

Sisma Molise 2002: pericolosità sismica e variazione dei costi di intervento per gli edifici danneggiati nella provincia di Campobasso

Giandomenico Cifani¹, Giuseppe Di Capua², Alberto Lemme³, Carmenzo Miozzi³, Silvia Peppoloni², Stefano Podestà⁴

¹ ITC-CNR - Istituto per le Tecnologie della Costruzione, P.le Collemaggio, 1 - 67100 L'Aquila

² INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via Nizza 128 - 00198 Roma

³ Regione Molise - Struttura del Commissario Delegato per la Ricostruzione in Molise Viale Elena - 86100 Campobasso

⁴ DICAT - Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio, Università di Genova, Via Montallegro, 1-16145 Genova

Keywords: analisi dei costi, pericolosità sismica, vulnerabilità sismica, normativa sismica

ABSTRACT:

Con questa ricerca ci siamo posti l'obiettivo di valutare l'impatto economico degli studi di pericolosità sismica sulla ricostruzione che è seguita al terremoto del Molise del 2002. Lo studio è stato condotto utilizzando il noto modello di vulnerabilità legato alla scheda di II livello del GNDT su un campione di edifici esistenti in muratura della provincia di Campobasso, prevedendo una procedura per il recupero dei parametri necessari alla valutazione della vulnerabilità basata sui dati contenuti nelle schede AeDES dei censimenti di agibilità post-sisma.

Per gli edifici indagati, ipotizzando un set di interventi strutturali, è stata costruita una curva che lega il costo degli interventi previsti con la PGA allo stato limite di danno severo, tenuto conto degli effetti legati agli incrementi determinati dalle caratteristiche litologiche di sito con l'utilizzo dei recenti studi di microzonazione sismica effettuati nell'area epicentrale del terremoto.

I risultati ottenuti mostrano che, al variare delle PGA di riferimento e delle caratteristiche litologiche di sito, risultano sostanziali differenze nei costi di intervento, in particolare modo nelle zone sismiche 1 e 2. Queste considerazioni mettono in evidenza ancora una volta la necessità di investire importanti risorse economiche nazionali nella conoscenza del patrimonio edilizio, nelle tecniche di intervento e nella microzonazione sismica delle aree urbane, azione questa propedeutica ad una efficace politica di riduzione del danno economico per cause sismiche.

1 INTRODUZIONE

Il 31 ottobre ed il 1 novembre 2002 due scosse di moderata magnitudo ($M_w = 5.7$) colpiscono alcuni comuni delle province di Campobasso e Foggia (Galli et al., 2004; Maffei et al., 2004; Valensise et al., 2004). Il quadro di danneggiamento prodotto dalla prima scossa viene ulteriormente aggravato dalla seconda, che investe inoltre comuni che il 31 ottobre erano stati solo marginalmente interessati dall'evento sismico. Questo terremoto sorprende l'opinione pubblica. La società civile viene profondamente scossa dal decesso di 27 bambini a seguito del crollo totale della scuola "F. Iovine" di San Giuliano di Puglia (CB), anche in relazione al fatto che tale zona non fosse classificata sismica, nonostante la comunità scientifica avesse da tempo segnalato la pericolosità di questo territorio (Romeo et al., 1997; Slejko et al., 1998; Albarello et al., 2000), proponendone il suo inserimento nella 2a categoria (GdL,

1999). La reazione delle Istituzioni produce l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) n. 3274/03 (G.U. n. 105 del 08/05/2003), che colma lacune storiche nella classificazione del territorio nazionale, definisce le modalità di redazione ed aggiornamento periodico delle mappe di pericolosità sismica di base, introduce la microzonazione sismica, seppur in maniera non esplicita, nel quadro normativo di riferimento per la difesa dai terremoti. La successiva fase di ricostruzione e di adeguamento sismico e le verifiche tecniche che sono scaturite da questo provvedimento d'urgenza hanno trovato una nuova cornice legislativa (Allegato 2): purtroppo la non entrata in vigore definitiva di questo provvedimento ha fatto sì che esso non sia stato quasi mai adottato come riferimento normativo e pertanto nella maggior parte dei casi si è continuato ad utilizzare il DM del 16 gennaio 1996. I dati di pericolosità, di base e locale, di vulnerabilità e di danno disponibili per la provincia di Campobasso (Figura 1) ci hanno fornito l'occasione di ragionare sull'impatto economico che le modifiche dei valori

di PGA attesi determinano sui costi della ricostruzione post-evento e sulla realizzazione di nuovi edifici.

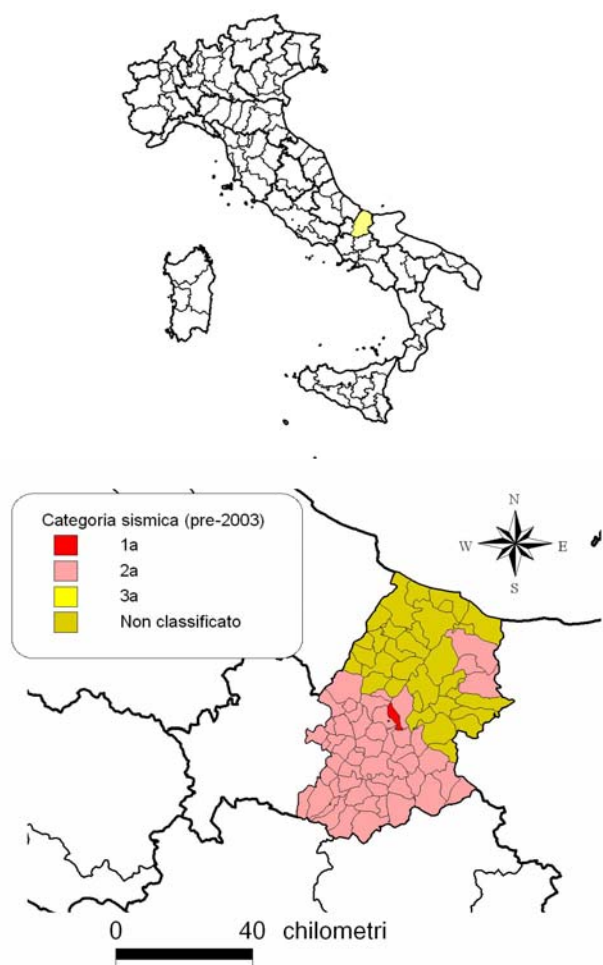


Figura 1. Ubicazione della provincia di Campobasso e classificazione del territorio analizzato prima dell'entrata in vigore dell'OPCM 3274/03.

2 LA CLASSIFICAZIONE SISMICA DELLA PROVINCIA DI CAMPOBASSO

I comuni della regione Molise sono stati oggetto di una progressiva classificazione sismica a partire dal terremoto di Avezzano del 1915 (Regio Decreto Legge n. 573 del 29 aprile 1915). Con i provvedimenti contenuti nel Regio Decreto Legge n. 640 del 25 marzo 1935, nel Regio Decreto Legge n. 682 del 3 aprile 1930, nel Decreto del Presidente della Repubblica del 19 ottobre 1962) e nei Decreti Ministeriali del 7 marzo, del 3 giugno e del 9 ottobre 1981 (De Marco et al., 2002; Decanini et al., 2004) tutti i comuni della provincia di Isernia ed un gran numero di quelli della provincia di Campobasso vengono inseriti in zone a cui viene attribuita una pericolosità sismica che decresce spostandosi dalle porzioni di territorio appenniniche a quelle prossime alla costa adriatica. Resta comunque un significativo *gap* normativo proprio nell'area che verrà interessata dal terremoto del 2002 (Figura 1), nonostante le informazioni di sismicità storica (GNDT et al., 1996;

Monachesi et al., 1997; Boschi et al., 2000), gli studi di pericolosità sismica a scala nazionale (Romeo et al., 1997; Slejko et al., 1998) ed una proposta di ri-classificazione del territorio italiano del 1998 (GdL, 1999) ne avessero consigliato l'inserimento in una zona sismica a pericolosità intermedia (Figura 2).

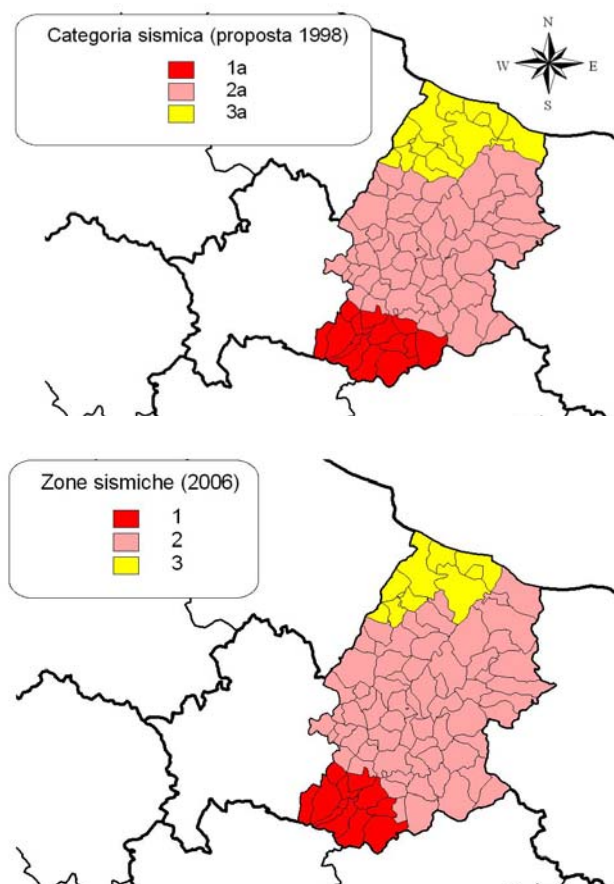


Figura 2. Classificazione sismica della provincia di Campobasso: in alto la proposta del 1998, in basso le zone sismiche definite nel 2006 (BURM n. 31/06).

Dopo il terremoto, il Governo emana l'OPCM 3274/03 che stabilisce la classificazione sismica di tutto il territorio nazionale in quattro zone a pericolosità differente, sulla base di uno studio prodotto nel 1999 da un gruppo di lavoro costituito da esperti del Servizio Sismico Nazionale (SSN) e del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT) (Lucantoni et al., 2001). Nel 2004 l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia elabora una nuova mappa di pericolosità sismica a scala nazionale (GdL MPS, 2004) che modifica ed incrementa i valori di accelerazione di picco (PGA) su suolo rigido riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno pari a 475 anni) per molti comuni del territorio molisano. L'OPCM n. 3519/06 (G.U. n. 108 del 11/05/2006) sancisce questa nuova mappa quale riferimento scientifico per le Regioni al fine di un aggiornamento della classificazione sismica dei territori di competenza. La Regione Molise, con la Deliberazione del Consiglio Regionale (DCR) n. 194 del 20 settembre 2006 (B.U.R.M. n. 31 del 31.10.2006, Supplemento Ordinario n. 1), procede

ad una riclassificazione del territorio regionale, adottando i valori di PGA più alti previsti per ogni fascia della mappa allegata all'OPCM citata e declassificando il comune di Castellino del Biferno dalla zona 1 alla zona 2 (Figura 2). La DCR 194/06 dispone che la progettazione degli edifici, a partire dal 31 ottobre 2006, dovrà essere conforme ai valori di PGA della nuova classificazione sismica adottata.

3 LA PERICOLOSITÀ SISMICA DELLA PROVINCIA DI CAMPOBASSO

Per le finalità di questo studio sono stati utilizzati i valori di PGA e delle ordinate spettrali in accelerazione (Lucantoni et al. 2001; Romeo, 2004; Gruppo di Lavoro MPS, 2004), relativi sostanzialmente a tre studi di pericolosità sismica condotti su scala nazionale (Slejko et al., 1998; Albarello et al., 2000; Romeo e Pugliese, 1997 e 2000; Lucantoni et al., 2001; Gruppo di Lavoro MPS, 2004), utilizzando l'approccio "Cornell" (Cornell, 1968), che a livello mondiale viene considerato un metodo standard per elaborazioni finalizzate alla normativa sismica. Lo studio di pericolosità più recente è quello condotto dall'INGV (GdL MPS, 2004) che ha utilizzato i risultati delle ricerche degli anni precedenti e dei risultati dei progetti GNDT 2000-2002 (<http://gndt.ingv.it>). Tale studio si è avvalso anche di nuove elaborazioni "ad hoc" tra cui la zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004) in sostituzione della ZS4 (Scandone et al., 1992) e della ZS4.1 (Romeo e Pugliese, 1997) utilizzate negli studi precedenti, e la revisione del catalogo dei terremoti (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004). Infine, l'impiego di un albero logico ha permesso l'analisi delle incertezze di tipo prevalentemente epistemico. Per quanto riguarda il Molise c'è un elemento che ha condizionato in maniera sostanziale i risultati ottenuti dall'INGV rispetto al passato: la delimitazione nella ZS9 di un'area ad allungamento E-W che è stata prevista sulla base della localizzazione e dei meccanismi focali dei terremoti del 31 ottobre e del 1 novembre 2002. Riconoscendo una continuità sismotettonica tra l'area garganica e l'area interessata dal terremoto del Molise (Valensise et al., 2004) è stato introdotto un importante elemento di incremento della pericolosità sismica per quest'area, con il conseguente aumento dei valori di PGA attesi. Questo risultato è comunque in linea con la proposta di classificazione del 1998 (GdL, 1999) che prevedeva per i comuni non ancora classificati, ubicati al confine tra il Molise e la Puglia, l'inserimento in una zona a pericolosità intermedia (categoria sismica 2), oggi equivalente alla zona sismica 2 dell'OPCM 3274/03 (Figura 2). I tre studi che sono stati utilizzati in questo lavoro verranno denominati nelle pagine seguenti con le sigle SSN97 (Romeo e Pugliese, 1997 e 2000), GNDT/SSN01 (Albarello et al., 2000; Lucan-

toni et al., 2001) e INGV04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004). I valori di PGA in GNDT/SSN01 sono stati calcolati considerando la deviazione standard della legge di attenuazione. I valori di PGA di INGV04 rappresentano la mediana di tutte le PGA calcolate con l'albero logico.

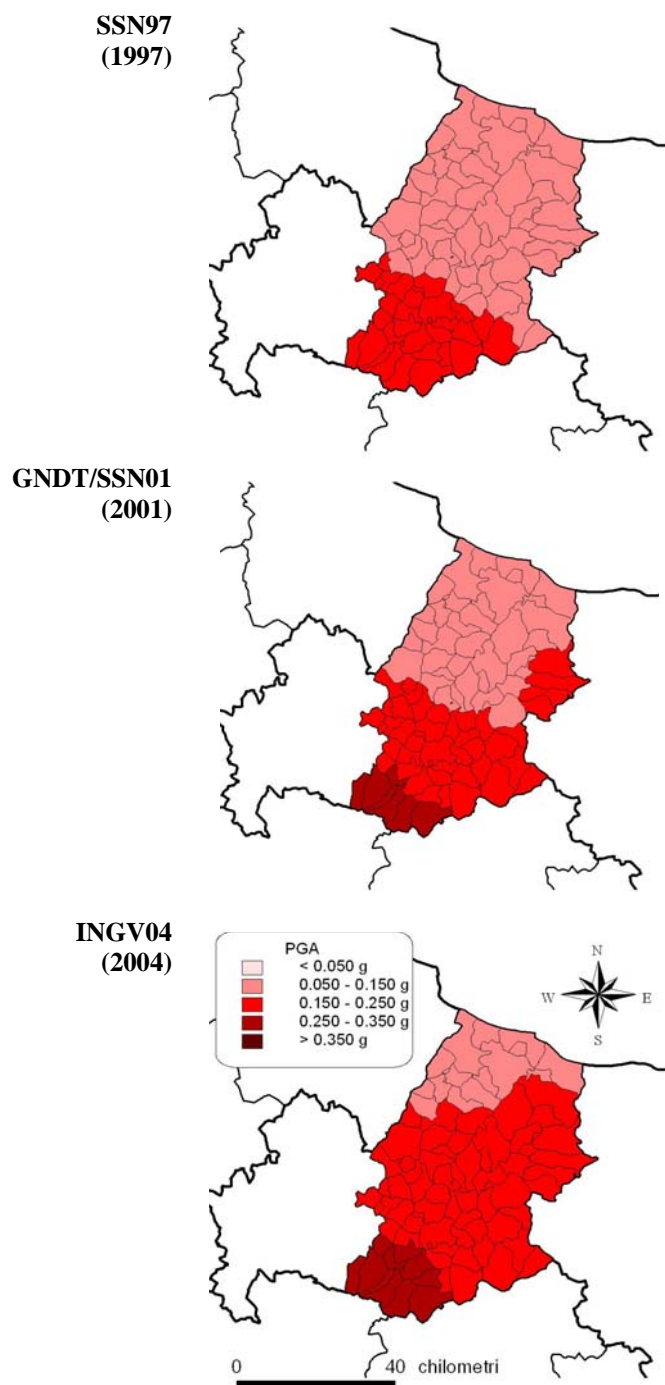


Figura 3. Evoluzione dei risultati degli studi di pericolosità sismica per la provincia di Campobasso in termini di PGA. La sigla, a lato delle immagini, identifica lo studio di pericolosità utilizzato.

La Figura 3, in cui i valori di PGA calcolati nei tre diversi studi vengono rappresentati utilizzando 5 classi di distribuzione delle accelerazioni di picco, mostra il progressivo aumento della pericolosità nella provincia di Campobasso passando dallo studio più vecchio (1997) a quello più recente (2004). Con lo studio GNDT/SSN01 si produce un incremento

della PGA per tutti gli 84 comuni del territorio, con un aumento medio di 0.021g. Gli incrementi sono compresi tra il 3 ed il 39% secondo una distribuzione in classi percentuali mostrata in Figura 4 (grafico in alto). 17 comuni (pari al 20% del campione) mostrano aumenti compresi tra il 20% ed il 40%. Con lo studio INGV04 si produce un ulteriore incremento di pericolosità per ben 77 comuni (pari al 92% del campione), con un aumento medio di 0,041g. Gli incrementi percentuali sono compresi tra l'1% fino ad arrivare al 66%. In 5 comuni si evidenzia una leggera diminuzione della PGA, contenuta tra l'1% ed il 4%. In 2 comuni non si registrano variazioni. La distribuzione percentuale in figura 4 (grafico in basso) mostra complessivamente un aumento significativo della PGA per 49 comuni (pari al 58% del campione) con incrementi superiori al 40% in 23 centri abitati (pari al 27% del campione).

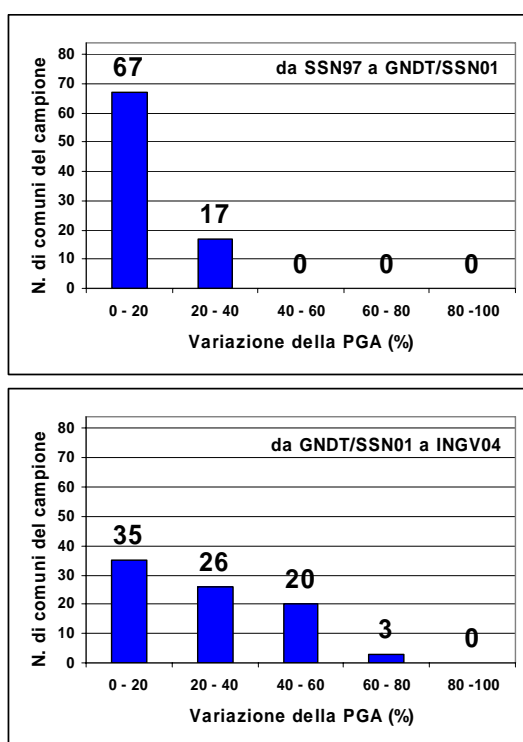


Figura 4. Classi percentuali dell'incremento dei valori di PGA nei comuni della provincia di Campobasso, passando rispettivamente dallo studio SSN97 allo studio GNDT/SSN01 (in alto) e da quest'ultimo studio a quello denominato INGV04 (in basso).

4 LA MICROZONAZIONE SISMICA DELLA PROVINCIA DI CAMPOBASSO

L'OPCM 3274/03 definisce l'azione sismica di progetto come il prodotto tra l'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g), individuata dal valore di accelerazione di picco orizzontale del suolo (PGA) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed espressa come frazione dell'accelerazione di gravità (g), ed il valore di S, stabilito sulla base della categoria di suolo di

fondazione del sito che viene esaminato. Un valore di S pari ad 1 indica che l'accelerazione orizzontale non deve essere modificata in quanto, localmente, si è in presenza di un terreno avente caratteristiche di roccia; pertanto, non incrementa il livello di scuotimento atteso al sito. Viceversa, valori maggiori di 1 sono previsti laddove siano presenti, localmente, terreni che generalmente producono amplificazione dell'input sismico. La normativa non prevede mai situazioni litologiche che possano produrre una de-amplificazione e conseguentemente una diminuzione del valore di scuotimento.

Per considerare gli incrementi di accelerazione orizzontale dovuti alle caratteristiche litologiche dei terreni presenti nella provincia di Campobasso sono state utilizzate due famiglie di dati esistenti. La prima, relativa a tutto il territorio nazionale, contiene una classificazione dei terreni sulla base dell'EC8 (EC8, 2003). Da questo database, prodotto nell'ambito del progetto INGV-GNDT "Terremoti probabili in Italia tra l'anno 2000 e il 2030: elementi per la definizione di priorità degli interventi di riduzione del rischio sismico" (<http://gndt.ingv.it>) sono stati estratti i dati relativi a tutti i comuni della provincia di Campobasso. Alle tre categorie di suolo previste è stato associato un valore di incremento dello scuotimento al bedrock, denominato S_{EC8} , i cui valori sono pari a 1.0 ("Rock"), 1.2 ("Stiff soil") e 1.15 ("Soft soil"). Ad ogni comune è stato pertanto associato un solo valore di S_{EC8} ; per 76 comuni (pari al 90,5% del campione) l'S è risultato uguale ad 1.0, mentre per 8 comuni (pari al 9,5% del campione) l'S è risultato pari ad 1.2. Non sono stati riscontrati comuni su "Soft soil". Per tutti i 13 comuni dell'area epicentrale colpita dal terremoto del 2002, sui quali è stata condotta l'analisi dei costi di intervento, risulta un valore di S_{EC8} pari ad 1.0 (Tabella 1).

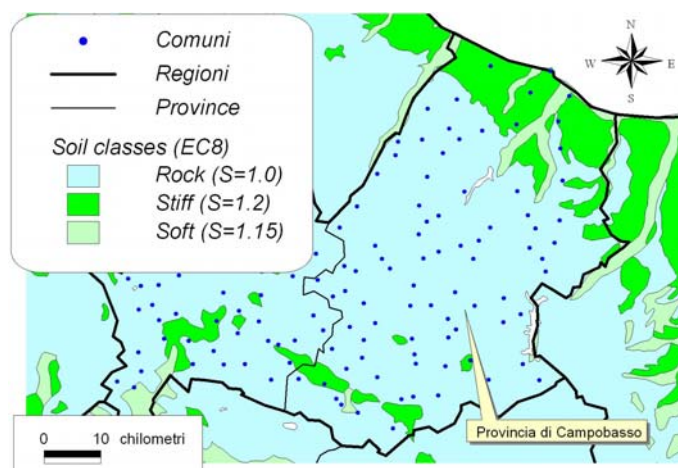


Figura 5. Classificazione dei terreni della Regione Molise, basata sulle classi litologiche dell'EC8, prodotta nell'ambito di un progetto INGV-GNDT (<http://gndt.ingv.it>).

La seconda famiglia di dati è costituita dai risultati degli studi di microzonazione sismica che sono stati condotti su 12 dei 14 comuni ubicati

nell'epicentro del terremoto del 2002. Non sono stati considerati i risultati delle microzonazioni effettuate per i centri abitati di San Giuliano di Puglia e di Ripabottoni in quanto eseguite con una metodologia diversa da quella adottata per gli altri 12 centri abitati dell'epicentro. Le carte di microzonazione sismica, redatte dalla Commissione di Esperti della Regione Molise, prevedono la delimitazione del territorio urbano in aree a cui è associato il fattore S (OPCM 3274/03) di incremento dello scuotimento al bedrock. Rispetto a quanto prescritto dall'OPCM 3274/03, la Commissione ha ulteriormente suddiviso la categoria di suolo B ($S=1,25$) nelle due categorie B_1 ($S=1,15$) e B_2 ($S=1,25$). La categoria B_1 è stata adottata quando i valori di V_{s30} delle prove down-hole sono risultati compresi nell'intervallo 600-800 m/s; la categoria B_2 è stata utilizzata quando i valori di V_{s30} sono risultati compresi nell'intervallo 360-600 m/s. In alcuni casi è stato adottato un ulteriore fattore di incremento dello scuotimento (S_T) per tener conto di possibili effetti di amplificazione sismica per cause topografiche.

In questo studio, al fine di attribuire a ciascun comune un solo valore di S, abbiamo calcolato un valore S_{MICR} , ottenuto attraverso una media pesata, considerando l'area di distribuzione di ciascuno dei valori di S adottati per la zonazione del centro abitato, con riferimento alla sola area urbanizzata. Non è stato considerato il contributo di S_T nell'incremento dello scuotimento. I valori calcolati di S_{MICR} variano tra 1.16 e 1.26 (Tabella 2).

Tabella 1. Dati di input sismico (PGA, espressa come frazione di g) utilizzati nell'analisi condotta. Estratto del campione, relativo ai 14 comuni dell'area epicentrale del terremoto del Molise (2002).

Comune	PGA 1997	PGA 2001	PGA 2004	S_{EC8}
Bonefro	0,131	0,14493	0,210550	1,0
Casacalenda	0,114	0,12590	0,208918	1,0
Castellino del Biferno	0,118	0,14007	0,214425	1,0
Colletorto	0,137	0,16031	0,210450	1,0
Larino	0,113	0,12955	0,200484	1,0
Montelongo	0,133	0,14574	0,209086	1,0
Montorio nei Frentani	0,125	0,13764	0,207292	1,0
Morrone del Sannio	0,115	0,13683	0,212350	1,0
Provvidenti	0,115	0,13724	0,211105	1,0
Ripabottoni	0,118	0,13805	0,213398	1,0
Rotello	0,147	0,15829	0,208369	1,0
San Giuliano di Puglia	0,137	0,16517	0,210658	1,0
Santa Croce di Magliano	0,146	0,16234	0,209843	1,0
Ururi	0,130	0,13967	0,200695	1,0

Tabella 2. Valori di S_{MICR} calcolati per 12 comuni dell'area epicentrale del terremoto del Molise (2002).

Comune	S_{MICR}
Bonefro	1,25
Casacalenda	1,22
Castellino del Biferno	1,23
Colletorto	1,17
Larino	1,25
Montelongo	1,16
Montorio nei Frentani	1,25
Morrone del Sannio	1,18
Provvidenti	1,26
Rotello	1,22
Santa Croce di Magliano	1,21
Ururi	1,17

5 STIMA DEI COSTI DI ADEGUAMENTO

Nella fase di emergenza seguita agli eventi sismici del 2002 è stato effettuato il rilievo del danno e dell'agibilità per gli edifici pubblici e privati danneggiati. Nella successiva fase di ricostruzione sono stati redatti i Progetti Preliminari Semplificati (PPS). Utilizzando la mole di dati prodotta con queste attività (circa 22.000 rilievi di danno-agibilità, studi di vulnerabilità per tutti gli edifici pubblici e strategici, studi di microzonazione e circa 16.200 PPS, di cui 1.200 per opere pubbliche) è stato possibile stimare la variazione del costo di intervento in funzione dell'aumento della pericolosità sismica. Come riferimento economico di base si è assunta la stima del costo della ricostruzione ottenuta dai PPS per 82 comuni della provincia di Campobasso. Complessivamente il costo stimato per l'edilizia privata è stato di circa 1.800 milioni di Euro, mentre per le opere pubbliche (edilizia pubblica, viabilità, reti e dissesto idrogeologico) è stato stimato un importo di circa 900 milioni di Euro, di cui circa 400 milioni relativi agli interventi per gli edifici pubblici.

5.1 Scelta del modello per le analisi di vulnerabilità

Per stimare la relazione che lega il costo di intervento all'accelerazione al suolo si è adottato il modello di vulnerabilità correlato alla Scheda di Vulnerabilità GNDT di II livello - Muratura, già impiegata in precedenti campagne di rilievo in Molise da parte del GNDT e del DPC, sia per l'edilizia pubblica che privata, e recentemente utilizzata nella Regione Marche per la valutazione dell'efficacia degli interventi post-sisma 1997 (Cifani *et al.*, 2003).

Dopo la valutazione della vulnerabilità dello stato di fatto, è stata stimata la variazione di vulnerabilità che si produce ipotizzando una sequenza di interventi strutturali sul campione di edifici analizzato, in accordo con quanto prescritto dalla normativa che, ad oggi, regola il processo di ricostruzione nel Molise (Decreto del Commissario Delegato - DCD n. 35/05). L'accelerazione ultima agente sugli edifici è stata valutata attraverso le curve di fragilità mostrate in Figura 6.

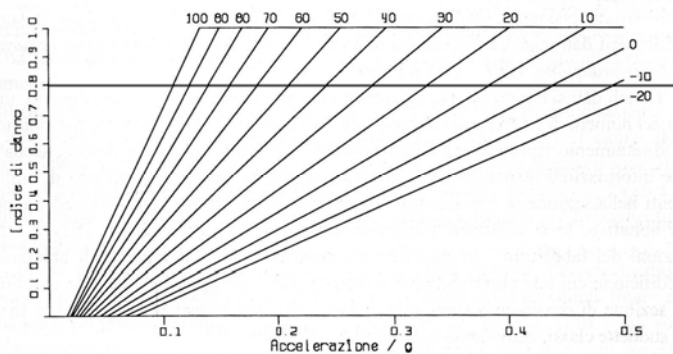


Figura 6. Curve di fragilità utilizzate per la valutazione dell'accelerazione ultima (Grimaz et. al, 1997; Gaugenti e Pettrini, 1989).

L'accelerazione ultima è stata fissata in corrispondenza di un livello di danneggiamento d pari a 0.8 (analogo al livello di danno 4 dell'EMS98). Tale soglia è in accordo con la definizione di stato limite ultimo (stato limite di danno severo) per le costruzioni in muratura esistenti (OPCM 3431/05), per la quale l'edificio può subire significative riduzioni della resistenza e della rigidità laterale, ma deve conservare una certa sicurezza rispetto al collasso totale.

5.2 Scelta del campione

Il campione degli edifici relativo ai PPS è costituito per il 95% da strutture in muratura, per il 4% da strutture in cemento armato e per l'1% da altre tipologie costruttive. Tenuto conto che non sono ancora disponibili i dati tecnici per tutti gli edifici per i quali sono stati redatti i PPS, per effettuare le analisi di vulnerabilità necessarie al nostro lavoro sono stati utilizzati i dati ricavati dalla scheda AeDES 05/2000 impiegata per il rilievo del danno e dell'agibilità in emergenza. Dalla scheda AeDES 05/2000 è stato possibile stimare gli 11 parametri della Scheda di Vulnerabilità GNDT di II livello - Muratura e valutare, dal punto di vista statistico, la vulnerabilità degli edifici. Gli edifici oggetto del rilievo del danno ed agibilità rappresentano un insieme significativo dei PPS: si tratta di circa 22.000 edifici, riferibili a circa 40.000 unità immobiliari, e rappresentano circa il 50% del patrimonio edilizio stimato con i PPS; il 94% di essi è costituito da edifici in muratura. Il campione analizzato è stato ridotto a poco più di 14.000 edifici in muratura, in quanto le restanti

8.000 unità sono rappresentate da edifici in cemento armato oppure da edifici in muratura con dati incompleti.

5.3 Determinazione dell'indice di vulnerabilità

La Scheda di Vulnerabilità GNDT - II livello del describe le caratteristiche intrinseche dell'edificio che concorrono, tramite la somma dei punteggi di 11 parametri, alla definizione di un indice di vulnerabilità. Ogni parametro può assumere quattro possibili valori (classi A, B, C o D) in riferimento all'influenza che tale parametro ha sulla definizione della vulnerabilità globale. La classe A raccoglie quelle situazioni che possono essere assimilabili ai requisiti richiesti dalla normativa sismica; nelle altre tre classi (B, C e D) sono raccolte tipologie a crescente vulnerabilità. I punteggi dei diversi parametri sono moltiplicati per opportuni pesi e quindi sommati al fine di ottenere un valore complessivo della vulnerabilità dell'edificio. I pesi tengono conto della diversa importanza che i vari parametri assumono ai fini del comportamento sismico della struttura. Per adattare i dati ricavabili dalle schede AeDES 05/2000 ai campi previsti dalla scheda di vulnerabilità GNDT è stato necessario introdurre tre classi intermedie (AB, BC, CD). Infatti in alcuni casi ci si è trovati di fronte all'impossibilità di un'univoca attribuzione di alcuni dati alle classi precedenti (dati insufficienti o incompleti). Per l'assoluta mancanza di informazioni, in qualche caso è stato necessario ricorrere alla classe M che fornisce una valutazione media di vulnerabilità sul parametro considerato.

5.4 Procedura di analisi

La procedura di analisi è stata applicata a tutti gli edifici del campione. E' stata quindi calcolata l'accelerazione massima su suolo rigido allo stato limite ultimo e, compatibilmente con le caratteristiche dell'edificio, è stata applicata una sequenza di interventi predefiniti (DCD 35/05), valutandone gli effetti attraverso la modifica dei parametri della Scheda di Vulnerabilità GNDT di II livello - Muratura e, conseguentemente, la variazione dell'accelerazione allo stato limite ultimo. Per ogni edificio è stata definita una relazione che lega la PGA allo stato limite ultimo ai costi dei singoli interventi. In tal modo è stato possibile valutare il costo globale di intervento al variare della PGA di riferimento in funzione delle differenti classificazioni e normative o in funzione degli studi di pericolosità disponibili.

Riassumendo, la procedura di analisi adottata si articola nei seguenti passi:

- 1: valutazione dell'indice di vulnerabilità per ciascun edificio secondo la formulazione della Scheda di Vulnerabilità GNDT di II livello -

Muratura, a partire dalle informazioni ricavate dalla scheda AeDES 05/2000;

- 2: calcolo, per il singolo edificio, dell'accelerazione massima al suolo (SLU) a partire dalle curve di fragilità (Gaugenti e Petrini, 1989; Grimaz *et al.*, 1997) in corrispondenza dell'indice di danno d pari a 0.8;
- 3: valutazione dell'accelerazione massima (PGA), incrementata sulla base dei risultati ottenuti dagli studi di microzonazione sismica e sulla base della zonazione, che utilizza le classi di suolo dell'Eurocodice 8, prodotta nell'ambito del progetto GNDT-INGV 2002-2002;
- 4: valutazione dell'influenza di ciascun intervento (nell'ipotesi della sequenza di interventi individuati in accordo con il DCD 35/05) sia da un punto di vista economico (costo per m^2) che da un punto di vista strutturale (variazione della vulnerabilità conseguente l'intervento);
- 5: determinazione, per ogni edificio, del numero di interventi necessari al fine di avere un'accelerazione massima del terreno pari ad almeno quella di riferimento (derivante dalle mappe di pericolosità sismica), quantificando il costo unitario relativo a tali interventi.

5.5 Analisi dei parametri della Scheda di Vulnerabilità GNDT di II livello - Muratura

Di seguito si riporta una sintesi dei criteri utilizzati per la determinazione degli undici parametri del modello di vulnerabilità della Scheda di Vulnerabilità GNDT di II livello - Muratura, a partire dalle informazioni contenute nella scheda AeDES 05/2000.

Il parametro 1 (*organizzazione del sistema resistente*) dipende direttamente dalla presenza di cordoli e catene e può essere dedotto dalla sezione 3 della scheda AeDES 05/2000. Dalla stessa sezione può essere dedotto il parametro 2 (*qualità del sistema resistente*). La valutazione del parametro 3 è invece legata al calcolo della resistenza convenzionale "C" dell'edificio e della resistenza a taglio τ_k , dipendente dalla qualità muraria indicata ancora nella sezione 3 della scheda AeDES 05/2000. Per la caratterizzazione della muratura si è cercato di correlare il giudizio "scadente" e "buona" alle tipologie riportate nella tabella 11.D.1 dell'OPCM 3274/03 e ss.mm.ii secondo le indicazioni del manuale della scheda AeDES 05/2000; per la qualità "scadente" si sono considerate le seguenti tipologie: muratura in pietrame disordinata, muratura a conci sbozzati e muratura a conci di pietra tenera. La muratura "buona" è stata collegata alla tipologia con pietre a spacco con buona tessitura, a blocchi lapidei quadrati e a mattoni pieni e malta di calce. La resistenza a taglio è stata valutata come media delle τ_k delle due classi di muratura:

- $\tau_k = 3.2 \text{ N/cm}^2$ per la muratura "scadente";
- $\tau_k = 7.7 \text{ N/cm}^2$ per la muratura "buona".

I restanti parametri (dal 4 all'11) sono stati anch'essi dedotti direttamente, con inevitabili approssimazioni, dalla scheda AeDES 05/2000, come mostrato in Tabella 3.

Tabella 3. Valutazione dei parametri della Scheda di Vulnerabilità GNDT di II livello - Muratura a partire dalla scheda AeDES 05/2000.

Parametro scheda	Sezione AeDES	Parametro scheda	Sezione AeDES
1	3	7	3
2	3	8	-
3	2, 3	9	3
4	7	10	5
5	3	11	2
6	3		

Una volta calcolato l'indice di vulnerabilità, si è proceduto alla valutazione dell'accelerazione massima su suolo rigido (PGA) attraverso la relazione:

$$PGA = \frac{a}{\alpha_{AS}} \quad (1)$$

dove:

a è l'accelerazione massima al suolo dedotta dalle curve di fragilità (Gaugenti e Petrini, 1989; Grimaz *et al.* 1997) e α_{AS} è il coefficiente di amplificazione stratigrafico.

5.6 Interventi di miglioramento ipotizzati e riduzione della vulnerabilità conseguente agli interventi effettuati

Dopo il calcolo del valore d'accelerazione caratteristico dello stato limite ultimo (stato limite di danno severo) si è ipotizzata una serie di interventi di miglioramento sismico, valutandone statisticamente la loro efficacia. In sintesi, è stata valutata la riduzione dell'indice di vulnerabilità dopo ogni intervento, ricalcolando, quindi, il valore di accelerazione relativo ad ogni edificio fino alla determinazione della PGA di riferimento. Se dopo aver applicato l'intera sequenza di interventi individuati non sono stati raggiunti i livelli di sicurezza normativi, è stata prevista la ricostruzione del fabbricato considerando un costo medio di 1.000 €/m². Gli interventi ipotizzati in accordo con il DCD 35/2005 hanno il seguente ordine di priorità:

- realizzazione dei collegamenti di piano;
- consolidamento/sostituzione delle strutture orizzontali;
- consolidamento della muratura esistente;
- inserimento di nuovi setti murari.

In Figura 7 è riportata la variazione media della PGA in funzione della sequenza di interventi ipotizzati.

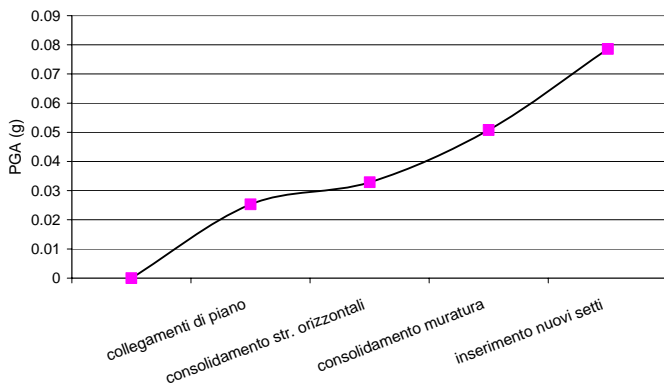


Figura 7. Variazione della PGA in funzione dell'intervento effettuato.

5.6.1 Realizzazione dei collegamenti di piano

Si è ipotizzata l'installazione di profili in acciaio collegati alla muratura e ai solai o l'inserimento di catene. Tali interventi influiscono essenzialmente sul "tipo ed organizzazione del sistema resistente" e sugli "orizzontamenti" quando sono deformabili e scollegati. Il costo dell'intervento è pari a circa 52.50 €/m².

Tabella 4. Collegamenti di piano: tabella riassuntiva delle variazioni della vulnerabilità.

parametro	classe iniziale	punteggio iniziale	variazione ΔI_v
1	CD	32.5	-27.5
1	M	17.5	-12.5
5	D	45.0	-30
5	M	18.75	-12.75

In Tabella 4 è riportato il parametro di riferimento, la classe e il punteggio iniziale con la variazione dell'indice di vulnerabilità ottenibile con la realizzazione dei collegamenti di piano.

5.6.2 Consolidamento/sostituzione delle strutture orizzontali

L'intervento è possibile solo nel caso di solaio deformabile (parametro 5) e produce l'abbattimento della vulnerabilità come indicato in Tabella 5.

Tabella 5. Consolidamento/sostituzione delle strutture orizzontali: tabella riassuntivo delle variazioni della vulnerabilità.

parametro	classe iniziale	punteggio iniziale	Variazione ΔI_v
5	C	25	-20.0
5	M	18.75	-10.0

Si noti come l'eventuale presenza di un parametro 5 in classe D non è stato preso in considerazione in quanto, sulla base della sequenza di interventi ipotizzata, questo verrebbe ricondotto nella classe C a

seguito della realizzazione del primo intervento, ovvero dei collegamenti di piano.

Il costo dell'intervento è pari a 260.00 €/m².

5.6.3 Consolidamento della muratura esistente

Il consolidamento della muratura permette di migliorare le caratteristiche meccaniche della muratura, modificando il parametro 3 della Scheda di Vulnerabilità GNDT di II livello - Muratura.

Per valutare il miglioramento della muratura vengono seguite le indicazioni riportate nel DCD 35/05 che consente di applicare un coefficiente correttivo alla τ_k pari a 2 o 1.3, rispettivamente per la muratura "scadente" e per la muratura di "buona" qualità.

Per quantificare il miglioramento conseguito con il consolidamento della muratura si calcola il coefficiente alfa (C/0.4) prima e dopo l'intervento, quindi si valuta la variazione dell'indice di vulnerabilità.

Il costo dell'intervento è stato stimato in 240.00 €/m².

5.6.4 Inserimento di nuovi setti murari

In tale caso è stato assunto che vengano aggiunti maschi murari nella direzione che presenta minore superficie di muratura di controvento, con un aumento ipotizzato del 20% della superficie dei maschi resistenti. In questo modo si migliora la risposta a taglio della struttura e la regolarità in pianta, con effetto positivo sul parametro 3 per l'aumento della superficie resistente A e della τ_k media, e sul parametro 6 per la regolarizzazione della maglia muraria. Il costo dell'intervento viene valutato in 105.00 €/m².

5.7 Analisi dei risultati

La procedura descritta è stata adottata per elaborare i dati relativi a 12 comuni dell'area epicentrale (Tabella 2). Per questi comuni si è tenuto conto anche di due coefficiente di amplificazione stratigrafica dedotti, rispettivamente, dagli studi di microzonazione sismica (S_{MICR}) e dai risultati del progetto GNDT-INGV, basati sulle classi di suolo dell'Eurocodice 8 (S_{EC8}). In quest'ultimo caso si è constatato che in tutti i comuni considerati S_{EC8} assume un valore pari ad 1 (Figura 8).

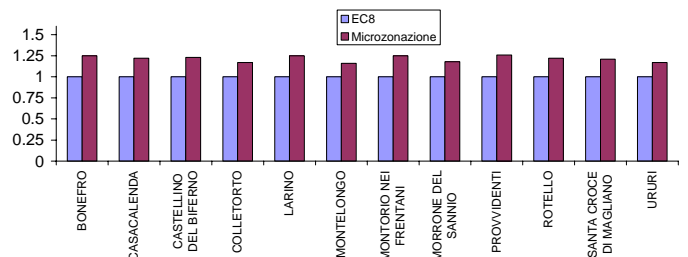


Figura 8. α_{AS} utilizzando S_{MICR} (studi di microzonazione sismica) o S_{EC8} (risultati progetto GNDT-INGV 2000-2002).

La differenza tra le due valutazioni del coefficiente α_{AS} è risultata mediamente del 21%.

Come descritto nei paragrafi precedenti è stata stimata una curva che valuta quantitativamente gli incrementi dei costi in relazione alla resistenza dei singoli edifici espressa in termini di PGA su roccia. Si ribadisce che il costo di ricostruzione è stato valutato in 1.000 €m^2 (che quindi è il valore massimo che la funzione può assumere), mentre con l'applicazione dell'intera sequenza di interventi ipotizzati si arriva alla somma massima di circa 658 €m^2 al lordo di oneri tecnici e fiscali.

Mettendo a confronto le valutazioni effettuate considerando sia il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_{MICR} che S_{EC8} si nota che, per valori di PGA definiti nell'intorno di $0.20g$, la differenza di costo valutabile con e senza la microzonazione (dal momento che in questo caso S_{EC8} assume sempre, come già detto, valori pari ad 1 per il campione di comuni analizzato) è stimata in circa 260 €m^2 . Pertanto, a fronte di un incremento del coefficiente α_{AS} di circa il 21% si rileva un aumento del costo di intervento di quasi 4 volte. Per valori più alti della PGA di riferimento lo scostamento fra le due curve diventa ancora più evidente.

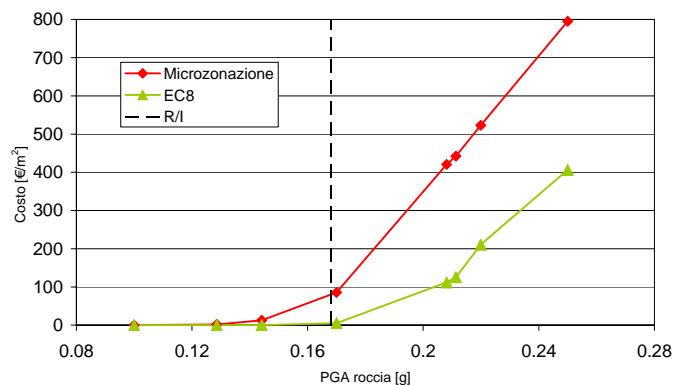


Figura 9. Valutazione dei costi di intervento al m^2 in funzione della PGA (SLU) per il valore di α_{AS} dedotto dai risultati del progetto GNDT-INGV (S_{EC8}) e dagli studi di microzonazione sismica (S_{MICR}).

Da notare che la curva in Figura 9 assume un andamento essenzialmente lineare per valori della PGA maggiori di $R/I = 0.17g$ (resistenza media degli edifici/coefficiente di importanza): per un aumento di $0.01g$ dell'accelerazione di riferimento si registra un costo di 88 €m^2 . Per valori minori di $0.17g$ si hanno incrementi di costo assai limitati. Tale aspetto è legato al fatto che la quasi totalità degli edifici ha la necessità di un intervento per valori di PGA di riferimento superiore a $0.17g$.

In Figura 10, invece, sono stati stimati i costi di adeguamento in funzione delle PGA di riferimento per le diverse classificazioni e normative nelle due ipotesi di α_{AS} , ovvero utilizzando S_{EC8} e S_{MICR} .

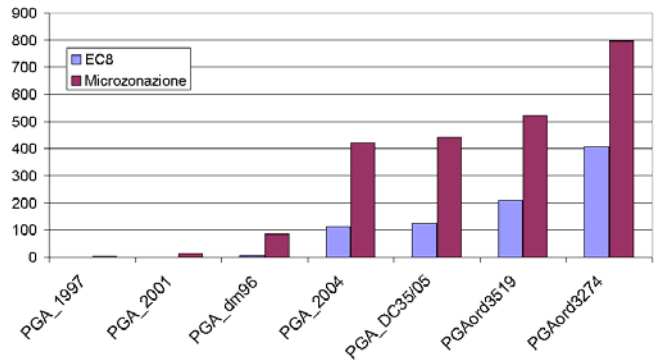


Figura 10. Valutazione dei costi di adeguamento al m^2 in funzione della PGA dei diversi studi di pericolosità sismica considerati o delle normative adottate, nelle due ipotesi di α_{AS} , ovvero utilizzando S_{EC8} o S_{MICR} .

È quindi possibile mettere in evidenza che, aumentando la PGA di riferimento, la crescita dei costi di miglioramento sismico subisce un brusco incremento. Questo fatto si manifesta nella variazione di pendenza della curva, approssimativamente in corrispondenza del rapporto R/I.

Sulla base di queste considerazioni, relativamente ai 12 comuni interessati dalla microzonazione sismica ed utilizzati come campione di questo studio, è stata valutata la differenza di costo che interviene quando andiamo a considerare le differenti accelerazioni fornite dagli studi di pericolosità sismica e dalle normative di riferimento rispetto all'azione sismica di progetto prevista dal DM del 16 gennaio 1996. Dalla Figura 11 si evince che, per garantire un livello di protezione sismica pari al 65%, si ottiene un incremento dell'azione sismica di circa il 24% passando dalle azioni sismiche valutabili con il DM 1996 a quelle indicate dal DCD 35/05, a cui corrisponde un incremento dei costi pari a 7.44 €m^2 . Tale differenza diviene di 11.40 €m^2 se si considerano i valori di accelerazione stabiliti dall'OPCM 3519/06 e di 63.82 €m^2 se si fa riferimento ai valori dell'OPCM 3274/03.

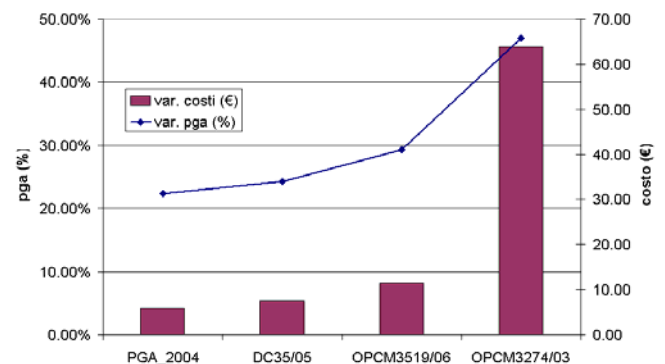


Figura 11. Stima degli incrementi di costo e di PGA valutati sulla base delle azioni sismiche previste dal DM 1996, considerando un livello di protezione sismica pari al 65%.

5.8 Estensione del modello di analisi alle scuole

Il modello di analisi utilizzato è stato applicato anche agli edifici scolastici in muratura, che sono stati oggetto degli studi di vulnerabilità previsti dalla LR 38/03 che, con una procedura basata su un modello di collasso per taglio, ha portato alla definizione dell'accelerazione massima sopportabile su suolo rigido (Dolce *et. al.*, 2001).

In base al database a disposizione della Regione Molise (che comprende i dati relativi a 37 scuole) è stato quindi costruito un grafico (Figura 12) che lega la PGA al costo di intervento, per classe di resistenza. Anche in questo caso si è assunto un costo di ricostruzione pari a 1.000 €/m².

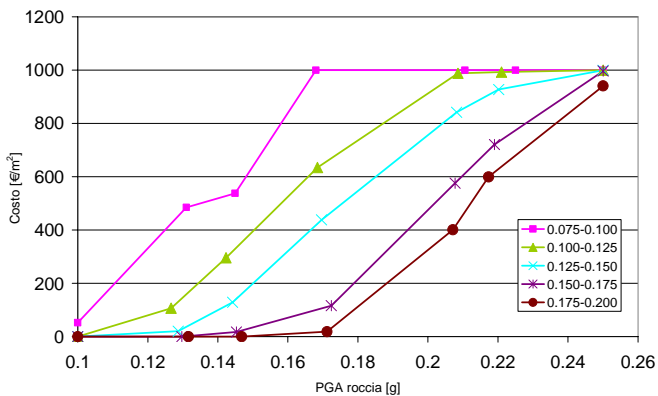


Figura 12. Curve PGA-costo al m² per le differenti classi di resistenza.

Calcolando i costi di intervento per ogni scuola, al variare della PGA di riferimento, è possibile valutare il costo medio degli interventi, ottenendo così la curva indicata in Figura 13.

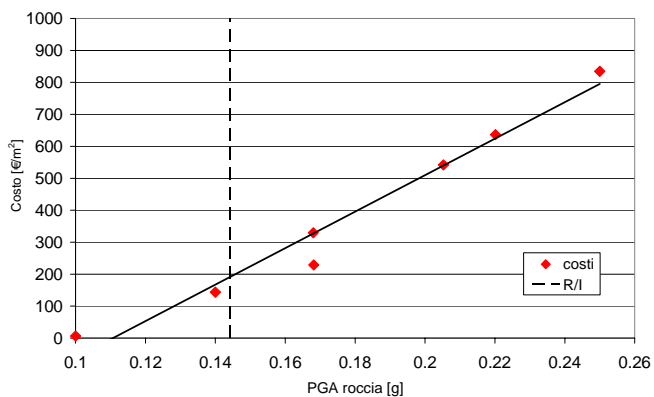


Figura 13. Andamento della funzione PGA-costo medio al m².

Anche nel caso delle scuole si conferma un andamento lineare della funzione per valori della PGA maggiori del rapporto R/I, che in questo caso vale 0.144g. Le modifiche dei costi per valori minori di R/I risultano poco significative al variare della PGA di riferimento (Figura 14).

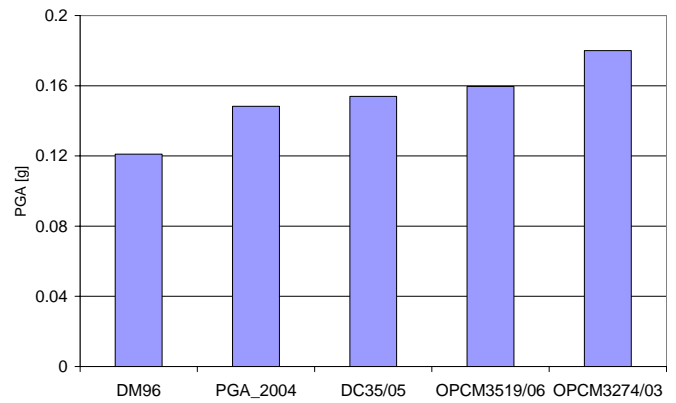


Figura 14. Variazione della PGA di riferimento considerando un livello di adeguamento pari al 72% (DCD 35/05).

In Figura 15 è riportata la differenza rispetto al DM 1996 sia in termini di costi che di PGA.

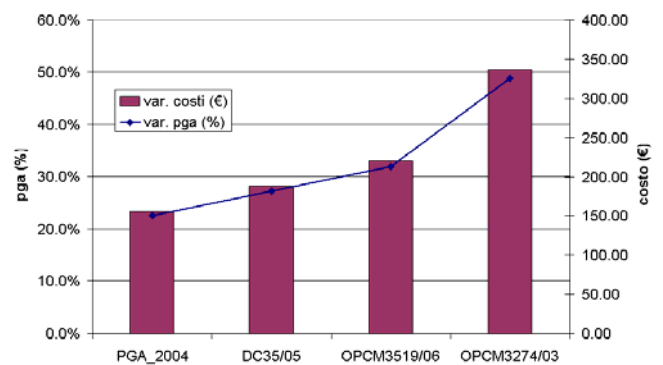


Figura 15. Stima degli incrementi di costo e di PGA valutati rispetto alle azioni sismiche previste dal DM 1996, considerando un livello di protezione sismica pari al 72%.

E' utile confrontare i livelli di adeguamento che possono essere raggiunti utilizzando differenti valori di PGA: il livello di adeguamento del 72% secondo il DM 1996 (Figura 16) diviene del 57% secondo i valori di PGA del DCD 35/05, arrivando ad essere inferiore del 50% se si considerano i valori di PGA dell'OPCM 3274/03.

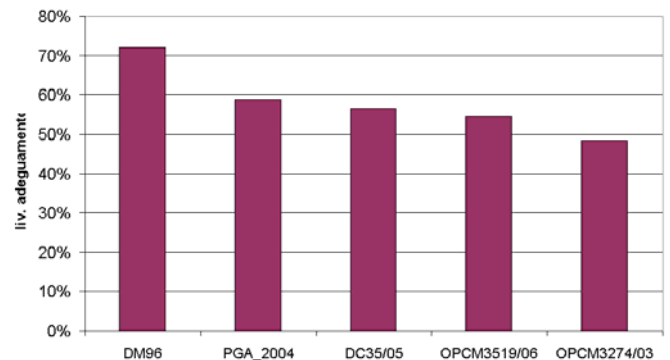


Figura 16. Livelli di adeguamento nelle diverse valutazioni delle pericolosità corrispondenti al 72% dell'azione sismica prevista dal DM 1996.

5.9 Conclusioni

Il presente studio ha cercato di valutare l'incremento del costo di un intervento di adeguamento sismico, in funzione dei differenti studi di pericolosità che sono stati prodotti negli ultimi 20 anni e delle differenti normative sismiche esistenti.

Le analisi sono state condotte sui dati censiti a seguito dall'evento sismico del Molise (2002), utilizzando le informazioni "povere" contenute nella scheda AeDES 05/2000 ed applicando un modello di vulnerabilità (Grimaz, *et al.*, 1997, Gaugenti e Petri, 1989) che, seppur rivisitato (Giovinazzi e Lagomarsino, 2001; Bernardini, 2004), garantisce una buona affidabilità.

I risultati che emergono sono molteplici ed hanno una valenza che supera la realtà regionale per la quale sono stati dedotti. Si sottolinea che, proprio in tale ottica, sono stati trascurati i costi di riparazione, computando unicamente gli interventi di adeguamento sismico.

L'incremento di costo dell'intervento dipende in massima parte dal livello di protezione sismica che si decide di adottare a livello normativo (nazionale o regionale).

Nel caso della ricostruzione che fa seguito al terremoto del Molise (applicando il DCD 35/05 e quindi riferendosi al costo reale di ricostruzione) è possibile valutare come siano sufficienti mediamente 9.68 €/m² aggiuntivi per ottenere un livello di adeguamento del 65%, passando dal DM 1996 al DCD 35/05. La differenza diviene poco meno di 15 €/m² se si fa riferimento all'OPCM 3519/06 (ipotizzando lo stesso livello di protezione).

Tuttavia, se si considera che i tecnici operano attualmente con la vecchia normativa (DM 1996), a causa delle incertezze connesse ad una definizione univoca dello strumento normativo da adottare, il livello di adeguamento del 65% diviene del 52% se lo si considera riferito alla PGA di riferimento indicata nel DCD 35/05, scendendo al 50% se ci si riferisce all'OPCM 3519/06 (Figura 17).

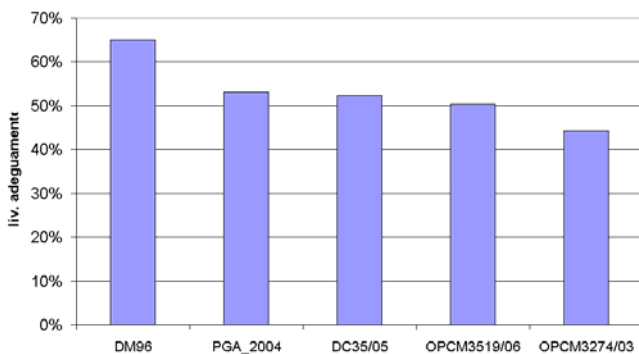


Figura 17. Livelli di adeguamento nelle diverse normative o studi di pericolosità.

Pertanto, l'edilizia residenziale soggetta alle opere di miglioramento sismico ai sensi del DM 1996 avrà una PGA di riferimento analoga a quella previ-

sta per gli edifici di culto, "verificati" utilizzando i metodi di calcolo previsti dall'OPCM 3274/03 e ss.mm.ii e la pericolosità sismica di riferimento indicata dal DCD 35/05. Considerando il differente coefficiente di importanza, il livello di sicurezza e, non ultimo, il fattore di confidenza connesso al livello di conoscenza conseguito, gli edifici di culto avranno un grado di sicurezza significativamente maggiore di quello previsto per l'edilizia residenziale.

Le cifre cambiano in maniera radicale se vengono valutate sugli edifici scolastici, che hanno un coefficiente di protezione sismica pari a 1.2 ed un livello di adeguamento pari al 72% (ai sensi del DCD 35/05). In tal caso, infatti, rispetto al DM 1996, per avere un adeguamento al 72%, ai sensi del DCD 35/05, si prevedono variazioni di spesa di circa 244 €/m², superando i 435 €/m², se ci si riferisce all'OPCM 3274/03 (Figura 18).

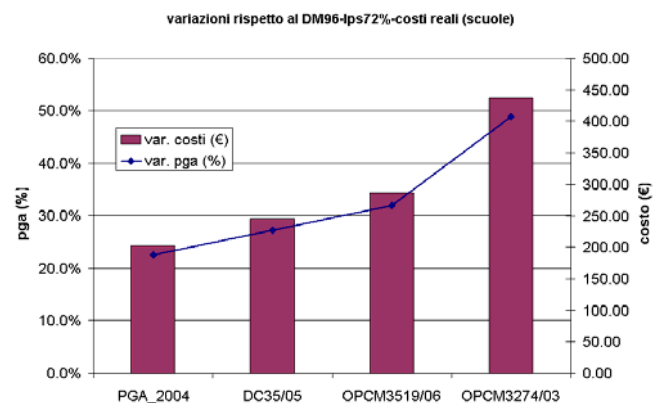


Figura 18. Stima degli incrementi di costo "reali" e di PGA valutati per le scuole rispetto alle azioni sismiche previste dal DM 1996, considerando un livello di protezione sismica pari al 72%.

Tenuto conto che la superficie degli edifici sottoposta ad intervento post-sisma, per qualunque livello di danno considerato, è pari a circa 3,8 milioni di m² e che la differenza media di costo tra l'utilizzo del DM 1996 e l'OPCM 3274/2003, sempre in ottemperanza al DCD 35/05, è pari a 9.68 €/m², si ottiene un aumento dei costi di miglioramento controllato valutabile in circa 36.8 milioni di Euro. Se consideriamo gli edifici abitati soggetti ad ordinanza di sgombero (priorità A) l'aumento dei costi di miglioramento controllato risulterebbe di circa 9.20 milioni di Euro.

BIBLIOGRAFIA

- Albarello, D., Bosi, V., Brammerini, F., Lucantoni, A., Naso, G., Peruzza, L., Rebez, A., Sabetta, F., Slejko, D., 2000, Carte di pericolosità sismica del territorio nazionale, *Quaderni di Geofisica*, 12, Roma, 7 pp., CD-ROM, 4 allegati.
- Boschi, E., Guidoboni, E., Ferrari, G., Mariotti, D., Valensise, G., Gasperini P. (Editors), 2000, Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1980, *Ann. Geof.*, 43, 609-868.

- Bernardini, A., 2004. Classi macrosismiche di vulnerabilità degli edifici in area veneto-friulana. *Convegno ANIDIS "L'Ingegneria sismica in Italia"*, CD-ROM, Genova
- Cifani G., Lemme A., Miozzi C., Russo G., 2003, Analisi dei costi di intervento e riduzione della vulnerabilità sismica degli edifici residenziali, in: Repertorio dei meccanismi di danno, delle tecniche di intervento e dei relativi costi negli edifici in muratura (Decreto del Commissario Delegato per gli interventi di protezione civile n. 28 del 10 aprile 2002), Regione Marche.
- Cornell, C.A., 1968, Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58, 1583-1606.
- Decanini, L., Di Pasquale, G., Galli, P., Mollaioli, F., Sanò, T., 2004, Seismic hazard and seismic zonation of the region affected by the 2002 Molise, Italy, earthquake, *Earthquake Spectra*, 20, S1, S131-S165.
- De Marco, R., Martini, M.G., 2002, La classificazione e la normativa sismica italiana dal 1909 al 1984, 2213106, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato - P.V., Roma.
- EC8, 2003, Eurocode8: Design of Structures for Earthquake Resistance, Part1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, December 2003, CEN Central Secretariat, Brussels, ENV 1998-1-1.
- Galli, P., Molin, D., 2004, Macroseismic Survey of the 2002 Molise, Italy, Earthquake and Historical Seismicity of San Giuliano di Puglia, *Earthquake Spectra*, 20, 39-52, doi:10.1193/1.1756136.
- Gaugenti E., Petrini V., 1989, "Il caso delle vecchie costruzioni: verso una nuova legge danni-intensità, *Proc. of the 4th Italian National Conference on Earthquake Engineering*, Milan, (Italy), vol I, pp.145-153.
- GdL, 1999, Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale, *Ingegneria Sismica*, XVI, 1, 5-14.
- GdL CPTI, 2004, Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/index.html>
- GdL MPS, 2004, Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici, <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>.
- GNDT, ING, SSN, 1996, Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti dell'ING, elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, con la collaborazione di C. Meletti, S. Mirena, G. Monachesi, G. Morelli, L. Peruzza, A. Zerga., http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/max_int_oss.html.
- Giovinazzi, S., Lagomarsino, S. 2001. Una metodologia per l'analisi di vulnerabilità sismica del costruito. *X Congresso nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia"*, Potenza-Matera, CD-Rom
- Grimaz, S., Meroni, F., Petrini, V., Tomasoni, R., Zonno, G., 1997 "Progressi nel settore della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura derivanti dall'analisi dei dati di danneggiamento del terremoto del Friuli, La scienza e i terremoti – Analisi e prospettive dall'esperienza dei Friuli 1976-1996, 14-16 Novembre 1996, Udine, pp. 98-96.
- Lucantoni, A., Bosi, V., Brammerini, F., De Marco, R., Lo Presti, T., Naso, G., Sabetta, F., 2001, Il rischio sismico in Italia, *Ingegneria Sismica*, XVIII, 1, 5-36.
- Maffei, J., Bazzurro, P. (eds.), 2004, Special Issue on the 2002 Molise, Italy earthquake, *Earthquake Spectra* 20 (S1), 358 pp., including 19 research papers plus an introductory paper.
- Monachesi, G., Stucchi, M., 1997, DOM4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, GNDT, Internal report, Milano-Macerata, <http://emidius.mi.ingv.it/DOM/home.html>.
- OPCM 3274/03 (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003), 2003, Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 105 dell'8 Maggio 2003, Serie Generale – Parte prima, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- Romeo, R., Pugliese, A., 1997, Analisi probabilistica della scuotibilità del territorio italiano, *Ingegneria Sismica*, 2/97, 68-77.
- Romeo, R., Pugliese, A., 2000, Seismicity, seismotectonics and seismic hazard of Italy, *Eng. Geol.*, 55, 241-266.
- Romeo, R.W., 2004, Seismic hazard of Italy, http://www.uniurb.it/geoappl/gislab/progetti/seismic_hazard/pericolosita.htm
- Slejko, D., Peruzza, L., Rebez, A., 1998, Seismic hazard maps of Italy, *Ann. Geof.*, 41 (2), 183-214.
- Valensise, G., Pantosti, D. (eds), 2001, Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M 5.5 in Italy (DISS version 2.0), *Ann. Geof.*, 44, Suppl. 1, with CD-ROM,
- Valensise, G., Pantosti, D., Basili, R., 2004, Seismology and Tectonic Setting of the 2002 Molise, Italy, Earthquake, *Earthquake Spectra*, 20, 23-37, doi:10.1193/1.1756136.
- Scandone, P., Patacca, E., Meletti, C., Bellatalla, M., Perilli, N., Santini, U., 1992, Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana, Atti del Convegno Annuale del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (Pisa, 25-27 giugno 1990), 1, Ed. Ambiente - Bologna 1992, 119-135.