

# Una procedura per la valutazione della qualità della ricostruzione dopo il sisma del 1997 in Umbria – Parte I: metodologia

A. De Sortis

*Dipartimento della Protezione Civile, Servizio Sismico Nazionale, Roma, Italia*

U. Nasini, E. Aisa, A. Gravina

*Servizio Controllo Costruzioni e Protezione Civile, Provincia di Perugia, Italia*

F. Fantozzi, L. Barelli

*Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Perugia, Italia*

**SOMMARIO:** La memoria ha per oggetto la descrizione della procedura elaborata dalla Provincia di Perugia per eseguire controlli di tipo qualitativo e quantitativo su un campione di edifici oggetto di interventi di ripristino dopo il sisma del 1997 in Umbria. Per una prima analisi dei risultati ottenuti con la procedura si rimanda alla seconda parte del presente lavoro, a firma degli stessi autori, contenuta negli Atti di questo Convegno. La procedura ha preso l'avvio dalla elaborazione di alcune schede di rilevamento del giudizio del tecnico istruttore della Provincia, deputato al controllo. Parallelamente allo sviluppo della scheda si è esplorata la possibilità di impiantare un sistema esperto a supporto del giudizio sulla qualità, basato sulla matematica degli insiemi sfuocati. Il sistema esperto si basa sulle valutazioni dei rilevatori riportati nelle schede ed è di ausilio all'emissione del giudizio di qualità sul progetto, sugli interventi, sul rapporto benefici/costi e sul recupero del valore storico-architettonico. Combinando i giudizi parziali e, infine, possibile, valutare l'operazione nel suo complesso.

**ABSTRACT:** The paper concerns the analysis of the results obtained with a procedure for the evaluation of the rehabilitation quality following the 1997 Umbria earthquake. For a description of the results refer to the companion paper, by the same authors, contained in Proceedings of this Conference. The control concerns the quality and costs effectiveness during both the design and the construction phase. A cost/benefit ratio have been also evaluated with respect to the public subsidies. The evaluation of the quality of the design have been performed synthesizing the opinion of the public officer, that reviews the design, with a score ranging from 0 to 10, with respect to several parameters of interest: respect of Italian construction code, geological and geotechnical aspects, structural model, completeness of the drawings, respect of the architectural and cultural heritage, and so on. The final judgement about the overall design activity have been evaluated using a purposely developed expert system. Using a similar procedure, also the construction quality and the cost effectiveness have been evaluated. The global judgement on the rehabilitation (design, construction and costs) have been performed with an expert system.

## 1 INTRODUZIONE

La sequenza sismica che ha avuto inizio il 27 Settembre 1997 in Umbria e Marche ha prodotto ingenti danni, soprattutto nelle costruzioni più antiche e vulnerabili in muratura, nei beni monumentali e nell'edilizia di valore tradizionale, colpendo in particolare molti centri storici, anche di notevole valore ambientale, storico e architettonico. All'indomani del sisma, gli organi competenti ad erogare finanziamenti a supporto della ricostruzione hanno preso coscienza del grande valore dei beni colpiti, non solo in quanto beni monumentali, ma soprattutto perché nell'insieme contribuiscono ai connotati ed alla ricchezza di intere regioni. Per questo motivo sono state emanate Ordinanze ministeriali prima e Leggi statali e regionali poi che hanno posto molto l'accento sulla "ricostruzione di qualità".

Qualunque processo che abbia l'ambizione di perseguire degli elevati obiettivi qualitativi in questo settore non può prescindere dai seguenti elementi:

- disposizioni normative tecniche e procedurali che privilegino le scelte di privati, progettisti, imprese e proprietari indirizzate principalmente a contemperare le esigenze della sicurezza con quelle della salvaguardia e della conservazione, anche anteponevole a quelle funzionali ed economiche;
- stanziamenti di fondi compatibili con la realizzazione di interventi in linea con le disposizioni normative di cui al punto precedente;
- controlli dei progetti, degli interventi e dei rendiconti economici tesi non solo ad assicurare il rispetto delle normative nazionali e regionali generali e specifiche per la ricostruzione, ma soprattutto a stimolare il recepimento dello spirito della norma che guarda alla qualità, spirito che non si può trasmettere semplicemente legiferando, ma che deve diventare un habitus di quanti operano nel settore.

Mentre i primi due punti si possono considerare praticamente risolti, si sentiva la necessità di curare sotto il profilo della "qualità" il terzo punto, relativo ai controlli. Ovviamente non stiamo parlando dei numerosi controlli a cui già, per legge, devono sottostare gli interventi e che sono effettuati da molti Enti quali i Comuni, la Regione, le Province, i Vigili del Fuoco, i Provveditorati alle OO.PP. del Ministero dei Lavori Pubblici, le Sovrintendenze ai Beni Culturali, ecc. Ci riferiamo a controlli che, prescindendo dagli aspetti settoriali, tentino di valutare nel complesso l'intervento sotto le molte prospettive in cui esso può essere inteso. A questo scopo è stata emanata la Legge Regionale 10/4/2001 con la quale la Regione Umbria ha delegato le Province di Perugia e Terni ad eseguire controlli di tipo qualitativo e quantitativo su un campione del 20% degli interventi su edifici privati.

A tal fine sono state elaborate alcune schede di rilevamento del giudizio del tecnico istruttore. Parallelamente allo sviluppo della scheda si è esplorata la possibilità di impiantare un sistema esperto a supporto del giudizio sulla qualità, basato sulla matematica degli insiemi sfuocati. Il sistema esperto si basa sulle valutazioni dei rilevatori riportati nelle schede ed è di ausilio all'emissione del giudizio di qualità sul progetto, sugli interventi, sul rapporto benefici/costi e sul recupero del valore storico-architettonico. Combinando i giudizi parziali è, infine, possibile, valutare l'operazione nel suo complesso.

Mentre si delineavano meglio i contorni dell'operazione, è apparsa chiara la necessità di sviluppare gli altri aspetti della procedura, cioè il programma di caricamento dei dati e la relativa elaborazione statistica. Le prime elaborazioni statistiche, basate su numerosi indicatori di tipo qualitativo e quantitativo che abbracciano i vari aspetti (dal progetto al cantiere), sono state già consegnate alla Regione nei mesi scorsi, in modo di costituire un osservatorio della qualità della ricostruzione. Successivamente si è passati ad una fase di sperimentazione interna del sistema, sia dal punto di vista procedurale che dei contenuti. Al termine di questa sperimentazione, che ha riguardato il controllo dei progetti, si è verificata la validità della metodologia proposta. Da oggi, quindi, si potrà operare a regime sulle schede di controllo del progetto, mentre la metodologia di taratura potrà essere applicata agli altri tipi di scheda appena i dati relativi saranno disponibili.

Nei Capitoli seguenti si comincia con una introduzione in cui si intende inquadrare storicamente il problema, tracciare il panorama normativo di riferimento e delimitare il campo di applicazione del lavoro. Si passa quindi a delineare la procedura di carattere tecnico-amministrativo che regolerà le attività di controllo, le interazioni tra gli operatori (tecnici istruttori, progettisti, proprietari, imprese, Pubbliche Amministrazioni ed Enti Locali). Successivamente si passa a descrivere gli strumenti che sono stati messi a punto a supporto delle decisioni, per l'archiviazione dei dati e per l'elaborazione di indicatori sintetici di tipo statistico e da sistema esperto.

La descrizione dettagliata del lavoro è contenuta nel Rapporto finale citato in Bibliografia.

## 2 INQUADRAMENTO NORMATIVO

La Legge n. 61 del 1998 e le Deliberazioni della Giunta della Regione Umbria n. 5180 del 1998 e n. 698 del 2001 sono i principali strumenti normativi alla base della procedura descritta nel seguito, ed è quindi opportuno richiamarne i principali contenuti.

### 2.1 La Legge n. 61 del 1998

Nella legge 30 marzo 1998 n. 61, dopo una introduzione con l'ambito di applicazione (art. 1), si passa a descrivere i compiti delle regioni e le intese istituzionali di programma (art. 2). Gli interventi di ricostruzione sono disciplinati dalla normativa a suo tempo vigente per le costruzioni sismiche (D.M. 1996), utilizzando il coefficiente  $S=6$  per le zone non classificate. Gli interventi di ripristino, con riparazione e miglioramento sismico, degli edifici danneggiati devono assicurare, al minimo la riduzione o eliminazione delle carenze strutturali che ne influenzano sfavorevolmente il comportamento sismico. Negli edifici in muratura si devono assicurare i collegamenti fra orizzontamenti e maschi murari e fra questi ultimi nonché la riduzione delle spinte nelle strutture voltate e nelle coperture. Negli edifici in cemento armato si deve intervenire sulle tamponature al fine di migliorare il comportamento sismico del sistema resistente. Tutti gli interventi devono essere eseguiti sulla base di progetti unitari che comprendono interi edifici o complessi di edifici collegati strutturalmente.

Nell'art. 3 sono disciplinati gli interventi con programmi di recupero, nell'art. 4 sono disciplinati gli interventi a favore dei privati, con particolare riferimento agli aspetti contributivi, per gli immobili distrutti e per gli immobili gravemente danneggiati. Gli edifici danneggiati sono suddivisi, in base al danno e ad un parametro convenzionale di vulnerabilità, in edifici "sotto soglia", per i quali bastano interventi cosiddetti "minimi" ed edifici "sopra soglia", per i quali è necessario incrementare anche la resistenza alle azioni nel piano e fuori del piano.

### 2.2 La Deliberazione della Giunta della Regione Umbria n. 5180 del 1998

La parte della Deliberazione della Giunta della Regione Umbria n. 5180 del 14.9.1998 che viene sintetizzata di seguito è quella relativa agli edifici ordinari in muratura. Gli interventi fanno riferimento alle prescrizioni del D.M. 16.1.96 e relative Istruzioni e devono tenere conto dei risultati delle indagini di microzonazione sismica. Il coefficiente di intensità sismica di riferimento è assunto pari a  $Crif = 0.07$  (per i comuni classificati nella vecchia seconda categoria) e  $Crif = 0.04$  (per i comuni all'epoca non classificati). Gli interventi di ripristino, con riparazione e miglioramento sismico, degli edifici danneggiati devono assicurare, al minimo, la riduzione o l'eliminazione delle carenze strutturali che ne influenzano sfavorevolmente il comportamento sismico. Gli interventi sono graduati in funzione del danneggiamento e della vulnerabilità convenzionale degli edifici (per quelli in muratura). La Tabella 1 riporta la suddivisione degli edifici in muratura. Il parametro  $C_{conv}$  è dedotto dal metodo di verifica noto come VeT e deve essere confrontato con un valore di riferimento che vale 0.14 per la seconda categoria e 0.08 per la terza categoria.

Tabella 1. Suddivisione degli edifici in muratura in base al danno ed alla vulnerabilità convenzionale

| VULNERABILITA'           | DANNO                 | CLASSIFICAZIONE |
|--------------------------|-----------------------|-----------------|
| $C_{conv} > 0.14$ (0.08) | > danno significativo | "sotto soglia"  |
| $C_{conv} < 0.14$ (0.08) | > danno grave         | "sopra soglia"  |

**Danno significativo:** a) lesioni diffuse di qualunque tipo, nelle murature portanti o negli orizzontamenti, per un'estensione pari al 30% della superficie totale degli elementi interessati, a qualsiasi livello; b) lesioni concentrate passanti, nelle murature o nelle volte, di ampiezza pari a mm 3; c) evidenza di schiacciamento nelle murature o nelle volte; d) presenza di crolli parziali; e) distacchi ben definiti tra strutture portanti orizzontali e verticali e tra strutture portanti verticali. **Danno grave:** a) pareti fuori piombo per un'ampiezza superiore a 5 centimetri sull'altezza di un piano, o comunque che riguardano un'altezza superiore ai 2/3 della parete stessa; b) crolli parziali delle strutture verticali portanti che interessino una superficie superiore al 5% della superficie totale delle murature portanti; c) lesioni diagonali passanti che, in corrispondenza di almeno un livello, interessino almeno il 30 % della superficie totale delle strutture portanti del livello medesimo; d) lesioni di schiacciamento che interessino almeno il 5% delle murature portanti; e) cedimenti delle fondazioni o fenomeni di dissesto idrogeologico.

Negli interventi su edifici in muratura "sotto-soglia" le opere devono rispettare le seguenti priorità: a) interventi di somma urgenza; b) riparazione dei danni, riduzione dei vuoti nei maschi murari con cucì e scuci o iniezioni di malta cementizia ovvero cuciture armate iniettate con malta cementizia localizzate nelle connessioni tra pareti o in prossimità di irregolarità strutturali; c) collegamenti fra orizzontamenti e maschi murari e fra questi ultimi, con interventi poco invasivi con catene e profili metallici, da privilegiarsi rispetto ad altri più invasivi come cordoli in breccia; d) riduzione delle spinte generate dalle coperture e dalle strutture voltate (tiranti).

Negli interventi su edifici in muratura "sopra-soglia", oltre agli interventi previsti per i "sotto-soglia", deve essere di norma incrementata la resistenza alle azioni sismiche.

Nelle verifiche sismiche il progettista deve valutare l'efficacia degli interventi proposti attraverso la determinazione del grado di sicurezza finale raggiunto e dell'incremento conseguito con gli interventi. Il progettista deve dimostrare che l'edificio e le sue parti sono in grado di sopportare almeno un'azione sismica orizzontale corrispondente a  $C = 0.65 C_{rif}$  (calcolata con le espressioni contenute nel D.M. 96), valutando anche l'entità del miglioramento conseguito rispetto alla situazione originale dell'edificio. Il valore di C (con  $\varepsilon = Fa$ ) che, nelle condizioni originarie non danneggiate, porta la struttura al limite di verifica viene chiamato  $C_0$ ; il valore di C, dopo gli interventi progettati, che porta la struttura al limite di verifica viene chiamato  $C_{fin}$ .

I meccanismi di collasso per la muratura da considerare nelle verifiche sono: a) collasso per azioni nel piano (taglio e presso flessione), il corrispondente valore di  $C_0$  viene chiamata  $C_1$ , mentre il corrispondente valore di  $C_{fin}$  viene chiamato  $C_4$ ; b) collasso per azioni fuori dal piano ( $C_2, C_5$ ); c) collasso per crisi dei collegamenti ( $C_3, C_6$ ). I meccanismi di collasso per il c.a. da considerare nelle verifiche sono: a) collasso globale tenendo conto delle tamponature "strutturali" ( $C_1, C_4$ ); b) collasso per ribaltamento fuori dal piano di tamponature e tramezzi ( $C_2, C_5$ ).

### 2.3 La Deliberazione della Giunta della Regione Umbria n. 698 del 2001

La Deliberazione della Giunta della Regione Umbria del 13 giugno 2001 n.698 delinea i criteri del controllo qualitativo e quantitativo a cui si atterranno le Provincie di Perugia e Terni e stabilisce che i dati riportati nelle schede utilizzate per il controllo vengano trasmessi anche all'Osservatorio sulla ricostruzione istituito con deliberazione di Giunta regionale n.475/2000.

Tenendo conto della molteplicità delle figure professionali presenti nell'esecuzione degli interventi (progettisti, direttori dei lavori, collaudatori, coordinatori della sicurezza, ecc.) le Province dovranno:

- per la conformità qualitativa: a) valutare le scelte operate dal progettista in riferimento alle direttive tecniche, mediante l'analisi del progetto, dei capitoli tecnici, dei dettagli costruttivi e delle modalità esecutive; b) verificare il rispetto delle normative tecniche nazionali e regionali; c) verificare la rispondenza del modello di calcolo al reale comportamento della struttura; d) suggerire o prescrivere alla direzione dei lavori eventuali interventi alternativi; e) valutare il rapporto costi-benefici dell'intervento; f) individuare le categorie di lavoro strutturale ritenute significative su cui verrà fatta la verifica quantitativa; g) controllare la corretta esecuzione delle opere progettate; h) valutare l'organizzazione del cantiere; i) valu-

tare le caratteristiche dei materiali; l) verificare la conformità degli interventi nei piani integrati di recupero; m) verificare la presenza degli interventi minimi.

- per la conformità quantitativa: a) verificare la corrispondenza della quantità delle principali categorie di lavoro risultanti dal computo metrico con quelle desumibili dagli elaborati progettuali; b) verificare la rispondenza tra le quantità effettivamente realizzate e quelle risultanti dal consuntivo; c) comunicare al Comune competente eventuali difformità.

Tutti gli adempimenti dovranno essere eseguiti attraverso un numero adeguato di visite in cantiere. Il tecnico dell'ufficio provinciale competente, all'atto di ogni visita, compilerà delle schede da cui si dovranno evincere le verifiche condotte e il loro esito. Durante la visita in cantiere potrà essere verificata, anche con prove o sondaggi la corrispondenza delle opere eseguite alle previsioni di progetto.

Successivamente si definiscono quali progetti saranno oggetto di verifica, con estrazione a campione che riguarderà una percentuale non inferiore al 20 per cento del numero complessivo degli edifici privati.

### 3 LA PROCEDURA DI CONTROLLO

#### 3.1 *Campo di applicazione dei controlli*

Data la vastità delle problematiche legate agli interventi di riparazione dei danni e ripristino su di un territorio così vasto e su un numero così elevato di edifici, è necessario restringere il campo di applicazione dei controlli. Infatti, volendo considerare tutti i possibili settori coinvolti, la procedura avrebbe assunto una tale vastità da risultare difficilmente controllabile. Per questi motivi ci si è riferiti alle seguenti tipologie di edifici: a) edilizia privata e pubblica di importanza corrente (non sono inclusi edifici monumentali, anche se possono ricadere edifici vincolati ai sensi delle disposizioni sui beni culturali e ambientali); b) edifici industriali e produttivi. Gli aspetti esaminati sono: a) sicurezza nei confronti delle azioni sismiche (con accenni anche alle interferenze tra strutture e impianti); b) qualità del recupero e della conservazione dei beni culturali; c) efficacia degli interventi in cantiere; d) rapporto benefici/costi ai fini del corretto uso dei contributi statali (non si considerano le implicazioni economiche, industriali, ecc.).

#### 3.2 *Aspetti procedurali*

I criteri generali del controllo sono stati delineati nella D.G.R. 698/2001, sintetizzata nel paragrafo 2.3. Per rispondere agli obiettivi dei controlli la Provincia di Perugia ha dovuto procedere innanzitutto ad una revisione delle procedure standard da essa adottate, in modo da adattare alle nuove esigenze. Per razionalizzare il lavoro, fornire supporto decisionale, documentare i risultati dei controlli e rendere pubblici alcuni dati di interesse, sono stati predisposti gli strumenti descritti nel Capitolo 4.

Il primo passo della procedura consiste nella selezione dei progetti e degli interventi da controllare. La selezione avviene al momento del deposito del progetto mediante estrazione a campione del 20% degli interventi su edifici privati. Dell'avvenuta estrazione di un progetto viene data comunicazione a tutti i soggetti interessati. Si procede quindi a istruttoria contestuale con il progettista ed il direttore dei lavori, esaminando gli aspetti della progettazione, il rispetto normativo e la completezza dello stesso, compilando l'apposita scheda di valutazione (scheda A). Gli aspetti di conservazione dei caratteri storico-architettonici sono valutati mediante la scheda E.

Si passa poi ad un contraddittorio con il progettista per selezionare le lavorazioni che saranno oggetto di controllo anche quantitativo, concordando le modalità operative, anche in riferimento alle corrispondenti voci del Prezziario Regionale. Le lavorazioni da selezionare devono essere quelle che, per rilevanza quantitativa e strutturale, rivestono particolare importanza ai fini del raggiungimento della sicurezza globale dell'edificio (scheda C); di tali lavorazioni vengono misurate le relative quantità indicate nel progetto esecutivo; il documento viene poi controfirmato dalle parti per accettazione.

Nel caso in cui nella scheda A siano state consigliate delle modifiche il progettista dovrà presentare progetto di variante o integrazione e quindi si procederà ad una nuova revisione del progetto, sempre mediante la scheda A.

Dopo che ogni scheda è stata compilata si procede alla sua archiviazione mediante l'apposito programma di caricamento descritto. Nel programma è prevista una funzione di interrogazione del sistema esperto, con il quale il tecnico istruttore potrà confrontare il proprio giudizio. Una funzione separata è quella di estrazione di opportuni indicatori statistici.

Una volta terminato superato l'esame del progetto, si passa al controllo degli interventi in corso d'opera mediante la scheda B da compilarsi nel corso dei sopralluoghi. Anche in questo caso il tecnico istruttore può suggerire modifiche, il cui riscontro avverrà nei successivi sopralluoghi.

Al termine dei lavori il Comune trasmette alla Provincia il computo metrico a consuntivo redatto dal direttore dei lavori sulla scorta del quale si procede al riscontro delle quantità previste in progetto, realizzate in corso d'opera e rilevate attraverso riscontro diretto e indiretto (per esempio documentazione fotografica, ecc). Tali dati andranno riportati nella scheda C

Nella scheda D sono riassunti gli importi delle opere strutturali desunti dal consuntivo, individuando la quota di interventi finalizzati all'aumento di resistenza, alla realizzazione di collegamenti, alla riparazione dei danni, alla riduzione della vulnerabilità e agli interventi in fondazione. Nella stessa scheda vengono riportati i dati desunti dalla scheda C relativi al tipo di controllo effettuato come medie delle percentuali, rispetto alle quantità di progetto, delle quantità rilevate direttamente, indirettamente e desunte dagli elaborati progettuali.

#### 4 GLI STRUMENTI PER IL CONTROLLO

L'effettuazione dei controlli dei progetti e degli interventi viene curata da un numero notevole di tecnici istruttori. In queste condizioni diventa essenziale stabilire delle procedure generali a cui attenersi (descritte nel paragrafo 3.2) e degli strumenti comuni, in modo da rendere il più possibile omogeneo il giudizio. Questi strumenti sono consistono in: a) 4 tipi di schede che servono di traccia per il controllo rispettivamente del progetto (tipo A), degli interventi (tipo B) delle quantità (tipo C e D) e della conservazione dei caratteri storico-architettonici (tipo E); b) un sistema esperto in cui sono incorporate regole di buon senso ed esperienze sia dei tecnici istruttori che svolgono questo tipo di attività da molti anni, sia degli esperti interpellati sull'argomento; indicatori statistici basati sui parametri contenuti nelle schede e che possono contribuire ad un monitoraggio della qualità della ricostruzione su scala regionale.

Una descrizione delle varie schede è contenuta nel paragrafo 4.1. Per tenere conto il più possibile dei molteplici aspetti che concorrono a definire la qualità, è stato elaborato un sistema esperto, descritto nel paragrafo 4.2. Mentre le schede di rilevamento ed il sistema esperto possono essere considerati un ausilio al controllo del singolo progetto, è sembrato utile prevedere delle interrogazioni mirate della base di dati che si sta raccogliendo. Infatti in questo modo sarà possibile elaborare alcuni "indicatori" di natura statistica che, pur non avendo la pretesa di esaurire il complesso mondo della qualità, possono essere una base di discussione e riflessione sulla realtà che verrà indagata. Una descrizione degli indicatori statistici è riportata nel paragrafo 4.3.

##### 4.1 *Le schede*

Come già detto in precedenza, le schede esse sono di tre tipi: Scheda A per il controllo del progetto; Scheda B per il controllo degli interventi; Schede C e D per il riscontro quantitativo; Scheda E per la valutazione della qualità del recupero architettonico. Alcune facciate delle schede A e B sono riportate rispettivamente in Figura 1 ed in Figura 2.

Nella scheda A viene esaminato il rispetto delle normative statali in materia di costruzioni, zone sismiche, carichi e sovraccarichi, fondazioni; inoltre, viene controllato il rispetto delle normative statali e regionali sul ripristino e ricostruzione di edifici danneggiati dalla crisi sismica del 26 settembre 1997 e seguenti. A pare i campi in cui vanno riportati i dati ed i parametri desumibili dalle Schede tecniche di accompagnamento ai progetti (Figura 1a) i campi vuoti in Figura 1b servono a riportare il giudizio espresso dal rilevatore sulla singola voce, con una va-

lutazione da 0 a 10. La colonna gialla serve a segnalare la "certezza" del giudizio; quest'ultimo parametro influenza in maniera significativa l'elaborazione con il Sistema Esperto descritto nel paragrafo 4.2.

La scheda B (Figura 2) è di ausilio al controllo della qualità del cantiere e degli interventi previsti, attraverso sopralluoghi in corso d'opera e un sopralluogo al termine dei lavori strutturali. Anche questa scheda si compila con i criteri richiamati per la scheda A.

Le schede C e D si usano per il riscontro quantitativo: a consuntivo, il direttore dei lavori dovrà fornire un computo metrico in cui renderà le quantità relative agli interventi oggetto di controllo. Il Tecnico Istruttore riassume le quantità controllate in cantiere (schede "D") e le confronta con quelle rendicontate, al fine di rilasciare l'esito del controllo effettuato sull'edificio in esame. Il quadro riassuntivo delle quantità riscontrate viene riportato nella scheda "C".

La scheda E contiene delle informazioni che possono guidare il giudizio in merito della compatibilità degli interventi proposti con la conservazione delle caratteristiche storico-architettoniche o tipologiche del manufatto.

Per facilitare la compilazione delle schede è stato sviluppato un apposito manuale, indirizzato ai rilevatori della Provincia. Esso contiene, oltre alla spiegazione dei campi della scheda, anche alcune linee guida per l'esame dei progetti e degli interventi, nonché norme tecniche e raccomandazioni di frequente consultazione emanate da diversi Enti. Il manuale è contenuto nel Rapporto finale citato in Bibliografia.

#### 4.2 *Il sistema esperto*

Con le schede descritte nel paragrafo 4.1 si stanno collezionando un notevole numero di informazioni sul progetto, sugli interventi e sui costi. In una fase iniziale si è pensato di utilizzare il metodo degli indici per elaborare i dati contenuti in ogni scheda. Questo metodo è già stato sperimentato in passato, per esempio, per le schede di vulnerabilità. In queste si attribuisce un punteggio alla singola voce; dalla somma dei punteggi si ricava un indice complessivo, utile soprattutto nel caso in cui si vuole redigere una graduatoria. Un passo cruciale di questo metodo è la taratura dei punteggi da attribuire alle singole voci, in modo che esse vengano pesate bene nel giudizio complessivo. Già da molti anni sono stati sviluppati diversi ambienti di calcolo per l'elaborazione di Sistemi Esperti (Riley, 1991). I Sistemi Esperti nascono dal tentativo di incorporare in uno strumento di calcolo dei processi di valutazione e decisionali acquisiti con l'esperienza da operatori specializzati in un settore. Questo bagaglio di conoscenze viene tradotto in "regole", dalla cui applicazione discende il giudizio. Il punto di forza di questo metodo consiste nella semplicità con cui le regole possono essere formulate (scomponendo il processo decisionale in passi elementari e facilmente controllabili) e definite (usando un linguaggio molto vicino a quello umano).

Parallelamente si è andata sviluppando una branca della logica matematica chiamata "fuzzy", ovvero "sfuocata", con riferimento alle categorie del pensiero umano che spesso coinvolgono concetti più o meno vaghi, imprecisi, incerti o ambigui. In sostanza si tratta del tentativo di impiantare un sistema di ragionamento che possa fondarsi sulla manipolazione di grandezze che non assumono un valore ben definito (cioè deterministico), ma piuttosto un intervallo di valori con maggiore o minore confidenza. Successivamente è stata combinata la semplicità di sviluppo dei Sistemi Esperti con le potenzialità della fuzzy logic, creando dei sistemi esperti basati su questo tipo di logica (FuzzyCLIPS, 1998).

Il sistema esperto costruito per la presente procedura è stato impiantato sia in FuzzyCLIPS che in Matlab, utilizzando il Fuzzy Logic Toolbox (Jang et al., 1995). Senza entrare nel dettaglio del funzionamento del Sistema esperto, si commentano brevemente alcune delle "regole" che si forniscono in ingresso al sistema per ottenere il giudizio voluto (Tabella 2). Nelle prime due colonne è contenuto l'antecedente della regola, nella terza e quarta il conseguente. I parametri della prima colonna si ottengono elaborando le valutazioni date dal revisore del progetto, passando dal singolo voto (con il suo corrispondente "grado di certezza") ad entità matematiche più complesse ("fuzzy sets") rappresentate dai simboli del tipo di "mu\_copert\_prive\_coll". Nel caso di esempio, questo fuzzy set è ottenuto a partire dalla valutazione riportata nella riga

A.6.3.7 della scheda A (Figura 1). Il fuzzy set della prima colonna della Tabella 2 è confrontato con il fuzzy set di riferimento (chiamato "basso", "medio" o "alto") della seconda colonna. Da questo confronto scaturisce il conseguente della regola, ovvero il giudizio dato dal sistema esperto sui vari argomenti della scheda (nell'esempio si tratta del giudizio sulla eliminazione delle carenze strutturali e sui cosiddetti interventi minimi). Anche questi giudizi sono rappresentati da fuzzy sets. Dopo l'applicazione delle varie regole, quindi, si ottengono tanti fuzzy sets quanti sono i sottogruppi considerati nella scheda. Tali fuzzy sets vanno opportunamente combinati tra di loro per ottenere il giudizio finale sulla qualità del progetto. Dal giudizio finale espresso come fuzzy set si torna, infine, ad un giudizio numerico.

Tabella 2. Alcune regole del sistema esperto per la Scheda A

| Antecedente          |       | Consequente         |               |
|----------------------|-------|---------------------|---------------|
| mu copert prive coll | Basso | g Elim carenze      | pessimo       |
| mu copert prive coll | Medio | g Elim carenze      | sufficiente   |
| mu copert prive coll | Alto  | g Elim carenze      | ottimo        |
| mu riduzione vuoti   | Basso | g Interventi minimi | pessimo       |
| mu riduzione vuoti   | Medio | g Interventi minimi | insufficiente |
| mu riduzione vuoti   | Alto  | g Interventi minimi | ottimo        |

Provincia di Perugia - Area Pianificazione e Assetto del territorio - Servizio Controllo Costruzioni e Protezione Civile

Comune

Edificio

Scheda

Prot.

## A. CONTROLLO DEL PROGETTO STRUTTURALE

### A.1 - DATI GENERALI DELL'EDIFICIO

Committente

Via / Piazza

Prog. strutturale

Comune

D.L.

P.I.R.

U.M.I.

Collaudatore

Identificazione edificio

FG.

Part.

Geologo

Inizio lavori

Prot.

Del

Impresa

Fine lavori

Prot.

Del

### A.2 - CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO

Tipologia di intervento

Tipologia costruttiva attuale

Eventuali vincoli

Tipologia edilizia

Tipologia costruttiva di progetto

Tessitura muraria

### A.3 - PARAMETRI TECNICO - ECONOMICI

N.B.: QUESTI DATI VENGONO FORNITI DAL COMUNE

#### CARENZE STRUTTURALI PER EDIFICI IN MURATURA

- carenza di resistenza della muratura dovuta a:
- cattiva qualità dei materiali
  - mancanza di collegamento tra i paramenti
  - presenza di murature portanti in forati

N.A.

- murature portanti in falso
- irregolarità di geometria in pianta
- irregolarità della maglia muraria in elevazione
- coperture prive di collegamento trasversale

Carenze strutturali gravi

#### SOGLIE DI DANNO PER EDIFICI IN MURATURA

##### 1) DANNO SIGNIFICATIVO

- lesioni diffuse nelle murature portanti o negli orizzontamenti
- lesioni concentrate passanti nelle murature o nelle volte
- evidenza di schiacciamento nelle murature o nelle volte
- presenza di crolli significativi nelle strutture portanti
- distacchi murature - orizzontamenti e fra murature
- perdita totale di efficacia delle tramezzature interne

N.A.

##### 3) DANNO GRAVISSIMO

- Lesioni passanti nei maschi murari o nelle fasce di piano
- Lesioni a volte ed archi in presenza di schiacciamenti
- Lesioni di schiacciamento
- Crolli parziali sulle strutture portanti (muri o volte)
- Distacchi localizzati fra pareti
- Distacchi ampi ed estesi dei solai dai muri
- Pareti fuori piombo
- Cedimenti in fondazione o dissesto idrogeologico

Stato di danno

Vulnerabilità

Coeff. moltiplicatore m

Coeff. di maggiorazione M

Coeff. di maggiorazione M<sub>c</sub>

#### SOGLIE DI DANNO PER EDIFICI IN C.A.

##### 1) DANNO SIGNIFICATIVO

- lesioni passanti nelle tamponature

N.A.

##### 3) DANNO GRAVISSIMO

- danno strutturale nei nodi

Livello di costo

Eventuali Prescrizioni P.I.R.

Figura 1a. Scheda A (parte 1)

**A.5 - RISPETTO DELLE NORMATIVE NAZIONALI E PRESCRIZIONI**

| <b>A.5.1</b>                    |    | <b>Rispetto normativa antisismica</b>    | N.A. | M.C. |  |
|---------------------------------|----|--|------|------|--|
| regole generali                 | 1  | altezza massima nuovi edifici            | N.A. | M.C. |  |
|                                 | 2  | limitazioni altezza - larghezza stradale | N.A. | M.C. |  |
|                                 | 3  | distanza tra edifici - giunti            | N.A. | M.C. |  |
|                                 | 4  | combinazione di carico                   | N.A. | M.C. |  |
|                                 | 5  | miglioramento-adeguamento                | N.A. | M.C. |  |
|                                 | 6  | calcolo esteso                           | N.A. | M.C. |  |
| nuovi edifici in muratura       | 7  | resistenza dei materiali                 | N.A. | M.C. |  |
|                                 | 8  | limitazioni geometriche                  | N.A. | M.C. |  |
|                                 | 9  | cordoli                                  | N.A. | M.C. |  |
|                                 | 10 | orizzontamenti e copertura               | N.A. | M.C. |  |
|                                 | 11 | dimensionamento semplificato             | N.A. | M.C. |  |
|                                 | 12 | armature minime                          | N.A. | M.C. |  |
| nuovi edifici in c.a. o acciaio | 13 | verifiche                                | N.A. | M.C. |  |
|                                 | 14 | scelta metodo di analisi                 | N.A. | M.C. |  |
|                                 | 15 | divisori e pannelli esterni              | N.A. | M.C. |  |
|                                 | 16 | applicazione C.M. LL.PP. 10-04-97        | N.A. | M.C. |  |
|                                 | 17 | strutture in legno                       | N.A. | M.C. |  |

| <b>A.5.3</b> |    | <b>Prescrizioni sui materiali</b> | N.A. | M.C. |  |
|--------------|----|-----------------------------------|------|------|--|
|              | 1  | calcestruzzo                      | N.A. | M.C. |  |
|              | 2  | acciaio da c.a.                   | N.A. | M.C. |  |
|              | 3  | reti e tralicci                   | N.A. | M.C. |  |
|              | 4  | acciaio da carpenteria            | N.A. | M.C. |  |
|              | 5  | legno                             | N.A. | M.C. |  |
|              | 6  | malta                             | N.A. | M.C. |  |
|              | 7  | laterizio                         | N.A. | M.C. |  |
|              | 8  | calcestruzzo da precompresso      | N.A. | M.C. |  |
|              | 9  | acciaio da c.a.p.                 | N.A. | M.C. |  |
|              | 10 | resine                            | N.A. | M.C. |  |
|              | 11 | fibre rinforzate                  | N.A. | M.C. |  |

| <b>A.5.6</b> |   | <b>Rispetto normativa carichi</b>      | N.A. | M.C. |  |
|--------------|---|--|------|------|--|
|              | 1 | pesi propri e sovraccarichi permanenti | N.A. | M.C. |  |
|              | 2 | sovraccarichi variabili                | N.A. | M.C. |  |
|              | 3 | carico neve                            | N.A. | M.C. |  |
|              | 4 | azione vento                           | N.A. | M.C. |  |

**A.6 - COMPLETEZZA FORMALE ED ESAUSTIVITA' DEL PROGETTO SECONDO LA D.G.R. 5180/98**

| <b>A.6.1</b> |   | <b>Rilievo dello stato di fatto</b> | N.A. | M.C. |  |
|--------------|---|-------------------------------------|------|------|--|
|              | 1 | schede tecniche                     | N.A. | M.C. |  |
|              | 2 | relazione tecnica generale          | N.A. | M.C. |  |
|              | 3 | planimetria                         | N.A. | M.C. |  |
|              | 4 | documentazione fotografica          | N.A. | M.C. |  |
|              | 5 | elaborati grafici                   | N.A. | M.C. |  |
|              | 6 | saggi effettuati                    | N.A. | M.C. |  |
|              | 7 | caratterizzazione tessuto murario   | N.A. | M.C. |  |

| <b>A.6.3</b> |    | <b>Eliminazione delle carenze strutturali</b> | N.A. | M.C. |  |
|--------------|----|---|------|------|--|
| murature     | 1  | cattiva qualità materiali                     | N.A. | M.C. |  |
|              | 2  | manca di collegamenti tra paramenti           | N.A. | M.C. |  |
|              | 3  | presenza di mattoni forati                    | N.A. | M.C. |  |
|              | 4  | murature in falso                             | N.A. | M.C. |  |
|              | 5  | irregolarità geometria in pianta              | N.A. | M.C. |  |
|              | 6  | irregolarità in elevazione                    | N.A. | M.C. |  |
|              | 7  | coperture senza collegamento trasversale      | N.A. | M.C. |  |
| a.           | 8  | carenza di resistenza e duttilità             | N.A. | M.C. |  |
|              | 9  | eccessiva deformabilità                       | N.A. | M.C. |  |
|              | 10 | eccentricità baricentri masse e rigidezze     | N.A. | M.C. |  |

| <b>A.5.2</b>  |    | <b>Rispetto norme per nuovi edifici in c.a., acciaio e prefabbricati</b> | N.A. | M.C. |  |
|---------------|----|--|------|------|--|
| c.a. - c.a.p. | 1  | resistenze caratteristiche minime cls                                    | N.A. | M.C. |  |
|               | 2  | armature minime travi  | N.A. | M.C. |  |
|               | 3  | ancoraggio barre   | N.A. | M.C. |  |
|               | 4  | armature pilastri, setti e solette                                       | N.A. | M.C. |  |
|               | 5  | copriferro e interferro  | N.A. | M.C. |  |
|               | 6  | solai - dim, armature, deformabilità                                     | N.A. | M.C. |  |
|               | 7  | norme buona esecuzione   | N.A. | M.C. |  |
| acciaio       | 8  | collegamenti travi-appoggi   | N.A. | M.C. |  |
|               | 9  | deformabilità  | N.A. | M.C. |  |
|               | 10 | instabilità  | N.A. | M.C. |  |
| prefabbricati | 11 | unione e giunti tra elementi   | N.A. | M.C. |  |
|               | 12 | appoggi  | N.A. | M.C. |  |
|               | 13 | regole pratiche progettazione  | N.A. | M.C. |  |
|               | 14 | fondazioni   | N.A. | M.C. |  |

| <b>A.5.4</b> |   | <b>Interazione terreno-struttura</b>    | N.A. | M.C. |  |
|--------------|---|---|------|------|--|
|              | 1 | elaborati grafici                       | N.A. | M.C. |  |
|              | 2 | carico limite                           | N.A. | M.C. |  |
|              | 3 | stabilità pendii                        | N.A. | M.C. |  |
|              | 4 | valutazione $\varepsilon$ e/o Fa        | N.A. | M.C. |  |
|              | 5 | verifica in fondazione                  | N.A. | M.C. |  |
|              | 6 | coerenza tra elaborati                  | N.A. | M.C. |  |
|              | 7 | verifica collegamenti in fondazione     | N.A. | M.C. |  |
|              | 8 | rispetto prescrizioni P.I.R.            | N.A. | M.C. |  |
|              | 9 | coeff. di sicurezza verifica fondazione | N.A. | M.C. |  |

| <b>A.5.5</b> |   | <b>Caratterizzazione geologica</b> | N.A. | M.C. |  |
|--------------|---|------------------------------------|------|------|--|
|              | 1 | elaborati grafici                  | N.A. | M.C. |  |
|              | 2 | stabilità pendii                   | N.A. | M.C. |  |
|              | 3 | coerenza tra gli elaborati         | N.A. | M.C. |  |

| <b>A.5.7</b> |   | <b>Valutazione del modello di calcolo</b> | N.A. | M.C. |  |
|--------------|---|---|------|------|--|
|              | 1 | corrispondenza architettonico - modello   | N.A. | M.C. |  |
|              | 2 | adeguatezza modello di calcolo            | N.A. | M.C. |  |
|              | 3 | modellazione dei carichi                  | N.A. | M.C. |  |
|              | 4 | applicabilità programma di calcolo        | N.A. | M.C. |  |

| <b>A.6.2</b> |   | <b>Elaborati dello stato di progetto</b> | N.A. | M.C. |  |
|--------------|---|--|------|------|--|
|              | 1 | relazione tecnica generale               | N.A. | M.C. |  |
|              | 2 | elaborati grafici                        | N.A. | M.C. |  |
|              | 3 | relazione sulle fondazioni               | N.A. | M.C. |  |
|              | 4 | relazione di calcolo                     | N.A. | M.C. |  |
|              | 5 | valutazione efficacia degli interventi   | N.A. | M.C. |  |
|              | 6 | relazione geologica                      | N.A. | M.C. |  |
|              | 7 | relazione geotecnica                     | N.A. | M.C. |  |
|              | 8 | particolari costruttivi                  | N.A. | M.C. |  |
|              | 9 | previsione progettuale impianti          | N.A. | M.C. |  |

| <b>A.6.4</b> |          | <b>Interventi minimi</b> | N.A.                              | M.C. |      |
|--------------|----------|--------------------------|-----------------------------------|------|------|
| c.a.         | murature | 1                        | riparazione dei danni             | N.A. | M.C. |
|              |          | 2                        | riduzione dei vuoti               | N.A. | M.C. |
|              |          | 3                        | collegamento degli orizzontamenti | N.A. | M.C. |
|              |          | 4                        | collegamento delle murature       | N.A. | M.C. |
|              | 5        | riduzione delle spinte   | N.A.                              | M.C. |      |
|              | c.a.     | 6                        | riparazione dei danni             | N.A. | M.C. |
|              |          | 7                        | ripristino delle tamponature      | N.A. | M.C. |
|              |          | 8                        | collegamenti delle tamponature    | N.A. | M.C. |
|              |          |                          |                                   |      |      |

Figura 1b. Scheda A (parte 2)

**B**

## B. CONTROLLO IN CORSO D'OPERA

### B.1 - VALUTAZIONE DEL CANTIERE E DEI MATERIALI

| B.1.1 | Organizzazione del cantiere   | N.A. | M.C. | P.S. |
|-------|-------------------------------|------|------|------|
| 1     | ordine e pulizia del cantiere | N.A. | M.C. |      |
| 2     | baracca di cantiere           | N.A. | M.C. |      |
| 3     | progetto strutturale          | N.A. | M.C. |      |
| 4     | conservazione dei materiali   | N.A. | M.C. |      |
| 5     | macchinari e tecnologie       | N.A. | M.C. |      |
| 6     | capacità e professionalità    | N.A. | M.C. |      |
| 7     | programmazione temporale      | N.A. | M.C. |      |
| 8     | notifica preliminare          | N.A. | M.C. |      |
| 11    | stato dei ponteggi            | N.A. | M.C. |      |

| B.1.2 | Qualità dei materiali  | N.A. | M.C. | P.S. |
|-------|------------------------|------|------|------|
| 1     | calcestruzzo           | N.A. | M.C. | P.S. |
| 2     | acciaio da c.a.        | N.A. | M.C. | P.S. |
| 3     | reti e tralicci        | N.A. | M.C. | P.S. |
| 4     | acciaio da carpenteria | N.A. | M.C. | P.S. |
| 5     | legno lamellare        | N.A. | M.C. | P.S. |
| 6     | malta                  | N.A. | M.C. | P.S. |
| 7     | laterizi               | N.A. | M.C. | P.S. |
| 8     | cls da precompresso    | N.A. | M.C. | P.S. |
| 9     | acciaio da c.a.p.      | N.A. | M.C. | P.S. |
| 10    | resine                 | N.A. | M.C. | P.S. |
| 11    | fibre rinforzate       | N.A. | M.C. | P.S. |

### B.2 - VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DEGLI INTERVENTI PER GLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

N.A.

| B.2.1 | Intonaco o betoncino o lastra armata    | N.A. | M.C. | P.S.  |
|-------|---|------|------|-------|
| 1     | scarnitura e pulitura                   | N.A. | M.C. |       |
| 2     | sovrapposizione della rete              | N.A. | M.C. |       |
| 3     | n°, disposizione e inclinazione perfori | N.A. | M.C. | P.S.* |
| 4     | distanziatori                           | N.A. | M.C. | P.S.  |
| 5     | continuità della rete                   | N.A. | M.C. | P.S.  |
| 6     | fluidità della miscela                  | N.A. | M.C. |       |
| 7     | diametro dei perfori                    | N.A. | M.C. | P.S.  |
| 8     | rispetto del prezzario                  | N.A. | M.C. |       |

| B.2.2 | Interventi tradizionali su murature esistenti | N.A. | M.C. | P.S.  |
|-------|---|------|------|-------|
| 1     | ammorsatura trasversale                       | N.A. | M.C. | P.S.  |
| 2     | ammorsatura parallela                         | N.A. | M.C. | P.S.  |
| 3     | materiali utilizzati                          | N.A. | M.C. | P.S.  |
| 4     | puntellature                                  | N.A. | M.C. |       |
| 5     | risarcitura localizzata                       | N.A. | M.C. | P.S.* |
| 6     | chiusura aperture                             | N.A. | M.C. | P.S.* |
| 7     | ammorsatura tra pareti                        | N.A. | M.C. |       |
| 8     | collegamenti tra paramenti della muratura     | N.A. | M.C. |       |
| 9     | rispetto del prezzario                        | N.A. | M.C. |       |

| B.2.3 | Iniezioni di miscele leganti      | N.A. | M.C. | P.S.  |
|-------|-----------------------------------|------|------|-------|
| 1     | prove di iniettabilità            | N.A. | M.C. | P.S.* |
| 2     | pulizia della parete              | N.A. | M.C. |       |
| 3     | numero e disposizione dei perfori | N.A. | M.C. | P.S.* |
| 4     | fluidità della miscela            | N.A. | M.C. | P.S.* |
| 5     | rinzaffo                          | N.A. | M.C. |       |
| 6     | rispetto del prezzario            | N.A. | M.C. |       |

| B.2.4 | Nuovi setti in muratura                 | N.A. | M.C. | P.S. |
|-------|---|------|------|------|
| 1     | ammorsatura trasversale                 | N.A. | M.C. | P.S. |
| 2     | blocchi appropriati                     | N.A. | M.C. | P.S. |
| 3     | giunti di malta verticali e orizzontali | N.A. | M.C. | P.S. |
| 4     | classe della malta                      | N.A. | M.C. | P.S. |
| 5     | rispetto del prezzario                  | N.A. | M.C. |      |

| B.2.5                      | Fondazioni | N.A.                                | M.C. | P.S. |       |
|----------------------------|------------|-------------------------------------|------|------|-------|
| fondazioni nuove murature  | 1          | staffatura dei collegamenti         | N.A. | M.C. | P.S.  |
|                            | 2          | interasse dei collegamenti          | N.A. | M.C. | P.S.  |
|                            | 3          | piano di posa                       | N.A. | M.C. | P.S.  |
|                            | 4          | copriferro                          | N.A. | M.C. | P.S.  |
|                            | 5          | sovrapposizione delle armature      | N.A. | M.C. | P.S.  |
|                            | 6          | verifica delle armature di progetto | N.A. | M.C. | P.S.  |
|                            | 7          | chiusura delle staffe               | N.A. | M.C. | P.S.  |
|                            | 8          | collegamento del massetto           | N.A. | M.C. | P.S.* |
|                            | 9          | rispetto del prezzario              | N.A. | M.C. |       |
| Cordoli di sottofondazioni | 10         | collegamenti                        | N.A. | M.C. | P.S.  |
|                            | 11         | piano di posa                       | N.A. | M.C. | P.S.  |
|                            | 12         | copriferro                          | N.A. | M.C. | P.S.  |
|                            | 13         | sovrapposizioni delle armature      | N.A. | M.C. | P.S.  |
|                            | 14         | chiusura delle staffe               | N.A. | M.C. | P.S.  |
|                            | 15         | verifica delle armature di progetto | N.A. | M.C. | P.S.  |
|                            | 16         | collegamento del massetto           | N.A. | M.C. | P.S.* |

| B.2.6 | Nuovi architravi          | N.A. | M.C. | P.S. |
|-------|---------------------------|------|------|------|
| 1     | appoggio                  | N.A. | M.C. | P.S. |
| 2     | materiale                 | N.A. | M.C. | P.S. |
| 3     | collegamento tra elementi | N.A. | M.C. | P.S. |
| 4     | rispetto del prezzario    | N.A. | M.C. |      |

| B.2.7 | Fibre rinforzate                       | N.A. | M.C. | P.S. |
|-------|--|------|------|------|
| 1     | sup. di appoggio ed incollaggio        | N.A. | M.C. | P.S. |
| 2     | disposizione geometrica                | N.A. | M.C. |      |
| 3     | protezione fibre da agenti atmosferici | N.A. | M.C. | P.S. |
| 4     | arrotondamento degli spigoli           | N.A. | M.C. |      |
| 5     | rispetto del prezzario                 | N.A. | M.C. |      |

| B.2.8 | Catene e tiranti            | N.A. | M.C. | P.S.  |
|-------|-----------------------------|------|------|-------|
| 1     | alloggiamento della piastra | N.A. | M.C. | P.S.  |
| 2     | rinforzo della muratura     | N.A. | M.C. | P.S.  |
| 3     | tesatura                    | N.A. | M.C. | P.S.* |

Figura 2. Scheda B (parte 1)

A scopo di taratura e di verifica, i risultati finali così ottenuti sono stati confrontati con quelli globali stimati dei rilevatori, come riportato nel grafico di Figura 3. Si può osservare come gli scarti siano abbastanza contenuti (lo scarto massimo è di 1.35 in un solo caso), con scarti medi di circa 0.5. Del resto è osservazione abbastanza comune che, anche tra due esperti in carne ed ossa, ci possa essere una discrepanza nel giudizio anche superiore a 0.5, per cui l'esito del confronto si può ritenere soddisfacente. Si osserva, inoltre, una buona rispondenza anche in termini relativi, nel senso che l'andamento delle due curve è quasi sempre confrontabile, soprattutto nei progetti oggetto di variante o integrazione (sigla che termina in "I") rispetto a quelli originari (sigla "PO"). Si osserva, inoltre, che mediamente il sistema esperto assegna dei voti più alti rispetto ai tecnici della Provincia quando si tratta di progetto originari (6.38 contro 6.25), mentre la tendenza si inverte per i progetti con variante (6.6 contro 6.7).

Per una analisi preliminare dei risultati ottenuti dalle elaborazioni del sistema esperto si rimanda alla Parte II del lavoro.

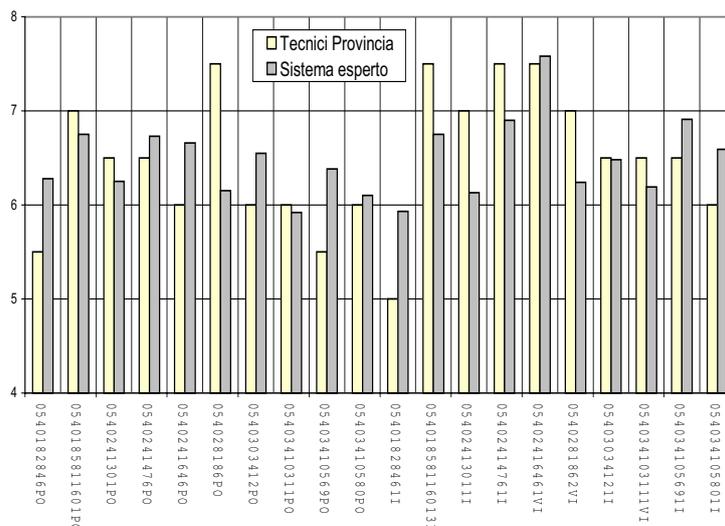


Figura 3. Confronto tra i voti assegnati dal sistema esperto e quelli di un gruppo di rilevatori (media)

#### 4.3 Gli indicatori statistici

Tra i molti indicatori statistici elaborati, si descrivono di seguito per brevità solo quelli di carattere economico per gli edifici in muratura. Il primo passo consiste in una normalizzazione del costo dell'intervento, tenendo conto di: a) dimensioni dell'edificio, valutando un costo medio per metro quadro di muratura portante; b) estensione del danneggiamento e presenza di carenze strutturali gravi, riducendo i costi attraverso un coefficiente correttivo "r"; c) circostanze che comportano un aggravio dei costi attraverso il coefficiente di maggiorazione del contributo "M"; d) compatibilità degli interventi con la tutela degli aspetti architettonici, storici ed ambientali attraverso un coefficiente correttivo "c<sub>c</sub>"; e) influenza del coefficiente di amplificazione  $F_a$ , che di fatto diversifica l'incremento di resistenza a taglio richiesto, effettuando le valutazioni per insiemi di edifici caratterizzati da uguale valore di tale coefficiente.

Successivamente si analizzano le risposte progettuali in termini di incremento di resistenza conseguito ed interventi minimi realizzati. Si è osservato che gli interventi minimi consistono, per lo più, in opere di collegamento, e che i valori del parametro  $C_{fin}$  (definito al paragrafo 2.2) associato alla crisi per azioni fuori dal piano o per crisi dei collegamenti sono di solito molto superiori a quello corrispondente alle crisi per azioni nel piano. Pertanto si identifica la resistenza dell'edificio con quella a taglio dei setti. Si definiscono così due indicatori (costo medio degli interventi sulle murature,  $I_t$  e costo medio degli interventi di collegamento,  $I_c$ ), da confrontare con i rispettivi valori ottimali ( $P_t$  e  $P_c$ ). Gli interventi strutturali non richiesti dalla normativa, quali consolidamento e/o sostituzione di orizzontamenti o consolidamento delle fondazioni in assenza di cedimenti fondali o in condizione di insufficienza statica delle stesse, sono inglobati nell'indicatore  $I_d$ . Le espressioni ottenute sono:

$$I_c = \frac{c_3}{S \cdot M \cdot r \cdot c_c} \quad I_t = \frac{c_1}{S \cdot M \cdot r \cdot c_c} \quad I_d = \frac{c_d}{S \cdot M \cdot r \cdot c_c} \quad P_c = \frac{a_c \cdot c_r}{S \cdot M \cdot r} \cdot IM \quad P_t = \frac{a_t \cdot c_r}{S \cdot M \cdot r} \cdot \frac{\Delta C_1}{\Delta C_r}$$

dove:  $c_1$  è il costo degli interventi volti all'incremento della resistenza dei maschi murari, relative demolizioni e opere di finitura connesse;  $c_3$  è il costo degli interventi di collegamento, relative demolizioni e opere di finitura connesse,  $c_r$  è contributo concedibile;  $a_t$  è la stima dell'aliquota del contributo concedibile da impiegarsi per interventi sulle murature;  $\Delta C_1$  è l'incremento di resistenza a taglio;  $\Delta C_r$  è l'incremento di resistenza massimo atteso (pari a 0,65 Crif);  $a_c$  è la stima dell'aliquota del contributo concedibile da impiegarsi per interventi di collegamento;  $IM$  è la stima qualitativa e quantitativa dell'aliquota di interventi minimi necessari nell'edificio rispetto alla totalità prevista dalla Normativa;  $c_d$  è il costo degli interventi strutturali non richiesti dalla normative, relative demolizioni e opere di finitura connesse.

Per una analisi preliminare dei risultati ottenuti dalle elaborazioni di questi indicatori si rimanda alla Parte II del lavoro.

## 5 CONCLUSIONI

La procedura si inquadra nel tema complesso del controllo di qualità della progettazione e realizzazione degli interventi di riparazione e miglioramento sismico degli edifici danneggiati dal sisma del 1997 in Umbria. Per l'effettuazione dei controlli, la Regione Umbria ha delegato la Provincia di Perugia, istituzione che già da molti anni è impegnata in questo settore. Le particolarità del compito risiedono essenzialmente nel grande numero di edifici che si pensa di esaminare (circa 3000-3500), da un lato, e nella velleità di fornire un giudizio qualitativo "globale" sugli interventi, dall'altro.

Nella elaborazione della procedura si sono presi in conto i seguenti aspetti: sicurezza strutturale; razionale utilizzazione delle risorse economiche; rispetto del valore storico-architettonico. Sono state messi a punto: 4 tipi di schede, a uso dei controllori per tenere traccia della loro istruttoria; indicatori statistici per il monitoraggio dell'intera operazione; un sistema esperto per ottenere per ogni progetto un giudizio immediato, sia complessivo, che sui singoli aspetti di interesse. La procedura è già stata applicata su di un campione significativo di progetti, dimostrando di essere in grado di fornire risultati interessanti e congruenti con gli obiettivi del lavoro.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano per la preziosa revisione del lavoro Giovanni Beolchini, Alberto Bernardini, Luis Decanini, Giacomo Di Pasquale, Antonio Michetti, Paolo Angeletti, Francesco Longhi, per la messa a punto della procedura Fabio Campanacci, Marcella Cresti, Claudio Serafini, per l'ideazione delle schede e del manuale di compilazione Alessandro De Maria, Gianluca Fagotti, Tino Gaggio, Gianluca Mannocci, Luigi Petrini, Tiziana Carli, Sonia Mariuccini, Francesco Savi,. Alla riuscita del lavoro hanno contribuito Stefania Aglietti, Federico Bernardini, Marco Cittadini, Cinzia Gioacchini, Francesca Pieretti, Marco Scopi Burchiella, Catia Sereni, Luca Tortoioli, a cui va un sentito ringraziamento. Si ringrazia, inoltre, la **XXXXXXXXXX** per avere fornito alla Provincia di Perugia a titolo gratuito il software per l'elaborazione del sistema esperto.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Regione Umbria (Comitato tecnico scientifico L. 61/98) e Provincia di Perugia (Area pianificazione e assetto del territorio). Elaborazione di una procedura a supporto delle attività di controllo qualitativo e quantitativo della riparazione e ricostruzione degli edifici danneggiati dal sisma del 1997. Rapporto finale (gennaio 2003).

Riley, G. "CLIPS: an expert system building tool", Proceedings of the Technology 2001 Conference, San Jose CA, December 1991

FuzzyCLIPS Version 6.04, Integrated Reasoning Institute for Information Technology, NRC Canada, R.A. Orchard, October 1998

Jang, J.S., Gulley N., "Fuzzy Logic Toolbox for use with MATLAB" (1995)

## Una procedura per la valutazione della qualità della ricostruzione dopo il sisma del 1997 in Umbria – parte II: analisi dei primi risultati

A. De Sortis

*Dipartimento della Protezione Civile, Servizio Sismico Nazionale, Roma, Italia*

U. Nasini, E. Aisa, A. Gravina

*Servizio Controllo Costruzioni e Protezione Civile, Provincia di Perugia, Italia*

F. Fantozzi, L. Barelli

*Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Perugia, Italia*

**SOMMARIO:** Il presente lavoro contiene una prima analisi dei risultati della procedura per la valutazione della qualità della ricostruzione dopo il sisma del 1997 in Umbria. La procedura è descritta in un'altra memoria, a firma degli stessi Autori e contenuta negli Atti di questo Convegno. L'analisi viene svolta su un campione di 437 edifici in muratura, sottoposti ad interventi di miglioramento o adeguamento sismico. L'attuale database comprende anche gli edifici esistenti in c.a. e i nuovi edifici in muratura ma la tipologia individuata per condurre l'analisi è la più frequente nel territorio della Provincia.

**ABSTRACT:** The paper contains the analysis of the results obtained with a procedure for the assessment of the construction quality following the 1997 Umbria earthquake. For a description of the procedure refer to the companion paper contained in the Proceedings of this Conference. The analysis has been performed on the basis of data collected for 437 masonry buildings, subject to upgrading or retrofit intervention. The actual database is wider, including also RC buildings and masonry buildings completely rebuilt, nevertheless it seemed that the selected cases are mostly representative of the situation of the Region.

### 1 INTRODUZIONE

Il presente lavoro si inquadra in una attività istituzionale che ha visto la collaborazione della Provincia di Perugia e della Regione Umbria sul tema del controllo della qualità della ricostruzione dopo il sisma del 1997 in Umbria. Alcuni dettagli sull'attività e sulle procedure sono illustrati in un'altra memoria, a firma degli stessi Autori, contenuta negli Atti di questo Convegno. Di seguito si riporta una prima analisi dei risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati raccolti dal 01/08/2001 al 30/06/03.

L'analisi si svolge su un campione di 437 edifici esistenti in muratura, sottoposti ad interventi di miglioramento o adeguamento sismico, i cui progetti di ripristino strutturale sono stati oggetto di controllo da parte dei Tecnici Istruttori del Servizio Controllo Costruzioni e Protezione Civile della Provincia di Perugia.

Questo tipo di controllo si effettua su un campione del 20% dei progetti depositati presso gli Uffici della Provincia, secondo i dettami della D.G.R. Umbria n. 698/01. Il controllo è di tipo quantitativo e qualitativo e viene svolto sia in fase di progettazione che in corso d'opera. Inoltre, al termine dei lavori, viene valutato anche il rapporto costi sostenuti – benefici ottenuti relativo all'opera oggetto di controllo in relazione al finanziamento erogato dallo Stato.

I dati raccolti nell'attività di controllo comprendono, in realtà, anche l'insieme degli edifici esistenti in c.a. e gli edifici che vengono demoliti e ricostruiti; la tipologia scelta per condurre l'analisi è però la più frequente nel territorio della Provincia e, quindi, quella su cui si sono svolti la maggior parte degli interventi post-sisma a finanziamento pubblico.

## 2 CONTROLLO DEL PROGETTO

### 2.1 Dati generali

Le informazioni generali inerenti l'insieme complessivo degli edifici controllati consentono di distinguerli in base alla tipologia costruttiva (tab. 1 e 2):

Tabella 1. Tipologia costruttiva attuale

|                                  | n          | %          |
|----------------------------------|------------|------------|
| Muratura ordinaria               | 505        | 96         |
| Mista con prevalenza di muratura | 12         | 2          |
| Muratura armata                  | 0          | 0          |
| Cemento armato                   | 8          | 2          |
| Acciaio                          | 0          | 0          |
| Prefabbricato                    | 1          | 0          |
| <b>TOTALE</b>                    | <b>526</b> | <b>100</b> |

Tabella 2. Tipologia costruttiva di progetto

|                                  | n          | %          |
|----------------------------------|------------|------------|
| Muratura ordinaria               | 450        | 86         |
| Mista con prevalenza di muratura | 16         | 2          |
| Muratura armata                  | 4          | 1          |
| Cemento armato                   | 53         | 10         |
| Acciaio                          | 0          | 0          |
| Prefabbricato                    | 3          | 1          |
| <b>TOTALE</b>                    | <b>526</b> | <b>100</b> |

Tra gli edifici in muratura si individuano tre sottoclassi: muratura ordinaria, mista con prevalenza di muratura, muratura armata; la tipologia "mista con prevalenza di muratura" si intende riferita agli edifici con struttura portante in muratura e alcuni elementi in c.a. o acciaio o prefabbricato (per esempio, scale, muri di sostegno, ecc.) di contorno alla struttura principale. La tipologia "muratura armata" si riscontra solo allo stato di progetto, vale a dire in nuove costruzioni.

La tipologia costruttiva prevalente degli edifici esistenti allo stato attuale è, dunque, la muratura con il 98% (517) dei casi esaminati; la percentuale scende all'88% (470) nello stato di progetto a causa di alcune demolizioni e ricostruzioni con tipologie diverse. Un certo numero di edifici esaminati è sottoposto al vincolo di legge per i beni culturali (ex L. n. 1089/39) e per i beni ambientali (ex L. n. 1497/39), come riportato in tab. 3.

Tabella 3. Edifici sottoposti a vincoli di legge

|                          | n         | %          |
|--------------------------|-----------|------------|
| Ex L 1089/39             | 23        | 4          |
| Ex L 1497/39             | 18        | 3          |
| Art 61 del D.P.R. 380/01 | 0         | 0          |
| <b>TOTALE</b>            | <b>41</b> | <b>100</b> |

Tabella 4. Tipologia di intervento

|                   | n          | %          |
|-------------------|------------|------------|
| Miglioramento     | 371        | 72         |
| Adeguamento       | 66         | 13         |
| Nuova costruzione | 80         | 15         |
| <b>TOTALE</b>     | <b>517</b> | <b>100</b> |

Un altro sottinsieme significativo è quello degli interventi di consolidamento del fabbricato attraverso opere inquadrabili normativamente come miglioramento o adeguamento sismico (tab. 4). Con la ricostruzione in Umbria il concetto di miglioramento sismico è stato esteso ad un intervento generalizzato su tutti gli elementi strutturali (verticali ed orizzontali). Inoltre è stata imposta ponendo anche una soglia minima di resistenza da raggiungere (65% dell'adeguamento).

Su questi progetti, che risultano l'83% (437) dell'insieme degli edifici in muratura, ha avuto un notevole impatto la campagna di microzonazione sismica speditiva, che ha condotto ad avere il 48% dei progetti con  $F_a$  compreso tra 1,2 e 1,5 (tab. 6). Il fattore  $F_a$  tiene conto degli effetti di amplificazione locale del moto sismico, incrementando le azioni di verifica.

Tabella 5. Progetti oggetto di integrazioni e/o varianti

|   | n   | %   |
|---|-----|-----|
| Progetti originali                            | 371 | 100 |
| Progetti oggetto di richiesta di integrazione | 355 | 96  |

Tabella 6. Fattore di amplificazione sismica

|                  | n          | %          |
|------------------|------------|------------|
| $F_a = 1; 1.1$   | 149        | 34         |
| $F_a = 1.2; 1.3$ | 151        | 35         |
| $F_a = 1.4; 1.5$ | 54         | 13         |
| $F_a = 1.6; 1.7$ | 16         | 4          |
| $F_a = 1.8; 1.9$ | 0          | 0          |
| $F_a = 2$        | 7          | 2          |
| Non microzonati  | 60         | 14         |
| <b>TOTALE</b>    | <b>437</b> | <b>100</b> |

Per quanto concerne le attività di controllo della Provincia, da notare che solo il 4% dei progetti è stato approvato senza varianti o integrazioni (tab. 5). In realtà, le richieste di integrazione non implicano variazioni sostanziali degli interventi strutturali, ma sono, nella maggior parte dei casi, chiarimenti riguardanti i vari aspetti del progetto (ad esempio, esaustività degli elaborati grafici, dettagli riguardanti i particolari costruttivi, specifiche sui calcoli strutturali).

Tabella 7. Carenze strutturali

| (possibilità di scelta multipla)            | n   | %  |
|---|-----|----|
| carenza di resistenza della muratura        | 357 | 82 |
| murature portanti in falso                  | 16  | 4  |
| irregolarità di geometria in pianta         | 49  | 11 |
| irregolarità maglia muraria in elevazione   | 46  | 11 |
| coperture prive di collegamento trasversale | 368 | 84 |
| carenze non segnalate                       | 8   | 2  |

Tabella 9. Soglie di danno

|                     | n   | %   |
|---------------------|-----|-----|
| danno significativo | 170 | 39  |
| danno grave         | 106 | 24  |
| danno gravissimo    | 135 | 31  |
| crollo              | 26  | 6   |
| TOTALE              | 437 | 100 |

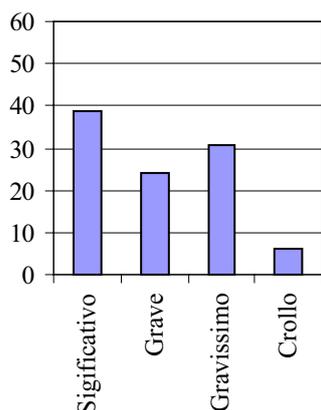


Figura 1. Soglie di danno

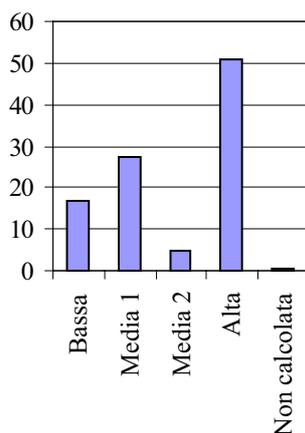


Figura 2. Vulnerabilità

Tabella 8. Vulnerabilità

|               | n   | %   |
|---------------|-----|-----|
| bassa         | 74  | 17  |
| media 1       | 119 | 27  |
| media 2       | 20  | 5   |
| alta          | 222 | 51  |
| non calcolata | 2   | 0   |
| TOTALE        | 437 | 100 |

Tabella 10. Livelli di costo

|        | n   | %   |
|--------|-----|-----|
| L1     | 70  | 16  |
| L2     | 91  | 21  |
| L3     | 188 | 43  |
| L4     | 63  | 14  |
| L5     | 25  | 6   |
| TOTALE | 437 | 100 |

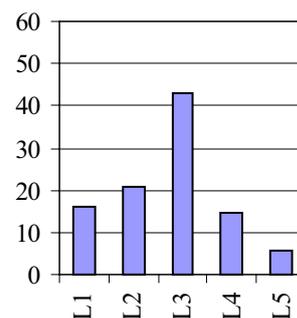


Figura 3. Livelli di costo

Nelle tabelle 7, 8, 9 e 10 vengono riportati i dati relativi allo stato di danneggiamento dell'edificio, che, insieme con la sua vulnerabilità (D.G.R. n. 5180/98) concorre a definire il livello di costo e, quindi, il contributo concedibile. Il dato che emerge dall'analisi è che la maggior parte degli edifici presenta uno stato di danno significativo (tab. 9 e fig. 1) e una vulnerabilità alta (tab. 8 e fig. 2); la combinazione di questi due parametri fa sì che la maggior parte dei livelli di costo si attesti su L3 (tab. 10 e fig. 3), cioè sul valore intermedio del contributo erogabile. L'andamento dello stato di danno sembra anomalo rispetto all'andamento della vulnerabilità, ma in realtà quest'ultima è influenzata dalla presenza o meno delle carenze strutturali gravi. Poiché tali carenze sono definite in modo qualitativo e lasciano molto spazio alla discrezionalità del progettista, la loro presenza fa passare la vulnerabilità da Bassa a Media 1 e da Media 2 ad Alta.

## 2.2 Valutazione dell'efficacia dell'intervento attraverso le verifiche sismiche

Passando ora all'analisi dei risultati delle verifiche sismiche, nell'insieme già individuato vengono scelti gli edifici il cui calcolo risulta svolto in modo corretto nell'ultima versione depositata (288 edifici, pari al 66% del campione). Poiché si tratta di edifici esistenti in muratura, i

coefficienti sismici adottati nelle verifiche, ai sensi del D.M. 16/09/1996, sono:  $\beta = 4$ ,  $R = 1$ ; in tutti i casi esaminati, inoltre, risulta  $I = 1$ . Per quanto riguarda l'interazione terreno - struttura, sulla base degli studi di microzonazione sismica speditiva, è stato introdotto il fattore di amplificazione sismica  $F_a$ ; questo coefficiente sostituisce il fattore  $\varepsilon$  della normativa nazionale e può essere determinante ai fini della verifica poiché varia nell'intervallo 1 - 2 (tab. 6).

Le curve di distribuzione di frequenza nelle figure 4, 5, 6 e 7 riportano l'andamento della massima azione sismica per unità di peso applicabile all'edificio sia per i singoli meccanismi di collasso che la Normativa prende in considerazione per le verifiche sismiche (rottura per azioni nel piano della muratura, rottura per azioni fuori dal piano della muratura, crisi dei collegamenti maschi murari-orizzontamenti o crisi dei dispositivi di vincolo quali catene o cordoli), sia per la sicurezza globale (individuata dalla minima azione sismica applicabile all'edificio allo stato attuale e di progetto).

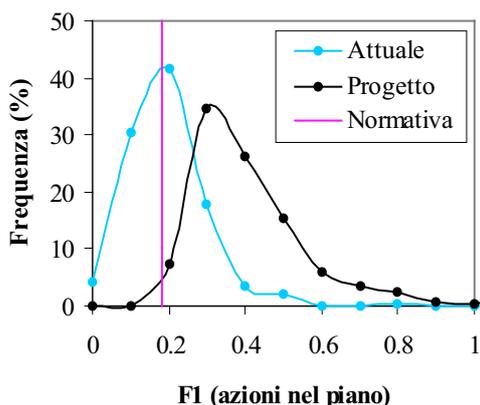


Figura 4. Massima azione sismica per azioni nel piano ( $F_1 = R I \beta C F_a W$ , con  $W = 1$ )

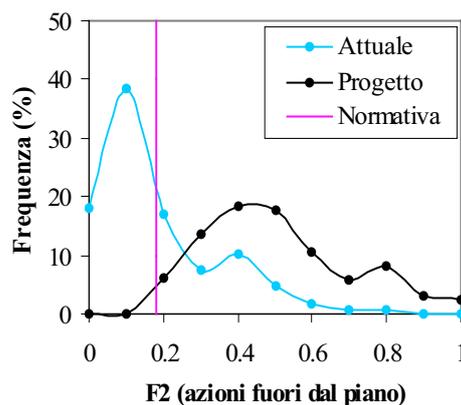


Figura 5. Massima azione sismica per azioni fuori dal piano ( $F_2 = \beta C W$ , con  $W = 1$ )

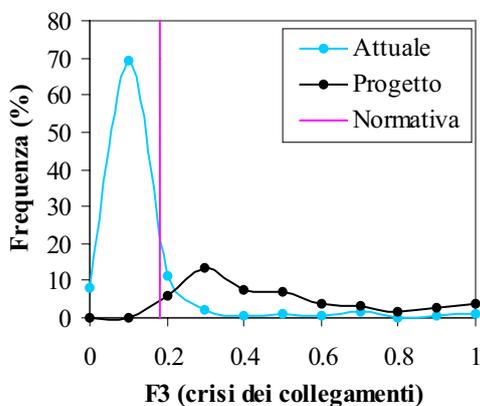


Figura 6. Massima azione sismica per crisi dei collegamenti ( $F_3 = \beta C W$ , con  $W = 1$ )

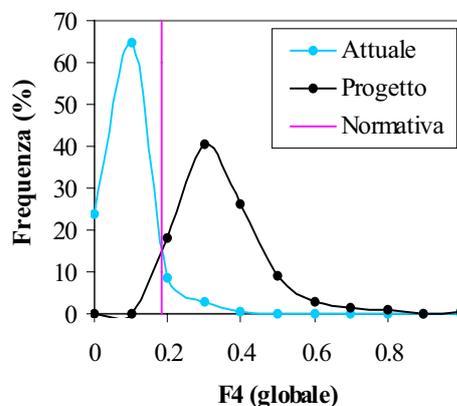


Figura 7. Massima azione sismica globale ( $F_4 = \min[F_1, F_2, F_3]$ )

Dai grafici si evidenzia come il salto di resistenza nel passaggio dallo stato attuale allo stato di progetto è minore nel caso di rottura a taglio (fig. 4), mentre negli altri casi è maggiore e con valori più dispersi. E' interessante notare dal grafico di fig. 6 come nello stato attuale il collasso sia dovuto a crisi dei collegamenti (confrontare fig. 6 e fig. 7), mentre nello stato di progetto il collasso sia dovuto ad azioni nel piano (confrontare fig. 4 e fig. 7).

### 2.3 Valutazione degli elaborati progettuali

Il percorso di valutazione della qualità del progetto consta di una serie di parametri che sono raggruppabili essenzialmente in due sezioni:

- La prima si occupa del rispetto di normative nazionali sulle costruzioni, degli aspetti geologico-geotecnici, della modellazione della struttura nell'effettuare le verifiche statiche e sismiche;
- La seconda si occupa del rispetto della normativa sulla ricostruzione (D.G.R. n. 5180/98).

Come descritto nella prima parte, le valutazioni sono date con un punteggio compreso tra 0 e 10. Nell'assegnare un voto ad ogni aspetto del progetto, il giudizio viene sospeso in mancanza di elaborati che esplichino la volontà progettuale del tecnico progettista, cioè viene valutato solo ciò che è esplicitamente definito; questo implica che il voto globale può essere positivo ma espresso, in effetti, solo su alcune parti del progetto (giudizi parziali).

L'analisi dei risultati viene condotta su due versioni del medesimo progetto:

- quella originaria (individuata dalla sigla "PO"), depositata presso gli Uffici della Provincia di Perugia;
- l'ultima versione del progetto (individuata dalla sigla "UP"), frutto di integrazioni e/o varianti e, dunque, già revisionata dai tecnici istruttori.

La percentuale di modifiche che compare nelle tabelle seguenti è relativa a tutti quelle voci che sono state oggetto di correzione.

| Edifici nel campione | 437 |    |
|----------------------|-----|----|
| Versione progetto    | PO  | UP |
| Giudizi parziali (%) | 15  | 5  |
| Modifiche (%)        | 46  | 16 |

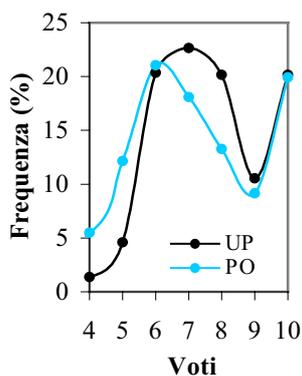


Figura 8. Rispetto della normativa sismica

| Edifici nel campione | 6   |    |
|----------------------|-----|----|
| Versione progetto    | PO  | UP |
| Giudizi parziali (%) | 100 | 38 |
| Modifiche (%)        | 33  | 17 |

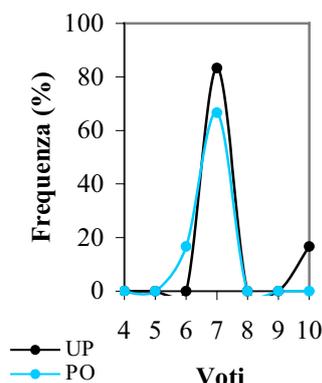


Figura 9. Rispetto della normativa sulle nuove costruzioni in c.a., acciaio e prefabbricate

| Edifici nel campione | 437 |    |
|----------------------|-----|----|
| Versione progetto    | PO  | UP |
| Giudizi parziali (%) | 8   | 2  |
| Modifiche (%)        | 22  | 5  |

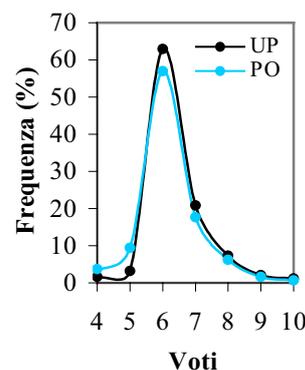


Figura 10. Prescrizioni sui materiali

La fig. 8 rappresenta l'andamento delle valutazioni riguardo il rispetto della normativa antisismica: nell'ambito di questo controllo, la problematica più ricorrente riguarda il calcolo dell'edificio.

La fig. 9 riporta l'andamento delle valutazioni relative agli elementi in c.a., acciaio e prefabbricato presenti nelle strutture con tipologia "mista con prevalenza di muratura"; qui le modifiche vengono richieste in prevalenza nell'ambito del corretto dimensionamento delle armature e nei particolari dei nodi strutturali.

Nell'ambito della valutazione delle specifiche relative alle caratteristiche dei materiali (fig. 10), si riscontra una scarsa attenzione alla definizione della qualità di legno e laterizio.

Un dato interessante da sottolineare è l'alto numero di modifiche richieste relative allo studio dell'interazione terreno-struttura (fig. 11), nonostante l'attenzione posta al problema attraverso la vasta campagna conoscitiva della microzonazione condotta sul territorio della provincia. La problematica più ricorrente in questo campo è il soddisfacimento delle verifiche in fondazione e la coerenza tra relazioni geologico-geotecniche e calcoli strutturali. Inoltre, le relazioni geologiche (fig. 12) risultano spesso carenti negli elaborati grafici esplicativi delle prove effettuate in situ.

Per quanto concerne i carichi (fig. 13), le inesattezze più frequenti riguardano la valutazione dei pesi propri degli elementi.

|                      |     |    |
|----------------------|-----|----|
| Edifici nel campione | 403 |    |
| Versione progetto    | PO  | UP |
| Giudizi parziali (%) | 27  | 8  |
| Modifiche (%)        | 64  | 20 |

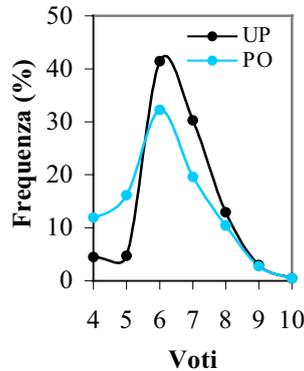


Figura 11. Interazione terreno-struttura

|                      |     |    |
|----------------------|-----|----|
| Edifici nel campione | 360 |    |
| Versione progetto    | PO  | UP |
| Giudizi parziali (%) | 5   | 2  |
| Modifiche (%)        | 23  | 8  |

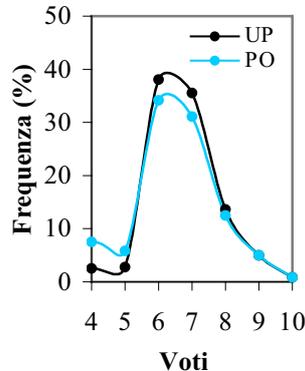


Figura 12. Caratterizzazione geologica

|                      |     |    |
|----------------------|-----|----|
| Edifici nel campione | 422 |    |
| Versione progetto    | PO  | UP |
| Giudizi parziali (%) | 14  | 4  |
| Modifiche (%)        | 44  | 14 |

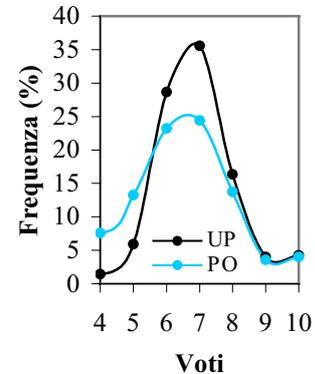


Figura 13. Rispetto della normativa sui carichi

La fig. 14 evidenzia uno degli aspetti più problematici dei progetti, cioè il calcolo strutturale, soprattutto nell'ambito della corretta modellazione delle strutture e nella coerenza con il progetto architettonico.

Nel rilievo dello stato di fatto (fig. 15) risulta spesso non sufficiente l'approfondimento della conoscenza della struttura. Negli elaborati progettuali, invece, la parte più carente risulta sempre quella dei particolari costruttivi (fig. 16): ciò determina il grande numero di richieste di integrazione.

|                      |     |    |
|----------------------|-----|----|
| Edifici nel campione | 394 |    |
| Versione progetto    | PO  | UP |
| Giudizi parziali (%) | 19  | 5  |
| Modifiche (%)        | 73  | 25 |

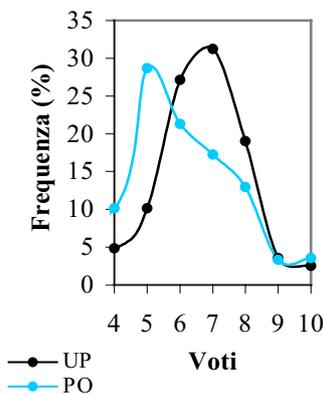


Figura 14. Modello di calcolo

|                      |     |    |
|----------------------|-----|----|
| Edifici nel campione | 437 |    |
| Versione progetto    | PO  | UP |
| Giudizi parziali (%) | 12  | 6  |
| Modifiche (%)        | 53  | 19 |

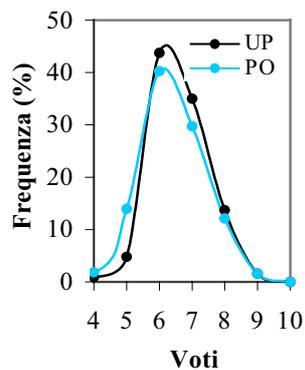


Figura 15. Rilievo dello stato di fatto

|                      |     |    |
|----------------------|-----|----|
| Edifici nel campione | 437 |    |
| Versione progetto    | PO  | UP |
| Giudizi parziali (%) | 39  | 14 |
| Modifiche (%)        | 93  | 34 |

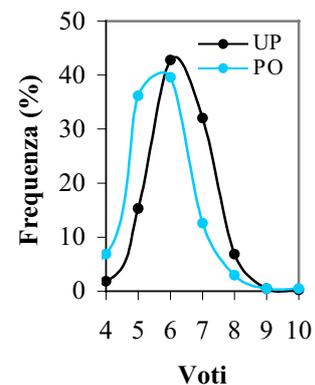


Figura 16. Elaborati dello stato di progetto

Nel caso dell'eliminazione delle carenze strutturali (fig. 17) e degli interventi minimi (fig. 18), essendo due condizioni obbligatorie da normativa, non è possibile sospendere il giudizio. Si noti, anche in questo caso, l'alto numero di richieste di modifiche. Per quanto riguarda i rimedi contro le carenze strutturali, scarsa attenzione è riservata di solito al miglioramento della qualità dei materiali e all'efficacia del collegamento trasversale delle coperture, nonostante queste due problematiche siano segnalate nella maggior parte delle schede tecniche di accompagnamento al

progetto (tab. 7). Nel caso degli interventi minimi, invece, nella maggior parte dei casi non sono sufficientemente efficaci i collegamenti degli orizzontamenti alle murature d'ambito.

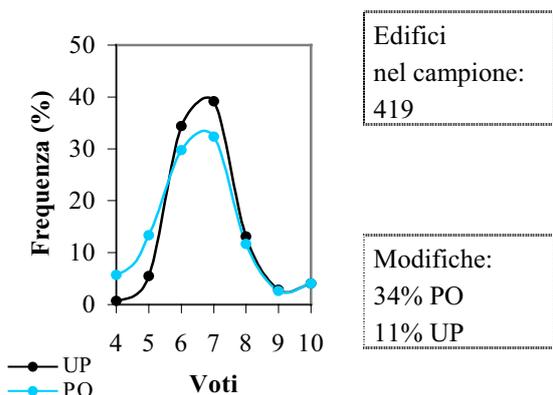


Figura 17. Eliminazione delle carenze strutturali gravi

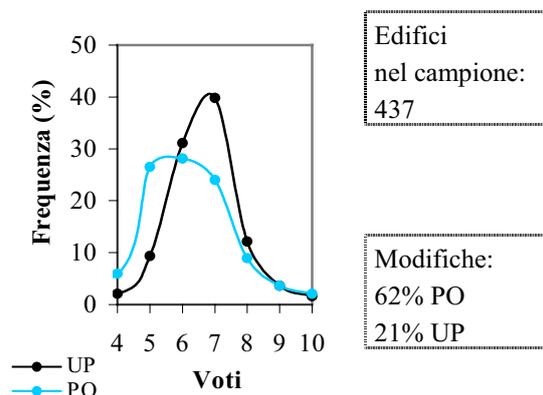


Figura 18. Interventi minimi

#### 2.4 La valutazione del progetto attraverso il sistema esperto

Le valutazioni date alle singole voci dai tecnici istruttori sono state elaborate con un sistema esperto, come descritto nella prima parte, in modo da pervenire ad una valutazione globale della qualità del progetto. I singoli voti non sono equipesanti ma sono considerati con importanza diversa all'interno del voto globale in base a delle regole di combinazione, tarate sull'esperienza degli stessi tecnici (fig. 20). La distribuzione delle valutazioni globali è riportata in fig. 19.

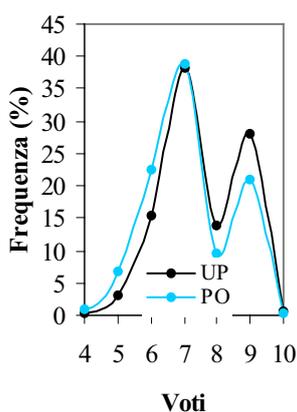


Figura 19. Distribuzione delle valutazioni del sistema esperto

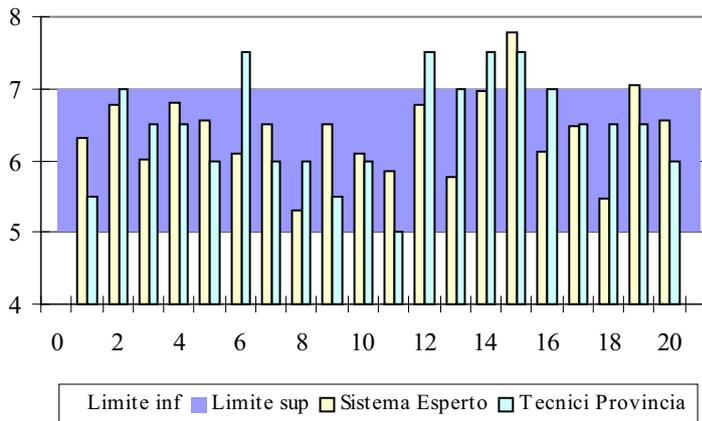


Figura 20. Taratura del Sistema Esperto

Minimo: 3,17    Media: 6,64    Massimo: 9,03

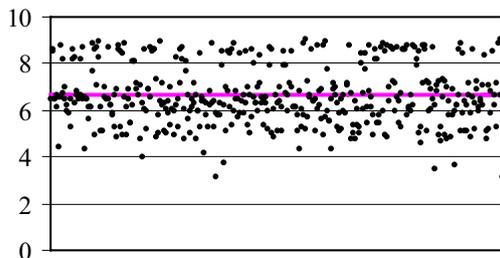


Figura 21. Valutazione del Sistema Esperto del campione "Progetto Originale"

Minimo: 3,51    Media: 7,01    Massimo: 9,14

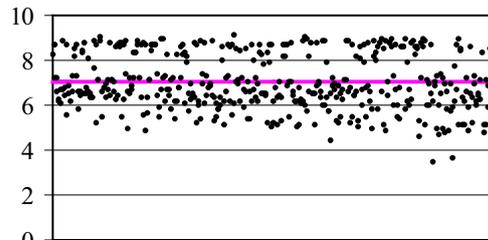


Figura 22. Valutazione del Sistema Esperto del campione "Ultimo Protocollo"

### 3 CONSERVAZIONE ARCHITETTONICA

Si ritiene importante analizzare anche quanto gli interventi post-sisma modifichino i caratteri originari degli edifici. In collaborazione con la Soprintendenza per i BB.AA.P.P.S.A.D. dell'Umbria, sono state individuate alcune voci di valutazione per poter esprimere un giudizio sulla conservazione architettonica dell'opera, sia nel progetto (fig. 24) che in cantiere (fig. 25).

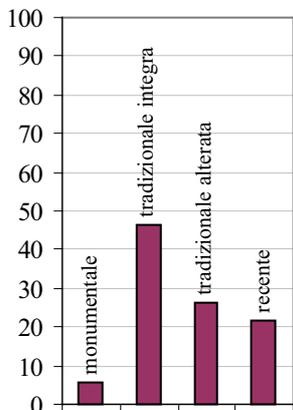


Figura 23. Tipologie architettoniche

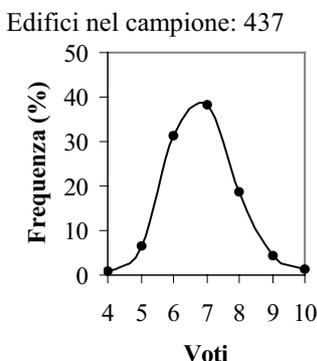


Figura 24. Conservazione architettonica nel progetto

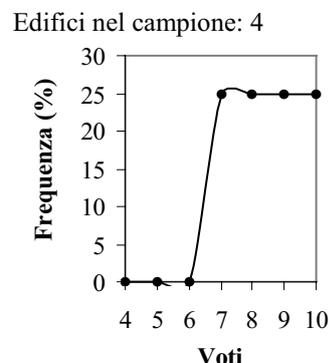


Figura 25. Conservazione architettonica in corso d'opera

La maggior parte delle costruzioni presenta una tipologia vicina ai caratteri tradizionali (fig. 23) e non presenta sostanziali modifiche nel corso degli anni.

### 4 CONTROLLO IN CORSO D'OPERA

I sopralluoghi nel campione sono 207, corrispondenti a 98 edifici dei quali, alla data del 30/06/03 è stato comunicato l'inizio dei lavori. Il controllo si svolge sulla qualità realizzativa di una serie di interventi ritenuti significativi per il consolidamento di strutture murarie esistenti. Per lo più si tratta di prime visite in cantiere, perciò non sono stati ancora raccolti i dati relativi all'adempimento delle prescrizioni fatte dai tecnici istruttori. Nelle figure seguenti si riporta la percentuale di modifiche richieste, indice di interventi non realizzati seguendo pienamente le regole della normativa e del buon costruire.

Sopralluoghi nel campione: 207  
Modifiche: 9%

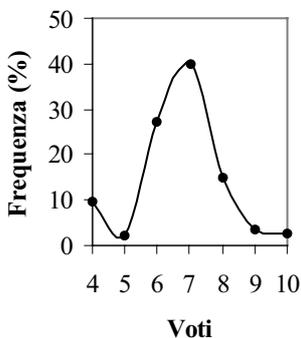


Figura 26. Organizzazione del cantiere

Sopralluoghi nel campione: 194  
Modifiche: 0%

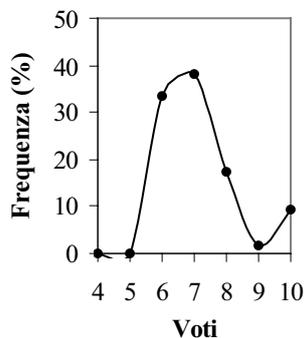


Figura 27. Qualità dei materiali

Interventi nel campione: 30  
Modifiche: 27%

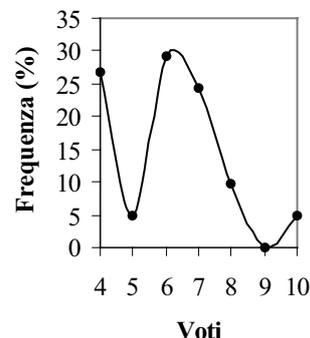


Figura 28. Intonaco o betoncino o lastra armata

Le modifiche richieste nell'organizzazione del cantiere (fig. 26) riguardano principalmente l'assenza in cantiere del progetto strutturale e il cattivo stato dei ponteggi, mentre per quanto ri-

guarda i materiali utilizzati negli interventi (fig. 27), l'assenza di modifiche è dovuta alla presenza in cantiere di certificazioni che ne attestano le caratteristiche meccaniche.

Nell'intervento di intonaco armato (fig. 28) l'aspetto più problematico risulta essere l'assenza di distanziatori della rete elettrosaldata dal paramento murario oggetto di consolidamento.

Interventi nel campione: 60  
Modifiche: 17%

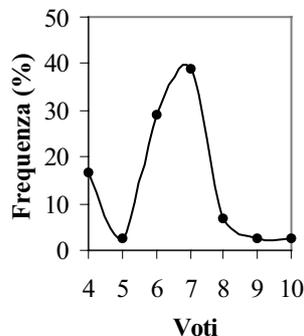


Figura 29. Interventi tradizionali (scuci-cuci, ispessimenti murari)

Interventi nel campione: 10  
Modifiche: 80%

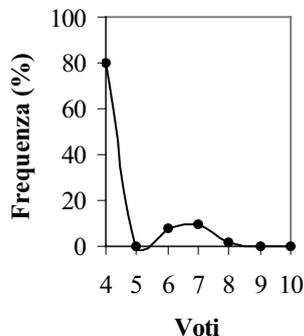


Figura 30. Iniezione di miscele leganti

Interventi nel campione: 6  
Modifiche: 0%

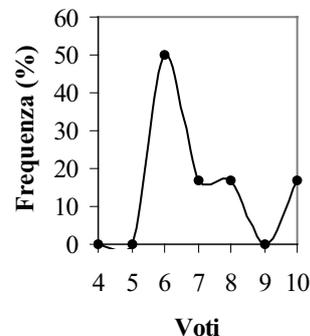


Figura 31. Consolidamento murario tramite rinforzo strutturale

Nell'ambito degli interventi tradizionali su murature esistenti (fig. 29), l'aspetto su cui vengono richieste più modifiche risulta essere il ripristino della continuità tra i blocchi esistenti e i nuovi elementi in laterizio, soprattutto nel piano della muratura.

Nell'intervento di iniezioni di miscele leganti (fig. 30) nella maggior parte dei casi esaminati a non viene eseguita la prova di iniettabilità delle murature prima dell'intervento stesso.

L'intervento di rinforzo strutturale (fig. 31) presenta ancora un campione ancora esiguo.

Interventi nel campione: 51  
Modifiche: 14%

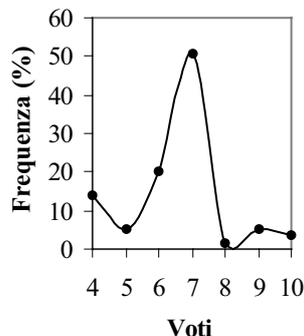


Figura 32. Inserimento di nuovi setti in muratura

Interventi nel campione: 2  
Modifiche: 0%

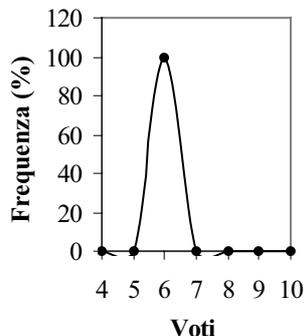


Figura 33. Cuciture armate

Interventi nel campione: 36  
Modifiche: 14%

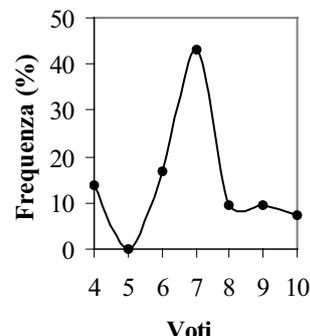


Figura 34. Nuove fondazioni e sottofondazioni

Nel caso di inserimento di nuovi setti (fig. 32) la problematica più importante è l'efficacia del collegamento tra nuovi elementi e la struttura esistente.

Nel caso delle cuciture armate (fig. 33), il campione è troppo esiguo per ritenere significativi i dati raccolti.

Nell'intervento in fondazione (fig. 34) la carenza maggiormente riscontrata è l'interasse dei collegamenti alla struttura esistente per quanto riguarda le sottofondazioni e la sovrapposizione delle armature nel caso delle fondazioni dei nuovi setti.

Interventi nel campione: 9  
Modifiche: 0%

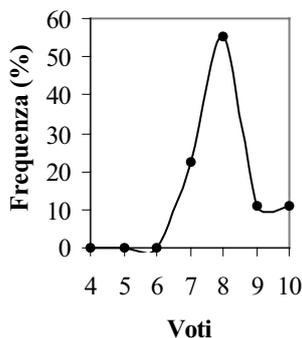


Figura 35. Consolidamento di archi e volte

Interventi nel campione: 74  
Modifiche: 7%

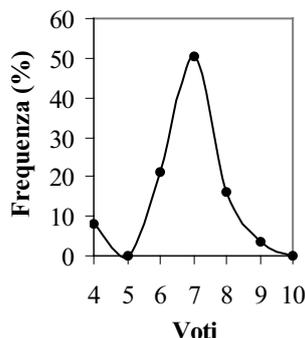


Figura 36. Consolidamento di solai esistenti o inserimento di nuovi solai di interpiano

Interventi nel campione: 37  
Modifiche: 5%

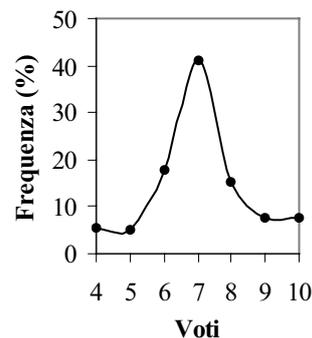


Figura 37. Consolidamento di coperture esistenti o inserimento di nuove coperture

Gli interventi di sostituzione e di consolidamento di orizzontamenti (solai di piano e coperture, figure 36 e 37) presentato gli stessi elementi di valutazione, perciò sono stati raggruppati nelle stesse tabelle. In cantiere si riscontra una scarsa attenzione, in tutte le tipologie di orizzontamento e di intervento, al collegamento degli elementi costituenti l'impalcato (orditure principali e secondarie e solette armate) alle murature d'ambito, aspetto peraltro fondamentale nell'efficacia dell'intervento.

Interventi nel campione: 51  
Modifiche: 4%

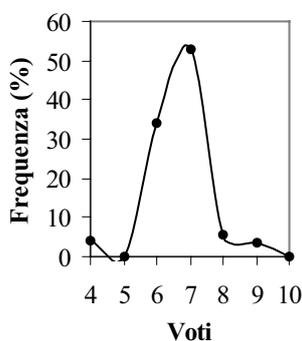


Figura 38. Inserimento di catene e tiranti

Interventi nel campione: 52  
Modifiche: 13%

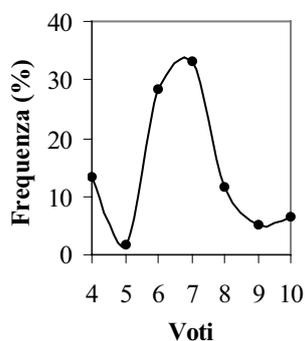


Figura 39. Realizzazione di cordoli in c.a.

Interventi nel campione: 28  
Modifiche: 14%

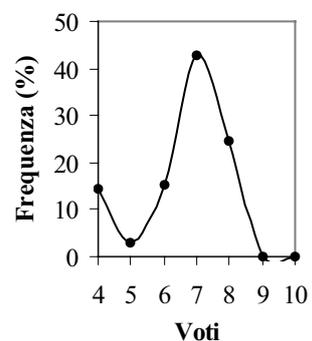


Figura 40. Realizzazione di cordoli in acciaio

L'aspetto più problematico degli incatenamenti (fig. 38) è la loro tesatura.

Nelle cordolature, sia in c.a. (fig. 39) che in acciaio (fig. 40), scarsa importanza è di solito data all'irrigidimento degli angoli: anche in questo caso, questi dettagli costruttivi, se non curati adeguatamente, possono compromettere il buon funzionamento delle cordolature.

## 5 INDICATORI ECONOMICI

Gli indicatori di carattere economico sono valutati sulla base dei costi sostenuti dichiarati al momento dell'ultimazione dei lavori. I costi medi per incremento di resistenza delle murature,  $I_r$ , e per interventi minimi,  $I_c$ , sono raggruppati per valori omogenei del coefficiente di amplificazione sismica  $F_a$  e assumono significato nel confronto con i rispettivi valori attesi ( $P_t$  e  $P_c$ ), definiti per il singolo edificio (figg. 41 – 46). L'indicatore  $I_d$ , pari al costo medio degli interventi strutturali non richiesti dalla D.G.R. 5180/98 non ha, per tale motivo, valore di riferimento: si fa notare che la somma dei tre parametri  $I_t$ ,  $I_c$  e  $I_d$  è pari al costo totale degli interventi strutturali e

delle opere di finitura connesse. Alla data del 30/11/2003, dei progetti estratti a campione depositati a partire dallo 01/08/2001, risultano terminati gli interventi di consolidamento di 26 edifici in muratura, variamente dislocati sul territorio della Provincia di Perugia. Si evidenzia che i costi variano da edificio a edificio a causa, fra l'altro, della variabilità del rapporto superficie murature / superficie complessiva: si osservi, ad esempio, la variazione dei costi relativi agli edifici n° 10 e 12 del caso  $F_a = 1.0$  nel passaggio dall'unità di misura € / (mq di muratura portante) (figura 41) a quella € / (mq di superficie complessiva) (figura 45): nel primo caso prevalgono i costi relativi all'edificio 10, per il quale il rapporto superficie murature / superficie complessiva è molto basso; considerando, invece, le superfici complessive, in base alle quali vengono assegnati i contributi statali, prevalgono i costi relativi all'edificio n°12 che presenta una maggiore percentuale di area delle murature. I valori di riferimento dipendono anch'essi dal rapporto superficie murature / superficie complessiva e, inoltre, dalle condizioni iniziali di resistenza delle murature ed esistenza di collegamenti fra elementi portanti verticali ed orizzontali, variando così, in generale, da edificio a edificio. All'aumentare del valore di  $F_a$  si osserva, in generale, una tendenza alla crescita del rapporto  $I_t / P_t$  mentre si mantiene costante il rapporto  $I_c / P_c$ . Il rapporto fra i costi medi  $I_t / I_c$  aumenta lievemente (fig. 47). Si fa notare la rilevanza del costo degli interventi non richiesti dalla Normativa, consistenti prevalentemente nel consolidamento e/o sostituzione dei solai: in molti casi, infatti,  $I_d$  supera  $I_t$  e  $I_c$  a testimonianza del fatto che, spesso, ci si è trovati ad intervenire su edifici che presentavano insufficienza statica prima ancora che scarsa resistenza al sisma, per cui l'incremento di resistenza per carichi verticali ha dovuto, necessariamente, accompagnare quello per carichi orizzontali.

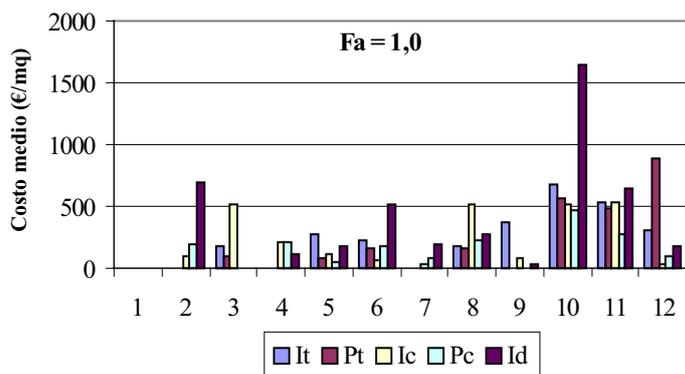


Figura 41. Costi medi per unità di superficie muraria con  $F_a = 1$

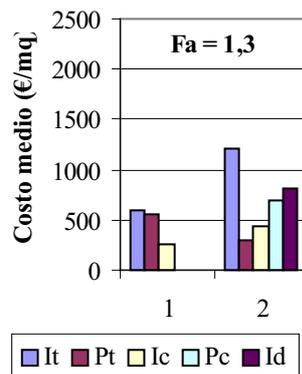


Figura 42. Costi medi per unità di superficie muraria con  $F_a = 1,3$

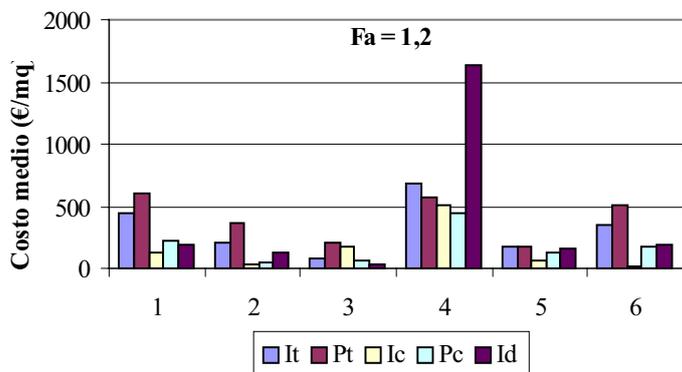


Figura 43. Costi medi per unità di superficie muraria con  $F_a = 1,2$

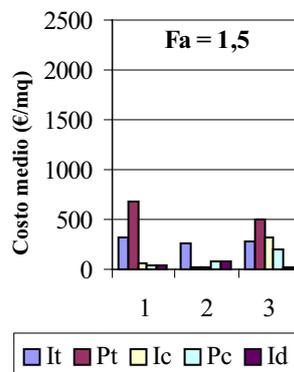


Figura 44. Costi medi per unità di superficie muraria con  $F_a = 1,5$

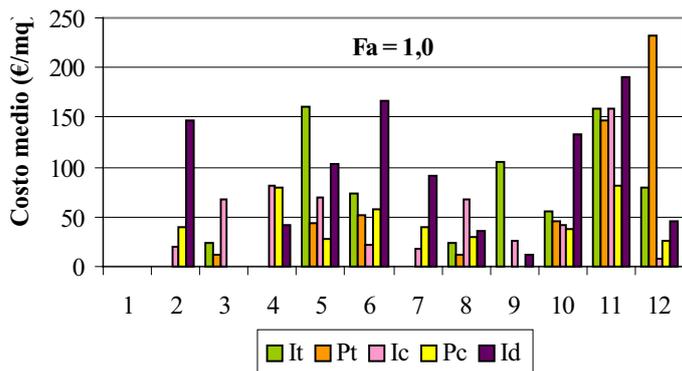


Figura 45. Costi medi per unità di superficie complessiva con  $F_a = 1$

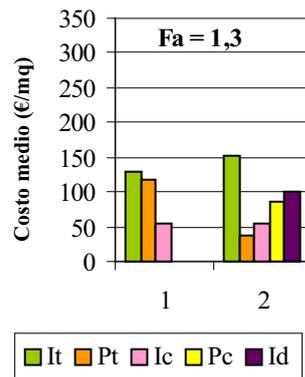


Figura 46. Costi medi per unità di superficie complessiva con  $F_a = 1,3$

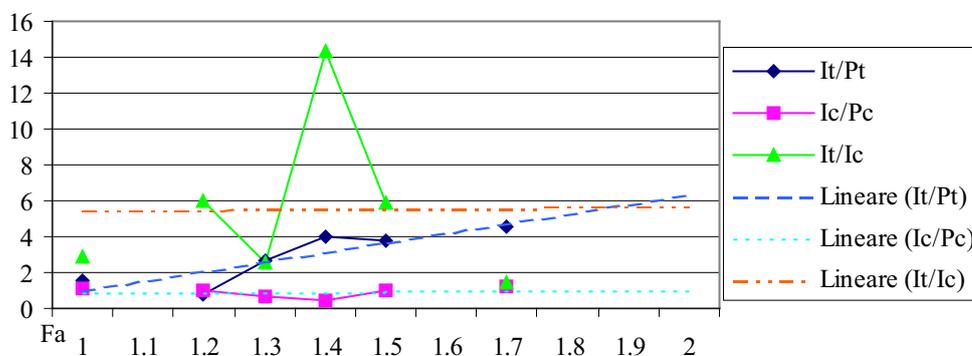


Figura 47. Valori medi e valori previsti nell'ipotesi di tendenza lineare dei rapporti fra costi e loro valori attesi  $It / Pt$  e  $Ic / Pc$  e fra costi  $It / Ic$  al variare di  $F_a$

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- D.M. 16/01/96 - Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- D.M. 09/01/96 - Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche
- D.M. 03/12/87 - Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate
- D.M. 09/01/96 - Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"
- D.M. 21/11/87 - Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento
- D.M. 11/03/88 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione
- C.M. 30/07/81 n. 21745 - Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma
- D.G.R. 14/09/98 n. 5180 - Eventi sismici del 12 maggio, 26 settembre 1997 e successivi - Modalità e procedure per la concessione dei contributi previsti dall'art. 4 della L. n. 61/98
- D.G.R. 01/05/01 n. 984 - Regolamento tipo del recupero edilizio adottato con precedente deliberazione 28 luglio 1999, n. 1066.