttiva, risultante dalla base di dati sintetica dei PPS. E' interessante notare la prevalenza degli edifici in muratura che, con il 73.98%, rappresentano la tipologia per la quale è stato eseguito il maggior numero di progetti; per tale tipologia il 70% degli edifici risulta danneggiata, a fronte del 3.76% per il CA e del 3.64% per le strutture miste.

La Figura 3 mostra, inoltre, come un numero elevato di sottoprogetti (6241, pari al 38.55%) siano relativi ad edifici con danno nullo. Facendo riferimento alla sola edilizia residenziale la Tabella 4 riporta il numero totale degli edifici danneggiati, per tipologia e per livello di danno secondo quanto risulta dal database dei PPS.

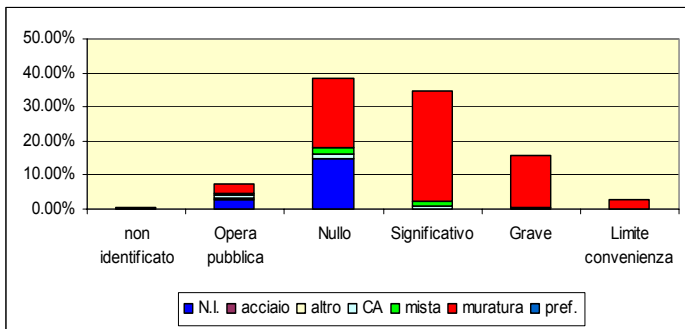


Figura 3. Distribuzione del numero di SP per livello di danno e tipologia costruttiva.

Tabella 4. Base di dati sintetica dei PPS: Numero e percentuale di edifici per livello di danno e tipologia costruttiva.

	<i>N</i>	<i>S</i>	<i>G</i>	<i>LC</i>	<i>Totale</i>
N_{Mur}	3131	5023	2215	332	10701
N_{Ca}	264	107	23	6	400
N_{Altro}	355	182	57	6	600
Somma	3750	5312	2295	344	11701

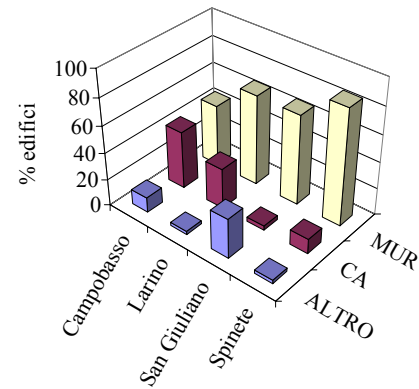
2.1.2 Base di dati provinciale e comunale ISTAT 2001

L'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) ha reso consultabili, per tutto il territorio nazionale, i dati relativi all'ultimo censimento ISTAT (2001) aggregati a livello comunale e a livello provinciale.

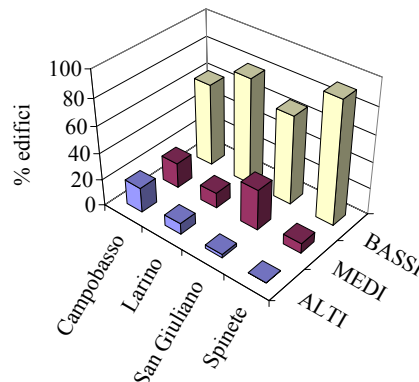
Al fine della valutazione della consistenza e vulnerabilità del patrimonio costruttivo nella Regione Molise sono state desunte dai dati ISTAT informazioni a livello comunale relativamente a: 1) distribuzione delle macro-tipologie ISTAT identificate come edifici in muratura, MUR, cemento armato, CA, e altre tipologie, AL; 2) distribuzione degli edifici in classe di altezza (1, 2, 3 e >4 piani). A livello provinciale, sono disponibili per ciascuna macro-tipologia, informazioni relative alla: 1) distribuzione secondo 7 diverse classi di età; 2) distribuzione rispetto a diverse condizioni di manutenzione (ottima, O, buona, B, media, M, pessima, P).

Dall'informazione ISTAT relativa al numero di edifici in ogni macro-tipologia, si nota, coerentemente con quanto osservato nel data-base PPS (Par. 2.1.1), la netta prevalenza degli edifici in muratura, che mediamente nei Comuni esaminati rappresentano l'81% del campione, mentre solo l'11% degli edifici appartengono alla macro-tipologia CA, essendo mediamente l'8% degli edifici genericamente attribuito alla macro-tipologia AL. Per quanto riguarda la distribuzione in classe di altezza si nota la netta prevalenza 70% di edifici bassi (1-2 piani), una percentuale contenuta, 24%, di edifici medi (3 piani) e una minima, 6%, di edifici alti (>4 piani). La Figura 4 riporta le distribuzioni in classe di macrotipologie

(Fig. 4a) e di altezza (Fig. 4b) per quattro diversi comuni della provincia di Campobasso.



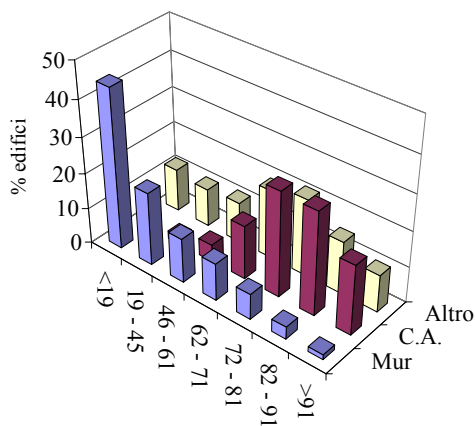
a)



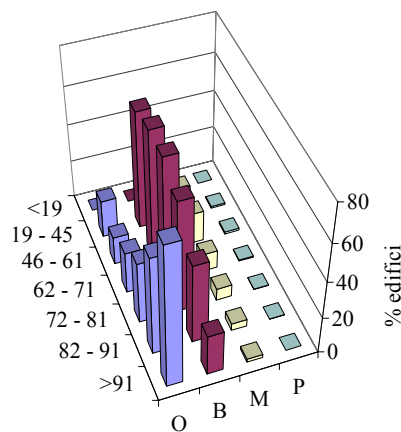
b)

Figura 4. Dati ISTAT relativi a edifici ad uso abitativo disponibili a livello comunale; per 4 Comuni distribuzione degli edifici in: a) macro-tipologie, b) classe di altezza.

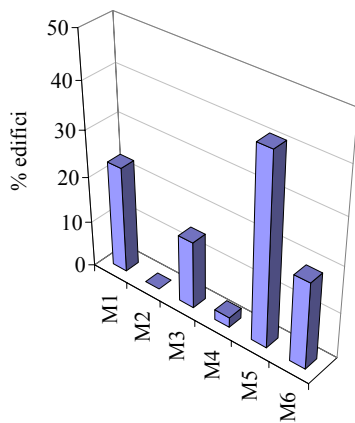
Nei grafici in Figura 5 e 6 vengono riportate alcune delle informazioni desumibili a livello provinciale. In particolare, in Figura 5, si osserva la distribuzione delle tre macro-tipologie ISTAT rispetto a diverse fasce d'età. Si osserva come la maggioranza degli edifici in muratura sia stata costruita prima del 1945, mentre gli edifici in cemento armato sono stati sviluppati, con tendenza piuttosto costante, successivamente al 1972. A partire da questa informazione, l'assunzione di inferenze tra tipologie costruttive e classi di età, consente di stimare, la distribuzione tipologica a livello provinciale (Fig. 5b). Tali inferenze possono essere indagate localmente facendo riferimento ai tecnici comunali, conoscitori del territorio, o a informazioni già disponibili (come le schede AeDES che contengono il dato aggregato relativo a tipologia e classe di età). Nell'ambito di questo lavoro, non è stato possibile utilizzare i dati processati derivante dal database AeDES, quindi vengono assunte preliminarmente per gli edifici in muratura, le inferenze riportate in Tab. 5. Per quanto riguarda gli edifici in cemento armato, vengono tutti identificati con la tipologia dei telai progettati in assenza di normativa antisismica, RC1.



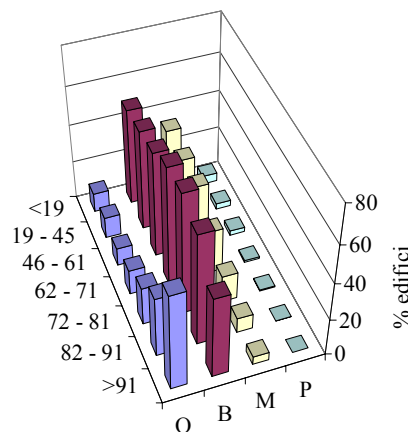
a)



a) cemento armato



b)



b) muratura

Figura 5. Edifici ad uso abitativo nella provincia di Campobasso: 1) distribuzione delle macroclassi per epoca di costruzione e tipo di materiale, b) distribuzione in classi tipologiche dopo le inferenze assunte in Tabella (5).

Tabella 5. Inferenze assunte per la provincia di Campobasso tra classe di età e distribuzione tipologica.

MUR	< 19	19 ÷ 45	45 ÷ 71	> 71
M1	40	15	10	-
M3	20	-	20	10
M4	5	-	-	-
M5	35	85	30	10
M6	-	-	40	80

La Figura 6 riporta, per la provincia di Campobasso, le condizioni di manutenzioni osservate nelle diverse fasce di età.

In particolare, per gli edifici in cemento armato (Fig. 6a) si osservano condizioni di manutenzione mediamente buone per tutte le fasce di età che diventano prevalentemente ottime per gli edifici di più recente costruzione. Per gli edifici in muratura (Fig. 6b) le condizioni di manutenzione sono tra il buono e il medio, se non per gli edifici di più recente costruzione (che sono in minima percentuale) che si trovano in uno stato di conservazione tra l'ottimo e il buono.

Figura 6. Edifici ad uso abitativo per epoca di costruzione, stato di conservazione (ottimo = O, buono = B, medio = M, pessimo = P) e tipo di materiale nella provincia di Campobasso: a) cemento armato, b) muratura.

2.2 Basi di dati PPS completa, schede AeDES, GNDT – Livello I

Il livello di conoscenza L1 prevede l'individuazione di peculiarità costruttive (presenza di vulnerabilità intrinseche e/o presidi) e geometriche (irregolarità piano-altimetriche) influenti rispetto alla risposta sismica degli edifici.

Informazioni utili a raggiungere un livello di conoscenza L1 possono essere desunte e integrate per la Regione Molise da tre diverse basi di dati rilevate a livello di singoli edifici: 1) censimenti realizzati dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT) antecedentemente l'evento sismico, 2) base di dati AeDES, 3) base di dati PEU-PES completa.

Il GNDT dal 1995 (Martinelli e Corazza, 1999) ha svolto campagne in collaborazione con il Dipartimento di Protezione Civile (DPC), il rilievo della vulnerabilità per diversi centri storici del Molise sia per quanto riguarda l'edilizia ordinaria che quella specialistica.

La base di dati dei PPS completa, contiene dati di dettaglio relativamente alla tipologia costruttiva, allo stato di manutenzione e alla geometria degli edifici: numero dei piani, regolarità in altezza ed elevazione, pianta, prospetti, sezione degli edifici, superficie maschi murari. La base di dati PEU-PES completa

contiene, inoltre, un'accurata descrizione del danno subito dagli edifici che consentirà di convertire la scala di danno previsto dalla normativa per la ricostruzione (Par. 2.1.2), a quelle utilizzate dai modelli di vulnerabilità e previsione del danno.

La base di dati AeDES contiene circa 22.000 sopralluoghi relativi ad edifici della Provincia di Campobasso. La "ricchezza" dei dati AeDES relativamente agli edifici in muratura (più diffusi e di maggior interesse per la Regione Molise), potrà consentire di analizzare in modo più accurato la correlazione tra il danno osservato, la tipologia costruttiva (identificata per gli edifici in muratura come incrocio tra strutture orizzontali e verticali prevalenti) e gli elementi di vulnerabilità e/o di presidio presenti in queste tipologie (viene segnalata ad esempio la presenza di cordoli, catene, pilastri isolati tipologia e spinta della copertura). E', inoltre, interessante notare come la scheda AeDES raccolga anche informazioni relativamente all'età di costruzione, che possono risultare molto utili per stabilire quali siano state le distribuzioni tipologiche prevalenti nelle varie fasce di età.

Oltre al confronto tra previsioni di vulnerabilità stima e danno e confronto con i dati osservati, la molteplicità delle basi dati disponibili per il livello L1 consentirà interessanti confronti per verificare la consistenza dei dati contenuti nelle tre basi di dati in relazione a vulnerabilità e danno.

Purtroppo il rilievo del danno non è stato svolto sempre per edificio e le informazioni raccolte non sempre sono riconducibili alla scala dell'unità minima di analisi che, di solito, coincide con l'edificio. Questo richiederà correzioni a posteriori, prima di effettuare i confronti. Rielaborazioni ancora in corso evidenziano come i dati attendibili si riducano in modo abbastanza significativo.

Base di dati dei progetti esecutivi edifici ammessi a finanziamento – Livello2 Un livello di conoscenza L2 prevede la conoscenza dei dettagli costruttivi, delle dimensioni degli elementi strutturali fino alla caratterizzazione dei materiali del singolo edificio.

Nella Regione Molise, il livello di conoscenza L2 può essere dedotto da: 1) informazioni contenute nei progetti esecutivi degli edifici ammessi a finanziamento; 2) documentazione contenuta nella scheda PER (scheda di accompagnamento al progetto esecutivo) (D.C. n.35/2005); 3) risultati delle eventuali prove in situ eseguite sulle strutture.

Da tali analisi di livello L2, effettuata a campione su alcuni edifici, si prevede di esaminare la rispondenza con i danni osservati dei modelli di calcolo (verifiche sismiche globali, locali e per crisi dei collegamenti) previsti dalla attuale normativa sismica (OPCM 3431) e di verificare l'efficacia gli interventi di ricostruzione, previste dalla normativa per la ricostruzione (D.C. n.35/2005).

3 IMPLEMENTAZIONE DI UN MODELLO MACROSISMICO PER LA STIMA DEL DANNO ATTESO A LIVELLO 0

In questo lavoro si intende confrontare il danno osservato e il costo valutato per la ricostruzione come riportato nella base di dati PEU-PES con le previsioni ottenibili facendo riferimento a una conoscenza del costruito essenzialmente tipologica.

3.1 Il metodo di vulnerabilità macrosismico

L'approccio adottato per la valutazione della vulnerabilità e la previsione del danno, facendo riferimento ad un livello di conoscenza essenzialmente tipologico (Livello 0), è noto come *Metodo Macrosismico* (Giovinazzi e Lagomarsino 2004). Tale metodo è stato dedotto, per le classi di vulnerabilità, a partire dalle definizioni della scala Macrosismica Europea (Grunthal 1998), attraverso l'uso della teoria fuzzy e della probabilità classica.

L'estensione del modello alle tipologie costruttive è stata quindi ottenuta utilizzando la teoria fuzzy per interpretare la tabella di vulnerabilità EMS-98.

La validazione del metodo è stata ottenuta per quanto riguarda le classi di vulnerabilità attraverso il confronto con: 1) metodi di vulnerabilità precedentemente adottati in Italia, 2) dati di danno osservato, 3) metodi di vulnerabilità dedotti da dati osservati.

La definizione è stata, inoltre, rifinita attraverso una cross-validazione rispetto ad un metodo meccanico semplificato (Lagomarsino e Giovinazzi 2006).

La definizione della vulnerabilità secondo il metodo macrosismico avviene in funzione di due parametri: l'indice di vulnerabilità V ed un indice di duttilità Q , entrambi definiti in funzione della tipologia e delle caratteristiche costruttive dell'edificio. La pericolosità è descritta in termini di intensità macrosismica I_{EMS-98} , secondo la scala EMS-98, I_{EMS-98} , considerata come parametro continuo e valutata rispetto a condizioni di suolo rigido. La scala di danno assunta corrisponde a quella definita dalla scala macrosismica europea, che considera 5 gradi di danno più l'assenza di danno (D_k , $k=0÷5$) che descrivono il danneggiamento subito da elementi strutturali e non strutturali. La correlazione tra la pericolosità e il valore medio della distribuzione di danno attesa ($0 < \mu_D < 5$), in funzione della vulnerabilità, è definita nell'ambito del metodo, come una formula analitica chiusa che descrive delle curve di vulnerabilità. Il metodo assume quindi la distribuzione beta discretizzata per valutare, in funzione del danno atteso stimato, la probabilità di occorrenza rispetto a ciascun grado di danno.

Aspetti innovativi, nella definizione del metodo macrosismico sono stati recentemente introdotti da Bernardini *et al.* (2007a e 2007b). In particolare, per quanto riguarda l'interpretazione delle definizioni fornite dalla scala EMS-98 vengono proposti: 1) una più coerente interpretazione numerica dei termini

linguistici utilizzati dalla scala; 2) il completamento linguistico delle matrici implicite descritte dalla scala EMS-98 secondo le regole proposte da (Bernardini, 2004); 3) l'interpretazione numerica del risultato linguistico secondo la teoria dei random sets (Bernardini, 1999).

Relativamente all'estensione del modello di vulnerabilità alle tipologie costruttive, la tabella di vulnerabilità EMS-98 viene interpretata da Bernardini *et al.* (2007a) in termini di frequenze associate alle classi riconosciute rappresentative per ogni tipologia. Viene, quindi, proposto l'utilizzo del teorema di Bayes per aggiornare tali frequenze in relazione alle informazioni disponibili sul costruito, aggiuntive rispetto a quelle tipologiche.

3.2 Vulnerabilità e stima del danno atteso secondo un modello macrosismico

Il valore dell'indice di vulnerabilità media comunale è stato valutato per ciascun Comune in accordo con il *Metodo Macrosismico*, facendo riferimento alla caratterizzazione del patrimonio costruttivo della Provincia di Campobasso ricavabile dai dati ISTAT.

I dati disponibili a livello provinciale relativamente a distribuzione in classi di età e condizione di manutenzione sono stati utilizzati per la definizione dei valori di base dell'indice di vulnerabilità per le macrotipologie ISTAT, adottati per ciascun Comune. Ciò corrisponde ad assumere mediamente valida per ciascun Comune, la distribuzione in classi di età e condizione di manutenzione osservata a livello provinciale. L'indice di vulnerabilità rappresentativo per le macrotipologie ISTAT nella provincia di Campobasso è stato valutato secondo due diversi passaggi:

- 1) aggiornamento del valore dell'indice di vulnerabilità previsto dal metodo macrosismico per ciascuna tipologia, con l'informazione disponibile da ISTAT, relativamente alla distribuzione rispetto alle condizioni di manutenzione. Un valore dell'indice di vulnerabilità è stato ottenuto per ciascuna tipologia e classe di età (ad esempio $V_{M3, >71}=0.72$) applicando i modificatori di manutenzione ($\Delta V_O=-0.02$, $\Delta V_B=0$, $\Delta V_M=0.01$, $\Delta V_P=0.02$) alla distribuzione degli edifici rispetto a diverse condizioni di manutenzione desunte da ISTAT e riportate in Fig. 6. E' interessante osservare come le condizioni di manutenzione producano scostamenti minimi rispetto al valore dell'indice di vulnerabilità tipologico, in quanto come osservato nel Par. 2.1.2 la maggioranza degli edifici si trova in condizioni di buona manutenzione, per le quali si prevede un valore del modificatore nullo ($\Delta V_B=0$).
- 2) Valutazione dell'indice di vulnerabilità per le macroclassi ISTAT, mediando i valori dell'indice di vulnerabilità per tipologia ed età, valutati come

al punto 1, secondo la distribuzione tipologica per classe di età assunta a livello provinciale (Tab 5).

Si noti che per gli edifici in CA, il valore dell'indice di vulnerabilità, V_{CA} è stato valutato, senza assumere inferenze, corrispondente al valore rappresentativo dei telai non progettati secondo normativa sismica.

Nella provincia di Campobasso, risultano per le macroclassi ISTAT i seguenti valori dell'indice di vulnerabilità: $V_{MUR}=0.73$, $V_{CA}=0.61$, $V_{AL}=0.67$.

I valori dell'indice di vulnerabilità per le macrotipologie ISTAT differenziati per ciascun comune, sono stati ottenuti a partire dai suddetti valori aggiornati in funzione della distribuzione in classi di altezza disponibile a livello comunale (riportata per esempio in Fig. 4b). E' importante osservare che il dato relativo all'altezza, desumibile dai dati ISTAT, non è aggregato rispetto all'informazione relativa alla distribuzione tipologica, pertanto quanto fatto corrisponde ad ipotizzare una distribuzione in classi di altezza mediamente valida per le diverse tipologie. Per questo motivo sono stati assunti modificatori di altezza comuni per le tre macro-tipologie corrispondenti a: $\Delta V_{1+2 \text{ piani}} = -0.02$, $\Delta V_{3 \text{ piani}} = 0$, $\Delta V_{>4 \text{ piani}} = +0.03$.

E' stato, quindi, valutato un valore dell'indice di vulnerabilità comunale, mediando i valori dell'indice delle macroclassi risultanti secondo la distribuzione delle macroclassi osservata per ciascun comune (Fig. 5b). Gli scostamenti tra i valori dell'indice di vulnerabilità comunale risultanti per i diversi comuni sono contenuti, come logico attendersi. Le informazioni utilizzate sono, infatti, molto povere e non consentono l'identificazione di eventuali condizioni di elevata vulnerabilità del costruito.

Facendo riferimento al valore dell'indice di vulnerabilità comunale, sono stati stimati, secondo il metodo macrosismico, i danni attesi rispetto al campo macrosismico rilevato dopo il terremoto del Molise (Fig. 1). E' importante ricordare che il campo macrosismico è stato rilevato facendo riferimento alla scala Mercalli Cancani Siberg, in termini di I_{MCS} . Tra le intensità I_{EMS-98} e la I_{MCS} , viene assunta la relazione (Eq. 1) dedotta a partire dalle leggi di attenuazione in MCS e MSK proposte da Margottini (1992). Come indicato nella stessa scala EMS-98, una diretta corrispondenza può essere stabilita tra la scala MSK e la scala EMS-98.

$$I_{EMS98} = I_{MSK} = 0.7 + 0.8I_{MCS} \quad (1)$$

Valori medi e deviazioni standard del danno medio μ_D sono presentati in Tab. 6 aggregati a livello di intensità risentita. La tabella 7 riporta la distribuzione di danno mediamente risultanti secondo la valutazione eseguita per i vari livelli di intensità.

Tabella 6. Media e deviazione standard delle distribuzioni di danno aggregate per gradi di intensità (campo macrosismico 31-10-02).

I_{MCS}	5	5.5	6	6.5	7	7.5
I_{EMS-98}	4.8	5.2	5.6	6.0	6.4	6.8
N. Com.	53	15	8	2	3	1
μ_D	0.42	0.54	0.70	0.88	1.08	1.19
σ_D	0.023	0.031	0.032	0.022	0.042	-

Tabella 7. Distribuzioni di danno mediamente risultati per la provincia di Campobasso (campo macrosismico 31-10-02).

I_{MCS}	5	5.5	6	6.5	7	7.5
D_0	0.659	0.574	0.486	0.383	0.305	0.261
D_1	0.287	0.336	0.375	0.404	0.409	0.399
D_2	0.050	0.079	0.118	0.167	0.219	0.248
D_3	0.004	0.008	0.017	0.034	0.059	0.076
D_4	0	0	0.001	0.002	0.009	0.016
D_5	0	0	0	0	0	0

In tabella 8 sono inoltre riportati il numero atteso di edifici danneggiati secondo quanto stimato dal metodo macrosismico.

Tabella 8. Numero di edifici danneggiati per grado di danno e per macrotipologia (campo macrosismico 31-10-02).

	NUM	D_0	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
MUR	53452	31959	16801	4059	590	42	1
CA	10879	6945	3217	646	67	4	0
ALT	5648	3403	1723	445	70	7	0
Tot.	69979	42307	21741	5150	727	53	1

E' stata, inoltre, stimata la distribuzione di danno atteso rispetto al valore di accelerazione di riferimento (PGA) per un periodo di ritorno di 475 anni, prevista dalla mappa di pericolosità (OPCM 3274/03) per gli stessi Comuni. La correlazione I-PGA assunta per la valutazione dei valori di intensità macrosismica I_{MSK} corrispondenti è quella proposta da Margottini *et al.* (1992).

Tabella 9. Numero di edifici danneggiati per grado di danno e per macrotipologia (campo macrosismico stimato per un periodo di ritorno di 475 anni).

	D_0	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
MUR	3650	11644	17058	13889	6088	1129
CA	940	2582	3432	2625	1106	199
ALT	403	1259	1815	1447	614	102
Tot.	4993	15485	22305	17961	7808	1430

4 STIMA DEL COSTO DI RIPARAZIONE E RICOSTRUZIONE IN FUNZIONE DEL DANNO ATTESO STIMATO

Per la valutazione dei costi di riparazione, il rapporto tra il costo di riparazione e il valore dell'edificio, definito come costo relativo di riparazione ($0 < C_r < 1$) è stato assunto in relazione al grado di danno atteso come riportato in Tab. 10, secondo quanto statisticamente osservato da Di Pasquale e Goretti (2001).

Valori medi e deviazioni standard del costo relativo di riparazione in Tab. 10 sono stati stimati redigendo computi estimativi virtuali, a partire dai dati di rilievo post-evento e sulla base di prefissate strategie di intervento, dipendenti dalla tipologia strutturale, dal danno e dalla vulnerabilità dell'edificio, secondo un codice di elaborazione messo a punto da Di Pasquale 1998a, 1998b ed utilizzando una cospicua base dati ottenuta dall'informatizzazione delle schede di agibilità e danno per 10 recenti eventi sismici italiani (dal terremoto dell'Irpinia del 1980 al terremoto Umbria-Marche del 1997).

Tabella 10: Valore medio e deviazione standard del costo relativo di riparazione dopo Di Pasquale e Goretti (2001).

	D_0	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
μ_{C_r}	0.003	0.04	0.22	0.41	0.78	0.81
σ_{C_r}	0.033	0.054	0.158	0.211	0.142	0.254

Assunti tali valori per il costo relativo di riparazione e assunto un costo unitario a metro quadro ($\text{€}/\text{m}^2$) per l'edilizia esistente è possibile stimare il costo $\text{€}/\text{m}^2$ richiesto per la riparazione di ciascun grado di danno. La Tab. 11 riporta i costi di riparazione C_R [$\text{€}/\text{m}^2$] valutati per un valore dell'edificio assunto pari a $1200 \text{€}/\text{m}^2$.

Tabella 11: Costi di riparazione C_R e costi di miglioramento e riparazioni C_{R+M} per un valore dell'edificio di $1200 \text{€}/\text{m}^2$.

	D_0	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
C_R [$\text{€}/\text{m}^2$]	3.6	48	264	492	936	972
C_{R+M} [$\text{€}/\text{m}^2$]	203.6	248	464	692	1136	1172

Supponendo di voler eseguire in concomitanza alla riparazione del danno un intervento di miglioramento/rinforzo auspicando a una protezione nei confronti del danno per le condizioni di sismicità della Regione Molise, i costi di miglioramento C_M [$\text{€}/\text{m}^2$] possono essere ragionevolmente stimate in un range di $200\text{-}250 \text{€}/\text{m}^2$ come discusso in Giovinazzi *et al.* (2006). Per quanto riguarda i costi di nuova costruzione C_{NC} , limitatamente all'edilizia residenziale si ritiene ragionevole assumere il range di valori riportati in Tab. 12. Tali costi sono stati assunti facendo riferimento a zone sismiche di seconda categoria, secondo la classificazione sismica in vigore precedentemente all'attuale

Tabella 12: Costi di nuova costruzione C_{NC} per l'edilizia residenziale nella provincia di Campobasso.

	Struttura	Impianti	Finiture	C_{NC} [€/m ²]
CA	250-300	100-150	250-350	600-800
MUR	350-450	100-150	200-300	650-900
ACC	250-300	100-150	300-400	650-850

E' importante notare che ai valori riportati in Tab. 12 occorre aggiungere l'IVA del 10% sui lavori e l'IVA sulle spese tecniche che può oscillare tra il 10-15%. Occorrerebbe, inoltre, aggiungere i costi relativi a eventuali opere in fondazione, trascurati in questo lavoro.

Confrontando i costi di riparazione e miglioramento C_{R+M} [€/m²] (Tab. 11) con quelli di nuova costruzione C_{NC} [€/m²] (Tab. 12), risulta che il limite di convenienza della riparazione rispetto alla nuova costruzione si ha fino a D_3 . Assunti quindi i valori di C_{R+M} [€/m²] per i danni $D_{k=1+3}$ e i valori di nuova costruzione C_{NC} [€/m²] per i danni $D_{k=4+5}$, (si è assunto per le tre macrotipologie il valore superiore rispetto al range presentato in Tab. 12) i costi di riparazione e ricostruzione sono stati stimati in rapporto alle previsioni di danno risultanti implementando il metodo macrosismico come descritto nel Par. 3. E' importante sottolineare che non si è considerato l'intervento sugli edifici non danneggiati $D_{k=0}$.

Per quanto riguarda la superficie degli edifici, un valore medio di riferimento è stato assunto per ciascun Comune e ciascuna tipologia a partire dalle informazioni disponibili all'interno della base di dati sintetica dei PPS.

Tabella 13: Costi stimati per le tre macro tipologie, aggregati per intensità macrosismica risentita per il campo 31-10-2002 e per quello a 475 anni.

I_{MCS}	5	5.5	6	6.5	7	7.5	Tutte I	I_{475}
Comuni	53	15	8	2	3	1	Tutti	Tutti
MUR								
[M€]	501	146	133	49	150	7.2	986.2	8830
CA								
[M€]	340	62.4	57.1	3.03	23.9	7.47	493.9	4920
ALT								
[M€]	65	31	4.77	1.7	4.34	19.6	126.41	1380
Somma	906	239.4	194.9	53.7	178.2	34.27	1606.5	15130

La tabella 13 riporta in milioni di € [M€] i costi stimati per le tre macro tipologie, aggregati per intensità macrosismica risentita. La stessa tabella riporta i costi stimati per il campo macrosismico corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni. Per tutte le tipologie, tali costi sono superiori di un ordine di grandezza a quelli stimati per il campo macrosismico osservato.

5 CONFRONTO TRA DANNO/COSTO STIMATO E OSSERVATO

5.1 Confronto tra danni osservati e danni stimati

Come già menzionato, i Progetti del database sintetico dei PPS non corrispondono alla totalità degli edifici, ma verosimilmente a quelli danneggiati e a una parte di quelli senza danno. Per confrontare il danno osservato così come riportato all'interno della base di dati sintetica dei PPS con le previsioni di danno secondo il metodo macrosismico, sono stati identificati come edifici non danneggiati (D_0) la differenza tra il numero totale di edifici nel comune, come risultante da ISTAT, e la somma degli edifici segnalati nei PPS per lo stesso Comune.

Tali edifici vanno considerati alla stregua di quelli per i quali è stata segnalata l'assenza di danno, N (Par. 2.1.1). La tabella 14 riporta il numero di edifici danneggiati per le tre macrotipologie e per ciascun livello di danno, come riportato nel database sintetico dei PPS.

Tabella 14: Numero di edifici danneggiati secondo il database PEU-PES dopo il terremoto del 31-10-2002.

	D_0	N	S	G	LC
MUR	42751	3131	5023	2215	332
CA	10479	264	107	23	6
ALT	5048	355	182	57	6
Tot.	58278	3750	5312	2295	344

Per il confronto con i danni stimati secondo il metodo macrosismico rispetto alle informazioni povere desunte da ISTAT si assume la corrispondenza tra il livelli di danno PEU-PES e i gradi di danno definiti dalla scala macrosismica EMS-98, descritta in Tabella 15.

Tabella 15: Corrispondenza tra il livello di danno PEU-PES e i gradi di danno definiti dalla scala macrosismica EMS-98.

PEU-PES	N		S		G		LC	
EMS-98	D_0	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5		

Nel definire tale corrispondenza si è ipotizzato verosimile assumere che gli edifici danneggiati a livello D_1 , danno trascurabile secondo la scala di danno EMS-98, siano stati segnalati come non danneggiati, N, nella base di dati sintetica PEU-PES o non siano stati inclusi (risultando quindi parte di quelli riconosciuti come D_0 in Tab. 14).

Gli edifici segnalati come al limite di convenienza, LC, sono stati verosimilmente accomunati con quelli gravemente danneggiati e con quelli collassati, rispettivamente gradi di danno D_4 e D_5 secondo la scala EMS-98.

Assunte queste ipotesi, viene riportato in Fig. 7 il confronto in termini percentuali tra danni stimati e danni osservati per le macrotipologie muratura (Fig. 7a) e cemento armato (Fig. 7b).

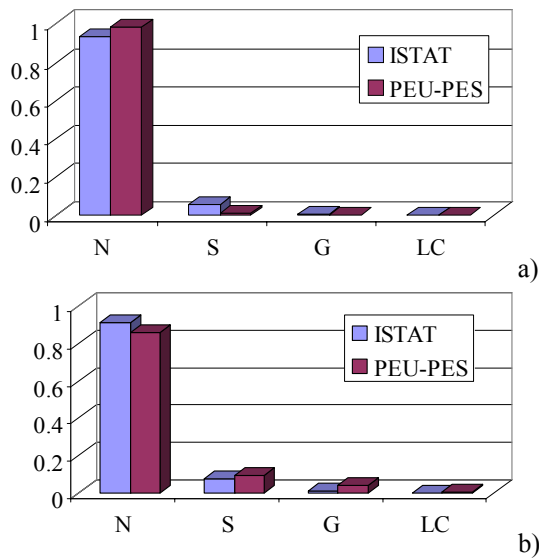


Figura 7. Confronto tra percentuali di danno stimate (ISTAT) e percentuali di danno osservate (PEU-PES): a) muratura; b) cemento armato.

Dal confronto tra le tabelle 13 e 14 e dalla figura 7 si può notare una buona corrispondenza tra il danno stimato secondo il metodo macrosismico, facendo riferimento alla base di dati ISTAT, e quanto riportato nel database sintetico dei PPS. È doveroso segnalare la sottostima delle previsioni di danno secondo il metodo macrosismico, per la macro-tipologia muratura e in modo opposto la leggera sovrastima per la macro-tipologia cemento armato; in ogni caso gli scostamenti tra previsione ed osservazione appaiono del tutto giustificabili nell'ottica della povertà dei dati rispetto ai quali è stata eseguita la stima del danno atteso.

6 PREVISIONE DEI COSTI DI RICOSTRUZIONE E ADEGUAMENTO IN RELAZIONE AL DANNO STIMATO

All'interno della base di dati dei PPS sono riportate informazioni relative ai costi di intervento direttamente dedotti dai computi estimativi relativi ai progetti di intervento, redatti nell'ambito del processo di ricostruzione della Regione Molise. Coerentemente con i recenti modelli di ricostruzione adottato in Italia (Legge 61/1998, Ordinanze 2847/98, 2741/98, 3047/00 M.I.) anche in Molise è stato previsto un contributo dello Stato non solo per la riparazione del danno, ma anche per il miglioramento sismico. In particolare nell'ambito del processo di ricostruzione il Comitato Tecnico Scientifico (CTS), ha individuato nell'ambito delle direttive tecniche per la ricostruzione tre diverse tipologie d'intervento: 1) riparazione funzionale, destinata al ripristino della

funzionalità delle unità immobiliari danneggiate in modo limitato; 2) riattazione con miglioramento sismico, destinata alle unità immobiliari danneggiate in modo significativo (prevedendo un contributo limitato e l'esecuzione d'interenti predefiniti ed obbligatori); 3) riparazione con miglioramento sismico e ricostruzione, destinata agli edifici gravemente danneggiati.

Dall'analisi della distribuzione della stima dei contributi per Comuni secondo il data base sintetico dei PPS, il contributo maggiore risulta nei comuni con $I_{MCS} > 6$; contributi molto elevati sono comunque stati stimati per alcuni comuni con grossi centri storici molto vulnerabili.

A seguire vi sono alcuni Comuni del cratere maggiormente danneggiati: Larino, $I_{MCS}=6$; S.Croce di Magliano $I_{MCS}=7$; Casacalenda $I_{MCS}=6$; Collotorto, $I_{MCS}=6.5$; Bonefro, $I_{MCS}=7$; Ripabottoni, $I_{MCS}=7$. Fa eccezione il capoluogo di Regione Campobasso, $I_{MCS}=5$ per il quale il contributo elevato deve necessariamente essere messo in relazione all'estensione del centro urbano. La somma di spesa prevista secondo PPS per gli 83 comuni è di 1800 M€ pari a una media di circa 22 M€ per Comune.

La media risultante dalla simulazione effettuata, per tutti i comuni per la sola edilizia privata è di circa 20 M€, molto vicina a quella stimata all'interno del database PPS.

Significativa è la stima del costo per ogni tipologia d'uso sia al m^2 che ad intervento risultante dal data-base PPS e riportata in Tabella 16.

Tabella 16: Contributo totale, numero e superficie degli interventi per tipologia d'uso e costo medio al m^2 e ad intervento.

	Contributo M€	N° interventi	Costo Medio Int. M€	Sup. m^2	Costo medio €/m ²
RES	1750	14334	0.12	3978763	439
OPU	561	456	1.23	190343	2947
ESC	110	131	0.84	73773	1485
PRS	94	305	0.31	128756	726
CHI	77	158	0.49	35427	2167
ASL	55	2	27.50	37275	1476
MUN	44	38	1.16	18345	2414
AG	42	561	0.07	101750	413
MON	10	17	0.57	8183	1187
RIC	6	15	0.39	7721	753
CIM	1	172	0.01	-	-

Per le infrastrutture (opere pubbliche diverse dagli edifici pubblici) il costo molto elevato (>1 M€) è giustificato da interventi di dissesto idrogeologico.

Per tutti gli edifici pubblici (edifici scolastici, municipi, attività ricettive) ed in particolare per l'edilizia sanitaria la valutazione del contributo è stata effettuata nell'ottica dell'adeguamento sismico delle strutture con un costo stimato per intervento molto elevato che deve essere considerato anche in relazione alle condizioni di danno dovute alla crisi

sismica. Per gli edifici di culto e monumentali il costo medio a m^2 è giustificato dalla tipologia d'intervento più onerosa.

Per l'edilizia residenziale, oggetto di questo lavoro, è interessante osservare in Tabella 17 il contributo previsto per riparazione e miglioramento e il costo delle spese tecniche totali e a m^2 .

Tali valori appaiono del tutto confrontabili con quelli presentati nel Par. 4 assunti per la simulazione presentata in questo lavoro.

Tabella 17: Contributo e spese tecniche totali e a m^2 per l'edilizia residenziale.

	Spese				
	Contributo M€	Tecniche M€	Sup. Mm ²	Contributo €/m ²	Spese tecniche €/m ²
N	0.72	2.89	0.27	2.67	10.71
S	883.35	5.35	2.51	352.02	2.13
G	777.36	4.64	1.19	655.53	3.91
L	127.52	0.78	0.14	881.32	5.39

Si riportano quindi in Tabella 18 le stime di costo di intervento (riparazione e miglioramento) e delle spese tecniche risultanti secondo la base di dati dei PPS.

Tabella 18: Costi di intervento stimati e spese tecniche per le tre macro tipologie secondo il database PEU-PES sintetico.

	Costo di intervento					Spese tecniche			
	N	S	G	LC	Somma	N	S	G	LC
MUR [M€]	0.66	794	689	100	1580	1.2	5.95	4.08	0.59
CA[M€]	0	33.5	31.9	5.54	71	0.21	0.2	0.117	0.03
ALT[M€]	0	24.2	19.8	1.97	46	0.2	0.15	0.124	0.008

Dal confronto tra la Tabella 13 e la Tabella 18 e dal grafico riportato in figura 8 si nota come le previsioni risultanti dalla simulazione effettuata siano del tutto coerenti, sottostimino leggermente i costi valutati nel database PPS. La sottostima risultante è spiegabile con: 1) l'assunzione fatta di non prevedere l'intervento sugli edifici non danneggiati $D_{k=0}$ (si sarebbe altrimenti dovuto considerare un intervento su tutti gli edifici della Provincia di Campobasso); 2) il valore medio assunto per la superficie degli edifici.

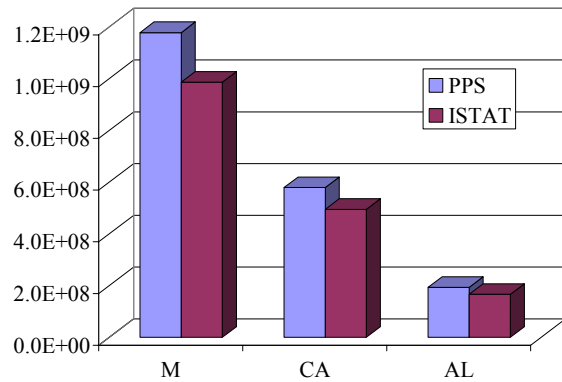


Figura 8. Costi stimati per tipologia in muratura, cemento armato ed altre.

7 CONCLUSIONI

In questo lavoro i dati sintetici relativi ai progetti preliminari semplificati (base di dati sintetica PPS) presentati nell'ambito del processo di ricostruzione del Molise, sono stati estratti dati ed informazioni utili per il confronto con le previsioni ottenute implementando un metodo per la stima di vulnerabilità e danno, noto come metodo macrosismico.

Il metodo macrosismico ha fatto riferimento per la sua implementazione ai dati ricavabili a livello provinciale e comunale dal censimento della popolazione e edifici ISTAT 2001 e a ulteriori poche informazioni desumibili dalla base di dati sintetica PPS. Nonostante il livello di conoscenza disponibile sul costruito consentisse di raggiungere una caratterizzazione del costruito essenzialmente numerica e tipologica (Livello 0), le stime in termini di danni e costi di riparazione/miglioramento ottenute implementando il metodo macrosismico sono risultate del tutto coerenti con quanto riportato nella base di dati sintetica PPS. Questo può essere assunto a conferma della possibilità di implementare il metodo macrosismico per avere stime utili ai fini della gestione e mitigazione del rischio sismico a macroscala. È importante sottolineare che questo si intende come il primo passo di un'approfondita analisi che intende processare e utilizzare la moltitudine di dati raccolti nella fase di emergenza e nel processo di ricostruzione del Molise per la calibrazione e integrazione di modelli di vulnerabilità e previsione di danno e costi utilizzati per analisi di rischio sismico su singoli edifici e a larga scala.

BIBLIOGRAFIA

- Martinelli A, Corazza L. (a cura di) 1999. *Censimento di vulnerabilità degli edifici pubblici, strategici e speciali nelle regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise Puglia e Sicilia*, Vol I-II-III, Dipartimento della Protezione Civile – CNR – Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti.
- Bernardini, A., 1998. *Random and fuzzy sets in the modelling of uncertain engineering systems*, in *Whys and Hows of uncertainty modelling: Probability, Fuzziness and Anti-Optimization*, I. Elishakoff, Editor. Springer: Wien, New York.
- Bernardini, A. 2000. Attività del Gruppo di Lavoro GNDT-SSN per i rilievi di danno/vulnerabilità sismica degli edifici. In A. Bernardini (a cura di), *La vulnerabilità degli edifici: valutazione a scala nazionale della vulnerabilità sismica degli edifici*. Roma, 2000, CNR-GNDT.
- Bernardini, A., 2004. Classi macrosismiche di vulnerabilità degli edifici in area veneto-friulana. *Convegno ANIDIS "L'ingegneria sismica in Italia"*, Genova.
- Bernardini A., Giovinazzi S., Lagomarsino S., Parodi S., 2007a. "Implicit Damage Probability Matrixes in the EMS-98 European Macroseismic Scale". *Proc. of 12th Italian Conference on Earthquake Engineering*. Italy.
- Bernardini A., Giovinazzi S., Lagomarsino S., Parodi S., 2007b. "Vulnerability and damage assessment at a territorial scale according to a macroseismic approach coherent with EMS-98 European Macroseismic Scale". *Proc. of 12th Italian Conference on Earthquake Engineering*. Italy.
- Decreto Commissariale n.35/2005, *Direttive tecniche per la progettazione e realizzazione degli interventi sugli edifici privati*, Regione Molise.
- Di Pasquale G., Goretti A. 2001. Vulnerabilità Funzionale ed Economica negli Edifici Residenziali Colpiti da Recenti Eventi Sismici Nazionali. *Atti del 10° Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia*, Potenza-Matera.
- Di Pasquale G., Orsini G. & Serra C., 1998a, "Valutazione del Costo di Riparazione di Edifici in Muratura ed in C.a. Danneggiati da Sisma", Servizio Sismico Nazionale, *Rapporto Tecnico SSN/RT/98/03*.
- Di Pasquale G., Orsini G. & Serra C. 1998b, "Assessment of the Economic Loss from the DPC – GNDT– SSN Safety Evaluation Forms", *Proc. International Workshop on Measures of seismic damage to masonry buildings*, Monselice, 1998, Rotterdam, Balkema.
- Giovinazzi S., Lagomarsino S., 2004. A macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings. *Proc. of 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada, August, Paper n.896.
- Giovinazzi S., Pampanin S., Lagomarsino S., 2006. Alternative Retrofit Strategies for pre' 70 buildings: vulnerability models and a damage scenarios. *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*. Geneva, Switzerland, September, 2006.
- Grunthal, G. 1998. European Macroseismic Scale 1998. *Chaiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, Volume 15, Luxembourg.
- ISTAT 2001. *14° Censimento Generale della Popolazione 1991 - Dati sulle caratteristiche strutturali, della popolazione e delle abitazioni*. Roma.
- Lagomarsino S. e Giovinazzi S., 2006. Macroseismic and Mechanical Models for the Vulnerability assessment of current buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering, Special Issue "Risk-Ue Project*. Vol. 4, Number 4.
- Linee Guida per la microzonazione sismica dei comuni della Provincia di Campobasso con particolare riferimento a quelli colpiti dal terremoto del 31.10.2002*. Decreto n. 27 del 6 agosto 2003, Comitato per la microzonazione sismica: approvazione linee guida, Regione Molise.
- Margottini C., Molin D., Narcisi B., Serva L. 1992. *Intensity versus ground motion: a new approach using Italian data*. *Engineering Geology*, 33, pp. 45-48.
- OPCM, n° 3431, 3 Maggio 2005. *Gazzetta Ufficiale n° 107 del 10 Maggio 2005*.
- OPCM, n° 3519, 28 Aprile 2006. *All. 1B, Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale*. *Gazzetta Ufficiale n° 108 del 11 Maggio 2006*.
- Pasquale C. e Lemme A., 2005. *Sintesi dei dati trasmessi alla regione Molise dai comuni della provincia di Campobasso alla data del 31.01.2005*. Regione Molise, Commissario delegato per gli eventi sismici del 31.10.2002.