

V

IL PROGETTO SCUOLA SICURA: DALL'INDAGINE DI VULNERABILITÀ SISMICA ALLE ESECUZIONI DEGLI INTERVENTI

1. Introduzione

Il problema dell'agibilità degli edifici scolastici, venuto drammaticamente alla ribalta dopo il crollo della scuola di San Giuliano di Puglia, va posto con riferimento a due diversi aspetti. Il primo riguarda l'agibilità degli edifici danneggiati, che, proprio in base all'esame tecnico dei danni riportati, consentono la precisa individuazione degli interventi, secondo le vigenti norme sismiche al fine di raggiungere la piena funzionalità. Gli edifici scolastici danneggiati dagli eventi sismici del 31 ottobre 2002 vengono riparati con i fondi messi a disposizione per la ricostruzione. Altro problema è quello riguardante gli edifici non danneggiati dagli eventi sismici, che, tuttavia ai fini della dichiarazione di agibilità, richiedono accertamenti tecnici sotto il profilo della vulnerabilità che ne indicano lo stato di sicurezza in relazione alle norme sismiche applicabili nel territorio ove sono ubicati. Gli interventi per la loro agibilità ove risultino necessari a seguito degli accertamenti tecnici debbono trovare copertura su fondi diversi da quelli assegnati per la ricostruzione, su fondi pertanto espressamente destinati a interventi di prevenzione.

A seguito del terremoto che ha colpito il Molise nel 2002 la Regione ha avviato una campagna di indagini per la verifica delle condizioni di sicurezza sismico-statica degli edifici pubblici, con priorità per quelli scolastici, ai sensi della legge regionale n. 38/2002. L'intervento, nel marzo 2003, dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 è stata l'occasione che ha indotto la Regione Molise a coordinare ed indirizzare il lavoro di verifica avviato con apposite "Linee guida per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici scolastici". L'obiettivo fissato per le indagini ha riguardato il controllo delle condizioni statiche e conservative degli edifici e la determinazione della vulnerabilità sismica

degli stessi. Con tale finalità è stato stabilito lo svolgimento di una serie di attività, tra cui la ricerca dei documenti progettuali esecutivi e di collaudo e l'esecuzione di rilievi e prove per poter definire le caratteristiche della struttura e delle parti non strutturali che forniscono un contributo alla resistenza sismica. Nel presente lavoro è sintetizzata l'attività svolta e gli aspetti più significativi dell'intera esperienza di indagine, vengono presentati alcuni risultati parziali relativi alle scuole indagate per l'intera regione e i criteri assunti per la formazione di graduatorie di intervento e la determinazione dei relativi costi. Viene infine illustrata l'applicazione delle linee guida ad un edificio scolastico in muratura ubicato nel Comune di Morrone del Sannio (CB), danneggiato dal sisma del 2002, per il quale è stata scelta la soluzione della demolizione e della ricostruzione adottando una struttura in cemento armato su isolatori sismici.

Il tragico crollo dell'edificio scolastico di San Giuliano di Puglia causato dal sisma che ha colpito il Molise nell'ottobre del 2002, con le sue drammatiche conseguenze a fronte di una evidente inadeguatezza della classificazione sismica vigente, ha suscitato una profonda attenzione per il problema della capacità di tutela della pubblica incolumità delle strutture scolastiche rispetto all'effettiva pericolosità sismica del territorio. La brusca presa di coscienza ha indotto le autorità amministrative regionali ad assumere una iniziativa volta a conseguire una conoscenza adeguata della situazione complessiva delle condizioni di vulnerabilità e rischio sismico di tutto il patrimonio edilizio scolastico presente sul territorio, con l'intento di programmare una incisiva e razionale attività di prevenzione. A tal fine la Regione Molise, con legge n. 38/2002, ha quindi finanziato i comuni per l'affidamento di incarichi professionali di verifica del livello di sicurezza delle scuole, attraverso l'espletamento di indagini ed analisi dirette sui fabbricati. L'iniziativa ha rappresentato probabilmente una delle prime significative esperienze nel suo genere a livello nazionale, finalizzate alla prevenzione sismica. Al suo avvio essa ha dovuto affrontare non pochi problemi che la novità ha posto rispetto all'organizzazione e alla pratica ingegneristica, quest'ultima generalmente non sostenuta da una consolidata esperienza nello specifico settore. L'emanazione, nel marzo 2003, dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 con la nuova normativa sismica è stata l'occasione che ha tempestivamente favorito un

appropriato intervento della Regione volto a coordinare ed indirizzare il lavoro di verifica avviato, dando mandato all'Istituto per le Tecnologie della Costruzione del CNR dell'Aquila di predisporre apposite "Linee guida per la valutazione della vulnerabilità degli edifici scolastici" [Rif.]. I criteri, le metodologie e gli strumenti adottati nelle linee guida, formulati con l'intento di orientare e armonizzare l'attività di indagine e controllo già intrapresa secondo un quadro di riferimento unitario, nel seguito sinteticamente richiamati, hanno consentito che le valutazioni fossero il più possibile omogenee e funzionali alle finalità conoscitive prefissate. Le indagini sono state programmate con l'obiettivo fondamentale del controllo delle condizioni statiche e conservative degli edifici e soprattutto della determinazione della vulnerabilità sismica degli stessi, intesa come determinazione dell'intensità del terremoto che può verosimilmente produrre il collasso (danneggiamento molto grave o crollo) della struttura. Con tale finalità le linee guida hanno stabilito lo svolgimento di una serie di attività: la raccolta dei dati amministrativi, tecnici e geologici degli edifici scolastici e la predisposizione di una relazione descrittiva, l'esecuzione di saggi e prove sperimentali distruttive e non sulle strutture e sui terreni di fondazione, la valutazione della vulnerabilità sismica, per la quale sono stati messi a disposizione modelli semplificati di calcolo per muratura e c.a., ed infine la redazione di una sorta di carta di identità delle condizioni sismico-statiche della costruzione con l'indicazione di massima degli eventuali interventi. Naturalmente l'impostazione generale e le indicazioni specifiche per le attività di indagine finalizzate alla conoscenza fanno esplicito riferimento alle disposizioni della normativa sismica allegata all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274. In base alle indicazioni delle linee guida le attività previste dal monitoraggio sono state articolate secondo le seguenti fasi principali:

- Fase 1: raccolta dei dati amministrativi, tecnici e geologici e predisposizione di una relazione descrittiva di sintesi;
- Fase 2: esecuzione di rilievi, prove ed indagini strutturali, geotecniche e geologiche ritenute necessarie;
- Fase 3: valutazione della vulnerabilità e del rischio sismico delle strutture, secondo il modello regionale;
- Fase 4: formazione di graduatorie di rischio sismico ed economico.

2. Acquisizione di adeguati livelli di conoscenza degli edifici scolastici

Per conseguire l'obiettivo della valutazione della vulnerabilità sono state previste una serie di attività, tra cui la ricerca dei documenti progettuali, di collaudo e l'esecuzione di rilievi e prove, per poter definire le caratteristiche della struttura e delle parti non strutturali che possono fornire un contributo significativo alla resistenza sismica. Per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici analizzati è stata utilizzata una metodologia che prevede l'impiego di modello meccanico semplificato sviluppato dal DiSGG dell'Università degli Studi della Basilicata, e un modello che fa uso degli indicatori di vulnerabilità della scheda GNDT di secondo livello. Il modello meccanico adottato, stante la limitata disponibilità economica, è semplificato, ma permette una valutazione adeguata agli scopi richiesti della resistenza sismica al collasso. Nella definizione delle resistenze dei materiali non si adotta alcun coefficiente di sicurezza riduttivo ed si assumono direttamente valori medi o nominali o ancora desunti dalla letteratura, anziché valori caratteristici. Inoltre, nel caso delle strutture in c.a., si mettono in conto, direttamente o indirettamente, anche i possibili contributi positivi che gli elementi non strutturali possono offrire. La resistenza sismica ottenuta con tale metodologia risulta generalmente più alta di quella determinabile applicando le norme tecniche vigenti per le costruzioni in zona sismica inoltre, ai fini di una valutazione complessiva della vulnerabilità, sono stati indagati alcuni aspetti, non considerati nel modello di calcolo semplificato, ma in grado di influenzare il comportamento sismico del singolo edificio quali la qualità strutturale globale, l'adeguatezza del modello di calcolo, la qualità delle informazioni e assunzioni fatte e la vulnerabilità delle parti non strutturali. L'indagine è completata con la redazione scheda di I e II livello GNDT al fine di consentire un confronto con rilevazioni precedenti. Le attività previste hanno per oggetto i plessi scolastici, che possono essere costituiti da singoli edifici o da complessi d'edifici. Nella fase 1 è prevista: la raccolta dei dati amministrativi, tecnici e geologici relativi all'edificio e la stesura di una relazione con riferimento all'epoca della realizzazione dei singoli interventi costruttivi succedutisi nel tempo e alla disciplina vigente all'epoca della realizzazione. La fase 2 prevede la pianificazione e

l'esecuzione di una campagna d'indagini, comprendente anche saggi sugli elementi strutturali. La fase 3 prevede la redazione di un fascicolo che rappresenta una "carta d'identità del fabbricato" contenente le seguenti informazioni: rilievo fotografico dell'edificio, storia tecnico-amministrativa dell'edificio, copia del progetto, dati progettuali di sintesi, caratteristiche dei materiali, valutazione statica per carichi verticali, identificazione del comportamento dinamico dell'edificio e valutazione della vulnerabilità.

3. Effettuazione di rilievi, prove ed indagini strutturali, geologiche e geotecniche

Le prove sono finalizzate a definire le caratteristiche di rigidità e resistenza dei materiali delle parti resistenti. Nel definire numero e tipo di saggi si è fatto riferimento alle norme sismiche di cui all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/03, cercando di conseguire il livello di conoscenza LC2 nel caso di reperibilità del progetto, o LC1 in assenza della documentazione progettuale e costruttiva. Sono previste, inoltre, misurazioni delle vibrazioni dell'edificio ai fini dell'identificazione del suo comportamento dinamico. Le misure possono eseguirsi utilizzando un numero adeguato di sensori disposti orizzontalmente, secondo due direzioni ortogonali definite in relazione alle caratteristiche dimensionali e strutturali dell'edificio stesso. In alternativa è possibile utilizzare una vibrodina o altro eccitatore in grado di esplicitare un'azione di tipo armonico a frequenza variabile.

4. Valutazione degli effetti d'amplificazione locale

Per la valutazione degli effetti d'amplificazione locale ci si basa su eventuali studi disponibili, misure geofisiche appropriate, mappe geologiche, sondaggi effettuati nel passato o da effettuarsi *ex-novo*.

Gli studi di microzonazione avviati dalla Regione dopo il sisma del 2002 hanno portato a definire, per i centri urbani della provincia di Campobasso, entità e caratteristiche degli effetti d'amplificazione locale.

Una volta definito il profilo di riferimento del suolo, le norme stesse permettono di assegnare un preciso coefficiente d'amplificazione S ed il corrispondente spettro di risposta elastico.

Tabella 1. Valori dei parametri nelle espressioni (3.2) dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali

Categoria suolo	S	T_B	T_C	T_D
A	1,0	0,15	0,40	2,0
B, C, E	1,25	0,15	0,50	2,0
D	1,35	0,20	0,80	2,0

5. Valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici scolastici

La metodologia di elaborazione per la stima della vulnerabilità sismica dell'edificio si compone dei seguenti passi: 1)analisi dei possibili meccanismi di collasso e individuazione del o dei meccanismi di collasso più probabili, 2) analisi delle strutture con un modello semplificato in grado di quantificare la resistenza sismica dell'opera, 3)esecuzione dei calcoli per la determinazione della resistenza (vulnerabilità) sismica del modello adottato, (Dolce, Moroni V_c/U_m), 4) sintesi dei risultati ottenuti e valutazione del rischio e 5)analisi d'ulteriori fattori che possono influenzare la vulnerabilità della singola costruzione, non considerati nel modello semplificato.

La procedura integrata permette di giungere ad una valutazione numerica quantitativa della vulnerabilità e del rischio, riferita al collasso della struttura che, pur con i limiti detti, permette di raffrontare in maniera diretta le condizioni dei diversi edifici scolastici.

6. Vulnerabilità sismica

Per valutare la vulnerabilità in termini di accelerazione, occorre determinare il taglio prodotto ai vari piani da un dato valore di

accelerazione spettrale e confrontarlo con le resistenze di piano. A tale scopo si utilizza il metodo dell'analisi statica equivalente, che definisce i coefficienti di piano da applicare alle accelerazioni, in relazione ad una prefissata forma semplificata (lineare) del primo modo di vibrare della struttura. Definiti i coefficienti di piano e fissato un valore unitario dell'accelerazione spettrale, è immediato ottenere i tagli ai vari piani e confrontarli con i valori resistenti ottenuti ai piani corrispondenti. I diversi rapporti così ottenuti permettono di individuare il piano più debole e di definire la resistenza dell'edificio in termini d'accelerazione spettrale. L'ultimo passaggio da compiere per arrivare a definire l'intensità del sisma cui la struttura può resistere senza crollare consiste nel tradurre il valore spettrale dell'accelerazione al valore dell'accelerazione massima del terreno (PGA), parametro che definisce l'intensità del terremoto.

Una volta valutata la vulnerabilità reale della struttura, ottenuta selezionando il valore più basso nelle due direzioni orizzontali principali e ai diversi piani, espressa in termini di accelerazione massima a terra del terremoto che produce il collasso, tale accelerazione può essere espressa anche in termini di intensità della scala macrosismica Mercalli-Cancani-Sieberg, attraverso una legge di trasformazione.

La stessa accelerazione a terra consente di definire il rischio di collasso, espresso attraverso il periodo di ritorno del terremoto corrispondente all'accelerazione di picco trovata, nel sito. In relazione all'assegnazione del profilo di terreno ottenuto attraverso le indagini di microzonazione o attraverso le indagini svolte, è stato definito il coefficiente S . L'accelerazione al suolo di collasso, dovrà essere scalata con tale coefficiente, per arrivare a definire l'accelerazione di picco su roccia. In sintesi, nota l'accelerazione di picco corrispondente al collasso, PGA, si determinerà l'accelerazione massima su roccia.

7. Altri elementi di giudizio della vulnerabilità e del rischio

I risultati scaturiti dalle analisi quantitative vanno riferiti al contesto generale dell'intera indagine ed ai relativi limiti. È opportuno precisare, inoltre, che il modello matematico adottato tiene conto anche d'eventuali effetti torsionali, conseguenti ad una sfavorevole distribuzione in pianta

degli elementi resistenti, attraverso due coefficienti che, sulla base di un giudizio esperto, valutano la regolarità geometrica e la rigidezza del fabbricato e possono assumere valori compresi tra 0.9 e 1. Il modello determina quindi una valutazione della vulnerabilità al collasso strutturale d'insieme, ma tiene conto della vulnerabilità delle parti non strutturali. In particolare non è stimato il pericolo di crollo d'elementi di tamponatura e tramezzatura, nonché d'eventuali appendici a mensola, spesso caratterizzate da fragilità e bassa resistenza. A completamento delle valutazioni precedenti si è ritenuto necessario effettuare un'analisi qualitativa di alcuni aspetti che possono incidere sia sulla valutazione numerica della vulnerabilità d'insieme, sia sulla vulnerabilità delle parti non strutturali. Tali aspetti sono riconducibili ai 4 gruppi di seguito illustrati:

- fattori che influiscono sulla qualità strutturale,
- fattori che influiscono sull'adeguatezza del modello di calcolo,
- qualità delle informazioni e assunzioni fatte,
- vulnerabilità delle parti non strutturali.

8. Risultati

In seguito agli studi di vulnerabilità effettuati sugli edifici scolastici è stato approntato un database per la raccolta dei dati prodotti.

Nel seguito sono riportati alcuni dati caratterizzanti il campione, al fine di illustrarne le principali caratteristiche. La metà degli edifici sono scuole materne o elementari aventi una popolazione scolastica piuttosto bassa: oltre il 50% delle scuole hanno meno di 50 alunni. Tale dato è dovuto principalmente all'ubicazione della maggior parte degli edifici in comuni scarsamente popolati.

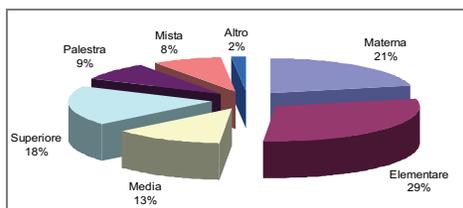


Figura1. Distribuzione degli edifici per grado d'istruzione

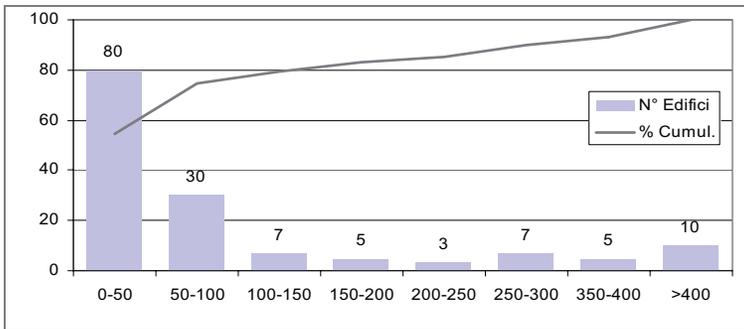


Figura 2. Distribuzione del numero di alunni per edificio.

La maggior parte degli edifici hanno struttura a telaio in calcestruzzo armato e sono state costruite principalmente dal dopoguerra agli anni '80: il 20% circa risalgono ad epoche antecedenti il secondo conflitto mondiale.

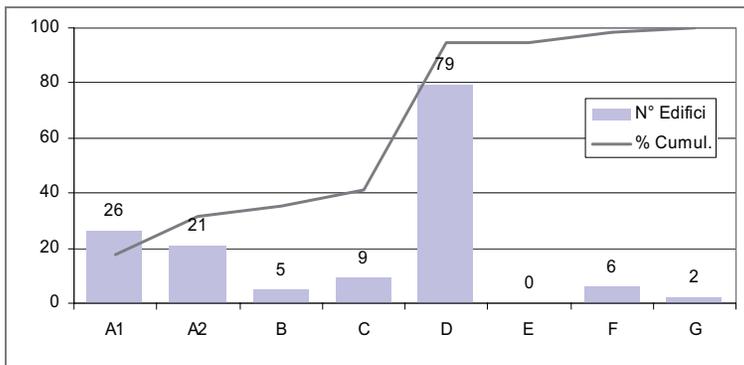


Figura 3. Tipologie costruttive più ricorrenti: A1-Muratura in elementi naturali irregolari, A2 - Muratura in elementi naturali regolari, B - Muratura in elementi artificiali, C - Muratura in elementi misti, D -Calcestruzzo armato, E - Acciaio, F - Mista, G - Prefabbricata.

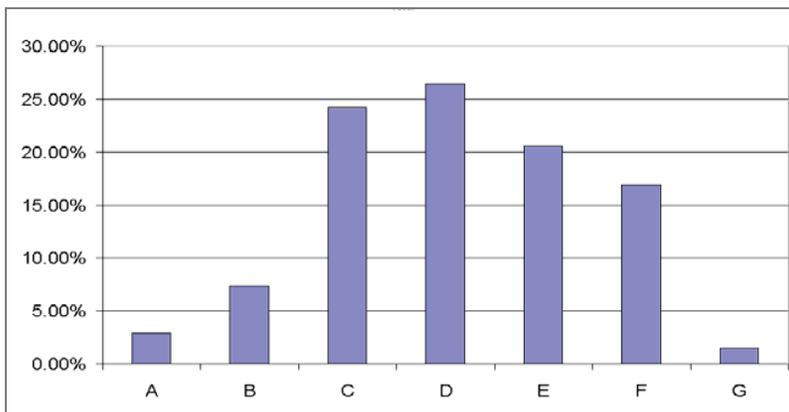


Figura 4. Distribuzione delle epoche di costruzione

Dagli studi geologici si rileva che la quasi totalità dei terreni sono di tipo “B” (ai sensi della classificazione data dall’ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/03). Il risultato è in buon accordo con gli studi di microzonazione.

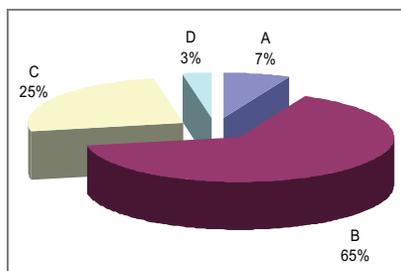


Figura 5. Distribuzioni delle categorie di terreno secondo la classificazione dell’ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/03.

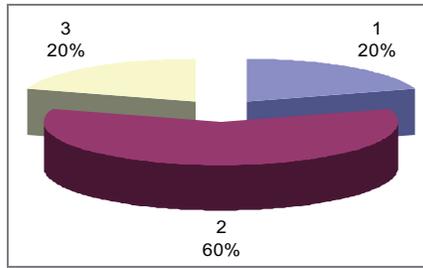


Figura 6. Distribuzioni delle zone sismiche per numero d'edifici scolastici

Le valutazioni semplificate di vulnerabilità hanno consentito di determinare per ciascun edificio il valore di stima dell'accelerazione di picco su roccia che ne provoca il collasso. Nel grafico di figura 7 sono indicate le distribuzioni statistiche dei valori della PGA massima sopportabile da ciascun edificio al collasso. Risulta quindi evidente che sul campione fino a questo momento analizzato il 40% circa degli edifici scolastici ha una PGA di collasso minore di 0.15 g.

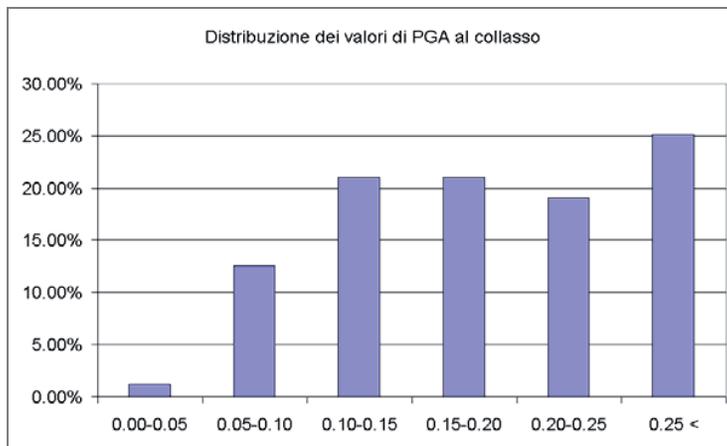


Figura 7. Distribuzioni delle accelerazioni massime su roccia per numero d'edifici scolastici

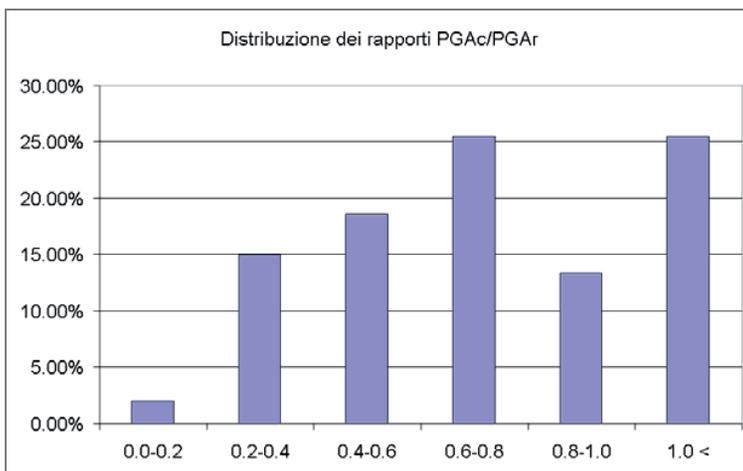


Figura 8. Distribuzioni dei rapporti di rischio PGAc/PGAr

L'analisi di maggior rilievo nello studio di vulnerabilità è senza dubbio la valutazione del rischio sismico che mette in relazione la capacità del fabbricato oggetto di studio in relazione alla domanda di prestazione richiesta dalla normativa: l'accelerazione massima è quella indicata dall'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519/2006. Nella valutazione del rischio R l'azione sismica di riferimento è stata valutata tenendo in conto del coefficiente di importanza.

9. Criteri adottati nella scelta delle priorità di intervento

I criteri previsti sono di due tipi: uno basato sulla valutazione di rischio sismico che consente di ordinare in una scala di priorità gli edifici e che discende dalle valutazioni di vulnerabilità (accelerazioni di collasso) rapportate alla pericolosità sismica dei siti (accelerazioni massime attese così come ufficialmente stabilite dalla Regione) e un altro che, a valle del precedente, è finalizzato alla valutazione dell'economicità del possibile intervento, attraverso un confronto tra 1) l'eventuale costo stimato dal tecnico a seguito dell'indagine (costo di progetto), 2) un costo che è stato

stimato in conformità a valutazioni medie parametriche, tenendo conto delle condizioni di vulnerabilità e di stato di conservazione (costo stimato) 3) ed un costo di raffronto che è calcolato come costo di una nuova struttura in grado di soddisfare le esigenze funzionali della popolazione scolastica interessata. (costo di raffronto). Quest'ultimo deriva del fatto che è discriminante la considerazione dell'adeguatezza della costruzione in esame alle effettive esigenze funzionali che deve rispondere al numero di utenti attuale, o ragionevolmente prefigurabile in vista di prevedibili variazioni, e agli standard fissati dalle specifiche normative del settore. A questo proposito si è considerato anche un indice derivante dalla stima della superficie virtuale costruita, e quella calcolata nel rispetto di detti standard in base al numero di alunni, numero di sezioni e alle altre esigenze funzionali correlate (spazi comuni, uffici, palestra, laboratori etc.).

10. Priorità di intervento e livello di adeguamento alla normativa

La graduatoria di priorità degli interventi non può che discendere dalla valutazione delle condizioni di rischio degli edifici con riferimento a quelle adottate nella vigente normativa antisismica. A tal fine si può definire un livello di adeguamento dell'edificio determinato dal rapporto tra la vulnerabilità dell'edificio e la pericolosità sismica del sito. La vulnerabilità sismica è espressa in termini d'accelerazione di collasso della struttura al suolo rigido, determinata dalle indagini sugli edifici e dalle elaborazioni dei dati esistenti; la pericolosità è data dal valore della P_g di riferimento stabilita dalla Regione per ogni comune. In questo modo gli edifici sono classificati nella graduatoria in classi di rischio.

Per ognuno degli estremi delle classi definite per l'indice d'adeguamento si è valutato il periodo temporale nel quale si ha la probabilità di superamento del 10% della PGA di collasso dell'edificio e che può essere considerata come una stima probabilistica del tempo d'utilizzazione: periodo di tempo di riferimento per l'Amministrazione per adottare i provvedimenti necessari alla messa in sicurezza. In base al livello d'adeguamento sono individuate sei classi di rischio. Per gli edifici

delle prime tre classi (A,B,C) sono previsti interventi per la riduzione del rischio sismico.

Tabella 2. livello di vulnerabilità – adeguamento e tempo di utilizzazione

Classe rischio	Livello di adeguamento (PGA edificio / PGA sito)
A	< 0.25
B	Tra 0.25 e 0.35
C	Tra 0.35 e 0.45
D	Tra 0.45 e 0.55
E	Tra 0.55 e 0.65
F	Maggiore di 0.65

11. Criterio economico

Per la valutazione del costo di intervento ed anche della convenienza economica è necessario considerare:

- il costo stimato d'intervento che è valutato in base alle dimensioni reali dell'edificio, tenendo conto dello stato di conservazione e dell'eventuale livello di danneggiamento oltre che dalla vulnerabilità dell'edificio;
- il costo di raffronto stimato in relazione alla superficie necessaria per lo svolgimento delle attività scolastiche determinata in funzione del numero degli alunni e delle sezioni presenti nella scuola secondo i parametri del Ministero dell'Istruzione.

In entrambi i casi hanno incidenza fattori quali la pericolosità sismica del sito di ubicazione (zona sismica e amplificazioni locali) e l'eventuale utilizzo di tecniche innovative (isolamento sismico).

Nella valutazione è quindi necessario tener in conto la superficie reale dell'edificio corrisponde a quella rilevata dal tecnico, che in molti casi può risultare quella strettamente necessaria per lo svolgimento dell'attività scolastica. Con tali dati è possibile calcolare l'indice di superficie ($I_c = \text{superficie reale} / \text{superficie virtuale}$) che consente di stabilire se l'immobile, che ospita la scuola, è adeguato alla normativa in termini di superficie. Viene quindi determinata la superficie virtuale, valutata in base al numero di alunni e sezioni presenti nella scuola e il

costo di raffronto ne deriva come prodotto di detta superficie per un costo medio di riferimento per nuove strutture di tipo scolastico.

12. Costo d'intervento

In generale il costo d'adeguamento sismico di un edificio esistente può essere stimato tenendo conto dello stato di conservazione e del livello di vulnerabilità del corpo di fabbrica e della sua tipologia d'uso. Nel caso degli edifici scolastici per fare la valutazione si può tenere conto dello stato di conservazione degli edifici (buono, discreto, scadente, pessimo) che corrisponde al livello di danneggiamento dopo un evento sismico con opportuni correttivi delle classi vulnerabilità corrispondenti al livello d'adeguamento dell'edificio scolastico. Ai fini del costo di intervento le 6 classi di vulnerabilità sono raggruppate in tre gruppi (A-B, C-D, E-F). Il costo limite di intervento è determinato basandosi su analisi di costo effettuate su edifici campione di diversa dimensione e destinazione scolastica utilizzando i prezzi ricavati dal prezzario della Regione Molise aggiornato al 2005. Al costo d'adeguamento sismico, stimato in 950 euro/mq vanno aggiunti: gli oneri previsti dalla normativa per le opere pubbliche (Iva, spese tecniche...), per l'eventuale demolizione dell'edificio esistente (nel caso nuova realizzazione), per eventuali interventi speciali di fondazione, per eventuali sistemazioni esterne e opere di urbanizzazione e per eventuali dispositivi di isolamento sismico.

13. Modelli di costo per gli edifici scolastici di nuova costruzione

Tenendo conto delle analisi svolte sulle scuole della Regione Molise con il modello dei costi illustrato è stato determinato un costo ad alunno per ogni tipo di scuola che consente di ottenere il costo di intervento in modo rapido per effettuare stime di massima del costo di nuova costruzione.

Tabella 3. Superficie media e costo alunno

	Sup. media alunno mq	Costo alunno
Materna	7,38	15.600
Elementare	5,21	12.500
Media	7,57	10.500
Superiore	7,24	13.000

Da tali dati è stata ricavata la superficie media ed il costo ad alunno per qualsiasi tipologia di scuola primaria che costituiscono un indicatore per stime a livello territoriale.

Ai fini del costo di intervento le 6 classi di vulnerabilità sono state raggruppate in tre gruppi (A-B, C-D, E-F).

Danno – Molise 2002	significativo			Significativo			Grave			Limite		
Stato conservazione	Buono			Discreto			Scadente			pessimo		
	D0			D1 – D2			D3 - D4			D5		
	<1/3	1/3- 2/3	>2/3									
	<i>Euro/mq</i>			<i>Euro/mq</i>			<i>Euro/mq</i>			<i>Euro/mq</i>		
Muratura - E-F	500/600			600/700			700/800			950		
Muratura –C- D	700/800			700/800			800/900			950		
Muratura A-B	800/950			800/950			950			950		
Cemento armato E,F	400/500			400/500			500/600			950		
Cemento armato C,D	600/700			600/700			600/700			950		
Cemento armato A,B	800/950			800/950			800/950			950		

Tabella 4. Costi - danno/vulnerabilità

14. Dimensionamento degli edifici e costi associati

Per la progettazione degli edifici scolastici il Ministero dell'Istruzione fornisce gli standard edilizi e di superficie e sulla base di tale normativa è stato elaborato il dimensionamento degli edifici per le scuole materne,elementari, medie, superiori tendendo conto del numero delle

classi e degli alunni nelle scuole della Regione Molise prevedendo tutti i locali e gli spazi necessari richiesti dalla citata normativa (spazi per lo svolgimento dei programmi didattici, delle attività parascolastiche, dei programmi di insegnamento e per l'educazione fisica, motoria e sportiva.

Per quanto riguarda gli asili nido e le scuole materne le tipologie di spazi sono differenti e prevedono spazi per attività ordinate; per attività libere, per attività pratiche, per la mensa e per l'assistenza.

Dalle previsioni statistiche sull'andamento della popolazione sarà possibile per le diverse zone del territorio prevedere un eventuale numero maggiore (o minore) di alunni.

Il criterio utilizzato per il dimensionamento degli spazi destinati alle attività scolastiche tiene conto del numero di 25 alunni a classe per le attività didattiche normali mentre si considera il numero reale degli alunni per le altre attività. Con questo criterio le aule vengono dimensionate in base al numero massimo di alunni risultando in tal modo ampie e confortevoli mentre gli altri spazi sono dimensionati sulla base della effettiva domanda di alunni.

Per l'intera Regione Molise sono stati esaminati n. 433 istituti così distinti:

Tipo scuola	Num. Is	Num Cb	Tot num.	Sezioni Is	Sezioni Cb	Sezioni regione	Alunni IS	Alunni Cb	Alunni regione
Scuola Materna	53	87	140	93	213	306	1.838	4.412	6.250
Scuola Elementare	55	100	155	266	638	904	3.870	10.729	14.599
Scuola media	29	63	92	157	387	544	2.716	7.578	10.294
Liceo classico	3	3	6	24	50	74	434	1.041	1.475
Liceo scientifico	3	5	8	59	89	148	1.429	2.118	3.547
Istituto d'arte-Liceo artisti	1	2	3	19	25	44	362	490	872
Istituto tecnico per geometri	1	2	3	28	33	61	128	651	779
Istituto commerciale	2	4	6	30	78	108	1.561	1.646	3.207
Istituto industriale	2	2	4	30	66	96	578	1.391	1.969
Istituto magistrale	1	4	5	36	64	100	674	1.257	1.931
Istituto professionale	2	9	11	6	170	176	71	3.646	3.717
Totale	152	281	433	748	1.813	2.561	13.681	34.959	48.640

Tabella 5. Suddivisione per tipologia di scuola

15. Esempio di vulnerabilità di un edificio in muratura

Per l'applicazione a titolo esemplificativo della metodologia, a titolo esemplificativo, è stato scelto un edificio scolastico in muratura destinato a scuola materna ed elementare, che è stato gravemente danneggiato dal sisma del 2002 ubicato a Morrone del Sannio (CB), uno dei due comuni della zona epicentrale che prima del terremoto del 2002 era classificato nella seconda categoria sismica e che attualmente, in base alla nuova normativa, è da considerare a media sismicità con ag pari a 0,21 e un

$T_r=475$ anni. La scelta è ricaduta su questo edificio perché dopo la valutazione della vulnerabilità, ai sensi della legge regionale n. 38/2002, e la stima dei costi di intervento è stato ritenuto conveniente procedere alla demolizione degli edifici esistenti e alla ricostruzione di un nuovo complesso scolastico composto da due strutture in cemento armato, la palestra e l'edificio scolastico, di cui quest'ultimo realizzato su isolatori sismici. Nel complesso scolastico sono ospitati gli alunni delle scuole materna ed elementare di Morrone del Sannio e Ripabottoni che prima occupavano due edifici, entrambi gravemente danneggiati e ubicati nella stessa area a poca distanza l'uno dall'altro. La struttura, distribuita su due livelli, era in muratura composta da blocchi di pietra sbozzata a due paramenti non ammortati tra di loro con i solai di piano e la copertura in laterocemento con armature in ferro liscio e calcestruzzo di qualità scadente. Il nuovo complesso scolastico è composto da due corpi di fabbrica: l'edificio scolastico, isolato alla base, e la palestra. L'edificio principale si sviluppa su due piani, ha la struttura portante a telaio in cemento armato. La fondazione è costituita da un reticolo di travi su pali sulle quali sono stati applicati i dispositivi di isolamento; il sistema di isolamento è stato previsto con un sistema combinato di n. 33 isolatori elastomerici cilindrici e da n.6 dispositivi a slitta in acciaio. La rigidezza complessiva del sistema di isolamento è di 27000 kN/m per una massa di 2800 ton. Il periodo fondamentale della struttura è pari a circa 2 sec con uno spostamento massimo stimato pari a circa 20 cm nelle due direzioni principali del sisma di progetto.



Figura 1. Viste del nuovo realizzato



Figura 2. Isolatori elastomerici montati alla base della scuola nel comune di Morrone del Sannio (CB)

16. Analisi dei risultati in termini di superficie e volume per la provincia di Campobasso

Complessivamente sono stati presentati in provincia di Campobasso n. 281 scuole organizzate sul territorio in n. 66 direzioni didattiche e istituti comprensivi in un sistema di edifici che spesso accorpano scuole differenti in base alle esigenze e alle particolari condizioni locali. Il confronto tra le differenti tipologie di scuole evidenzia un indice medio di superficie variabile tra 5,21 mq/alunno per le scuole materne ed elementari e 7,2 mq/alunno per gli istituti di istruzione superiore. In termini di superficie lorda, con o senza palestra e direzioni didattiche, la superficie maggiore è attribuita agli istituti di istruzione superiore con 138.064 mq pari al 35% e al 36,75% in termini di volume.

TIPOLOGIA SCUOLA	num scuole	num alunni 2004	num sezioni 2004	Indice netto di sup. mq/alunno DM 1975	S lorda tot mq	S lorda con P e DD – mq	Volume lordo con P e DD - mc
Materna	87	4.412,00	213	6,1	52.655,51	52655,5127	159.935,73
Elementare	100	10.729,00	638	5,2	94.936,36	108854,356	403.760,24
Media	63	7.578,00	387	5,2	65.864,34	82295,9104	315.080,68
Media superiore	31	12.634,00	1.323	7,2	115.390,88	138064,88	510.596,07
Totale	281	35.353,00	2.561		328.847,09	381.870,66	1.389.372,75

Tabella 6. Dati edifici scolastici 2004.

P = Palestra – DD = Direzione Didattica

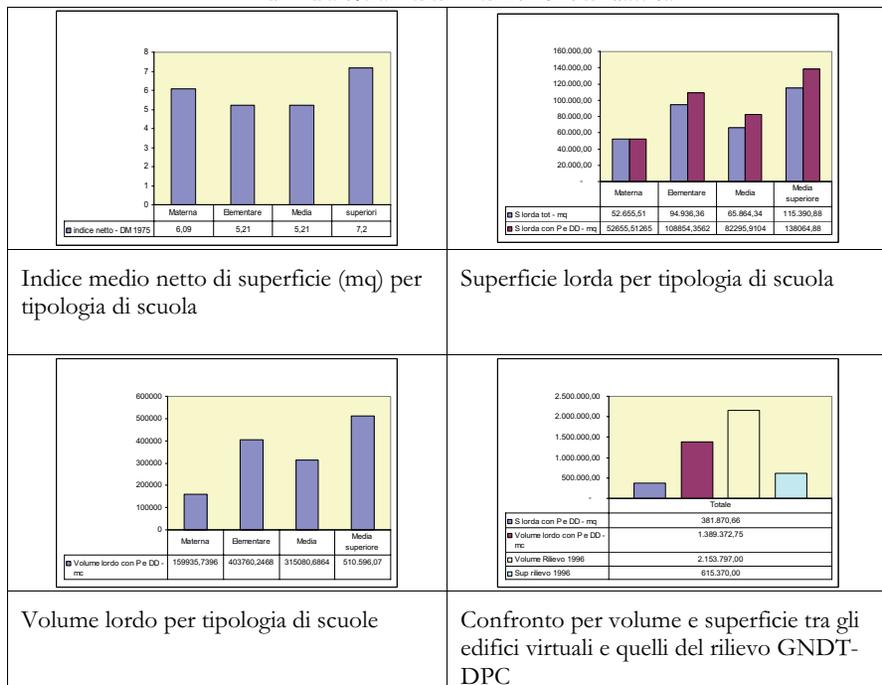


Figura 3. Analisi confronto dei dati per gli edifici scolastici

Significativo è il confronto, in termini di superficie e di volume, tra gli istituti scolastici, e gli edifici che li ospitano. Dal confronto si evidenzia come la superficie e il volume degli edifici esistenti sono superiori di circa il 60% ai corrispondenti valori degli edifici virtuali. Ciò dipende dalla presenza di edifici scolastici sovradimensionati che ospitano un numero limitato di alunni. Il dimensionamento virtuale, effettuato sul numero reale degli alunni, non risulta essere calibrato con le superfici a disposizione per gli edifici e ciò dipende dalla diminuzione della popolazione per i piccoli comuni e un aumento nei centri maggiori avvenuta negli ultimi 40 anni in Molise.

17. Modello dei costi applicato a tutte le scuole della regione Molise

Nelle tabelle seguenti è riportato il costo di nuova costruzione degli edifici scolastici per l'intera regione e il costo di adeguamento di quelli esistenti.

Nel caso di nuova costruzione di tutti gli edifici regionali il costo stimato è pari a circa 609 milioni di euro mentre il costo di adeguamento degli edifici esistenti è pari a circa 758 milioni di euro.

Dal confronto si evince anche che la superficie degli edifici nuovi (sup. virtuale = 528.174,90 ma) è inferiore alla superficie degli edifici esistenti pari a circa 892.286,50 mq.

Questo confronto virtuale evidenzia la convenienza delle soluzioni che prevedono la demolizione e la ricostruzione degli edifici esistenti a condizione che il dimensionamento sia effettuato sul numero degli alunni presenti nella scuola eventualmente maggiorati di un coefficiente demografico per stimare gli incrementi e i decrementi demografici.

Provincia Isernia	Alunni	Costo base Euro/alunno	Costo totale
Scuola materna	1838	15.584,56	28.644.421,28
Scuola elementare	1870	12.437,98	48.134.974,86
Scuola media	2716	10.422,38	28.307.194,94
Scuola media superiore	5257	12.775,00	67.158.175,00
Totale	13.681		172.244.766,08

Tabella 7. Provincia di Isernia – Nuova costruzione

Provincia Campobasso	Alunni	Costo base Euro/alunno	Costo totale
Scuola materna	4.412	15.584,56	68.759.087,54
Scuola elementare	10.729	12.437,98	133.447.065,96
Scuola media	7.578	10.422,38	78.980.825,95
Scuola media superiore	17.497	12.775,00	156.366.000,00
Totale	34.959,00		437.552.979,46

Tabella 8. Provincia di Campobasso – Nuova costruzione

Regione Molise	Alunni	Costo base Euro/alunno	Costo totale
Scuola materna	6.250	15.584,56	97.403.512,50
Scuola elementare	14.599	12.437,98	181.582.040,82
Scuola media	10.294	10.422,38	107.288.020,90
Scuola media superiore	22.754	12.775,00	223.524.175,00
Totale	34.959,00		609.797.749,22

Tabella 9. Regione Molise – Nuova costruzione

Provincia	Sup. Virtuale mq	Costo virtuale euro	Sup esistente mq	Costo reale Euro
Isernia	149.686,46	172.244.766,08	276.916,50	235.379.025,00
Campobasso	378.488,44	437.552.979,46	615.370,00	523.064.500,00
Regione Molise	528.174,90	609.887.745,54	892.286,50	758.443.525,00

Tabella 10. Confronto tra superficie virtuale e superficie reale e costo di intervento di nuova costruzione e adeguamento esistente

18. Definizione della tipologia di interventi

Sulla base dei risultati delle indagini e delle valutazioni effettuate vengono individuate le principali carenze strutturali dell'edificio, ed è possibile fornire indicazioni sulla tipologia di intervento che, per le strutture a telaio in calcestruzzo armato, prevedono: riduzione delle irregolarità mediante realizzazione di giunti o collegamenti tra corpi separati, interventi d'ampliamento dei giunti, rafforzamento diffuso di pilastri e nodi mediante incamiciatura, cerchiatura, placcaggio, inserimento di nuovi elementi strutturali (ad es. pareti) capaci di assorbire gran parte delle forze sismiche, inserimento di controventi di acciaio tradizionali, dissipativi e/o rientranti e isolamento sismico mediante sottofondazione, immediatamente sopra le fondazioni o ad un piano intermedio.

Per le strutture in muratura gli interventi possibili sono: riduzione delle irregolarità mediante la previsione di giunti o collegamenti tra corpi separati, interventi d'ampliamento dei giunti, miglioramento dei collegamenti tra strutture verticali e tra queste e gli orizzontamenti,

collegamenti di piano, rafforzamento delle strutture murarie, inserimento di nuovi elementi strutturali (ad es. pareti) capaci di assorbire parte delle forze sismiche o contenimento delle spinte sulle strutture verticali o eliminazione delle strutture spingenti, in particolare quelle di copertura.

Nel caso delle strutture in muratura è stata determinata la strategia di intervento in funzione delle tipologie di intervento.

Dal campione delle scuole si rileva che gli edifici in muratura in prevalenza sono costruiti tra il 1919 e il 1969 con struttura mista e solai in latero-cemento e pochi sono stati costruiti dopo il 2000. Il numero dei piani è compreso tra 1 e 3 ed hanno una buona regolarità in pianta ed in elevazione e sono presenti casi di piano debole.

Nelle tabelle sono individuate le tipologie costruttive prevalenti e per ciascuna di esse è stata proposta qualitativamente la strategia di intervento con indicazione degli interventi possibili da calibrare sul singolo caso a prescindere dal valore numerico della vulnerabilità e per fornire un indirizzo operativo ai tecnici progettisti per le scelte da effettuare tenendo conto dei principi di efficacia ed economicità.

Elementi Strutturali	Tipologia 1	Tipologia 2	Tipologia 3	Tipologia 4	Tipologia 5	Tipologia 6
Strutture Verticali	Pietra	Pietra	Mattoni e pietra	Pietra e c.a.	Pietra e c.a.	Mattoni e c.a.
Strutture Orizzontali	Volte	Ferro e voltine-tavelloni	Ferro e tavelloni	Ferro e voltine	Sap	Sap
Organizzazione sistema resistente	Senza collegamenti di piano	Con collegamenti di piano poco efficaci	Senza collegamenti di piano	Collegamenti di piano poco efficaci	Collegamenti di piano poco efficaci	Collegamenti di piano poco efficaci
Copertura	Legno	Ferro e tavelloni	Ferro e tavelloni	Sap	Sap	Sap
Pianta	regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare	Regolare
Bucature	Elevata a nastro					
Distribuzione Pareti	Interasse maggiore 7 m e corridoi lunghi					

Tabella 11: Individuazione delle principali tipologie costruttive degli edifici scolastici

%	Tipologia costruttiva	Strategia intervento
63%	<ul style="list-style-type: none"> • Strutture verticali in pietra • Strutture orizzontali in volte e ferro tavelloni • Assenza collegamenti di piano • Interasse murature elevato • Bucature elevate • Copertura in legno – ferro 	<ul style="list-style-type: none"> • Collegamenti di piano • Regolarizzazione sistema strutturale trasversale e longitudinale inserendo pareti quando l'interasse supera 5-6 m • Regolarizzazione sistema aperture in facciata • Cordoli in acciaio di copertura • Consolidamento murature: <ul style="list-style-type: none"> ○ Iniezioni ○ collegamenti trasversali ○ incamiciatura con malta e fibra
16%	<ul style="list-style-type: none"> • Strutture verticali in mattoni • Strutture orizzontali e ferro tavelloni • Assenza collegamenti di piano • Interasse murature elevato • Bucature elevate • Copertura in legno – ferro 	<ul style="list-style-type: none"> • Collegamenti di piano • Regolarizzazione sistema strutturale trasversale e longitudinale inserendo pareti quando l'interasse supera 5-6 m • Regolarizzazione sistema aperture in facciata • Cordoli in acciaio di copertura • Consolidamento murature: <ul style="list-style-type: none"> ○ Iniezioni ○ collegamenti trasversali ○ incamiciatura con malta e fibra
21%	<ul style="list-style-type: none"> • Strutture verticali in pietre/mattoni e c.a. • Strutture orizzontali e ferro tavelloni • Assenza collegamenti di piano • Interasse murature elevato • Bucature elevate • Copertura in legno – ferro 	<ul style="list-style-type: none"> • Collegamenti di piano • Regolarizzazione sistema strutturale trasversale e longitudinale inserendo pareti quando l'interasse supera 5-6 m • Regolarizzazione sistema aperture in facciata • Cordoli in acciaio di copertura • Consolidamento murature: <ul style="list-style-type: none"> ○ Iniezioni ○ collegamenti trasversali ○ incamiciatura con malta e fibra

• intervento prioritario ° intervento non prioritario

Tabella 12. Correlazione tra la tipologia costruttiva e la possibile strategia di intervento